

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO
OPCIONES DE USO Y DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS
EN LA REGIÓN METROPOLITANA

ALEJANDRO NICOLÁS ERAZO LYNCH

Santiago, Chile

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**OPCIONES DE USO Y DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS
EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

**OPTIONS FOR THE USE AND DISPOSAL OF BIOSOLIDS IN
THE METROPOLITAN REGION**

ALEJANDRO NICOLÁS ERAZO LYNCH

Santiago, Chile

2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**OPCIONES DE USO Y DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS
EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

ALEJANDRO NICOLÁS ERAZO LYNCH

	Calificaciones
Profesor Guía	
Sr. Fernando Santibáñez Q Ingeniero Agrónomo, Dr. Es Sci.	6.5
Profesores Evaluadores	
Sr. Mario Gallardo P. Ingeniero Agrónomo.	6.5
Sr. Wilfredo Vera E. Ingeniero Agrónomo, M. Sc.	6.8

Santiago, Chile

2007

Agradecimientos

A mi familia por apoyarme y acompañarme durante todos los años de estudio y en especial por la preocupación permanente durante el desarrollo de esta memoria.

A la empresa Aguas Andinas S.A. por permitir la realización de esta memoria, la facilitación de información, y la compañía y apoyo durante el año de desarrollo de ésta. En especial a Paola Arata e Iván Selles por los continuos consejos, apoyo e instrucción que permitieron un desarrollo personal. También a toda la Gerencia de Saneamiento por la compañía y el grato ambiente generado que permitieron el mejor desarrollo de este estudio

A los profesores Fernando Santibáñez y Mario Gallardo por orientar el buen desarrollo y término de esta memoria.

A mis amigos Leonardo Erazo por apoyarme a la distancia, Patricio Y., D. Vilches, M. Lam E. y todos aquellos que me acompañaron en las distintas etapas de esta memoria.

En especial a BCP, por toda la compañía y paciencia.

INDICE

	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Materiales	6
Metodología	7
Selección de Opciones de Utilización de Biosólidos	7
Elaboración de Cartografía para cada opción de uso y disposición de biosólidos	8
Evaluación Multicriterio para seleccionar opciones y sitios de uso o disposición de biosólidos	10
Evaluación Multiobjetivo para opciones de uso y disposición de biosólidos	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Selección de Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos	14
Análisis Calidad de Biosólidos generados en la Región Metropolitana	16
Análisis de Opciones de Uso y Disposición	
Escenario Legal y Técnico para uso y disposición de biosólidos	18
Resultado Consulta Experto con relación a selección de opciones y disposición de biosólidos	21
Uso Agrícola de Biosólidos	26
Cartografía base Uso Agrícola de Biosólidos	26

Cartografía Escenario Técnico y Legal para uso agrícola de biosólidos	27
Análisis Multicriterio opción de Uso Agrícola de Biosólidos	32
Uso de biosólidos en plantaciones forestales	36
Cartografía base para Uso de biosólidos en plantaciones forestales	36
Cartografía Escenario Técnico y Legal para uso de biosólidos en plantaciones forestales	37
Análisis Multicriterio opción de Uso de biosólidos en plantaciones forestales	38
Uso de Biosólidos en rehabilitación de Tranques de Relaves	41
Cartografía base Uso de Biosólidos en rehabilitación de Tranques de Relaves	42
Cartografía Escenario Técnico y Legal para Uso de Biosólidos en rehabilitación de Tranques de Relaves	45
Análisis Multicriterio opción de Uso de Biosólidos en rehabilitación de Tranques de Relaves	46
Uso de Biosólidos en rehabilitación de Extracción de Áridos	48
Cartografía base Uso de Biosólidos en rehabilitación de Extracción de Áridos	49
Cartografía Escenario Técnico y Legal para Uso de Biosólidos en rehabilitación de Extracción de Áridos	50
Análisis Multicriterio opción de Uso de Biosólidos en rehabilitación de Extracción de Áridos	51
Uso de Biosólidos en plan de cierre rellenos sanitarios y vertederos	53
Cartografía base Uso de Biosólidos en plan de cierre rellenos sanitarios y vertederos	54
Cartografía Escenario Técnico y Legal para Uso de biosólidos en plan de cierre rellenos sanitarios y vertederos	55

Análisis Multicriterio opción de Uso de Biosólidos en plan de cierre rellenos sanitarios y vertederos	55
Codisposición de Biosólidos en Rellenos Sanitarios	58
Cartografía base para Codisposición de Biosólidos en Rellenos Sanitarios	58
Disposición de biosólidos en monorrelleno	59
Propuesta de Ordenamiento Territorial de Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos	61
Análisis y cuantificación de biosólidos aplicables en el total de opciones de uso y disposición de biosólidos	63
CONCLUSIÓN	66
BIBLIOGRAFÍA	69
APÉNDICE Cuestionario Consulta Experto	72
APÉNDICE Condición de Riego de Suelos Aptos	78
APÉNDICE Distribución de Restricciones Proyecto de Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de Aguas Servidas DS/123	79
APÉNDICE Base de Datos Extracción de Áridos en la Región Metropolitana	80

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Proyección de producción de biosólidos.	5
Cuadro 2. Disposición actual de biosólidos producidos	5
Cuadro 3. Factores asignados de acuerdo a Tipo de Camino	11
Cuadro 4. Factores asignados para análisis multicriterio	12
Cuadro 5. Factores para Análisis Multiobjetivo	13
Cuadro 6. Producción de lodos y distribución porcentual de Opciones de disposición en Francia y España al año 1992	15
Cuadro 7. Producción y distribución porcentual de opciones de disposición en Francia y España al año 2005	16
Cuadro 8. Valores Promedio Análisis de Biosólidos producidos el año 2005	16
Cuadro 9. Resumen normativa referente a la aplicación de biosólidos	17
Cuadro 10. Parámetros intrínsecos del suelo que determinan su aptitud para aplicación de lodos Exenta563.	19
Cuadro 11. Parámetros del sitio que determinan su aptitud para aplicación de lodos	19
Cuadro 12. Parámetros intrínsecos del suelo que determinan su aptitud para aplicación de lodos DS/123	20
Cuadro 13. Parámetros del sitio que determinan su aptitud para aplicación de lodos	20
Cuadro 14. Cuantificación superficie Uso Agrícola de biosólidos	28
Cuadro15. Distribución de Suelos Aptos en función de existencia de riego.	29
Cuadro 16. Distribución de Restricciones Proyecto De Reglamento Para El Manejo De Lodos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas	29
Cuadro 17. Distribución Series de Suelos aptas par recibir biosólidos	30
Cuadro 18. Distribución Comunal de Superficie Apta en la Región Metropolitana	32

Cuadro 19. Distribución de Suelos Aptos por Comuna	34
Cuadro 20. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos en Uso Agrícola	35
Cuadro 21. Cuantificación hectáreas de plantación forestal apta de recibir biosólidos	38
Cuadro 22. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Forestal	40
Cuadro 23. Superficie y distancia a plantas de tratamiento de aguas servidas de Tranques de relaves en la Región Metropolitana	44
Cuadro 24. Tranques abandonados y no operativos en Región Metropolitana	46
Cuadro 25. Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en tranques de relaves	48
Cuadro 26. Extracción de Áridos en etapa de relleno	51
Cuadro 27. Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en Extracción de Áridos	52
Cuadro 28. Áreas Rellenos Sanitarios y Vertederos en etapa de cierre	55
Cuadro 29. Rellenos Sanitarios y Vertederos con mejores características para aplicar biosólidos	56
Cuadro 30. Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en Plan de Cierre Rellenos	57
Cuadro 31. Valorización de Biosólidos año 2006 y 2010	31
Cuadro 32. Porcentaje de Valorización de biosólidos por opción de uso y disposición	32

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Opciones de Uso y Disposición 1996	14
Figura 2. Proyecciones de uso y disposición de Biosólidos en EEUU	15
Figura 3. Selección de Opciones frente a preferencia abierta	22
Figura 4. Selección de Opciones de Acuerdo a viabilidad económica	22
Figura 5. Selección de Opciones de acuerdo a factibilidad técnica	23
Figura 6. Selección de Opciones de acuerdo a capacidad de recepción de biosólidos	24
Figura 7. Selección de Opciones de acuerdo a sustentabilidad	25
Figura 8. Superficie Agrícola en Región Metropolitana	27
Figura 9. Superficie Agrícola Clasificada con relación al DS/123	28
Figura 10. Distribución de Superficie Apta en Provincias de la Región Metropolitana	31
Figura 11. Distribución Comunal de Superficie Apta	31
Figura 12. Suelos Agrícolas con mejores condiciones de recepción de biosólidos.	33
Figura 13. 10% Superficie mejor evaluada para recibir biosólidos Uso Agrícola	33
Figura 14. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Agrícola	35
Figura 15. Superficie Forestal en Región Metropolitana	37
Figura 16 Zonas Aptas Uso Forestal de Biosólidos	38
Figura 17. Superficie evaluada para recibir biosólidos Uso Forestal Comuna de San Pedro	39
Figura 18. Superficie evaluada para recibir biosólidos Uso Forestal Comuna Curacaví.	40
Figura 19. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Forestal	41

Figura 20. Estado actual Tranque Antiguo, Mina El Soldado	42
Figura 21. Diferencia entre especies leñosas Tranque Antiguo, Mina El Soldado	42
Figura 22. Ubicación Tranques de Relaves en Región Metropolitana.	43
Figura 23. Tranques Abandonados y No Operativos en la Región Metropolitana	45
Figura 24. Tranques de Relave mejor calificados en análisis multicriterio	47
Figura 25. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Tranques de Relaves	48
Figura 26 Ubicación Extracción de Áridos en Región Metropolitana	49
Figura 27. Extracción de Aridos en Proceso de Relleno	50
Figura 28. Superficie Mejor Evaluada para recibir Biosólidos, Extracción de Áridos	52
Figura 29. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Extracción de Áridos	53
Figura 30. Ubicación Rellenos Sanitarios y Vertederos en etapa de cierre en Región Metropolitana	54
Figura 31. Superficie Mejor Evaluada para recibir biosólidos, Plan de Cierre Rellenos Sanitarios	56
Figura 32. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Tranques de Relaves	57
Figura 33. Ubicación Rellenos Sanitarios actualmente operativos en Región Metropolitana	59
Figura 34. Monorrelleno Planta de Tratamiento Aguas Servidas El Trebal	60
Figura 35. Propuesta de Ordenamiento Territorial para Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos	62
Figura 36. Distribución de Opciones de Uso y Disposición al Año 2006	63
Figura 37. Distribución de Opciones de Uso y Disposición al Año 2010	64
Figura 38. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Total de Opciones de Uso y Disposición	65

RESUMEN

En Chile, el tratamiento de aguas servidas se está llevando a cabo desde el año 2001 de forma considerable, pasando en la Región Metropolitana de 35% a 80% de aguas servidas tratadas, entre el año 2001 y el 2006. El aumento en el tratamiento trae aparejado un incremento en la generación de biosólidos el que se duplicaría desde hoy al año 2010.

Actualmente, no existe una gestión de biosólidos que permita dar sustentabilidad al tratamiento de aguas servidas, trasladándose éstos a monorrelleno o relleno sanitario, con el problema ambiental que esto tiene, como la disminución de vida útil de los actuales sitios en operación y la búsqueda de sitios aptos para la operación de nuevos monorrellenos y rellenos sanitarios. Es por esto, que resulta necesario tener conocimiento sobre que opciones de uso y disposición de biosólidos se encuentran disponibles en la Región Metropolitana, y que cantidad de éstos se podría destinar a dichas opciones. Para esto se realizó análisis de cada opción posible, superficie disponible en cada una y una evaluación para identificar los mejores sitios en cada opción de uso de biosólidos, a través de un análisis multicriterio.

Las opciones de uso de biosólidos con mayor viabilidad, actualmente, en la Región Metropolitana son: uso agrícola, uso en plantaciones forestales, rehabilitación de tranque de relaves, rehabilitación de extracción de áridos y plan de cierre de rellenos sanitarios. Quedan como opciones de disposición el relleno sanitario y el monorrelleno, donde se debieran destinar los biosólidos que no puedan ser destinados a las opciones de uso.

El uso agrícola al año 2007 podría recibir el 18% de la producción de biosólidos, al año 2010 esta capacidad se reduciría 11,9%. En cuanto al uso en plantaciones forestales, esta tendría capacidad para acoger 1,2% de la producción del año 2007 y 0,8% para el año 2010. La rehabilitación de tranque de relaves para el año 2007 podrá recibir 3,4% de la producción de biosólidos y para el año 2010 2,2% de ésta. El uso de biosólidos en rehabilitación de extracción de áridos, tiene un potencial de acogida de 6% de la producción del año 2007 y de 3,9% para el año 2010. Por último el uso de biosólidos en plan de cierre de rellenos sanitarios, podría recibir 3,7% de la producción estimada para el año 2007 y 2,4% de la producción estimada para el año 2010.

Para el año 2007 se podría destinar a opciones de uso de biosólidos 32,4% de la producción estimada, lo que para el año 2017 sería de 19,2%, esto indica que se destinaría a monorrelleno y codisposición en relleno sanitario 67,6% en el 2007 y 80,8% para el 2010

Palabras Clave: Biosólidos, Tratamiento de Aguas Servidas, Análisis Multicriterio, Análisis Multiobjetivo, Disposición de Biosólidos.

ABSTRACT

In Chile, the treatment of waste water has been increasing since 2001, going from 35% of treated waste water in the Metropolitan Region in 2001, to 80% in 2006. The increase in water treatment brings with it an increase in the generation of biosolids, which at this rate, would double by the year 2010.

At the moment, there's no biosolid management strategy that allows the waste water treatment to be feasible, thus transferring these biosolids to landfills or sanitary fillings, with the environmental problem this brings with it, like the decrease in the lifetime of operating sites and the search for new places suited for the operation of landfills and sanitary fillings. This is why more knowledge about different alternatives for the use and disposal of biosolids available in the Metropolitan Region is necessary, and the amount of biosolids that could be destined to these places. For this reason, each of the possible biosolids' use and disposal alternatives was analyzed, taking into account available surface for each one of them, and an evaluation to identify the best place to implement them.

Currently, the best alternatives for the use of biosolids in the Metropolitan Region are: Agricultural use, use in forest plantation, rehabilitation of deposit of relaves and extraction of barren, and closing plan of sanitary fillings. For biosolids that can't be destined to any of the alternatives mentioned above, Sanitary fillings and monofill are left as the only viable options.

The agricultural use in 2007 could reach 18% of the production of biosolids, which would decrease to 11,8% by the year 2010. For the forest plantations, it could receive 1,2% of the biosolids production in 2007 and 0,8% by 2010. The rehabilitation of deposit of relaves and extraction of barren could reach 3,4% and 6% for 2007 and 2,2% and 3.9% for 2010 respectively. Finally, the use of biosolids in the closing plan of sanitary fillings could get 3.7% of the estimated production for 2007 and 2,4% of the estimated production for the year 2010.

For the year 2007, 32,4% of the estimated production of biosolids could be destined to the aforementioned alternatives, which would mean that for 2010 it could reach 19,2%. This indicates that for the year 2007, 67,6% of the estimated production would be destined to monofill and co-disposition in sanitary fillings, which would increase to 80,8% by the year 2010.

Key Words Biosolids, Waste Water Treatment, Multicriterio Analysis, Disposition of

INTRODUCCION

Históricamente para el ser humano la disposición de sus residuos ha sido un tema de soluciones complejas, más aún con el aumento que ha experimentado la población en el último siglo que ha traído consigo el aumento de la generación de residuos.

Culturas antiguas tenían la costumbre de reutilizar benéficamente sus residuos. La sociedad China retornaba sus desechos a las tierras de cultivo, manteniendo así la fertilidad de los suelos y eliminando el problema de disposición de desechos, siendo las culturas occidentales las que no hacían reutilización de estos, limitándose sólo a buscar mejores formas de disposición. Sólo hace unos 150 años se empezó a utilizar las aguas servidas como aguas de riego en algunas partes de Europa sin embargo al no ser tratadas las cargas de contaminantes y agentes patógenos eran muy altas junto con los problemas de olor generados. Esto hizo que se buscarán medidas para solucionar este problema como la aparición de las plantas de tratamiento de aguas residuales siendo en la década del 50 cuando en EEUU se construyen miles de plantas de tratamiento, dando comienzo con esto a la producción de biosólidos.

En Chile, uno de los mayores problemas ambientales ha sido el tratamiento de las aguas servidas, utilizadas en un gran porcentaje como agua de riego en forma directa (sin ningún tipo de tratamiento). Esto implicaba un foco de generación de enfermedades entéricas debido al consumo de productos agrícolas contaminados, provocando un gran problema de salud pública (EMOS, 1995). Es por esto que durante los últimos 16 años se han realizado múltiples esfuerzos para concretar mejoras en este ámbito, partiendo en el año 1995 con el “Programa de Tratamiento de las Aguas Servidas del Gran Santiago”, estudio encargado por la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias (EMOS) en donde se analizan las diferentes Opciones posibles de tratamiento. Esto llevó a que en la última década, y apoyado en el marco de la Agenda Ambiental 2002-2006, se haya podido pasar de un 35% de aguas tratadas en 2001 a un 80% en el 2006 a nivel nacional, y con el firme objetivo de que al año 2010 se llegue con el 100% de las aguas servidas sometidas a tratamiento (CONAMA, 2006a). Este progreso se ve reflejado de gran forma, en la Región Metropolitana con la entrada en servicio de las plantas de tratamiento de aguas servidas El Trebal (2001) y La Farfana (2003), las cuales tratan el 23% y 50% respectivamente de las aguas servidas de Santiago. Además se tiene en proyecto la construcción de una tercera macro planta que completaría el 100% del tratamiento de las aguas de Santiago para el año 2009 (Aguas Andinas, 2006a)

El tipo de tratamiento utilizado en las plantas de la capital se basa en tecnología de lodos activados (Aguas Andinas, 2006a), que se caracteriza por consumir grandes cantidades de energía y generar grandes cantidades de biosólidos (Bustamante, 1999 citado por Toro, 2005), estos últimos representan el 50% del costo total de tratamiento de aguas servidas, contemplando tratamiento y disposición final (EMOS, 1995), y son definidos según la EPA

(Environmental Protection Agency de Estados Unidos) como “sólido, semi-sólido o residuo líquido, generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas. Estos incluyen espumas, o sólidos removidos en el tratamiento primario, secundario o en avanzados procesos de tratamientos de aguas servidas y cualquier material derivado de lodos de aguas residuales, excepto arenas y cenizas” (EPA, 1994). En tanto, la legislación mexicana al respecto señala como biosólidos a “lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamientos” (Gobierno de Jalisco, 2003). Para el caso de Chile, según el “Proyecto Reglamento para Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas”, se define biosólido como “cualquier residuo semisólido que ha sido generado en plantas de tratamiento de aguas servidas”.

Los biosólidos poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, nitrógeno, fósforo y potasio, más algunos elementos metálicos traza (Lue-Hing, 1992) y se estima que de acuerdo a sus características es posible utilizar un 70% de la producción de biosólidos como enmienda orgánica para suelos degradados o agrícolas, siendo el nitrógeno el elemento que le confiere su mayor poder fertilizante, teniendo casi un 3% (García *et al*, 2005)

Junto a esto cobra gran importancia el aumento que tendrá la producción de biosólidos en los próximos años, casi duplicando la actual producción. Este aumento se debe principalmente a la entrada en funcionamiento de nuevas plantas como Melipilla, Curacavi y Til-Til el 2007, y de la tercera Macroplanta e Isla de Maipo en 2009. Esto implicaría que en sólo cinco años se estaría duplicando la producción de biosólidos, como se puede ver en el Cuadro 1

En la actualidad, los biosólidos producidos en la Región Metropolitana son trasladados a un monorrelleno, ubicado en la misma planta para el caso de la planta de tratamiento de aguas servidas El Trebal. En el caso de la planta La Farfana, éstos son trasladados hasta el relleno sanitario Lomas Los Colorados en la comuna de Til-Til (CONAMA, 2006b). En ambos casos y a la fecha, no se le da ningún aprovechamiento a este subproducto del tratamiento de aguas servidas. El aumento en la producción puede agravar la actual crisis de sitios de depósito de basura en Santiago, por tanto es necesario para crear sustentabilidad en el tratamiento de aguas servidas, buscar un uso útil y benéfico a los biosólidos, evitando poner en riesgo un colapso del sistema, con lo que surge el problema de qué hacer con ellos. Al respecto las empresas sanitarias han apuntado en esta dirección realizando experiencias en reuso silvoagropecuario y/o compostaje, con el fin de generar información y de esta manera dirigir los esfuerzos a desarrollar el reuso benéfico de los biosólidos, en donde existe consenso tanto a nivel internacional como nacional que es la alternativa más sostenible para los biosólidos.

En la Región Metropolitana actualmente existen 163.983 ha de suelos de cultivo, 284.184 há de praderas, 15.500 há de plantaciones forestales (ODEPA, 2005) 25 tranques de relave y 2 plantas de cementos (Polpaico y Melón) que tienen potencial para uso de biosólidos en

incineración. Esto nos demuestra las grandes posibilidades de uso y disposición de biosólidos que son factibles de llevar a cabo en la Región Metropolitana, siendo necesario darle un orden territorial a las distintas opciones de uso que existen a modo que se pueda dar una solución sostenible al uso de biosólidos

Estimación de Producción de biosólidos en la Región Metropolitana

De acuerdo a las proyecciones de Aguas Andinas, la cantidad de Biosólidos producidos por las distintas plantas de Tratamiento de La Región Metropolitana iría acorde lo mostrado en el Cuadro 1, en ella se contempla la entrada en funcionamiento de una tercera Macroplanta en la RM, mas algunas proyectadas en localidades para el año 2010.

Cuadro 1. Proyección de producción de biosólidos.

2006		2010	
Ton/año Base Húmeda	Ton/año Base Seca	Ton/año Base Húmeda	Ton/año Base Seca
227.760	56.940	346.385	86.596

Aguas Andinas, 2006

Podemos ver que se duplicará la producción en sólo 4 años por lo que urge tener respuestas frente a la utilización de estos biosólidos los cuales actualmente tienen como destino final monorrelleno o bien codisposición en relleno sanitario, la distribución de las cantidades de cada alternativa se pueden ver en el Cuadro 2

Cuadro 2. Disposición actual de biosólidos producidos

Cantidad Producida año 2006 (ton/año)	% del Total Producido Diario	Lugar de Disposición
17.082	30.0%	Monorrelleno El Trebal
39.858	70.0%	Relleno Sanitario Lomas Lo Colorado (Kdm)
56.940	100.0%	

Aguas Andinas, 2006

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó entre los meses de Julio y Diciembre, y comprende la Región Metropolitana. Esta zona tiene un clima templado cálido con estación seca prolongada, su temperatura promedio anual es de 13,9°C y el promedio de precipitaciones es de 356,2 mm. La vegetación natural actualmente existente en esta región, se caracteriza por ser predominantemente de cordillera, desarrollándose en valles y cuencas la estepa de Acacia Caven. La alta población de la región hace que el paisaje se haya alterado perdiéndose gran parte de la vegetación natural limitándose a laderas de cerro y faldeos cordilleranos. Sobre los 500 msnm se encuentra el bosque esclerófilo que requiere de mayor precipitación de aguas lluvias para desarrollarse (400-1000 mm). La Región Metropolitana tiene una población total de 6.061.185 habitantes y se divide administrativamente en 6 provincias (Santiago, Maipo, Cordillera, Talagante, Melipilla, Chacabuco)

Materiales

- Software especializado en sistema de información geográfica, ArcGis9 e Idrisi Kilimanjaro
- Base de datos digitalizada sobre Series de Suelos, elaborada por la Comisión Nacional de Riego (CNR) en escala 1:50.000
- Estudio de suelos del Proyecto Maipo 1981.
- Estudio Integral de Riego Proyecto Aprovechamiento de Aguas Servidas Planta de Tratamiento Santiago Sur Región Metropolitana, Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias, 1995.
- Descripciones Proyecto Aerofotogramétrico Chile, Instituto de Investigación de Recursos Naturales, 1964.
- Base de datos uso forestal proporcionado por la consultora DBL en escala 1:50000, 2006.
- Imágenes satelitales landsat7-ETM obtenidas desde el sitio web de Earth Science Data Interface (ESDI), 2003.
- Cartografía proporcionada por el área de SIG de Aguas Andinas, en relación a pozos de extracción, cursos de agua, y captaciones de agua potable, 2006.
- Imágenes aéreas en escala 1:1000 perteneciente a la base documental de Aguas Andinas S.A. tomadas el año 2003.
- Levantamiento catastral de los tranques de relave en Chile en escala 1:50000, Elaborado por Ingeniería y Geotecnia Ltda.. disponible en Servicio Nacional de Geología y Minería, 1989.
- Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS), 2004

Metodología

La metodología fue seleccionada de acuerdo a los diferentes objetivos y etapas del estudio realizado. La primera etapa fue reunir la información necesaria referente a las opciones de uso y disposición que son viables de llevar a cabo en la Región Metropolitana, para esto se realizó un cuestionario a distintos expertos. Ya seleccionadas las opciones de uso y disposición viables se procedió a cartografiar y entregar atributos a cada opción de uso que permitieran realizar un ordenamiento territorial de todas ellas en relación a diferentes variables. Para cada opción se utilizaron métodos diferentes de obtención de información, en el caso de la opción de uso agrícola de biosólidos se completó base de datos y se filtró de acuerdo a los requisitos establecidos por el DS/123, esto mismo fue utilizado en el caso del uso de biosólidos en plantaciones forestales de biosólidos, para la opción de uso de biosólidos en tranques de relaves, sitios de extracción de áridos y cierre de rellenos sanitarios se aplicaron métodos de percepción remota para obtener la cuantificación de superficie disponible.

El paso siguiente fue realizar un análisis multicriterio para cada opción de uso y disposición de biosólidos, con el fin de ubicar espacialmente los mejores sitios dentro de cada una utilizando variables ambientales y económicas. El objetivo final es realizar una cartografía única de ordenamiento territorial de las distintas opciones de uso y disposición de biosólidos para lo cual se realizó un análisis multiobjetivo basado en las preferencias mostradas por los expertos en el cuestionario realizado.

Selección de Opciones de Utilización de Biosólidos:

La selección de las alternativas se realizó mediante revisión de estudios anteriores efectuados sobre las distintas opciones de uso y disposición, tanto en Chile como el extranjero. También se revisaron tendencias de uso en países que ya cuentan con sistemas y legislación respecto al uso benéfico de biosólidos, por más de 20 de años. Adicionalmente se realizó una consulta a un panel de expertos.

La consulta al panel de expertos se realizó utilizando el método de consulta Delphi, este método consta de 4 etapas donde se enviaron cuestionarios sucesivos. En la primera fase se envía el cuestionario, luego se analiza el cuestionario. En la segunda fase este se vuelve a enviar con las respuestas realizadas por los expertos y se pide a cada uno que comente si está de acuerdo o no y porqué. En la tercera fase se pidió a cada experto que comentara los argumentos en que disiente de la mayoría y finalmente en la cuarta fase se envía la opinión consensuada media y dispersión de opiniones. Todo esto fue tratado bajo estricto rigor de anonimato con el fin que las fuentes contesten sin ser influenciados por las respuestas de los otros expertos. Junto a esto se solicitó que si no tenían conocimiento respecto a alguna

pregunta dejaran esa respuesta en blanco, con el fin de no alterar el resultado final. Para este cuestionario fueron contactados expertos de universidades, organismos públicos y privados que hayan trabajado o se encuentren trabajando actualmente en el tema de biosólidos teniendo un universo muestral de 19 encuestados (Ver cuestionario en Apéndice “Cuestionario Consulta Experto”)

Elaboración de Cartografía para cada opción de uso y disposición de biosólidos:

Uso Agrícola de biosólidos:

Se trabajó con las bases de datos de la Comisión Nacional de Riego en relación a Series de Suelos para la Región Metropolitana, en éstas se tenían valores de Capacidad de Uso, Aptitud de Riego, Categoría de Drenaje, Aptitud Frutal, restricción a la Capacidad de Uso y Restricción de Riego para cada serie identificada. A estas se completaron campos con parámetros provenientes de los Estudios de Suelos: Proyecto Maipo, Estudio Integral de Riego, Estudio Aerofotogrametrico, los datos completados corresponden a parámetros técnicos y exigidos por el Proyecto de Reglamento de Utilización de biosólidos (DS/123, 2006), tales como: Profundidad de Napa Freática, pH, Saturación, Pendiente, Textura, Clase de Estructura, Permeabilidad, Profundidad Efectiva y Riesgo de Inundación. Con esta información, se seleccionó aquellos suelos que no presentaban restricciones para la aplicación de biosólidos, y luego, de acuerdo a lo que el panel de expertos determinó serían rangos adecuados. Se realizó esta misma selección para otra versión del Reglamento Para El Manejo De Lodos No Peligrosos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas, Resolución Exenta N°563, 2003.

Uso Forestal de biosólidos:

La información se obtuvo de un estudio encargado por Aguas Andinas a la Consultora Disposición Benéfica de Lodos (DBL) Ltda. y se realizó para las regiones V, VI y Metropolitana. Sin embargo el alcance de esta memoria solo abarca la Región Metropolitana por lo que se tomaron en cuenta los resultados obtenidos para esta región

La metodología utilizada para la selección del terreno fue la siguiente:

Se aplicaron filtros por pendientes (entre 0% y 15%) y tamaño de rodales (mayor a 50 ha) para ser considerados aptos de recibir biosólidos. Para esta restricción se tomó en cuenta que tuvieran información de propiedad y que se encontraran cercanos entre sí para ser aceptados. La última depuración se hizo sobre la base de distancia de las plantas de tratamiento la cual no debía exceder los 120 Km. Se excluyeron polígonos forestales asociados a la Reserva Nacional Lago Peñuelas.

Uso de Biosólidos en Tranques de Relaves:

Debido a la imposibilidad de contar con datos de superficie de estos tranques (sólo se tuvo acceso a la ubicación espacial) se tuvo que trabajar con imágenes satelitales para obtener estos datos. Las imágenes fueron obtenidas desde Earth Science Data Interface (ESDI) corresponden al satélite Landsat7-ETM y tienen una resolución de 30 m. Estas se utilizaron debido a que se encuentran disponibles de forma gratuita, con la banda 8 de este satélite se pudo bajar la resolución de la imagen a 15m, lo que de acuerdo al objetivo resultaba suficiente para tener una estimación de la superficie de los tranques de relaves. Estas imágenes se corrigieron atmosféricamente mediante el método de Chávez (1989) y topográficamente (Método de Teillet). Luego se obtuvo la firma espectral de cada tranque identificado, donde se cortó la imagen sólo para la zona que según el catastro presentaba tranques de relaves y se realizó una clasificación supervisada para identificar y posteriormente cuantificar la superficie correspondiente al tranque. La imagen con los puntos de ubicación se le dieron atributos provenientes desde el Estudio Catastral como: Tipo de Tranque (Embalse con aguas en solución, Tranque con muros de relaves, Tranque con muro de suelo compactado) Planta de la que provienen los relaves, Estado de saturación (Seco, Talud seco en superficie), Estado del Muro (Buena, Excelente, Deficiente), Estado de Operación (No operativo, Operativo, Abandonado, en Construcción), por último se asignó el dato de superficies obtenido desde la imagen satelital y un campo con la distancia existente desde las plantas

Uso de biosólidos en extracción de áridos

Utilizando la información catastral proveniente de Plan de Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS) se ubicó los puntos donde existen faenas de extracción de áridos en la RM. Estas se sobrepusieron sobre imágenes aéreas provenientes de las bases de datos de Aguas Andinas las cuales se encuentran a una escala 1:1000. Con ellas se pudo ubicar precisamente y determinar la superficie que abarcan estas faenas. Para el caso de la extracción en caja de río no fueron consideradas debido a la imposibilidad de aplicar biosólidos en éstos sistemas. A esta información se sumó información proveniente del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), SEREMI de Salud y de medios públicos.

Uso y Disposición de biosólidos en Vertederos y Rellenos Sanitarios:

Se digitalizaron los puntos donde se ubican estas instalaciones, para luego entregar atributos como tamaño de los vertederos y rellenos, el cual será utilizado para la aplicación de biosólidos en planes de cierre de éstos. A esta información se le suma la proveniente de EMERES SA en relación al tamaño y estado de sus rellenos y vertederos.

Disposición de Biosólidos en Monorrelleno

En este caso se digitalizó el monorrelleno existente en la planta de tratamiento de aguas servidas El Trebal. Adicionalmente, al momento de realizar este estudio se evaluó una Plataforma de Gestión de Biosólidos para las plantas de tratamiento actuales y futuras.

Evaluación Multicriterio para seleccionar opciones y sitios de uso o disposición de biosólidos

La evaluación multicriterio se realiza en función del objetivo a desarrollar (Eastman et al, 1993 en Barredo, 1996) pudiendo ser simple o múltiple. Para el problema en estudio el objetivo es múltiple sin embargo se realiza primero un análisis para cada alternativa y con el resultado de ella se realiza un análisis múltiple. Los Criterios son el punto de referencia para una decisión a tomar y se dividen, según Barredo (1996), en factores y limitantes, Factores serían aquellos criterios que realzan o detractan la capacidad de asentamiento de un alternativa y limitantes aquellas que restringen la disponibilidad de superficie siendo representada como una capa binaria. Esta evaluación se realizó para cuantificar las hectáreas que presentan mejores condiciones para la recepción de biosólidos utilizando el programa IDRISI en función de los siguientes criterios

- Distancia a Plantas de Tratamientos (0 a 100 km)
- Distancia a Caminos (0 a 500 m)
- Distancia a Pozos de Extracción de Agua (0 a 500 m)
- Distancia a Captación Superficial de Agua (0 a 500 m)
- Distancia de Centros Urbanos (0 a 500 m)

A estas cartografías se les realizó un análisis de curvas fuzzy, esto con el fin que todos los valores a sometidos a evaluación tuvieran la misma graduación. Para homogenizar los valores se utilizó, para todos, una graduación en bytes (0 a 255) y una función sigmoideal. Debido a que el análisis se basa en distancias, los factores que pueden afectar o no en este análisis tienen un origen, crecimiento y luego se estabilizan, o bien un origen estable para luego decaer con el aumento de la distancia. A continuación se explica para cada criterio que tipo de curva sigmoideal fue ocupada.

Distancia a plantas de Tratamiento:

Se utilizó, para este criterio una curva lineal decreciente debido a que medida que aumente la distancia disminuye la factibilidad económica, principalmente por un aumento en los costos de traslado, de disponer biosólidos. Esto hasta un punto de 100 Km. que sería la distancia en línea recta entre las plantas de tratamiento y el límite regional, por lo que valores no serían apropiados.

Distancia a Caminos

Para este criterio también se tomó una curva lineal decreciente, debido a que mientras más lejos se encuentre un sitio de aplicación de los caminos, más complejo será el acceso a éstos, por tanto, se estimó como distancia adecuada 500 m desde los caminos. En específico para este criterio se realizó un análisis multicriterio según el tipo de camino, se subdividió

y clasificó como muestra el Cuadro 3. Para obtener estos factores utilizó el método de jerarquías analíticas (Saaty, 1977, citado por Barredo, 1996) donde se establece una matriz cuadrada en que el número de filas y columnas corresponde al número de factores a ponderar, estableciendo una matriz de comparación de entre pares de factores, comparando la importancia de cada uno sobre los demás. En este caso se considero relevante el tipo de camino, siendo el camino pavimentado el mejor evaluado, luego camino de ripio y en último lugar el camino era de tierra.

Cuadro 3. Factores asignados de acuerdo a Tipo de Camino

Tipo de Camino	Factor
Camino Pavimentado	0,7514
Camino de Ripio	0,1782
Camino de Tierra	0,0704

La imagen que se obtuvo de este análisis fue la que se integro al análisis multicriterio bajo el nombre de Distancia a Caminos.

Distancia a Pozos de Extracción de Agua y Distancia Captación Superficial

En este caso, la imagen de Series de Suelos ya tiene incorporada la restricción interpuesta por el Proyecto de Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, en relación a pozos de extracción de agua y captación superficial. Sin embargo, a raíz que mientras más alejado de un pozo se encuentre la aplicación, disminuyen los potenciales impactos ambientales se tomó una curva lineal creciente alcanzando un máximo de 500 m, donde el valor se estabiliza.

Distancia centros urbanos

Para evitar posibles molestias que se puedan ocasionar dentro de los pobladores de centro urbanos, se estableció una distancia de 500 metros desde las zonas de aplicación, se utilizó una curva lineal creciente. A pesar que el reglamento tiene una exigencia de 200 m se consideró apropiado para la evaluación multicriterio tomar en cuenta un valor similar a la captación de agua para uniformar los criterios.

Las limitantes utilizadas en el análisis corresponde a la superficie apta para cada opción de uso y disposición como se muestra a continuación:

-Uso Agrícola y Forestal de biosólidos: Superficie Apta de acuerdo a Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas (Decreto Supremo N°123)

-Uso de biosólidos en Tranques de Relaves: De acuerdo a Levantamiento catastral de los tranques de relave en Chile, la limitante son aquellos tranques que se encuentran

abandonados y No operativos, ya que son éstos donde es factible aplicar biosólidos para su rehabilitación y fitoestabilización.

-Uso de biosólidos en rehabilitación de Extracción de Áridos: Limitante de acuerdo a zonas en relleno

-Uso de biosólidos en Plan de Cierre Rellenos Sanitarios: Se limita a los rellenos sanitarios que se encuentren en cierre y abandono de sus instalaciones.

La asignación de factores se realizó utilizando el método de jerarquías analíticas, (Saaty, 1977, citado por Barredo, 1996) donde se establece una matriz cuadrada en que el número de filas y columnas corresponde al número de factores a ponderar, estableciendo una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de cada uno sobre los demás. Los factores que se asignaron para el análisis multicriterio de cada opción de uso y disposición se muestran en el Cuadro 4

Cuadro 4. Factores asignados para análisis multicriterio

CRITERIO	FACTOR
Distancia a Plantas de Tratamientos	0,4723
Distancia a Caminos	0,2533
Distancia a Pozos de Extracción de Agua	0,0584
Distancia a Captación Superficial de Agua	0,0584
Distancia de Centros Urbanos	0,0292
Distancia Curso de Agua	0,1285

Con estos factores se estableció una jerarquía con las mejores zonas de acuerdo al porcentaje de hectáreas que, se estima, se podrá contar en las diferentes opciones en un escenario que integre las variables mencionadas en el Cuadro anterior.

Para cada opción de uso y disposición de biosólidos se clasificaron los resultados de acuerdo a la superficie que, se estimó, era posible captar para cada opción como se describe a continuación

Uso Forestal y Agrícola:

De acuerdo a porcentaje de aceptación estimado en estudio de mercado realizado por Aguas Andinas S.A. y, los valores que se manejan al interior de esta compañía en relación a porcentajes de aceptación en Francia, en torno al 8%, se estima para efectos de evaluación en la Región Metropolitana, que un valor, conservador, de 10% del total de superficie silvoagropecuaria apta está dispuesta a recibir biosólidos en sus predios.

Tranques de Relaves

Se prevé un valor teórico de 40% de la superficie total para recepcionar biosólidos en esta opción de uso, correspondiente a tranques abandonados y no operativos en la Región Metropolitana,

Extracción de Áridos

Estos pasivos ambientales deben contar con un plan de cierre y rehabilitación, por estas razones es que se prevé un valor teórico de un 30% de la superficie total disponible, aceptará utilizar biosólidos en esta opción de uso.

Plan de Cierre Rellenos Sanitarios

Existe un trabajo conjunto entre EMERES S.A. y Aguas Andinas S.A. donde se han realizado estudios de la aplicación de Biosólidos en estos sitios, por lo que se podría contar con el 50% de los sitios para uso benéfico de biosólidos en este tipo de sistemas.

Análisis Multiobjetivo para opciones de uso y disposición de biosólidos

Este análisis se realizó para determinar un ordenamiento territorial y una cartografía en la que se presentarán todas las opciones estudiadas. Para tales efectos, se utilizó el método de extensión jerárquica (Barredo, 1996), el cual consiste en la extensión jerárquica de la evaluación multicriterio, buscando satisfacer varios objetivos al mismo tiempo. A cada objetivo se le asignaron los factores como muestra el Cuadro 5, utilizando el mismo método aplicado en la evaluación multicriterio, éstos provienen del resultado del cuestionario experto en cuanto a sustentabilidad. Se eligió este parámetro debido a que este concepto representa el global de factores que pueden repercutir en el uso y/o disposición de biosólidos como son las variables económicas, ambientales y sociales.

Cuadro 5. Factores para Análisis Multiobjetivo

Objetivo	Factores
Forestal	0,5140
Agrícola	0,2580
Tranques de Relaves	0,1223
Extracción de Áridos	0,0529
Cierre Rellenos Sanitarios	0,0529

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de Opciones de Uso y Disposición

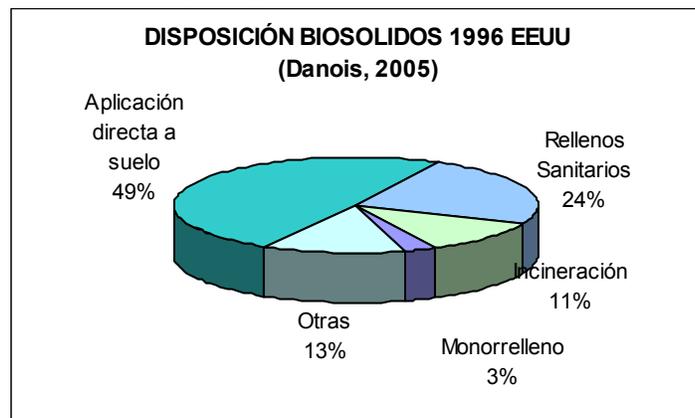
Son pocas las experiencias realizadas en Chile, exceptuando el caso de ESSBIO, sólo existen estudios piloto de utilización de biosólidos, que si bien se han realizado en distintas áreas, como actividades silvoagropecuaria, compostaje, recuperación de pasivos mineros, valorización de suelos degradados y plan de cierre de rellenos sanitarios (Aguas Andinas, 2006b) obteniéndose buenos resultados, no se ha logrado implementar un sistema sustentable de reutilización de biosólidos. Es por esto que se analiza lo ocurrido en distintos países en cuanto a la opciones uso y disposición utilizadas.

La normativa española referente al Plan Nacional de Lodos de Depuradora 2001-2006, recomienda que se siga el siguiente orden, con relación a la utilización de biosólidos:

- 1.- Aplicación al Suelo como fertilizante.
- 2.- Valoración energética.
- 3.- Deposito en vertedero.

A continuación, en la Figura 1, se muestra la distribución de opciones de uso y disposición a la que se han destinado los biosólidos producidos por EEUU al año 1996:

Figura 1. Opciones de Uso y Disposición 1996



(Danois, 2005)

En el mismo ámbito, podemos ver que la tendencia en EEUU es contraria a la disposición en vertederos o monorrelleno, orientándose cada vez mas hacia un uso benéfico de los biosólidos como se puede ver en la Figura 2 (Danois, 2005)

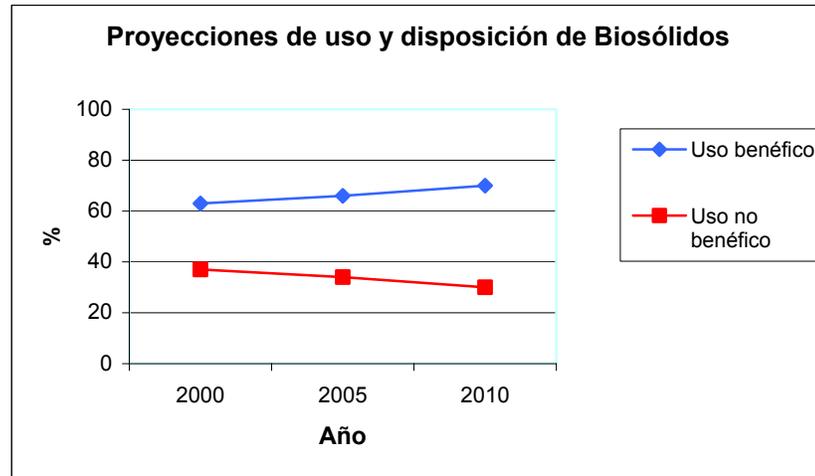


Figura 2 Proyecciones de uso y disposición de Biosólidos en EEUU (Danois, 2005)

Si se analiza lo que ocurre en la Unión Europea donde el promedio de utilización de biosólidos en agricultura es de 40% de la producción anual, y se analiza la situación de países mediterráneos como Francia y España la distribución entre las diferentes Opciones de uso y disposición es la que se indica en el Cuadro 6 (N.R. Council 2002, en Salazar 2003)

Cuadro 6. Producción de lodos y distribución porcentual de Opciones de disposición en Francia y España al año 1992

Estado	Producción Biosólidos (1000 ton peso seco/año)	Distribución Porcentual Opciones de Disposición			
		Agricultura	Relleno Sanitario	Incineración	Disposición al mar
Francia	865,4	58	27	15	
España	350	50	35	5	10

(Bossche, 2005)

Si el Cuadro anterior lo comparamos con lo que ocurre al año 2005, que se muestra el Cuadro 7, (Bossche, 2005) Podemos ver un ligero aumento en el uso agrícola de biosólidos en Francia, así como una disminución en ambos países con relación a la disposición en relleno sanitario, esta disminución es aún mas fuerte en España.

Cuadro 7. Producción y distribución porcentual de opciones de disposición en Francia y España al año 2005

Estado	Producción Biosólidos (1000 ton peso seco/año) aprox.	Distribución Porcentual Opciones de Disposición			
		Agricultura y Compostaje	Relleno Sanitario	Incineración	Otros
Francia	1222	60	25	15	
España	1110	46	25	5	24

(Bossche, 2005)

Análisis de Calidad de Biosólidos generados en la Región Metropolitana

Previo a la selección de una u otra opción es necesario revisar la calidad de biosólidos generados en la Región Metropolitana. Estos provienen en su totalidad de las plantas de tratamiento de aguas servidas, de propiedad de Aguas Andinas S.A. En el Cuadro 8 se pueden ver los parámetros analizados y los resultados obtenidos para las planta de tratamiento El Trebal, La Farfana y Localidades, este último corresponde a las plantas ubicadas en Paine, San José de Maipo, Trapenses, El Monte, Chicureo, Olivos y Talagante.

Cuadro 8. Valores Promedio Análisis de Biosólidos producidos el año 2005

Parámetro	Unidades	LOCALIDADES	TREBAL	FARFANA
Arsénico	mg/kg m.s	7,4	19,1	9,3
Cadmio	mg/kg m.s	0,58	2,37	1,5
Cromo	mg/kg m.s	23,4	196,5	682,5
Cobre	mg/kg m.s	636,4	533,65	502,94
Mercurio	mg/kg m.s	6,0	1,8	2,0
Humedad	%	84,7	28,5	73,3
Molibdeno	mg/kg m.s	21,7	35,6	25,2
Niquel	mg/kg m.s	10,60	63,71	43,0
NKT	g/kg	47,12	33,63	46,9
Fósforo	g/kg	16,5	20,4	18,8
Plomo	mg/kg m.s	34,9	54,8	74,1
Selenio	mg/kg m.s	1,5	3,7	2,4
Sólidos Volátiles	%	56,8	44,8	56,0
Zinc	mg/kg m.s	459,6	1251,5	1687,3
Coliformes fecales	NMP/g M.S	72,00	311,75	5.035.000

Si estos valores los comparamos con las diferentes normativas internacionales que se muestran resumidas en el Cuadro 9, en esta se destacan en color, de acuerdo a procedencia según Cuadro 8, los valores que son sobrepasados de las distintas normas.

Cuadro 9. Resumen normativa referente a la aplicación de biosólidos

Parámetro	Unidades	NCH	EPA	ARG	MEXICO	CEE 86	CEE NUEVA	FRANCIA
Arsénico	mg/kg m.s	20,00	75	75	41			
Cadmio	mg/kg m.s	8,00	85	20-40	39	20-40	10	10
Cromo	mg/kg m.s		3000	1000-1500	1200			
Cobre	mg/kg m.s	1000,00	4300	1000-1750	1500	1000-1750	1000	1000
Mercurio	mg/kg m.s	10,00	57	16-25	17	16-25	10	10
Molibdeno	mg/kg m.s		75					
Níquel	mg/kg m.s	80,00	420	300-400	420	300-400	300	200
Plomo	mg/kg m.s	300,00	840	750-1200	300	750-1200	750	800
Selenio	mg/kg m.s	50,00	100					-
Zinc	mg/kg m.s	2000,00	7500	2500-4000	2800	2500-4000	3000	3000
Coliformes fecales	NMP/g M.S	< 2x10 ⁶	< 2x10 ⁶	< 2x10 ⁶	<1000			

El análisis anterior, muestra que en ningún caso son sobrepasados los valores de los parámetros medidos, sólo en el caso de los biosólidos provenientes de la planta La Farfana, los cuales, en valores de Coliformes Fecales se encuentran por sobre lo normado. Sin embargo es algo que de acuerdo al proceso no debiera ocurrir y se debiera mejorar. A pesar de esto último la calidad de los biosólidos producidos en la Región Metropolitana es muy buena, quedando incluso un porcentaje de los biosólidos provenientes de las plantas en El Trebal y Localidades como biosólidos Clase A, sin que se pueda afirmar que esto ocurrirá siempre, debido al tratamiento actual al que son sometidos los biosólidos producidos en la Región Metropolitana. Un biosólido clase A es aquel que tiene una densidad de coliformes fecales menor a 1.000 NMP/g de sólidos totales en base materia seca, o una densidad de Salmonella sp. menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca, y tiene un contenido de ova helmíntica menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales, en base materia seca. Estos biosólidos no presentan restricciones sanitarias para ser aplicados al suelo, siendo la única restricción el que deben ser aplicados dentro de las ocho horas posteriores al proceso de tratamiento de patógenos. Los biosólidos Clase B, por su parte, presentan restricciones sanitarias de aplicación dependiendo de la localización de los suelos y/o de los cultivos, en cultivos hortícolas y frutícolas menores que se consuman sin proceso de cocción, este tipo de biosólidos deberá ser aplicado 12 meses antes de la siembra, en el caso de cultivos forrajeros y praderas sólo se podrá acceder a cosecha o pastoreo pasados 30 días desde la última aplicación.

Basado en lo anterior se puede decir que la gama de usos posibles de biosólidos no tendría restricciones debido a la calidad de estos.

Escenario legal y técnico para uso y disposición de biosólidos

En Chile, las normas que rigen el uso y disposición de biosólidos en las distintas actividades parten con la ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, mediante el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. A este deben someterse las empresas que manejen plantas de tratamiento de aguas servidas y el reglamento de este sistema, con ello deben cumplir la Resolución de Calificación Ambiental, en donde se dispone donde deben ser llevados los biosólidos producidos por la planta. Cualquier modificación a la Resolución que se pretenda realizar debe entrar al SEIA, ya sea como Estudio o Declaración según corresponda.

El Reglamento Para El Manejo De Lodos No Peligrosos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas, a través de la Resolución Exenta N°563 del año 2000, es uno de los primeros avances en cuanto a la reutilización de biosólidos en distintas actividades. En el se reconocen las propiedades agronómicas que presentan los lodos y se establecen parámetros aptos para aplicar biosólidos. Este reglamento tiene por objetivo regular el manejo sanitario de biosólidos para proteger la salud de la población y prevenir el deterioro de lo recursos naturales, aire, agua flora, fauna y suelo. Prohibiéndose terminantemente el vertimiento de biosólidos al mar.

Este reglamento en su título II hace referencia a la utilización de biosólidos en la agricultura en donde establece las condiciones técnicas, monitoreo y seguimiento de biosólidos destinados a esta opción. Establece las características que deben presentar los biosólidos en cuanto a criterios sanitarios, contenidos de metales pesados y evaluaciones ecotoxicológicas. También señala características del sitio de aplicación, comprendiendo clases de suelo, algunas características de estos y contenidos de metales de pesados. Por último deja en claro los criterios que deben tomar en cuenta a la hora de aplicar biosólidos medidas precautorias, sanitarias, metales pesados y nutrientes. El Cuadro 10 y Cuadro 11 se muestran el resumen de las características que establece la norma deben presentarse como aptos para recibir biosólidos.

Cuadro 10. Parámetros intrínsecos del suelo que determinan su aptitud para aplicación de lodos Exenta563

Parámetro	Tipo de variable	Rango de variación	Rango apto	Rango restringido
pH	Directa, continua	1-14	> 5,0	<= 5,0
Textura	Directa, continua	0 – 100% arena; 0-100% arcilla	< 70% arena ó => 70% arena y => 10% arcilla	=> 70% arena y <= 10% arcilla
Saturación	Directa, discreta	Si – No	No	Si
Napa freática	Directa, continua	0 - > 100 cm	> 100 cm	< 100 cm
Riesgo de Inundación	Directa, discreta	Raro – Muy Frecuentemente	Raro	Frecuente – Muy frecuente
Pendiente	Directa, continua	0 - > 15 %	<= 15 % (<= 2% requiere manejo)	> 15 %

Cuadro 11. Parámetros del sitio que determinan su aptitud para aplicación de lodos

Parámetro	Tipo de variable	Rango de variación	Rango apto	Rango restringido
Presencia de nieve	Directa, discreta	Si – No	No	Si
Distancia a captación de aguas subterráneas para agua potable	Directa, continua	0 - > 300 m	> 300 m	< 300 m
Distancia a captaciones superficiales de agua potable	Directa, continua	0 - > 1000 m	> a 300 m aguas arriba	< 300 m aguas arriba
Distancia a riberas de ríos y lagos	Directa, continua	0 - > 15 m	> 15 m	< 15 m

El Cuadro antes mencionado regula la aplicación de biosólidos para ser aplicados en suelos de uso agrícola, forestal, jardinería y restauración de suelos degradados. El depósito de biosólidos en minas subterráneas, zonas de extracción de áridos y canteras, según la resolución exenta 563, no es considerado como utilización de biosólidos si no que como forma de disposición final, por lo que debe cumplir con el título III de la norma mencionada. En el se establece el límite máximo de 6% en caso de co- disposición de biosólidos en un relleno sanitario, así como las medidas que se deben tomar para depositar lodos en un mono-relleno.

Se encuentra en análisis, al momento de realizar este estudio, el nuevo Reglamento Para El Manejo De Lodos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas, Decreto Supremo N° 123. Esta orientado mayormente a la recuperación de suelos debido a las características que presentan los biosólidos como mejorador de suelos, al incrementar la porosidad, la estabilidad de los agregados, la retención de agua y la aireación, como es el caso de suelos delgados con escasa materia orgánica y aquellos que se encuentran degradados. Este reglamento contiene muchas similitudes con el anterior, las diferencias

relevantes para este estudio radican en los parámetros intrínsecos de suelos y los parámetros propios del sitio que se encuentran en los Cuadros 12 y 13 respectivamente.

Cuadro 12. Parámetros intrínsecos del suelo que determinan su aptitud para aplicación de lodos DS/123

Parámetro	Tipo de variable	Rango de variación	Rango apto	Rango restringido
Clase de Aptitud frutal	Interpretativa, discreta	A, B, C, D y E	D y E A, B y C (suelos sin riego)	A, B y C (suelos con riego)
Napa freática	Directa, continua	0 - > 100 cm	> 100 cm	< 100 cm
pH	Directa, continua	1-14	> 5	<= 5
Saturación	Directa, discreta	Si - No	No	Si
Pendiente	Directa, continua	0 - > 60 %	<= 60 % (<= 15% en suelos no degradados)	> 60 %
Textura	Directa, continua	0 - 100% arena	< 70% arena	=> 70% arena
Clase de Estructura	Directa, discreta	clase 1 - 5	1- 4a (3a - 4a en suelos degradados)	4b - 5
Permeabilidad	Directa, continua	0 - + 36 cm h ⁻¹	0,0036 - 3,6 cm h ⁻¹ (Suelos productivos) 0.036 - 36 cm h ⁻¹ (Suelos degradados)	< 0.0036; > 36
Clase de Drenaje	Interpretativa, discreta	1 - 6	3 - 5	1 - 2, 6
Profundidad efectiva	Directa, continua	0 - + 100 cm	20 - 70 (Suelos productivos) > 20 (Suelos degradados)	< 20; > 70 (Suelos productivos)
Riesgo de Inundación	Directa, discreta	Raro - Muy Frecuentemente	Raro	Frecuente - Muy frecuente

Cuadro 13. Parámetros del sitio que determinan su aptitud para aplicación de lodos

Parámetro	Tipo de variable	Rango de variación	Rango apto	Rango restringido
Disponibilidad de riego	Directa, discreta	Si - No	Todos	Todos
Presencia de nieve	Directa, discreta	Si - No	No	Si
Degradación del suelo	Interpretativa, discreta	Si - No	Todos	Todos
Distancia a captación de aguas subterráneas para agua potable	Directa, continua	0 - > 300 m	> 300 m	< 300 m
Distancia a captaciones superficiales de agua potable	Directa, continua	0 - > 1000 m	> a 1000 m aguas arriba; > a 200 m aguas abajo	< 1.000 m aguas arriba; < 200 m aguas abajo
Distancia a riberas de ríos y lagos	Directa, continua	0 - > 15 m	> 15 m	< 15 m

El DS/123 incorpora nuevos parámetros a la utilización de biosólidos, como clase de aptitud frutal, permeabilidad, clase de drenaje y profundidad efectiva, también modifica algunas variables como pendiente, esto lo hace más restrictivo que el anterior. En cuanto al parámetro Clase de Estructura, este corresponde a la clasificación realizada en el DS/123 de acuerdo al tamaño de la unidad estructural.

Hasta el momento del estudio no se han realizado aplicaciones intensivas de biosólidos, si no más bien experiencias piloto al respecto, salvo el caso de ESSBIO quien en su resolución de calificación ambiental (RCA 229/2002) debe cumplir con el Reglamento Sobre Manejo De Lodos No Peligrosos de CONAMA en su versión 2001 y no podrá aplicar en suelos agrícolas hasta que presente el resultados de estudios que demuestren el carácter benéfico de estos usos. Esto indica que estos reglamentos están siendo utilizados, a pesar de no encontrarse promulgados.

Para las otras opciones seleccionadas, Extracción de Áridos, Tranques de Relaves, Cierre de Rellenos Sanitarios rigen las resoluciones de calificación ambiental y sus propios estudios de impactos ambiental, relacionados específicamente a la etapa de cierre y abandono de las operaciones. En ellas se exige realizar una revegetalización, por distintos motivos como son disminuir la erosión hídrica y eólica, asegurar la estabilidad de taludes, cubrir y mejorar paisajísticamente zonas con un alto potencial de transformarse en vertederos ilegales e intentar rehabilitar las zonas de operación a las condiciones que presentaba previamente al inicio de las actividades.

Resultado Consulta Experto con relación a selección de opciones de uso y disposición

Como Resultado del análisis del cuestionario realizado al panel de expertos, el cual contó con un universo muestral de 19 expertos, y referente a su preferencia dentro de las opciones de uso estas se muestran a continuación de acuerdo a la orientación de la pregunta.

La Figura 3 corresponde a la pregunta 1 del cuestionario (ver Apéndice “CUESTIONARIO”), en ésta se tiene que la menor preferencia sin ninguna condición de por medio, la tiene la codisposición en relleno sanitario, al igual que en los análisis antes realizados a los usos en otros países. La mayor preferencia fue asignada por los expertos a los tranques de relaves y uso forestal.

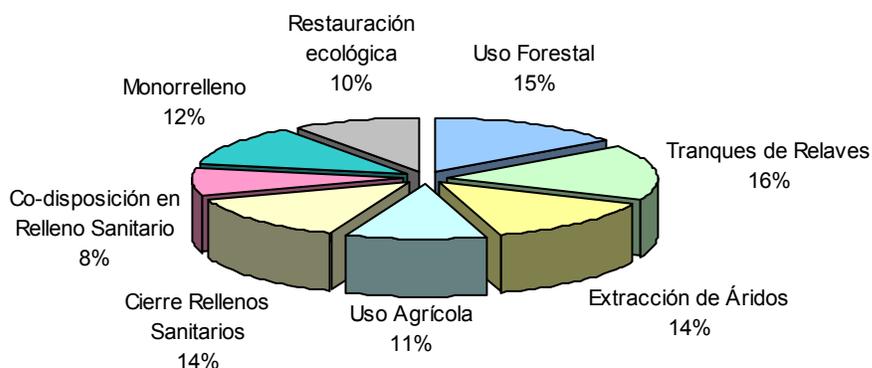


Figura 3. Selección de Opciones frente a preferencia abierta

En la Figura 4, que corresponde a la pregunta 4 del cuestionario, relacionada con la elección de la mejor opción en cuanto a viabilidad económica. El resultado dejó totalmente afuera la opción de codisposición, siendo actualmente una de las opciones con mas altos costos, debido al traslado y a las tarifas fijadas por los rellenos sanitarios para recibir biosólidos en sus terrenos. La opción con mayor aceptación fue la relacionada con la aplicación de biosólidos en tranques de relaves, seguido por el uso forestal.

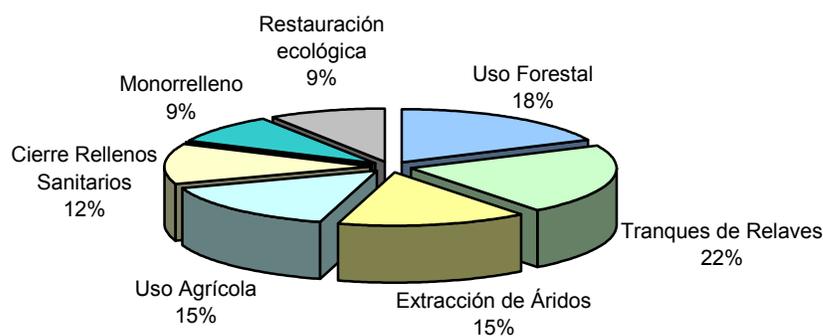


Figura 4. Selección de Opciones de Acuerdo a viabilidad económica

Coherente a lo que ocurre actualmente en Chile, donde la disposición actual se centra en el monorrelleno seguido de la codisposición, es que estas dos opciones representan, en conjunto, el 48% del total de opciones de acuerdo al criterio de factibilidad técnica, esto se representa en la Figura 5

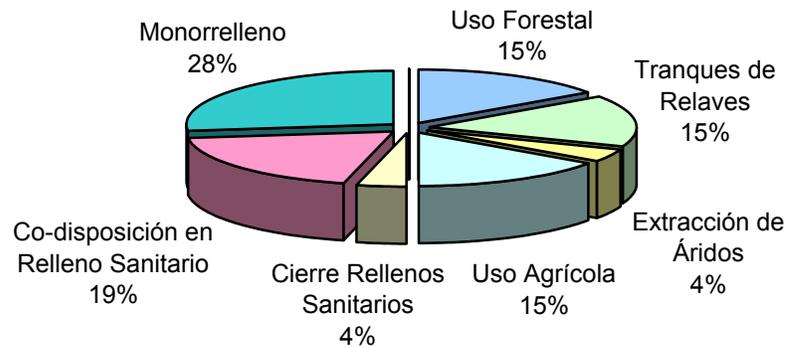


Figura 5. Selección de Opciones de acuerdo a factibilidad técnica

La Figura 6 muestra la preferencia de los expertos en cuanto a la capacidad que tendrían las diferentes alternativas de recibir biosólidos. En este caso la opción que muestra preferencia es el Uso Agrícola, seguido en igual porcentaje por el Uso Forestal, Uso en Tranques de Relaves y Uso en Extracción de Áridos, esto indica que a juicio de experto, estas tres opciones presentan igual capacidad de recepción de biosólidos. En conjunto las opciones de codisposición y cierre de rellenos sanitarios son las que mostraron menor preferencia en relación a este parámetro.

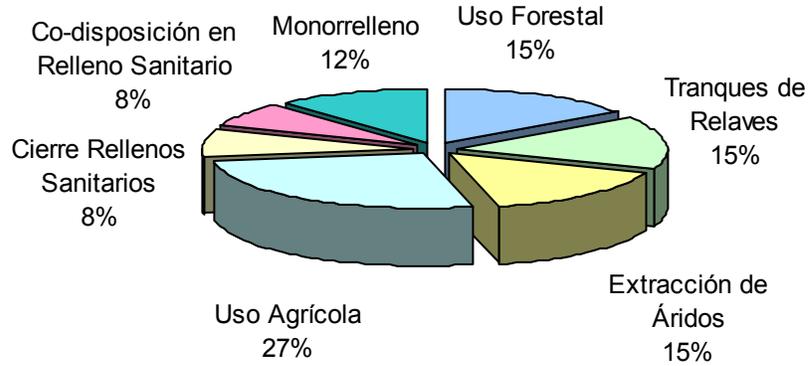


Figura 6. Selección de Opciones de acuerdo a capacidad de recepción de biosólidos

La información recopilada en cuanto a sustentabilidad de las opciones de uso y disposición resulta de gran relevancia debido al significado que tiene este concepto, el cual integra variables económicas, sociales y ambientales, buscando el equilibrio de ellas, lo que aseguraría la continuidad en el tiempo de la opción seleccionada. En este caso las opciones con mayor aceptación son el uso agrícola y forestal, y las de menos aceptación son el monorrelleno y la codisposición que para esta pregunta no tiene ninguna preferencia como opción sustentable, ésto se representa gráficamente en la Figura 7.

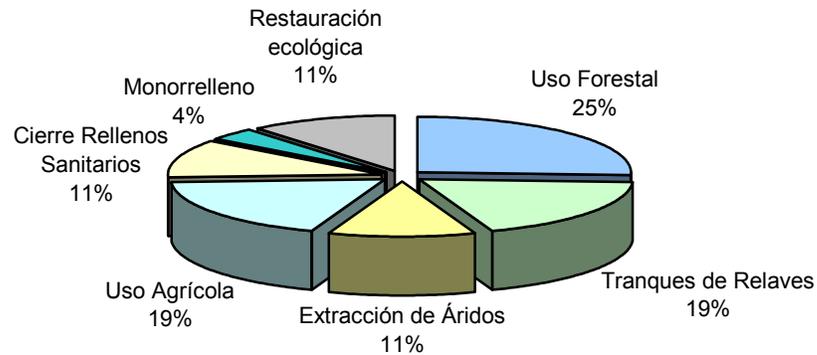


Figura 7. Selección de Opciones de acuerdo a sustentabilidad

En función de los análisis realizados en este capítulo las opciones de uso y disposición de biosólidos a evaluar y ser cartografiadas son:

- Uso Forestal
- Rehabilitación Tranques de Relaves
- Rehabilitación Extracción de Áridos
- Uso Agrícola
- Plan de Cierre Rellenos Sanitarios

Las opciones como recuperación ecológica y compostaje que se nombran en el análisis no son consideradas, la primera debido a la dificultad técnica que representa la aplicación de biosólidos en estos sitios y la segunda por no considerarse una opción de uso, si no mas bien, un proceso de estabilización y mejora del producto final. Además, en la Región Metropolitana sólo existen dos plantas de compostaje con las características para recibir biosólidos, sin embargo son pequeñas en relación a los volúmenes producidos.

En cuanto a la opción de disposición en rellenos sanitarios al no ser esta una opción de reuso y haber sido escasamente calificada dentro de la consulta experto, sólo será evaluada como una opción de contingencia y no como una opción de disposición primaria, destinando a ella sólo los biosólidos que no puedan ser utilizados en las otras opciones.

Uso Agrícola de Biosólidos

En el área agrícola, los biosólidos han sido utilizados para mejorar suelos degradados, donde se ha logrado mejorar características de la estructura del suelo como la estabilidad de los agregados, lo que contribuye a disminuir la susceptibilidad de suelos a erosionarse. Otra consecuencia positiva del uso agrícola es que aumentó la capacidad de intercambio catiónico, lo que conlleva un aumento en la fertilidad de suelos y en la disponibilidad de nitrógeno y fósforo. También se pudo evidenciar un aumento de densidad radicular, en un estudio realizado sobre cultivo de paltos (Aguas Andinas, 2006b), lo que muestra el carácter positivo que tiene la utilización de biosólidos en agricultura. En pruebas realizadas sobre cultivos de maíz, trigo y papa, se comprobó que los biosólidos aumentan el contenido de carbono orgánico y la capacidad de retención de agua del suelo sometido al tratamiento, lo que puede resultar muy favorable en cultivo de secano (SAG, 2004). A las buenas características que aportan los biosólidos en esta opción, se suma, el bajo costo que tiene la aplicación de biosólidos y la sostenibilidad en el tiempo de esta opción, siempre que se cumpla con las dosis apropiadas a las características del predio y tipo de cultivo donde se utilizará.

Cartografía Base Uso Agrícola de Biosólidos

En esta cartografía se puede visualizar la distribución que presenta el uso de suelo agrícola dentro de la Región Metropolitana. Este tiene una cobertura de 16,6% del total de superficie de la región correspondiente a 265.594 há de acuerdo a la base de datos de Uso de Suelo del Proyecto OTAS, se encuentra representada en la Figura 8.

El uso agrícola en la Región Metropolitana se encuentra situado preferentemente en valles aluviales, siendo la cuenca del río Maipo la que presenta el mayor agente modelador de éstos suelos. Estas zonas presentan un alta presión debido a su cercanía a grandes centros urbanos, como Santiago y Melipilla, que se encuentran en franco crecimiento con preferencia sobre suelos con buenas aptitudes agrícolas.

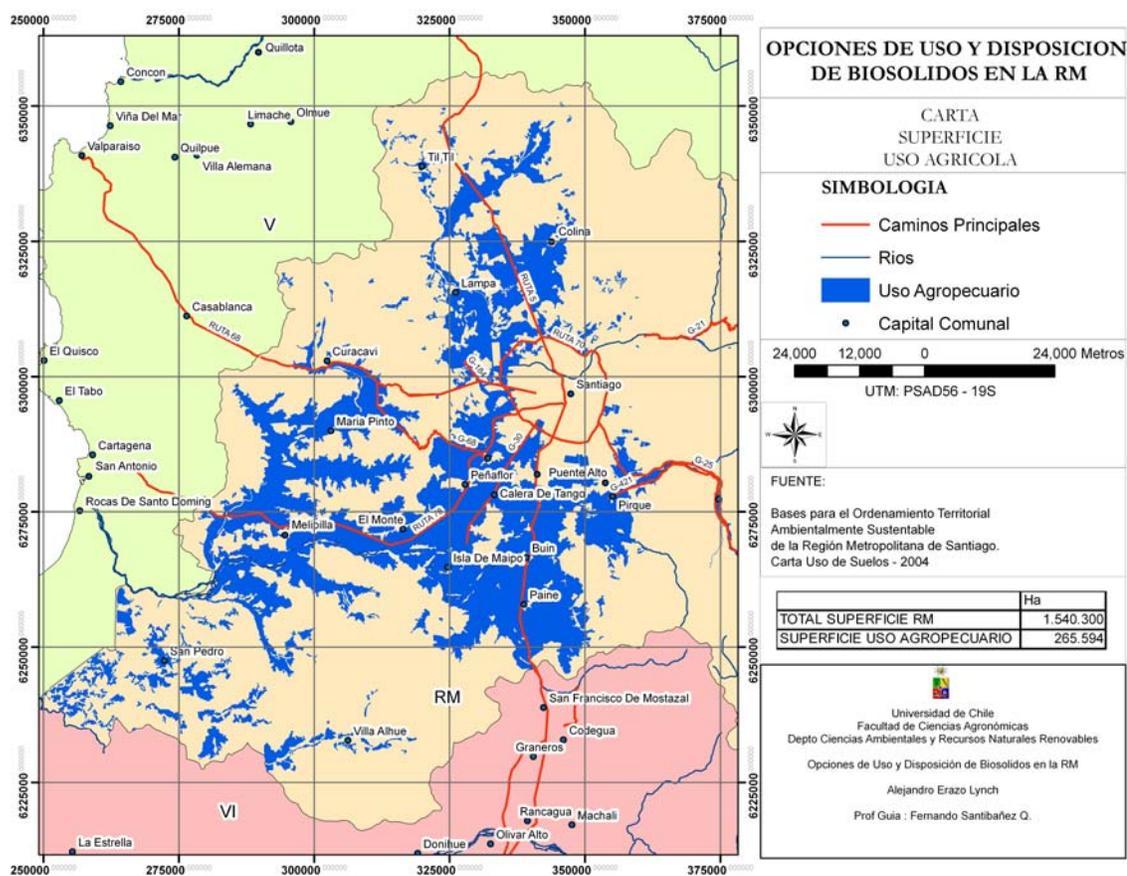


Figura 8. Superficie Agrícola en Región Metropolitana

Cartografía Escenario Técnico y Legal para Uso Agrícola de Biosólidos

La Figura 9, nos muestra como se distribuyen los suelos agrícolas de la Región Metropolitana de acuerdo al Proyecto De Reglamento Para El Manejo De Lodos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas DS/123. En relación a su aptitud para la recepción de biosólidos se clasifican en: aptos, restringidos y sin información. La superficie correspondiente a cada clasificación es la que se muestra en el Cuadro 14.

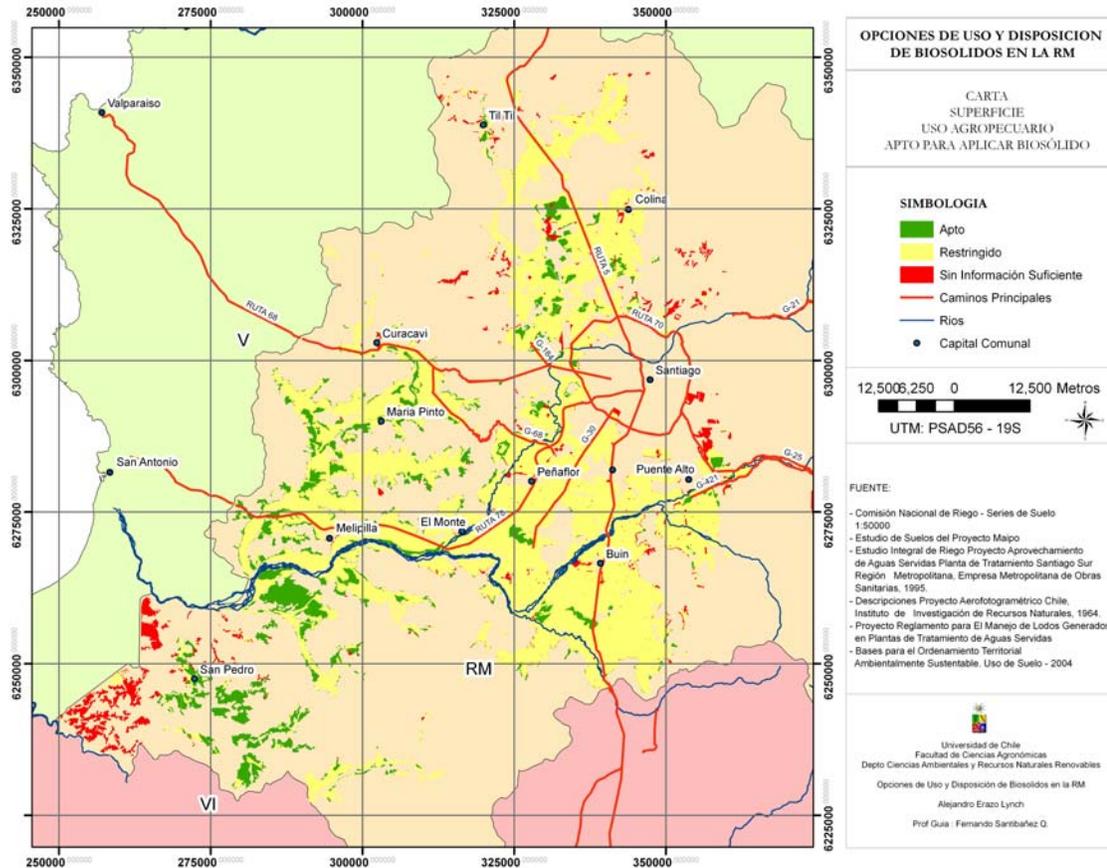


Figura 9. Superficie Agrícola Clasificada con relación al DS/123

Cuadro 14. Cuantificación superficie Uso Agrícola de biosólidos

USO AGROPECUARIO	
Condición Aptitud	Ha
Apto	34.474
Restringido	213.782
Sin Información Suficiente	17.336
TOTAL	265.592

Del Cuadro 14 se desprende que los suelos aptos alcanzan el 13% de la superficie agrícola de la Región, los suelos restringidos el 80,6% y los suelos sin información, esto quiere decir que no se puede descartar su posible utilización dentro de esta opción, tiene un valor de representatividad de suelos agrícolas de 6,5%.

Los suelos aptos tienen distribución de acuerdo a existencia de riego como se muestra el Cuadro 15, la distribución espacial se puede ver en Apéndice Condición de Riego de Suelos Aptos

Cuadro 15. Distribución de Suelos Aptos en función de condición de Riego.

	Ha	%
Secano	8.709	25,3
Riego	25.765	74,7
Total	34.474	

En cuanto al análisis realizado sobre las restricciones que presenta el proyecto de reglamento, en función de la aplicación benéfica a los suelos, éstas corresponden a lo que se muestra en el Cuadro 16. y se distribuyen espacialmente como muestra la Figura en Apéndice: Distribución de Restricciones Proyecto De Reglamento Para El Manejo De Lodos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas.

Cuadro 16. Distribución de Restricciones Proyecto De Reglamento Para El Manejo De Lodos Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Servidas

Restricción	%
Aptitud Frutal	55,5
Napa	15,5
Clase Drenaje	7,5
Textura	7,3
Profundidad Efectiva	5,8
Clase de Estructura	4,8
Riesgo Inundación	3,0
pH	0,4
Saturación	0,3
Pendiente	0,0
Permeabilidad	0,0

De este Cuadro se puede desprender que la variable que mas restringe el uso en esta opción es la aptitud frutal, y posteriormente la profundidad de acuíferos.

La distribución en relación a Series de Suelos aptas con uso agrícola, se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Distribución Series de Suelos aptas par recibir biosólidos

Serie	%	Serie	%
ALHUE (AHE)	21,9	PEUMO CHICO (PCH)	3,7
BATUCO (BTC)	3,1	PEUMO DE LO CHACON (PLC)	10,7
CLARILLO (CLR)	0,1	PIEDMONT CUESTA DE BARRIGA (PTB)	0,2
CODIGUA (CDG)	3,6	PIEDMONT LO VASQUEZ (PLV)	13,6
CUESTA VIEJA (CTV)	0,0	PINTUE (PNT)	1,0
GUAY-GUAY (GGU)	0,3	POMAIRES (PMR)	0,1
HACIENDA ALHUE (HDL)	0,1	PUDAHUEL (PD)	1,2
HUECHURABA (HUE)	0,2	PUDAHUEL (PUD)	4,0
LA VILANA (VLA)	1,2	QUILAMUTA (QLT)	1,7
LAMPA (LMP)	2,4	RANCHILLO (RC)	0,3
LAS CRUCES (LCR)	0,4	RINCONADA DE LO VIAL (RLV)	0,3
LIRAY (LRA)	0,2	SANTA RITA DE PIRQUE (SRT)	0,2
LO PRADO (LPD)	0,4	SANTA ROSA (SRS)	0,8
LO VASQUEZ (LVZ)	7,5	SANTA SARA (SSR)	0,1
LO VASQUEZ (LVZ)	3,7	SANTIAGO (STG)	1,2
LONQUEN (LON)	1,8	TAQUERAL (TAQ)	1,4
LOS CARDENALES (CRD)	0,4	TERRAZAS ALUVIALES ESTRATIFICADAS (T-10)	1,7
LOS MORROS (MMR)	1,3	TERRAZAS REMANENTES RELICTAS (TR-3)	0,2
MAIPO (MAO)	1,4	TRONADOR (TRO)	3,0
MAPOCHO (MPC)	0,3	VALDIVIA DE PAINE (VAP)	1,8
MINGACO (MIN)	0,1	VILUMA (VLM)	0,6
PATAGUILLA (PAT)	0,3	VIUDA VIEJA (VIV)	1,5

Las Series de Suelos Alhue, Piedmont Lo Vasquez y Peumo de Lo Chacón concentran la mayor superficie de apta de recibir biosólidos concentrando el 46% de la superficie apta de la región.

Si se analiza la distribución, en cuanto a límites políticos de la región, se tiene un comportamiento de acuerdo a la Figura 10, donde la provincia de Melipilla, en concordancia con la distribución de superficie agrícola dentro de la Región Metropolitana, tiene la mayor superficie apta.

Distribución de Superficie Apta Provincias de la RM

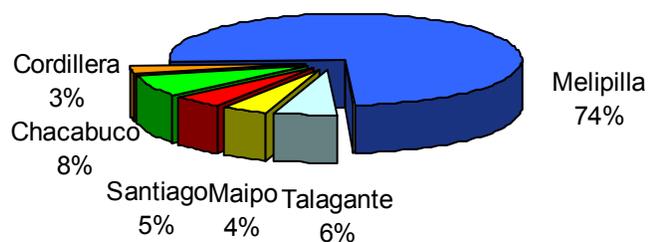


Figura 10. Distribución de Superficie Apta en Provincias de la Región Metropolitana

Si este análisis es llevado a una escala mayor de nivel, comunal, la mayor superficie apta para recibir biosólidos se encuentra en las comunas de Melipilla, San Pedro y Maria Pinto, distribuyéndose en las otras comunas de la región la cantidad restante de superficie. El Cuadro 18 y la Figura 11 muestran en detalle la situación de cada comuna.

Distribución Comunal Superficie Apta

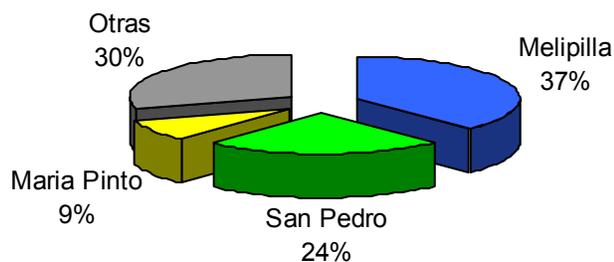


Figura 11. Distribución Comunal de Superficie Apta

Cuadro 18 Distribución Comunal de Superficie Apta en la Región Metropolitana

COMUNA	%	COMUNA	%
ALHUE	1,1	PADRE HURTADO	1,3
BUIN	2	PAINE	2
CALERA DE TANGO	0,1	PEÑAFLORES	0,4
COLINA	1,7	PIRQUE	1,6
CURACAVI	3,5	PUDAHUEL	2,5
EL MONTE	1,8	PUENTE ALTO	1,1
HUECHURABA	0,3	QUILICURA	0,7
ISLA DE MAIPO	0,4	SAN BERNARDO	0,1
LAMPA	5,2	SAN PEDRO	23,7
MAIPU	1,2	TALAGANTE	1,9
MARIA PINTO	8,8	TILTIL	0,9
MELIPILLA	37,8		

Análisis Multicriterio opción de uso Agrícola de Biosólidos

En la Figura 12 se ve las zonas que presentan las mejores condiciones, con relación a los criterios ingresados a evaluación. Los rangos están divididos en decíle, las zonas verdes representan los mejores sitios para reuso y las rojas los sitios con menor condición para recibir biosólidos.

Este resultado está influido, principalmente, por el peso que tiene la distancia a las plantas de tratamiento, las cuales son el lugar de producción de los biosólidos, debido a que a mayor distancia aumentan los costos de traslado y los riesgos de sufrir un accidente durante éste.

En la Figura 13 se ve sólo aquellas zonas que corresponden al 10% de mejor superficie para recibir biosólidos. En este Caso la distribución comunal varía a lo visto anteriormente debido a que el factor con mas peso dentro de la evaluación es la distancia a las plantas de tratamiento, los sitios que quedan mas alejados son evaluados con un menor valor.

La distribución queda expresada en el Cuadro 19, en este caso las comunas más atractivas para realizar valorización agrícola de biosólidos serían Lampa, Colina y Pudahuel. Sin embargo estas comunas se encuentran dentro de las comunas con alta posibilidad de expansión urbana, en especial Pudahuel, por lo que posibilidad real de aplicar biosólidos en dichas zonas se puede ver complicada por este aspecto.

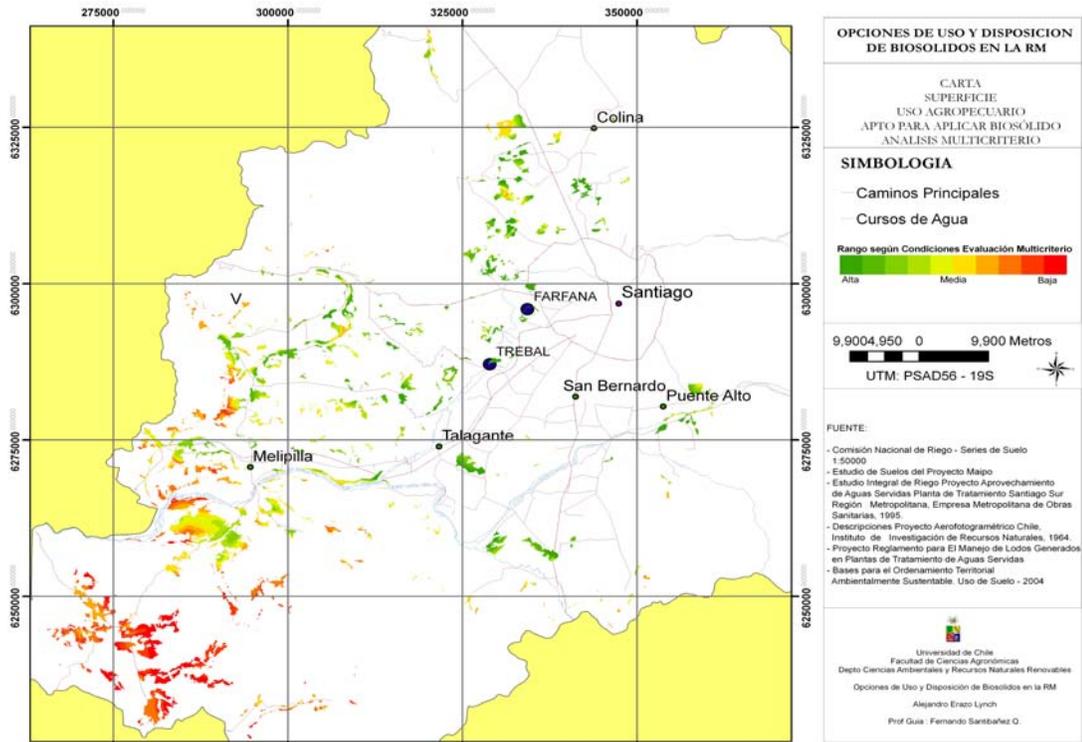


Figura 12. Suelos Agrícolas con mejores condiciones de recepción de biosólidos.

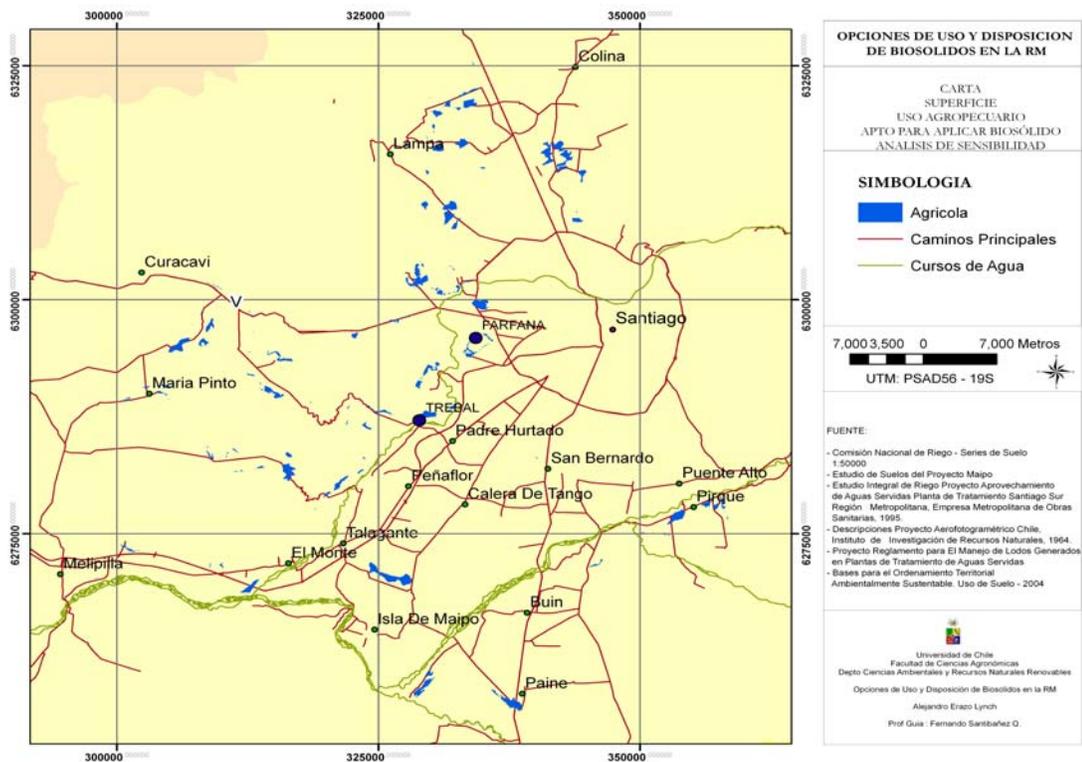


Figura 13. 10% Superficie mejor evaluada para recibir biosólidos Uso Agrícola

Cuadro 19. Distribución de Suelos Aptos por Comuna

COMUNA	ha	%
LAMPA	571,9	16,6
PUDAHUEL	447,3	13,0
COLINA	376,4	10,9
TALAGANTE	276,0	8,0
CURACAVI	266,1	7,7
MELIPILLA	227,1	6,6
PIRQUE	218,5	6,3
MARIA PINTO	182,9	5,3
PADRE HURTADO	186,2	5,4
MAIPU	175,5	5,1
BUIN	168,8	4,9
PAINE	134,8	3,9
EL MONTE	87,5	2,5
PEDAFLOR	84,1	2,4
HUECHURABA	37,1	1,1
SAN BERNARDO	3,6	0,1
QUILICURA	3,1	0,1
TOTAL	3.447	100

La superficie necesaria para valorizar, en esta única opción, la producción del año 2006 (56.940 ton MS) y considerando lo dispuesto por el reglamento en cuanto a una dosis de 50 ton/ha para suelos degradados y 30 ton/ha en suelos productivos, es de 11.388 ha y 18.980 ha respectivamente. Lo que bajo el supuesto de que el 10% de la superficie apta acepta aplicar biosólidos indica que se podría valorizar el 18% de la producción al año 2006 de biosólidos.

Este mismo análisis para el año 2010 (Cuadro 1. Proyección de producción de biosólidos.) Implicaría contar con 17.319 ha y 28.865 ha de superficie apta con dosis de 50 y 30 ton/ha respectivamente, bajo el mismo supuesto la superficie disponible, permitiría valorizar el 12% de la producción anual de biosólidos, tomando en cuenta que al año 2010 deberían estar en funcionamiento nuevas plantas en localidades y una tercera macroplanta, los porcentajes de valorización se calcularon sobre una base de aplicación de 30 ton/ha año.

En el Cuadro 20 se ve el análisis para 10 años de evaluación producción, según estimación de producción de biosólidos realizada por Aguas Andinas S A. La Figura 24 muestra, gráficamente, lo que ocurre con el porcentaje de valorización de biosólidos en uso agrícola. Se puede distinguir una gran caída del porcentaje de valorización para el año 2010, la cual pasa de 17,5% de biosólidos valorizados en el año 2009 a 11,7% de biosólidos valorizado en el año 2010, esto se debe principalmente a la puesta en marcha, de acuerdo al plan de

depuración de aguas de la Región Metropolitana, de nuevas plantas de tratamiento lo que haría aumentar la cantidad de biosólidos disponible.

Cuadro 20. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos en Uso Agrícola

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización de Producción
2007	57.128	18,1
2008	58.123	17,8
2009	59.202	17,5
2010	87.155	11,9
2011	88.468	11,7
2012	89.779	11,5
2013	91.113	11,3
2014	92.418	11,2
2015	93.751	11,0
2016	95.099	10,9
2017	96.428	10,7

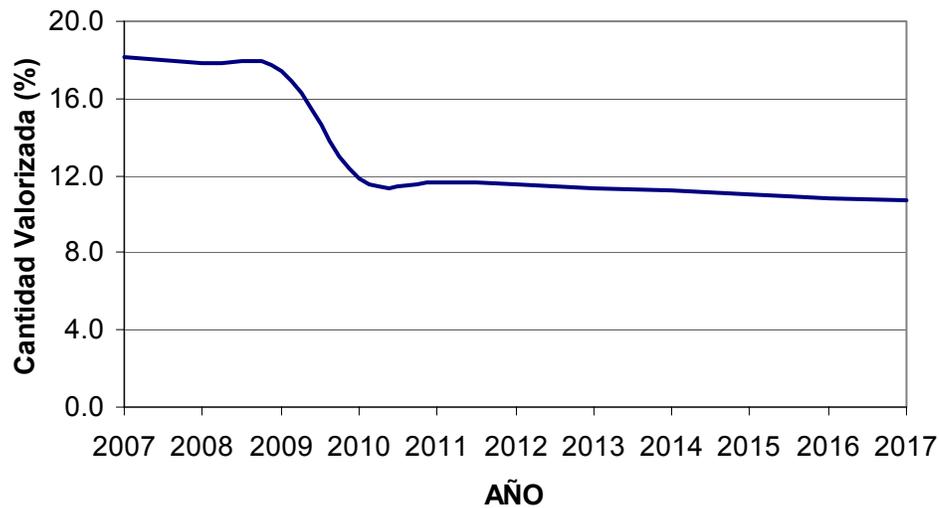


Figura 14. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Agrícola

Uso de Biosólidos en plantaciones forestales

En cuanto a la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales, esta es muy fuerte en países como Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia, obteniendo resultados de aumento de sobrevivencia en especies de *Pinus halapensis* y *Quercus ilex*, sumado a un mayor crecimiento en altura y diámetro (Cortina et al, 2001). Se recomienda su aplicación en bosques jóvenes (2 a 10 años) ya que en esa época las plantaciones son mas tolerantes a las dosis de aplicación. El control de la competencia representa un problema menor al aplicarse después de la época de tala o roza, y los niveles de asimilación de nitrógeno se incrementan rápidamente por lo que las dosis pueden ser algo mayores y el acceso de maquinaria es aún aceptable. Este uso presenta inconvenientes menores como que la aplicación, si se utiliza el método de aspersión, debe hacerse en periodos de dormancia para evitar dañar el follaje, y se debe mantener un control de malezas.

En Nueva Zelanda la aplicación de biosólidos líquidos, durante 3 años de aplicación en *Pinus radiata*, generó incrementos en volumen de 39%, siendo utilizados también para rehabilitar caminos en predios forestales (FONDEF D01/1034) En nuestro país, actualmente, la Empresa ESSBIO tiene una resolución de calificación ambiental (Resolución Exenta N°229/2002) aprobada para la utilización de biosólidos en plantaciones forestales de la VIII Región.

En tanto, un estudio realizado por Toro en el año 2005 determinó la posibilidad de que el 8,5% de la superficie de la VI Región presente características favorables para el uso forestal de lodos. Estos podrían generar incrementos de volumen entre 3 a 4 m³/ha/año. (Chye et al citado por Toro,2005)

Cartografía base para Uso de biosólidos en plantaciones forestales

En la Figura 15, se puede ver la escasa superficie de plantación forestal existentes en la Región Metropolitana, estas son 4.437 há lo que corresponde sólo al 0,29% de la superficie total de la Región Metropolitana, de acuerdo a la fuente del Proyecto OTAS. Estas se sitúan preferentemente en las zonas de secano de la cordillera de la costa y algunas zonas cercanas a la localidad de Colina

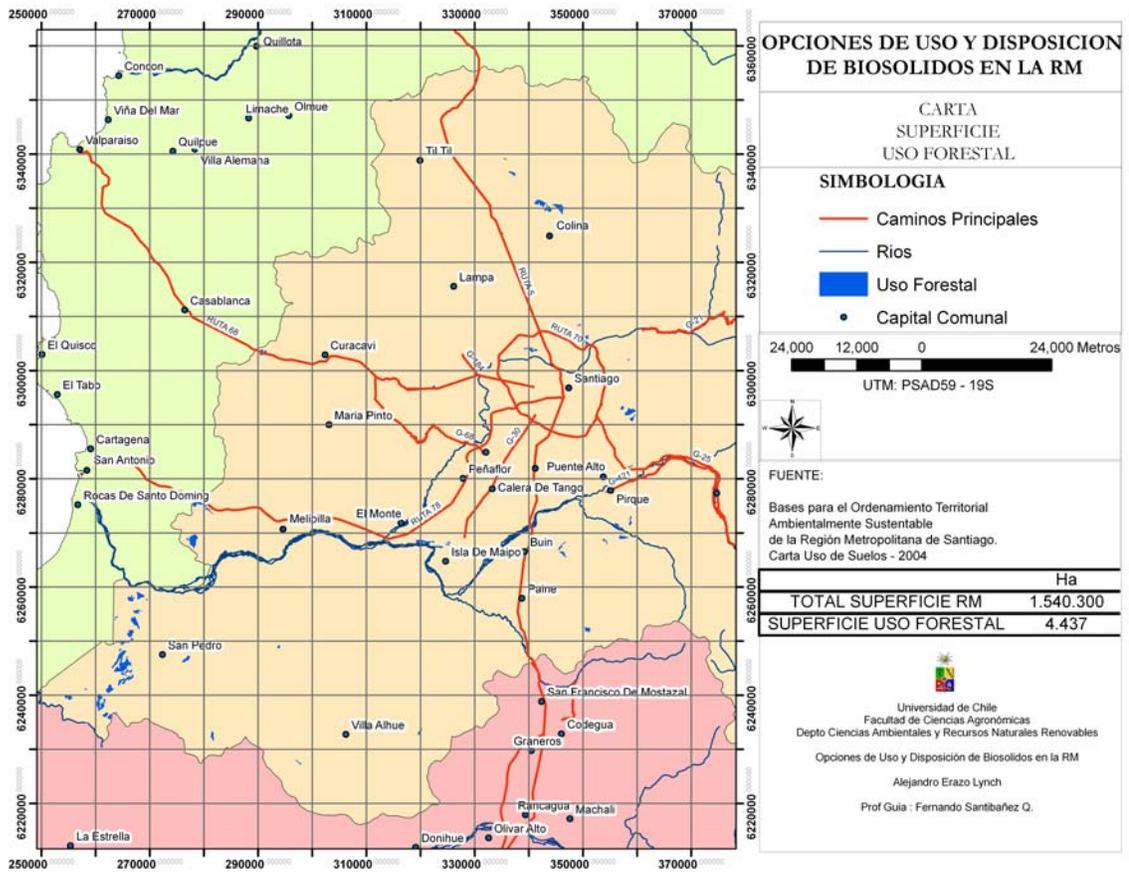


Figura 15. Superficie Forestal en Región Metropolitana

Cartografía Escenario Técnico y Legal para uso de biosólidos en plantaciones forestales

Sólo el 50% de la superficie forestal total resulta apta de recibir biosólidos, como muestra el Cuadro 21. Ésta superficie se concentra principalmente en la comuna de San Pedro, con un 96% de la superficie, el otro 4% se encuentra en la comuna de Curacavi, ambas en la Provincia de Melipilla, distribuidos espacialmente en éstas comunas como muestra la Figura 16.

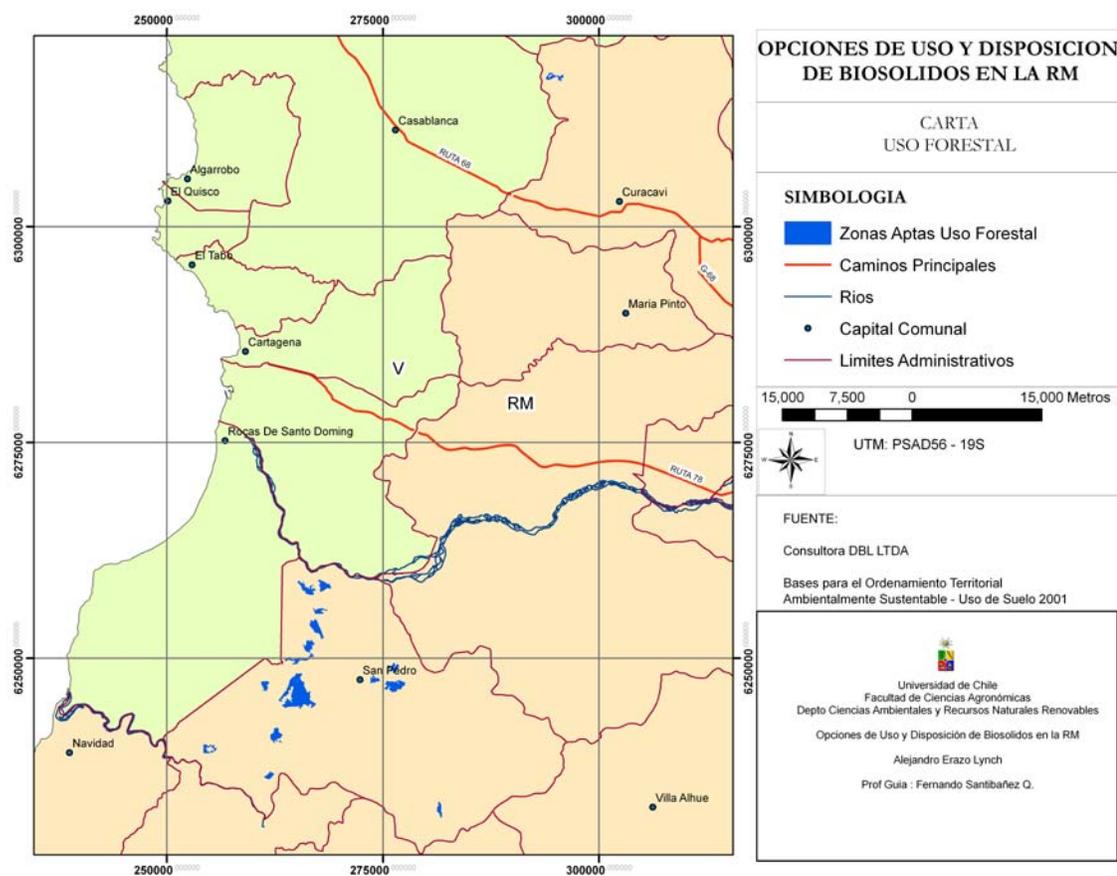


Figura 16 Zonas Aptas Uso Forestal de Biosólidos

Cuadro 21. Cuantificación hectáreas de plantación forestal apta de recibir biosólidos

	Ha
Superficie Plantación Forestal RM	4.313
Superficie Plantación Forestal Apta	2.274

Análisis Multicriterio opción de Uso de biosólidos en plantaciones forestales

En las Figura 17 y 18 se representa el 10% de superficie apta que presenta mejor condición para recibir biosólidos, en relación a los factores de la evaluación multicriterio. Éste 10% corresponde a una superficie de 227 há, la que permitiría una valorización de biosólidos, de acuerdo a los valores de producción del Cuadro 1, de 1,2% de la producción del año 2006 y 0,6% de la producción del año 2010, ambos contemplando una dosis de biosólidos 30 ton/ha MS. Ésta disminución de puede ver claramente en la Figura 19, donde se evalúa la

condición para 10 años de producción, lo mismo se muestra en porcentajes en el Cuadro 22. Para el año 2010 la reducción a la mitad del porcentaje de utilización de biosólidos en esta alternativa se produce por la puesta en marcha, de acuerdo al plan de depuración de aguas de la Región Metropolitana, de nuevas plantas de tratamiento, lo que haría aumentar la cantidad de biosólidos disponibles.

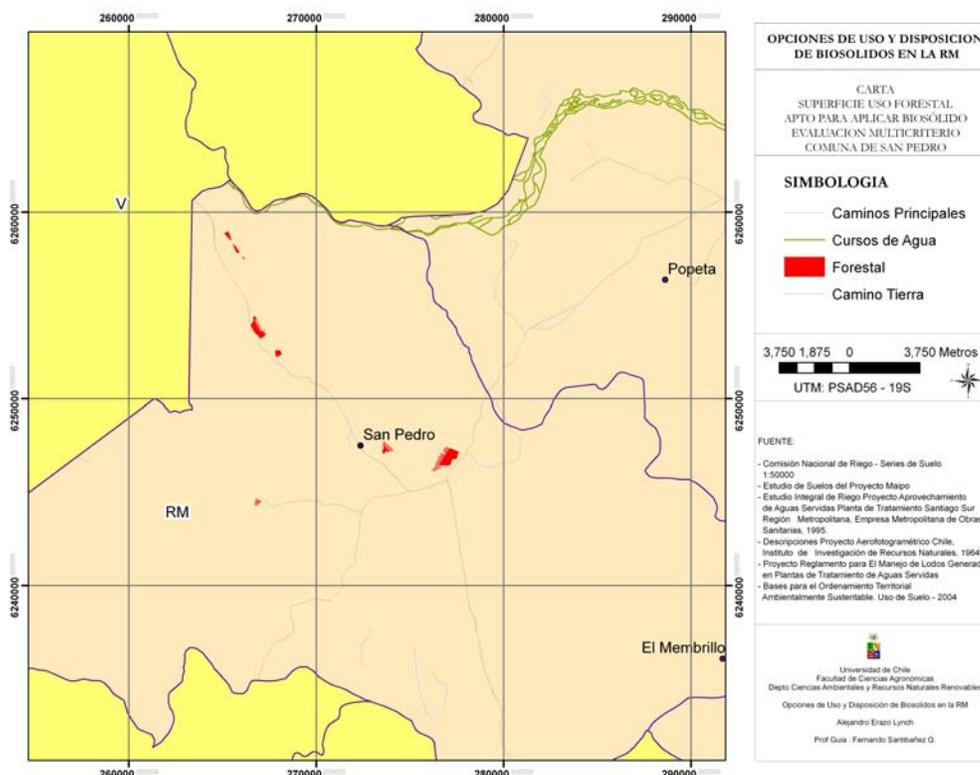


Figura 17. Superficie evaluada para recibir biosólidos Uso Forestal Comuna de San Pedro

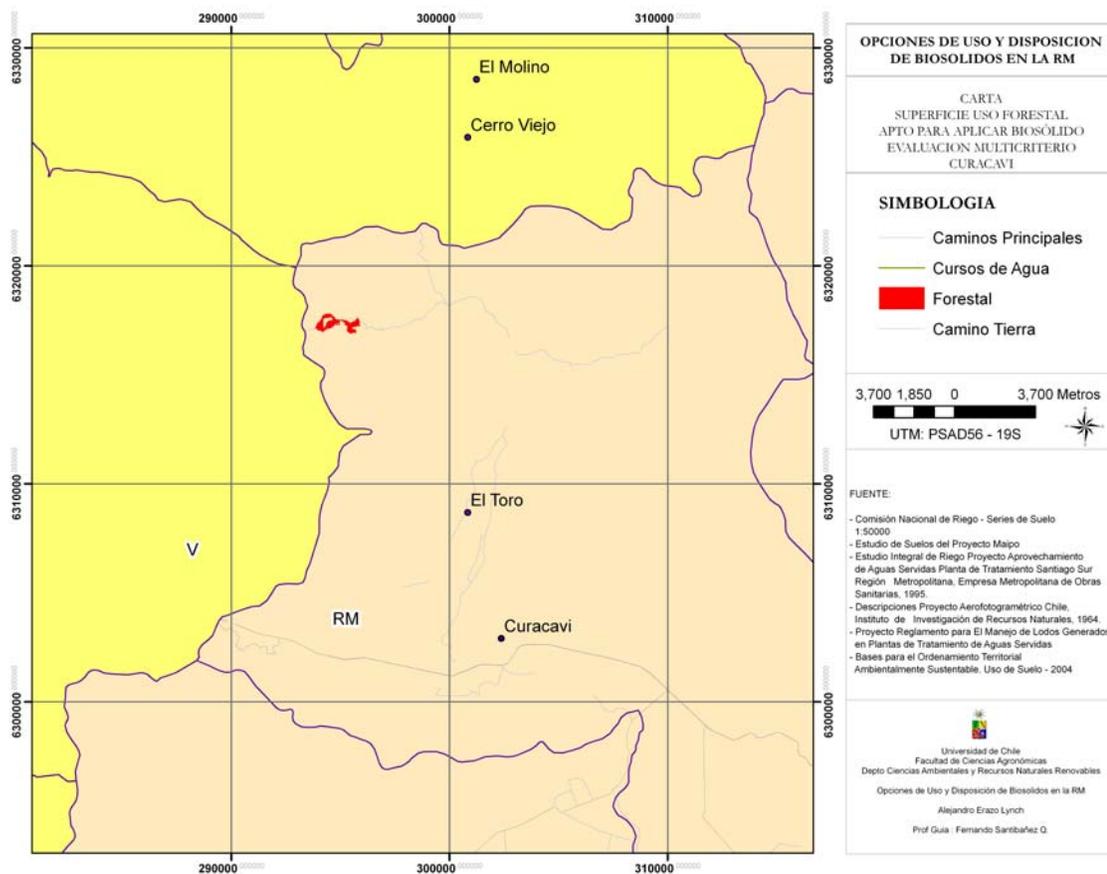


Figura 18. Superficie evaluada para recibir biosólidos Uso Forestal Comuna Curacaví.

Cuadro 22. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Forestal

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización de Producción
2007	57.128	1,2
2008	58.123	1,2
2009	59.202	1,2
2010	87.155	0,8
2011	88.468	0,8
2012	89.779	0,8
2013	91.113	0,7
2014	92.418	0,7
2015	93.751	0,7
2016	95.099	0,7
2017	96.428	0,7

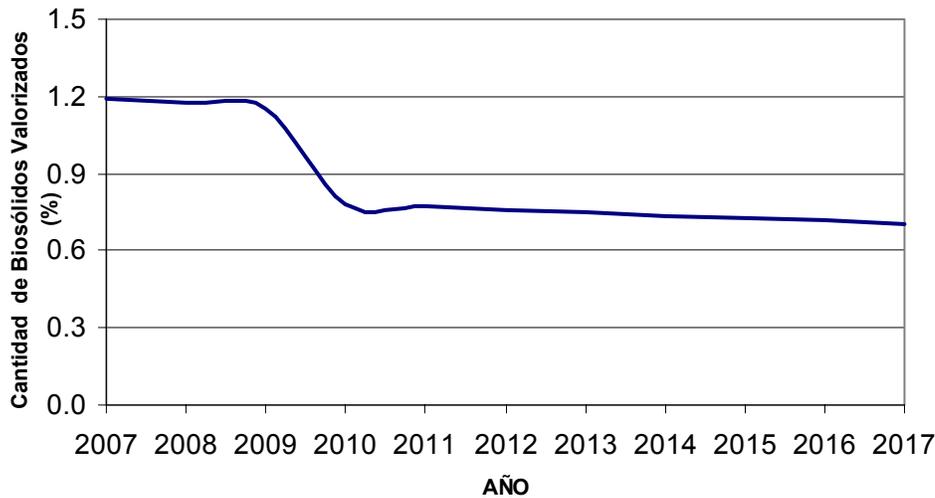


Figura 19. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Uso Forestal

Uso de biosólidos en Rehabilitación Tranques De Relaves

Una opción de utilización que es altamente viable, por el tipo de aplicación y por la gran cantidad de biosólidos que se utilizan es su aplicación en pasivos mineros. Estos deben ser estabilizados física y químicamente con el fin de reducir la erosión eólica e hídrica al ser abandonados.

En la mina El Soldado los procesos de fitoestabilización que se han llevado a cabo, hasta el momento, han mostrado ser inadecuados (Ginoccio, 2006). Como podemos ver en la Figura 20, el trabajo realizado por el Centro de Investigación Minero y Metalúrgico (CIMM) utilizando biosólidos en el tranque Antiguo de la división El Soldado de Anglo American demostró que la aplicación en dosis de 400 ton/ha aumentaban, en 9,6% la producción de biomasa herbácea producida, en relación a un cuadrante con escarpe de la zona, el cual a su vez presentaba 3,6% mas que el control. Este mismo estudio en cuanto a la aplicación de biosólidos en especies leñosas, ha producido un cambio visual de importancia como se puede apreciar en la Figura 21.

En cuanto a las condiciones del sustrato del tranque de relave se ha concluido que los biosólidos mejoran la actividad microbiana edáfica de los sistemas forestales, siendo necesaria, la incorporación de un material que aporte una fuente carbonada y nutrientes para una adecuada proliferación microbiana (Santibáñez *et al*, 2004) En tanto, en experiencias realizadas en arenas de relave de la mina El Soldado, utilizando dosis de 200 tonMS/ha, indicaron que los biosólidos fomentan el desarrollo de especies vegetales y reducen la biodisponibilidad de los materiales existentes (Aguas Andinas, 2006b) .



Figura 20 Estado actual Tranque Antigo, Mina El Soldado (Ginocchio , 2006)



Figura 21 Diferencia entre especies leñosas Tranque Antigo, Mina El Soldado (Ginocchio , 2006)

Cartografía base para uso de biosólidos en Rehabilitación Tranques De Relaves

En la Figura 22, se ve la ubicación de los tranques de relaves catastrados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) al año 1989 en la Región Metropolitana. Esta fuente de información resulta antigua, sin embargo, para los objetivos del estudio en curso es una buena base, ya que aquellos tranques que se encuentran en estado no operativo o bien abandonado, difícilmente cambiarán su situación. En el Cuadro 23 se muestran los datos adjuntados a los puntos de cada tranque de relaves, así como los datos obtenidos del análisis de distancia lineal entre éstos y las plantas de tratamiento de aguas servidas, y la superficie obtenida de la imagen satelital para cada tranque. De este Cuadro se desprende que los tranques de relaves en la Región Metropolitana son 25, los cuales representan una superficie total de 899, 4 hectáreas, localizándose preferentemente en la zona norte de la Región Metropolitana

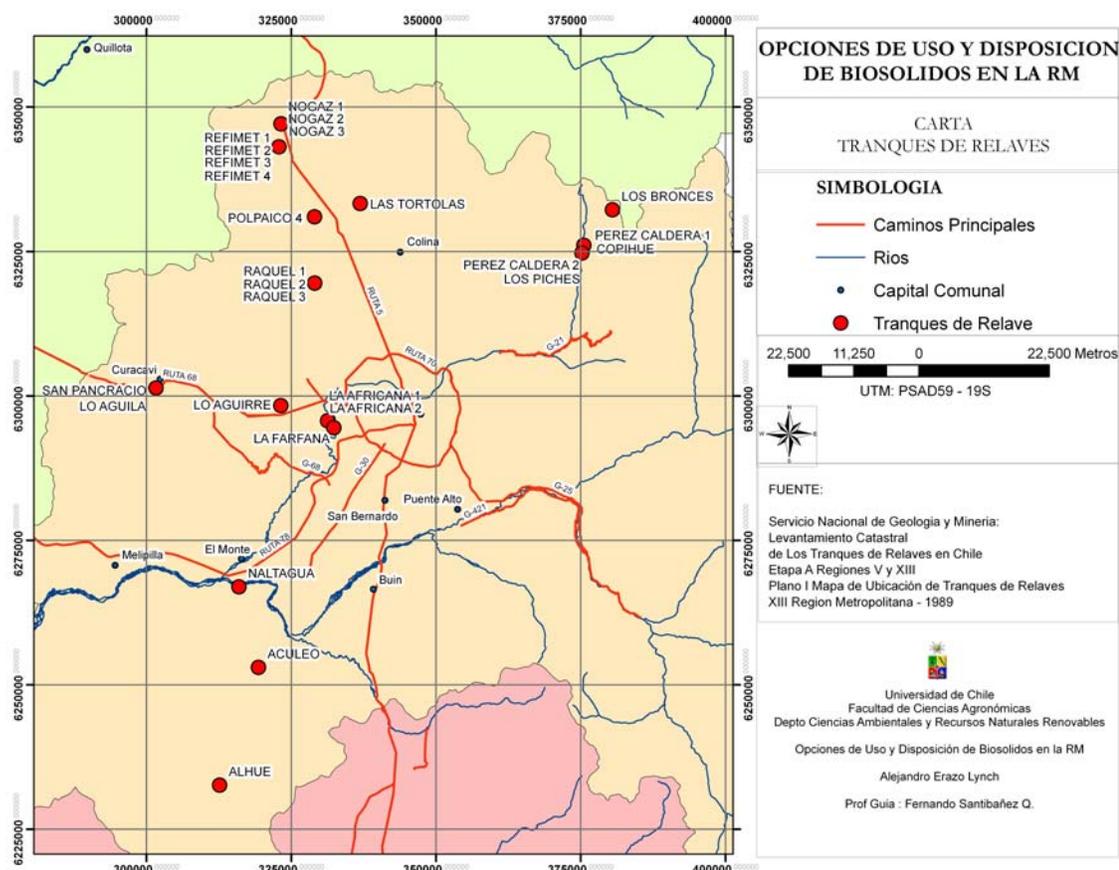


Figura 22. Ubicación Tranques de Relaves en Región Metropolitana. (Sernageomin, 1989)

Cuadro 23. Superficie y distancia a plantas de tratamiento de aguas servidas de Tranques de relaves en la Región Metropolitana

NOMBRE	ESTABILIDAD DEL MURO	ESTADO	DISTANCIA A LA FARFANA (Km)	DISTANCIA A EL TREBAL (Km)	Superficie Aproximada (ha)	Región	Superficie Promedio por planta según n° de tranques (ha)
LOS BRONCES	Buena	SIN INFORMACIÓN	58,4	68,6	49,03	RM	49
LOS PICHES	Sin Información	ABANDONADO	51,6	60,9		RM	26,3
PEREZ CALDERA 2	Buena	OPERATIVO	51,6	60,9	52,65	RM	26,,
NALTAGUA	Sin Información	ABANDONADO	34,4	24,3	Sin Información	RM	S/I
NOGAZ 1	Muy Buena	SELLADO CON RELLENO	53	60,7		RM	8,6
NOGAZ 2	Muy Buena	SELLADO CON RELLENO	53	60,7		RM	8,6
NOGAZ 3	Muy Buena	EN PROCESO DE SELLADO	53	60,7	25,78	RM	8,6
RAQUEL 1	Aceptable	NO OPERATIVO	24,8	32,4		RM	6,6
RAQUEL 2	Deficiente	OPERATIVO	24,8	32,4		RM	6,6
RAQUEL 3	Aceptable/Buena	OPERATIVO	24,8	32,4	19,69	RM	6,6
REFIMET 1	Muy Buena	EN PROCESO DE RELLENO	48,7	56,1		RM	S/I
REFIMET 2	Muy Buena	OPERATIVO	48,7	56,1		RM	S/I
REFIMET 3	Muy Buena	OPERATIVO	48,7	56,1		RM	S/I
REFIMET 4	Muy Buena	OPERATIVO	48,7	56,1	Sin Información	RM	S/I
ACULEO	Aceptable/Buena	OPERATIVO	44,7	34,7	3,29	RM	3,3
ALHUE	Aceptable	OPERATIVO	66,5	57,1	32,22	RM	32,2
COPIHUE	Sin Información	ABANDONADO	51,6	60,9	47,39	RM	23,7
PEREZ CALDERA 1	Aceptable/Buena	NO OPERATIVO	51,6	60,9		RM	23,7
LA AFRICANA 1	Buena/Muy Buena	ABANDONADO	3,7	9,3	32,91	RM	16,5
LA AFRICANA 2	Buena/Muy Buena	ABANDONADO	3,7	9,3		RM	16,5
LA FARFANA	Buena/Muy Buena	ABANDONADO	3,8	9,7	7,08	RM	7,1
LAS TORTOLAS	Buena	EN PROYECTO	37,4	46,3	401,75	RM	401,8
LO AGUILA	Deficiente	OPERATIVO	33,6	31	10,55	RM	5,3
SAN PANCRACIO	Aceptable	SIN INFORMACION	33,3	31,3		RM	5,3
LO AGUIRRE	Aceptable/Muy Buena	SIN INFORMACION	11,2	12,2	217,053	RM	217,1
TOTAL SUPERFICIE					899,4		

Cartografía Escenario Técnico y Legal para uso de Biosólidos en Rehabilitación de Tranques de Relaves

La Figura 23 muestra la distribución espacial de los tranques de relaves que se encuentran en estado abandonado o no operativo. Son éstos los que tienen las condiciones para ser intervenidos y rehabilitados utilizando biosólidos ya que no recibirán nuevamente relaves provenientes de minas y según Ley 19.300 deben presentar una etapa de cierre. El Cuadro 24 muestra el detalle de superficie, de aquellos tranques de relaves que se encuentran en condición de ser rehabilitados con biosólidos, éstos son 8 con una superficie estimada en 120,4 hectáreas

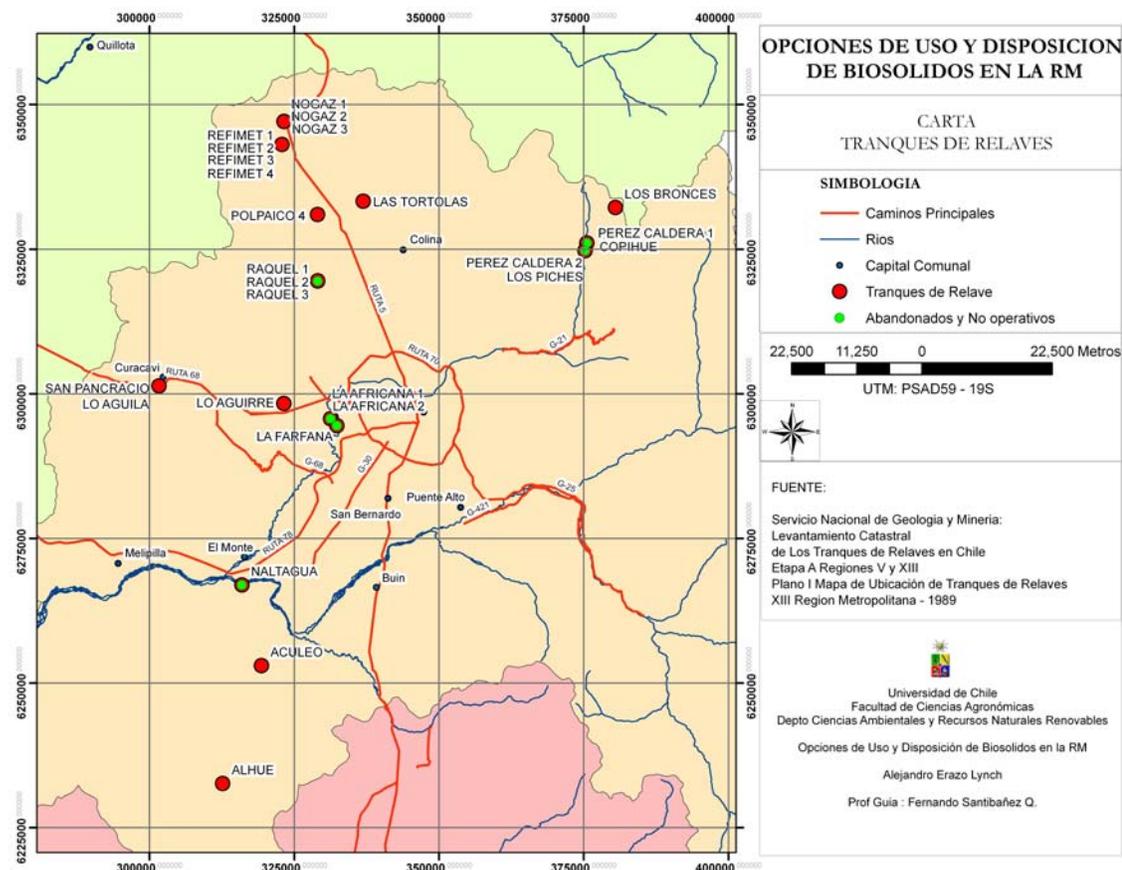


Figura 23. Tranques Abandonados y No Operativos en la Región Metropolitana

Cuadro 24. Tranques Abandonados y no operativos en Región Metropolitana

Nombre	Estado	Superficie (ha)
COPIHUE	ABANDONADO	23,7
PEREZ CALDERA 1	NO OPERATIVO	23,7
LA AFRICANA 1	ABANDONADO	16,5
LA AFRICANA 2	ABANDONADO	16,5
LA FARFANA	ABANDONADO	7,1
LOS PICHES	ABANDONADO	26,3
NALTAGUA	ABANDONADO	S/I
RAQUEL 1	NO OPERATIVO	6,6
TOTAL ABANDONADO		90,1
TOTAL NO OPERATIVO		30,3
TOTAL		120,4

Análisis Multicriterio para opción de uso de biosólidos en rehabilitación de Tranques de relaves

Para la rehabilitación de tranques de relaves, la dosis de aplicación de biosólidos recomendada es de 400 ton/ha, lo que supone que si, sólo, se destinaran los biosólidos producidos a esta opción se necesitarían 142 hectáreas al año 2006 y 216 hectáreas al año 2010. Sin embargo, y de acuerdo al supuesto contemplado en el análisis de esta opción de uso, en el cual se estima que se podría llegar al 40% de la superficies disponible en tranques de relaves, es decir 48 hectáreas, se podría valorizar al año 2006 el 34% de la producción y al año 2010 el 22% de la producción.

La problemática nace debido a que la aplicación es recomendada una sola vez, por lo que, al realizar el análisis se estimó una superficie disponible fija y evaluada en 10 años de aplicación. Esto se puede ver en el Cuadro 26, desde el año 2007 al 2017, siendo los tranques de relaves que resultan con mayor valor en el análisis multicriterio los que se muestran en la Figura 24

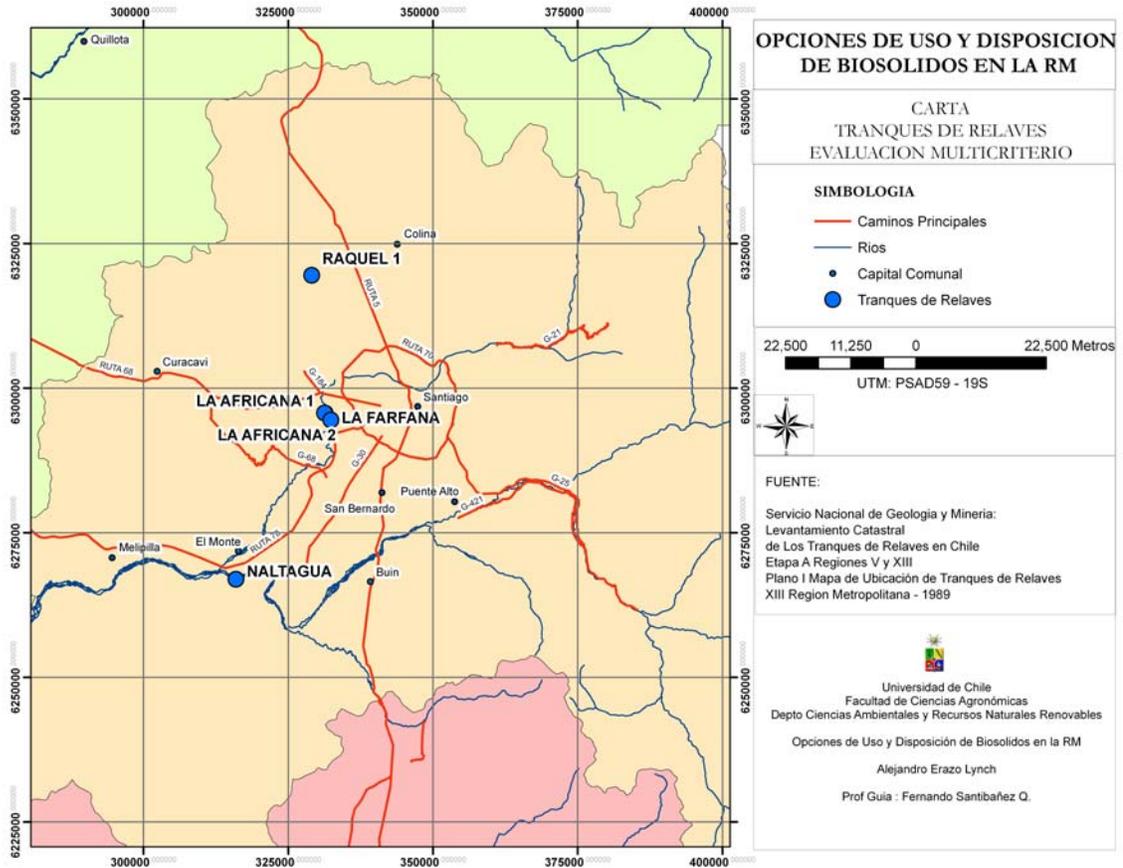


Figura 24. Tranques de Relave mejor calificados en análisis multicriterio

Esta evaluación se realiza considerando que en esos 10 años la superficie se mantiene en 48 há, lo que implica poder disponer en 4,8 ha por año, a pesar de la gran cantidad utilizada, la superficie disponible es baja, por lo que al año 2010 sólo se estaría valorizando el 2% en esta alternativa con la actual superficie catastrada como muestra el Cuadro 25. La Figura 25 grafica esta situación y permite visualizar de mejor forma la disminución de porcentaje valorizado el año 2010. Esto debido a la puesta en marcha, de acuerdo al plan de depuración de aguas de la Región Metropolitana, de nuevas plantas de tratamiento, lo que haría aumentar la cantidad de biosólidos disponible.

Cuadro 25. Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en tranques de relaves

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización de Producción
2007	57.128	3,4
2008	58.123	3,3
2009	59.202	3,2
2010	87.155	2,2
2011	88.468	2,2
2012	89.779	2,1
2013	91.113	2,1
2014	92.418	2,1
2015	93.751	2,0
2016	95.099	2,0
2017	96.428	2,0

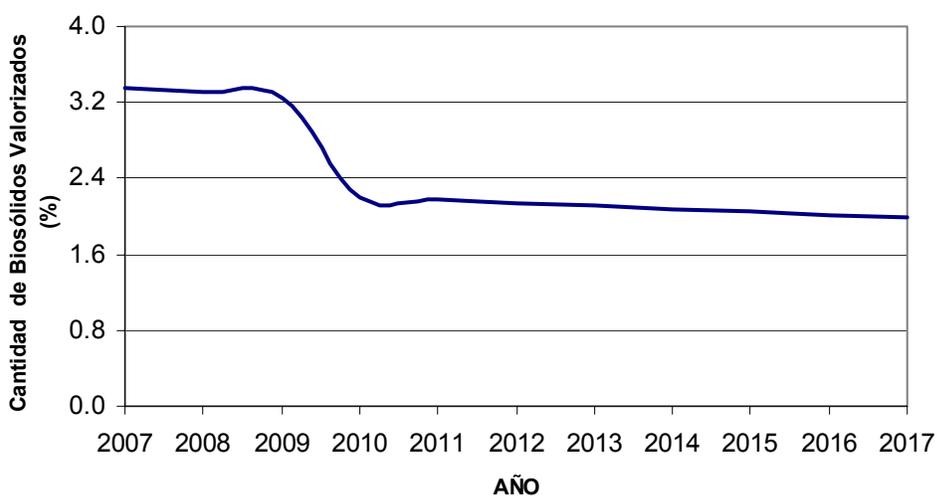


Figura 25. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Tranques de Relaves

Uso de biosólidos en Rehabilitación Extracción De Áridos

Un uso que ha demostrado ser ampliamente beneficioso, tiene relación con la disposición de biosólidos en restauración de canteras. Estos son terrenos fuertemente degradados que han perdido completamente el suelo, la vegetación y han modificado enormemente el paisaje, sin contar además posibles repercusiones sobre el agua y la atmósfera.

El uso de biosólidos en este tipo de actividades, así como en los planes de cierre de rellenos sanitarios, implica reducir el impacto ambiental generado en las zonas de explotación, en que el daño es inevitable, especialmente cuando se llega a la etapa de abandono del proyecto.

En el caso de la restauración de canteras, como éstas suelen tener gran pedregosidad y ser muy pobres en materia orgánica, se abre una puerta para la utilización de biosólidos, teniendo siempre en cuenta que, no por el pretexto de restaurar una zona, esta termine transformada en un vertedero de diferentes residuos (Alcañiz, 2001).

Cartografía base para uso de biosólidos en Rehabilitación Extracción De Áridos

En esta opción de uso se catastraron 50, sitios utilizando como fuente de información: el Proyecto OTAS, Secretaria Regional Ministerial de Salud, Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y Guía Telefónica totalizando una superficie 630,9 hectáreas. De acuerdo a la información obtenida desde el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) en la Comuna de Pirque existen 41 sitios de extracción de áridos con una superficie de 433,3 hectáreas. El total de hectáreas donde se realiza extracción de áridos en la Región Metropolitana es de 1.063,9 hectáreas de acuerdo a los estudios y fuentes de información estudiadas. La base de datos con la ubicación de los sitios de extracción áridos y sus características se puede ver en: Apéndice: “Base de Datos Extracción de Áridos en la Región Metropolitana”. Estos sitios se encuentran representados espacialmente en la Figura 26. Su distribución espacial es preferentemente sobre cajas de ríos o en zonas cercanas a éstos, aquellos sitios ubicados sobre cajas de ríos fueron descartados de todo análisis ya que no cumplen con las restricciones interpuestas por el Reglamento para el manejo de lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas DS/123.

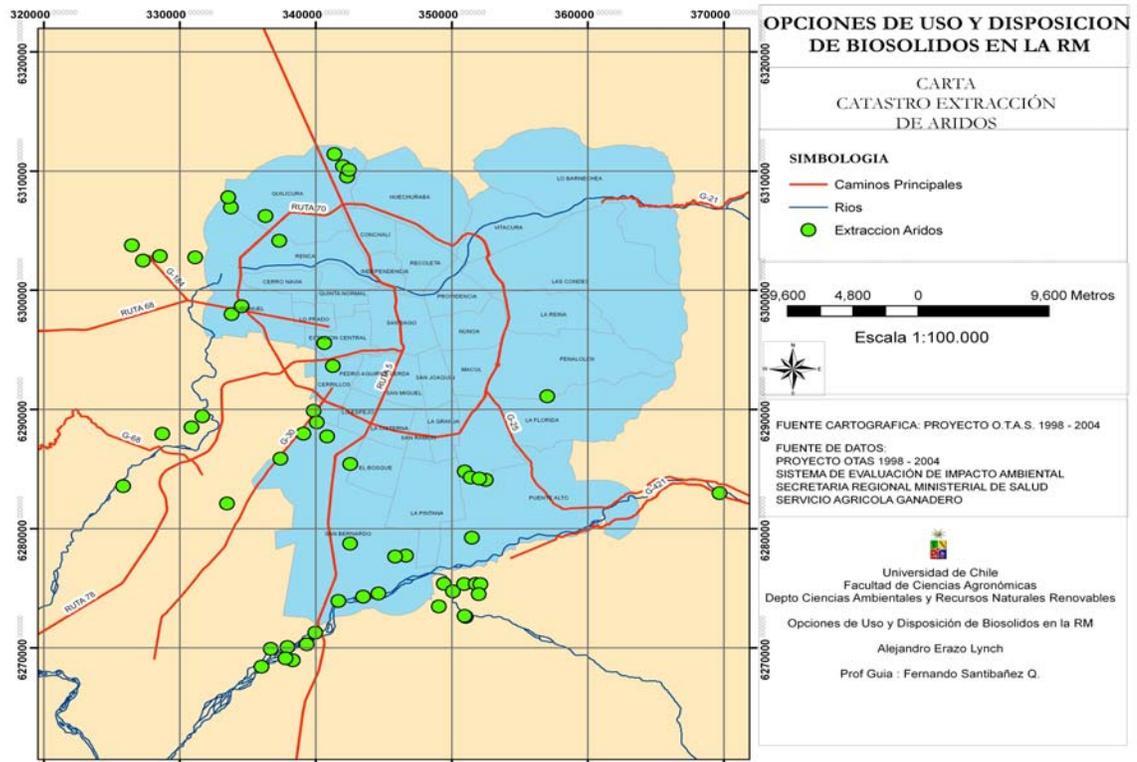


Figura 26 Ubicación Extracción de Áridos en Región Metropolitana

Cartografía Escenario Técnico y Legal para de Biosólidos en Rehabilitación de Extracción De Áridos

De acuerdo a la información obtenida desde SEREMI de salud, las faenas de extracción de áridos que estarían etapa de relleno tienen una superficie de 122,5 hectáreas. Son este tipo de faenas las que, luego de su relleno, requieren una cubierta que entregue condiciones apropiadas para la revegetalización. El detalle de las superficies por cada sitio en etapa de relleno se ve en el Cuadro 26 y su ubicación en la Figura 27

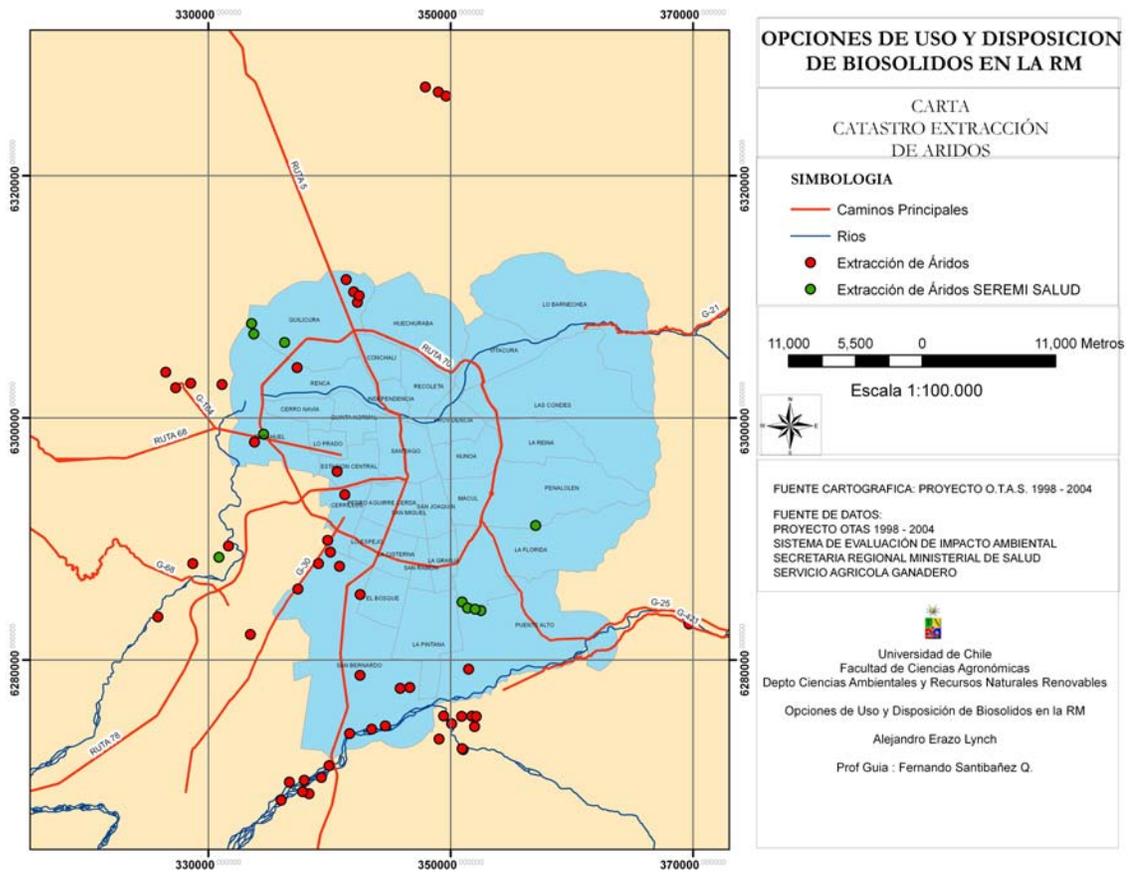


Figura 27. Extracción de Áridos en Proceso de Relleno

Cuadro 26. Extracción de Áridos en etapa de relleno

Razón Social	Superficie (Há)
Petreos	57
Semot LTDA	22
Regemac	14
Regemac	29
Total	122,5

Cuadro 27 Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en Extracción de Áridos

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización de Producción
2007	57.128	6,0
2008	58.123	5,9
2009	59.202	5,8
2010	87.155	3,9
2011	88.468	3,9
2012	89.779	3,8
2013	91.113	3,8
2014	92.418	3,7
2015	93.751	3,7
2016	95.099	3,6
2017	96.428	3,6

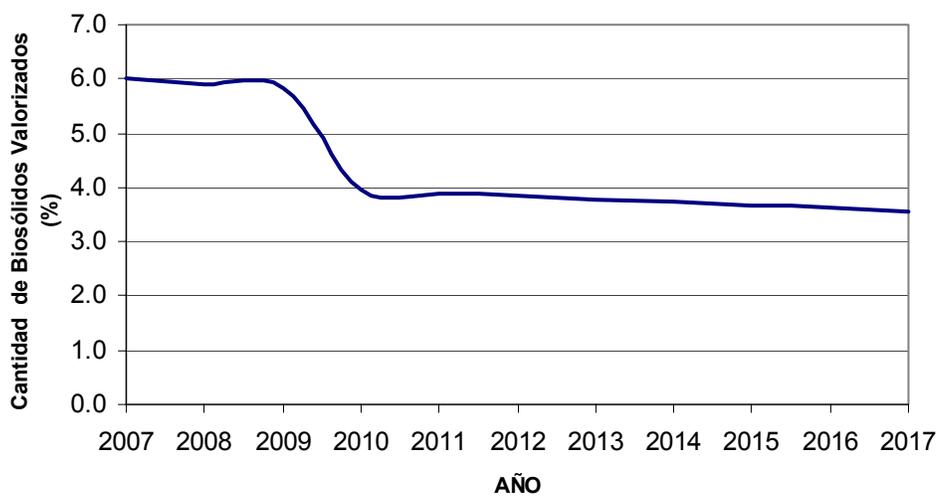


Figura 29 Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Extracción de Áridos

Uso de biosólidos en Plan De Cierre Rellenos Sanitarios y Vertederos

Un pasivo ambiental que muestra un alto potencial de utilización de biosólidos son los rellenos sanitarios en etapa de cierre o abandono. Por ello presentan una alternativa viable de utilización, a pesar que la aplicación en estos se aconseja una sola vez, esta se realiza en

gran cantidad (200-400 ton/ha) por lo que se vuelve una opción interesante. Los Rellenos Sanitarios en plan de cierre en la Región Metropolitana son 3 (Popeta, Lo Errázuriz y Lepanto) sumando un total de 142 hectáreas. Éstos por resolución de calificación ambiental deben tener dentro de su plan de cierre un proceso de revegetalización, principalmente para evitar la erosión eólica e hídrica del cerro de basura obteniendo también una mejora paisajística del sitio.

Actualmente para mejorar la calidad del perfil de suelo se usa tierra de hoja, el uso de ella se encuentra restringido debido a la extracción intensa e indebida sufrida por años, generando erosión de suelos y pérdida de bosques, por lo que la utilización de un material alternativo como los biosólidos es altamente aconsejable.

Según Garrido (2006), quién realizó una evaluación de suelos en Lepanto, la aplicación de biosólidos como fuente de materia orgánica y fertilizante, no evidenció problemas en cuanto a pH, ni tampoco de Conductividad Eléctrica, logrando una mejora de las características fisicoquímicas del suelo con dosis entre 250 y 300 ton/ha, otro estudio realizado por Lagos (2006) respecto a la formación de suelo en el mismo relleno demostró, para tres especies de herbáceas, los efectos que tenía la aplicación de biosólidos sobre la cubierta del relleno, obteniéndose un aumento en la velocidad de emergencia, aumento en la generación de raíces y del peso verde biomasa aérea en especial para una dosis de 250 ton/ha.

Estos antecedentes hacen que la opción sea altamente viable, ya que se generan condiciones para la implantación de especies herbáceas disminuyendo la erosión, además de la mejora paisajística, siendo sus costos relacionados con el transporte y aplicación bajos en comparación con otras opciones, sin embargo es poco sustentable en el tiempo ya que se aplica una sola vez.

Cartografía base para uso de biosólidos en Plan De Cierre Rellenos Sanitarios y Vertederos

Actualmente existen 4 rellenos sanitarios que deben, en el corto plazo, implementar planes de cierre, éstos son: Vertedero Cerros de Renca, Relleno Sanitario Lo Errázuriz, Relleno Sanitario Lepanto y Vertedero Popeta, este último en la provincia de Melipilla. Éstos se ven representados espacialmente en la Figura 30 y su cuantificación de superficie se puede ver en el Cuadro 28. De estos rellenos sanitarios y vertederos Lo Errázuriz y Lepanto son dependientes de EMERES S.A.

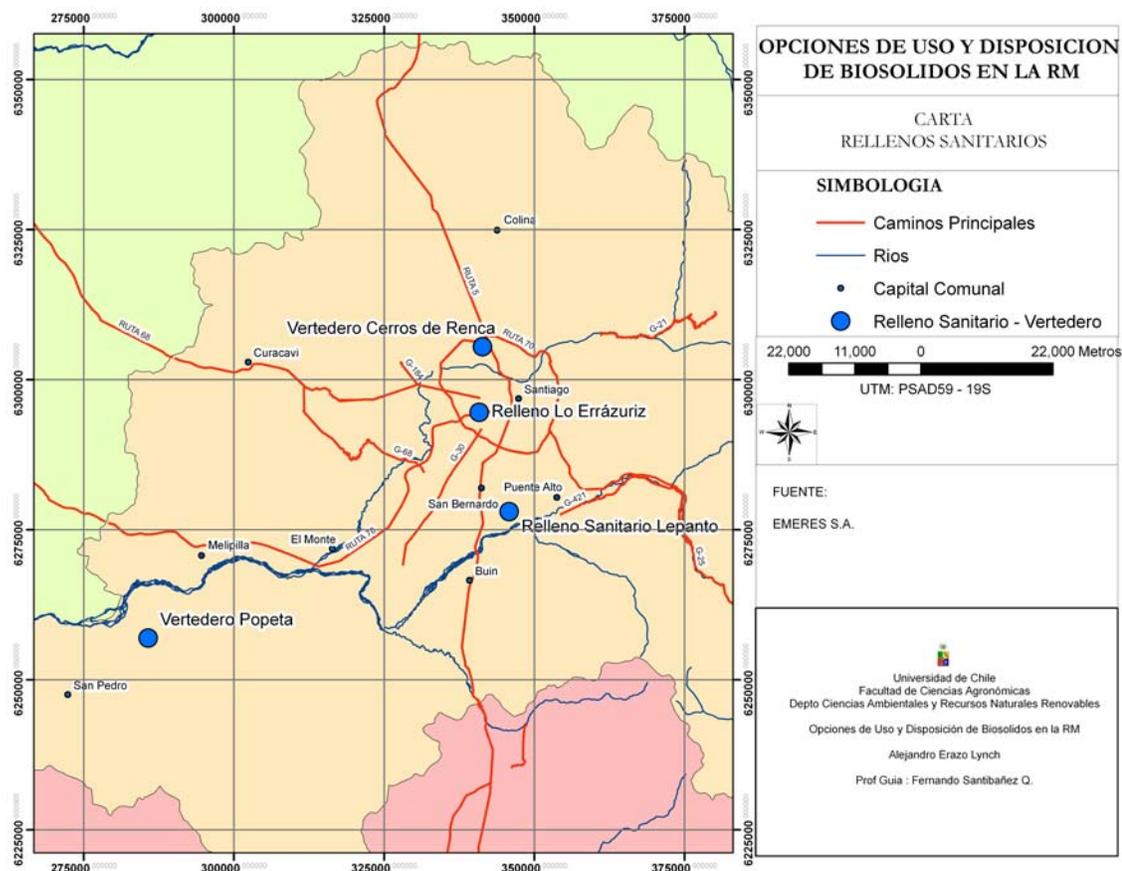


Figura 30 Ubicación Rellenos Sanitarios y Vertederos en etapa de Cierre en Región Metropolitana

Cuadro 28. Áreas Rellenos Sanitarios y Vertederos en Etapa de Cierre

Nombre	Há aprox.
Lepanto	18
Cerros de Renca	42
Lo Errázuriz	40
Popeta	42
TOTAL	142

Cartografía Escenario Técnico y Legal para uso de biosólidos en Plan De Cierre Rellenos Sanitarios y Vertederos

En este caso, se considera técnica y legalmente aptos para utilizar biosólidos los Rellenos Sanitarios y Vertederos en Etapa de Cierre mostrados en la Figura 30, siendo su superficie

Cuadro 29. Rellenos Sanitarios y Vertederos con mejores características para aplicar biosólidos

Nombre	Há aprox
Lepanto	18
Cerros de Renca	42
Lo Errázuriz	40
Total	100

Sin embargo, para evaluar la cantidad de biosólidos a utilizar en esta opción de uso, se estimó que sólo 50% de la superficie era alcanzable, lo que significa que 50 hectáreas estarían disponibles. En función de esto se realizó una evaluación para 10 años, al igual que los casos de rehabilitación de tranques de relaves y sitios de extracción de áridos, bajo el supuesto que la superficie no varía en el periodo mencionado, se puede ver comportamiento de esta opción en Cuadro 30 y gráficamente en la Figura 32.

Como en las opciones antes analizadas, el año 2010 se produce una importante disminución en el porcentaje de biosólidos utilizado en relación a la producción de éstos, debido principalmente, a la entrada en operación de nuevas plantas de tratamiento de aguas servidas en localidades y una tercera macro planta en la Región Metropolitana.

Cuadro 30. Evaluación a 10 años de utilización de biosólidos en Plan de Cierre Rellenos Sanitarios

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización de Producción
2007	57.128	3,7
2008	58.123	3,7
2009	59.202	3,6
2010	87.155	2,4
2011	88.468	2,4
2012	89.779	2,4
2013	91.113	2,3
2014	92.418	2,3
2015	93.751	2,3
2016	95.099	2,2
2017	96.428	2,2

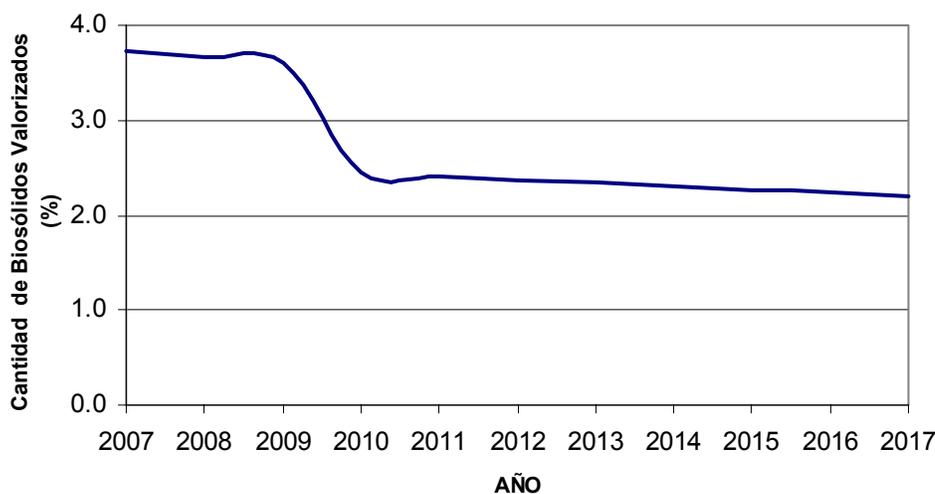


Figura 32. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Tranques de Relaves

Codisposición de Biosólidos en Relleno Sanitario

En cuanto a la disposición conjunta de biosólidos en rellenos sanitarios, tanto la Resolución Exenta 563 como el DS/123 establecen que se puede disponer un máximo equivalente a 6% de la recepción total diaria del relleno. A modo de ejemplo, se tiene que en la Región Metropolitana se producen mensualmente un total de 225.546 toneladas mensuales de residuos sólidos que son dispuestos en rellenos sanitarios al año 2001 (Gemines, 2001). Si se usaran todos los rellenos sanitarios para co-disponer biosólidos, se podrían utilizar, de acuerdo a lo especificado en el reglamento de lodos, un total de 13.532 toneladas mensuales.

Sin embargo, esto disminuiría la vida útil de los rellenos, mas aún tomando en cuenta que el único relleno autorizado y con capacidad para recibir biosólidos actualmente es el relleno sanitario Lomas Los Colorado se reduce la cifra anterior a 7.200 toneladas mensuales, lo que dejaría sin capacidad de recibir la totalidad de los biosólidos al año 2007.

Según estimaciones de un estudio realizado por la Universidad Católica, el cual contempla que los tres rellenos existentes actualmente en la RM reciban biosólidos, la capacidad de ellos se vería reducida en un 10%, esto conlleva un nuevo problema ambiental ante la escasez de terrenos para construcción de rellenos sanitarios. A esto se suma el conflicto generado por el costo alto que involucra el transporte hacia los rellenos, y las complicaciones en la operación de estos como la generación de lixiviados, producción de gases y olores (Melgarejo, 2004). Lo que hace que esta alternativa pierda atractivo, especialmente desde el punto de vista de la pérdida de un subproducto que tiene un alto potencial de reutilización, y desde la sustentabilidad ambiental del mismo relleno sanitario

y del sistema recolector de residuos domiciliarios. Debido a esto ésta alternativa será una opción para los casos en que no se pueda disponer biosólidos en opciones que si garanticen la reutilización y sustentabilidad del sistema de tratamiento de aguas servidas.

Cartografía base para Codisposición de Biosólidos en Relleno Sanitario

En la Figura 33, se pueden ver los tres rellenos sanitarios que actualmente reciben los residuos domiciliarios generados por los habitantes de Santiago. Siendo el único que recibe biosólidos el Relleno Sanitario Lomas Lo Colorado el cual recibe diariamente 7% de su capacidad en este subproducto del tratamiento de aguas, los cuales provienen de la planta La Farfana.

Sin embargo esta opción no se analizó en mayor profundidad debido que se propone que los biosólidos se destinen a esta opción sólo en caso de contingencia o en caso que las otras opciones no den abasto con la cantidad de biosólidos producida

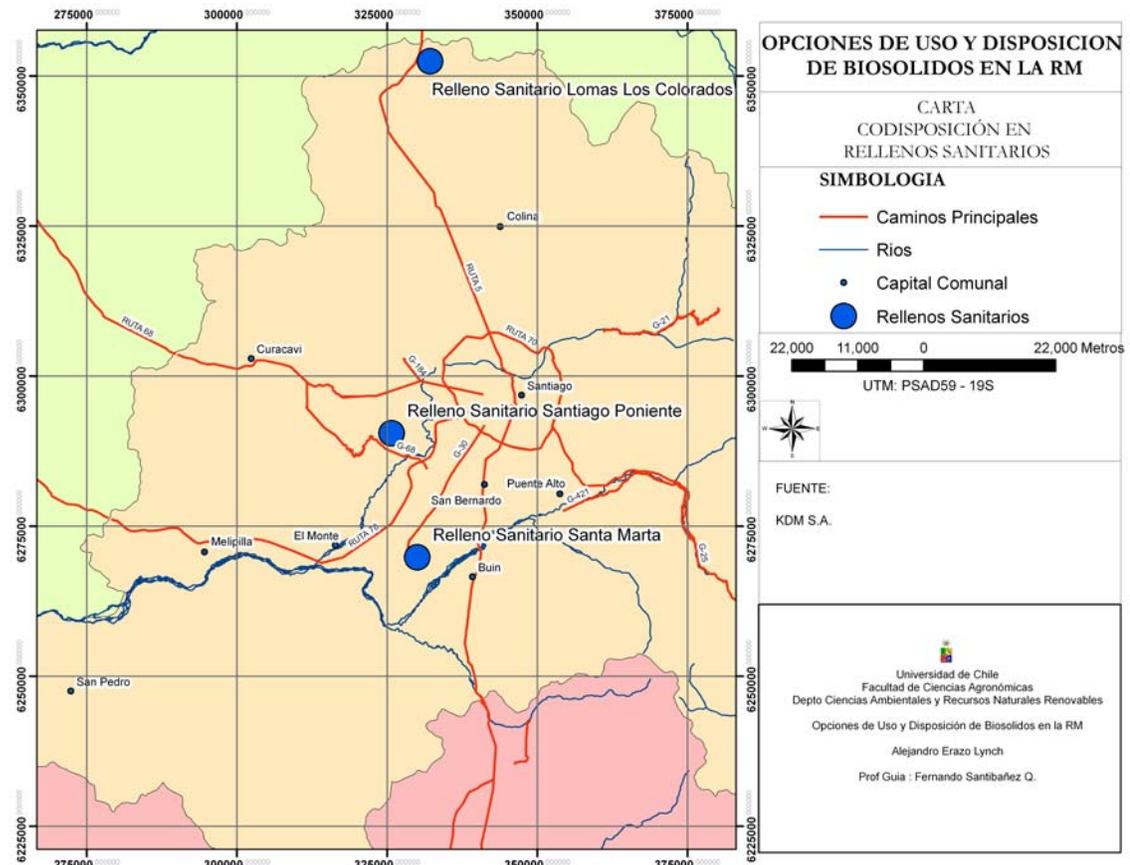


Figura 33. Ubicación Rellenos Sanitarios actualmente operativos en Región Metropolitana

Disposición de biosólidos en Monorrelleno

Actualmente sólo existe un monorrelleno operativo, en la planta de tratamiento de aguas servidas El Trebal, este tiene una superficie de 5,8 hectáreas y su vida útil inicial fue estimada en 5 años. Sin embargo al año 2005, tras cuatro años de funcionamiento, presentaba 27% de ocupación de su capacidad (Aguas Andinas, 2006b). Su ubicación dentro de la planta de tratamiento de aguas servidas de ve en la Figura 34

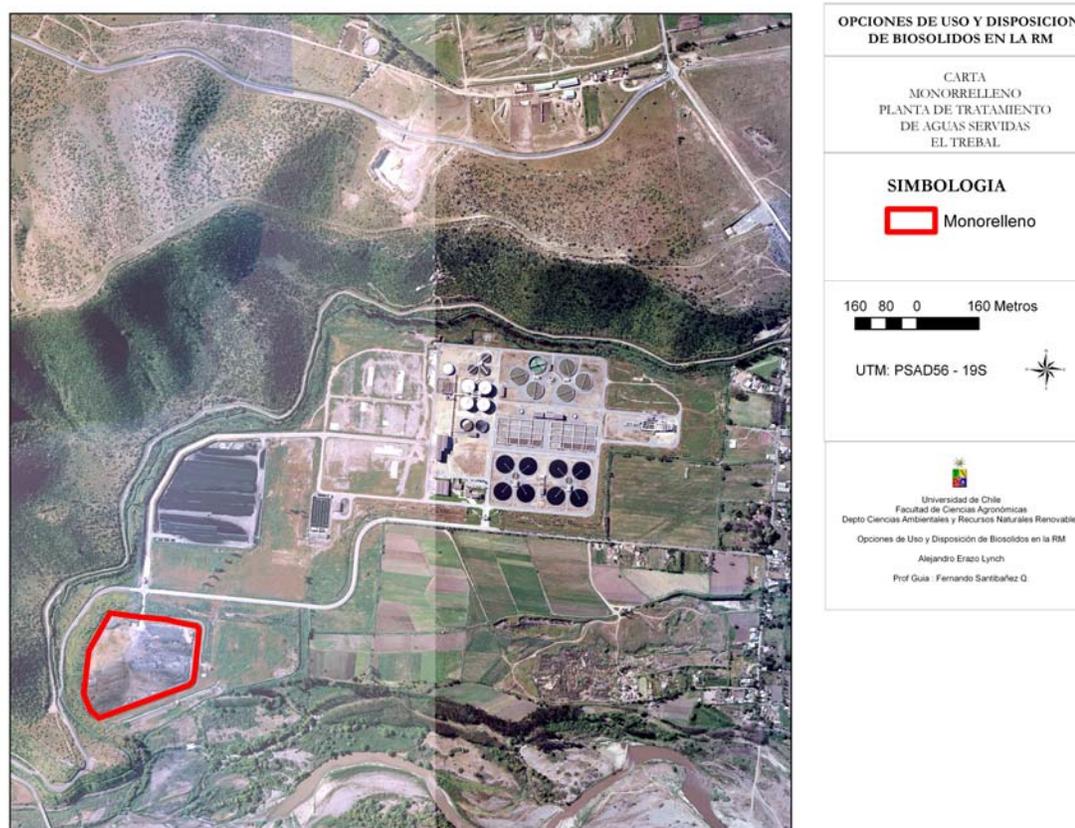


Figura 34. Monorrelleno Planta de Tratamiento Aguas Servidas El Trebal

La opción de disposición en Monorrelleno, no se sometió a análisis posteriores en el transcurso de este estudio, debido a que no tiene prioridad dentro de las opciones de uso benéfico de biosólidos.

Propuesta de Ordenamiento Territorial de Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos

El objetivo final de análisis de las diferentes opciones de uso y disposición, es conseguir una cartografía que proponga el orden territorial que tendrían las distintas opciones. Para esto se consideraron las opiniones de expertos consultadas previamente en el cuestionario “Consulta a Panel de Expertos”. Este ordenamiento se puede ver a través de lo realizado en el análisis multiobjetivo y se representa espacialmente en la Figura 35.

Debido a que los biosólidos disponibles no son limitante, y la superficie de las distintas opciones de uso no se superponen, ya que no son usos de suelo que puedan compartir un mismo lugar físico, el resultado es muy similar al obtenido en el análisis multicriterio para cada opción, al no existir competencia entre las diferentes opciones.

En general se puede ver que todos los sitios se encuentran cercanos a las plantas de tratamiento de aguas servidas, excepto las plantaciones forestales, la ubicación de cada opción resulta coherente con el alto valor otorgado en el análisis multicriterio, a la distancia de las plantas de tratamiento de aguas servidas, debido a los costos de transporte y los riesgos existentes en este.

Así mismo los sitios seleccionados no presentan una mayor distancia a los caminos en buenas condiciones (Caminos Pavimentados) permitiendo mayor seguridad en el traslado de biosólidos a las distintas opciones de uso y disposición.

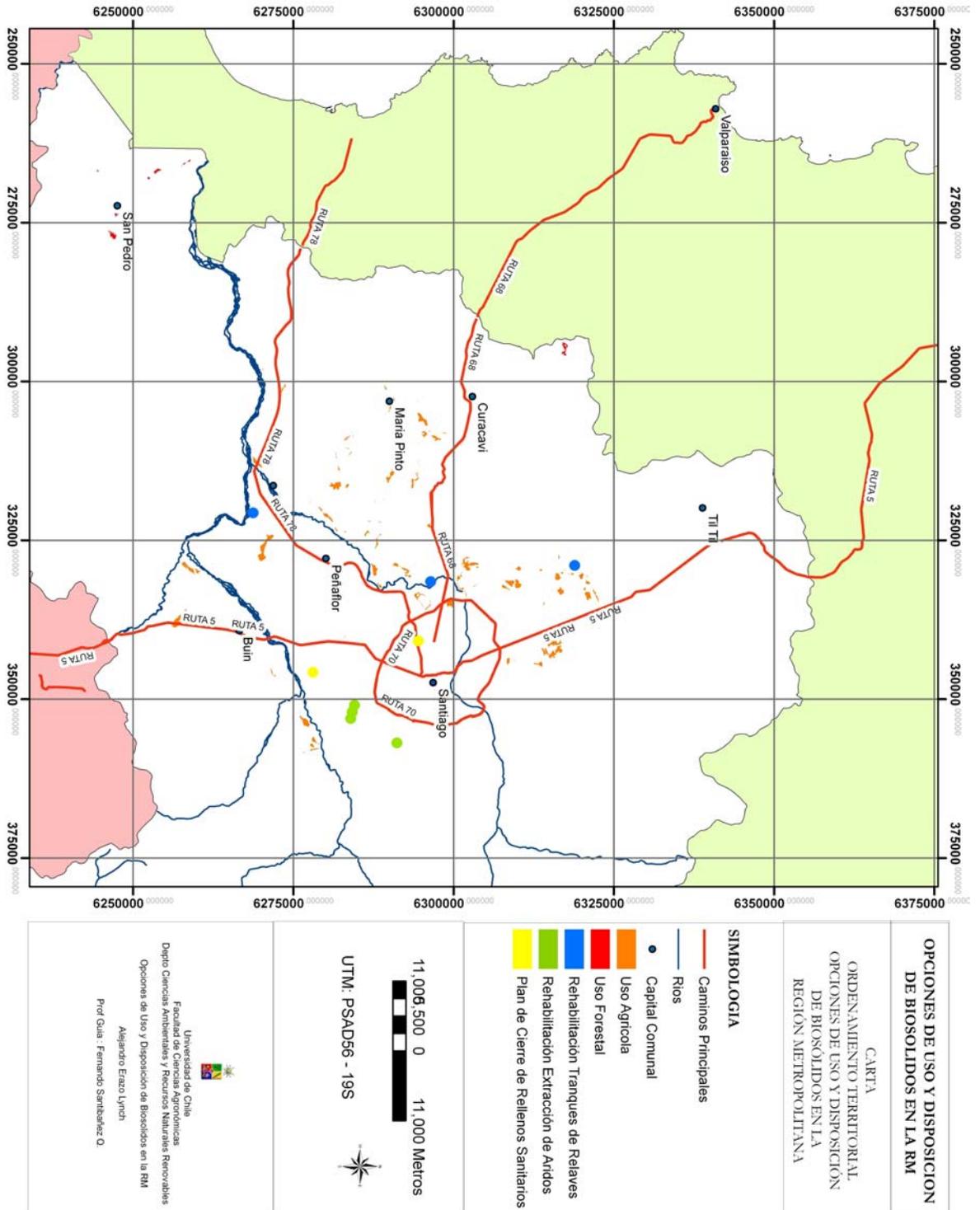


Figura 35. Propuesta de Ordenamiento Territorial para Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos

Análisis y cuantificación de biosólidos aplicables en el total de opciones de uso y disposición de biosólidos

La distribución de usos en los años 2006 y 2010, contemplando una producción de 56.940 toneladas en Materia Seca y de 86.596 toneladas en Materia Seca respectivamente, se puede ver en el Cuadro 31 para cada opción de uso y disposición.

Cuadro 31. Valorización de Biosólidos año 2006 y 2010

OPCION DE USO Y DISPOSICIÓN	%	%
	Valorización 2006	Valorización 2010
Plan de Cierre Relleno Sanitarios	3,7	2,2
Uso Forestal	1,2	0,7
Uso Agrícola	18,2	10,7
Rehabilitación Tranques de Relaves	3,4	2
Rehabilitación Extracción de Áridos	6	3,6
TOTAL VALORIZACIÓN	32,5	21,2

En el Cuadro 31, se muestra la evaluación realizada para los años 2006 y 2010 en base a 10 años de utilización de biosólidos en las diferentes opciones. Contemplando que en opciones como Rehabilitación de Extracción de Áridos, Rehabilitación de Tranques de Relaves y Plan de Cierre de Rellenos Sanitarios, los biosólidos son aplicados en una sola ocasión por lo que su sustentabilidad depende de la distribución de su superficie en el tiempo y no se debe contemplar el total de superficie para su utilización en un solo año. Las Figuras 36 y 37 muestran gráficamente esta situación, para los años 2006 y 2010 respectivamente.

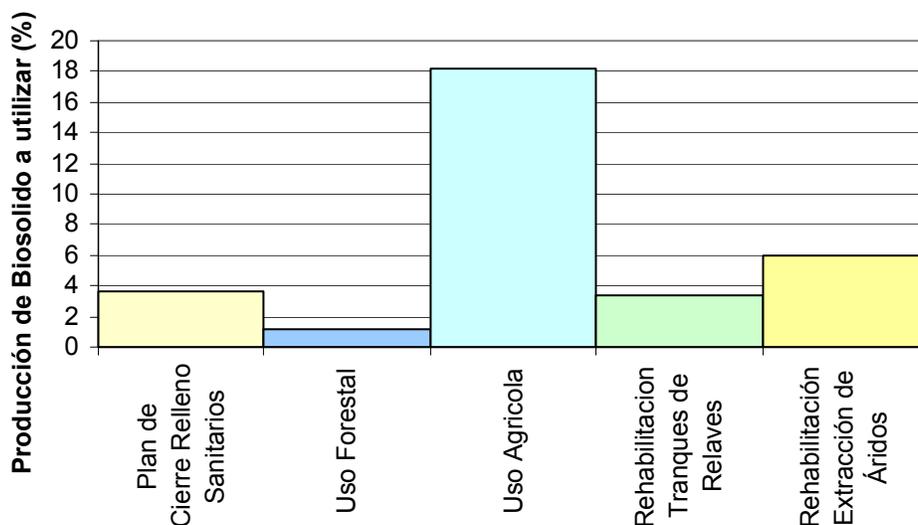


Figura 36. Distribución de Opciones de Uso y Disposición al Año 2006

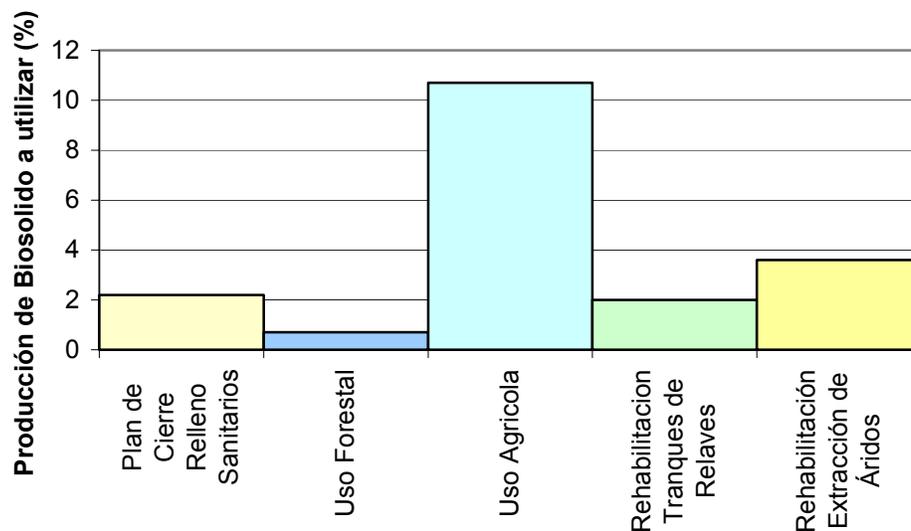


Figura 37. Distribución de Opciones de Uso y Disposición al Año 2010

Para la producción del año 2006, el 67,5% debiera ser destinado a monorrelleno y para el 2010 sería 80,8%. Actualmente el 70% de la producción se destina al relleno sanitario Lomas Los Colorados (KDM), sin embargo, esta opción es la que menor valor tiene dentro de las opciones por su baja sustentabilidad y los problemas asociados que tiene la disposición de biosólidos en rellenos sanitarios, por lo que no fue evaluada como una opción de uso, si no mas bien, como una opción donde serán destinados los biosólidos que no se podrán destinar a opciones mas sustentables.

El Cuadro 32 y la Figura 38, muestran como sería la distribución en el total de alternativas, considerando la disposición en rellenos sanitarios y monorrellenos. Se vé en ambas un fuerte aumento del porcentaje de biosólidos destinados a disposición final, en rellenos sanitarios y monorrellenos. Esto no se debe a una intención de aumentar el destino de biosólidos a estas opciones, si no que, la superficie destinada a opciones de uso de biosólidos se mantiene estable, frente al aumento de la producción que ocurrirá el año 2010, debido a la entrada en funcionamiento de una tercera macroplanta y de plantas en localidades, ésto conlleva que un mayor porcentaje la producción de biosólidos deba ser destinado a monorrelleno y relleno sanitario.

Cuadro 32. Porcentaje de Valorización de biosólidos por opción de uso y disposición

Año	Producción Ton/año MS	% Valorización					TOTAL biosólidos producidos a Valorizar	% Disposición Monorrelleno/ Codisposición Relleno Sanitario
		Uso Agrícola	Uso Forestal	Rehabilitación Tranques de Relaves	Rehabilitación Extracción de Áridos	Plan de Cierre Rellenos Sanitarios		
2007	57.128	18,1	1,2	3,4	6,0	3,7	32,4	67,6
2008	58.123	17,8	1,2	3,3	5,9	3,7	31,8	68,2
2009	59.202	17,5	1,2	3,2	5,8	3,6	31,3	68,7
2010	87.155	11,9	0,8	2,2	3,9	2,4	21,2	78,8
2011	88.468	11,7	0,8	2,2	3,9	2,4	20,9	79,1
2012	89.779	11,5	0,8	2,1	3,8	2,4	20,6	79,4
2013	91.113	11,3	0,7	2,1	3,8	2,3	20,3	79,7
2014	92.418	11,2	0,7	2,1	3,7	2,3	20,0	80
2015	93.751	11,0	0,7	2,0	3,7	2,3	19,7	80,3
2016	95.099	10,9	0,7	2,0	3,6	2,2	19,5	80,5
2017	96.428	10,7	0,7	2,0	3,6	2,2	19,2	80,8

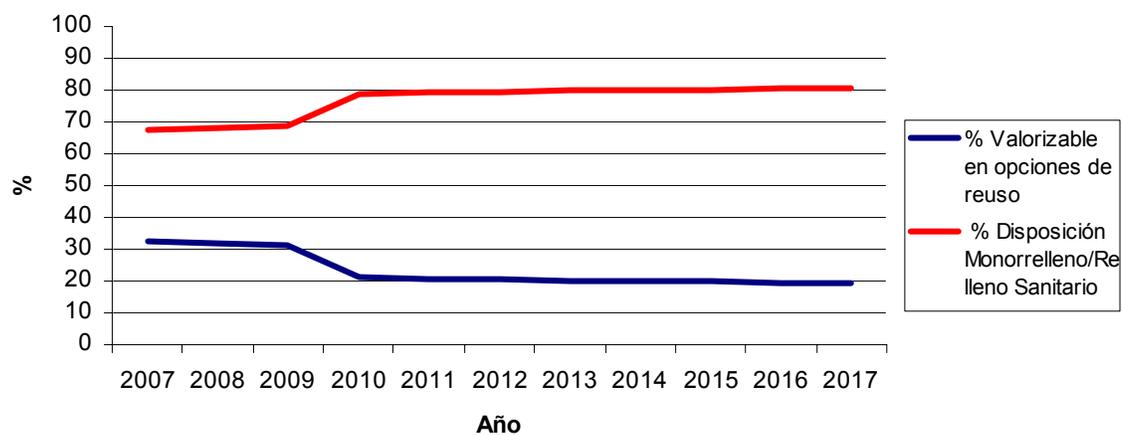


Figura 38. Evaluación para 10 años de producción de biosólidos Total de Opciones de Uso y Disposición

CONCLUSIÓN

El aumento de la producción de biosólidos de 56.940 toneladas en base seca el año 2006 a 86.596 toneladas en base seca al año 2010, como consecuencia del aumento de población y, principalmente, al aumento de las plantas de tratamiento de aguas servidas, hace necesaria la implementación de opciones de reuso que garanticen la sustentabilidad del plan de saneamiento de aguas de la Región Metropolitana.

Las opciones que presentan mayores potenciales para el reuso de biosólidos son: rehabilitación de tranques relaves, rehabilitación de extracción de áridos, agrícola, forestal y plan de cierre de relleno sanitarios. Como opciones de disposición que deben ser complementarias a los usos antes mencionados se encuentran: disposición en monorrelleno y codisposición en relleno sanitario.

El uso agrícola es una opción altamente interesante, debido a la capacidad técnica de su implementación y la sustentabilidad que entrega a la producción de biosólidos.

En la Región Metropolitana hay 34.474 hectáreas de suelos aptos para uso agrícola de biosólidos, sumado a esto se tiene una superficie de 17.336 hectáreas clasificadas como “Sin Información Suficiente” la cual podría tener un potencial adicional.

En cuanto a la distribución del suelo calificado como apto, el 75% se encuentra en zonas con riego y 25% se encuentra en zonas de secano con una alta presencia en la comuna de San Pedro. A pesar que esta comuna presenta un alto potencial de aplicación, su distancia a las plantas de tratamiento de aguas servidas conduce, en el proceso de análisis multicriterio, que esta comuna tenga una calificación baja.

De las zonas con mejor calificación en el análisis multicriterio las comunas de Lampa y Colina presentan las mejores condiciones para la aplicación de biosólidos, influenciadas por el mismo criterio antes mencionado, en cuanto a la distancia a las plantas de tratamiento.

De acuerdo a la producción de biosólidos estimada por Aguas Andinas para 10 años, la opción de uso agrícola, sería capaz de recibir en los años 2007, 2010 y 2017 un total de 18,1% , 11,9% y 10,7% de los biosólidos generados, respectivamente.

Las opciones de uso y disposición de biosólidos analizadas no garantizan, por sí solas, la sustentabilidad de uso de biosólidos en ellas, si no que es el conjunto de ellas lo que potencia el total de opciones. Es así como en su conjunto estas opciones permitirían al año 2007 darle uso al 32,4% de la producción anual de biosólidos, lo que corresponde a 18.500 toneladas en base seca. Para el año 2017 la producción llevada a opciones de uso sería de 19,2% , si consideramos los mismo supuestos utilizados en cuanto a capacidad de acogida por cada opción de uso.

La entrada en operación de nuevas plantas, incluida una tercera macroplanta, harían que los supuestos de acogida de biosólidos no fueran suficiente para la cantidad de biosólidos producida, como se mencionó en el párrafo anterior, por lo que es importante aumentar la capacidad de acogida en base a los resultados obtenidos en la experiencias realizadas.

Un 67,6 % de la producción de biosólidos al año 2007 y un 21,8% de la producción al año 2017 deberán seguir siendo dispuestos en relleno sanitario o monorrelleno, sin embargo la disminución de volumen, debido al uso benéfico de biosólidos, permitirá aumentar la vida útil de dichos sitios de disposición, en comparación a la que tendrían sin la implementación de estas opciones.

Junto con las opciones de uso espacialmente estudiadas se deben considerar nuevas tecnologías, tanto en el proceso de producción, incorporando procesos que aseguren la obtención de biosólidos clase A (secado térmico y compostaje), como también en las opciones de uso de estos (valorización térmica, uso de biosólidos en viveros, y áreas verdes, etc) ésto con el fin de ampliar y diversificar aún mas las posibilidad de uso de biosólidos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUAS ANDINAS, 2006a. Plan de Saneamiento. Disponible en:
<http://www.aguasandinas.cl/prtratamiento.html> . Leído el 15 de Julio de 2006
- AGUAS ANDINAS, 2006b. Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto de Optimización y Mejoramientos en la Gestión de la PTAS El Trebal, Santiago. 103 pp.
- ALCAÑIZ, J. M., 2001. Utilización de Lodos de Depuradoras Urbanas en la Restauración de Canteras. Universitat de Lleida, Barcelona. 11 pp.
- BARNOLAS, M y M. LLASAT, 2002. Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Catalunya, 1901-2000. Disponible en:
http://www.meteored.com/ram/numero28/SIG_inundaciones.asp .Leído el 20 de Agosto de 2006
- BARREDO, J. I., 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio. RA-MA Editorial, Madrid, España. 250pp.
- BOSSCHE, H, 2005. Evolución de la Normativa Europea de Lodos y Alternativas de manejo. . En: Simposio Interamericano de Lodos y Biosólidos (II, 2005, Viña del Mar). AIDIS.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), CHILE, 2000. Anteproyecto reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. Santiago, Chile, Junio 2000. 21 pp.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), CHILE, 2006. Agenda Ambiental País 2002-2006. Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1255/article-26217.html> . Leído el 17 Agosto 2006
- Comisión Regional del Medio Ambiente Región del Bio Bio, CHILE, 2002. Resolución Exenta N°229/2002, Califica Favorablemente la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Uso Benéfico de Lodos Provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de ESSBIO S.A. Concepción, Chile, Agosto 2002. 3 pp.

CORTINA, J., A. VALDECANTOS, D. FUENTES, G. CASANOVA, V.R. VALLEJO, J.M. DÍAZ BERTRANA, F. LLAVADOR Y R. RUANO MARTINEZ, 2001. El uso de biosólidos en el sector forestal valenciano. *Foresta: Especial Comunidad Valenciana* 2001. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Disponible en: <http://epsar.cop.gva.es/sanejament/docs/76.pdf> . Leído el 10 de Julio de 2006

EMOS (Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias), 1995. Programa de Tratamiento de las Aguas Servidas del Gran Santiago. Informe Final. Santiago. 67 pp.

EPA (Environmental Protection Agency), 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. Washington DC, United States, September 1994. 176pp.

DANOIS, H., 2005. Introducción a la Regulación 503: Manejo Tratamiento y Disposición de Biosólidos. En: Simposio Interamericano de Lodos y Biosólidos (II, 2005, Viña del Mar). AIDIS.

FONDEF D01/1034, CHILE, 2003. Desarrollo de practicas sustentables de reciclaje de biosólidos en plantaciones forestales. Disponible en: <http://146.83.41.79/profesor/verolagos/d01i1034> . Leído el 9 de Junio de 2006

GARCIA, F. Características y Aplicaciones del Lodo de Depuradora como Enmienda Orgánica en Suelos Degradados. En: JORDAN *et al.*, 2005. Restauración Edáfica de Áreas Degradadas. CEE Limencorp. S.L.. España. 249 p.

GARRIDO, M. 2006. Evaluación de la aplicación de biosólidos sobre micro terrazas en un ex relleno sanitario. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Santiago, Chile. 61p.

GEMINES CONSULTORES, 2001. Evolución de la gestión de residuos sólidos domiciliarios y perspectivas de negocios. Disponible en: http://www.gemines.cl/p4_gemines/antialone.html?page=http://www.gemines.cl/p4_gemines/site/artic/20030905/pags/20030905182038.html. Leído el 20 de Septiembre de 2006

GINOCCHIO, R. 2006. Ensayo piloto de fitoestabilización de tranques de relaves abandonados de la división el soldado. Proyecto INNOVA CORFO 04CR9IXD-01. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. Informe Ejecutivo. Chile. 15 pp.

LAGOS, M. 2006. Uso de biosólidos en la formación de suelo del ex relleno sanitario de Lepanto. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Santiago, Chile. 52p.

LUE-HING, C. *et al.*, 1992. Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal. Lancaster, Pennsylvania, USA. 663 pp.

MELGAREJO, J. 2004. Estudio del Proceso de Estabilización del Lodo Residual proveniente de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Urbanas mediante el uso de Cal Hidratada, diseño de una Planta Modelo. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad de la Frontera. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Temuco, Chile. 84p.

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, CHILE, 2005. Decreto Supremo N° 123 de 2006: Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Santiago, Chile, Julio 2005. 22 pp.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), 2005. Panorama de la Agricultura Chilena. Edición 2005. Ministerio de Agricultura. 85 pp.

SAG, CHILE, 2004. Valorización de Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas El Trebal, Como Mejorador de Suelos Degradados. Santiago. 94 pp.

SANTIBÁÑEZ, P., P. FAÚNDEZ, M. T. VARNERO Y P. CONTRERAS, 2004. Actividad Microbiana en Suelos Forestales y Arenas de Relaves de un Tranques Forestado Acondicionados con Lodos Frescos y Comportados. Boletín Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (20): 375-379.

SECRETARIA GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE, ESPAÑA, 2001. Plan Nacional de lodos de depuradora de aguas residuales 2001-2006. Disponible en: http://www.gestion-ambiental.com/norma/ley/RESOLUC_de_14_de_junio_de_2001.htm . Leído el 15 de Julio de 2006

TORO, F., 2005. Áreas Potenciales para la Aplicación de Biosólidos en Plantaciones Forestales de la VI Región de Chile. Tesis (Ingeniero Forestal). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago. 67 pp.

APENDICE**CUESTIONARIO****Consulta Experto****Memoria de Título****“Opciones de Uso y Disposición de Biosólidos en la RM”**

RECORDATORIO:

PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE ESTE MÉTODO DE CONSULTA EXPERTO ES REQUISITO FUNDAMENTAL LA CONFIDENCIALIDAD DE SUS RESPUESTAS, POR LO QUE ESTO SERÁ CUMPLIDO A CABALIDAD.

SI UD NO SE CONSIDERA EXPERTO EN ALGÚN TEMA, POR EJ VARIABLES INTERPRETATIVAS DE SUELOS, NO RESPONDA LAS PREGUNTAS REFERENTES A DICHO TEMA.

1) A cual/es de las siguientes opciones de uso y disposición destinaría Ud. los biosólidos generados en la RM

- a) Uso Forestal
- b) Rehabilitación de Tranques de Relaves
- c) Rehabilitación de Extracción de Áridos
- d) Uso Agrícola
- e) Plan de Cierre Rellenos Sanitarios
- f) Co-disposición en Relleno Sanitario
- g) Monorrelleno
- h) Restauración ecológica
- i) Otros (señale cual): _____

2) ¿Que posibles impactos ambientales podría generar el reuso de biosólidos en cada opción de uso y disposición?

e) Biosólido Centrifugado

9) Ordene según sustentabilidad los procesos anteriores.

__ > __ > __ > __

10) Mencione fortalezas y debilidades de cada proceso antes mencionados en relación al proceso y/o producto final.

Alternativa	Fortalezas	Debilidades
Secado Solar		
Compostaje		
Biosecado		
Secado Térmico		
Biosólido Centrifugado		

11) De cada proceso descrito marque con un X si cree que el resultado final corresponde a Residuo o Subproducto

Alternativa	Subproducto	Residuo
Secado Solar		
Compostaje		
Biosecado		
Secado Térmico		
Biosólido Centrifugado		

12) Mencione que variables ambientales tomaría en cuenta para la aplicación de biosólidos en todas las opciones de uso y/o disposición, ordénelas de mayor a menor según importancia.

Variables

Importancia __ > __ > __ > __ > __ > __ > __ > __

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)
- f)
- g)
- h)

13) Para Cada opción de uso señale las dosis en ton ha/año y durante cuanto tiempo aconsejaría la aplicación (una vez, una vez al año por 2 años, etc)

Opción de Uso	Dosis Ton ha/Año	Frecuencia de Aplicación
a) Uso Forestal		
b) Rehabilitación de Tranques de Relaves		
c) Rehabilitación de Extracción de Áridos		
d) Uso Agrícola		
e) Plan de Cierre Rellenos Sanitarios		
h) Restauración ecológica		
i) Otros (señale cual):		

14) Que medidas sanitarias tomaría ud. en cada opción de uso y disposición

- a) Uso Forestal
- b) Rehabilitación de Tranques de Relaves
- c) Rehabilitación de Extracción de Áridos
- d) Uso Agrícola
- e) Plan de Cierre Rellenos Sanitarios
- f) Codisposición en Relleno Sanitario
- g) Monorrelleno
- h) Restauración Ecológica
- i) Otros

15) En relación a las siguientes variables interpretativas de suelos, cuales consideraría y que valores tomaría como aptos y no aptos para recibir biosólidos (si considera alguna otra, agréguela)

Variable	Rango	Apto	No Aptos
Clase Aptitud Frutal	A, B, C, D, E		
Clase de Estructura	1-5		
Clase Drenaje	1-6		
Capacidad de Uso	I-VIII		
Categoría de Riego	1-6		

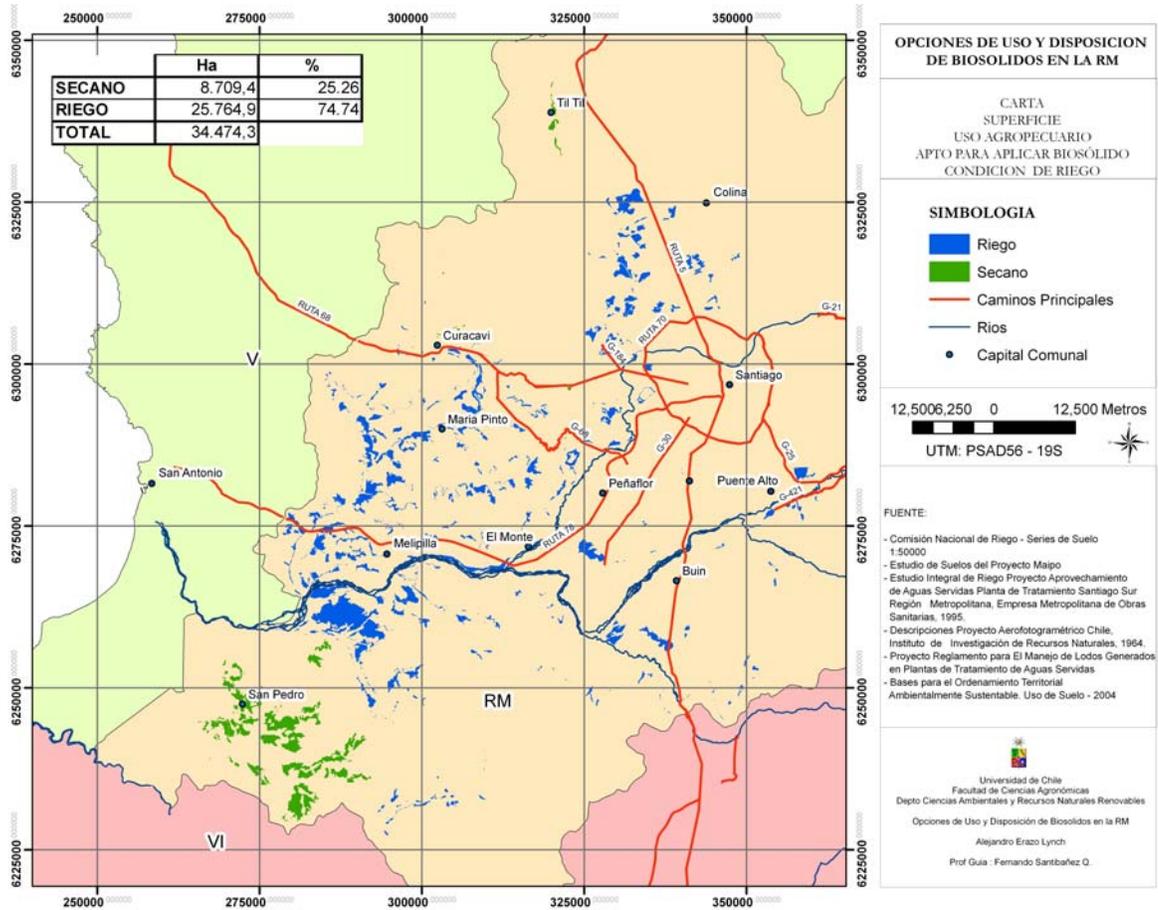
16) Mencione que características físico-químicas de suelo, tomaría en cuenta para determinar un sitio apto de recibir biosólidos, en cada una mencione los valores aptos y no aptos, para uso silvoagropecuario (el Cuadro es referencial, no es necesario llenar todas la celdas, como también es posible excederse)

Característica	Valor Apto	Valor No Apto

17) Para el uso en actividades agrícolas que tipos de cultivos recomienda. Pq?

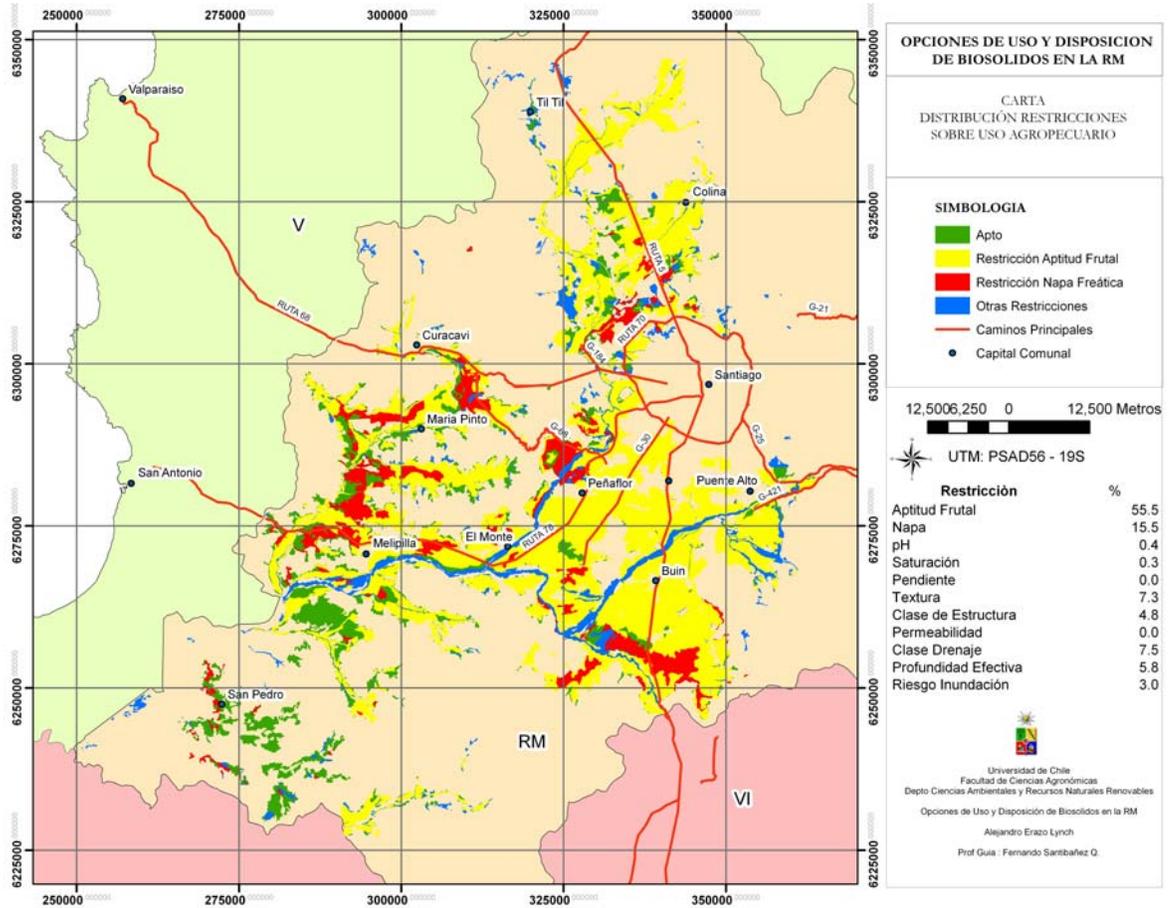
18) Para el uso en rehabilitación de áreas que tipo de especies recomendaría, arbóreas, arbustivas, herbáceas, mixtas. Pq?

APENDICE CONDICION DE RIEGO DE SUELOS APTOS



APENDICE

DISTRIBUCIÓN DE RESTRICCIONES PROYECTO DE REGLAMENTO PARA EL MANEJO DE LODOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS



APENDICE

BASE DE DATOS EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA

RAZÓN SOCIAL	COMUNA	PROCESO	PATENTE/DIRECCIÓN	ÁREA (m ²)
Agua Santa	Pudahuel	Ceniza Volcanica	Autorizacion del Dueño	S/I
Arenex Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Ari 2 S.A.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Aridos El Rincon	Buin	Chancado-Extraccion de Pozo	Municipal	5138
Aridos Quintar Ltda.	La Florida	Chancado	Minera-Municipal	215127
Aridos Santa Eliana	Colina	Chancado	Municipal	S/I
Aridos Santa Gloria Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera-Municipal	S/I
Aridos Santiago	Quilicura	Chancado	Minera	22948
ARRIP S.A	Cerrillos	S/I	Salvador Allende 5198	680237
Asesoria Genova	Pudahuel	En Relleno	S/I	S/I
Besalco Fe Grande S.A.	Quilicura	Movimiento de tierra	S/I	33157
Betonsa S.A.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Carbomet SA - Molytmet	San Bernardo	S/I	Av Portales 3499	64725
Carlos Rodrigo Varela	Quilicura	S/I	Lo Echevers Parcela 6B y 7B	119946
Comercial Saez	Lampa	S/I	Camino a Lampa Km 7.5	146609
Compañía Minera Santa Laura Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera-Municipal	333767
Compañía Minera Soledad	Pudahuel	Ceniza Volcanica	Minera	384208
Conovia	Colina	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Emilio Guajardo	Pudahuel	S/I	Lo Echevers Parcela 14	339169
Emp. Santa Adela	Maipu	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera	44801
Fermac	Buin	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Flia. Velasco	San Bernardo	En Relleno	S/I	608887
Jaime Avila L.	Calera de Tango	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera	S/I
Jorge Villavicencio e Hijos S.A.	Peñaflor	S/I	S/I	S/I
Larrinco Ltda.	Maipu	Chancado-Extraccion de Cerro	Minera-Municipal	23464
Los Morros S.A.	Colina	Chancado-Extraccion de Cerro	Minera	S/I
Marcos Tamayo Medina	Maipu	Chancado-Extraccion de Pozo	Municipal	3434
Megaridos Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Pozo	Sin Informacion	281345
Minera Artes	Estacion Central	S/I	S/I	42015
Molytmet	San Bernardo	En Relleno	S/I	71579
Petreatos	Peñalolen	S/I	S/I	570583
Rafael Zaldivar Mackena y Cia.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Regemac	Puente Alto	S/I	Elisa Correa Parcela 15B	143127
Regemac	Puente Alto	S/I	Elisa Correa Parcela 14B	288473
RenÚ Valenzuela B.	Pudahuel	S/I	Lo Echevers Pacerla 17 y 18	914332
Rivavel	Pudahuel	Ceniza Volcanica	Autorizacion del Dueño	S/I
Rivavel Ltda.	Quilicura	Chancado	Municipal	43296
Semot LTDA	Puente Alto	S/I	S/I	223271
Servicios Generales Ltda.	San Bernardo	S/I	S/I	S/I
Soc. Minera Santa Ana Ltda.	Puente Alto	Chancado	Municipal	196672
Sociedad Minera Antuco Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera	85474
Sociedad Minera Clamami Ltda.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Pozo	Minera	168453
Sociedad Petreatos LTDA	Padre Hurtado	S/I	Camino La Rinconada	251576
Super Aridos S.A.	San Bernardo	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Transcab y Cia Ltda	Buin	Chancado-Extraccion de Rio	Municipal	S/I
Transportes Merino-Cia. Santa Blanca	Quilicura	Chancado	Minera	3416