

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

**DESARROLLO DE PROPUESTA TÉCNICO
AMBIENTAL PARA LA APLICABILIDAD DE
BIOSÓLIDOS EN TALUDES**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil**

CRISTIAN EDUARDO CABRERA VILLANUEVA

Concepción, Diciembre de 2014.

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción	3
1.1.	Objetivos	5
1.1.1.	Objetivo General	5
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	5
1.2.	Antecedentes Generales	6
1.2.1.	Erosión.....	6
1.2.2.	Inestabilidad del Talud	6
1.2.3.	Vegetación	6
1.2.4.	Lodo Clase A	7
1.2.5.	Lodo Clase B	7
1.2.6.	Macrozona Sur.....	7
2.	Metodología	8
2.1.	Identificación de Restricciones	8
2.1.1.	Revisión de Normativa y Literatura.....	8
2.1.2.	Criterio Empleado	8
2.1.3.	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	9
2.1.4.	Listado de Restricciones	9
2.1.5.	Caracterización de Lodos.....	11
2.1.6.	Aspectos del Medio Físico.....	13
2.2.	Planteamiento de Valores Límites.....	18
2.3.	Propuesta Técnico Ambiental	18
3.	Análisis de resultados.....	19
3.1.	Cantidad de Lodos a Aplicar	19
3.2.	Planteamiento de Valores Límites a Restricciones	20
3.3.	Propuesta Técnico Ambiental	21

3.3.1. Transporte de Lodos.....	21
3.3.2. Hidrosiembra.....	21
3.3.3. Caudal de Escorrentía	25
3.4. Evaluación de la Propuesta.....	26
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	32
ANEXO A: Restricciones de Normativas	
ANEXO B: Contenido de Metales Pesados en Suelos de la Macrozona Sur	
ANEXO C: Exposición a Olores y Principales Técnicas para su Medición	
ANEXO D: Grado de Cobertura Vegetal Máximo para Aplicar Lodos a Taludes	
ANEXO E: Concentraciones Máximas de Metales en Suelo Receptor y Lodos Según DS N° 4 2009	
ANEXO F: Mezcla de Especies a Colocar en el Talud	
ANEXO G: Composición de Fertilizantes y Lodos	
ANEXO H: Curva IDF de la Zona de Estudio	
ANEXO I: Condiciones Actuales de Taludes y Diagrama de Flujo para Evaluar la Propuesta Técnica	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Listado de Restricciones para la Aplicación de lodos de PTAS en el Suelo.....	10
Figura 2. Climograma Región del Biobío.....	14
Figura 3. Mapa Hidrogeológico Región del Biobío.....	14
Figura 4. Ensamblaje de especies, filtros y manipulación de ellos.....	16
Figura 5. Contenido total de metales pesados en suelos enmendados con lodos de PTAS con una aplicación de 30 ton/ha	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de Nutrientes de lodos de PTAS	12
Tabla 2. Contenido de Metales Pesados en lodos de PTAS y Valores Límites de las Normativas (en mg/kg peso seco).....	13
Tabla 3. Contenido de Metales Pesados en suelos cultivados en la región del Biobío (mg/kg peso seco)	17
Tabla 4. Cantidad de lodos a aplicar según rango de pendientes.....	19
Tabla 5. Restricciones al Plan de Aplicación de Biosólidos de PTAS a Taludes de Carreteras....	20
Tabla 6. Porcentaje de Especies de la Hidrosiembra	22
Tabla 7. Componentes y dosis de la Hidrosiembra.....	23
Tabla 8. Distribución de Metales Pesados en brotes y raíz del Vetiver (mg/kg).....	25
Tabla 9. Evaluación de la Propuesta con Casos Reales de la Autopista del Itata.	26

DESARROLLO DE PROPUESTA TÉCNICO AMBIENTAL PARA LA APLICABILIDAD DE BIOSÓLIDOS EN TALUDES

Autor: Cristian Eduardo Cabrera Villanueva

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo electrónico: cristiancabrera.ing@gmail.com

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

La creciente generación de lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) es consecuencia del aumento de la población y calidad de vida. La mayoría de estos lodos o biosólidos se tratan como un residuo, a pesar de ser un material orgánico rico en nitrógeno, fundamental para el crecimiento de la vegetación. Esta característica intrínseca podría utilizarse para la recuperación de suelos degradados. Existen reglamentos para el manejo de lodos generados en PTAS, los cuales tienen restricciones orientadas principalmente a la aplicación de biosólidos en terrenos agrícolas, no especificando restricciones para terrenos de alta pendiente, como taludes en carreteras. Por ello, es necesario identificar restricciones para una correcta aplicación de biosólidos en taludes, para que la autoridad tenga parámetros objetivos al evaluar los planes de aplicación que se presenten, y desarrollar una propuesta técnico ambiental para la aplicación de lodos de PTAS en taludes de carreteras. Fue posible establecer restricciones objetivas de acuerdo a diversas normativas analizadas. Cabe destacar que las características del lodo a nivel local cumplen con los valores establecidos en el reglamento, debido a que su origen es principalmente urbano, pudiendo utilizarse como enmiendas orgánicas en los taludes. De esta manera, se puede transformar un material que actualmente se trata como un residuo en un subproducto, el cual aumenta la cobertura vegetal y disminuye la erosión, generando taludes sustentables en el tiempo mejorando el paisajismo a lo largo de la carretera.

Palabras Claves: Biosólido, Restricción, Talud.

5946 Palabras Texto + 12 Figuras/Tablas*250 + 2 Figuras/Tablas*500 = 9946 Palabras Totales

DEVELOPMENT OF TECHNICAL ENVIRONMENTAL PROPOSAL FOR THE APPLICABILITY OF BIOSOLIDS IN SLOPES

Author: Cristian Eduardo Cabrera Villanueva

Civil and Environmental Engineering Department, University of the Bío - Bío

Email: cristiancabrera.ing@gmail.com

Advisor: Álvaro Suazo Schwencke

Civil and Environmental Engineering Department, University of the Bío - Bío

Email: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

The rising generation of sludge from Wastewater Treatment Plants (WWTP) is consequence to the increase of population and life quality. The majority of sludge or biosolids are treated as waste, in spite of being nitrogen rich organic material, essential for the growth of vegetation. This intrinsic feature could be used for degraded soils recovery. There are regulations for the sludge management generated in WWTP, which ones have restrictions directed mainly at the application of biosolids on agricultural field, not specifying restrictions on high slopes fields, as highroad slopes. Therefore, it is necessary to identify the restrictions for a correct biosolids application on slopes, so that the authority has objective parameters to assess the implementation plans submitted, and develop a technical environmental proposal for the application of WWTP's sludge on highroad slopes. It was possible to establish objective restrictions according to several regulations analyzed. It is noteworthy that local level sludge features comply with the values established by regulations, because its origins is mainly urban, can be used as organic amendments on slopes. This way, it is possible transform a material that currently is treated as waste into a by-product, which increases vegetation cover and reduces erosion, generating in time sustainable slopes improving landscaping along the road.

Keywords: Biosolid, Restriction, Slope.

1. INTRODUCCIÓN

Chile cuenta actualmente con amplias coberturas en el tratamiento de aguas servidas, las cuales ascienden a un 99,8% a nivel país (SISS, 2013). En la Región del Biobío los residuos generados por ESSBIO el año 2012 alcanzaron una cantidad de 117.000 toneladas, el 41% fue reutilizado mientras que el resto fue transportado a monorrellenos o rellenos sanitarios. El incremento de residuos generados respecto al año anterior fue de 51.000 toneladas (Essbio, 2012).

La creciente generación de lodos es consecuencia del aumento de población, así como también de la calidad de vida. Estos lodos o biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrientes como nitrógeno, fosforo y potasio. Ellos contienen también trazas de metales y pequeñas cantidades de otros elementos, y pueden ser tratados como un residuo o como un recurso susceptible de ser utilizado (Leppe, 2002). Los biosólidos se pueden aplicar con fines agrícolas, forestales, pastoreo o a terrenos que necesitan recuperación, ya que poseen nutrientes esenciales para el crecimiento de la vegetación. Pueden cumplir el rol de fertilizante orgánico, teniendo diversas ventajas con respecto a los fertilizantes inorgánicos, ya que éstos pueden ser incorporados de forma lenta por las plantas, además los nutrientes son menos solubles en agua, teniendo menores probabilidades de lixiviarse a aguas subterráneas o de llegar a aguas superficiales para provocar eutrofización (EPA, 2000).

Por estas razones, se hace necesario buscar nuevas formas de reutilizar este material, con sus respectivas restricciones de aplicación, ya que actualmente la gran mayoría está siendo depositado en monorrellenos y rellenos sanitarios disminuyendo su vida útil.

Así, con el fin de regular el manejo sanitario de los lodos para evitar riesgos a la salud y al medio ambiente, la autoridad elaboró el “Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas” (DS N°4/2009). Este reglamento, en su artículo 21° letra c), dice que no se pueden aplicar lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) a suelos con pendiente superior a 15%. Sin embargo, en suelos con esa característica y que además posean presencia de cobertura vegetal arbustiva o arbórea, se podrá realizar aplicación localizada, sistema que deberá quedar descrito en el plan de aplicación. Dicho plan debe ser aprobado por las autoridades competentes, las cuales no cuentan actualmente con parámetros ni criterios específicos para poder permitir la aplicación de lodos bajo la circunstancia analizada.

La construcción de carreteras trae aspectos beneficiosos, puesto que mejora la conectividad, disminuye los tiempos de viaje y acelera el desarrollo de las ciudades. Al realizar dicha obra de ingeniería es necesario en algunos casos utilizar el suelo en forma de talud. Los taludes son cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal que hayan de adoptar de forma permanente las estructuras de tierra. Estos se pueden producir de forma natural (sin intervención humana) o artificial.

No obstante, la construcción de dichas obras viales generan deterioros en la zonas naturales atravesadas puesto que generalmente para el diseño y realización de los taludes de carreteras se emplean criterios geotécnicos y mecánicos, dejando de lado el paisajismo y la recuperación de la vegetación del entorno. Estas obras, quedan expuestas a agentes naturales como el agua y el viento, que sumados a la geometría del talud aceleran el proceso erosivo en la superficie de dicha obra con consecuencias que pueden ser graves para la seguridad vial. Las funciones principales de la vegetación en el entorno de la carretera es generar estabilidad en los taludes, aspectos estéticos – paisajísticos y generar reservorios y corredores ecológicos.

Existen pocas experiencias enfocadas a este tema en particular; sin embargo, la aplicación de biosólidos en taludes reales de dos tipos de pendientes (2:1 y 3:2) bajo condiciones climáticas naturales y distintas dosificaciones de lodo, aplicado de forma superficial, muestra un efecto en el grado de cobertura vegetal, la cual tiene una consecuencia directa en la pérdida de suelo (Osorio y De Oña, 2006). La utilización de lodos para el mejoramiento de suelos resulta benéfica, debido a la mejora estructural del suelo determinada por el aumento de la cantidad de materia orgánica, por el incremento de la porosidad, lo cual conduce a un mejor intercambio de agua al suelo, incrementando la capacidad de infiltración, y aumentando la capacidad de retención de humedad (Castro, 2005). Los análisis a taludes de corte y terraplén, con aplicación superficial de biosólido, muestran luego de dos años una disminución en el contenido de cobre y cromo, el resto de metales pesados no generan diferencias significativas. Los parámetros agronómicos del suelo mejoraron, producto del contenido de nutrientes de los lodos, y además se produjo una disminución del pH (Osorio et al., 2011). La aplicación de lodo en el suelo aumenta la concentración de metales pesados, provocando un cambio significativo solamente en el zinc (Ahumada et al., 2004). El material erodado en taludes a escala, con mezcla de biosólidos y trébol enano, es solamente suelo natural, quedando el lodo sobre el talud (Gutiérrez, 2012).

Se aprecia una oportunidad de aprovechamiento de este recurso, empleándolo como enmienda orgánica en suelos degradados. De esta manera, aquellas empresas que generan grandes cantidades de lodos podrían ver a las carreteras como potenciales consumidores de dicho material, logrando utilizarlas como depósitos controlados, reduciendo el impacto sobre otros espacios cuya misión principal es la recepción de residuos sólidos domiciliarios.

En base a los antecedentes, se hace necesario desarrollar una propuesta técnico ambiental para la aplicación de lodos de PTAS en taludes de carreteras en la macrozona sur, evaluando las restricciones asociadas, asegurando no causar daños medioambientales ni a la salud, para que la autoridad pertinente tenga parámetros objetivos al momento de evaluar y emitir sus observaciones ante los diferentes planes de aplicación que se presenten.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Desarrollar una propuesta técnico ambiental para la aplicación de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas en taludes de carreteras en la macrozona sur.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar las restricciones existentes para la aplicación de biosólidos en taludes de carreteras.
- Plantear valores límites a las restricciones encontradas para evitar daños medioambientales y a la salud.
- Elaborar una propuesta técnico ambiental para la correcta aplicación de biosólidos en taludes.
- Evaluar teóricamente la propuesta a través de casos reales en la Autopista del Itata.

1.2. Antecedentes Generales

Los impactos que se producen por la construcción de las obras viales en el ámbito en el cual se enmarca esta investigación y que afectan de forma negativa al talud son: el daño superficial que se provoca por efectos de la erosión y la inestabilidad del talud.

1.2.1. Erosión

La erosión es el desgaste y la fragmentación de los suelos y rocas que están en la superficie. Ésta se produce por agentes externos como el agua y el viento, los cuales sumados a la pérdida de la cobertura vegetal producto de la construcción del talud y la geometría de éste, aumentan la erodabilidad del suelo ya que altera su condición natural de drenaje.

1.2.2. Inestabilidad del Talud

Durante la construcción de carreteras es necesario realizar cortes y rellenos a lo largo de la vía. Ésta acción antrópica necesaria incrementa la posibilidad de que se generen inestabilidades. La inestabilidad del talud es la determinación de la relación existente entre las fuerzas desestabilizadoras y resistivas, que pueden ser modificadas por factores como la geología, meteorización, geometría, sobrecargas puntuales, excavaciones, lluvias y sismos principalmente.

1.2.3. Vegetación

Una forma natural de brindarle protección a los taludes es generando una cubierta vegetal en la superficie de éste, ya que resiste la acción erosiva producto de que retiene el agua y disminuye el impacto directo de la gota. Además produce cohesión con el suelo por la forma en que se entrelazan las raíces cuando alcanzan un alto nivel de desarrollo, incrementándose el índice de infiltración. De esta manera y en conjunto con la evapotranspiración se reduce la cantidad de agua disponible en la superficie, protegiendo al talud, ya que disminuye la escorrentía superficial (Osorio y De Oña, 2006). Las plantas para poder desarrollarse necesitan el dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera, además del agua y los nutrientes, los cuales obtienen a través del suelo. Los taludes poseen suelos degradados producto de la baja cantidad de nutrientes y materia orgánica presentes en él, siendo este último fundamental ya que mejora las propiedades físicas del suelo.

1.2.4. Lodo Clase A

Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo. Los cuales deben cumplir con la reducción de atracción de vectores y adicionalmente:

Tener una densidad de coliformes fecales menos a 1.000 Número Más Probable (NMP) por gramo de sólidos totales, base materia seca, o tener una densidad de Salmonella sp. menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca.

Tener un contenido de ova helmíntica viable menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca.

1.2.5. Lodo Clase B

Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. Los cuales deben cumplir con la reducción de atracción de vectores y adicionalmente:

La media geométrica del contenido de coliformes fecales, producto del análisis de un número de muestras no inferior a siete, tomadas al momento de su uso o de su eliminación debe ser menor que 2.000.000 NMP por gramo de sólidos totales, en base materia seca.

1.2.6. Macrozona Sur

Regiones VIII del Maule, VIII del Bío Bío, IX de la Araucanía, XIV de los Ríos, X de Los Lagos, XI de Aysén, XII de Magallanes y la Antártica Chilena.

2. METODOLOGÍA

Con el propósito de lograr los objetivos planteados inicialmente, se establece una metodología de trabajo para obtener el desarrollo de una propuesta técnico ambiental para la aplicabilidad de biosólidos en taludes. De esta forma, se plantea llevar a cabo las siguientes etapas:

- Identificación de Restricciones
- Planteamiento de Valores Límites
- Propuesta Técnico Ambiental

Una vez que se tienen las etapas definidas se procede a realizar de forma secuencial cada una de ellas, incluyendo las sub-etapas necesarias para su correcta elaboración.

2.1. Identificación de Restricciones

Para comenzar con esta investigación se deben revisar las normativas nacionales e internacionales vigentes respecto al tema, las cuales proporcionan diversas restricciones para la aplicación de biosólidos al suelo basadas en una serie de criterios. De esta forma se obtendrá un listado de limitaciones las cuales serán la base de dicho estudio. También se revisa literatura complementaria, la cual sirve de apoyo ante una eventual toma de decisiones.

2.1.1. *Revisión de Normativa y Literatura*

Las normativas respecto del uso de lodos provenientes de PTAS nacional y extranjera son: Chile (Ley 19300, 1994; DS N°148, 2003; DS N°4, 2009; DS N°40, 2013), Estados Unidos (EPA, 2013), Europa (CEE, 1986) y Australia (EPA Victoria, 2004).

2.1.2. *Criterio Empleado*

Las normativas analizadas consideran que los lodos provenientes de PTAS por su alto contenido de materia orgánica pueden presentar ventajas, si se utilizan de forma correcta, ya que mejoran las condiciones físicas del suelo. De esta forma se incrementa la porosidad, aireación, capacidad de infiltración y retención de agua, pero también poseen metales pesados y otros contaminantes. Por estos motivos mencionan que ante cualquier plan de aplicación se debe velar primero que nada por la salud humana, el bienestar de la población, la protección del medio ambiente para que éste se encuentre libre de contaminación, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Un mal manejo de lodos puede causar malos olores, enfermedades, contaminación del

suelo y la producción agrícola, infiltración hacia aguas subterráneas (lixiviación) y escurrimiento hacia cursos o masas de aguas superficiales (eutrofización).

2.1.3. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

La ley 19.300 en su artículo 10 establece cuales son los proyectos que deben someterse a un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ya sea a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). De acuerdo a lo mencionado, el desarrollo de la presente propuesta no recae en ninguno de los proyectos descritos, puesto que se realizará sobre taludes en carreteras o autopistas ya construidas y por ende sometidas con anterioridad a un SEIA. Además de esto, se impondrán restricciones de aplicación de biosólidos en taludes tomando como línea base el DS N°4 de 2009. En el caso de la construcción de nuevas obras viales se aconseja que esta propuesta se incluya en el SEIA del camino a construir.

2.1.4. Listado de Restricciones

Una vez revisada cada una de las normativas y documentos complementarios se procede a obtener para cada uno de ellos las restricciones asociadas a la utilización de lodos en el suelo (Ver Anexo A). La Figura 1 proporciona las restricciones del conglomerado de normativas y limitaciones iniciales de acuerdo al contexto y material a utilizar.

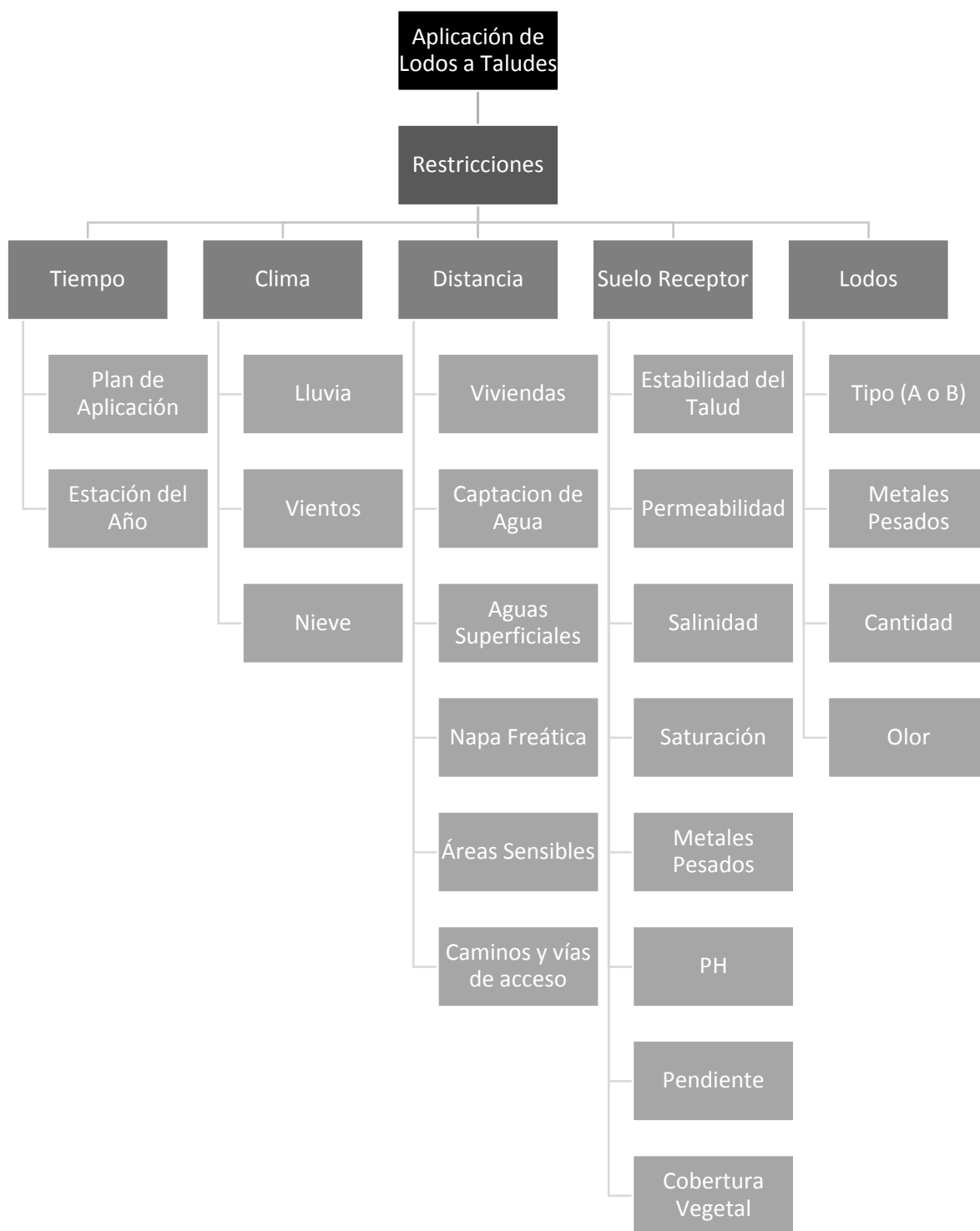


Figura 1. Listado de Restricciones para la Aplicación de lodos de PTAS en el Suelo

(Fuente: Elaboración propia)

2.1.5. Caracterización de Lodos

Los grandes potenciales para la utilización de los lodos de PTAS tienen relación directa con el contenido de nutrientes que poseen, los cuales son necesarios para el crecimiento de la vegetación, utilizándolos como fertilizantes y también como elemento mejorador de suelo.

Se trabaja con la caracterización de los lodos de la PTAS de ESSBIO, la cual se encuentra en la comuna de Hualpén. El tipo de tecnología que se utiliza en esta planta es de Lodos Activos. Este proceso, se basa en generar contacto directo entre las aguas residuales y los lodos biológicos, los que se desarrollan de manera inicial por aireación, generando condiciones favorables para el crecimiento de organismos, los cuales tienen la capacidad de oxidar la materia orgánica presente en las aguas servidas. Luego del tratamiento primario se pasa a un sedimentador, donde los flóculos biológicos precipitan en él, una parte es recirculada hacia el tanque de aireación con el objetivo de renovar la población de microorganismos y el resto se elimina por una corriente de purga, quedando en las zonas altas aguas más clarificadas las cuales pasan por un efluente secundario.

La Tabla 1 presenta el contenido de nutrientes de la planta PTAS de Hualpén, así como también valores típicos de nutrientes presentes en plantas de tratamiento de la C.E.E. y rangos indicados por la E.P.A. Se observa que los lodos de la Planta de Hualpén tienen un alto contenido de nitrógeno y un bajo valor de fósforo; en contraste, el potasio presenta valores similares a los de Europa y Estados Unidos (Leppe, 2002). El nutriente solicitado en mayor cantidad por la vegetación es el nitrógeno, las normativas definen la cantidad de lodos a utilizar en función del nitrógeno que consumen los cultivos (tasa agronómica), pudiendo incurrir o no en agregar más fósforo del necesario. La relación existente en Estados Unidos y Europa en cuanto al contenido de nitrógeno y fósforo es del orden 2:1. Sin embargo, se observa que esta relación en el caso de la planta de Hualpén es del orden 11:1. De esta forma se elimina el riesgo de tener fósforo en exceso, descartándose que se tome como parámetro al momento de la aplicación el contenido de fósforo en los lodos (Leppe, 2002).

Tabla 1. Contenido de Nutrientes de lodos de PTAS

Elemento	Rangos		
	Planta Hualpén	C.E.E.	E.P.A.
Humedad (%)	83,0 – 89,0	50,0 – 87,0	-
Sólidos Volátiles (%)	49,7 – 78,1	-	59,0 – 88,0
Materia Orgánica (%)	63,7	-	-
P_T (g/kg)	0,1 – 1,5	1,5 – 5,7	2,8 – 11,0
N_T (g/kg)	4,2 – 8,9	1,5 – 7,2	2,4 – 5,0
K(g/kg)	0,25 – 1,2	0,4 – 0,7	0,5 – 0,7
pH	6,1 – 6,8	6,8 – 10,3	6,5 – 8,0

- No existe información

La Tabla 2 proporciona el contenido de metales pesados de los lodos de la PTAS de Hualpén así como también de la C.E.E. y E.P.A., junto a los valores límites establecidos en las normativas de cada uno de ellos. Se observa que el contenido de metales pesados presentes en los lodos de PTAS de Hualpén son bastante inferiores a los que se encuentran en países desarrollados. Se aprecia que la normativa nacional es en promedio 3 veces más restrictiva que la Europea y 6 veces más restrictiva que la Norteamericana (Leppe, 2002). A modo de resumen, los lodos de la PTAS de Hualpén cumplen de forma satisfactoria con el contenido de metales pesados impuesto por la normativa nacional (siendo bastante inferiores).

Tabla 2. Contenido de Metales Pesados en lodos de PTAS y Valores Límites de las Normativas (en mg/kg peso seco)

Metales	Contenidos típicos			Valores normados		
	Planta de LA Hualpén	C.E.E.	E.P.A.	Chile	C.E.E.	E.P.A.
Arsénico	2,2	-	9	20	-	75
Cadmio	1,2	6,3	87	8	20 - 40	85
Cromo	37,6	-	1800	-	-	-
Cobre	222	525	1250	1000	1000 - 1750	4300
Mercurio	0,34	1,84	7	10	16 - 25	57
Molibdeno	4,9	-	-	10	-	75
Níquel	14,6	99,5	410	80	300 - 400	420
Plomo	16,0	396	1940	300	750 - 120	840
Selenio	0,84	-	26	50	-	100
Zinc	633	2155	3843	2000	2500 - 4000	2000

- No existe información

2.1.6. Aspectos del Medio Físico

2.1.6.1. Clima

La región del Biobío tiene un clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses, se caracteriza porque las precipitaciones aumentan hacia el sur. El régimen térmico es suavizado por la acción moderada que ejerce el mar, manifestándose en leves amplitudes diarias y anuales. La hidrografía se caracteriza por un régimen nivopluvioso. El río Biobío es el curso de agua más importante de la región y en esta área es donde comienzan las reservas forestales nativas de auténtica importancia para el país (Dirección Meteorológica de Chile, 2001). La Figura 2 muestra el climograma de la región de Biobío.

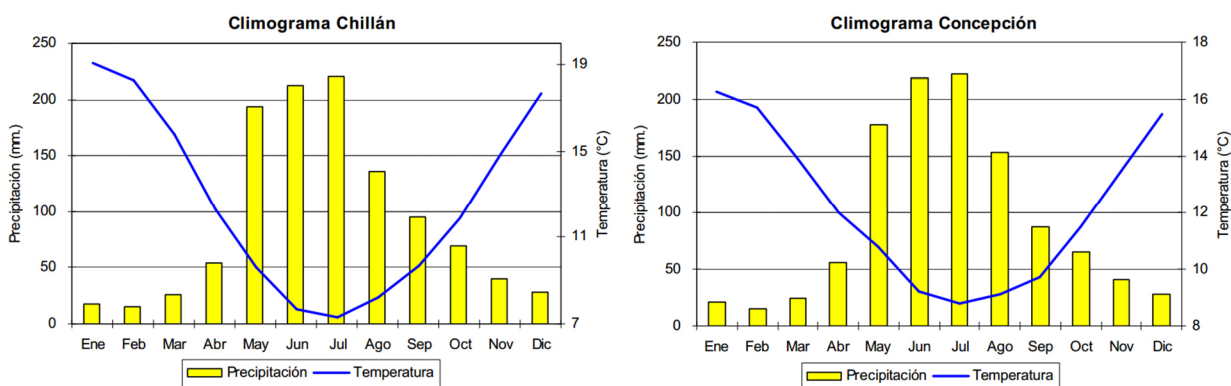


Figura 2. Climograma Región del Biobío

(Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2001)

2.1.6.2. Antecedentes Hidrogeológicos

Las formaciones hidrogeológicas de alta importancia están situadas en la depresión intermedia, la permeabilidad es comúnmente alta en esta zona, existiendo pozos de alta productividad. La cordillera de los andes posee comúnmente rocas de muy baja permeabilidad, característica similar a la que se presenta en la cordillera de la costa por lo cual tienen una importancia hidrogeológica muy baja a nula. La Figura 3 muestra el mapa hidrogeológico de la zona en estudio.

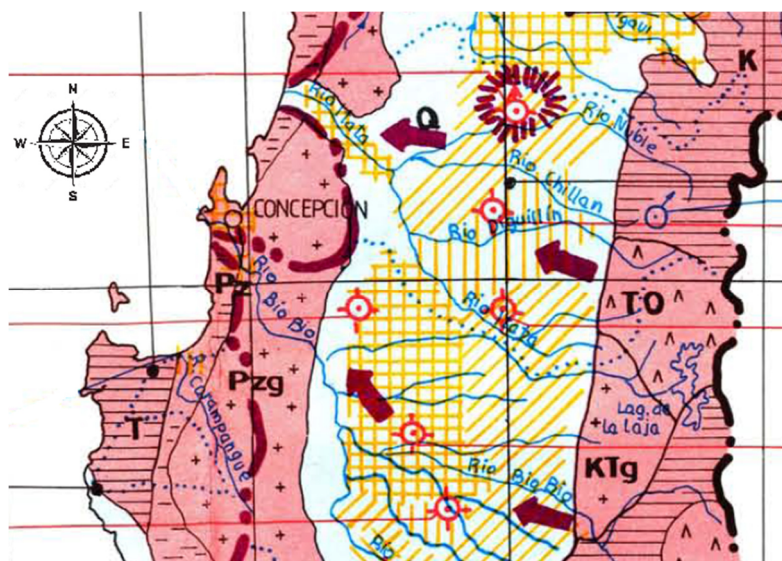


Figura 3. Mapa Hidrogeológico Región del Biobío (sin escala)

(Fuente: Mapa Hidrogeológico de Chile, 1986)

2.1.6.3. Procesos Ecológicos y Restauración

Es de suma importancia conocer los procesos ecológicos que se producen en los taludes y en sus alrededores, ya que de ellos depende el éxito en su restauración. Existen tres filtros ecológicos presentes en el proceso: dispersión, abiótico y biótico. Éstos son dependientes debido a que están conectados a través de las especies establecidas, además tienen un carácter dinámico porque dependen de las condiciones del medio.

Existen dos tipos de restauraciones vegetales, pasivas y activas. En la primera no se interviene la zona, esperando que se produzca una colonización natural, la cual no es suficientemente rápida. En la restauración activa se acelera el crecimiento de la vegetación con el objeto de controlar la erosión y brindarle estabilidad al talud. Uno de los métodos más utilizados para este último caso es la hidrosiembra.

Las malas condiciones del suelo en los taludes generan que el filtro abiótico cumpla un papel fundamental para el desarrollo de las especies. Independiente de la diversidad de semillas que logren llegar al talud no todas podrán establecerse en él, ya sea por la cantidad de nutrientes que tenga el suelo o por el filtro biótico a través de las interacciones planta-planta, las cuales pueden ser positivas o negativas dependiendo generalmente del estrés hídrico que exista en el talud.

La composición florística varía entre los taludes de corte, relleno y también según su orientación puesto que los filtros están sometidos a condiciones distintas (Bochet y García-Fayos, 2004). Por este motivo no existe una solución única al momento de restaurar estas obras. Las especies seleccionadas para la hidrosiembra radican en un reducido número, ya que son las que el mercado ofrece, utilizándose en algunos casos de forma indiscriminada ante cualquier escenario (Balaguer, 2002). El éxito de la hidrosiembra reside en mayor parte por una adecuada selección de semillas que logren superar los filtros ecológicos mencionados.

Las especies capaces de colonizar de forma espontánea los taludes son especies idóneas, las cuales están adaptadas a las condiciones locales, presentando mayores garantías para lograr el éxito en la revegetación (Bochet et al., 2010b). La Figura 4 muestra, a modo de resumen, el ensamblaje de las especies y filtros además de las posibles medidas de restauración mediante la manipulación de los filtros.

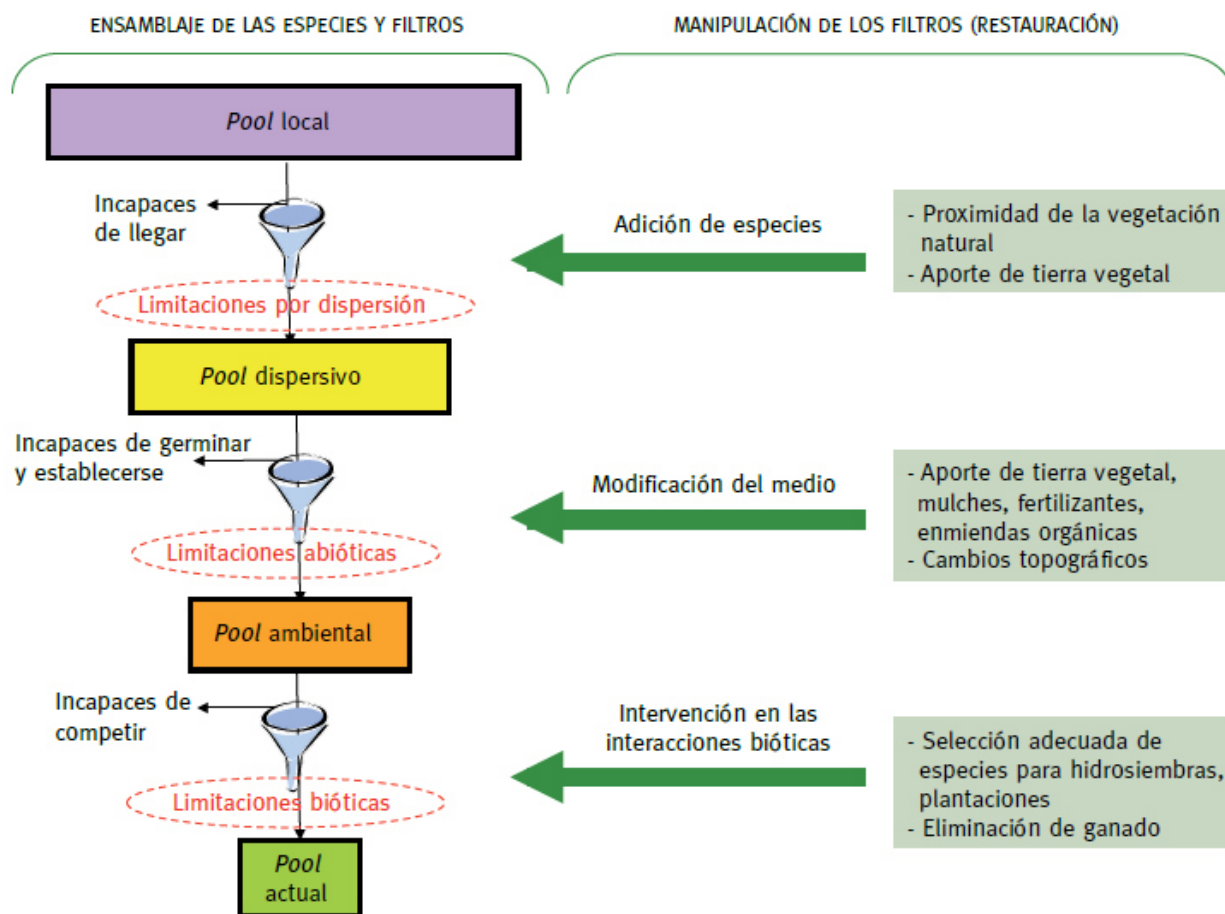


Figura 4. Ensamblaje de especies, filtros y manipulación de ellos

(Fuente: Bochet et al, 2012)

2.1.6.4. Concentración de metales en el suelo

Los metales pesados presentes en el suelo pueden ser de naturaleza geogénica o antropogénica. Cuando se habla de origen geogénico el contenido de metales presentes en el suelo está ligado a la composición de los distintos minerales presentes en él. Son de origen antropogénico cuando sus concentraciones son mayores, producto de la actividad del hombre. La Tabla 3 presenta el contenido de metales pesados en suelos cultivados en la región del Biobío y el anexo B muestra el contenido de metales pesados en la macrozona sur.

Tabla 3. Contenido de Metales Pesados en suelos cultivados en la región del Biobío (mg/kg peso seco)

Metales Pesados	Cadmio	Cobre	Plomo	Zinc
Promedio	<1,0	31	16	67
Mínimo	<1,0	6,3	5,7	19
Máximo	<1,0	63	47	300
Número de Observaciones	42	42	42	42

Fuente: INIA (1990)

La aplicación de lodos al suelo involucra necesariamente un incremento en la concentración de metales pesados; sin embargo, este aumento no es significativo (salvo en el zinc) debido a la dilución del lodo en el terreno (Ahumada et al., 2004). La Figura 5 muestra el contenido de metales pesados en el terreno antes y después de la aplicación de lodos.

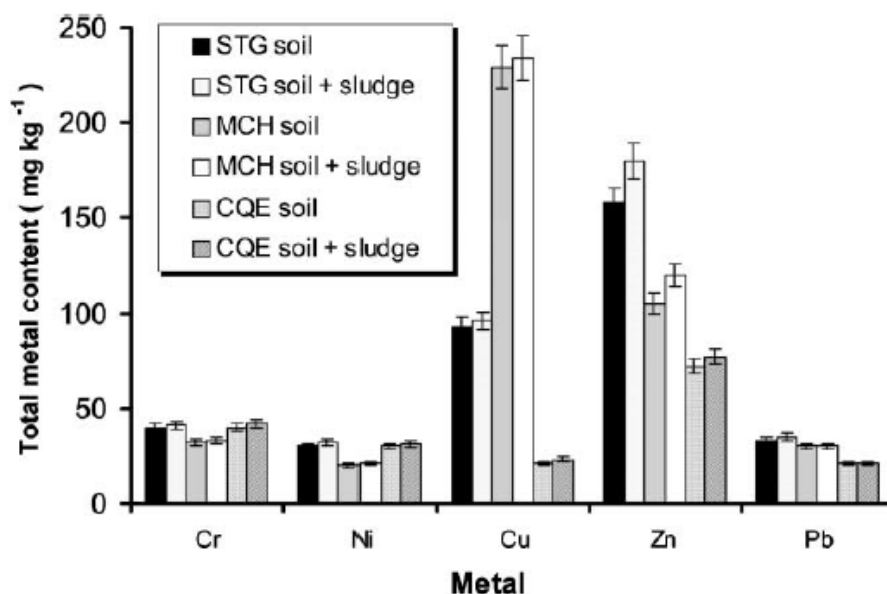


Figura 5. Contenido total de metales pesados en suelos enmendados con lodos de PTAS con una aplicación de 30 ton/ha

(Fuente: Ahumada et al, 2004)

2.1.6.5. Emisión de Olores

Actualmente en el país no existe una norma específica para olores, a excepción de la Norma de Emisión para Olores Molestos (DS N° 167, 2000). Esta problemática ha sido abordada de forma tangencial por la legislación nacional, dedicando la mayor parte de la normativa atmosférica vigente a la regulación de material particulado y a la generación de gases emitidos por fuentes

móviles e industriales, provocando que las entidades emisoras se preocupen principalmente de cumplir con el MP10, MP2,5, CO, NO_x, SO₂, O₃.

El único parámetro indicador de olor molesto en Chile son las quejas o denuncias que hacen las personas. A nivel país se han identificado alrededor de 2.000 establecimientos que potencialmente generan olores molestos, siendo las PTAS una de las que presenta mayor presencia a nivel nacional (ECOTEC, 2013).

Las mediciones de campo son las únicas técnicas que permiten evaluar de forma objetiva el alcance real del olor en los entornos cercanos a las fuentes generadoras de olores molestos. Los países más avanzados en este tipo de problemática ambiental no establecen valores límites de emisión sino que valores objetivo de inmisión, para lo cual utilizan unidades de olor (UO/m³) al percentil 98 como es el caso de la normativa alemana sobre efectos y evaluación de olores (VDI 3883). Una de las principales dificultades que se presentan para regular este problema es la subjetividad del mismo, los olores dependerán de cada una de las actividades en la industria así como también de las condiciones meteorológicas, topográficas y localización de los potenciales receptores. El Anexo C muestra el porcentaje de población que afirma molestias por olores con respecto al grado de exposición que tienen al olor y las principales técnicas disponibles para su medición.

“Las figuras que define nuestra legislación: normas de calidad ambiental y normas de emisión, no son adecuadas para regular actualmente y en forma eficiente los olores.” (División de Calidad del Aire, 2013). Los métodos para reducir los olores en los sitios de aplicación son: estabilización y manejo correcto de los lodos en las instalaciones de tratamiento, limpieza de tanques, camiones y equipos, minimizar el tiempo de almacenaje de los biosólidos (EPA, 2000).

2.2. Planteamiento de Valores Límites

Es necesario plantear valores límites a las restricciones relevantes para esta aplicación, ya que el hacer caso omiso de éstos puede poner en riesgo la salud y el medio ambiente. Los valores serán propuestos en base a las normativas y literatura consultada, adoptando un criterio conservador para cada uno de ellos.

2.3. Propuesta Técnico Ambiental

La mayoría de las aplicaciones de biosólidos a taludes a escala en investigaciones anteriores fueron realizadas de forma manual, ya que la superficie de aplicación era bastante pequeña por lo que se

hacía cómodo trabajar. En el caso de taludes reales, las condiciones son totalmente distintas puesto que se trabaja en condiciones naturales, y éstos son de una altura considerable, por lo cual el método de aplicación manual no es factible, haciéndose necesario buscar un método de aplicación alternativo que sea rápido y seguro.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este Capítulo se presentan los resultados conseguidos del análisis de normativas y documentos complementarios mencionados en la metodología para la correcta aplicación de biosólidos en taludes de carreteras. También se desarrolla una propuesta técnico ambiental para la aplicación de lodos en taludes, la cual se evaluará de forma teórica con casos reales de la Autopista del Itata, Región del Biobío.

3.1. Cantidad de Lodos a Aplicar

La cantidad de biosólidos a aplicar está directamente relacionada con la pendiente del talud. Los experimentos realizados respecto al tema han utilizado cantidades muy variables de lodos, las cuales van desde 0,5 a 100 ton/ha. La cantidad máxima de aplicación según la normativa vigente chilena es de 90 ton/ha por año, pero cuando la cantidad de metales pesados en el suelo receptor no cumple con el reglamento se permite una única aplicación de 30 ton/ha. Se plantea utilizar como máximo 30 ton/ha (criterio conservador) ante una eventual mala utilización del material y como mínimo 4 ton/ha debido a que esta cantidad logra una buena cobertura vegetal en taludes (Osorio y De Oña, 2011). Se propone trabajar con distintas dosis de lodos según rangos de pendientes. Todas las aplicaciones estarán formadas por mezclas, ya que es la mejor manera de aplicar el lodo sobre taludes, puesto que la aplicación de 100% de lodos no permite buena adherencia al talud, lo cual provoca su desprendimiento por resecaamiento y cuarteamiento del material (Castro, 2005). La Tabla 4 muestra el rango de pendientes escogidas y la cantidad de lodo a utilizar.

Tabla 4. Cantidad de lodos a aplicar según rango de pendientes

Rango de pendiente (%)	Cantidad máxima de lodos (Ton/ha peso seco)
15 a 50	30
50 a 67	10
67 a 150	4

3.2. Planteamiento de Valores Límites a Restricciones

Con el propósito de mejorar las características de los taludes, mediante la aplicación de biosólidos, se proponen valores límites a las restricciones que atañen al contexto analizado, con el fin de no ir en desmedro del medio ambiente. La Tabla 5 muestra las restricciones al plan de aplicación de cada una de las variables relevantes analizadas.

Tabla 5. Restricciones al Plan de Aplicación de Biosólidos de PTAS a Taludes de Carreteras

Restricciones	Descripción
Tiempo	La duración del plan de aplicación debe ser inferior a un año.
	Aplicar entre los meses de octubre a abril.
Distancia mínima para aplicación	50 m de aguas superficiales permanentes (Se exceptúan los cauces naturales de corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales).
	300 m de una captación de aguas subterránea para agua potable.
	100 m de una vivienda aislada.
	300 m de un conjunto de viviendas.
	50 m de flora nativa.
	100 m de áreas sensibles (Parques Nacionales, Reservas, Zonas Culturales).
Suelo receptor	Asegurar la estabilidad del talud.
	Aplicar en suelos que tengan una cobertura vegetal menor a 45% (Ver anexo D).
	Aplicar en suelos que no se encuentren saturados con agua.
	Aplicar en suelos que no estén cubiertos con nieve ya sea de forma temporal o estacional.
	Aplicar en suelos sin riesgo de inundación.
	Aplicar cuando la cantidad de metales pesados en el suelo sean inferiores a la Tabla 1 del DS N°4 2009 (Ver Anexo E).
	Aplicar cuando el pH del suelo sea mayor o igual a 6,0.
	Aplicar cuando la conductividad eléctrica (CE) del suelo sea inferior a 4 dS/m.
	Aplicar cuando se tomen medidas de control de erosión adicionales (Ver Propuesta técnica)
Lodos	Aplicar lodos tratados ya sean tipo A o B provenientes de PTAS.
	Aplicar cuando la cantidad de metales pesados en los lodos sea inferior a la Tabla 2 del DS N°4 2009 (Ver Anexo E).
	Aplicar la cantidad máxima de lodo según Tabla 4 del presente informe.
Clima (Momento de Aplicación)	Aplicar con vientos inferiores a 30 km/h.
	Aplicar cuando no existan precipitaciones el día de la aplicación o cuando se pronostiquen temporales luego de 15 días.

3.3. Propuesta Técnico Ambiental

Independiente de la propuesta que se plantee para aplicar el biosólido sobre el talud, es necesario verificar que no existan riesgos, ya sea durante su transporte, momento de aplicación y disposición final.

3.3.1. Transporte de Lodos

Los lodos procedentes de PTAS para poder ser transportados deben ser estabilizados para evitar la atracción de vectores, higienizados para cumplir al menos con lodo clase B y tener una humedad máxima de 85%. El transporte se realiza en contenedores cubiertos hasta el monorrelleno, relleno sanitario o lugar de aplicación benéfica respectivamente. Estos lodos son catalogados como residuos no peligrosos (DS N° 148, 2003) ya que no presentan características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad.

3.3.2. Hidrosiembra

El método de aplicación escogido es a través de hidrosiembra. El método de hidrosiembra convencional consiste en la proyección hidráulica sobre el suelo de una mezcla homogénea de semillas, mulches, estabilizadores y fertilizantes, desde una cuba móvil con una bomba a presión en la cual el material sale por una boquilla de distribución siendo esparcido de forma pulverizada. El objetivo es conseguir una cubierta vegetal inicial rápida, que sirva de base para el establecimiento de las especies autóctonas o colonizadoras.

3.3.2.1. Mezcla de semillas

La mezcla de semillas a utilizar está formada en un 40% por leguminosas y un 60% por gramíneas, siendo estas últimas de rápida germinación. El criterio que se emplea para dicha mezcla es principalmente:

- Correcta adaptación bioclimática y edáfica.
- Correcta integración con el paisaje.
- Capacidad de automantenimiento.
- Sistemas radicales extendidos.
- Etapas de germinación y máximo desarrollo repartidas a lo largo del año, garantizando un buen recubrimiento en todo momento.

Es necesario que en dicha mezcla se encuentren especies de rápida germinación y desarrollo radicular, ya que esto permite fijar el suelo evitando que la erosión se apodere del talud e impida que se desarrolle una buena cobertura vegetal (Alfaya, 2012). Las leguminosas a aplicar fueron elegidas de acuerdo a especies colonizadoras típicas de la región ya que de esta forma existe un mayor éxito para la revegetación (Bochet et al., 2010). La Tabla 7 muestra el porcentaje de las especies a utilizar en la hidrosiembra. En el Anexo F se encuentra la descripción de cada una de las semillas propuestas.

Tabla 6. Porcentaje de Especies de la Hidrosiembra

Talud de Orientación Norte		Talud de Orientación Sur	
Especie	Mezcla (%)	Especie	Mezcla (%)
Festuca Arundinacea*	30	Festuca Arundinacea*	30
Lolium Perenne*	20	Tripholium Repens**	20
Poa Pratensis*	10	Festuca Rubra*	10
Teline Monspessulana**	40	Teline Monspessulana**	40

* Gramíneas

** Leguminosas

3.3.2.2. Fertilizantes

La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales actúan provocando una liberación lenta de nitrógeno, disminuyendo el riesgo de lixiviación. Generalmente se utilizan fertilizantes con composiciones de 5 a 15 % de nitrógeno total. Los biosólidos también cumplen con la característica de ser un material con alto contenido de nutrientes, éstos poseen un alto porcentaje de materia orgánica evitando que los nutrientes queden dispuestos de forma inmediata para las plantas debido a que se liberan de forma lenta producto del proceso de desmineralización de la materia orgánica. Por la gran similitud, se plantea utilizar los lodos, en reemplazo de los fertilizantes tradicionales. En el Anexo G se presenta un cuadro comparativo en donde se observa la composición de los fertilizantes y lodos.

3.3.2.3. Maquinaria a Utilizar

Independiente del grado de deshidratación que tengan los lodos cuando salgan de la PTAS, estos se deben hidratar antes de realizar la mezcla, obteniéndose lodos en estado líquido con un 94 a 97% de humedad (EPA, 2000). Estos presentan una granulometría muy fina, por lo cual es posible utilizar una máquina de hidrosiembra convencional sin realizar modificaciones y sin riesgo de que sus partes mecánicas sufran corrosión.

3.3.2.4. Aplicación

En el caso de que los taludes se encuentren deteriorados, producto de la erosión, es necesario hacer un perfilado de forma mecánica sobre éste. La hidrosiembra estará compuesta por mulch, estabilizador, semillas, biosólidos (que reemplazarán a los fertilizantes) y agua. Algunas semillas difieren debido a la orientación de los taludes producto de las distintas influencias que puedan realizar los filtros ecológicos sobre las especies. La Tabla 8 presenta los componentes y dosis según rangos de pendientes.

Tabla 7. Componentes y dosis de la Hidrosiembra

Pendientes	15 a 50%	50 a 67%	67 a 150%
Contenido	Dosis (kg/m²)		
Agua			
Semillas	0,03	0,03	0,03
Mulch	0,10	0,10	0,10
Lodos	15	5	2
Estabilizador	0	0,10	0,04

3.3.2.5. Solución para Remoción de Contaminantes

La incorporación de lodo al suelo no aumenta la concentración de metales pesados en él, cumpliendo con lo establecido en el reglamento correspondiente.

Con el fin de proporcionar una solución integral y evitar daños producto del error humano, se plantea la construcción de humedales. Los humedales artificiales son sistemas utilizados en el tratamiento de aguas residuales para disminuir los sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable, macronutrientes, metales pesados y patógenos. Éstos son sencillos de construir (profundidad inferior a 1 metro), de bajo costo y mantenimiento, por lo cual son una alternativa viable para recibir el agua que se origina en el talud producto de las precipitaciones o afloramientos en éste, removiendo en todo o parte los contaminantes arrastrados por la escorrentía.

Cuando exista espacio disponible al pie del talud se construirá un humedal con flujo vertical, de lo contrario se realizará aguas abajo un humedal con flujo horizontal, ambos humedales artificiales son del tipo sub-superficial. La construcción de cada uno de ellos se realiza mediante las siguientes etapas: desbroce, explanación, excavación, impermeabilización, tubería de salida, conformación de capas y plantación.

Las relaciones básicas para el dimensionamiento del humedal son las siguientes:

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{(T-20)} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

K_T : Constante de velocidad de reacción, dependiente de la temperatura.

T : Temperatura media anual (°C).

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T(y)(n)} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

Q : Flujo promedio a través del humedal (m³/d).

C_o : Concentración del contaminante del afluente (mg/L).

C_e : Concentración del contaminante del efluente (mg/L).

y : Profundidad del agua en el estanque (m).

n : Porosidad (%).

A_s : Área superficial del humedal (m²)

$$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

TRH : Tiempo de Residencia Hidráulica en los humedales (días).

3.3.2.6. Vetiver

La planta escogida para utilizar en el humedal es el vetiver. Esta planta es del tipo perenne, presenta un acelerado desarrollo, es estéril, no es invasiva. Su sistema radicular enlaza fuertemente el suelo, sus raíces alcanzan profundidades de hasta 5 metros y logran una tensión promedio de 75 MPa. Es utilizado generalmente para el tratamiento de aguas residuales, ya que absorbe los contaminantes

y metales pesados; también se utiliza para el control de erosión y estabilización de taludes. La Tabla 8 muestra la distribución de metales pesados en la planta vetiver.

Tabla 8. Distribución de Metales Pesados en brotes y raíz del Vetiver (mg/kg)

Metales	Brotes	Raíz
Arsénico	4,5	96
Cadmio	0,58	8,32
Cromo	4	404
Cobre	13	68
Mercurio	0,02	0,39
Níquel	448	1040
Plomo	0,5	5,1
Selenio	0,58	1,6
Zinc	880	1030

Fuente: Truong (2014)

3.3.2.7. Afloramiento en Taludes

Esta solución en particular no es aplicable a taludes que tengan afloramientos de rocas, ya que la adherencia así como también la germinación de las semillas es desfavorable. En el caso de afloramientos de agua en taludes de tierra, se espera inicialmente que la hidrosiembra propuesta genere un control alto a nivel de manto, debido al desarrollo radicular de las plantas, evitando que se produzca una erosión diferencial en los estratos más permeables. Cuando los afloramientos produzcan erosión diferencial, independiente de que exista una buena cobertura vegetal, se debe realizar una solución que evite el arrastre y la pérdida de finos, la decisión de la solución a escoger dependerá de la magnitud del afloramiento y de las condiciones de terreno.

3.3.3. Caudal de Escorrentía

La escorrentía que se produce en el talud depende de factores como la intensidad de la lluvia, área, permeabilidad del suelo, pendiente y longitud, entre otros (John, 2001). Las obras de control de la escorrentía superficial deben diseñarse para recibir caudales de una lluvia con periodo de retorno de 10 años.

Se recomienda para el diseño de obras de drenaje utilizar la Ecuación 4 (método racional), ya que los caudales calculados por este método tienen intrínsecamente un factor de seguridad mayor que el de otros métodos (John, 2001).

$$Q = C * I * A \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

Q = Caudal recolectado (m^3/s)

I = Intensidad de la lluvia de diseño (mm/hr)

A = Área del talud (m^2)

C = Coeficiente de escorrentía

Se recomienda utilizar un $C=1$ para taludes. Este valor representa una sobreestimación de la escorrentía pero en la práctica resulta efectivo, producto de los procesos de sedimentación aguas abajo del talud. En el Anexo H se presenta la curva IDF de la zona en estudio.

3.4. Evaluación de la Propuesta

Se procede a evaluar la propuesta a través de casos reales en la Autopista del Itata. Para esto se consideran tres casos. El Anexo I presenta las condiciones actuales de los taludes a analizar y un diagrama de flujo para ver si la presente propuesta técnica es aplicable. La Tabla 9 presenta la evaluación de la propuesta.

Tabla 9. Evaluación de la Propuesta con Casos Reales de la Autopista del Itata.

Talud N°	42	50	61
Pendiente (%)	150	150	150
Área (m^2)	529,0	1062,0	12487,0
Grado de Cobertura Vegetal (%)	38,8	36,6	32,9
Caudal (m^3/d)	58,2	116,8	1373,6
Espacio para Humedal	SI	SI	SI
As (m^2)	58,0	115,0	1355,6
Área Disponible (m^2)	150,0	400,0	1500,0
Tipo de Humedal	HFH*	HFH*	HFV**
Tipo de Lodo	A	B	B

*Humedal de Flujo Horizontal

**Humedal de Flujo Vertical

Fuente: Adaptada de Latrach (2014)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se encontraron diversas restricciones para la aplicación de lodos. La gran mayoría de ellas, están pensadas para suelos agrícolas, dejando de lado restricciones para suelos de alta pendiente como los taludes de carreteras. Se logró establecer las restricciones más relevantes de acuerdo al contexto analizado quedando en manifiesto que la aplicación de biosólidos a taludes es factible.

Se pudieron establecer valores límites a las restricciones encontradas. Estos valores fueron aplicados bajo un criterio conservador. Cuando no se cumplan los valores, existe la posibilidad de que alguno de ellos pueda remediarse, ya sea mejorando las condiciones locales o el tipo de lodo a aplicar, con el fin de no ocasionar inconvenientes aguas abajo del talud producto de los metales pesados que se encuentran en los lodos.

Se logró elaborar una propuesta técnico ambiental la cual está basada en el método de hidrosiembra convencional más la adición de lodos. La maquinaria a utilizar no necesita modificación alguna debido a que antes de realizar la mezcla los lodos se deben hidratar, obteniéndose lodos en estado líquido, además éstos no son corrosivos y presentan características similares a los fertilizantes tradicionales utilizados, por lo cual no generan problemas en los instrumentos.

Los casos evaluados teóricamente en la Autopista del Itata, muestran que se puede realizar la aplicación de forma satisfactoria debido a que se cumplen con las restricciones de distancia, cobertura vegetal y espacio disponible para realizar soluciones complementarias.

La propuesta técnico ambiental planteada, muestra el potencial de transformar un material natural que se trata como un residuo, en un subproducto para la recuperación de taludes degradados, provocando un aumento en la cobertura vegetal y una disminución en la pérdida de suelo. De esta forma, se pueden generar taludes sostenibles a lo largo de la carretera, sin la necesidad de recurrir a técnicas alternativas como geomallas, las cuales producto de su composición polimérica tardan cientos de años en biodegradarse, logrando una recuperación de la vegetación, aumentando el paisajismo en la ruta.

Por otra parte, se recomienda realizar un inventario florístico de las especies que colonizan taludes, para luego desarrollar pruebas experimentales a escala con especies de rápida germinación, en condiciones naturales, observando su comportamiento y las posibles interacciones que se generen entre las distintas especies (positivas y negativas).

También es necesario realizar mediciones de la concentración de metales pesados en el talud, después de la aplicación de biosólidos y de cada evento de lluvia considerable, con el fin de obtener una relación entre la precipitación y la disminución de la concentración de metales en un terreno de alta pendiente.

Por ultimo también es recomendable medir la conductividad hidráulica de dicho material a nivel de laboratorio. Con el fin de analizar su capacidad de drenaje en taludes.

BIBLIOGRAFÍA

Ahumada, I., Escudero, P., Carrasco, M., Castillo, G., Ascar, L., y Fuentes, E. (2004). Use of sequential extraction to assess the influence of sewage sludge amendment on metal mobility in Chilean soils. *J. Environ. Monit.* 6, 327-334.

Alemania. VDI 3883, 2013. Efectos y evaluación de olores. Berlin, Alemania, septiembre 2013.

Alfaya, A. (2012). Colonización de taludes artificiales por medio de la vegetación natural. Tesis Doctoral. Biología Vegetal I. Universidad de Complutense de Madrid. Madrid. España.

Balaguer, L. (2002). Las limitaciones de la restauración de la cubierta vegetal. *Ecosistemas* 11:72-82.

Bochet, E., García-Fayos, P. (2004). Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restoration Ecology* 12:166-174.

Bochet, E., García-Fayos, P., Tormo, J. (2010). Native species for roadslope revegetation: selection, validation and cost effectiveness. *Restoration Ecology* 18:656-663.

Castro, J. (2005). Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para el control de erosión y estabilización de taludes. Tesis de maestría en Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia.

CHILE. Ley N° 19300. Ley sobre bases generales del medio ambiente. Santiago, Chile, marzo 1994.

CHILE. Decreto Supremo N°167, 2000, Ministerio General de la Presidencia. Norma de emisión para olores molestos (compuestos sulfuro de hidrogeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de pulpa sulfatada. Santiago, Chile, abril 2000.

CHILE. Decreto Supremo N°148, 2003, Ministerio de Salud. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. Santiago, Chile, junio 2009.

CHILE. Decreto Supremo N°4, 2009, Ministerio General de la Presidencia. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. Santiago, Chile, enero 2009.

CHILE. Decreto Supremo N°40, 2013, Ministerio del Medio Ambiente. Reglamento para el sistema de evaluación de impacto ambiental. Santiago, Chile, agosto 2013.

Directiva del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura (86/278/CEE). Luxemburgo, Luxemburgo, junio 1986.

ECOTEC 2013, Antecedentes para la regulación de olores en Chile. Informe desarrollado a solicitud de la subsecretaría del medio ambiente.

Estrategia para la gestión de olores en Chile 2014 – 2017 (2013). División de calidad del aire, Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile, septiembre 2013.

Osorio, F., De Oña, J. (2006). Application of sludge from urban wastewater treatment plants in road's embankments. *Journal of Hazardous Materials B131* (2006), 37-45.

Osorio, F., De Oña, J., Ferrer, A., Mochón, I. (2011). Evolution of the soil and vegetation cover on road embankments after the application of sewage sludge. *Water Air Soil Pollut* (2011) 214, 231-240.

Departamento de climatología y meteorología. Climatología regional. [en línea]
< <http://164.77.222.61/climatologia/> > [consulta: 10 octubre 2014].

EPA (Estados Unidos, 2000). Folleto informativo de tecnologías de Biosólidos, aplicación del biosólido al terreno, 832-F-00-64, 2000: 1-13.

EPA (Estados Unidos, 2000). Folleto informativo del manejo de biosólidos y residuos, control de olores en el manejo de biosólidos, 832-F-00-67, 2000: 1-22.

EPA (Victoria, 2004). Guidelines for environmental management, biosolids land application. Victoria, Australia, abril 2004.

EPA 40 CFR Part 503. Estados Unidos. Standards for the use or disposal of sewage sludge. Washington, Estados Unidos, enero 2013.

ESSBIO (2012). Memoria integrada 2012. [en línea]
<https://www.essbio.cl/inversionistas/inversionista_int_memoria_12.php > [consulta: 4 agosto 2014].

Gutiérrez, L. (2012). Erosión en taludes de alta pendiente tratados con mezcla de biosólidos, suelo y trébol enano. Proyecto de título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.

INIA. (1990). Fuentes de contaminación con residuos de plaguicidas organoclorados y metales pesados en sectores agrícolas, regiones IV a XI. Informe Final. Proyecto FIA 1/86.

John, J. (2001). Protección y estabilización de taludes para evitar deslizamientos. Proyecto de título. Ingeniería en Construcción. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.

Lamparero, J. (2008). Guía técnica para la gestión de las emisiones odoríferas generadas por las explotaciones ganaderas intensivas. Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo, y Vivienda. Valencia. España.

Leppe, A (2002). Lodos provenientes de plantas de aguas servidas: potenciales y restricciones; temores y realidades. [en línea] < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-019.pdf>> [consulta: 20 agosto 2014].

Latrach, J. (2014). Variación del grado de cobertura de taludes en la autopista del itata. Proyecto de título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.

Mapa Hidrogeológico de Chile. [en línea]

< http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-64886_documento.pdf> [consulta: 10 octubre 2014].

Power, V., Maguire, D., Cantrell, B., Stafford, T., Rooney, B., y Lynott, D. (2001). Odour impacts and odour emission control measures for intensive agriculture. Final report. Environmental Protection Agency, R&D Report Series No. 14, pp. 1-145.

SISS (2014). Coberturas año 2013. [en línea]

< http://www.siss.gob.cl/577/articles-10382_recurso_1.pdf> [consulta: 4 agosto 2014].

Truong, P. La tecnología del pasto vetiver para protección ambiental. [en línea]

< http://www.vetiver.org/LAVN_Prot%20Amb.htm> [consulta: 03 noviembre 2014].

ANEXOS

ANEXO A: Restricciones de Normativas

Tabla A1. Restricciones para la aplicación de lodos de PTAS en el suelo según DS N°4 2009.

Restricciones	Descripción
Tiempo	La duración del plan de aplicación debe ser inferior a 1 año.
Distancia mínima para la aplicación	300 m de conjunto de viviendas, 100 m vivienda aislada.
	300 m de captación de aguas subterráneas para agua potable.
	Napa freática inferior a 1 m, sitios donde se genere un efecto de napa colgante.
	Estar fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales, 1000 m aguas arriba, 200 m aguas abajo y 500 m de ancho.
	15 metros de las riberas de un río.
	15 metros de un área que cuente con recurso de bebida animal.
Suelo receptor	No aplicar a terrenos que posean un contenido de arena superior al 70% en zonas con precipitaciones medias anuales superiores a 100 mm.
	No aplicar a suelos saturados con agua la mayor parte de tiempo.
	No aplicar a suelos cubiertos con nieve ya sea de forma temporal o estacionaria.
	No aplicar a suelos con riesgo de inundación.
	Aplicar cuando la cantidad de metales pesados sea inferior a la Tabla 1 del presenta reglamento.
	Aplicar en suelos con pH mayor o igual a 5.
	No aplicar en terrenos con pendiente superior a 15%; sin embargo, si existe cobertura vegetal, arbustiva o arbórea se podrá realizar aplicación localizada.
	Aplicar cuando se pueda realizar restricción de acceso de animales y personas para evitar riesgos sanitarios.
Lodos	Restricción de metales pesados para lodos.
	Aplicar como máximo 90 ton/ha a suelos que cumplan con la cantidad de metales pesados de la Tabla 1 del reglamento y 30 ton/ha suelos que no cumplan sin haber sido receptores de lodo.
	Aplicar lodos al suelo tipo A o B provenientes de PTAS que cuenten con un proyecto aprobado por la Autoridad Sanitaria.

Tabla A2. Restricciones para la aplicación de lodos de PTAS en el suelo según EPA 40 CFR Part 503 (2013).

Restricciones	Descripción
Distancia mínima para la aplicación	10 metros de las aguas de los EEUU.
Suelo receptor	No aplicar a suelos saturados con agua la mayor parte de tiempo.
	No aplicar suelos cubiertos con nieve.
	No aplicar a suelos con riesgo de inundación.
Lugares no aplicables	No se aplicaran lodos si es probable que afecte a especies amenazadas o en peligro de extinción.
Lodos	Restricción de metales pesados para lodos (carga máxima que se puede depositar o acumular, así como también la carga máxima anual)
	La tasa de aplicación debe ser menor o igual a la agronómica, a menos que en un sitio de recuperación la autoridad lo especifique.

Tabla A3. Restricciones para la aplicación de lodos de PTAS en el suelo según 86/278/CEE (1986).

Restricciones	Descripción
Suelo receptor	Protección de las aguas superficiales y subterráneas.
	Aplicar cuando la cantidad de metales pesados en el suelo sea inferior a los establecidos en el reglamento.
	Aplicar cuando el pH del suelo sea de 6 a 7.
Lodos	Aplicar cuando la cantidad de metales pesados en los lodos sea inferior a los establecidos en el reglamento.
	Aplicar de acuerdo a las cantidades anuales de metales pesados que se podrán introducir en las tierras.
	Solo se podrán aplicar lodos tratados.

Tabla A4. Restricciones para la aplicación de lodos de PTAS en el suelo según EPA Victoria (2004).

Restricciones	Descripción
Tiempo	No aplicar en invierno producto de que las plantas consumen menos nitrógeno y las lluvias de la época aumentan el riesgo de lixiviación de nitratos, sobre todo en suelos arenosos.
Clima	No aplicar en lluvias
	No aplicar con vientos superiores a 30 km/h, cuando son vientos moderados se debe evitar la aplicación de biosólidos secos, para aplicarlos habría que humectarlos.
Distancia mínima para aplicación.	Aplicar en base a las distancias recomendadas en el reglamento ya sea para biosólidos T2 y T3.
	Aplicar cuando la napa freática este a una profundidad mayor o igual a 1,5 m
	Se deben tomar las restricciones necesarias para la aplicación de biosólidos T2 y T3 independiente del lugar donde se apliquen hasta que la vegetación este plenamente desarrollada y pasen los periodos de tiempo establecidos
Suelo receptor	La permeabilidad del suelo debe ser inferior a 50 mm/h.
	No aplicar en suelos con riesgo de inundación.
	No aplicar en suelos cubiertos con nieve al momento de la solicitud
	Salinidad (0-45 cm) suelos superficiales, ECE < 4
	Metales pesados
	El pH (0-10 cm) en suelos superficiales de ser mayor a 4,5 , PH (10-45 cm) debe ser mayor a 4,0
	Después de la aplicación de biosólidos al terreno es necesario mantener los niveles de PH en los óptimos para minimizar la absorción de metales pesados por la plantas y lixiviación de nutrientes y contaminantes, tabla 9 del reglamento
Sitios típicamente inadecuados, pendiente > 15%	
Lodos	Clasificación de lodos según la cantidad de metales pesados
	La tasa de aplicación debe ser menor o igual a la tasa agronómica (la ecuación 2 del reglamento permite obtener la tasa de carga de nutrientes NLAR)
	Para recuperación de terrenos se aplica normalmente una sola vez de forma que el NLAR puede ser excedido, de igual manera la cantidad máxima de nitrógeno permitido para recuperación de terrenos es de 2000 kg de N/ha en una sola aplicación
	Solo se pueden aplicar lodos tratados.
Lugares no aplicables	Áreas de conservación, de alta sensibilidad ecológica, zonas culturales, áreas de recarga de aguas subterráneas, zonas de suministro de agua potable.

ANEXO B: Contenido de Metales Pesados en Suelos de la Macrozona Sur

**Tabla B1. Contenido de Metales Pesados en suelos cultivados en la macrozona sur
(mg/kg peso seco).**

Cadmio				
Región	Promedio	Mínimo	Máximo	N° Observaciones
VII	<1,0	<1,0	<1,0	40
VIII	<1,0	<1,0	<1,0	42
IX	<1,0	<1,0	<1,0	68
X	<1,0	<1,0	<1,0	59
XI	<1,0	<1,0	<1,0	24
Cobre				
VII	28	15	65	40
VIII	31	6,3	63	42
IX	50	8,4	90	68
X	35	13	57	58
XI	13	6,3	31	24
Plomo				
VII	21	9	80	40
VIII	16	5,7	47	42
IX	23	5	88	67
X	20	11	45	59
Zinc				
VII	65	19	190	34
VIII	67	19	300	42
IX	67	25	94	67
X	46	10	96	59
XI	50	17	99	23

(Fuente: INIA, 1990)

ANEXO C: Exposición a Olores y Principales Técnicas para su Medición

La Figura C1 muestra el porcentaje de población que afirma molestias por olores con respecto al grado de exposición que tienen al olor, se observa que para un mismo porcentaje de población el nivel de tolerancia al olor es distinto para los tipos de zonas analizadas.

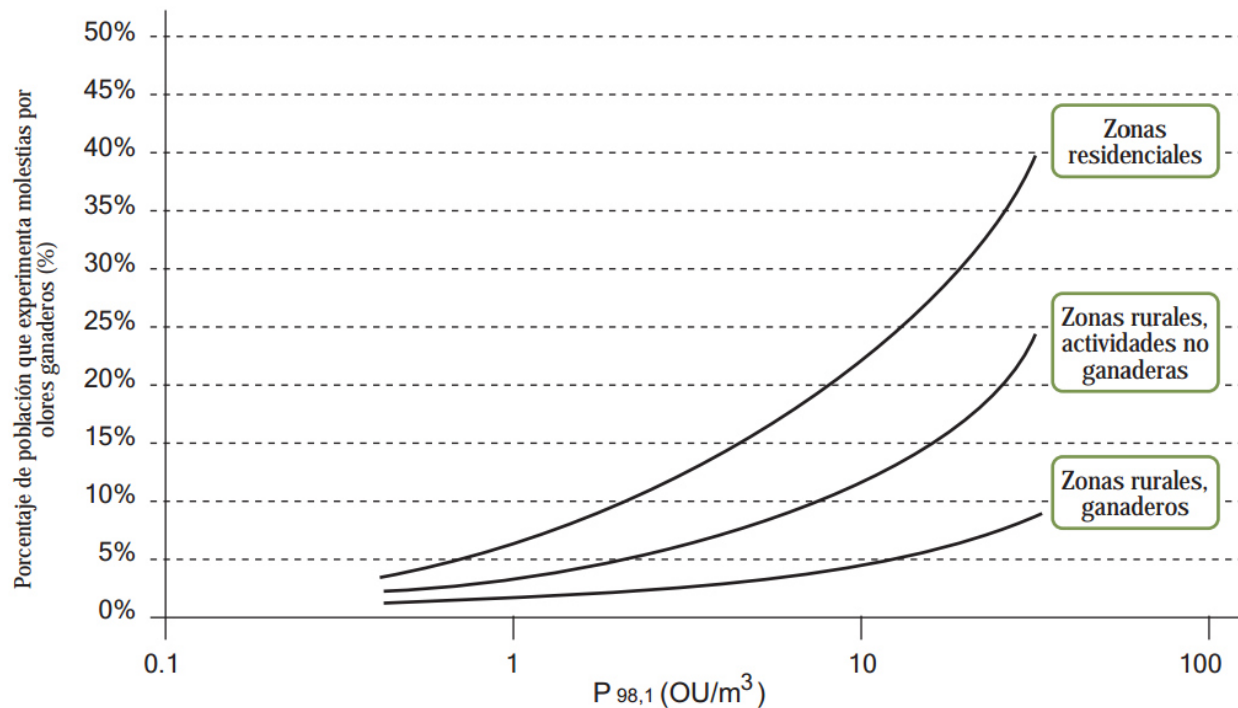


Figura C1. Relación entre el porcentaje de población que afirma sufrir molestias por olores procedentes de la ganadería y el grado de exposición al olor expresada en percentil 98.

(Fuente: Power et al, 2001)

	TIPO DE TÉCNICA	PARÁMETRO EVALUADO	APLICACIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
GC-MS SPME	Analítica/ Laboratorio	Concentración de los compuestos olorosos	Evaluación de la eficacia de ciertos tratamientos sobre la reducción del olor, utilizados a modo de indicadores	Precisión Fiabilidad Objetividad	Imposibilidad de relacionar composición química con molestia percibida
Narices electrónicas	Analítica/ Campo o Laboratorio	Señal eléctrica	Monitoreo en continuo del olor como un parámetro del proceso productivo Permite prever situaciones de posible estrés olfativo	Fiabilidad Objetividad Medición continua	Imposibilidad de relacionar composición química con molestia percibida
Olfatometría dinámica	Sensorial/ Laboratorio	Concentración del olor	Evaluación del olor emitido por fuentes puntuales o superficiales	Única técnica normalizada Evaluación directa de la percepción olfativa del olor Evaluación de la eficacia de los tratamientos sobre la reducción del olor Evaluación precisa del olor generado por cada una de las fuentes de olor	Coste. No es aplicable para la medición del olor en inmisión Imposibilidad de determinar fuentes fugitivas
Olfatometría de campo /Sniffing team method	Sensorial/ Campo	Concentración del olor	Evaluación in situ del alcance del olor Mediante modelización inversa permite estimar el olor emitido Permite validar los modelos de dispersión atmosférica	Obtención del alcance real del olor Permite la evaluación de fuentes fugitivas Evaluación directa de la percepción olfativa del olor	Requiere de asesores de campo experto Requiere de un gran número de mediciones
Mediciones en una malla de puntos	Sensorial/ Campo	Frecuencia Intensidad	Evaluación in situ del alcance del olor Permite validar los modelos de dispersión atmosférica	Técnica normalizada Obtención de la frecuencia e intensidad del olor Permite la evaluación de fuentes fugitivas Evaluación directa de la percepción olfativa del olor	Coste Requiere de asesores de campo expertos

Figura C2. Principales técnicas para la medición de olores.

(Fuente: Lamparero, 2008)

ANEXO D: Grado de Cobertura Vegetal Máximo para Aplicar Lodos a Taludes

Según la experiencia acumulada en diversos estudios se ha podido establecer que la relación entre la cobertura vegetal y la tasa de erosión hídrica se ajusta a una curva exponencial negativa (García-Fayos, 2004). La Figura D1 muestra la relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo (línea continua). Se plantea establecer el grado de cobertura máximo para poder aplicar lodos a los taludes a partir del punto de inflexión de la Figura D1 ya que a partir de este punto la reducción de la tasa de erosión es cada vez menor aunque el incremento de cobertura vegetal sea grande. El valor escogido es de 45% de cobertura vegetal.

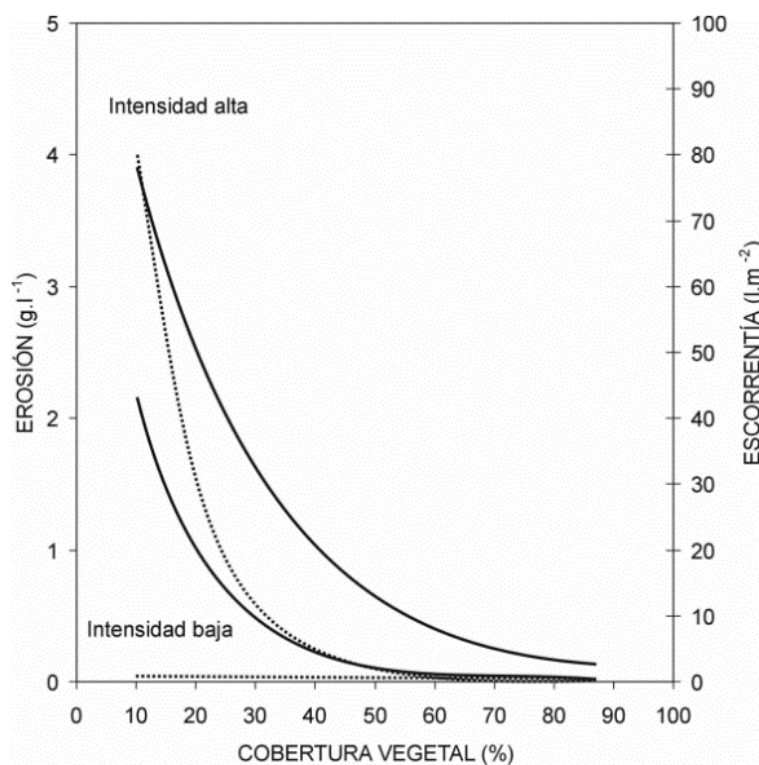


Figura D1. Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo (línea continua).

(Fuente: García-Fayos, 2004)

ANEXO E: Concentración Máxima de Metales en Suelo Receptor y Lodos Según DS N°4 2009

Metal	Concentración máxima en mg/kg suelo (en base materia seca) ¹		
	Macrozona norte		Macrozona Sur
	pH >6,5	PH ≤6,5	pH>5
Arsénico	20	12,5	10
Cadmio	2	1,25	2
Cobre	150	100	75
Mercurio	1,5	1	1
Níquel	112	50	30
Plomo	75	50	50
Selenio	4	3	4
Zinc	175	120	175

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales

Figura E1. Concentraciones máximas de metales en suelo receptor.

Metal	Concentración máxima en mg/kg. de sólidos totales (base materia seca) ¹	
	Suelos que cumplen los requisitos establecidos en este título	Suelos degradados que cumplen los requisitos establecidos en este título
Arsénico	20	40
Cadmio*	8	40
Cobre	1000	1200
Mercurio*	10	20
Níquel	80	420
Plomo*	300	400
Selenio*	50	100
Zinc	2000	2800

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales.

Figura E2. Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo.

ANEXO F: Mezcla de Especies a Colocar en el Talud

Tabla F1. Descripción de semillas a utilizar en talud de orientación norte.

Especie	Descripción
Teline Monspensulana (Retamilla)	Leguminosa con ciclo de vida perenne, coloniza rápidamente terrenos alterados, bordes de camino, genera un banco de semillas las cuales pueden permanecer varios años sin germinar, asegura la regeneración de la especie luego de incendios.
Festuca Arundinacea (Festuca Alta)	Gramínea con ciclo de vida perenne, buena resistencia tanto al frío como al calor, la sequía y la sombra. (Permite la coexistencia).
Lolium Perenne (Ballica Inglesa)	Gramínea de ciclo de vida perenne, rápida germinación, buena tolerancia al calor y la sequía, poco tolerante a la sombra.
Poa Pratensis (Pasto azul)	Gramínea de ciclo de vida perenne, de lenta germinación, resistencia a la sequía. (Permite la coexistencia).
Vetiver (Chrysopogon zizanioides)	Gramínea con ciclo de vida perenne, es una planta estéril, presenta una alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y clima, utilizada comúnmente para el tratamiento de aguas residuales ya que absorbe contaminantes y metales pesados, su sistema radical puede explorar entre 3 a 4 metros de profundidad, resiste a enfermedades, incendios, salinidad y pH.

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla F2. Descripción de semillas a utilizar en talud de orientación sur.

Especie	Descripción
Teline Monspensulana (Retamilla)	Leguminosa con ciclo de vida perenne, coloniza rápidamente terrenos alterados, bordes de camino, genera un banco de semillas las cuales pueden permanecer varios años sin germinar, asegura la regeneración de la especie luego de incendios.
Tripholium Repens (Trébol Enano)	Leguminosa con ciclo de vida perenne, buena adaptación a la sombra, soporta las bajas temperaturas, fijador de nitrógeno.
Festuca Arundinacea (Festuca Alta)	Gramínea con ciclo de vida perenne, buena resistencia tanto al frío como al calor, la sequía y la sombra. (Permite la coexistencia).
Festuca Rubra (Festuca encarnada)	Gramínea con ciclo de vida perenne, buena tolerancia a la sombra, resistencia al frío, y a la sequía. (Permite la coexistencia).
Vetiver (Chrysopogon zizanioides)	Gramínea con ciclo de vida perenne, es una planta estéril, presenta una alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y clima, utilizada comúnmente para el tratamiento de aguas residuales ya que absorbe contaminantes y metales pesados, su sistema radical puede explorar entre 3 a 4 metros de profundidad, resiste a enfermedades, incendios, salinidad y pH.

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO G: Composición de Fertilizantes y Lodos**Tabla G1. Parámetros agronómicos de fertilizantes y biosólidos.**

Parámetro	Fertilizantes (%)	Biosólido (%)
Materia Orgánica Total	15	9,92
Extracto húmico total	3 – 7,5	3,28
Ácidos húmicos	2 – 5,5	1,06
Ácidos fúlvicos	1 - 2	2,22
Nitrógeno total	5 - 15	4,2 – 8,9
Fósforo (P ₂ O ₅)	6 - 15	0,1 – 1,5
Potasio (K ₂ O)	11 - 15	0,25 1,2
Hierro (Fe)	0,5	-
Calcio (Ca)	3	-
Magnesio (Mg)	2	-
pH	7 – 7,5	6,1 – 6,8

- No existe información

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO H: Curva IDF de la Zona de Estudio

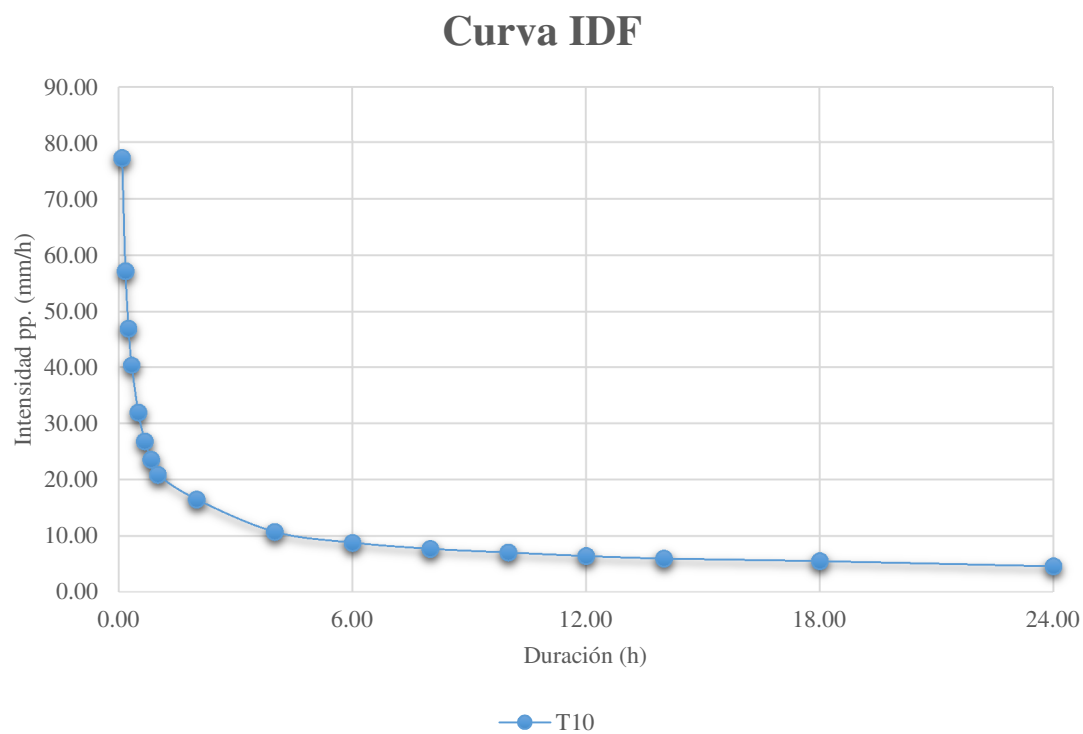


Figura H1. Curva IDF de la Zona en Estudio con Periodo de Retorno 10 Años.

ANEXO I: Condiciones Actuales de Taludes y Diagrama de Flujo para Evaluar la Propuesta Técnica

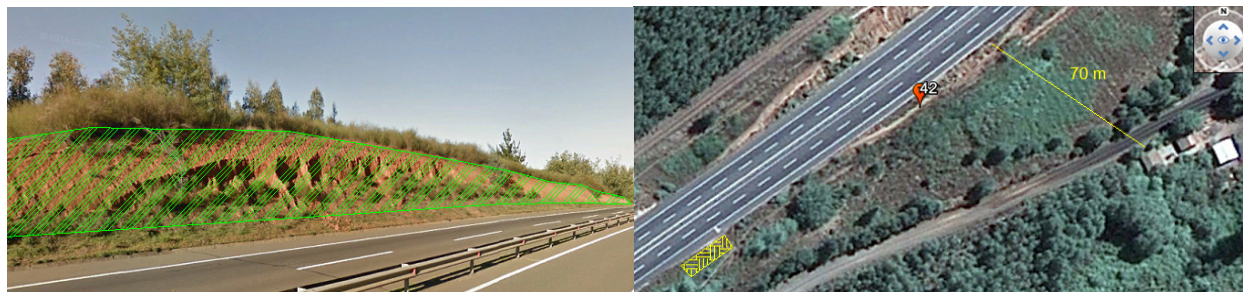


Figura I1. Condiciones Actuales y Vista en Planta del Talud 42.



Figura I2. Condiciones Actuales y Vista en Planta del Talud 50.

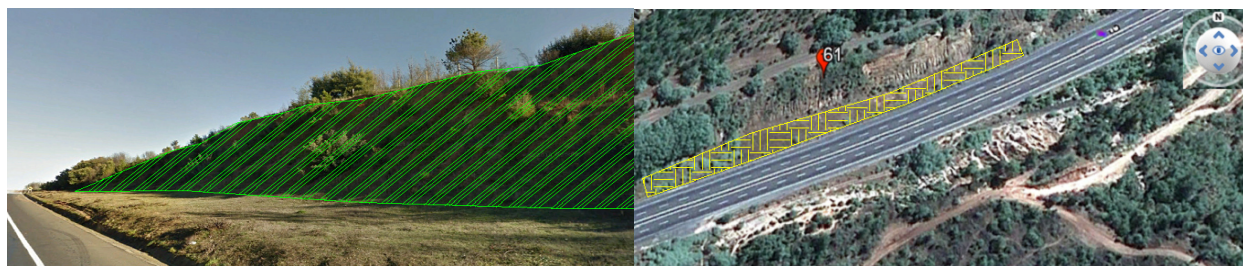
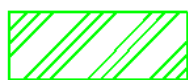


Figura I3. Condiciones Actuales y Vista en Planta del Talud 61.



Área disponible para aplicar biosólidos



Área disponible para solución complementaria

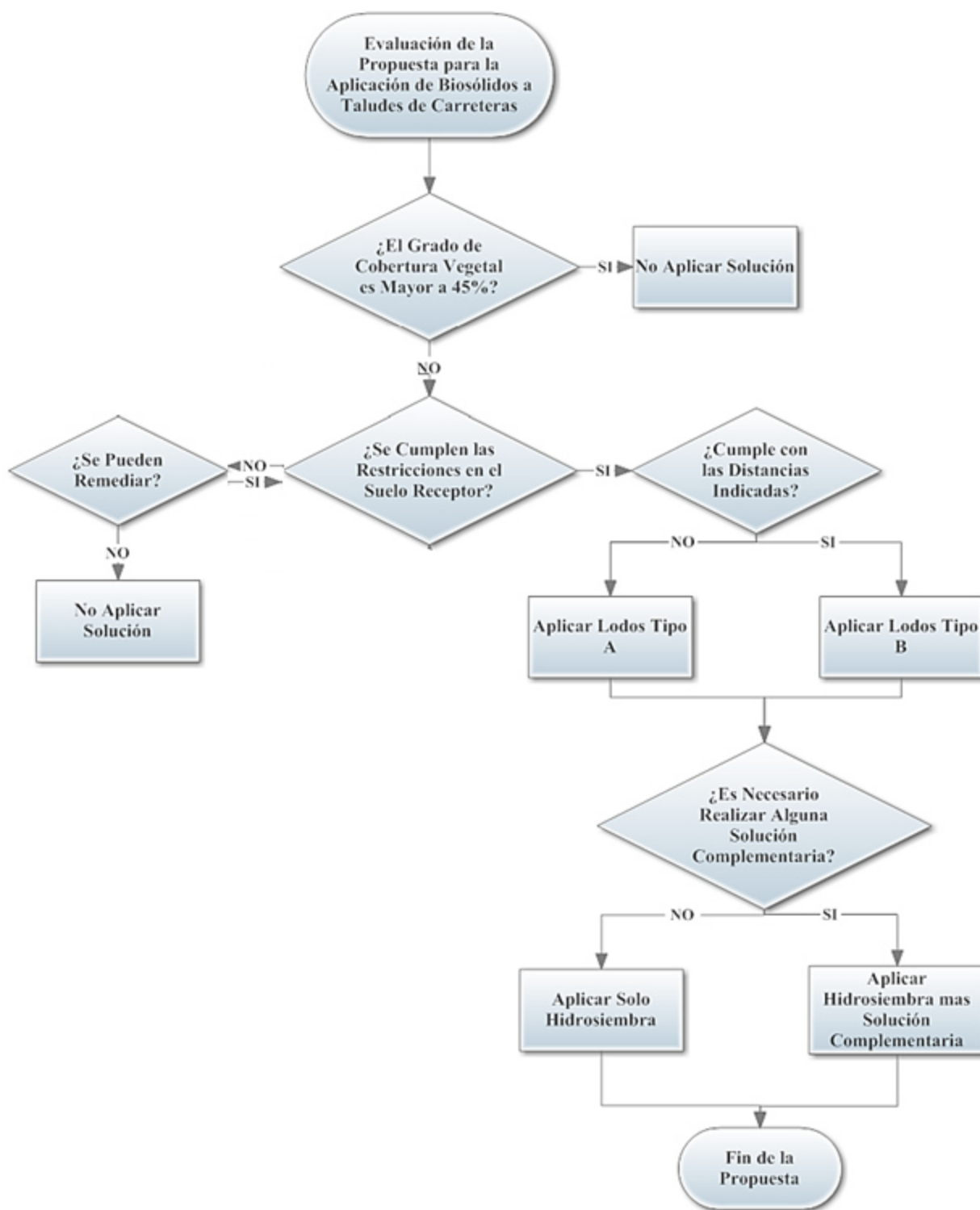


Figura I4. Diagrama de Flujo para Evaluar la Propuesta de Aplicación de Biosólidos a Taludes de Carreteras.