

MINERA LOS PELAMBRES

INVESTIGACIÓN EN TÉCNICAS DE VEGETACIÓN DE TRANQUES DE RELAVES EN ETAPA DE CIERRE

(Mayo 2005 – Octubre 2007)



Mayo 2008

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	2
III. METODOLOGÍA.....	5
III.1 UBICACIÓN DEL ENSAYO	5
III.2 SELECCIÓN DE ESPECIES	5
III.3 TRATAMIENTOS	6
III.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	7
III.5 MEDICIONES	9
III.5.1 <i>Sistemas vegetales</i>	9
III.5.1.1 Parámetros químicos.....	9
III.5.1.2 Parámetros biológicos	9
III.5.2 <i>Sustrato de relaves</i>	9
III.5.3 <i>Plan de monitoreo</i>	10
III.5.4 <i>Pruebas estadísticas</i>	11
IV. RESULTADOS.....	12
IV.1 LÍNEA BASE DEL ENSAYO.....	12
IV.1.1 <i>Sustrato de relaves</i>	12
IV.2 RESULTADOS EN SUSTRATO DE RELAVES	13
IV.3 RESULTADOS EN SISTEMA VEGETAL	14
IV.3.1 <i>Parámetros químicos en tejidos vegetales</i>	14
IV.3.2 <i>Resultados de parámetros biológicos para árboles y arbustos</i>	22
IV.3.2.1 <i>Sobrevivencia</i>	22
IV.3.2.2 <i>Mediciones de parámetros dasométricos</i>	24
IV.3.3 <i>Resultados de parámetros biológicos para especies herbáceas</i>	28
IV.3.3.1 <i>Identificación de especies</i>	28
IV.3.3.2 <i>Producción de materia seca</i>	30
IV.3.3.3 <i>Rendimientos</i>	32
IV.3.3.4 <i>Cobertura vegetal</i>	34
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
V.1 CONCLUSIONES.....	36
V.2 RECOMENDACIONES	38
VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	39

I. INTRODUCCIÓN

Minera Los Pelambres (MLP), ha encargado a la empresa ATM Ingeniería Limitada la realización de un estudio de investigación orientado hacia la generación de información sobre técnicas de forestación en tranques de relaves en etapa de cierre (abandono), con fines de acelerar la repoblación vegetal en los ecosistemas donde éstos se insertan.

Aunque existen diversas técnicas para estabilizar estos sistemas, después del cese de las operaciones mineras, es reconocido mundialmente que el uso de vegetación presenta importantes ventajas comparativas, respecto a otros métodos, en relación a cumplir con tres aspectos relevantes: es permanente, visualmente atractivo y económicamente viable (G.M. Tordoff, A.J.M. Baker, A.J. Willis, 2000).

Sin embargo, el ambiente de estos sustratos generalmente es adverso para el desarrollo de diferentes especies debido a que éstos presentan altos niveles de metales pesados, baja fertilidad e inadecuada estructura para uso en vegetación. Pese a lo anterior, las plantas pueden superar estas restricciones cumpliendo una importante función en la rehabilitación de tranques en etapa de cierre y/o abandono.

Por otra parte, en nuestro país existe una creciente necesidad, de contar con información científica, aplicada a la realidad nacional de los tranques abandonados y/o en etapa presente o futura de cierre de las distintas mineras y espacialmente las de cobre. Lo anterior, sumado a las exigencias ambientales que regulan la actividad minera en Chile, ha motivado a MLP a investigar sobre este tema disponiendo para Tranques de Relaves de propiedad de MLP en etapa de abandono.

En consecuencia, el presente estudio de investigación ha tenido como finalidad determinar el potencial real que presenta los sustratos de relaves de soportar cobertura vegetal y qué tipo de especies favorece en mayor grado la rehabilitación, a modo de acelerar procesos de estabilización que, de manera natural, podrían ocurrir a muy largo plazo.

Bajo este marco de trabajo, ATM Ingeniería presentó a MLP una proposición de estudio que consideró probar diez especies vegetales de interés con predominancia de especies nativas, seleccionadas en función de experiencia práctica, del reconocimiento del entorno vegetal de los tranques de relaves, y en función de la bibliografía disponible sobre el tema. Parte de las especies investigadas, provinieron de los viveros de MLP los que tienen como finalidad recolectar, germinar y plantar especies nativas del entorno.

El presente informe entrega una recopilación y análisis sintético de las evaluaciones sucesivas que se han desarrollado desde el inicio del ensayo (mayo de 2005) hasta la última campaña de medición (octubre de 2007), aportando información referencial para la recuperación, mediante forestación con especies nativas, de tranques de relaves en etapa de cierre.

II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Los tranques de relaves, generados como consecuencia de la explotación de minerales, muestran dificultad para su rehabilitación con vegetales, debido a la presencia de altos niveles de metales pesados (potencial fitotóxico), baja cantidad de macronutrientes e inapropiada estructura para sustento radical. Debido a lo anterior, la mayoría de los tranques metalíferos no desarrollan vegetación natural permaneciendo en estas condiciones muchos años después de su abandono (G.M. Tordoff, A.J.M. Baker, A.J. Willis, 2000).

Existe una amplia gama de técnicas de recuperación para sustratos metalíferos. Sin embargo, actualmente es ampliamente aceptado que el uso de vegetales, para estabilizar tranques de relave en cierre o abandono, presenta mayores ventajas comparativas respecto a métodos físicos y químicos, los que evidencian diferentes tipos de limitación para su uso. Confirmando lo anterior, el establecimiento de una cobertura vegetal es el único método que permite cumplir con un conjunto de aspectos relevantes:

- Ser una solución permanente.
- Reduce la erosión superficial, a través de la acción mecánica de las raíces con el sustrato.
- Minimiza potenciales lixiviaciones de metales pesados solubles reponiendo a la atmósfera aguas lluvias infiltradas, mediante procesos de evapotranspiración.
- Generar un efecto escenográfico positivo, más cerca del paisaje original.
- Ser un método económicamente factible de implementar (Johnson y Bradshaw, 1977).
- Si las condiciones son favorables, puede permitir el posterior uso recreativo de la zona e incluso, las áreas rehabilitadas pueden ser posteriormente usadas en agricultura o silvicultura.

Existen diversos métodos de vegetación desarrollados y aplicados a nivel práctico, según indica la bibliografía consultada. Las estrategias utilizadas para forestar tranques de relaves varían según:

- La toxicidad del sustrato: este parámetro es influenciado de manera relevante por la cantidad y la naturaleza de los metales pesados presentes en los relaves y del pH que influye grandemente sobre la disponibilidad de estos metales. A pH ácido, la mayoría de los metales y metaloides se encuentran más disponibles.
- La fertilidad del sustrato: está probado que la gran mayoría de los sustratos de relaves son deficientes en los nutrientes esenciales y particularmente en nitrógeno y fósforo, situación que se magnifica al evidenciar que los relaves carecen de arcilla y materia orgánica.
- El clima local donde se incierta el tranque: parámetros como las temperaturas extremas anuales y el nivel de precipitación influye de manera relevante sobre el diseño de forestación en tranques de relaves.

Respectos a los parámetros anteriores, para determinar una estrategia de forestación en relaves se debe evaluar los puntos siguientes:

- Tipo de plantas a utilizar:
 - Especies mejoradas del sustrato (leguminosas) en caso de baja fertilidad,
 - Especies nativas adaptadas a las condiciones climáticas locales,
 - Especies metal-tolerante en caso de alta toxicidad.
- Implementación de un sistema de riego en la fase de establecimiento de las plantas en caso de déficit hídrico.
- Utilización de tratamientos para proporcionar una mejoramiento del sustrato:
 - Cal en caso de pH ácido,
 - Material inerte o desechos de mina sanos en caso de alta toxicidad o problemas estructurales del sustrato,
 - Fertilizantes, compost y/o materia orgánica en caso de baja fertilidad.
 - Micorrizas para facilitar la nutrición de las plantas

Los principales métodos utilizados, en varias partes del mundo, y las condiciones que deben imperar para que éstos sean aplicados, se resumen en Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Métodos de Rehabilitación mediante Vegetación

Características de los relaves	Técnica de rehabilitación	Problemas potenciales
<u>Baja toxicidad.</u> Contenido total de metales tóxicos < 0,1%. Sin problemas de alcalinidad o acidez.	<u>Siembra directa con pastos más leguminosas.</u> Aplicación de cal si pH < 6. Adición de materia orgánica en caso de requerir mejoras física o química. Aplicación de fertilizante natural a liberación lenta o compost.	Probable compromiso con un programa de mantención de mediano a largo plazo.
<u>Baja toxicidad y limitaciones climáticas.</u> Contenido total de metales tóxicos < 0,1%. Sin problemas de alcalinidad o acidez. Temperaturas muy extremas, sequías, etc.	<u>Siembras directas con especies nativas.</u> Semillas o transplantes ecológicamente adaptados. Utilización de tratamientos para proporcionar una mejoría al sustrato.	Riego durante el establecimiento. Investigación complementaria sobre las características de la flora nativa.

Características de los relaves	Técnica de rehabilitación	Problemas potenciales
<u>Alta toxicidad.</u> Contenido de metales tóxicos > 0,1%. En algunos casos, alta salinidad.	<u>(1) Siembras directa con ecotipos tolerantes.</u> Siembras de ecotipos tolerantes a la sal y/o a los metales. Aplicación de cal, fertilizante y materia orgánica.	Compromiso de aplicación regular de fertilizante. Pocas especies tienen una población tolerante y muy pocas de ellas están disponibles en el comercio.
	<u>(2) tratamiento de la superficie y siembras con pastos/leguminosas.</u> Enmiendas con 10-50 cm de desechos de minas sano o materia orgánica. Aplicación de cal o fertilizante complementario.	Riesgos de regresión de cobertura en el caso de que el espesor del material sea insuficiente o si se produce un ascenso de metales por capilaridad. Limitante: Alto costo y riesgo de disponibilidad de material de cobertura.
<u>Toxicidad extrema.</u> Contenido de metales tóxicos muy alto. Fuerte salinidad o acidez.	<u>Aislamiento.</u> Tratamiento de la superficie con 30-100 cm de materia inerte más 10-30 cm de sustrato favorable a las raíces. Aplicación complementaria de cal y fertilizante.	Posibilidades de deshidratación de las plantas. Limitante: Alto costo y riesgo de disponibilidad de material de cobertura.

(Adaptado de Williamson y Johnson, 1981)

A pesar de procesos técnicos cada vez más eficientes, los relaves siguen siendo medios restrictivos para el establecimiento de las plantas. Aunque existe mucha información sobre técnicas de forestación en relaves, se destaca la importancia de adaptarlas a las condiciones locales de cada región metalífera. Por lo anterior es fundamental estudiar técnicas alternativas de vegetación que permitan el desarrollo de esta tecnología aplicada a la realidad ecosistémica de las zonas metalíferas en Chile.

III. METODOLOGÍA

En este capítulo, se resume el procedimiento de trabajo propuesto para el estudio de “Investigación en Técnicas de Vegetación de Tranques de Relaves en Etapa de Cierre”.

III.1 Ubicación del ensayo

Para seleccionar la zona de establecimiento de los ensayos, se consideraron aspectos de interés tales como: Zona con baja colonización vegetal (cobertura $\leq 10\%$), estabilidad del sustrato (zona no afecta a humedal), facilidad de acceso y superficie sin pendiente.

Seleccionado el sitio del ensayo se procedió a su demarcación y georeferenciación. Las coordenadas UTM son las siguientes (Tabla N° 2):

Tabla N° 2. Coordenadas de los Vértices del Ensayo.

Vértice	Norte	Este
V1	6475948	349445
V2	6476013	349401
V3	6476045	349446
V4	6475981	349493

La fotografía aérea y el Plano 1 del Anexo 2, ilustran la ubicación de la zona del ensayo, dentro del Tranque de Relaves El Chinche, que ha sido utilizado para esta experiencia piloto.

III.2 Selección de especies

En la selección de las especies a investigar, se han considerado los criterios siguientes:

- Adaptación a las condiciones climáticas locales,
- Adaptación a sustratos de bajas fertilidad y estructura,
- Uso de especies nativas con fines de dar un valor ecosistémico adicional al ensayo: La selección de especies vegetales nativas para el estrato arbóreo y arbustivo se orientó hacia las cultivadas en los viveros de MLP donde se recolecta, germina y planta especies nativas que se desarrollan en el entorno,
- La evaluación de tres estratos vegetacionales: arbóreo, arbustivo y herbáceo para evaluar si las diferentes combinaciones de vegetales y estratos generan un cambio significativo en las condiciones edáficas del sustrato.
- La inclusión de especies de leguminosa que cumplen la función de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo y por lo tanto mejoran la fertilidad.

Sobre la base de los criterios generales antes expuestos, se seleccionaron las especies que se detallan en la Tabla N° 3:

Tabla N° 3. Especies utilizadas en el ensayo de revegetación sobre relaves

Estrato	Nombre Científico	Nombre Cumún	Familia	Origen
Arbóreo	Acacia saligna	Acacia / Aromo azul	Fabaceae	Exótico
	Maytenus Boaria	Maitén	Celastraceae	Nativo
Arbustivo	Schinus polygamus	Huigán	Anacardiaceae	Nativo
	<i>Cassia closiana</i>	Quebracho	Fabaceae	Nativo
	<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	Quilo	Polygonaceae	Nativo
Herbáceo	<i>Trifolium subterraneum</i>	Trébol subterráneo	Fabaceae	Exótico
	<i>Avena sativa</i>	Avena	Poaceae	Exótico
	<i>Lolium multiflorum</i>	Ballica italiana	Poaceae	Exótico
	<i>Festuca arundinacea</i>	Festuca	Poaceae	Exótico
	<i>Phalaris tuberosa</i>	Falaris	Poaceae	Exótico

El estudio consideró incluir especies herbáceas, utilizando dos mezclas de este tipo de hábito:

Mezcla 1: Trébol subterráneo + Poaceae anuales (Avena y Ballica italiana).

Mezcla 2: Trébol subterráneo + Poaceae perennes (Festuca y Falaris).

III.3 Tratamientos

Los tratamientos utilizados han considerado aspectos relacionados con enmiendas orgánicas a modo de favorecer condiciones estructurales y nutritivas del sustrato. Sobre la base de este criterio, se establecieron en terreno los siguientes tratamientos:

- T0: Testigo o control (sustrato de relave puro sin ningún tratamiento).
- T1: Adición de tierra vegetal (extraída por MLP de las zonas afectas a inundación por el actual tranque en operación).
- T2: Adición de compost (residuos orgánicos parcialmente descompuestos).

Los tratamientos indicados, para el caso de las especies arbóreas y arbustivas, se aplicaron directamente en la casilla de plantación, en mezcla con el sustrato de relaves con una dosis en volumen de 50% relave + 50% Tierra vegetal o compost por casilla.

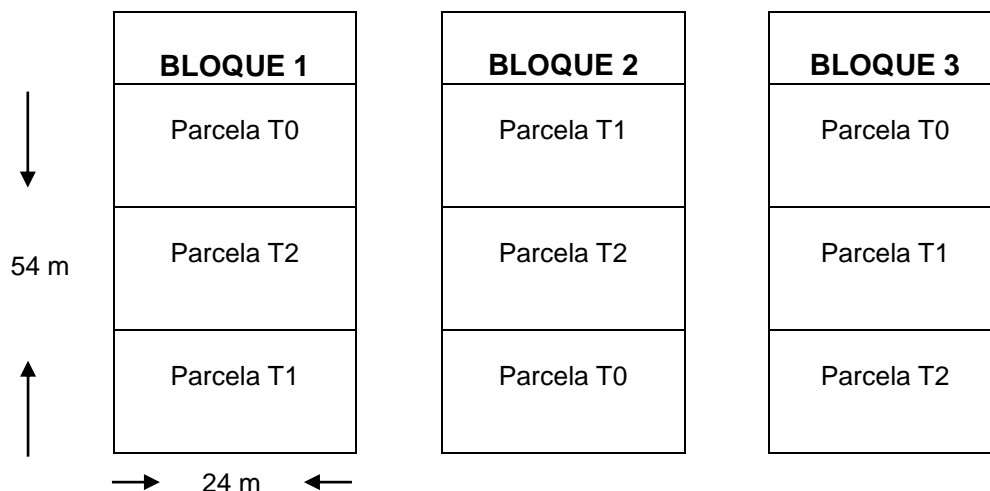
En el caso de especies herbáceas, los tratamientos fueron incorporados al sustrato de relaves directamente en la platabanda de siembra con una dosis de 58,7 Kg/ m² de tierra vegetal y 32,0 Kg/m² de compost.

Adicionalmente y según las recomendaciones citadas en bibliografía, se realizó una fertilización de establecimiento, con una mezcla comercial de macro y micronutrientes para plantación forestal en dosis equivalente a 180 gr/casilla de plantación para especies arbóreas y arbustivas y en el caso de herbáceas, 75 gr/m².

III.4 Diseño experimental

Se ha utilizado un diseño de bloques con parcelas aleatoriamente distribuidas, obteniendo un ensayo constituido de tres repeticiones por tratamiento T0, T1 y T2.

Figura N° 1. Diseño de Bloques Aleatorios.



Cada parcela tiene una dimensión de 24 m x 18 m (432 m²), en consecuencia, el tamaño de cada bloque es de 24 m x 54 m = 1.296 m².

En cada parcela, se distribuyeron las especies vegetales según se detalla en la siguiente figura:

Figura N° 2. Diseño de Trabajo por Parcela Experimental.



Respecto a lo anterior, el número de individuos arbóreos y arbustivos a medir en este ensayo ha sido el siguiente:

24 individuos de hábito arbóreo/repetición
Total = 108 individuos /especie; 216 árboles.

60 individuos de hábito arbustivo/repetición
Total = 180 individuos/especie, 540 arbustos

El ensayo consideró una dosis de siembra, para cada una de las especies de hábito herbáceo, equivalente a 8 gr/m².

III.5 Mediciones

III.5.1 Sistemas vegetales

La metodología ha considerado realizar evaluaciones sobre variables químicas y biológicas en las especies seleccionadas para el estudio, según se detalla a continuación.

III.5.1.1 Parámetros químicos

Mediante obtención de muestras compuestas, por cada tratamiento y representativas de las especies en estudio, se han realizado mediciones de los niveles de cobre, molibdeno, manganeso, zinc, arsénico y mercurio en tejido vegetal.

III.5.1.2 Parámetros biológicos

Según el hábito vegetal se han realizado las mediciones siguientes:

Especies arbóreas y arbustivas:

- Supervivencia
- Altura de árbol
- Diámetro de copa

Especies Herbáceas:

En el caso de especies herbáceas, las mediciones se han realizado sobre la base de unidades de área (cuadrantes de 25 * 25 cm) orientadas a medir densidad (cobertura) y producción de biomasa (peso de materia seca), considerando un número de repeticiones suficiente para cumplir con la representatividad del sistema.

Para determinar composición de especies, se ha considerado realizar una evaluación visual y descripción detallada de los sistemas vegetales presentes en cada uno de los tratamientos y mezclas del ensayo. En el caso de especies de difícil identificación en terreno, el procedimiento metodológico ha considerado el traslado de ellas a laboratorio para su posterior reconocimiento.

En anexo 1, fotografías ilustran detalles de algunas de las mediciones realizadas para los sistemas vegetales.

III.5.2 Sustrato de relaves

Para realizar una línea base de la química del sustrato de relaves y evaluar su posible modificación en respuesta a la aplicación de los tratamientos, se ha propuesto realizar muestreos compuestos, por cada parcela de tratamiento, en el entorno más cercano a la

casilla de plantación (árboles y arbustos) y en el caso de herbáceas, al área o platabanda donde se aplicó el tratamiento.

Los componentes monitoreados son los siguientes:

Fertilidad

- Macronutrientes (N, P, K y S)
- Materia orgánica (M.O.)
- Micronutrientes (disponibles): cobre, hierro, manganeso y zinc.

Salinidad y acidez

- Conductividad eléctrica (CE)
- Sales solubles (Ca, Mg, Na y SO₄)
- RAS (Relación de Adsorción de Sodio)
- pH

Toxicidad (fracción total y soluble):

- Cobre
- Manganeso
- Zinc
- Molibdeno
- Arsénico
- Mercurio

El monitoreo de sustrato de relaves se ha realizado para los 50 primeros cm (fotografías ilustran la obtención de muestras en anexo 1).

III.5.3 Plan de monitoreo

El plan de monitoreo asociado al seguimiento, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla N° 4. Plan de monitoreo asociado al ensayo de forestación sobre relaves.

Componente	Variables	Mayo 2005 (Línea base)	Otoño 2006	Otoño 2007	Primavera 2007
Sustrato	Macronutrientes y MO	X	X	X	
	Metales	X	X		
	Salinidad	X	X	X	
	Alcalinidad	X	X	X	
Especies Arbóreas y Arbustivas	Metales pesados		X		
	Sobrevivencia		X	X	X
	Altura	X ⁽¹⁾	X	X	
	Diámetro copa	X ⁽¹⁾	X	X	
Herbáceas	Producción de materia seca		X		
	Reconocimiento de especie		X		
	Metales pesados		X		

(1) Consistió en una poda de uniformización de los tamaños de las plantas.

Adicionalmente, se programó una futura campaña en otoño de 2008, con mediciones para el sustrato de relaves y para las especies arbóreas y arbustivas.

III.5.4 Pruebas estadísticas

En el caso de comparar variables cuantitativas continuas (concentraciones, variables dasométricas) entre dos grupos se ha utilizado el test paramétrico “t-test” y para más de dos grupos el test paramétrico de análisis de varianza (ANOVA). Para resultados donde no ha sido posible aplicar estas pruebas, debido principalmente a que la distribución de los datos no es normal, se han utilizado los tests no paramétricos de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis.

Con relación a variables cuantitativas discretas (sobrevivencia), el análisis comparativo se ha realizado mediante el z-test.

Todos los análisis estadísticos indicados, han considerado trabajar con un nivel de confianza equivalente a 95%.

IV. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados del estudio con relación a los siguientes temas:

Línea base del ensayo:

- química del sustrato de relaves.

Seguimiento del ensayo:

- Resultados químicos en sustrato de relaves,
- Resultados químicos y biológicos en sistemas vegetales.

IV.1 Línea base del ensayo

IV.1.1 Sustrato de relaves

Según los antecedentes sobre sustratos de relaves (base de datos del consultor y antecedentes bibliográficos), los análisis químicos de la línea base indicaron las siguientes características para el sustrato de la zona de establecimiento del ensayo:

Condiciones químicas:

- Es de reacción ligera a moderadamente alcalina (pH = 8,0).
- Presenta muy bajo contenido de materia orgánica.
- Muestra disponibilidad baja de nitrógeno, media a baja de fósforo y niveles medios a altos de potasio.
- Mantiene alta a muy alta disponibilidad de azufre.
- Tiende a ser no sódicos y no salinos.
- Respecto a los micronutrientes, presenta alta disponibilidad de hierro y muy alta disponibilidad de cobre.

Condiciones físicas:

- Corresponde a un sustrato de color gris, el cual presenta una textura de arena fina a muy fina, sin una aparente estructura.
- Corresponde a un sustrato permeable, cuya retención de humedad es del orden de los 1,5 cm por cada 30 cm de espesor. Es decir se trata de un medio de moderada a baja retención de humedad, según normas estándares para texturas edáficas.

Los antecedentes anteriores indican que este sustrato no es extremadamente limitante para el desarrollo de vegetación debido a su pH alcalino que limita la disponibilidad de los metales pesados para las plantas.

Por otra parte, el sustrato de relaves responde a las características generales que cita la literatura internacional para este tipo de medios, donde las principales limitantes dicen relación con:

- baja fertilidad (reflejado principalmente en los escasos aportes de nitrógeno, fósforo, materia orgánica y algunos microelementos como zinc y manganeso).
- Alta presencia y disponibilidad importante de cobre y hierro con riesgo potencial de acidificación del sustrato (situación que, en caso de acidificación del sustrato, podría limitar el desarrollo de especies vegetales debido a solubilización de estos metales, ocasionando fenómenos de fitotoxicidad).

IV.2 Resultados en sustrato de relaves

Se realizó un análisis de los resultados químicos en sustrato de relaves, después de una temporada de seguimiento (mayo de 2006). A este análisis, se incorporó antecedentes históricos obtenidos de monitoreos anteriores, efectuados, por ATM Ingeniería Ltda., para los años 2001 y 2002 y antecedentes de la línea base realizada en el año 2005, con fines de incrementar la base de datos acumulada a la fecha y de este modo evaluar posibles tendencias de las variables químicas en seguimiento, a través del tiempo.

El análisis se orienta hacia la caracterización cualitativa del sustrato, identificación de tendencias temporales y determinación de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En relación a las siguientes condiciones es factible concluir lo siguiente:

Fertilidad:

EL seguimiento realizados sobre el sustrato de relaves, desde el año 2001 a la fecha, indica que se ha producido un lavado natural de nutrientes, sales y metales. Lo anterior ha causado cambios favorables con relación a salinidad y toxicidad, sin embargo esta respuesta ha sido desfavorable respecto a la calidad nutricional.

Pese a la lixiviación observada, las condiciones actuales indican que el sustrato presenta alta disponibilidad de azufre, hierro, cinc y cobre y; mediana disponibilidad de manganeso. Sin embargo con respecto a nitrógeno, fósforo y potasio, los niveles son bajos en comparación a rangos estándares.

La materia orgánica ha tendido a incrementarse, a través de los años de medición y los actuales valores, aunque son bajos para una adecuada condición agrícola, se encuentra dentro de rangos frecuentes observados en suelos del norte de Chile.

Alcalinidad y acidez:

La alta disponibilidad de hierro y azufre, permite deducir que probablemente existe presencia de pirita en el sustrato de relaves, lo que implica un potencial riesgo de acidificación de este medio. Sin embargo, cabe destacar que, través de los años de

seguimiento, el pH se ha mantenido estable y en valores que clasifican al sustrato como moderadamente alcalino.

La RAS y la CE, evidencian valores que permiten clasificar al sustrato en estudio como “No sodico” y “No Salino”, respectivamente.

Toxicidad:

Respecto a los niveles de metales pesados, asociados a toxicidad, los actuales valores indican que el cobre y molibdeno continúan altos, hay presencia de hierro y arsénico; y los niveles de mercurio son muy bajos. Sin embargo, se confirma que las fracciones disponibles y solubles de metales pesados no se relacionan directamente con los niveles totales de estos elementos, observándose que en general son bajas a muy bajas en comparación a los contenidos totales que presenta el sustrato. Lo anterior, sumado a la bibliografía consultada permite concluir que el sustrato de relaves utilizado en la experiencia presenta un bajo grado de toxicidad.

Tratamientos:

No se aprecia que exista efecto de los tratamientos sobre la calidad del sustrato. Sin embargo, destaca el incremento de los niveles de nitrógeno en el sustrato de relaves asociado al tratamiento con compost. La respuesta anterior, deberá verificarse en futuros monitoreos programados para el estudio.

IV.3 Resultados en sistema vegetal

Sobre la base de la metodología de trabajo propuesta, se presenta a continuación los resultados de las evaluaciones químicas y biológicas, según el siguiente detalle:

- Mediciones de parámetros químicos en tejidos vegetales
- Mediciones de parámetros biológicos (crecimiento y sobrevivencia) para especies arbóreas y arbustivas.
- Mediciones de parámetros biológicos (producción de biomasa y cobertura) para especies herbáceas.

IV.3.1 Parámetros químicos en tejidos vegetales

Sobre la base de la metodología de trabajo propuesta, se midió los contenidos totales en arsénico, cobre, mercurio, manganeso, molibdeno y zinc, en follaje de las siguientes especies:

Árboles:

- *Acacia saligna* (Acacia),
- *Maytenus boaria* (Maitén).

Arbustos:

- *Schinus polygamus* (Huingán),
- *Muehlenbeckia hastulata* (Quilo),
- *Cassia closiana* (Quebracho).

Herbáceas:

- *Trifolium subterraneum* (Trébol subterráneo),
- *Avena sativa* (Avena),
- *Lolium multiflorum* (Ballica italiana),
- *Festuca arundinacea* (Festuca),
- *Phalaris tuberosa* (Falaris).

En el caso de la vegetación herbácea, de los cinco pastos sembrados, la única especie que no sobrevivió a las experiencias fue *Phalaris tuberosa* (Falaris).

De manera adicional y complementaria, se ha considerado relevante incluir en el seguimiento químico, dos especies herbáceas colonizadoras que pertenecen a dos familias distintas de plantas:

- *Senecio glaber* (Senecio), familia de las Asteraceae,
- *Polygonum aviculare* (Sanguinaria), familia de las Polygonaceae.

Estos grupos de plantas se consideran de importancia en el análisis debido a que presentan una buena adaptación a las condiciones del tranque de relaves. Se trata de plantas nativas de la zona, que han poblado, en conjunto con el resto de la flora autóctona, progresivamente el tranque de relaves desde su etapa de cierre a la fecha (1998 a 2007) y colonizaron los tres tratamientos del ensayo.

Sobre la base de lo expuesto, se presentan en Tabla N° 5 los resultados analíticos para el tejido vegetal.

Tabla N° 5. Contenidos de Metales Pesados en Tejido Vegetal de Especies Arbóreas, arbustivas y herbáceas.

Especie		<i>Acacia saligna (Acacia)</i>						<i>Maytenus boaria (Maitén)</i>					
Estrato		Arbóreo						Arbóreo					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc	Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	< 0,5	18	0,11*	155	98	9	< 0,5	36	< 0,005	139	25	14
	T. Vegetal	< 0,5	18	< 0,005	144	75	16	< 0,5	99	< 0,005	78	< 0,2	45
	Compost	< 0,5	16	< 0,005	144	100	7	< 0,5	39	< 0,005	29	< 0,2	15

* Valor erróneo en relación con la alta toxicidad del mercurio, no se considera en el análisis de los resultados.

Especie		<i>Schinus polygamus (Huingán)</i>						<i>Muehlenbeckia hastulata (Quilo)</i>					
Estrato		Arbustivo						Arbustivo					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc	Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	< 0,5	21	< 0,005	184	< 0,2	8	< 0,5	58	< 0,005	185	22,5	43
	T. Vegetal	< 0,5	21	< 0,005	187	< 0,2	11	< 0,5	43	< 0,005	168	7,5	42
	Compost	< 0,5	23	< 0,005	147	5	7	< 0,5	46	< 0,005	190	7,5	37

Especie		<i>Cassia closiana (Quebracho)</i>						<i>Avena sativa (Avena)</i>					
Estrato		Arbustivo						Herbáceo					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc	Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	0,5	21	< 0,005	46	12,5	8	< 0,5	194	< 0,005	107	24,5	8
	T. Vegetal	0,5	20	< 0,005	52	12,5	11	< 0,5	747	< 0,005	277	25	47
	Compost	0,5	18	< 0,005	40	10,2	8	< 0,5	92	< 0,005	55	24,7	7

Tabla N° 5 (continuación). Contenidos de Metales Pesados en Tejido Vegetal de Especies Arbóreas, arbustivas y herbáceas.

Especie		<i>Trifolium subterraneum (Trébol)</i>						<i>Festuca arundinacea (Festuca)</i>					
Estrato		Herbaceo						Herbaceo					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc	Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	25	539	< 0,005	116	125	19	< 0,5	204	< 0,005	222	25	11
	T. Vegetal	25	577	< 0,005	152	75	22	25	484	< 0,005	240	24,5	30
	Compost	25	442	< 0,005	113	75	17	25	242	< 0,005	87	25	11

Especie		<i>Lolium multiflorum (Ballica)</i>						<i>Polygonum aviculare (Sangunaria)</i>					
Estrato		Herbaceo						Herbaceo colonizador					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc	Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	< 0,5	295	< 0,005	175	18	12	12,5	67	< 0,005	61	25	12
	T. Vegetal	< 0,5	362	< 0,005	196	15	20	< 0,5	60	< 0,005	69	0,2	6
	Compost	< 0,5	170	< 0,005	115	20	11	< 0,5	45	< 0,005	52	7,5	7

Especie		<i>Senecio glaber (Senecio)</i>					
Estrato		Herbaceo colonizador					
Parámetro		Arsénico	Cobre	Mercurio	Manganeso	Molibdeno	Zinc
Tratamiento (ppm)	Testigo	12,5	47	< 0,005	298	25,1	24
	T. Vegetal	12	42	< 0,005	303	25,6	23
	Compost	< 0,5	46	< 0,005	326	25	20

A continuación, los Gráficos N° 1 a 5, ilustran de manera comparativa, los antecedentes químicos para cada una de las especies en estudio. No se presenta gráfico relacionado con el mercurio debido a que sus concentraciones son inferiores al límite de detección.

Gráfico N° 1. Arsénico en Tejidos de Especies Vegetales.

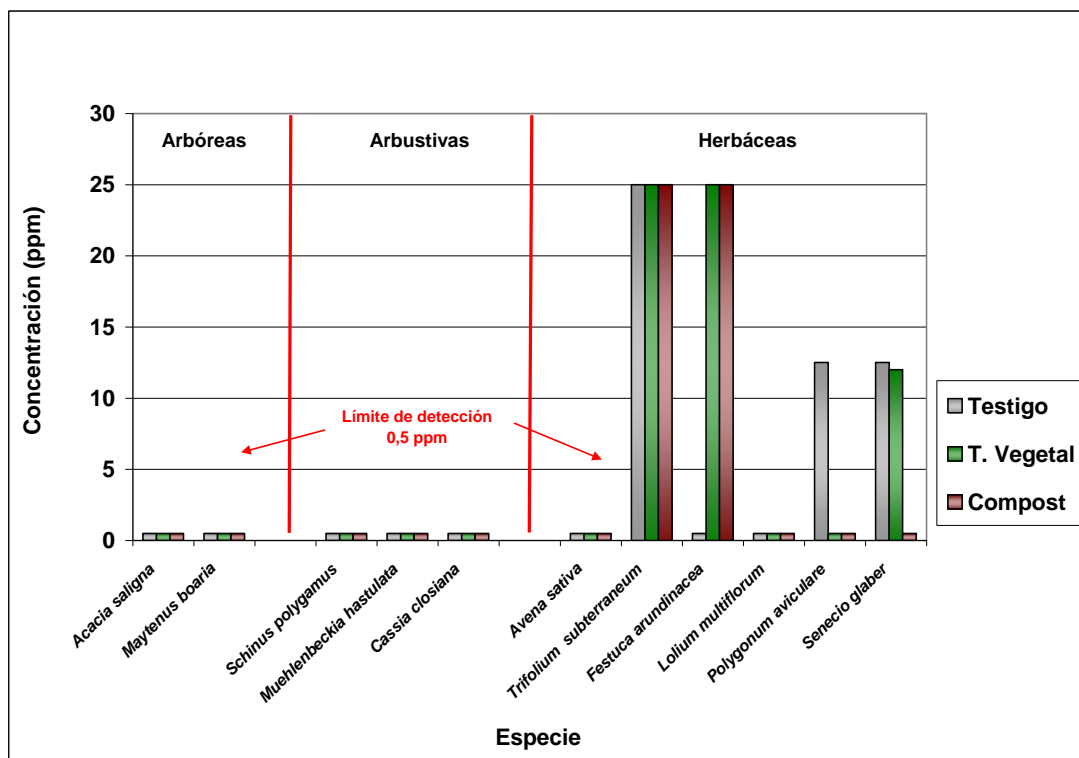


Gráfico N° 2. Cobre en Tejidos de Especies Vegetales.

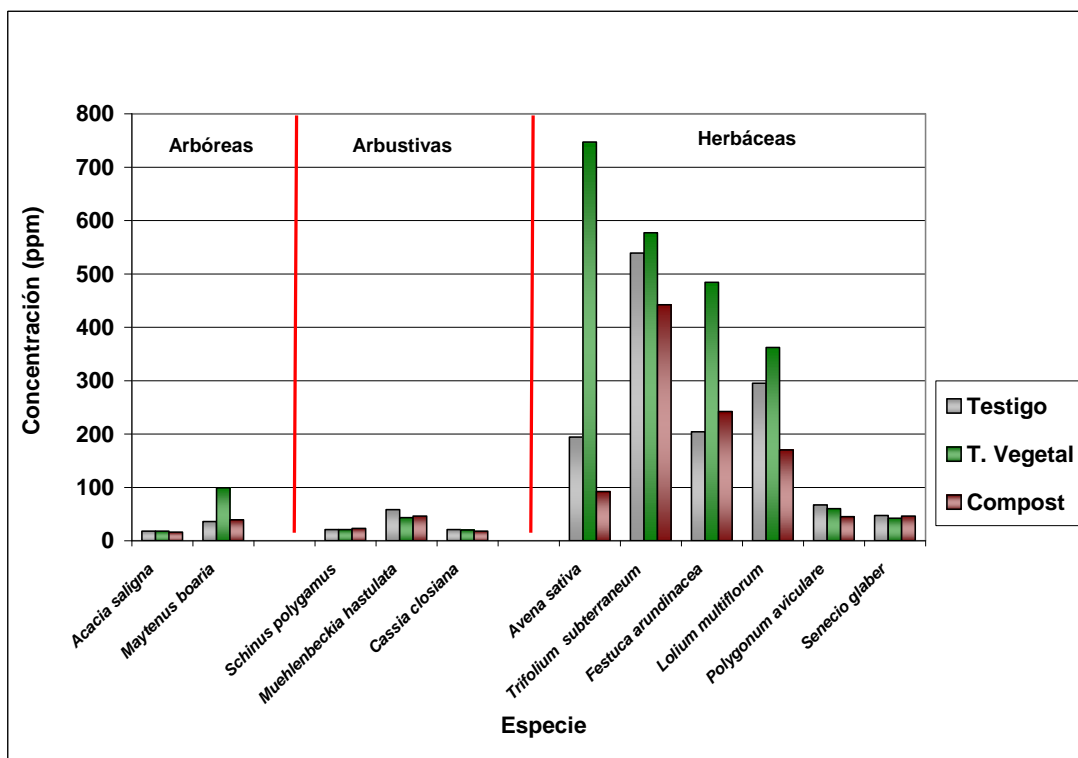


Gráfico N° 3. Manganeso en Tejidos de Especies Vegetales.

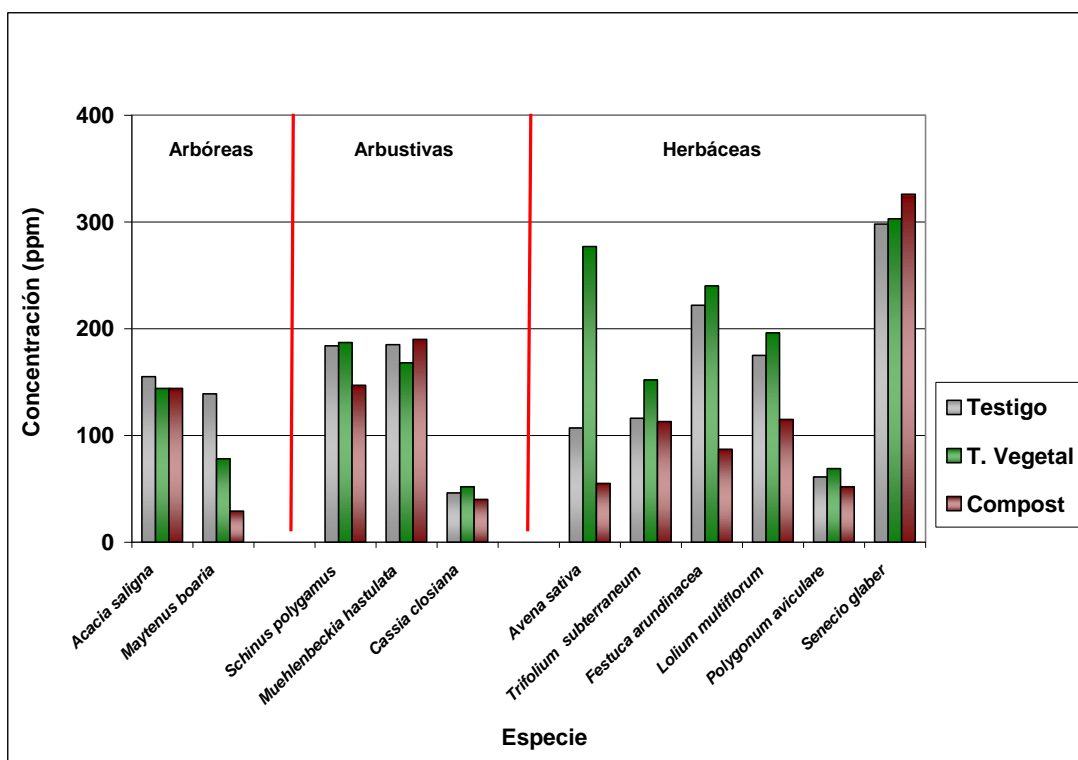


Gráfico N° 4. Molibdeno en Tejidos de Especies Vegetales.

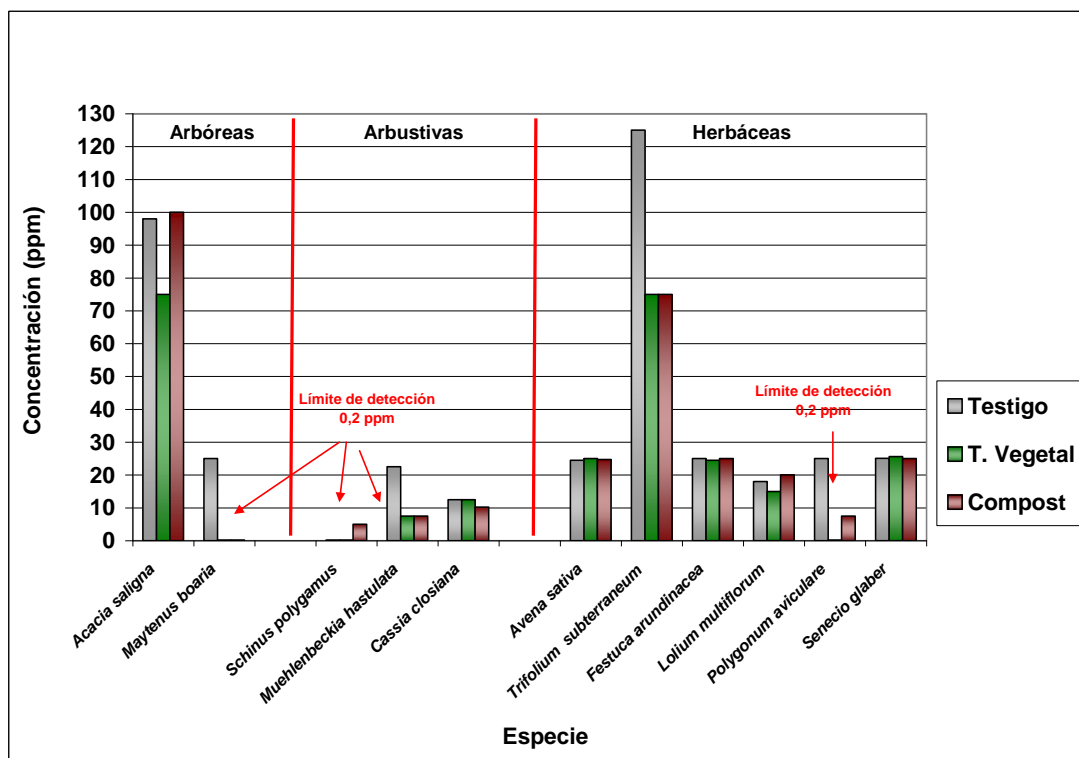
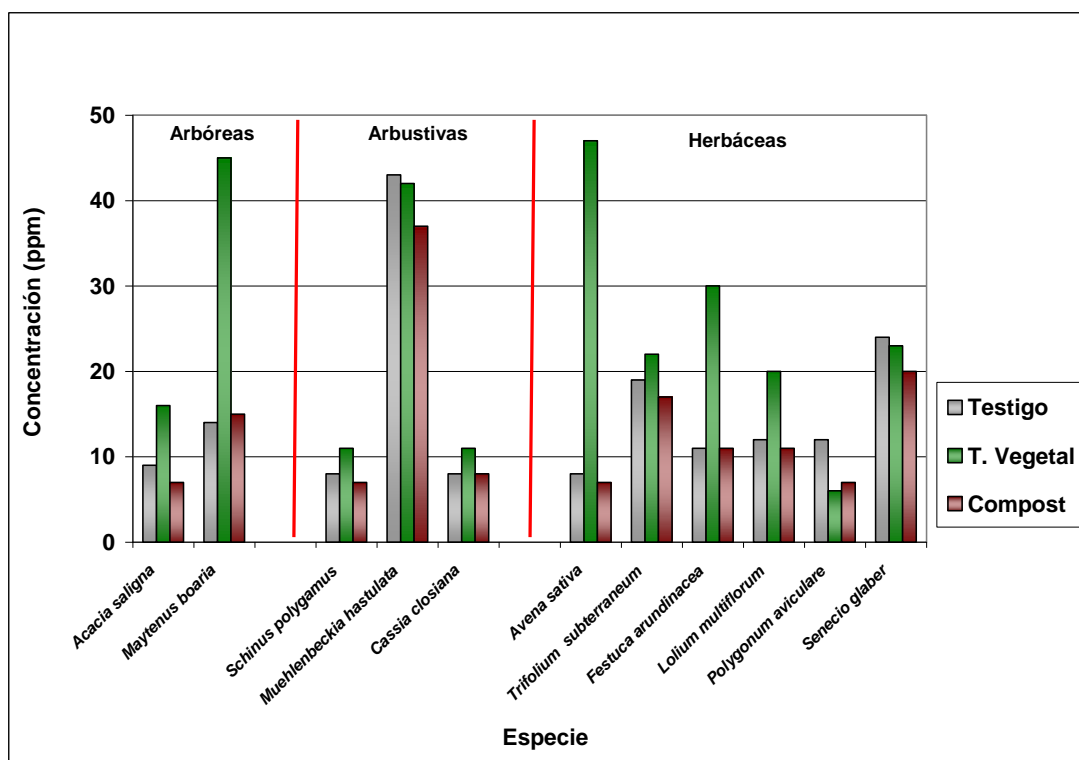


Gráfico N° 5. Zinc en Tejidos de Especies Vegetales



De la evaluación de resultados analíticos para tejidos vegetales en especies de hábito arbóreo, arbustivo y herbáceo, es posible concluir lo siguiente:

Las especies de hábito herbáceo muestran una marcada tendencia a presentar mayores contenidos de arsénico y cobre en relación con las de tipo arbóreo y arbustivo. En particular, destacan las altas concentraciones de ambos metales para las herbáceas sembradas (Gráficos N° 1 y 2).

El molibdeno también tiende a presentarse en mayores concentraciones en especies de hábito herbáceo (Gráfico N° 4). La afinidad de la familia fabacea por este elemento, queda comprobado en el análisis comparativo entre todas las especies. Así, destacan las altas concentraciones de la acacia y del trébol (particularmente para el testigo), en comparación al resto de los tejidos en análisis. Sin embargo, para las especies arbustivas, el quebracho (*Cassia closiana*), representante de este grupo de plantas, muestra en sus tejidos concentraciones similares a otras especies no pertenecientes a la familia de las fabaceas.

El manganeso es un elemento que se presenta en altas concentraciones, en estos tejidos vegetales, confirmando citas bibliográficas que indican valores de hasta 500 ppm como niveles normales (Loué, 1988). Cabe mencionar la especie senecio que muestra las mayores concentraciones de manganeso, para los tres tratamientos, en comparación al resto de las especies del ensayo (Gráfico N° 1). De manera opuesta, los contenidos de mercurio, en tejidos vegetales son inferiores al límite de detección (0,005 ppm), en los tres tratamientos realizados lo que confirma los bajos contenidos en relaves.

Las tres aseveraciones anteriores permiten inferir que existe una tendencia generalizada, sobre el comportamiento de las herbáceas, en relación con presentar más altos contenidos de metales respecto a las especies provenientes de otros hábitos. Lo anterior puede estar relacionado con el tipo de crecimiento que caracteriza a este grupo de plantas. Se trata de vegetación que presenta un metabolismo y, consecuentemente, un crecimiento más acelerado en comparación a las de hábito arbóreo. Lo anterior puede incidir en que este grupo sea más eficiente en la absorción de agua y nutrientes, respecto a los otros dos estratos en estudio, incidiendo en incrementar la capacidad de absorber metales en comparación con las especies de hábito arbóreo y arbustivo.

Al evaluar el posible efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de metales en tejido, se observa, para la mayoría de las especies en estudio, que el tratamiento con tierra vegetal muestra tejidos con mayores contenidos de zinc, respecto al resto de los tratamientos. Esta tendencia también se evidencia para los contenidos de manganeso y cobre en herbáceas sembradas. El resto de los metales, no muestra que exista un efecto de los tratamientos sobre los niveles observados en los tejidos.

IV.3.2 Resultados de parámetros biológicos para árboles y arbustos

Como se indicara en la metodología de trabajo, para las especies arbóreas y arbustivas, se realizaron las siguientes mediciones:

- sobrevivencia (% de individuos vivos)
- variables dasométricas (altura y diámetro de copa).

Se presentan a continuación, los resultados y la evaluación estadística. En Anexo 1 fotografías ilustran detalles de estas mediciones.

IV.3.2.1 Sobrevivencia

La Tabla N° 6, entrega los resultados del análisis estadístico para sobrevivencia en especies arbóreas (acacia y maitén) y arbustivas (Huingán, quebracho y quilo).

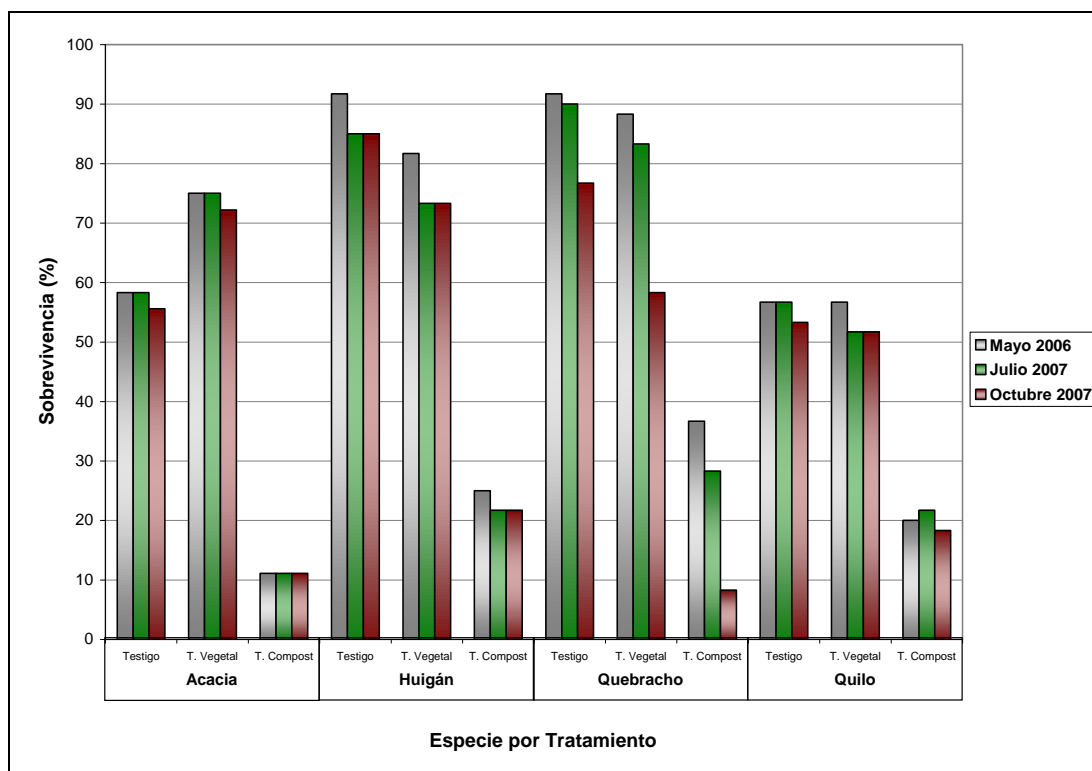
Tabla N° 6. Sobrevivencia en Especies Arbóreas y Arbustivas. Efecto de los Tratamientos y de las temporadas de medición.

Especie	Periodo	Porcentaje de sobrevivencia		
		Testigo	T. Vegetal	T. Compost
Acacia	Mayo 2006	58,3	75	11,1
	Julio 2007	58,3	75	11,1
	Octubre 2007	55,6 a	72,2 a	11,1 b
Maitén	Mayo 2006	27,8	5,7	0
	Julio 2007	-	-	-
	Octubre 2007	-	-	-
Huingán	Mayo 2006	91,7	81,7	25
	Julio 2007	85	73,3	21,7
	Octubre 2007	85 a	73,3 a	21,7 b
Quebracho	Mayo 2006	91,7	88,3	36,7
	Julio 2007	90	83,3	28,3
	Octubre 2007	76,7 a	58,3 a	8,3 b
Quilo	Mayo 2006	56,7	56,7	20
	Julio 2007	56,7	51,7	21,7
	Octubre 2007	53,3 a	51,7 a	18,3 b

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de confianza del 95%

el Gráfico N° 6, ilustra los datos de sobrevivencia de la Tabla N° 6. Las mediciones en Maitén no se representan, debido a su sobrevivencia significativamente mas baja que en las otras especies, alcanzando un nivel nulo en tratamiento compost.

Gráfico N° 6. Tendencia para Supervivencia en Árboles y Arbustos.



Los resultados de supervivencia indican que, independientemente de los tratamientos, las especies que presentan los más bajos resultados del estudio son: el maitén, para el grupo de hábito arbóreo y el quilo, para el caso de hábito arbustivo. Entre estas dos especies, el maitén muestra los más bajos porcentajes de supervivencia, alcanzado en julio de 2007, valores máximos y mínimos de 27,8 y 0% para el testigo y el compost, respectivamente. En contraste, los más altos valores de supervivencia, se presentan en acacia, para el grupo arbóreo y en huigán y quebracho, para las arbustivas.

Con respecto a la evaluación comparativa entre tratamientos, se concluye que tanto las especies arbóreas como arbustivas muestran similar tendencia con relación a que el tratamiento con compost es el que resulta con menor porcentaje de supervivencia. Por otra parte, los tratamientos testigo y con tierra vegetal, muestran los mayores resultados, sin diferencias significativas entre ellos para la última campaña de medición (octubre de 2007).

En relación con la evolución de la supervivencia entre las temporadas de medición (mayo 2006, julio 2007 y octubre 2007), se constata que las especies acacias, huigán y quilo presentan una estabilidad en el porcentaje de supervivencia. Esta situación permite inferir que estas especies se encuentran en una fase de establecimiento definitivo, después de la etapa inicial de adaptación y selección (mayo 2005 a mayo 2006) donde se observó una disminución significativa de supervivencia para todas las especies. Estos antecedentes, que concuerdan con los patrones de plantaciones tradicionales, verifican la baja toxicidad que presenta el sustrato de relaves utilizado en esta experiencia. Los óptimos resultados para el tratamiento testigo, demuestran esta conclusión.

Al contrario de las otras especies, el quebracho presenta una disminución de la sobrevivencia a través del tiempo. Lo anterior indicaría que esta especie no se adapta a las condiciones climáticas y/o químicas del tranque. Esta hipótesis, deberá verificarse en futuras mediciones.

Con relación al tratamiento con compost, los datos de este ensayo contradicen antecedentes reportados por la información bibliográfica donde se indica que el uso de este tipo de enmienda orgánica, mejora las condiciones del medio y proporciona, entre otros, la formación de complejos con los metales pesados, inmovilizándolos y de este modo reduce efectos fitotóxicos (Palmer, 1990; Tordoff, 2000; entre otros).

En consecuencia, se estima que los antecedentes de la investigación no necesariamente descartan el uso de este componente, ya que está ampliamente reconocido el éxito del compost en el establecimiento de vegetación sobre tranques de relaves. Respecto a lo anterior, se estima que han incidido otras condiciones, ajenas a la probada eficiencia del uso de este producto, en los resultados de sobrevivencia. Entre ellas, cabe destacar las siguientes:

- 1) **Calidad del compost utilizado para el ensayo:** La idea original del estudio fue utilizar un compost obtenido de una planta de compostaje destinada a procesar residuos domésticos generados de los casinos de MLP. Al momento de iniciar las experiencias, esta planta se encontraba en proyecto y por lo tanto, no estaba operativa. Por lo anterior, se utilizó un compost comercial, de orujo de uva, de disponibilidad inmediata en el mercado. Sin embargo, la calidad de este producto no cumplió con el estándar esperado.
- 2) **Aplicación de agua de riego:** EL compost es un producto que se caracteriza por retener agua. Lo anterior, si bien favorece la entrega dosificada del recurso hídrico y de nutrientes, puede ser un factor negativo en el caso de no contar con un programa de riego. Uno de los objetivos del estudio fue establecer vegetación bajo el escenario de una mínima intervención y, consecuentemente, un régimen hídrico similar a las condiciones pluviométricas de la zona. En consecuencia, el riego se utilizó sólo en casos de emergencia (para suplir déficit de precipitaciones y/o con fines de mitigar efectos de falta de agua en período estival). Este criterio, pudo haber afectado negativamente al tratamiento con compost ya que, al tratarse de un producto higroscópico, compitió con las raíces de los vegetales por el agua disponible. Esta situación puede haber originado un estrés hídrico adicional a los ensayos provenientes del tratamiento, con el consecuente efecto en la escasa a nula sobrevivencia para las especies provenientes del sustrato con compost.

De lo anterior se concluye que se debe llevar una atención particular en la calidad del compost y en la necesidad de implementar un riego programado como estrategia de forestación sobre tranques de relaves.

IV.3.2.2 Mediciones de parámetros dasométricos

Sobre la base de la metodología considerada, se entregan los resultados del análisis estadístico para las especies arbóreas y arbustivas con relación a:

- Altura de árbol
- Diámetro de copa

Cabe mencionar que la especie Maitén presentó una sobrevivencia muy baja, lo que impidió la obtención de suficientes mediciones para el análisis de su desarrollo en el ensayo. Por lo anterior, se descarta esta especie de las evaluaciones dasométricas.

La Tabla N° 7 entrega estos resultados. Adicionalmente, en Anexo 1, fotografías ilustran algunas de estas mediciones.

Tabla N° 7. Mediciones Dasométricas en Árboles y arbustos en función de la temporada de medición y de los Tratamientos.

Especie	campaña de medición	Altura (cm)			Diámetro de copa (cm)		
		Testigo	T. Vegetal	Compost	Testigo	T. Vegetal	Compost
Acacia	Linea Base (Julio 2005)	22,5	22,5	22,5	20	20	20
	Julio 2006	86	67	32,5	93	50	35
	Julio 2007	180 a	170 a	170 a	205 a	150 b	130 b
Huingán	Linea Base (Julio 2005)	14	14	14	4	4	4
	Julio 2006	33	17	20	33	19	9
	Julio 2007	43 a	26,5 b	19 b	38,5 a	23 b	24 b
Quebracho	Linea Base (Julio 2005)	61	61	61	15	15	15
	Julio 2006	49	59	45,5	25	21	7,5
	Julio 2007	51 a	60 b	47 a	24,75 a	21,25 a	16,5 a
Quilo	Linea Base (Julio 2005)	50	50	50	20	20	20
	Julio 2006	52,5	50	55	90	88,5	89,5
	Julio 2007	77,5 a	80 a	80 a	100 a	120 a	95 a

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de confianza del 95%

Los Gráficos N° 7 a 10, ilustran los antecedentes de la evaluación realizada entre tratamientos y con relación a la línea base, para altura y diámetro de copa.

Gráfico N° 7. Altura y Diámetro de copa en Acacia. Efecto de los Tratamientos y de las temporadas de medición.

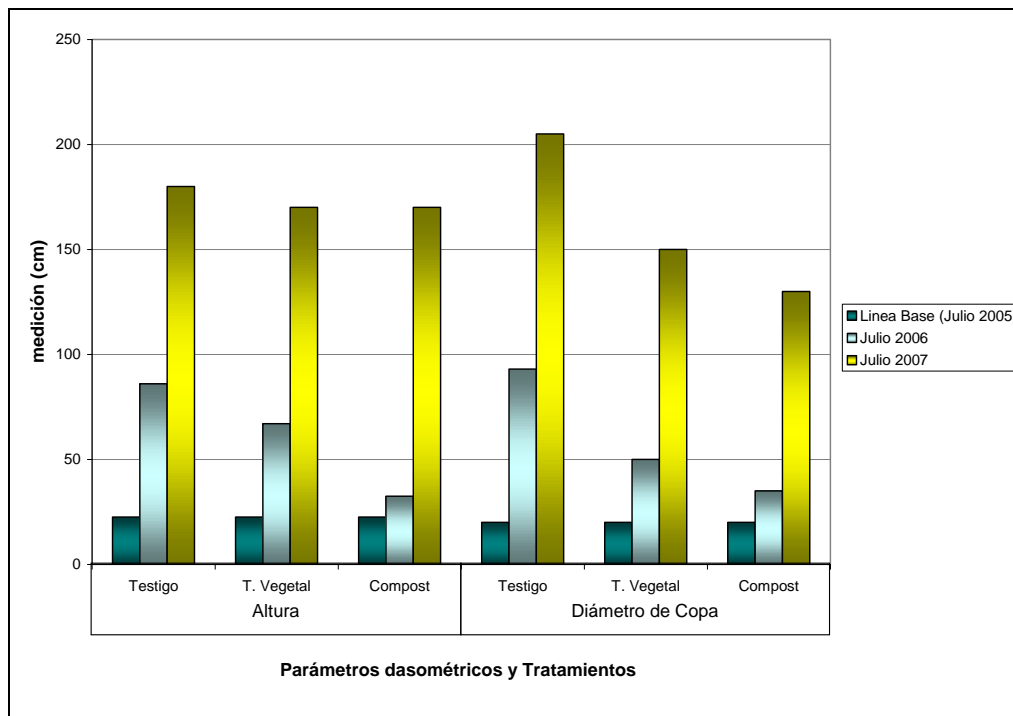


Gráfico N° 8. Altura y Diámetro de copa en huigán. Efecto de los Tratamientos y temporadas de medición.

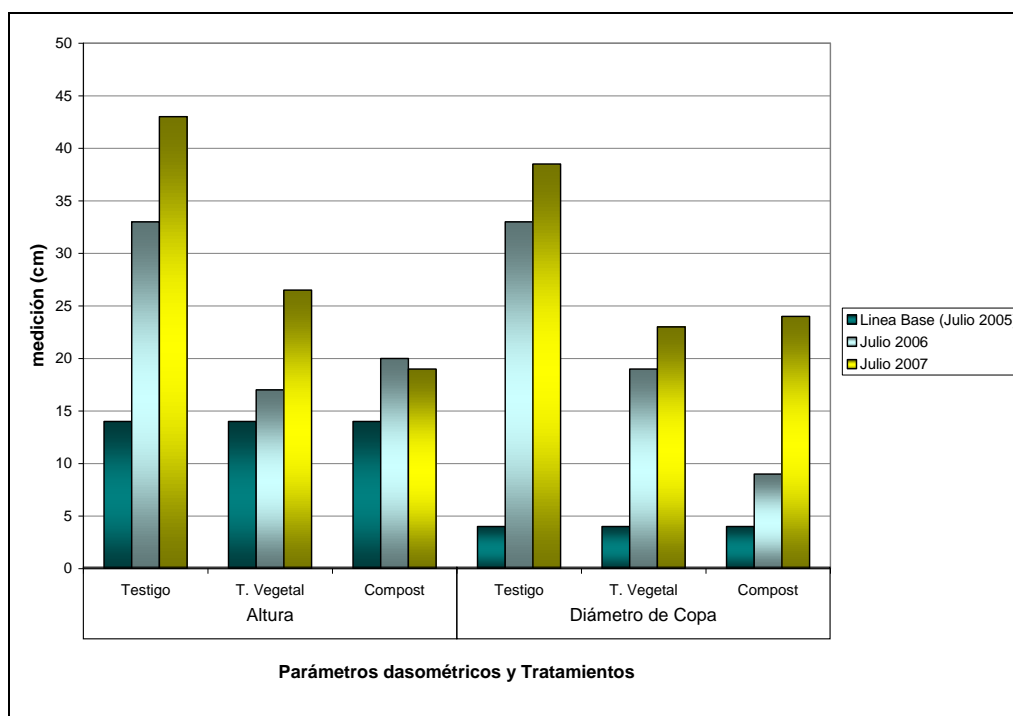


Gráfico N° 9. Altura y Diámetro de copa en quebracho. Efecto de los Tratamientos y temporadas de medición.

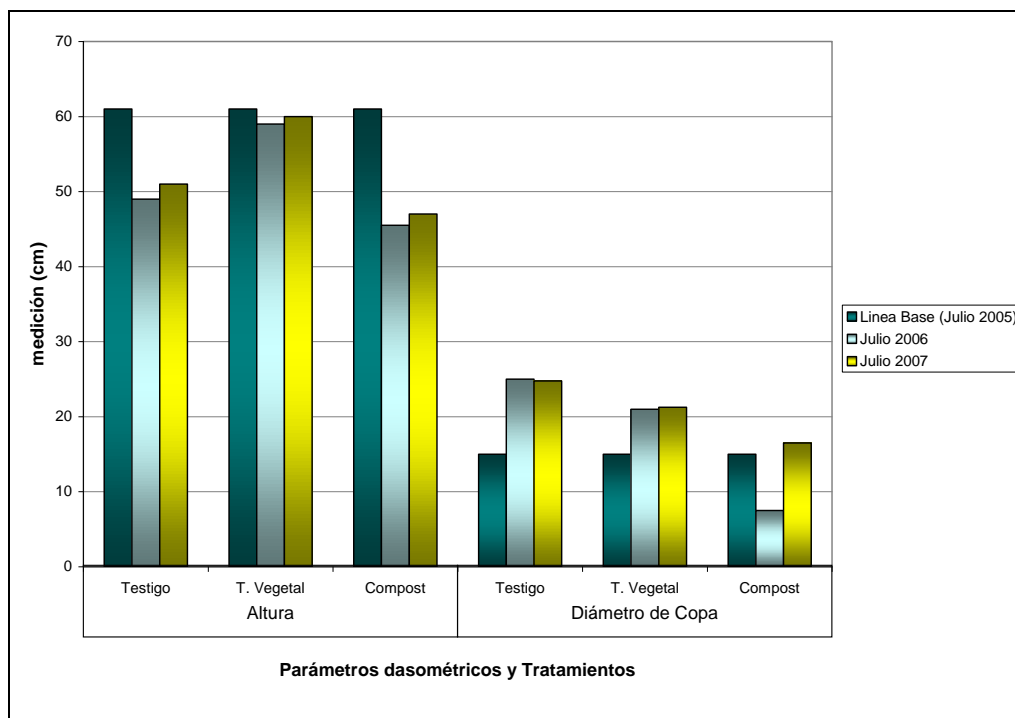
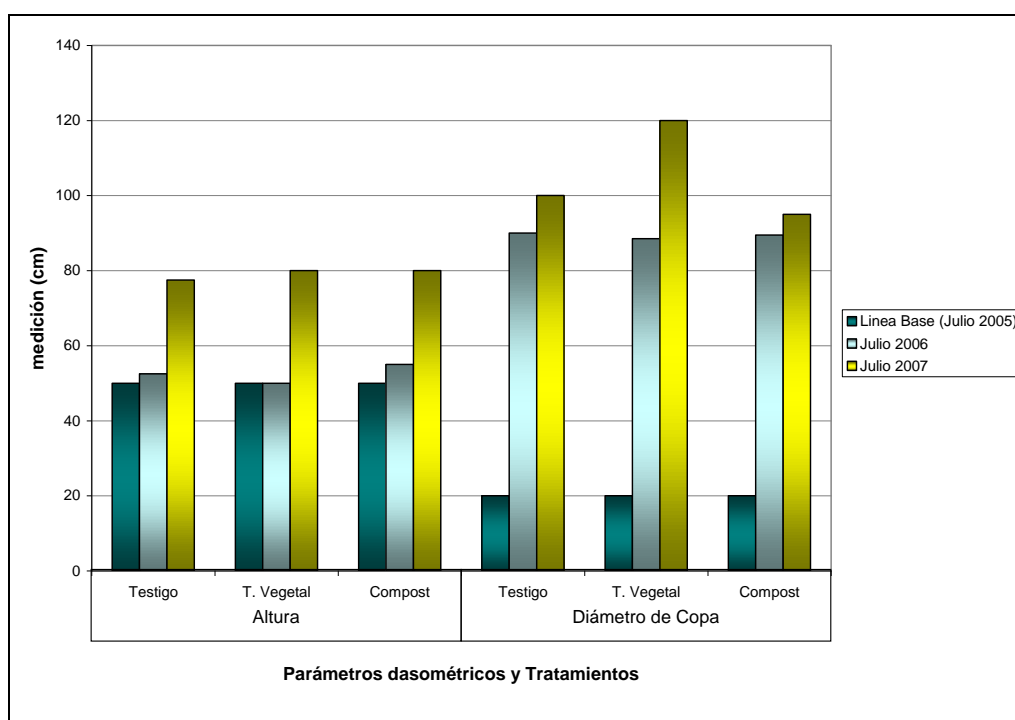


Gráfico N° 10. Altura y Diámetro de copa en quilo. Efecto de los Tratamientos y temporadas de medición.



De la evaluación efectuada para variables dasométricas, se concluye lo siguiente:

Se evidencia un buen crecimiento para la especie Acacia, respecto a la altura como al diámetro de copa. De manera general, se puede indicar que el mayor crecimiento de esta especie se produce en el segundo año del ensayo (Julio 2006 – Julio 2007) de medición. Esta respuesta es promisorio y podría indicar que la especie presentará un buen desarrollo futuro. En relación con las diferencias entre tratamientos, destaca el diámetro de copa para el testigo por ser superior a los otros dos tratamientos realizados.

Referente al crecimiento del huingán, las mediciones de Julio de 2007 confirman las observaciones de Julio de 2006, donde se observó un crecimiento superior para los individuos bajo tratamiento Testigo. Aunque, en la actualidad, se observa una disminución de la velocidad de crecimiento para este mismo tratamiento, los individuos que crecen en este subbloque evidencian valores de Altura y Diámetro de copa 1,5 veces superior en comparación a los otros dos tratamientos.

Se observa que el crecimiento del Quebracho ha sido escaso a nulo. Sin embargo, se debe destacar que, en la última campaña de terreno (julio de 2007) se evidenció un fuerte efecto del período invernal anterior, situación que produjo necrosis de tejido y rebrote de nueva vegetación. Este proceso se verifica en las actuales mediciones al observar en ellas tendencias a la disminución y/o estancamiento en el crecimiento y desarrollo de la especie.

Los resultados para la especie quilo muestran un buen crecimiento general durante los dos años de seguimiento, sin diferencias relevantes entre tratamientos. Durante el primer año, el mayor crecimiento se produjo en el diámetro de copa. En contraste, durante el segundo año, el mayor incremento se evidencia para la altura.

IV.3.3 Resultados de parámetros biológicos para especies herbáceas

En el caso de este grupo de plantas, las mediciones realizadas fueron las siguientes:

- Identificación de especies después de una temporada de establecidos los ensayos,
- Producción de materia seca en especies y rendimiento en mezclas,
- Cobertura vegetal.

En el Anexo 1, se entrega fotografías que ilustran algunas de estas mediciones.

IV.3.3.1 Identificación de especies

Dentro de la identificación de especies, se ha considerado evaluar dos grupos de interés:

Especies sembradas:

Corresponde a las especies que originalmente se sembraron en el ensayo. Estas fueron identificadas en terreno con fines de verificar su sobrevivencia después de una temporada de seguimiento.

Las herbáceas identificadas, después de una temporada de seguimiento, son:

Especie	Familia
<i>Trifolium subterraneum</i> (trébol subterráneo)	Fabacea
<i>Avena sativa</i> (Avena)	Poacea
<i>Lolium multiflorum</i> (Ballica)	Poacea
<i>Festuca arundinacea</i> (Festuca)	Poacea

Se evidencia la ausencia de falaris (*Phalaris tuberosa*), entre las especies sembrada. Esta herbácea, no sobrevivió a ninguno de los tratamientos realizados.

Especies colonizadoras:

Se trata de especies que no fueron sembradas originalmente y por lo tanto, colonizaron el ensayo por aportes naturales del ecosistema donde se inserta el ensayo piloto y/o a través de semillas existentes en la tierra vegetal y en el compost.

Se presenta en la Tabla N° 8, los resultados de las identificaciones realizadas en terreno y laboratorio, para estas especies. Adicionalmente, la información incluye una clasificación en función de la presencia de estas herbáceas por tratamientos; y con relación a la abundancia relativa de ellas (respecto al resto de los pastos). De este modo, se definieron dos criterios de clasificación:

- Especies Dominantes: se encuentran generalmente presentes en todos los tratamientos y mezclas y/o existe abundancia de ellas.
- Especies Acompañantes: se encuentran presentes en algunos tratamientos y mezclas, con escasa presencia de ellas.

Tabla N° 8. Identificación de Especies de Herbáceas Colonizadoras.

Tratamiento	Especie	Familia	Clasificación
Testigo	<i>Senecio glaber</i> (Senecio)	Asteracea	Dominante
	<i>Lactuca serviola</i> (Lechuguilla)	Asreracea	Dominante
	<i>Polygonum aviculare</i> (Sanguinaria)	Polygonacea	Dominante
	Varias especies	Poacea (1)	Acompañante
T. Vegetal	<i>Senecio glaber</i> (Senecio)	Asteracea	Dominante
	<i>Lactuca serviola</i> (Lechuguilla)	Asreracea	Dominante
	<i>Polygonum aviculare</i> (Sanguinaria)	Polygonacea	Dominante
	<i>Hirschfeldia incana</i> (Yuyo)	Brassicacea	Dominante
	<i>Calandrinia acaulis</i> H.B.K.	Portulacacea	Acompañante
	Varias especies	Poacea (1)	Acompañante
Compost	<i>Senecio glaber</i> (Senecio)	Asteracea	Dominante
	<i>Lactuca serviola</i> (Lechuguilla)	Asreracea	Dominante
	<i>Polygonum aviculare</i> (Sanguinaria)	Polygonacea	Dominante
	<i>Hirschfeldia incana</i> (Yuyo)	Brassicacea	Dominante
	<i>Calandrinia acaulis</i> H.B.K.	Portulacacea	Acompañante
	Varias especies	Poacea (1)	Acompañante

Nota (1): entre esta familia destacan las siguiente especies nativas: *Bromus setifolius* J. Presl; *Festuca acanthophylla* Desv.; *Hordeum patagonicum* (Hauman) Covas; *Aristida adscensionis* L.

IV.3.3.2 Producción de materia seca

Sobre la base de las caracterizaciones anteriores, se procedió a evaluar producción de materia seca, por mezcla y tratamientos, para especies sembradas y colonizadoras, sobre una superficie o unidad de medición equivalente a 0,6 m² / repetición.

Dentro del grupo de herbáceas colonizadoras, sólo se ha evaluado la producción de materia seca para las especies dominantes. En el caso de las herbáceas acompañantes, por su escasa presencia, se han descartado de este análisis.

Se realizó una evaluación comparativa entre tratamientos, para cada una de las especies del ensayo. Las Tabla N° 9 y 10 entregan los resultados para producción de materia seca.

Tabla N° 9. Producción Media de Materia Seca (gr) en Herbáceas Sembradas en función de los Tratamientos.

Tratamiento	Especie			
	<i>Trifolium subterraneum</i> (trébol)	<i>Avena sativa</i> (avena)	<i>Lolium multiflorum</i> (Ballica)	<i>Festuca arundinacea</i> (festuca)
Testigo	6,55 a	42,40 b	29,67 c	7,77 a
T. Vegetal	7,95 a	67,20 a	92,17 a	7,00 b
Compost	0,10 b	6,20 c	40,63 b	0,40 c

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de confianza del 95%

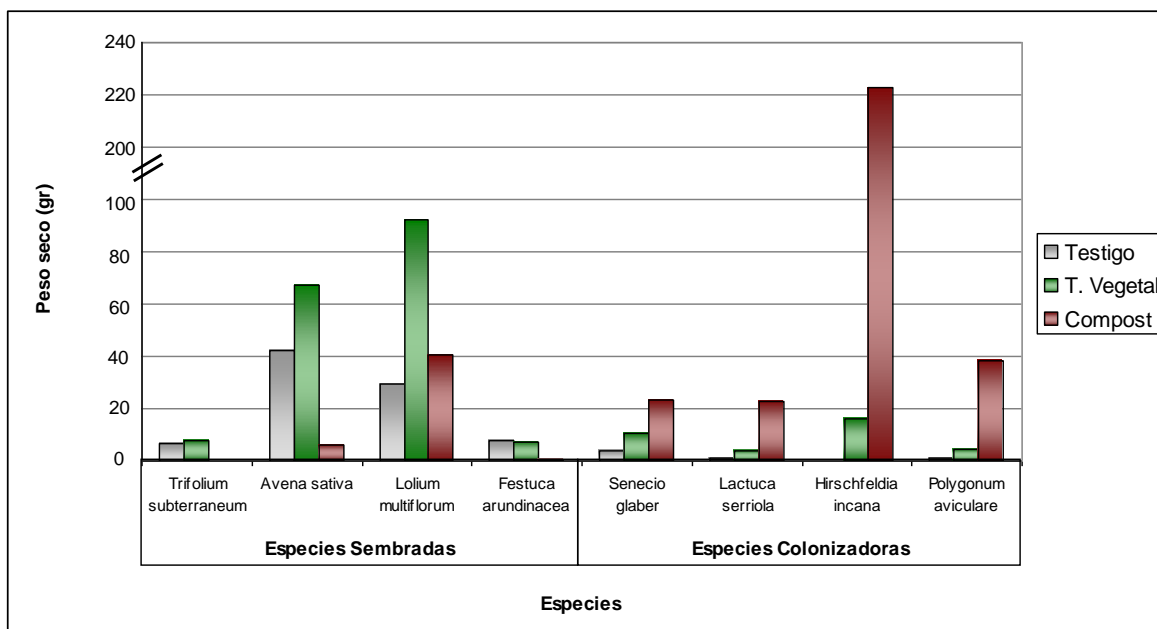
Tabla N° 10. Producción Media de Materia Seca (gr) en Herbáceas Colonizadoras Dominantes en función de los Tratamientos.

Tratamiento	Especie			
	<i>Senecio glaber</i> (senecio)	<i>Lactuca serviola</i> (lechuguilla)	<i>Hirschfeldia incana</i> (yuyo)	<i>Polygonum aviculare</i> (sanguinaria)
Testigo	3,67 c	0,95 c	-	0,9 b
T. Vegetal	10,63 b	4,15 b	16,3 b	4,3 b
Compost	23,32 a	22,95 a	223,0 a	38,6 a

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de confianza del 95%.

EI Gráfico N° 11 ilustra la producción de materia seca en función de los tratamientos para herbáceas sembradas y colonizadoras detallada en La Tabla N° 9 y 10.

Gráfico N° 11. Producción de Materia Seca en Herbáceas en función de los Tratamientos.



En esta ilustración, se observa que el trébol y la festuca, comparativamente con el resto de las especies, muestran a través de su producción de materia seca, escasa presencia en comparación al resto de las herbáceas.

En contraste a estos dos pastos, destacan cuatro especies por su mayor producción de materia seca, observada en alguno de los tratamientos. Estas especies son: avena, ballica, yuyo y sanguinaria. Las dos primeras son especies sembradas y sus mayores producciones se asocian al tratamiento testigo. Las dos segundas, corresponden a especies colonizadoras y sus mayores resultados provienen del tratamiento con compost.

La tendencia descrita para estas cuatro especies y, en confirmación a lo indicado en el análisis de detalle, para los grupos de las sembradas y colonizadoras, se observa de manera generalizada, para todas las especies, que los pastos sembrados responden favorablemente a los tratamientos testigo y con tierra vegetal mientras que; las especies colonizadoras, muestran mejor respuesta en el tratamiento con compost. Adicionalmente, en el grupo de las colonizadoras, la tierra vegetal, muestra producciones intermedias y el testigo es el que presenta los resultados más bajos.

Considerando que la tierra vegetal y el compost corresponden a enmiendas orgánicas que pueden contribuir con semillas externas al ensayo, es factible que los resultados favorables, respondan a estos aportes adicionales. Por lo tanto, no debiera esperarse presencia de materia seca de estas especies en el tratamiento testigo. Sin embargo, a excepción del yuyo, se observa la existencia de estos pastos en este tratamiento (Gráfico N° 11).

Estudios realizados con anterioridad sobre la flora que ha poblado de manera natural este tranque de relaves, citan las mismas especies colonizadoras identificadas en este ensayo, incluyendo el yuyo (ATM Ingeniería Ltda., 2002). En consecuencia, aunque no se descarta la

presencia adicional de estas especies en las enmiendas orgánicas, también es factible que semillas del entorno del tranque de relaves hayan encontrado un ambiente más favorable para su desarrollo, respecto al testigo, en estos tratamientos y, particularmente en el compost.

IV.3.3.3 Rendimientos

Para la evaluación de rendimientos, se han sumado todas las mediciones de materia seca, por especie y/o familia, en función de las mezclas (mezcla 1 con herbáceas anuales, mezcla 2 con herbáceas perennes) por unidades estándares de cálculo de rendimientos (kg/ha), según se detalla:

Mezcla 1:

Corresponde a la sumatoria de materia seca producida por:

Pastos Sembrados + Herbáceas colonizadoras
(trébol + avena + ballica) (dominantes + acompañantes)

Mezcla 2:

Corresponde a la sumatoria de materia seca producida por:

Pastos Sembrados + Herbáceas colonizadoras
(trébol + festuca) (dominantes + acompañantes)

Los resultados para rendimientos, se expresan en kg/ha.

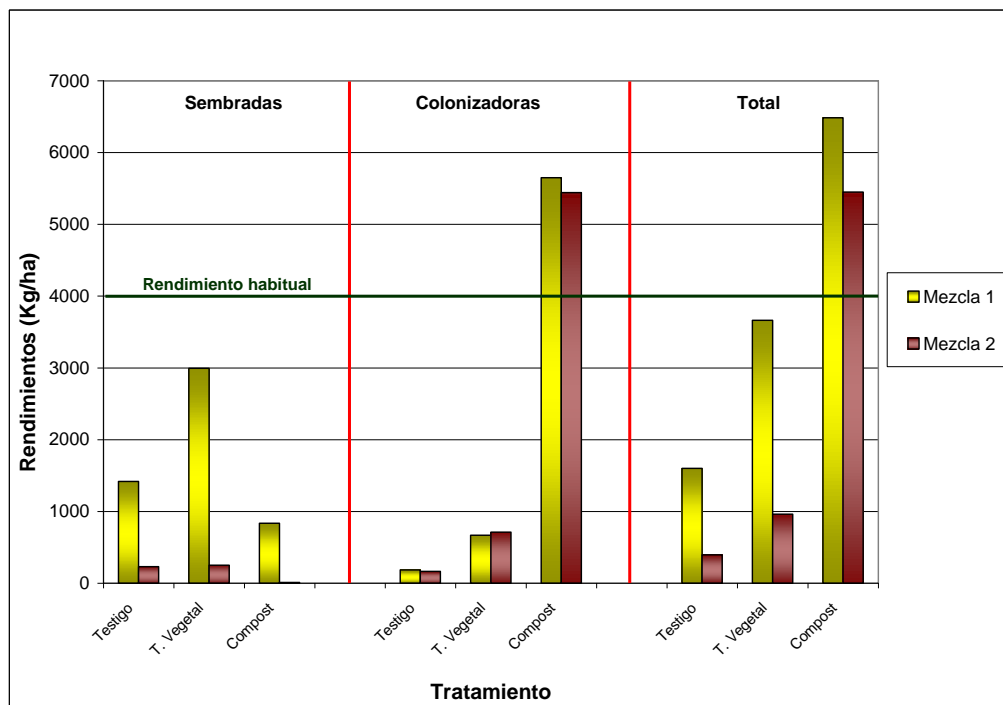
El análisis comparativo entre tratamientos y mezclas 1 y 2, se presenta en el Tabla N° 11 y el Gráfico N° 12.

Tabla N° 11. Rendimientos en Herbáceas en función de las Mezclas y Tratamientos.

Tratamientos	Mezclas	Rendimientos (Kg/ha)		
		Sembradas	Colonizadoras	Total
Mezcla 1	Testigo	1.416 b	184 c	1.600 c
	T. Vegetal	2.993 a	668 b	3.661 b
	Compost	836 c	5.649 a	6.484 a
Mezcla 2	Testigo	231 a	164 c	395 c
	T. Vegetal	250 a	712 b	962 b
	Compost	9 c	5.440 a	5.449 a

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamientos, a un nivel de confianza del 95%

Gráfico N° 12. Rendimientos en Herbáceas en función las Mezclas en cada Tratamiento.



Como se desprende de este análisis, las mezclas 1 y 2 muestran que existe un efecto de los tratamientos sobre los rendimientos para herbáceas sembradas, colonizadoras y totales, confirmando observaciones anteriores, para productividad entre especies, respecto a que los pastos sembrados presentan menores rendimientos en el tratamiento con compost. En contraste las herbáceas colonizadoras muestran mejor respuesta en este mismo medio.

La evaluación de rendimientos totales para el grupo de las herbáceas, en ambas mezclas, indican que el tratamiento con compost es el que presenta los mejores resultados y el testigo, evidencia los más bajos rendimientos en relación con los otros dos ensayos. En esta respuesta existe una significativa influencia de las especies colonizadoras, particularmente el yuyo, sobre la producción total.

Al evaluar los grupos de colonizadoras y sembradas, entre mezclas, se observa que las especies sembradas muestran diferencias significativas, donde los mayores rendimientos se producen en la mezcla 1, para los tres tratamientos. En contraste, las herbáceas colonizadoras evidencian que las mezclas no inciden en sus rendimientos.

Los menores resultados para la mezcla 2, en especies sembradas, se deben a la ausencia de falaris. Pasto perenne, incluido originalmente en esta mezcla; y que no sobrevivió a las condiciones del ensayo, y a la escasa presencia de la festuca, en comparación a las poaceas sembradas en la mezcla 1, situación que incidió en el menor peso obtenido para materia seca.

El efecto de las mezclas en las especies sembradas, incide en que los rendimientos totales (suma de ambos grupos), muestren igual tendencia al de este grupo de herbáceas,

observando que también la mezcla 1 obtiene mayores resultados en comparación a la mezcla 2, para todos los tratamientos.

Respecto a rendimientos referenciales, para pastos en zonas de secano, los resultados del ensayo, para ambas mezclas, en el tratamiento con compost son óptimos. En contraste, el testigo y la tierra vegetal muestran niveles productivos inferiores a estos valores referenciales. En esta respuesta inciden los óptimos resultados obtenidos, en compost, para especies colonizadoras, las que muestran valores que también son superiores en relación con los pastos producidos en zonas de secano.

IV.3.3.4 Cobertura vegetal

Los resultados para cobertura vegetal se presentan en la Tabla N° 12 y el Gráfico N° 13.

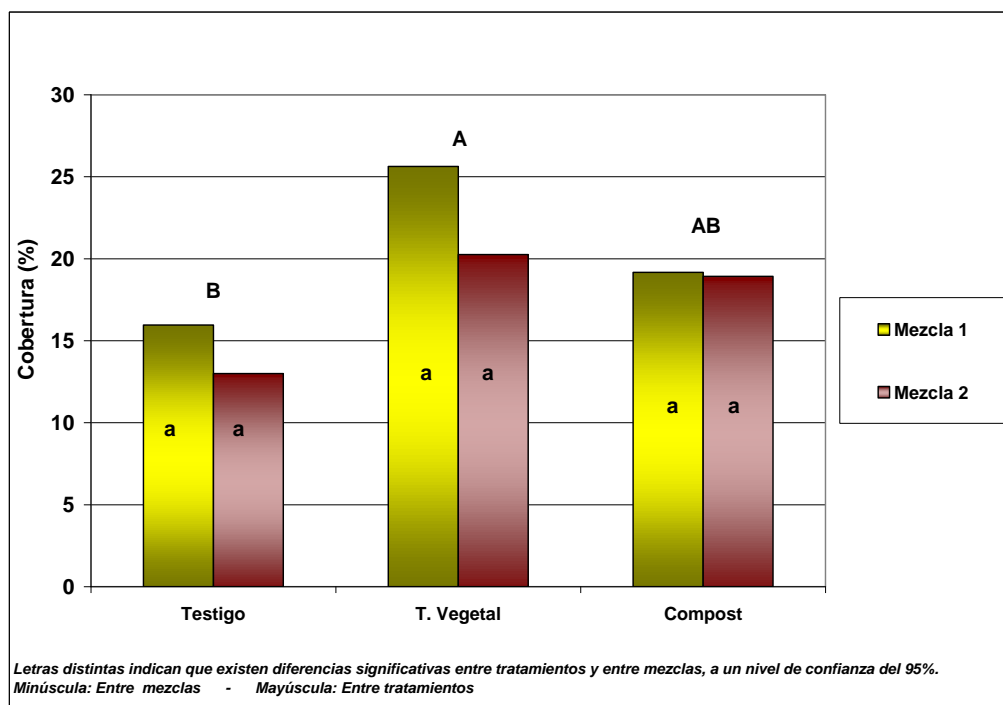
Tabla N° 12. Porcentaje de Cobertura Media en Herbáceas. Efecto de los Tratamientos y de las Mezclas.

Tratamientos	% de Cobertura	
	Mezcla 1	Mezcla 2
Testigo	15,96 a B	13,00 a B
T. Vegetal	25,63 a A	20,25 a A
Compost	19,17 a AB	18,92 a AB

Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre tratamiento y entre mezclas, a un nivel de confianza del 95%.

Minúscula: Entre mezclas - Mayúscula: Entre tratamientos.

Gráfico N° 13. Porcentaje de Cobertura en Herbáceas. Efecto de los Tratamientos y de las mezclas.



Según estos antecedentes, la mezcla no incide en el porcentaje de cobertura. En contraste, los tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos. Así, los mayores porcentajes de cobertura se producen en los tratamientos con compost y tierra vegetal, con resultados comparables entre sí. El testigo es el que presenta los menores valores. Sin embargo, los resultados son comparables al tratamiento con compost.

Aunque no se observa una relación directa entre producciones de materia seca y porcentaje de cobertura, en las parcelas experimentales, sí se evidencia que el tratamiento testigo, con los menores rendimientos del ensayo, presenta el más bajo porcentaje de cobertura.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

Sobre la base de todos los antecedentes expuestos en el trabajo de investigación sobre técnicas de forestación en relaves y del análisis acumulativo de antecedentes recopilados desde el año 2001 a la fecha, es factible concluir lo siguiente:

Calidad química del relave:

Según la base de datos del consultor y antecedentes bibliográficos, las características químicas del relave utilizado para el ensayo de forestación encargado por MLP es relativamente similar a otros relaves de las mineras de cobre del país: bajo grado de toxicidad (Williamson y Johnson, 1981), déficit en macronutrientes y en materia orgánica, pH alcalino y ausencia de problemas de salinidad y sodicidad. Lo anterior indica que estos relaves tienen un buen potencial de forestación y que los resultados obtenidos en esta experiencia de forestación proporciona antecedentes aplicables a la mayoría de los tranques de mineras de cobre abandonados o en etapa presente o futura de cierre.

Química en tejidos vegetales:

En los sistemas vegetales en análisis, se observa que existe selectividad entre especies. En particular destaca la afinidad por el molibdeno de la familia Fabaceae. La acacia y el trébol, representantes de este grupo, con los más altos contenidos del elemento, en comparación al resto de las especies del ensayos, verifican esta conclusión. También se detectan comportamientos diferenciados en función de los estratos bajo seguimiento. Como tendencia general se evidencia que las herbáceas muestran mayores contenidos de metales en comparación a los estratos arbóreos y arbustivos, destacando particularmente el caso de arsénico y cobre, por mostrar marcadamente esta tendencia. Cabe destacar que a pesar los niveles altos de metales antes descritos, no se evidenció síntomas de toxicidad en las especies antes mencionadas.

Sobrevivencia y desarrollo de especies de estrato arbóreo y arbustivo:

Se observa un efecto de los tratamientos sobre los parámetros de sobrevivencia y sobre las variables dasométricas. Las mejores respuestas se obtienen para los tratamientos testigo y tierra vegetal. En contraste, el tratamiento con compost, muestra los más bajos resultados, para ambas mediciones. Adicionalmente, se observa que las mediciones biológicas para especies de hábito arbóreo y arbustivo, muestran que la sobrevivencia incide directamente sobre las variables dasométricas. Es decir, los mejores valores de sobrevivencia muestran un crecimiento y desarrollo mayor con relación a los ensayos que han evidenciado escasez de individuos vivos.

Dentro de las especies evaluadas, en los estratos arbóreos y arbustivos, destacan por obtener las mejores respuestas biológicas el acacia y el huingán y, con buenos niveles de sobrevivencia (72,2 % en el tratamiento con tierra vegetal para la acacia y 85% en el testigo para el huingán), sumado a un significativo crecimiento y desarrollo. Luego, el quilo con un 53,3% de sobrevivencia (en testigo), también logra un crecimiento cuantificable de interés. Adicionalmente, se evidencia un receso invernal del quebracho con deterioro en sus tejidos,

que se refleja en el escaso a nulo crecimiento observado en esta especie. Finalmente, el maitén muestra baja adaptación al ensayo con valores que fluctúan entre 0% y 28% de sobrevivencia, para compost y testigo, respectivamente.

Desarrollo del estrato herbáceo:

Con relación a las mediciones asociadas a producción de materia seca en herbáceas sembradas, se evidencia, que los mejores resultados se presentan en poaceas anuales (ballica y avena), provenientes de la mezcla 1, para los tratamientos con tierra vegetal y testigo. Los otros pastos sembrados presentaron un desarrollo débil a nulo. En reemplazo, aparecen especies colonizadoras, provenientes de semillas probablemente aportadas por las enmiendas orgánicas y/o por la vegetación local donde se inserta el tranque. En particular destacan, por su dominancia, cuatro especies: senecio, lechuguilla, yuyo y sanguinaria. Entre ellas, se observa las mayores producciones de sanguinaria y yuyo con relación al resto de las especies de este grupo, para el tratamiento con compost. Esta tendencia es particularmente evidente en el caso del yuyo, donde se obtienen los más altos valores productivos del ensayo, en comparación al resto de las especies de herbáceas. Adicionalmente, y en escasa cantidad, se observa presencia de otras herbáceas acompañantes, donde predomina la presencia de la familia Poaceae, lo que favorece la diversidad de este estrato.

En relación a rendimientos esperados, para pastos cultivados en la zona, los resultados de ambas mezclas, para el tratamiento con compost son altos. En contraste, los tratamientos testigo y con tierra vegetal, presentan bajos niveles productivos. La respuesta observada está muy favorablemente influenciada por la presencia de especies colonizadoras, que también presentan, en el tratamiento con compost para ambas mezclas, rendimientos superiores a pastos cultivados en la zona del estudio.

Evaluación de los tratamientos:

Del análisis integral realizado para el sustrato y los sistemas vegetales, se concluye que los tranques de relaves contemporáneos de las mineras de cobre, muestran un bajo grado de toxicidad. Por lo anterior, la mayoría de las especies analizadas en este estudio de forestación presentan potencial para adaptarse a estos medios sin necesidad de aplicar técnicas adicionales que mejoran sus condiciones físico-químicas. Sin embargo, los antecedentes de esta investigación, así como a nivel mundial, indican la necesidad de mejorar la calidad físico-química de los tranques de relaves, con el fin obtener un buen y rápido establecimiento de la vegetación, utilizando para ello, entre otros componentes, enmiendas orgánicas y riego en zona de sequía (Bach, 1973). Lo anterior se fundamenta en la dificultad de lograr que estos sistemas sean autosustentables en el largo plazo (más de 10 a 12 años con vegetación).

Aunque en los ensayos que se están realizando, a excepción de los pastos colonizadores, las pruebas con compost muestran resultados desfavorables para los vegetales analizados, se estima que esta respuesta obedece a causas ajenas a la probada eficacia de este tipo de enmienda. Se estima que la escasez hídrica, en respuesta al criterio general de “riego sólo de emergencia” aplicado en esta investigación y la probable baja calidad del producto comercial disponible en el mercado al momento del ensayo incidió en el menor éxito observado en el ensayo para este tratamiento.

V.2 Recomendaciones

Las últimas investigaciones desarrolladas a nivel mundial, indican que la aplicación de técnicas de forestación en relaves, mediante uso de vegetación, es la mejor vía para estabilizar y revertir efectos ambientales no deseados causados por los tranques de relaves después de su abandono y/o cierre. Las investigaciones indican que es fundamental acelerar el establecimiento de la vegetación, a modo de alcanzar, en el menor plazo posible, la estabilización de estos sustratos, y por lo tanto mitigar las contaminaciones y evitar procesos de acidificación con el consecuente efecto letal sobre las especies y el medioambiente.

Entre otras recomendaciones, se destaca la importancia de desarrollar técnicas adaptadas a las condiciones locales de cada región metalífera. Por lo anterior es fundamental estudiar técnicas alternativas de vegetación que permitan el desarrollo de esta tecnología, aplicada a las realidades ecosistémicas de las zonas metalíferas chilenas.

Para mitigar las dificultades de establecer vegetación natural sobre relaves, los avances en técnicas de forestación se orientan hacia el uso de sistemas vegetales con apoyo adicional de otros componentes que activan y aceleran procesos relacionados con la fijación del nitrógeno, el desarrollo adecuado del ciclo de los nutrientes, la descomposición orgánica y, en general, la estimulación de los procesos microbiológicos. Dentro de esta línea de trabajo, destaca el uso de las enmiendas orgánicas como el compost y el empleo de otros microorganismos que actúan mediante simbiosis, como las micorrizas (asociación de hongo con raicillas). Adicionalmente, al probado efecto benéfico que producen estos componentes bióticos sobre los sustratos de relaves, presentan otras ventajas comparativas con relación a mostrar un fácil manejo técnico y bajo costo de implementación.

El presente estudio valida las experiencias internacionales para el caso de las mineras de cobre en Chile. Así, los tranques de relaves contemporáneos, a través técnicas y manejos adecuados, se muestran propicios para el desarrollo de plantaciones arbóreas, arbustivas y herbáceas.

VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Bach, D.A., 1973. The use of drip irrigation for vegetating mine waste areas. In: Myin, C.L., Argall, G.O. (Eds.), Tailing Disposal Today, Proceedings of the First International Tailing Symposium, AZ. Miller Freeman, San Francisco, USA, pp. 563-570.

Johnson, M.S., Bradshaw, A.D., 1977. Prevention of heavy metal pollution from mine wastes by vegetative stabilisation. Trans. Inst. Min. Metall. A 86, 47-55.

Johnson, M.S., Bradshaw, A.D., Handley, J.F., 1976. Revegetation of metalliferous fluorspar tailings. Trans. Inst. Min. Metall. A 85, 32-37.

Loué, A. 1988. Les oligoéléments en agriculture. Agri-Nathan Int., Paris.

Tordoff G.M., Baker A.J.M., Willis A.J., 2000. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. Chemosphere 41, 219-228.

Williamson, A., Johnson, M.S., 1981. Reclamation of metalliferous mine wastes. In: Lepp, N.W. (Ed.), Effect of Heavy Metal Pollution on Plants, vol. 2. Applied Science Publishers, Barking, Essex, UK, pp. 185-212.

ANEXO 1

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO



MAYO 2005 ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO



Foto 1: Vista general del sector seleccionado para el establecimiento del ensayo.



Foto 2: Detalle del cercado del área de ensayo. Instalación de malla (tipo gallinero).



Foto 3: Casilla de plantación preparada para disponer en ella los tratamientos (compost y tierra vegetal).



Foto 4: Preparación de tratamientos con mezcla de compost más fertilizante (tratamiento T2).



Foto 5: Incorporación de tierra vegetal a la platabanda para siembra de semillas de herbáceas (Tratamiento T1).



Foto 6: Terreno preparado, con los tratamientos respectivos, para la plantación definitiva.



Foto 7: Viveros de Minera Los Pelambres, plántulas de huinganes utilizados en el ensayo de forestación en relaves.



Foto 8: Faena de plantación. Ejemplar de Quebracho (*Cassia closiana*). En segundo plano, se observa una planta de acacia (*Acacia saligna*).



Foto 9: Siembra se especies herbáceas en el tratamiento con compost (T2).



Foto 10: Incorporación de semillas en platabanda asociada al tratamiento testigo (T0).



Foto 11: Ejemplar de Quebracho (*Cassia closiana*), establecido sobre el tratamiento T0 (sustrato de relave), al mes de plantación, después del riego de emergencia.



Foto 12: Mediciones de altura, en el tratamiento T1, en un ejemplar de Quilo (*Muehlenbeckia hastulata*).



Foto 13: Estado de avance del tratamiento T0, con especies herbáceas.



Foto 14: Cubrimiento del paño con especies herbáceas (tratamiento T1)



Foto 15: Avance, donde se aprecia la emergencia de los individuos en el tratamiento T2.



Foto 16: Hilera de plantación aledaña a cerco perimetral con plantas de acacia (*Acacia saligna*) de dos temporadas.



Foto 17: Brotación en ejemplar de Quilo (*Muehlenbeckia hastulata*), al mes y medio de plantación.



Foto 18: Vista panorámica de los ensayos, en el Tranque de Relaves El Chinche, después de un mes y medio de establecido los ensayos.



NOVIEMBRE 2005 – OCTUBRE 2007 SEGUIMIENTO DEL ENSAYO



Foto 19: Vista general de la parcela en herbáceas T0 Mezcla 1.



Foto 20: Detalle de la parcela en herbáceas T0 Mezcla 1. Se observa presencia de Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y avena (*Avena sativa*).



Foto 21: Vista general de la parcela en herbáceas T0 Mezcla 2.



Foto 22: Detalle de la parcela en herbáceas T0 Mezcla 2, donde se observa presencia de Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y festuca (*Festuca arundinacea*).



Foto 23: Vista general de la parcela en herbáceas T1 Mezcla 1.



Foto 24: Detalle de la parcela en herbáceas T1 Mezcla 1. Se evidencia presencia de Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y avena (*Avena sativa*)..



Foto 25: Vista general de la parcela en herbáceos T1 Mezcla 2.



Foto 26: Detalle de la parcela en herbáceas T1 Mezcla 2. Se detecta presencia de Trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) y festuca (*Festuca arundinacea*).



Foto 27: Vista general de la parcela en herbáceas T2 Mezcla 1 con predominio de yuyo (*Hirschfeldia incana*) y presencia de Avena (*Avena sativa*).



Foto 28: Vista general de la parcela en herbáceas T2 Mezcla 2 con predominio de yuyo (*Hirschfeldia incana*).



Foto 29: Vista panorámica de los ensayos, temporada primavera verano.



Foto 30: Control de maleza en forma manual principalmente en área de plantación de árboles y arbustos.



Foto 31 y 32: Aplicación de riego de emergencia, sobre los árboles y arbustos.



Foto 33: Disposición de tutores.



Foto 34 y 35: Determinación de cobertura vegetal, mediante el método del cuadrante, con fines de calcular la producción de materia seca.



Foto 36: Muestreo de suelo adyacente a casilla de Acacia (*Acacia saligna*).



Foto 37: Muestreo de suelo, adyacente a casilla de Huingán (*Schinus polygamus*).



Foto 38: Muestreo de suelo adyacente a platabandas de herbáceas T1.



Foto 39: Bolsas con muestra de suelo para traslado a laboratorio.



Foto 40: Mediciones dasométricas (altura de árbol) en Acacia (*Acacia saligna*).



Foto 41: Mediciones dasométricas (diámetro de copa) en Acacia (*Acacia saligna*).



Foto 42: Mediciones dasométricas (altura de arbusto) en Quilo (*Muehlenbeckia hatulata*).



Foto 43: Mediciones dasométricas (diámetro de copa) en Quebracho (*Cassia closiana*).



Foto 44: Mediciones dasométricas (diámetro de copa) en Huingán (*Schinus polygamus*).



Foto 45: Instalación de tutor en Acacia (*Acacia saligna*).



Foto 46: Vista general de letrero explicativo del ensayo.



Foto 47: Colonización natural de Senecio (*Senecio glaber*) en hoyo de plantación de Huigán, previo a la limpieza.



Foto 48: Acacia y Huingán en tratamiento testigo en otoño 2007 donde se constata el inicio de receso invernal.



Foto 49: Individuo de Quilo en tratamiento con tierra vegetal (otoño 2007).



Foto 50: Síntomas marcados de marchites en planta de Quebracho (*Cassia closiana*).



Foto 51: Detalle de sintomatología visual de estrés en follaje de Quebracho (*Cassia Closiana*).

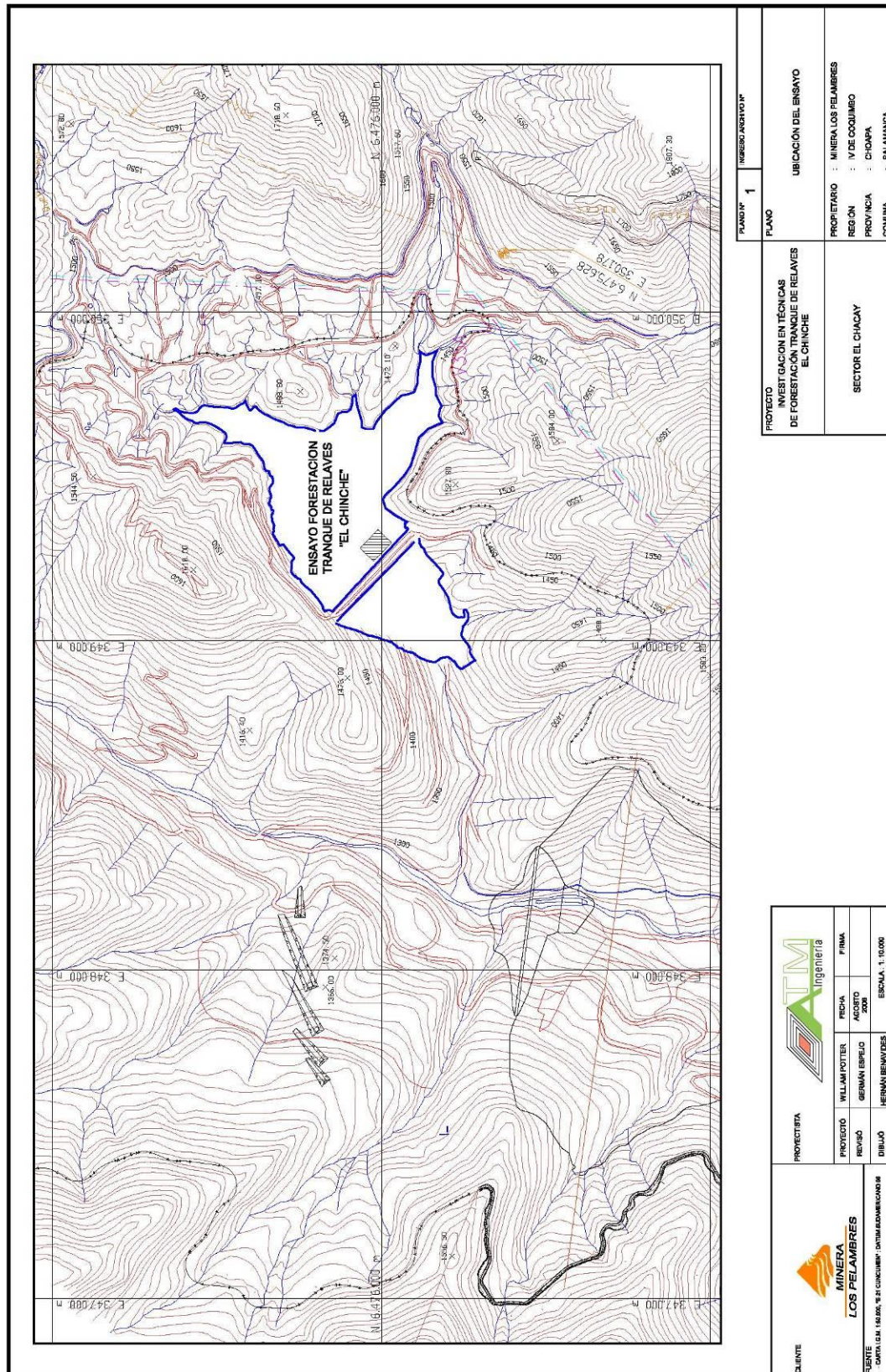


Foto 52: Estado del acacia (*Acacia saligna*) y huingán (*Schinus polygamus*) en el testigo después del receso invernal (octubre de 2007).

ANEXO 2

PLANOS

UBICACION DEL ENSAYO DE INVESTIGACIÓN EN TÉCNICAS DE VEGETACIÓN DE TRANQUES DE RELAVES EN ETAPA DE CIERRE



FOTOGRAFIA AEREA DEL TRANQUE EL CHINCHE CON UBICACION DEL ENSAYO DE FORESTACION

