

## USO DE VETIVER GRASS TECHNOLOGY PARA LA REHABILITACIÓN DE SITIOS MINEROS EN CHILE:

### RESULTADOS PRELIMINARES

Octubre, 2006.



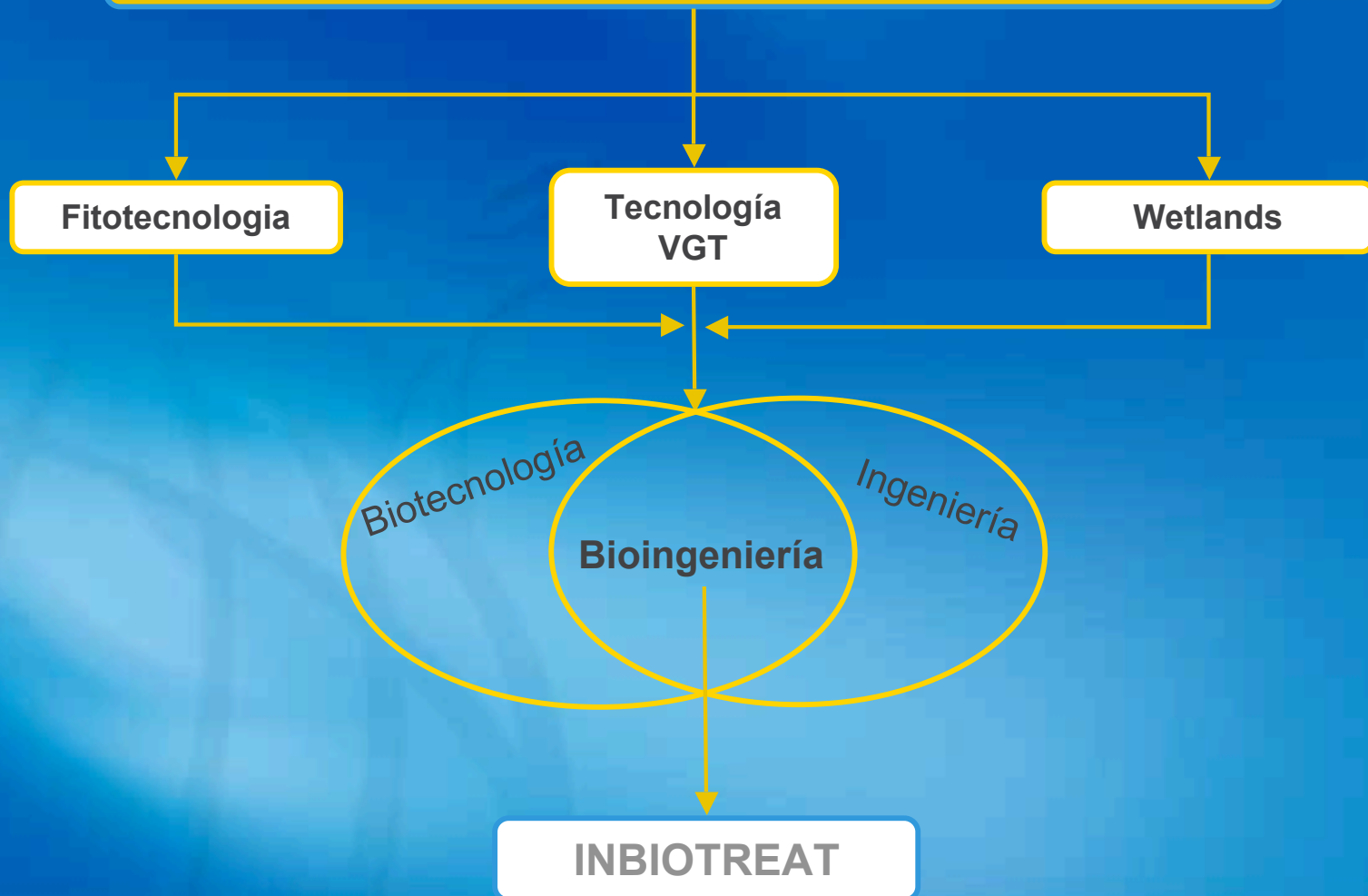
  
30 años  
**FUNDACIONCHILE**  
Visualizando y Construyendo Futuro

PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS & REMEDIACIÓN AMBIENTAL

GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE & METROLOGÍA QUÍMICA

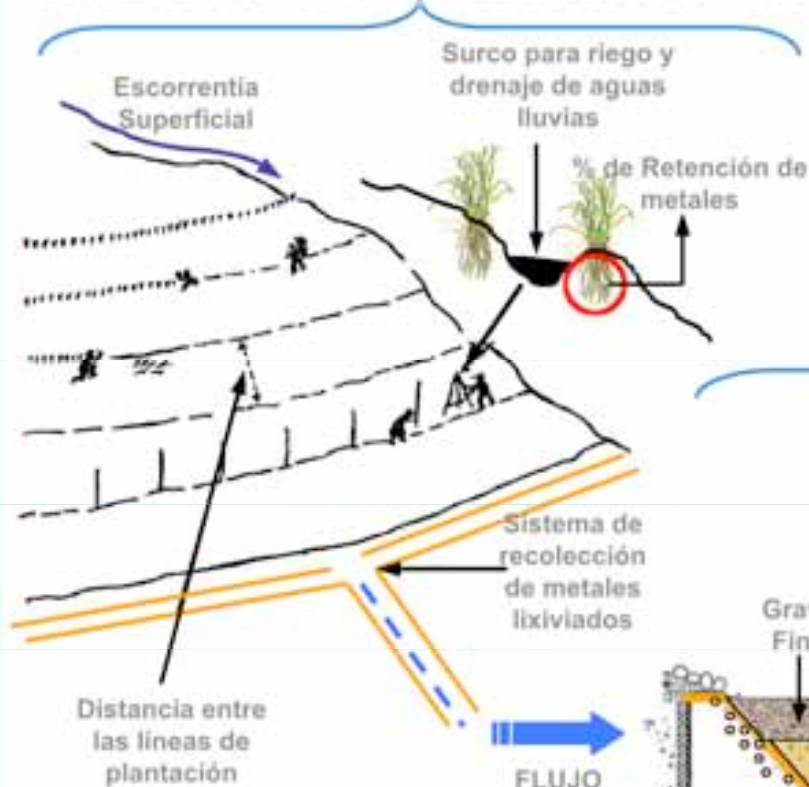


# Passive Environmental Technologies

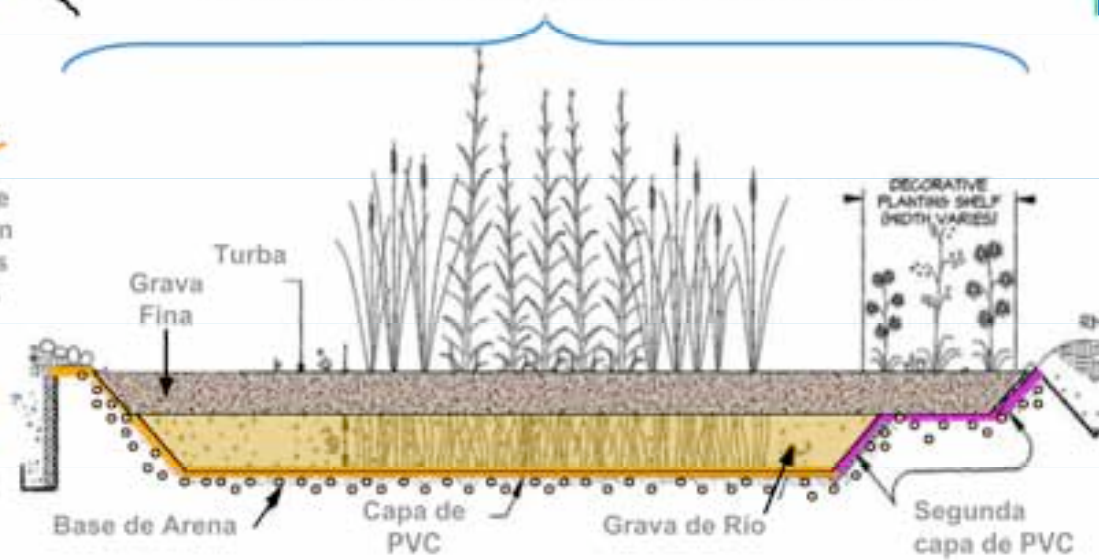


# ESQUEMA INBIOTREAT

## SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS



## WETLAND - SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RILES



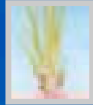
# EQUIPO DE TRABAJO PARA LA REHABILITACIÓN DE SITIOS MINEROS



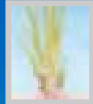
CENTRE FOR MINED  
LAND REHABILITATION



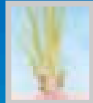
# Contenidos



**Introducción**



**Objetivos**



**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**



**Prueba Piloto CODELCO Andina**



**Prueba Piloto Anglo American**

# Contenidos



**Introducción**



**Objetivos**



**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**

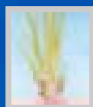


**Prueba Piloto CODELCO Andina**

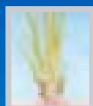


**Prueba Piloto Anglo American**

# Contenidos



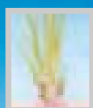
**Introducción**



**Objetivos**



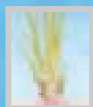
**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**



**Prueba Piloto CODELCO Andina**



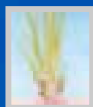
**Prueba Piloto Anglo American**

## Introducción

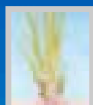
- Chile es un país cuyo principal ingreso económico proviene de la actividad minera, principalmente la minería del cobre. Es por este motivo que Fundación Chile se encuentra realizando una serie de estudios pilotos de VGT en los desechos producidos por este tipo de actividad, pues representan una fuente de contaminación importante de las principales matrices ambientales (aguas, suelo y aire)
- En la última década, el Sistema del Pasto Vetiver (VGT) ha emergido como el más innovador, bajo costo y ambientalmente amigable de los métodos de fitorremediación de residuos de la actividad minera. La tecnología VGT ha sido empleada con éxito para rehabilitar este tipo de residuos en Australia, China, Sudáfrica, Tailandia y Venezuela.



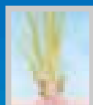
# Contenidos



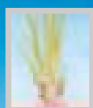
Introducción



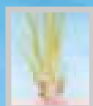
Objetivos



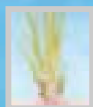
Prueba Piloto Lo Aguirre



Prueba Piloto La Africana



Prueba Piloto CODELCO Andina

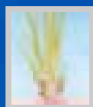


Prueba Piloto Anglo American

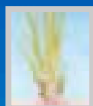
## Objetivos

- Determinar si el Vetiver puede crecer en tranques de relave, rípios de lixiviación y depósitos de estériles, los cuales presentan elevadas concentraciones de cobre, sulfato y otros metales.
- Determinar si el vetiver puede crecer en condiciones climáticas extremas: Altitud, frío y húmedo invierno y muy cálido y seco verano.
- Averiguar si el vetiver puede establecerse en las paredes de tranques de relave y pilas de lixiviación (construidas sólo con material de desecho) para proporcionar estabilidad física en estos.
- Determinar si la tecnología VGT puede convertirse en una tecnología efectiva para detener la erosión eólica e hídrica presente en tranques de relave, pilas de lixiviación y depósitos de estériles que se encuentren tanto en uso como abandonados.

# Contenidos



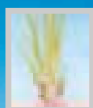
Introducción



Objetivos



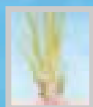
Prueba Piloto Lo Aguirre



Prueba Piloto La Africana



Prueba Piloto CODELCO Andina



Prueba Piloto Anglo American

# Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

## ✓ Descripción del Sitio y Problemática

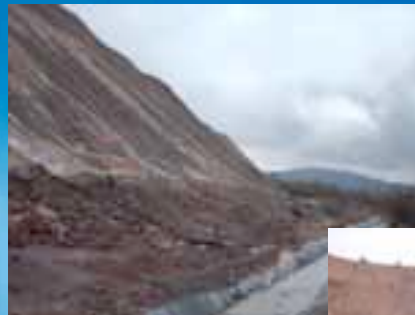
- Operativa entre los años 1980 y 2000, Mina Lo Aguirre fue la primera minera en el mundo en emplear el proceso de lixiviación para extraer Cobre desde el mineral.
- En la actualidad Chile se encuentra desarrollando leyes y guías para el cierre de faenas mineras, esta minera será pionera en acatar la nueva normativa chilena
- El primer paso para la rehabilitación ambiental de la mina, es revegetar Depósitos de Estériles y Pilas de Lixiviación para controlar la erosión hídrica y eólica. Sin embargo, debido a la elevada concentración de elementos, particularmente Cobre y Sulfatos, y bajo contenido de nutrientes, no se observa el establecimiento de especies endémicas sobre estos desechos.



# Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

## ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- Las Pilas de Lixiviación son ácidas ( $\text{pH}=3.6$ ), con elevadas concentraciones de sulfato ( $29000 \text{ mg/kg}$ ), EC ( $39600 \text{ uS/cm}$ ), Cobre Total ( $2369 \text{ mg/Kg}$ ) y Mg ( $9433 \text{ mg/Kg}$ ), pero con bajas concentraciones de N Total ( $0.1 \text{ mg/kg}$ ) y P ( $0.2 \text{ mg/Kg}$ ).



## Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

### ✓ Materiales y Métodos

- Debido al limitado financiamiento existente para esta prueba sólo se plantaron 50m lineales de VGT. La plantación fue realizada en Octubre de 2005.
- La calidad de las plantas, traídas a la mina en bolsas plásticas con suelo y nutrientes, era muy heterogénea, variando de plantas con hojas y raíces fuertes a otras en donde la presencia de estas últimas era casi nula.



# Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

## ✓ Materiales y Métodos

### Condiciones Climáticas

- Lluvia anual = 320mm
- T° Mínima = 0°C
- T° Máxima = 38°C

370 plantas en 50m

25m s/ Tierra Vegetal y Fertilizante

25m c/ Tierra Vegetal y Fertilizante

El monitoreo se realizó cada 6 semanas por un periodo de 6 meses, registrándose el estado de la especie vegetal y su crecimiento.

## Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

### ✓ Resultados y Discusión

- A pesar de la mala calidad del material vegetal plantado, de las elevadas temperaturas y sequedad ambiental, el establecimiento de la planta fue muy satisfactorio, logrando un 96% de establecimiento después de 7 semanas y del 79%

Condición	Edad de las Plantas		
	Al inicio	7 semanas	3 meses
Buen Crecimiento	370	357	294
Plantas Muertas		13	76

- Para evaluar el crecimiento del Vetiver en Mina Lo Aguirre, las alturas de las plantas fueron clasificadas como: alto, medio y bajo. La Tabla siguiente muestra el crecimiento de éstas a 3 meses de la plantación.

Condición de la Planta	% Plantas	Crecimiento de la Hoja (cm)
1 (Alto)	17	50 – 70
2 (Medio)	76	30 – 49
3 (Bajo)	7	< 29



# Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

## ✓ Resultados y Discusión

10 días después de la plantación



3 meses después de la plantación



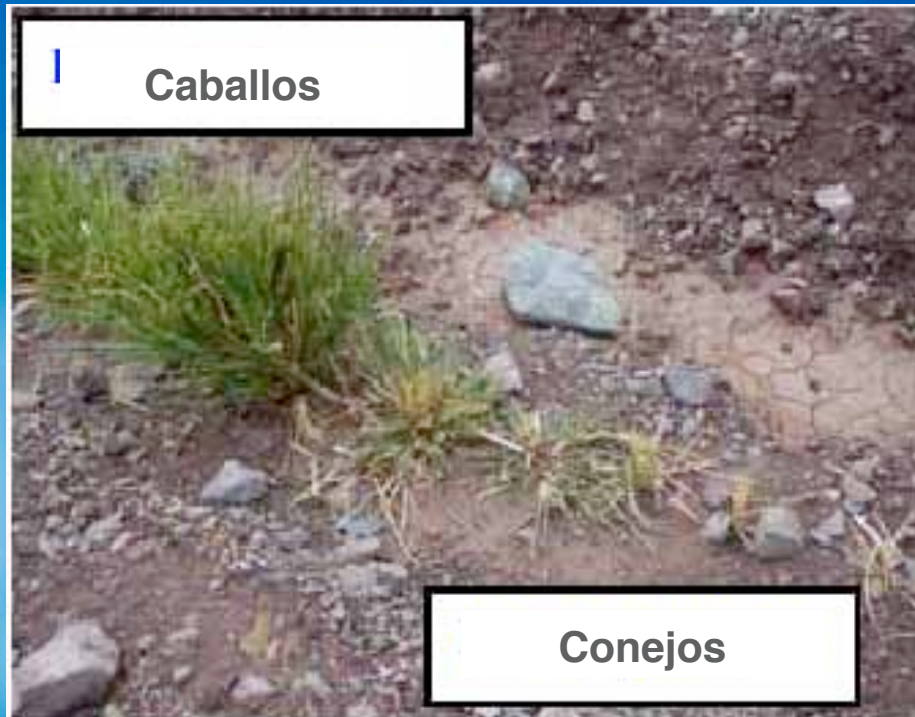
8 meses después de la plantación



## Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

### ✓ Resultados y Discusión

- Desafortunadamente, luego de 5 meses de plantación, algunos sectores de la prueba VGT fueron afectados por conejos y caballos



## Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

### ✓ Resultados y Discusión

- A 19 de Octubre del 2006, a un año después de la plantación, la barrera de Vetiver luce de la siguiente manera:



## Prueba Piloto Mina Lo Aguirre

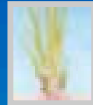
### ✓ Conclusiones

- De la información recogida durante el estudio, puede observarse que el Vetiver puede establecerse y crecer satisfactoriamente sobre las Pilas de Lixiviación con un nivel de Cobre Total muy alto (**2369mg/Kg**) y un pH ácido de **3.6**
- A la fecha no se observa diferencia entre el desarrollo de plantas con y sin suelo vegetal, por lo que se puede concluir que, el Vetiver puede crecer y desarrollarse directamente sobre las Pilas de Lixiviación.

# Contenidos



**Introducción**



**Objetivos**



**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**



**Prueba Piloto CODELCO Andina**



**Prueba Piloto Anglo American**

## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- Esta mina de cobre fue cerrada hace 10 años aproximadamente. Posee dos tranques de relave inactivos que se encuentran desprovistos de vegetación y con problemas de erosión, tanto hídrica como eólica
- El objetivo preliminar de esta prueba es determinar si el Vetiver puede establecerse y crecer sobre el tranque de relave, y en segundo lugar determinar la potencialidad de escalar la prueba para la rehabilitación completa de éste.



## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- El tranque de relave posee una textura arenosa, con un pH ácido (pH = 4.4), elevados contenidos de sulfato (29500mg/Kg), EC (21200uS/cm), Cobre Total (3921mg/kg), Magnesio (5507mg/kg); pero muy bajo contenido de N disponible (0.1mg/kg) y P (0.2mg/kg)



## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Materiales y Métodos

- Se plantó una cantidad de 500 plantas distribuidas en 5 barreras de 10 metros cada una a un intervalo vertical de 1 metro. En forma ascendente la barrera 1 y 2 se plantaron a raíz desnuda para medir la incidencia del material tóxico sobre la especie. Las barreras 3,4 y 5 se plantaron con contenedores plásticos.
- La calidad de las plantas, traídas a la mina en bolsas plásticas con suelo y nutrientes, era muy heterogénea, variando de plantas con hojas y raíces fuertes a otras en donde la presencia de estas últimas era casi nula





# Prueba Piloto La Africana

## ✓ Materiales y Métodos

### Condiciones Climáticas

- Lluvia anual = 320mm
- T° Mínima = 0°C
- T° Máxima = 38°C

5 barreras VGT de 10m

Tranque de Relave



El monitoreo se realizó cada 6 semanas por un periodo de 6 meses, registrándose el estado de la especie vegetal y su crecimiento.

## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Resultados y Discusión

- Las especies vegetales de La Africana debían ser regadas por el cuidador del sitio una vez a la semana, lo que no fue suficiente según se pudo evaluar en la inspección correspondiente a dos meses después de la plantación, fecha en la cual se detectó que aproximadamente el 50% de las especies se encontraban muy deterioradas.



## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Resultados y Discusión

- Se solicitó incrementar la frecuencia de riego a dos veces por semana. De la evaluación correspondiente a 3 meses después de la plantación se observó que el 90 % de las especies vegetales se encontraban secas, debido a las extremas condiciones de temperatura ( $\pm 35^{\circ}\text{C}$ ) y sequedad del ambiente; y que al parecer no habían sido regadas



## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Resultados y Discusión

- Con una implementación de riego de dos veces por semanas posterior a la inspección realizada 5 meses después de la plantación, se observó en una visita después de los 8 meses iniciada la experiencia que, aproximadamente un 70% de las plantas se encontraban verdes y con raíces muy bien desarrolladas, a pesar de que las plantas fueron afectadas por una plaga de conejos existente en la zona.



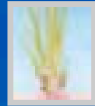
## Prueba Piloto La Africana

### ✓ Conclusiones

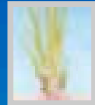
- Los resultados descritos demuestran claramente que pese a las condiciones climáticas y a la ausencia casi total de riego, el Vetiver puede crecer bajo condiciones extremadamente hostiles en tranques de relave ácidos (pH = 4.4), cobre total (3921mg/kg), sulfato (29500 mg/kg) y EC (21200uS/cm).



# Contenidos



**Introducción**



**Objetivos**



**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**



**Prueba Piloto CODELCO Andina**



**Prueba Piloto Anglo American**

## Prueba Piloto CODELCO Andina

### ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- La división Andina opera el yacimiento Río Blanco, cuya riqueza era conocida desde 1920. Pero los intentos por iniciar su explotación no se concretaron hasta medio siglo después, en 1970.
- En el presente, Codelco Andina posee tres tranques de relave: Ovejería (activo desde el año 2000), Los Leones (usado sólo para descargas de emergencia) y Piuquenes (inactivo desde el año 2000). Es en este último que la compañía se encontró dispuesta a realizar una prueba piloto de VGT para resolver algunos problemas de erosión eólica existentes.



# Prueba Piloto CODELCO Andina

## ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- El tranque de relave posee una textura arenosa, pH ácido (pH = 3.2), bajo EC (418uS/cm), bajo Cobre Total (872mg/kg), Magnesio (2140mg/kg) y muy bajas concentraciones de Nitrógeno (37mg/Kg) y Fósforo (1.2mg/Kg).
- **Objetivos:**
  - Determinar la capacidad de crecimiento y adaptación del Vetiver en extremas condiciones de frío y altitud.
  - Determinar la capacidad de crecimiento y adaptación del Vetiver en residuos sólidos de la actividad minera del Cobre.
  - Controlar erosión eólica.
  - Para disminuir las emanaciones de material particulado.



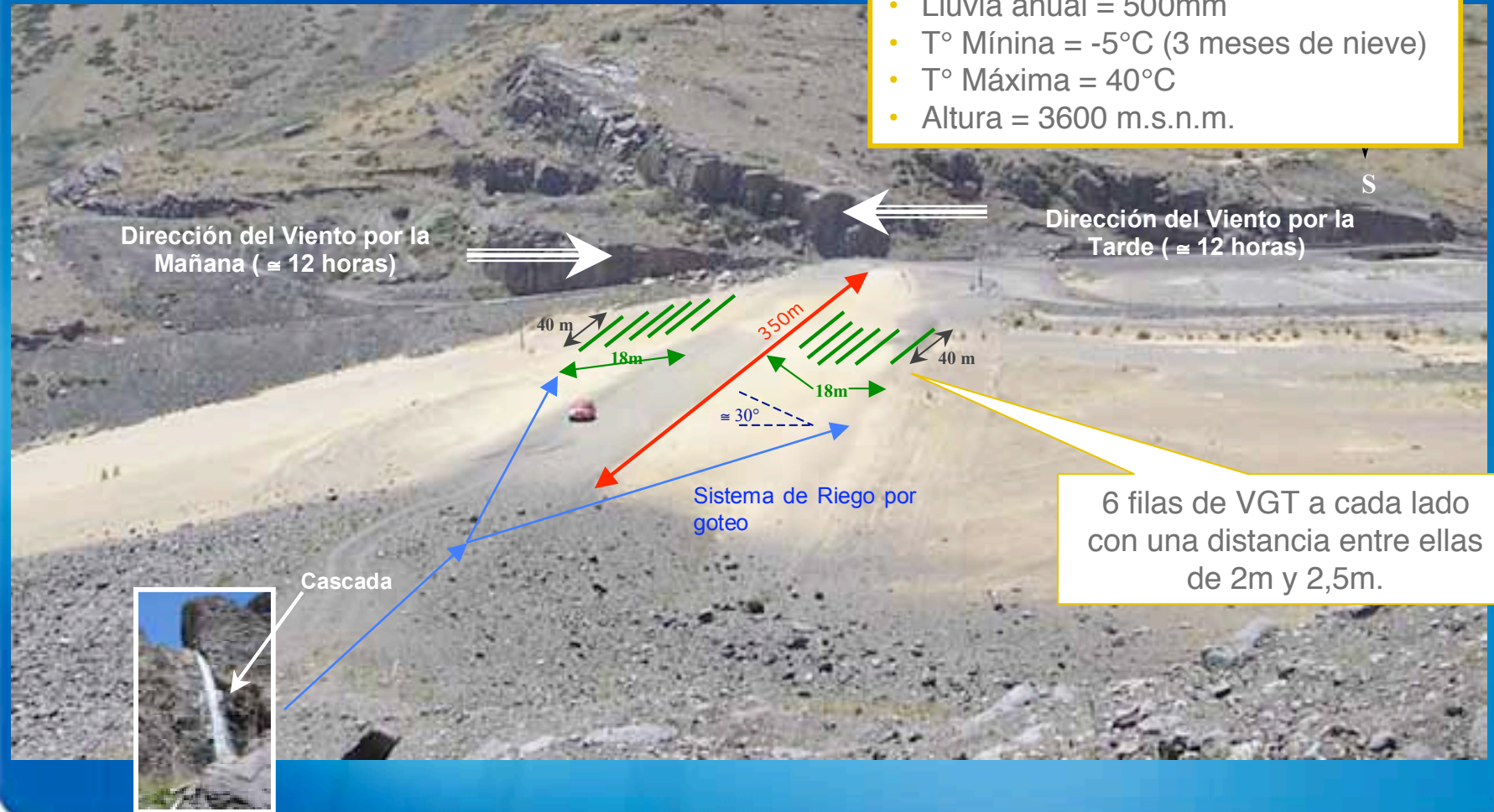


# Prueba Piloto CODELCO Andina

## ✓ Materiales y Métodos

### Condiciones Climáticas

- Lluvia anual = 500mm
- T° Mínima = -5°C (3 meses de nieve)
- T° Máxima = 40°C
- Altura = 3600 m.s.n.m.



El monitoreo se realiza cada 6 semanas por un periodo de 12 meses, registrándose el estado de la especie vegetal y su crecimiento.

## Prueba Piloto CODELCO Andina

### ✓ Materiales y Métodos

- La calidad de las plantas utilizadas es la siguiente:



# Prueba Piloto CODELCO Andina

## ✓ Materiales y Métodos



# Prueba Piloto CODELCO Andina

## ✓ Resultados y Discusión

- En la inspección realizada a principios de Junio del 2006, dos meses después de la plantación, fue sorprendente que, pese al extremo frío, aproximadamente un 85% de la plantación se encuentra establecida y con un crecimiento de brotes de entre 10 a 15cm con un buen desarrollo y anclaje de la raíz sobre el suelo.



## Prueba Piloto CODELCO Andina

### ✓ Resultados y Discusión

- Cuatro meses después de la plantación, debido al inicio del invierno, las barreras fueron cubiertas durante un mes con 50cm de nieve. En la inspección realizada 5 meses después de iniciada la experiencia, se puede observar que, pese a que no hay presencia de hojas en la plantación, las raíces se encuentran vivas en aproximadamente el 80% de la plantación.



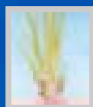
## Prueba Piloto CODELCO Andina

### ✓ Resultados y Discusión

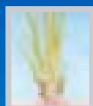
- Por otra parte, aproximadamente un 30% de las plantas se encontraban completamente cubiertas de material del tranque debido a los fuertes vientos, pero al excavar para ver la condición en la cual se encuentra la planta, se puede observar que las raíces están ancladas al suelo y con presencia de nuevos brotes



# Contenidos



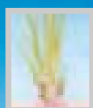
**Introducción**



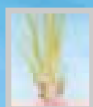
**Objetivos**



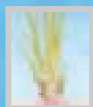
**Prueba Piloto Lo Aguirre**



**Prueba Piloto La Africana**



**Prueba Piloto CODELCO Andina**



**Prueba Piloto Anglo American**

# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- Angloamerican es la segunda minera más importante del país. La prueba VGT se realizó en Mina El Soldado, en un tranque de relave que se encuentra cerrado hace aproximadamente 5 años.
- Los **objetivos del proyecto VGT** son:
  - Determinar la capacidad de crecimiento y adaptación del Vetiver en residuos sólidos de la actividad minera del Cobre.
  - Controlar erosión eólica e hídrica.
  - Estabilizar el talud.
  - Disminuir las emanaciones de material particulado.





# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

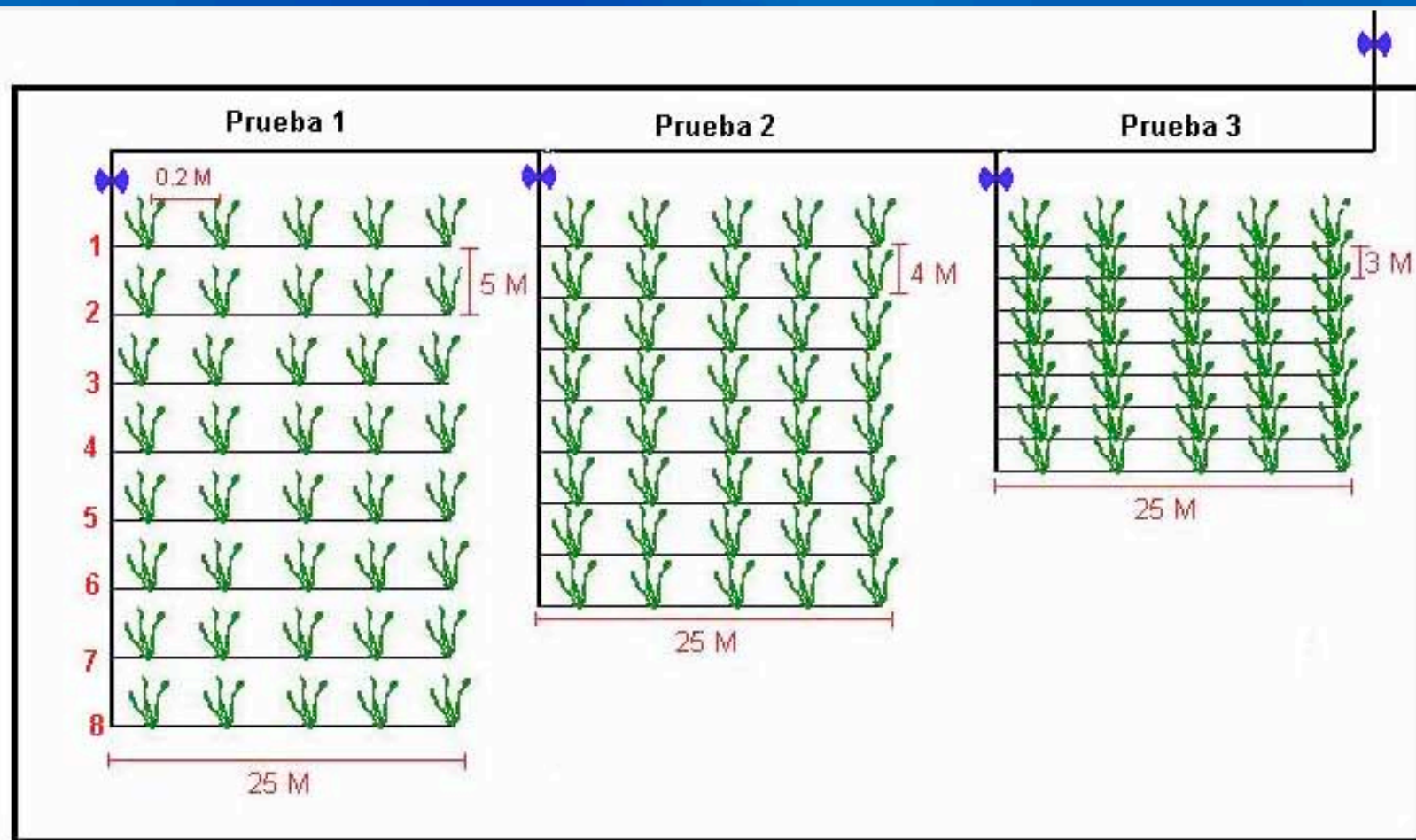
## ✓ Descripción del Sitio y Problemática

- El tranque de relave posee una textura arenosa, pH básico (pH = 8.0), bajo Cobre Total (2420mg/kg), Magnesio (1051mg/kg) y muy bajas concentraciones de Nitrógeno (>0.1mg/Kg) y Fósforo (>0.1mg/Kg).



# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Materiales y Métodos



# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Materiales y Métodos

- La calidad de las plantas utilizadas es la siguiente:



- La plantación se comenzó con la excavación de zanjas con una profundidad de 30cm. En los sectores en que existían grietas de erosión estas fueron rellenadas para trazar a zanja, en el fondo de cada una de las zanjas se aplicó Fosfato Diamónico (40 g/m<sup>2</sup>) y una capa de material de relave, todo de acuerdo al diseño preestablecido.

# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Resultados y Discusión

- Durante la segunda semana de Agosto del 2006 se realizó la plantación de 3000 ejemplares de Vetiver en Angloamerican.



# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Resultados y Discusión

- 2 meses después de la plantación, la especie vegetal, pese a las extremas lluvias ha desarrollado y establecido en un 100%.
- Las plantas se encuentran de un tamaño aproximado de 35cm, con una raíz de 40cm.



# Prueba Piloto ANGLO AMERICAN

## ✓ Resultados y Discusión





## CONCLUSIONES GENERALES

## CONCLUSIONES GENERALES

- Nuestra experiencia nos indica que la época de mejor plantación es durante las últimas semanas de invierno, pues así, la planta alcanza a tener aguas lluvia de esta temporada, y a aclimatarse a las elevadas temperaturas del verano.
- El Vetiver sobre tranques de relave y pilas de lixiviación, de la actividad minera del cobre, puede crecer y desarrollarse sin la necesidad de suelo vegetal, sólo con adición de nutrientes al inicio de la plantación.
- La plantación y aclimatación de la planta es un parámetro fundamental para el éxito de una prueba, se deberá contar por lo mínimo con:
  - **Calidad de la planta óptima**
  - **Adición de nutrientes.**
  - **Riego con sistema por goteo o manual, al menos dos veces a la semana por los toda la época estival del primer año.**



## EQUIPO DE TRABAJO PARA LA REHABILITACIÓN DE SITIOS MINEROS



CENTRE FOR MINED  
LAND REHABILITATION

