

## REHABILITACIÓN AMBIENTAL DE DESECHOS MINEROS Y SUELOS CONTAMINADOS CON METALES EN BASE A RECURSOS FITOGENÉTICOS NATIVOS

Rosanna GINOCCHIO C

Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM),  
Av. Parque Antonio Rabat 6500, Vitacura, Santiago, CHILE.  
rginocc@cimm.cl,

### MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE EN CHILE

La minería ha sido una de las actividades económicas más importantes del país, desde tiempos prehispánicos y la Colonia (Folchi, 2001). Lo que comenzó con operaciones de pequeña escala y tecnología simple en los siglos XVIII y XIX, por las altas leyes de los minerales presentes (> 4% para el cobre), se fue transformando en operaciones de gran escala y alta tecnología, debido a la paulatina y constante disminución de las leyes con el correr del Siglo XX, como por ejemplo hasta valores de menos de un 1% para el cobre en la actualidad (CONAMA, 2000; Universidad de Chile, 2006). En las últimas dos décadas, la industria minera nacional ha constituido uno de los sectores más dinámicos (SONAMI, 1996). Esto ha aumentado significativamente la producción de metales, principalmente la de cobre fino, hasta niveles de 3,69 millones de toneladas en 1998 (CONAMA, 2000). Al presente, Chile es el principal productor de cobre del mundo, con 5,33 millones de toneladas de cobre fino producidas en el año 2008 (COCHILCO, 2009); adicionalmente, en el país se encuentran las principales reservas conocidas, las que representan un 25% del total mundial (Consejo Minero 2002), por lo que la tendencia del sector para este siglo es seguir creciendo y diversificarse (COCHILCO, 2009). De esta forma, esta actividad industrial mantendrá su importancia para el país.

El rápido crecimiento del sector minero y el aumento en la escala de los procesos de explotación y procesamiento de minerales ha resultado en la producción masiva de distintos tipos de residuos sólidos, ya que por cada tonelada del material extraído de la mina un 98% es descartado (CONAMA, 2000; Universidad de Chile, 2006). La generación de desechos mineros masivos, como los depósitos de relaves y las pilas de lixiviación, ha impuesto importantes riesgos ambientales en la zona norte-centro del país (SERNAGEOMIN 2007). En el caso específico de los relaves, el abandono inadecuado de los depósitos de relaves ha dado paso a diversos riesgos ambientales, particularmente en las cercanías a los centros poblados, las zonas agrícolas y las áreas silvestres con interés de conservación (SIGA Consultores, 2000).

La generación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y de sus Reglamentos asociados a comienzos de la década de los noventa, llevó al establecimiento de regulaciones ambientales para los nuevos proyectos mineros, representando un gran avance para el país. Actualmente, la legislación minera chilena ha incorporado aspectos relacionados con el cierre de las faenas mineras y de los depósitos de relaves post-operativos, considerando la aplicación de medidas de rehabilitación en la etapa de cierre, las que permitan proteger la salud humana y la seguridad de las personas, además de aliviar o minimizar el impacto ambiental y restituir el terreno en condiciones aceptables o en su condición original (Decreto Supremo, DS, N 132 de 2002 del Ministerio de Minería y su Reglamento asociado sobre la *Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves* materializado en el DS 248 de 2007 del Ministerio de Minería). Aunque se ha avanzado en el marco regulatorio minero, aún es limitada la disponibilidad de tecnologías de estabilización basadas en la rehabilitación costo-efectiva que hayan sido validadas para el país. La validación e implementación de estas tecnologías permitirá lograr la estabilización adecuada y en el largo plazo de los depósitos de relaves presentes en la zona norte-centro del país, con clima Mediterráneo árido y semiárido y, por ende, dar adecuado cumplimiento a las actuales normativas de cierre de desechos mineros masivos.

## **IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS NATIVOS EN LA FITOESTABILIZACIÓN DE SUELOS IMPACTADOS POR LA MINERÍA Y DE DESECHOS MINEROS MASIVOS**

La implementación de cubiertas vegetales adecuadas sobre desechos mineros masivos, como los depósitos de relaves, a través de programas de rehabilitación ambiental basados en la fitoestabilización, constituye una oportunidad única para que el sector minero pueda avanzar en el cumplimiento de uno de sus mayores desafíos: lograr un mejor balance entre los efectos económicos, ambientales y sociales de esta actividad industrial (Cox 2007; ICMM 2006).

Aunque la fitoestabilización es una tecnología emergente a nivel mundial, evaluaciones realizadas en Estados Unidos en el año 1999 indicaron un mercado de 4,5 a 6 millones de dólares, el que ha seguido un rápido aumento debido a la mayor aceptación de esta tecnología y al mayor número de empresas consultoras que ofrecen servicios de este tipo (Glass, 1999a). Europa representa el segundo mercado más grande para este tipo de tecnología, aunque se ha estimado que este mercado es diez veces más pequeño que el Norteamericano (Glass, 1999b). En Chile, estas tecnologías emergentes no han sido masificadas ni aplicadas en gran escala; sin embargo, se han desarrollado dos programas pilotos de fitoestabilización de depósitos de relaves en la zona norte-central en el marco del proyecto Innova Chile de CORFO liderado por el CIMM, los que ha sido muy exitosos (Ginocchio, 2008; Ginocchio & León-Lobos, 2009). El interés local por conocer y aplicar estas técnicas emergentes en Chile ha ido, sin embargo, en aumento en los últimos años estimulado principalmente por los nuevos requerimientos regulatorios para el cierre de faenas mineras y depósitos de relaves.

La selección adecuada de las especies fitoestabilizadoras es tal vez el factor más crítico para asegurar el buen éxito de esta tecnología. El primer requisito es que las especies puedan tolerar las altas concentraciones de metales del sustrato (especies metalófitas) y acumulen los metales en las raíces o tejidos subterráneos (metalófitas excluyentes). El segundo requisito es que las especies estén adaptadas al clima local y sean inocuas para el medio ambiente; o sea, que las especies introducidas no se transformen en especies invasoras que alteren la dinámica de las comunidades biológicas silvestres del lugar. Por ello, los programas de fitoestabilización realizados en Europa y Estados Unidos han preferido, como regla general, el uso de especies vegetales nativas/endémicas por sobre las especies exóticas.

El conocimiento sobre las especies vegetales chilenas metalófitas ha ido aumentando lentamente a partir de la década de los noventa. De 6 especies con potencial de metalófitas identificadas al año 2003 (Ginocchio & Baker, 2004), actualmente se han identificado otras 112 especies vegetales con potencial de metalófitas en la Región de Coquimbo (Ginocchio, 2008). De este total de especies, 54 han sido evaluadas a través de ensayos de tolerancia estándar y se ha encontrado que un 63% de ellas es metalófitas para cobre. Este resultado promisorio nos muestra que existe un potencial interesante de especies metalófitas en nuestra flora. Sin embargo, resulta necesario disponer de mayores recursos económicos para poder identificarlas y caracterizarlas en forma adecuada. Sólo de esta forma podremos proteger este valioso recurso genético, escasamente conocido y valorado al día de hoy, pero que es de gran valor para la rehabilitación adecuada de los suelos contaminados con metales y de los desechos mineros masivos presentes en el país a través del uso de la tecnología de fitoestabilización.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- COCHILCO. 2009. Inversión en la minería chilena del cobre y del oro. Proyección período 2009 – 2013. Actualizada a Marzo 2009. COCHILCO, Dirección de Estudios, Santiago, 21 p.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). 2000. Antecedentes para la Política Nacional sobre Gestión Integral de Residuos.
- Cox J. 2007. Mapa tecnológico de la Gran Minería. Presentación realizada en la reunión desayuno Cluster Minero de Innova Chile de CORFO «Hacia un programa de Innovación para el Cluster Minero».
- Folchi M. 2001. La insustentabilidad de la industria del cobre en Chile: los hornos y los bosques durante el Siglo XIX. *Mapocho* 49: 149-175.
- Ginocchio R. 2008. Uso de recursos fitogenéticos nativos para la fitoestabilización de relaves mineros en la Región de Coquimbo. Informe Técnico Final, Proyecto Innova Chile de CORFO N° 04CR9IXD-01. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, CIMM. Santiago, Chile.
- Ginocchio R & Baker AJM. 2004. Metallophytes in latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista Chilena de Historia Natural* 77: 185-194.
- Ginocchio R & León-Lobos P. 2009. Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 1: Metodología general. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago. 82p.

# FITOGENÉTICOS

VII Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe

- Glass DJ. 1999a. Economic potential of phytoremediation. En: Raskin I & Ensley BD (eds.). Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons Inc, New York. pp 15-31.
- Glass DJ. 1999b. U.S. and international markets for phytoremediation. 1999-2000. Glass D (ed). Assoc. Inc., Needham, MA.
- ICMM 2006. Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad. Londres, UK.
- SERNAGEOMIN, 2007. Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o paralizadas y análisis preliminares de riesgo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago - JICA, Chile
- SIGA Consultores. 2000. Programa de recuperación de zonas afectadas por faenas mineras. Estudio realizado para el Ministerio de Minería, Santiago, Chile.
- SONAMI (Sociedad Nacional de Minería). 1996. Balance Social de la Minería Privada Chilena. Santiago, Chile.
- Universidad de Chile. 2006. Informe país. Estado del medio ambiente en Chile 2005. Instituto de estudios Públicos, Universidad de Chile, Santiago. 371 p.

## AGRADECIMIENTOS

Proyectos FONDECYT 1000750, FONDECYT 1050130, FONDEF D00I1042, Innova Chile CORFO 4CR9IXD-01. Dr. Pedro León-Lobos y equipo de trabajo de INIA-Intihuasi, Anglo American Chile, SONAMI, CODELCO División El Teniente, ENAMI Planta Ovalle, SERNAGEOMIN, Ministerio de Minería y CONAMA.