



CENTRO DE
POLÍTICAS
PÚBLICAS UC

TEMAS DE LA AGENDA PÚBLICA

Desafíos de las políticas públicas de gestión de residuos orgánicos en Chile para fomentar su reutilización en sistemas degradados

EDUARDO ARELLANO
ROSANNA GINOCCHIO
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal



Desafíos de las políticas públicas de gestión de residuos orgánicos en Chile para fomentar su reutilización en sistemas degradados

EDUARDO ARELLANO
ROSANNA GINOCCHIO

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal

Introducción

La gestión integral y racional de los residuos sólidos se ha constituido en uno de los focos estratégicos del Estado de Chile para mejorar la competitividad de la industria nacional, asumir los compromisos ambientales internacionales, enfrentar las demandas de la población y reducir los riesgos ambientales derivados de la acumulación de residuos no gestionados adecuadamente (pasivos ambientales). En este contexto, los ministerios de Economía, Agricultura y Medio Ambiente han incentivado mejoras en la gestión de los residuos sólidos a través de la implementación de un sistema jerárquico para su manejo y del desarrollo de instrumentos regulatorios focalizados en algunos sectores clave, tales como los residuos orgánicos de la agroindustria y los servicios sanitarios. Estos esfuerzos fomentan principalmente la reducción en la generación de los residuos sólidos, pero también incentivan la generación de alternativas que permitan reutilizarlos antes de desecharlos. Se busca el reúso/reciclaje, la valorización y el tratamiento, entre otros, por sobre la disposición final de ellos.

Dentro de los residuos sólidos se encuentran los residuos orgánicos derivados de las plantas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias –lodos sanitarios o biosólidos–, los derivados de la industria agropecuaria –residuos vegetales, lodos de la industria de la fruta y hortalizas, purines, guanos, entre otros–, los lodos de la industria de la celulosa y/o maderera y los residuos

orgánicos municipales –residuos verdes, *compost*, entre otros–. A pesar de los esfuerzos del Estado por generar políticas para fomentar la gestión integral y racional de estos residuos por medio del reúso, reciclaje y valorización como enmiendas de suelos, la disposición final de estos residuos en rellenos sanitarios y en vertederos sigue siendo la forma más común de gestión. A la fecha se han implementado diversos instrumentos legislativos tendientes a promover el uso y fomentar la valorización de los residuos orgánicos como enmiendas para mejorar suelos agrícolas y degradados¹. Identificar y analizar los factores determinantes de la disfuncionalidad existente entre lo esperado por las nuevas políticas públicas y los efectos reales que ha tenido en los generadores de residuos, se vuelven aspectos fundamentales para poder destrabar esta vía de gestión de los residuos orgánicos.

Adicionalmente, aunque el uso de diversos residuos orgánicos como enmiendas ha demostrado ser efectivo a nivel internacional para la remediación de pasivos mineros masivos y sistemas degradados químicamente por la minería, la utilización integrada de residuos sólidos de distintas fuentes aún no ha sido considerada ni fomentada en las políticas públicas de gestión integral y racional de los residuos sólidos del Estado de Chile. Esta alternativa podría constituir, sin embargo, una oportunidad para que los operadores mineros puedan dar cumplimiento a los nuevos requerimientos de remediación ambiental establecidos en la reciente Ley de Cierre de faenas e instalaciones mineras, y para que los

1 DS N° 4 de 2009 y DS N° 3 de 2012, ambos del Ministerio del Medio Ambiente; Norma Chilena de Compost; Acuerdos de Producción Limpia, etc.

generadores de residuos orgánicos puedan valorizarlos efectivamente como enmiendas orgánicas y nutricionales. El uso de residuos orgánicos con limitaciones de aplicación en sistemas agroforestales (contenidos de patógenos, metales), podrían constituir materiales adecuados para ser usados como enmiendas orgánicas/nutricionales en residuos mineros masivos y suelos degradados químicamente debido a las grandes extensiones superficiales que ellos ocupan, a las líneas base cero o muy bajas de nutrientes y materia orgánica de estos sustratos mineros, y a la preexistencia de metales.

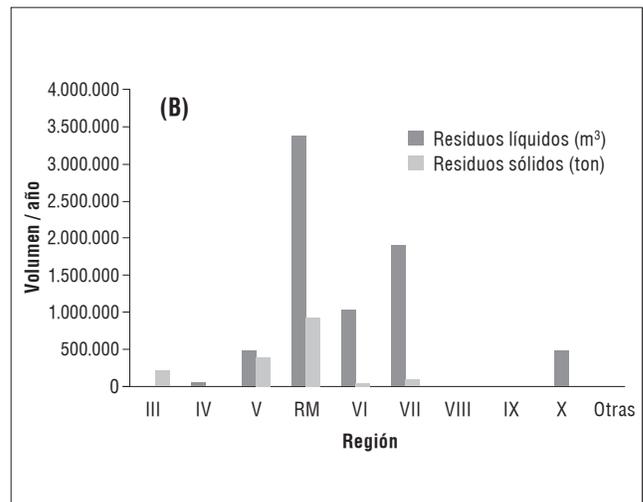
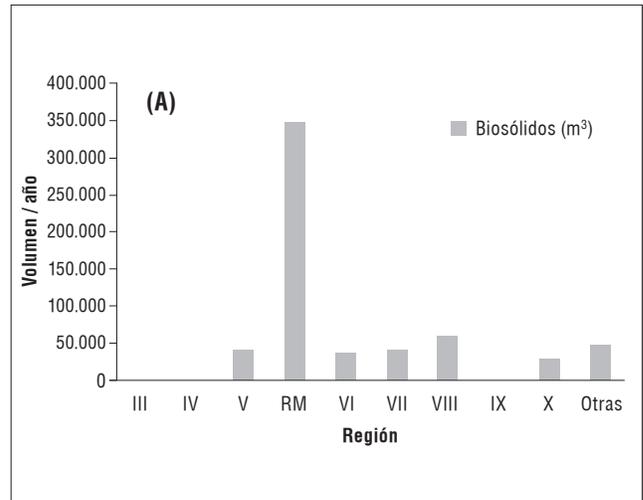
En este documento se identifican y analizan en forma crítica los diversos instrumentos legislativos y otros instrumentos existentes tendientes a promover el uso y fomentar la valorización de los residuos orgánicos como enmiendas para suelos degradados y sistemas agrícolas y mineros. Adicionalmente, se identifican las alternativas de gestión preferidas por los generadores de residuos orgánicos y los principales motivos que limitan su valorización como enmiendas de suelos, tomando como caso de estudio los lodos sanitarios –biosólidos– y agroindustriales. Finalmente, se analizan las potencialidades y limitaciones de fomentar la gestión integrada de residuos orgánicos y mineros masivos sólidos a través de políticas públicas en el país, estrategia aún no considerada.

Residuos orgánicos en Chile

Existe una marcada variabilidad en el tipo y cantidad de residuos orgánicos (RO) generados en el país. Los principales RO producidos actualmente son: (i) los lodos sanitarios –biosólidos– del tratamiento de aguas servidas domiciliarias, (ii) los lodos y residuos de la agroindustria (residuos vegetales, estiércol, purines, lodos vegetales), (iii) los lodos de la industria de celulosa y los residuos de la industria maderera (aserrín, viruta), y (iv) los residuos orgánicos municipales (*compost*, residuos verdes). Ellos varían en composición física, química y biológica y en volumen de producción a lo largo del territorio nacional (Campos y Salazar, 2011; Ginocchio y León-Lobos, 2011; Figura 1).

La generación creciente de RO ha resultado en una importante preocupación por parte de los distintos sectores sociales y productivos del país debido a lo compleja que resulta su manipulación y almacenamiento. Aunque en Chile se han realizado importantes avances en esta materia, la gestión de los residuos orgánicos ha sido abordada hasta ahora de manera reactiva y parcializada, limitándose principalmente a la recolección y

Figura 1 | Volúmenes de biosólidos (A) y de residuos agroindustriales (B), según tipo (sólidos y líquidos), producidos por región del país

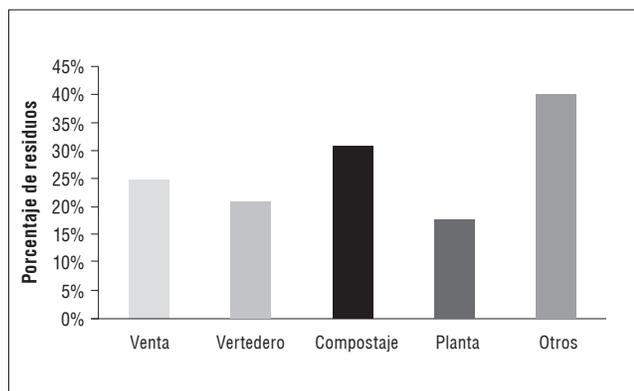
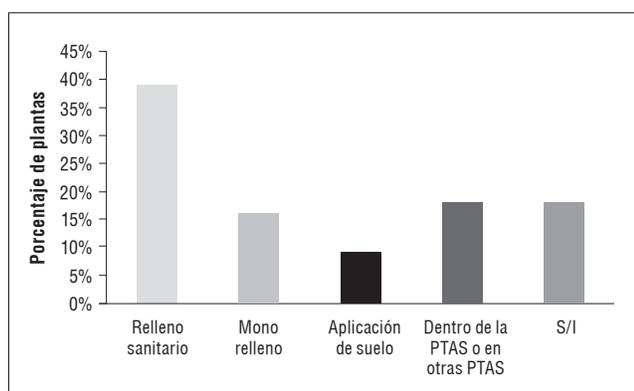


Fuente: elaboración propia con datos del Informe de Gestión del Sector Sanitario (SISS) 2010 y actualización del Catastro de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena, 2012.

disposición final, con atención menor a las alternativas de valorización (Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Esto se ha debido principalmente a barreras legales y de procedimiento, las que desincentivan o dificultan la puesta en marcha de los proyectos que intentan reutilizar o valorizar los RO. Por ejemplo, en el caso de los biosólidos y los lodos de la agroindustria se han establecido en las últimas décadas algunas normativas pioneras y específicas en el país que dan un marco legal para la valorización de ellos como enmiendas de suelo

en sistemas agroforestales y degradados². Sin embargo, la mayor parte de ellos son dispuestos en rellenos sanitarios, en mono rellenos y/o en vertederos, siendo menor su valorización como enmiendas de suelos agrícolas y degradados (Figura 2).

Figura 2 | **Alternativas de disposición de los biosólidos (arriba) usadas por las plantas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias del país y de los residuos orgánicos generados por las plantas agroindustriales del país**



Fuente: Informe de Gestión del Sector Sanitario (SISS) 2010 y Actualización Catastro Hortofrutícola, ODEPA, 2012.

La valorización de los RO como enmiendas de suelos agrícolas y degradados se ha visto frenada en el país por diversos motivos. El más relevante ha sido el factor social, particularmente en el caso de los biosólidos, debido a preocupaciones de las comunidades locales relacionadas con temas ambientales y de sanidad, tales como (Nazareth, 2007):

- La seguridad de los productos agrícolas generados. Los biosólidos pueden contener patógenos (lodos estabilizados parcialmente o Clase B) y contienen metales, por lo que su uso en suelos destinados a la producción para el consumo humano o de forraje es más riesgosa que la de los lodos hortofrutícolas.
- La mantención de la calidad de los suelos en el largo plazo y la contaminación de las aguas subterráneas. Los contenidos de metales en los biosólidos y de nitrógeno de los RO pueden resultar en contaminación de los suelos al ser aplicados en dosis inadecuadas o en forma reiterada por largos periodos de tiempo.
- La generación de olores y la atracción de vectores. La degradación de los RO estabilizados parcialmente resulta en olores desagradables y en la presencia de insectos molestos como moscas.

Minería metálica en Chile: sus residuos masivos sólidos y suelos degradados químicamente

La minería del cobre genera grandes volúmenes de diversos residuos sólidos (estériles, relaves y ripios de lixiviación, entre otros) ya que por cada tonelada del mineral extraído, un 98% es descartado y dispuesto en el medio ambiente. De todos ellos, el residuo más voluminoso lo constituyen los relaves, que representan un 80% del total de residuos generados (Casale *et al.* 2011). Los relaves corresponden a mineral finamente molido en solución acuosa, formando una pulpa con aproximadamente 35% de contenido de sólidos (DS N° 248 del Ministerio de Minería). Usualmente contienen entre un 10% y un 20% de los metales de interés económico del mineral originalmente procesado, ya que el proceso de concentración húmeda por flotación no es 100% eficiente. Los relaves son embancados en estructuras construidas especialmente para este propósito, denominadas depósitos de relaves (Figura 3). Una vez embancados, la fracción sólida de los relaves se separa por gravedad decantando al fondo de la estructura, dejando una laguna superficial de aguas industriales conocidas como aguas claras (Figura 3). Una vez que los depósitos de relaves cumplen su ciclo de vida operacional entran en etapa post operativa. Bajo las condiciones climáticas semiáridas y áridas imperantes en las zonas geográficas del país donde se emplaza la mayor parte de la industria minera metálica, las aguas claras se evaporan y dejan atrás la

² DS N° 4 de 2009 del Ministerio Subsecretaría General de la Presidencia, Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas; y DS N° 3 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento para el manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de efluentes de la industria procesadora de frutas y hortalizas.

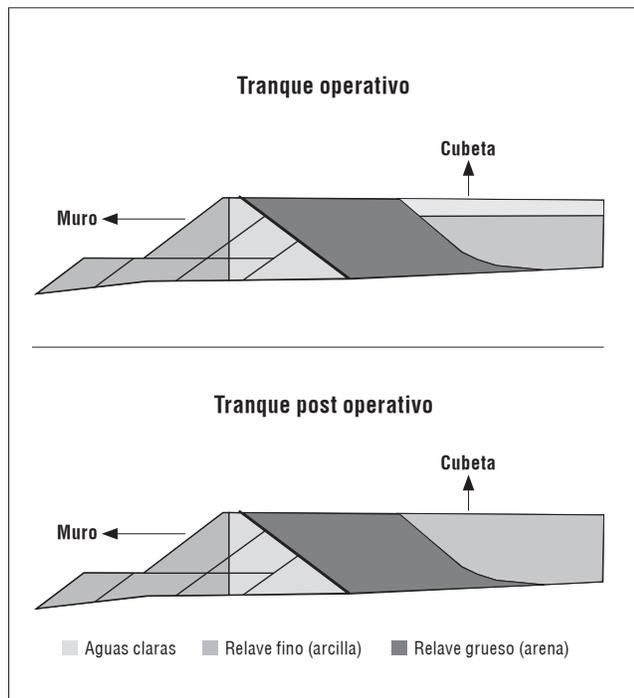
fracción sólida, también denominada relaves (Casale *et al.* 2011; Figura 3).

Actualmente existen unos 867 depósitos de relaves en el país, 14% de los cuales se encuentra en operación y 86% en etapa post operativa (Cartagena, 2007; Figura 4). El mayor número de depósitos de relaves se encuentra en el norte y centro del país, en concordancia con la zona geográfica donde domina la industria minera metálica. Tanto el número de depósitos de relaves como la cantidad total de relaves embancados varían entre regiones (Casale *et al.* 2011). Adicionalmente, el aumento sostenido en la producción anual de cobre fino y la constante disminución en las leyes del metal presente en las minas del país, han determinado un aumento importante en los volúmenes de relaves generados en las últimas décadas (Ministerio del Medio Ambiente, 2012), pero también un aumento en el tamaño de los depósitos de relaves que son construidos (Tabla 1).

Los residuos masivos sólidos generados por la minería metálica pueden imponer diversos riesgos ambientales, particularmente al ser acopiados en las cercanías de los centros poblados, las zonas agropecuarias y las áreas

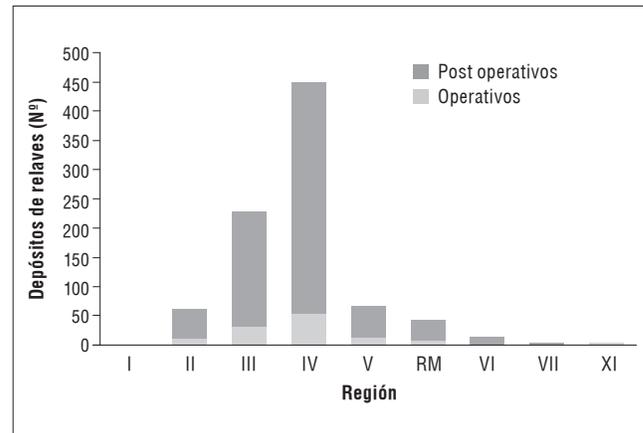
silvestres (Sernageomin, 2007). En el caso específico de los depósitos de relaves, su abandono inadecuado en la etapa post operativa puede resultar en la dispersión de la fracción particulada por distintas fuerzas físicas (lluvias intensas, vientos) y/o en la reacción con el agua y el oxígeno que infiltra el material particulado produciendo drenaje ácido. Así, los depósitos abandonados en las zonas norte y centro del país constituyen focos potenciales de contaminación del aire, suelo y agua con metales (cobre, zinc, cadmio) y metaloides (arsénico) (Casale *et al.* 2011).

Figura 3 | **Depósitos de relaves mineros en etapa operativa (superior) y post operativa (inferior) en condiciones climáticas semiáridas y áridas del norte y centro de Chile**



Fuente: modificado de Casale *et al.* 2011.

Figura 4 | **Distribución de depósitos de relaves operativos y post operativos por región**



Fuente: Cartagena, 2007.

Tabla 1 | **Tamaño superficial de los depósitos de relaves generados en secuencia histórica (abandonados) y actuales (operativos) en dos faenas de la gran minería del cobre ubicadas en la zona central de Chile**

| División El Soldado - V Región Minera Sur Andes S.A. | | División El Teniente - VI Región CODELCO Chile | |
|---|-----------------|---|-----------------|
| Depósito | Superficie (ha) | Depósito | Superficie (ha) |
| El Cobre 1, 2, 3 (más antiguos - abandonados) | 60 | Barahona I y II (más antiguos - abandonados) | 337 |
| Tranque N° 4 (posterior - abandonado) | 108 | Colihues (posterior - abandonado) | 680 |
| El Torito (en operación) | 215 | Cauquenes (posterior - abandonado) | 770 |
| | | Carén (en operación) | 1.800 |

Fuente: estimación propia a partir de imágenes satelitales de Google Earth.

La minería metálica también ha resultado en la degradación química de diversos suelos del país, principalmente a través de las emisiones fumígenas de las fundiciones de cobre y la dispersión por viento de relaves desde los depósitos post operativos y abandonados (González, 1994; Ginocchio, 2000; Badilla-Ohlbaum *et al.* 2001; Casale *et al.* 2011; Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Específicamente, las emisiones fumígenas de las fundiciones de cobre han acidificado y enriquecido los suelos aledaños con metales (cobre, zinc, cadmio) y metaloides (arsénico), mientras que la dispersión de relaves al entorno ha determinado el enriquecimiento de los suelos aledaños con metales y metaloides (Sernageomin, 2007; Ministerio del Medio Ambiente, 2012). La acidificación de los suelos y su enriquecimiento con metales y metaloides puede alterar su calidad e imponer importantes riesgos ambientales (Adriano, 2001), además de generar conflicto de intereses entre la minería y la agricultura, entre la minería y la salud pública, y entre la minería y la sanidad ambiental.

Gestión integrada de residuos orgánicos con residuos mineros masivos sólidos y suelos degradados químicamente

La implementación de programas de rehabilitación ambiental basados en la tecnología de fitoestabilización asistida, constituye una oportunidad única para que el sector minero nacional pueda avanzar en el cumplimiento de los nuevos requerimientos legales de estabilidad física y química de los depósitos de relaves post operativos requeridos en la Ley N° 20.551 de 2011 del Ministerio de Minería (Ley de Cierre de faenas e instalaciones mineras) y su reglamento asociado, aprobado en agosto de 2012 (Ginocchio, 2008a; 2008b). Esta misma tecnología también constituye una alternativa adecuada para la gestión de los suelos con presencia de contaminantes, como los degradados químicamente por la actividad minera, constituyendo una herramienta adecuada para ser utilizada en la fase III (evaluación de riesgo y plan de acción para la gestión de suelos con presencia de contaminantes) estipulada en la Resolución Exenta N° 1.690 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente (Metodología para la Identificación y Evaluación Preliminar de Suelos Abandonados con Presencia de Contaminantes). En ambas situaciones la fitoestabilización asistida permite controlar y/o mitigar los riesgos ambientales asociados y lograr la adecuada rehabilitación ambiental del área.

Aunque la fitoestabilización asistida es una tecnología probada a nivel mundial (Australia, Estados Unidos, y en países de la Unión Europea), en Chile constituye una tecnología emergente (Ginocchio y León-Lobos, 2011). En la última década esta tecnología ha sido adaptada y validada a la realidad nacional, con énfasis en las zonas norte y central del país, a través de la ejecución de programas piloto realizados en depósitos de relaves post operativos (Ginocchio y León-Lobos, 2011) y en suelos degradados químicamente por la operación histórica de fundiciones de cobre (Córdova *et al.* 2011; Cárcamo *et al.* 2012); estos programas han mostrado ser muy exitosos.

La fitoestabilización asistida consiste en el uso simultáneo de especies vegetales y de acondicionadores de sustrato adecuados a los requerimientos del sitio, para estabilizar química, física y biológicamente un suelo degradado químicamente o un residuo minero masivo sólido, en el marco conceptual de la rehabilitación ecológica (Ginocchio y León-Lobos, 2011). Es decir, esta tecnología busca mejorar la condición integral del sustrato de interés, para permitir el adecuado establecimiento y desarrollo de una cubierta vegetal autosustentable, asegurando el control y/o mitigación de los riesgos ambientales asociados, tanto en el mediano como en el largo plazo.

El mejoramiento de las características físicas, químicas y/o biológicas limitantes del sustrato de interés para el adecuado establecimiento de una cubierta vegetal autosustentable, normalmente es logrado a través del uso de enmiendas tanto orgánicas como inorgánicas (Santibáñez *et al.* 2011). Sin embargo, el disponer de los tipos y volúmenes de enmiendas requeridas al menor costo posible constituyen desafíos importantes, particularmente cuando la fitoestabilización asistida es aplicada en grandes extensiones superficiales. Por ello, los RO disponibles localmente han sido ampliamente usados como enmiendas orgánicas en Estados Unidos, Canadá, Australia y diversos países de la Unión Europea (Brown *et al.* 2000; Haering *et al.* 2000; Mendez y Maier, 2008; Solís-Domínguez *et al.* 2011). Los residuos más utilizados en estas prácticas corresponden a los biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias, a los desechos de la industria maderera (aserrín, chips, ramillas, entre otras), de la industria agropecuaria (guanos, orujos, entre otros) y de las plantas productoras de celulosa y papel (U.S. EPA, 2007).

En el caso de nuestro país, los RO que podrían ser usados en programas de fitoestabilización asistida de depósitos de relaves post operativos y de suelos degradados químicamente por actividades mineras, son los generados en grandes volúmenes, dentro de la misma zona geográfica donde se ubica el sustrato de interés de rehabilitar (zonas norte y central) y cuyo costo es bajo (principalmente costos de transporte). Estos RO corresponden mayoritariamente a los generados por las actividades agropecuarias y las plantas de tratamiento de aguas servidas domiciliarias (Santibáñez *et al.* 2011). Aunque los residuos de la industria maderera y de la celulosa también podrían ser apropiados para la fitoestabilización asistida, estos se ubican en una zona geográficamente distinta y distante de la actividad minera (zona sur del país), por lo que los costos de transporte los hacen inviables para estas aplicaciones.

Para que una alternativa de manejo de los RO sea viable, esta debe ser factible, técnicamente adecuada, sustentable y contar con la aceptación pública (Nazareth, 2007). En el caso de los programas de fitoestabilización asistida de mega depósitos de relaves post operacionales y de grandes extensiones de suelos degradados químicamente, representarían un sumidero adecuado para la valorización de diversos residuos orgánicos generados en la zona norte y centro del país, constituyéndose como una alternativa más adecuada a las actualmente usadas en el país. Esto se fundamenta en que, en el caso de las alternativas de valorización de los residuos orgánicos masivos, es importante contar con un mercado objetivo estable y relacionado con otros procesos o problemas de gran escala, como son los mega depósitos de relaves mineros post operacionales y las grandes extensiones de suelos degradados químicamente.

Otro aspecto importante de considerar es que Chile probablemente se sumará a la tendencia internacional hacia regulaciones cada vez más exigentes y restrictivas de aplicación de RO, como los biosólidos, a suelos agrícolas debido al temor de que generen riesgos ambientales (Nazareth, 2007), lo que limitará su aplicación. Sin embargo, consideraciones ambientales relevantes, tales como la contaminación del sustrato con metales, el enriquecimiento con fósforo, la lixiviación de nitratos, la alteración de la calidad del suelo en cuanto a su productividad, inhibición de la diversidad y actividad microbiana benéfica del suelo, entre otros, serían de mucha mayor relevancia en los sustratos de interés para la fitoestabilización asistida. Esto se debe al mayor contenido de

metales y a la condición de deficiencia de nitrógeno y fósforo de los sustratos de interés para fitoestabilizar. Estas características constituyen un resguardo para evitar la ocurrencia de problemas secundarios de lixiviación de estos elementos al medio ambiente, incluso con dosis de aplicación de residuos orgánicos mayores a las permitidas en suelos agrícolas. Adicionalmente, las especies vegetales usadas en los programas de fitoestabilización asistida de los sustratos de interés, no se utilizan para el consumo humano ni forrajeras, sino solo para la recuperación ambiental del sitio.

La valorización de los RO como enmiendas de los residuos mineros masivos sólidos no se encuentra actualmente normada en el país. Sin embargo, debería estarlo en un futuro cercano, de forma de asegurar que la aplicación de RO en residuos mineros masivos o en suelos degradados químicamente no sea considerada como una solución de disposición final, tipo vertedero. Al igual que la valorización agronómica de los RO como los biosólidos, las dosis de aplicación en programas de fitoestabilización asistida deben ser calculadas en base a los objetivos específicos definidos para el sitio de interés, es decir, en base a los requerimientos del sustrato donde serán aplicados y de la cubierta vegetal de interés de ser establecida.

Finalmente, es interesante mencionar que es posible dar mayor valor agregado a los programas de fitoestabilización asistida de los mega depósitos de relaves mineros post operativos y los suelos degradados químicamente, al usar esas superficies para el crecimiento de cultivos o plantaciones forestales adecuadas para la producción de materias primas industriales (industria farmacéutica y cosmética), de biomasa para la generación de bioenergía (biodiesel, biogas) y/o la captura de CO₂ atmosférico (reducción de gases de efecto invernadero), entre otras posibilidades (Ginocchio, 2008a; 2008b). Por ejemplo, recientemente se han implementado proyectos de mediana escala en Canadá para evaluar la producción de algunos cultivos que pueden ser usados para la generación de biocombustibles sobre depósitos de relaves post operativos (Hill, 2009; Prinsloo, 2009). Durante el año 2008 se sembraron semillas de maíz y de canola en un área experimental definida sobre un depósito de relaves y en una zona control de suelos agrícolas en Sudbury, Canadá; los resultados fueron auspiciosos, ya que las productividades fueron comparables e incluso mayores en los cultivos sobre los relaves que en el suelo agrícola (Hill, 2009; Prinsloo, 2009).

El uso de las superficies aportadas por los desechos mineros masivos para la generación de biocombustibles y la captura de CO₂ podría constituir un mecanismo relevante para compensar y reducir el aumento de un 48% de las emisiones de este gas de efecto invernadero producido por el sector minero nacional en los últimos cinco años, debido al reemplazo del gas natural argentino por combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica (Cochilco, 2008). La generación de biocombustibles ayudaría a diversificar la matriz energética y a reducir la dependencia nacional del petróleo, pero también permitiría reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Recientemente el Ministerio de Minería puso en marcha el Plan de Seguridad Energética Nacional, cuyos objetivos son lograr la diversificación de la matriz energética a corto y largo plazo. Para ello se han dictado normas como la Ley N° 19.940 de 2004 y la Ley N° 20.018 de 2005, junto a una serie de reglamentos y resoluciones que han entrado a regular esta materia (Tapia, 2009). Todas estas medidas fomentan la puesta en marcha de iniciativas centradas en el adecuado desarrollo de energías renovables no convencionales.

La diversificación productiva de las tierras agrícolas disponibles en las zonas norte y central del país para la producción de biomasa vegetal para bioenergía o para materias primas de interés de la industria, constituye una preocupación de nivel nacional e internacional (FAO 2006; De la Torre y He, 2007). A nivel nacional, la reconversión de suelos agrícolas destinados históricamente a la producción de alimentos para el consumo humano o animal es incompatible con el desafío país de ser potencia agroalimentaria; adicionalmente, puede llevar a externalidades sociales negativas debido a la escasez de alimentos (De la Torre y He, 2007). La producción de biomasa vegetal para bioenergía y/o para la producción de materias primas industriales constituye una alternativa interesante de ser evaluada e implementada en el país, identificando nuevas superficies productivas que no compitan con la producción de alimentos, como la de los mega depósitos de relaves post operativos y los suelos degradados químicamente. Sin

embargo, deben definirse las formas de manejo productivo más adecuadas sobre los sustratos mineros, de manera de evitar y/o minimizar la ocurrencia de riesgos ambientales secundarios.

Desafíos de las políticas públicas para fomentar esta vía de valorización

En Chile existe una política nacional que considera la prevención de generación de residuos, y en caso de ser generados, incentiva su reutilización o valorización. Tal como ha sido analizado en este documento, solo recientemente se han estado definiendo y materializando políticas concretas que fomenten estas iniciativas. A pesar de ello, varias de las instituciones relacionadas en muchos casos aún no están en condiciones de responder a todos los requerimientos de las empresas que emprenden proyectos con estos fines. Así, vemos que la generación de RO va en aumento, que existen empresas dispuestas a tratar sus residuos orgánicos y que se han establecido regulaciones específicas y una política que quiere incentivar su reutilización y valorización. Sin embargo, no existe una tendencia clara que muestre un aumento importante en la reutilización o valorización de los RO en el país. Con el fin de tener una idea de cuáles serían las principales limitaciones para que esto ocurriera, en el caso específico del uso de residuos orgánicos en la estabilización de relaves mineros, en junio de 2012 se realizó un Taller Técnico sobre Utilización de Residuos Orgánicos en la Estabilización de Residuos Mineros Sólidos Masivos³, cuyo objetivo general fue discutir con actores relevantes sobre el potencial de uso de los RO para la estabilización de residuos mineros sólidos masivos, tales como los depósitos de relaves post operativos y abandonados, para un cierre sustentable⁴.

De los principales temas discutidos y analizados en el taller se obtuvieron algunas conclusiones de interés. En el caso de la aplicación de RO en la estabilización de residuos mineros sólidos masivos, la principal ventaja obtenida es que se genera una opción de uso tanto para los residuos generados por la industria minera como para los RO (lodos, residuos agroindustriales y

3 Este taller se realizó como parte de las actividades contempladas en el proyecto FONDEF D10i1249: "Plataforma web científico-tecnológica para la toma de decisiones sobre el cierre sustentable de depósitos de relaves mineros en Chile".

4 Entre los participantes había representantes de instituciones públicas tales como el Ministerio del Medio Ambiente, Instituto de Salud Pública, Ministerio de Minería, CONAF; representantes de empresas como Aguas Andinas, Cia. Minera Doña Inés de Collahuasi, representantes gremiales como SONAMI, instituciones de investigación como Fundación Chile, Universidad de Chile, representantes de la minería como Anglo American, Cia. Minera Nueva Pudahuel S.A. y Codelco-División El Teniente, y de empresas consultoras como Meristema, Geotecnia Ambiental, Versachem, Biodiversa y Ambiotek.

purines, entre otros). Esto permitiría controlar la generación de residuos —orgánicos y mineros— que van en constante aumento, a través de una alternativa de gestión integrada de residuos. El uso de residuos orgánicos en minería sería una buena solución para estos, ya que se generan una serie de externalidades asociadas a su proceso de lixiviación y a su composición. Por ejemplo, la disposición de biosólidos en los relaves mineros permitiría aislarlos de manera de disminuir los problemas que generan, particularmente en cuanto a su percepción pública. Por otra parte, se logra una diversificación en el uso de estos residuos —mineros y orgánicos— transformándolos en productos y, por ende, aumentando su valor desde el punto de vista económico, social y ambiental. Todo esto ayuda también a evitar el colapso de los rellenos sanitarios. Por otra parte, al incentivar el uso de RO se fomenta indirectamente el desarrollo de conocimientos, investigación y tecnología en diversas áreas como métodos de tratamiento de residuos, dosis de aplicación, formas de aplicación y métodos de seguridad para la población, entre otros temas relevantes. Otro aspecto importante de destacar es la imagen del país que puede generar su uso, ya que al reutilizar los residuos, gestionándolos en forma integrada, se muestra preocupación por aspectos ambientales, pudiendo mejorar la percepción hacia el país para futuros tratados o convenios internacionales.

Sin embargo, existen aspectos que deben considerarse al momento de evaluar el uso de los RO. En primer lugar, no existe un marco normativo para el uso de RO en la estabilización de residuos mineros y en suelos degradados químicamente. Otras consideraciones son los tipos y volúmenes de residuos disponibles en las zonas en que se realizará la aplicación, los costos de implementación que se relacionan principalmente con las inversiones asociadas y los costos de operación —principalmente transporte y aplicación—, los métodos y sistemas de aplicación y acopio y las condiciones climáticas de aplicación, ya que, por ejemplo, en el norte del país se ve limitado el uso de lodos por las bajas o nulas precipitaciones. Un factor muy importante de considerar también son los posibles impactos sociales que pudiera generar la aplicación. En el caso de aplicar distintos tipos de residuos, es importante conocer la composición de estos con el fin de predecir posibles reacciones de las mezclas de distintos residuos (minero—biosólidos/purines/agroindustria). Otros temas que debieran considerarse son el posible efecto en la flora y fauna del sector, la posible

contaminación del aire por polvo emitido por el flujo de camiones, posibles riesgos futuros para la salud de la población, en la medida en que no se haga un control de los efectos que se puedan producir y la mitigación de los posibles impactos negativos.

En el caso específico de uso de RO en estabilización de relaves mineros, uno de los puntos que genera mayor incertidumbre y discusión es la falta de información sobre los efectos biogeoquímicos que se podrían generar al combinar residuos de distinta naturaleza. Se requiere, además, considerar aspectos tales como condiciones específicas de suelo, clima (ausencia de precipitaciones) y composición de los residuos, así como de los relaves, y se debe considerar además su movilidad por el posible efecto en las napas freáticas y su comportamiento en el tiempo. En este sentido, podemos ver que se hace necesario invertir en investigación y desarrollo tecnológico. Además de la generación de información en el tema, es importante fortalecer la difusión de la información ya existente, para lo cual es fundamental trabajar en una plataforma de integración de datos e información que considere, entre otros aspectos, un registro público de generadores de RO y su caracterización, dado que no existe información integrada y accesible sobre estos que ayude en la gestión de conocimiento, información y vínculos. Todas estas acciones propuestas debieran ser resultado de un esfuerzo conjunto entre las empresas de las industrias vinculadas a la generación de residuos, las entidades de investigación, el Estado y las consultoras.

Los resultados obtenidos en este taller se complementan y ratifican con los obtenidos a partir de dos estudios realizados el año 2012 por los organismos involucrados en la cuarta NAMA (Acción Nacionalmente Apropriada de Mitigación) inscrita por el país ante la Organización de Naciones Unidas (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, *Center for Clean Air Policy* y el Gobierno de Canadá) para el combate del cambio climático, centrados en el análisis de las potencialidades y alternativas para desarrollar programas de valorización de residuos orgánicos en Chile. Los resultados de estos estudios determinaron que la valorización de RO permitirá ayudar con otros beneficios económicos, sociales y ambientales para el país. Además, estos estudios determinaron que aunque muchas industrias indican que están dispuestas a enviar sus residuos orgánicos a plantas de tratamiento, no hay disponibilidad de este tipo de instalaciones en el país.

Finalmente, las principales barreras identificadas fueron las siguientes:

- La valorización implica costos que puedan competir con los de eliminación; para esto se necesitan tarifas de disposición similares a los rellenos sanitarios y superiores a los vertederos.
- Hay una creciente oposición de la comunidad hacia los proyectos de residuos.
- La reglamentación existente no fomenta la valorización.
- Los proyectos municipales utilizan un modelo de mínimo costo.
- Las empresas no tienen incentivo para valorizar los residuos generados, les resulta más barato la disposición final en vertederos o rellenos sanitarios. Requieren de garantías específicas.
- La ley prohíbe los vertederos, pero no se aplica por inexistencia de alternativas. El DS N° 189 de 2007 entró en vigencia el año 2008.

Recomendaciones y proyecciones

En síntesis, el desarrollo de una política local efectiva de valorización de RO que implique el máximo reaprovechamiento de los residuos en distintos sistemas tan comunes como la minería y los gestores de residuos orgánicos, requiere un marco legal que estimule su valorización. La valorización de residuos orgánicos mediante su reutilización como sustrato permite incorporar valores agregados como la reducción de la emisión de gases, la incorporación de orgánicos a suelos degradados e incluso la generación de bonos de carbono, entre otros.

Se requieren programas con fuentes de información completa y que sean participativos, donde tanto los generadores como los receptores de los RO interactúen, pero también que involucren a los reguladores, la población o comunidades locales, los desarrolladores y aplicadores de las nuevas tecnologías y los científicos. Los programas deberían contar con un marco legal claro, flexible y adaptado a la variabilidad de sistemas y que permita desarrollar la capacidad en la institucionalidad pública para coordinar a todos los actores que tienen competencia en la gestión de RO. La normativa internacional se ha construido a partir de experiencias locales y de diversos estudios, lo que permite incorporar riesgos locales y ajustar residuos específicos a ecorregiones determinadas. En nuestro país se debe generar una base

científica que alimente los distintos requerimientos y planes. Mucha de la normativa se ha copiado de otros sistemas sin ser siempre adaptable por ser ecosistemas y sistemas culturales muy distintos.

Si bien la experiencia internacional es fundamental para entender los efectos de políticas de valoración de residuos orgánicos, hay falta de conocimiento local sobre los beneficios reales de la reutilización de RO en sistemas de gran producción y volumen, y sus impactos potenciales sobre la salud y el medio ambiente. A partir de la experiencia internacional, vemos que los programas bien implementados incluyen a todos los actores desde un comienzo. Se discuten en forma clara los riesgos y beneficios, y se proponen medidas específicas a los riesgos identificados. La aceptación pública de las formas de valorización de los RO y su gestión integrada con sustratos degradados podría ser considerada a priori como más positiva y favorable; sin embargo, es importante que se consideren aspectos de educación y de comunicación bidireccional y abierta entre las partes involucradas. Los esfuerzos para generar confianza en que estas nuevas formas de gestión integrada de RO no constituirán un riesgo tanto en el corto como en el largo plazo, deben realizarse antes de pasar a iniciativas masivas de aplicación; de otra forma, los proyectos no podrán llevarse a cabo y/o se generarán regulaciones extremadamente restrictivas, las que permitirán ganar la aceptación pública pero complicarán innecesariamente la materialización de estos proyectos. Los incentivos a los distintos actores deben lograr una aplicación efectiva a nivel país. La nueva Ley de Cierre de instalaciones mineras es una buena señal, pero se debe evaluar su efectividad y ampliar las alternativas potenciales a la estabilización física y química de pasivos mineros.

En cuanto a la aceptación pública, la valorización de los RO como enmiendas de suelos degradados químicamente y residuos mineros masivos es mucho mayor que la aplicación en suelos agrícolas. Esto se debe a las líneas base cero o muy bajas de nutrientes y materia orgánica de estos sustratos mineros, lo que permite incluso dosificaciones mayores a las de un suelo agrícola, y a la presencia de metales en estos sustratos mineros. En este sentido, poner más metales donde ya existen y donde no se producirán cultivos para consumo humano o forrajero no constituye un riesgo ambiental si se realiza de manera adecuada.

En este documento se ha presentado una propuesta de cómo integrar en una solución dos problemas ambien-

tales permanentes existentes en el país. Por un lado, las alternativas y valoración de RO y, por otro, los impactos generados en los sitios mineros (depósitos de relaves post operativos y suelos degradados químicamente). La experiencia internacional y los avances logrados a nivel nacional, nos muestran que es posible integrar estos actores y que es esperable que en el corto plazo se generen los mecanismos que estimulen este tipo de soluciones integradas. La mayor conciencia de la sociedad sobre el medio ambiente, la falta de suelo y los costos de transporte, entre otros, serán cada vez más restrictivos, por lo que se requieren soluciones creativas e integradas, las que sean estimuladas por una política pública adecuada.

Referencias

- Adriano, D.**, 2001. *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability, and risk of metals*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Badilla-Ohlbaum, R., Ginocchio, R., Rodríguez, P.H., Céspedes, A., González, S., Allen, H.E. y Lagos, G.E.**, 2001. Effect of soil copper content on copper load of selected crop plants in central Chile. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 2749-2757.
- Brown, S., Henry, C., Compton, H., Chaney, R. y De Volder, P.**, 2000. Using municipal biosolids with other residuals to restore a vegetative cover on heavy metal mine tailings. En: *Proceedings 2000 National Meeting American Society of Surface Mining and Reclamation*. Tampa, F.A. ASSMR, WV, 665-670.
- Campos, H.J., Salazar, S.F.**, 2011. *Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos*. Curso de acreditación para operadores SIRSD 2011: Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación en territorios degradados.
- Cárcamo, V., Bustamante, E., Trangolao, E., De la Fuente, L.M., Mench, M., Neaman, A. y Ginocchio, R.**, 2012. Simultaneous immobilization of metals and arsenic in acidic polluted soils near a copper smelter in central Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 1131-1143.
- Cartagena, P.**, 2007. *Cierre de faenas mineras. Una aproximación a la situación en Chile*. Presentación en curso de Ley de Cierre para periodistas, v.3, SERNAGEOMIN, Santiago.
- Casale, J.F., Ginocchio, R. y León-Lobos, P.**, 2011. *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile*. Guía 4: Marco ambiental y relaves mineros abandonados. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica e Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Cochilco**, 2008. *Emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile*. 2001-2007. Cochilco, Santiago.
- Córdova, S., Neaman, A., González, I., Ginocchio R. y Fine, P.**, 2011. The effect of lime and compost on the potential for revegetation of metal-polluted, acid soils. *Geoderma*, 166 (1), 135-144.
- De la Torre, D. y He, L.**, 2007. Is the expansion of biofuels at odds with the food security of developed countries? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1 (2), 92-102.
- FAO**, 2006. La FAO apuesta por el paso a la bioenergía. FAO Sala de Prensa. *Disponible en*: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000282/index.html>
- Ginocchio, R.**, 2000. Effects of a copper smelter on a grassland community in the Puchuncaví Valley, Chile. *Chemosphere*, 41, 15-23.
- Ginocchio, R.**, 2008a. *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.**, 2008b. Fitoestabilización de depósitos de relaves. *Minería Chilena*, 322, 375-379.
- Ginocchio, R. y León-Lobos, P.**, 2011. Guía N° 1: Metodología General. En: *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile*. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica e Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- González, S.**, 1994. Estado de la contaminación de los suelos en Chile. En: Espinoza, G., Pisani, P., Contreras, L. y Camus, P., eds. *Perfil Ambiental de Chile*. CONAMA, Santiago, 199-234.
- Haering, K.C., Daniels, W.L. y Feagley, S.E.**, 2000. Reclaiming mined land with biosolids, manures and papermill sludge. En: Barnhisel, R.I. et al. eds. *Reclamation of drastically disturbed lands*. American Society of Agronomy Monograph N°41, Madison WI, 615-644.
- Hill, L.**, 2009. Scientists grow crops for biofuel feedstock on mine tailings. *Mining Weekly On Line*, 13th February. *Disponible en*: <http://miningweekly.com>
- Méndez, M.O. y Maier R.M.**, 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments. An emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, 116 (3), 278-283.
- Ministerio del Medio Ambiente**, 2012. *Informe del estado del medio ambiente 2011*. Santiago.
- Nazareth, V.**, 2007. Biosolids management trends: technologies, regulations, and public relations. En: Le Blanc, R.J., Laughton, P.J. y Tyagi, R., eds. *Moving forward wastewater biosolids sustainability: technical, managerial, and public synergy*. New Brunswick, GMSC, 927-933.

- Prinsloo L.**, 2009. Positive results for mine tailings rehabilitation experiment. *Mining Weekly On Line*, 3rd april. Disponible en: <http://miningweekly.com>
- Santibáñez, C., Ginocchio, R., Brown, S.**, 2011. Guía 2: Aplicación sustentable de acondicionadores a relaves. En: *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile*. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica e Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sernageomin**, 2007. *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgo*. SERNAGEOMIN, Santiago, Chile.
- Solis-Dominguez, F.A., White, S.A., Hutter, T.B., Amistadi, M.K., Root, R.A., Chorover, J. y Maier, R.M.**, 2011. Response of key soil parameters during compost-assisted phytostabilization in extremely acid tailings: effect of plant species. *Environmental Science & Technology*, 46, 1019-1027.
- Tapia, M.**, 2009. ERNC-Biocombustibles a partir de las algas marinas. *Revista Nueva Minería & Energía*, 5, 11.
- U.S. EPA**, 2007. *The use of soil amendments for remediation, revitalization, and reuse*. EPA 542-R-07-013. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI). EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati, USA.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE



CENTRO DE
**POLÍTICAS
PÚBLICAS UC**

www.politicaspUBLICAS.uc.cl
politicaspUBLICAS@uc.cl

SEDE CASA CENTRAL

Av. Libertador Bernardo O'Higgins 324, piso 3, Santiago.
Teléfono (56-2) 2354 6637.

SEDE LO CONTADOR

El Comendador 1916, Providencia.
Teléfono (56-2) 2354 5658.

CENTRO DE POLÍTICAS PÚBLICAS UC

- Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos • Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
- Facultad de Ciencias Sociales • Facultad de Derecho • Facultad de Educación
- Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política • Facultad de Ingeniería • Facultad de Medicina