

Establecimiento de prioridades para la recuperación ambiental de sitios de faenas mineras abandonadas en la región de Atacama

Javier Torres

Diplomado en Análisis Espacial y Medio Ambiente, Departamento de Ciencias Forestales, Universidad de La Frontera.

Cosmovitalis consultores. Email: javiertorres@cosmovitalis.cl

Resumen

Para la realización de una caracterización ambiental o evaluación de impacto apropiada, que permita un correcto criterio para el establecimiento de proyectos o actividades específicas de la mano un desarrollo sustentable y sostenido, en base a un adecuado cuidado del entorno; resulta fundamental contar con herramientas que permitan apreciar la interacción entre las variables ambientales y las actividades o proyectos a llevar a cabo. En atención a lo señalado, la presente investigación plantea una metodología basada en la integración de la Geomática y las Técnicas de Evaluación Multicriterio, que permite la obtención de un modelo de prioridades para la restauración ambiental de faenas mineras abandonadas. La zona de estudio corresponde a la Región de Atacama – Chile, región que posee una gran concentración de actividades mineras. Para el desarrollo del modelo indicado se procesó una base de datos digital que incluyó las variables ambientales relevantes de la zona de estudio y factibles de ser impactadas por el pasivo ambiental correspondiente a las faenas mineras abandonadas, además del riesgo ambiental inherente de éstas. De las 30 faenas mineras abandonadas incluidas en el modelo, más del 95% se situaron en niveles de prioridad de restauración ambiental altos, pudiendo visualizar una concentración de éstas en sectores donde interaccionan variables ambientales relevantes factibles de ser impactadas. Cabe señalar, que el modelo desarrollado representa una primera aproximación en base a una Técnica Multicriterio para la ayuda a la toma de decisión respecto a la recuperación de faenas mineras abandonadas, pudiendo ser perfeccionado mediante un análisis más detallado para el

establecimiento de los pesos de cada variable y la determinación con un mayor grado técnico de los riesgos ambientales inherentes a cada sitio explotado.

Palabras clave: Evaluación Multicriterio, faenas mineras abandonadas, modelo de prioridades de recuperación ambiental, sistemas de información geográfica, pasivo ambiental.

Abstract

To carry out an environmental characterization or proper impact assessment, to enable a correct criterion for establishing specific projects or activities of the hand sustainable and sustained development, based on proper care of the environment; it is essential to have tools to appreciate the interaction between environmental variables and the activities or projects to undertake. In view of the above, this research presents a methodology based on the integration of Geomatic and Techniques of Multicriteria Evaluation, allows obtaining a model of priorities for the environmental restoration of abandoned mine sites. The study area corresponds to the region of Atacama - Chile, a region that has a high concentration of mining activities. To develop the model specified digital data base that included the relevant environmental variables of the study area and feasible to be impacted by the amount of abandoned mine sites was processed environmental liabilities, in addition to the environmental risk inherent in them. Of the 30 abandoned mine sites included in the model, over 95% were at levels high priority environmental restoration and can display a concentration of them in sectors where feasible interact relevant environmental variables to be impacted. It should be noted that the model developed represents a first approach based on a multicriteria technique for assisting decision making regarding the recovery of abandoned mine sites and can be improved by a more detailed for the establishment of the weights of each analysis variable and determining with greater technical degree of inherent environmental risks each site exploited.

Keywords: Multi-Criteria Evaluation, abandoned mining operations, environmental model of environmental recovery priorities, geographic information systems, passive.

Introducción

La económica chilena se basa principalmente en la explotación de recursos mineros, siendo el primer productor, a nivel mundial, de cobre, yodo y litio; lo que ha permitido que el aporte al PIB de esta actividad se sitúe en torno al 10 a 20% en los últimos años (Consejo Minero, 2014), esencialmente debido a lo aportado por la explotación de cobre. La concentración de esta actividad se sitúa principalmente en la zona.

norte de nuestro país, donde ha proporcionado una considerable dotación de puestos de trabajo, pero sin embargo, también ha generado impactos ambientales negativos no menores en el entorno, siendo imprescindible diseñar e implementar lineamientos específicos dentro de las estrategias nacionales de desarrollo sustentable. Los impactos ambientales más relevantes de la operación de la minería tienen relación con la contaminación de agua, suelo o aire por drenaje de ácidos, lixiviación de metales, depósito de partículas de minerales e insumos del proceso, derrames, suspensión de material particulado asociado a sustancias peligrosas y los procesos de fundición de los minerales. Además de lo mencionado, cabe señalar el impacto sostenido en el tiempo que implica el almacenamiento inadecuado de los residuos de relaves y los depósitos de escorias en botaderos, además de las partículas depositadas en la superficie de emplazamiento de las faenas. Es por lo señalado que resulta fundamental para la conservación del entorno, la realización de un correcto abandono ambiental de las faenas mineras, acción que debido a la escasa regulación y fiscalización de la actividad en años anteriores, no ha sido llevada a cabo de forma adecuada. Lo anterior, ha transformado a diversos sitios de faenas abandonadas dentro de Chile en pasivos ambientales que requieren ser recuperados, generando una tarea pendiente a nivel gubernamental en este aspecto. Dicha tarea ha sido analizada en parte por organismos del gobierno, específicamente por SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) a partir del estudio "Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile", elaborado por la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) y CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), estableciéndose como desafío de orden general en los tratados de libre comercio. El desafío de subsanar el pasivo ambiental mencionado resulta relevante dentro de la gestión ambiental nacional, siendo necesario efectuar evaluaciones ambientales sobre estos sitios que posteriormente permitan generar instrumentos públicos y establecer las bases para su recuperación ambiental. En este

contexto, SENAGEOMIN en el año 2007, efectuó un catastro de faenas mineras abandonadas en distintas regiones del país. En dicho catastro, se presenta información respecto a la ubicación de los sitios, características básicas de su entorno, estado de las instalaciones, evaluación visual respecto a residuos, sustancias peligrosas utilizadas y tipo de producción; con lo cual se efectuó un análisis preliminar del riesgo ambiental respecto al entorno y salud de las personas, y un análisis de riesgo respecto a posibles accidentes que pudieran afectar a la población. Este análisis se realizó mediante una evaluación preliminar cualitativa entre probabilidad de ocurrencia y consecuencia de un evento, enfocándose en el área de influencia directa de los sitios y en las características propias de la faena, entregando un resultado de riesgo apropiado pero limitado a estos dos puntos y principalmente en base a observación visual. En este entendido, para lograr una evaluación más detallada de los sitios de las faenas mineras abandonadas, en el presente estudio se suma a la valoración de riesgo presentada en el catastro mencionado, la interacción con variables ambientales relevantes del entorno, permitiendo acercarse más a una correcta toma de decisión respecto a prioridades de recuperación ambiental. Para el desarrollo de lo señalado, se efectuó una valoración cuantitativa mediante la aplicación de la técnica de Evaluación Multicriterio (MCE) empleando Sistemas de Información Geográficos (SIG), para los sitios de faenas mineras abandonadas emplazados en la Región de Atacama. El desarrollo de este estudio en establecer prioridades para la recuperación ambiental de sitios de faenas mineras abandonadas en la Región de Atacama. Para esto se procedió a efectuar una Evaluación Multicriterio que permita analizar la interacción de los sitios de faenas mineras abandonadas respecto a diferentes variables ambientales relevantes del entorno., encluir en la evaluación el riesgo inherente a cada faena abandonada.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio y faenas abandonadas

El área de estudio corresponde a la Región de Atacama, la cual posee una superficie aproximada de 75.573km². Las faenas mineras abandonadas incluidas dentro del estudio corresponden a 30 sitios catastrados por SERNAGEOMIN en la Región de Atacama.

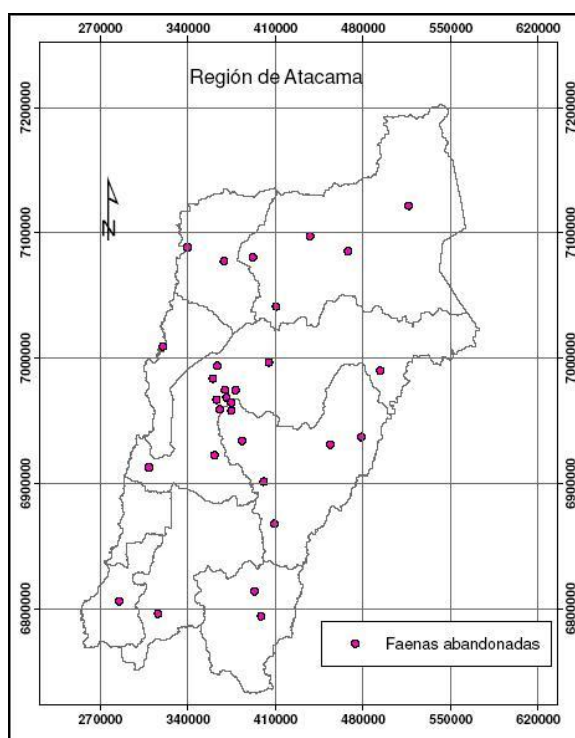


Figura 1. Zona de estudio.

Características de las faenas mineras abandonadas

Dentro de las faenas mineras abandonadas incluidas en el análisis se presentaron explotaciones de cobre, oro, fierro y plata. Como sustancias peligrosas utilizadas como insumos de los procesos, SERNAGEOMIN informó la presencia en ciertos sitios de ácido sulfúrico, mercurio y cianuro. Cabe mencionar, que otras sustancias peligrosas como arsénico, cadmio, plomo, etc., no se pudieron determinar pues la inspección llevada a cabo se realizó sólo de manera visual.

Base de datos cartográficos

Para las variables ambientales empleadas en el análisis se recopilieron coberturas en formato vectorial desde bases de datos del MOP, DGA, SINIA y CONAF, estableciendo como sistema de coordenadas el WGS 1984, UTM, Zona 19S; para todas las variables.

En el caso de las coberturas de emplazamiento de las faenas mineras abandonadas y riesgo asociado éstas, se generaron en base al procesamiento de la información entregada por SERNAGEOMIN en el estudio “Catastro de Faenas Mineras Abandonadas

o Paralizadas y Análisis Preliminar de Riesgo” desarrollado en el año 2007.

Determinación de variables

A continuación se describen las variables involucradas en el análisis y se señalan las razones empleadas para su selección.

Riesgo: la variable riesgo implica el riesgo al entorno y a la salud humana propio de los sitios abandonados, en base a las inspecciones de SERNAGEOMIN, que involucraron criterios como tipo de explotación, presencia de sustancias peligrosas y estado de los sistemas de almacenamiento de residuos líquidos y sólidos. Esta variable se generó mediante el procesamiento de la información del catastro y se enfoca en el área de influencia directa de los sitios. Cabe señalar, que para la evaluación aplicada en este estudio no se consideró el riesgo asociado a accidentes de personas a causa de las instalaciones y características estructurales de los sitios. La delimitación para la variable riesgo consideró una zona buffer de 5km a la redonda de las faenas abandonadas. Para la evaluación del riesgo de cada faena se incluyeron cuatro niveles: 0=Sin riesgo; 1=bajo; 2=moderado; 3=alto.

Erosividad del suelo: Esta variable resulta muy importante debido a que la tierra puede transportar una gran cantidad de partículas a arroyos, ríos, lagos, zonas pobladas, cultivos, humedales, etc. Además, la erosión excesiva puede obstruir riveras, la vegetación de éstas y el hábitat para la fauna; manteniendo los elementos contaminantes en estos componentes. La variable erosividad del suelo incluyó 4 niveles: 1=bajo; 2=moderado; 3=alto; 4=muy alto.

Distancia a zonas de agricultura: la agricultura se limita principalmente a las cercanías a los ríos Huasco y Copiapó. Se incorporó esta variable debido a la contaminación que pueden generar elementos como metales pesados en los cultivos y el deterioro del suelo para esta actividad.

Distancia a sistemas lacustres: los sistemas lacustres en la Región de Atacama involucran lagunas y salares, en los que se pueden establecer hábitats adecuados para el desarrollo de fauna.

Distancia a ríos: los ríos constituyen el hábitat de diversas especies y corresponden a una ruta de transporte de contaminantes cuando éstos son impactados, afectando también la salud de la población.

Distancia a humedales: los humedales corresponden a un gran ecosistema y un

importante hábitat para muchos seres vivos. Además, actúan como filtradores naturales de agua.

Distancia a áreas SNASPE: Las áreas silvestres protegidas de Chile corresponden a espacios naturales de importancia ecológica, por lo que deben ser conservados y protegidos, tanto por el Estado de Chile como por las regiones, provincias o municipios.

Distancia a sitios prioritarios para la conservación: la definición de los sitios prioritarios se enmarca en la Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad, y permiten controlar o restringir el desarrollo actividades de alto impacto en zonas ecológicamente sensibles (Cabrera, 2008).

Distancia a ciudades y poblados: la distancia a ciudades y poblados se considera debido a los impactos que la generación de contaminantes desde las faenas abandonadas puedan implicar en la salud de la población. La ruta más directa de transporte de contaminantes a poblados implica las emisiones de material particulado asociado a sustancias tóxicas.

Rasterización de las coberturas

El modelo para la determinación de sitios prioritarios para la restauración ambiental se generó en formato ráster, empleando el software ARGIS, lo que permitió transformar los archivos vectoriales de las variables de entrada descritas en archivos ráster para su posterior trabajo como variables continuas. Finalmente, todas las variables fueron estandarizadas según su relación con la prioridad de restauración, de este modo todas las variables tuvieron una relación negativa (mientras más lejos se sitúe la variable del sitio la prioridad para la recuperación es menor), exceptuando las variables erosión y riesgo que tuvieron una relación positiva (mientras más alto el nivel de la variable existe una mayor prioridad para la recuperación).

Aplicación de la técnica para la Evaluación Multicriterio

Para la determinación de los pesos de cada variable ambiental que posteriormente se incluyen en el eigenvector principal, se empleó una matriz de impacto que valorizó los efectos negativos de la presencia de los sitios abandonados sobre éstas. Esta matriz contempló el enfoque metodológico en el concepto de cuerpo receptor, definido como las variables ambientales que acogen los efectos producidos por los sitios abandonados. De acuerdo a este concepto, la evaluación de impacto ambiental se realizó haciendo el uso

de una metodología modificada derivada de la aplicación del esquema de la Matriz de Léopold, aproximando los resultados en base a un criterio experto. Posteriormente, todas las variables fueron estandarizadas porcentualmente. Los pesos de las variables aplicados para la evaluación se indican en Tabla 1.

Tabla 1. Pesos para la evaluación de las variables consideradas.

Variables	Pesos
Erosividad del suelo	0,15
Riesgo	0,10
Distancia a zonas de agricultura	0,10
Distancia a sistemas lacustres	0,10
Distancia a poblados	0,05
Distancia a Sitios Prioritarios	0,08
Distancia a zonas SNAPE	0,10
Distancia a ríos	0,10
Distancia a humedales	0,15
Distancia a ciudades	0,07
Total	1,00

A continuación de lo señalado, se realizó el método de la Sumatoria Lineal Ponderada, aplicado frecuentemente en modelos desarrollados en Sistemas de Información Geográfica que trabajan con datos ráster (Barredo et al., 1998). La ecuación que describe el método de la Sumatoria Lineal Ponderada es la siguiente:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * e_{ij}) \quad (1)$$

Donde:

r_i : prioridad del área para su recuperación ambiental si se presenta una faena minera abandonada.

w_j : peso del criterio j .

e_{ij} : valor normalizado de la alternativa i en el criterio j . n : número de criterios involucrados en la investigación.

Los valores (r_i) más altos indican los sectores prioritarios para la recuperación ambiental si se presenta el emplazamiento de una faena minera abandonada, lo cual se puede verificar simplemente superponiendo la cobertura en formato vector de faenas

abandonadas. Una vez realizada las operaciones de álgebra de mapas, se obtuvo el modelo de prioridad para la recuperación, para el cual se definieron 5 niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Resultados y Discusión

El modelo de prioridades para la recuperación ambiental obtenido se presenta en la figura 2, incluyendo el emplazamiento de las faenas mineras abandonadas involucradas en la evaluación.

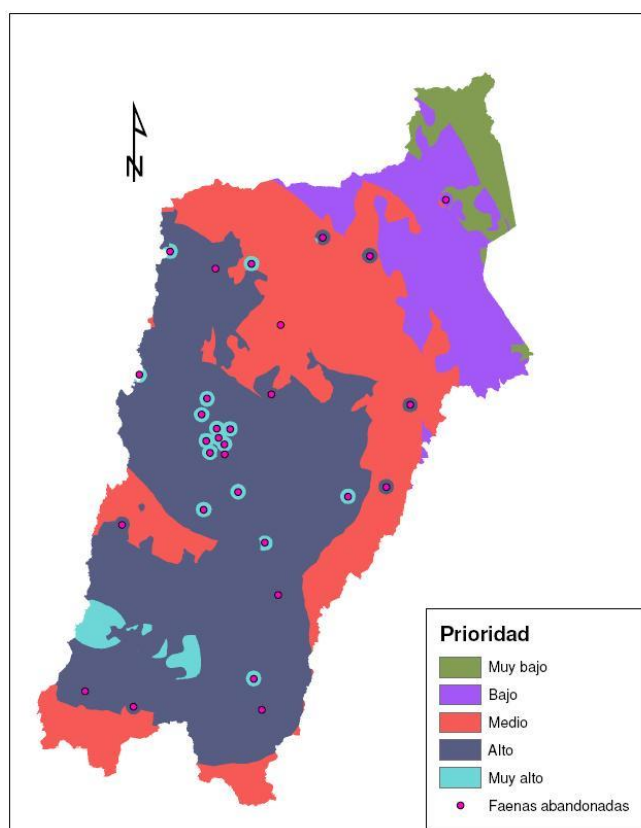


Figura 2. Modelo de prioridades para la recuperación ambiental de sitios de faenas mineras abandonadas.

A partir de este modelo se puede determinar preliminarmente las prioridades para la recuperación ambiental de los sitios de las faenas mineras abandonadas involucradas. La siguiente tabla presenta los niveles de prioridad obtenidos y el número de faenas situadas en cada uno de ellos.

Tabla 2. Resultados de prioridad de recuperación ambiental.

Prioridad establecida	Nº de faenas abandonadas
Muy alto	16
Alto	13
Medio	0
Bajo	1
Muy bajo	0

En base a la tabla anterior, se puede apreciar que más del 95% de las faenas mineras abandonadas presentaron prioridades altas y muy altas, por lo que se podría mencionar que el modelo aplicado resultó “severo” en sus criterios. Este hecho se puede explicar debido a que la mayor concentración de las faenas abandonadas se sitúa en sectores donde se presentan cercanas a un número elevado de variables incluidas en la evaluación, como es el caso de las variables que se presentan en las siguientes figuras.

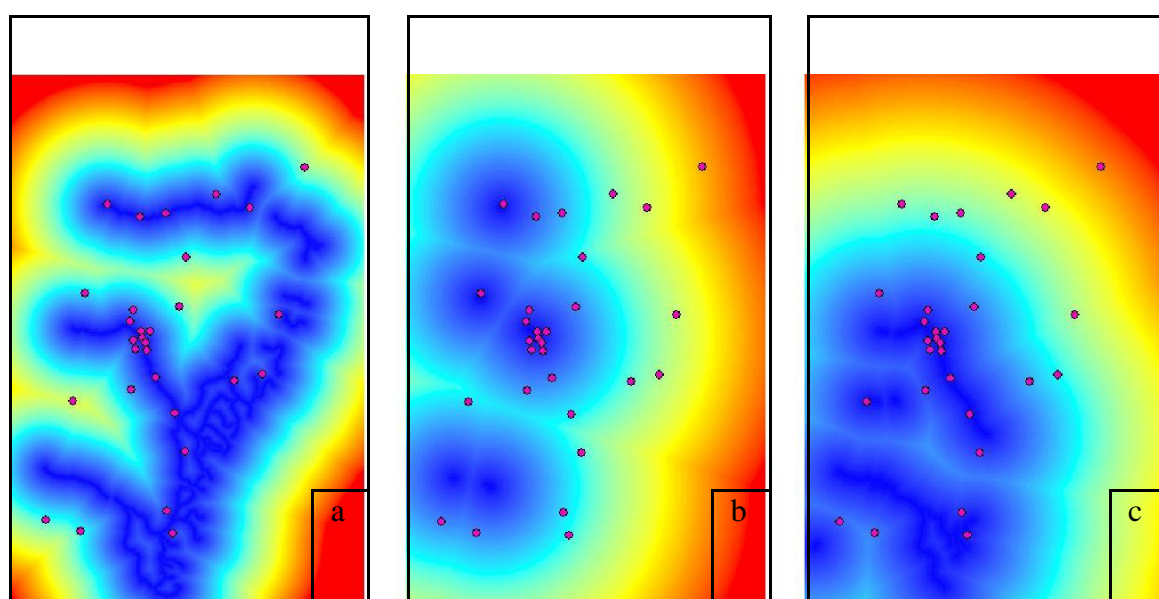


Figura 3. Variables incluidas en la evaluación situadas en zonas donde se concentraron las faenas mineras abandonadas. a) Distancia a ríos; b) Distancia a ciudades; c) Distancia a zonas de agricultura.

La variable riesgo también denota una alta influencia en la respuesta del modelo, sin embargo, no se estima que el peso asignado a ésta esté sobrevalorado. En este

entendido, un ajuste al modelo en la variable riesgo se considera muy apropiado para su correcta aplicación, dada la importancia de ésta. Para lo anterior, resulta fundamental una evaluación en terreno más detallada, que incluya además de la evaluación visual, muestreos y análisis de la contaminación presente y factible de generarse.

Cabe señalar, que al margen de la ubicación específica de las faenas abandonadas incluidas en la presente evaluación y la contribución en la respuesta del modelo dada por su valoración de riesgo, el modelo desarrollado presenta zonas bien definidas y homogéneas para los distintos niveles de prioridad establecidos (ver figura 2), pudiendo extrapolarse a otros focos de contaminación.

La geomántica incorporada a técnicas de Evaluación Multicriterio es una herramienta poderosa en el ámbito del análisis territorial y de gestión ambiental, ya que permite la evaluación y toma de decisión en base a la interacción espacial de un elemento o actividad en cuestión con las distintas variables ambientales del entorno.

Dentro del análisis se incorporó el riesgo inherente a un foco de contaminación ambiental, en este caso para faenas mineras abandonadas, en base a sus características específicas plasmándolas en el espacio para su procesamiento, lo que corresponde a una variable muy importante dentro de la evaluación realizada y pocas veces contemplada en este tipo de modelos.

La evaluación realizada generó niveles bastante severos respecto a las prioridades de recuperación, ya que más del 95% de las faenas abandonadas incluidas presentaron niveles de “muy alto” y “alto”; pudiendo inferir una fuerte interacción positiva entre las variables en las zonas donde se concentran estos sitios.

El modelo desarrollado representa una primera aproximación en base a una Técnica Multicriterio para la ayuda a la toma de decisión respecto a la recuperación de faenas mineras abandonadas, pudiendo ser perfeccionado mediante un análisis más detallado para el establecimiento de los pesos de cada variable y la determinación con un mayor grado técnico de los riesgos ambientales inherentes a cada sitio explotado.

Finalmente, se destaca que la metodología empleada es factible de ser extrapolada a otros tipos de pasivos ambientales, focos de contaminación o actividades específicas.

- Cabrera, C., 2011. Sitios Prioritarios y su Protección Oficial. Facultad de Ciencias Universidad de Chile. 2011.
- Consejo Minero. "Minería en Cifras". 2014.
- Barredo, J. 1999. Los SIG en la Ordenación del Territorio: Posibilidades y desarrollo utilizando evaluación Multicriterio". En Sistemas de Información Geográfica y Teledetección Espacial Aplicadas a la Ordenación del Territorio y el Medio Ambiente. Universidad de Talca. Talca, Chile, pp. 105-115.
- Barredo, J., & J. Bosque, 1998. Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment". Geographical Systems. USA. 5: 313-327.
- Mena, C. J. Gajardo, & Y. Ormazábal. 2006. Modelación Espacial Mediante Geomática y Evaluación Multicriterio para la Ordenación Territorial. Revista Facultad de Ingeniería - Universidad Tarapacá, 14: 81-89.