

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MAPA DE ORDENACIÓN MINERO AMBIENTAL

*Adrián Hernández Zúñiga¹
Francisco Estrada Godoy²
Rodrigo Mondragón Guzmán²
José María Ramos Rodríguez^{1,2}

PROPOSAL OF METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF A MAP OF ENVIRONMENTAL MINING ORDINATION

Recibido el 12 de octubre de 2017; Aceptado el 3 de mayo de 2018

Abstract

The Methodology is proposed for the development of small projects that are in the planning or reactivation phase. The method can also serve as a tool in the preliminary selection of sites to expand new activities in active mining operations. The methodology seeks to propose solutions for the categorization and microzonification of mining lots, for the optimal planning and design of mining projects, based on geomorphological, hydrogeological criteria and with the conservation of vegetation. Taking as one of the main bases of the analysis of the environmental parameters through the Hierarchical Analytical Process (AHP). The sum of the established parameters, is oriented to generate the Map of Mining-Environmental Management. Arranz González (2008) conceives of this map, as the fundamental cartographic tool for the integration of mining activities in territorial planning, representing a zoning of the territory according to the feasibility of exploitation according to minimum and environmental criteria.

Keywords: *geographic information system, map of environmental mining, mining-environmental units, policies and criteria for ecological regulation.*

¹ Geohidrología y Geología Ambiental, Servicio Geológico Mexicano, México.

² Escuela Superior de ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Tierra, Unidad Ticoman, Instituto Politécnico Nacional, México.

³ Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Mossoró, Brasil

Autor correspondencia: Gerencia de Geohidrología y Geología Ambiental, Servicio Geológico Mexicano. Boulevard Felipe Ángeles Km. 93.50-4, Col. Venta Prieta, Pachuca, Hidalgo, C. P.: 42083, México. Teléfono: 01 771 711 0845, Ext. 1216. Email: adrianhernandez@sgm.gob.mx

Resumen

Se propone la metodología PlanMin para el desarrollo de proyectos mineros pequeños a medianos que se encuentren en la fase de planeación o reactivación. El método puede también servir de herramienta en la selección preliminar de sitios para ampliar nuevas actividades en operaciones mineras activas. La metodología busca proponer soluciones para la categorización y microzonificación de lotes mineros, para la óptima planeación y diseño de proyectos mineros, con base en criterios geomorfológicos, hidrogeológicos y con atención a la conservación de la vegetación. Tomando como una de las principales bases el análisis de los parámetros ambientales por medio del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ). La suma de los parámetros establecidos está orientada a generar el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental. Arranz González (2008) concibe a dicho mapa, como la herramienta cartográfica fundamental para la integración de las actividades mineras en la planificación territorial, representando una zonificación del territorio en función de la viabilidad de explotación de acuerdo con criterios mineros y ambientales.

Palabras clave: mapa de ordenación minero-ambiental, sistemas de información geográfica, políticas y criterios de regulación ecológica, unidades minero-ambientales.

Introducción

Para proyectos mineros, generalmente en los estudios de Impacto Ambiental, describen medidas de prevención o mitigación, condicionantes emanadas de Normas y Reglamentos, que establecen ¿Qué hacer? y ¿Cómo hacer?, pero no contestan la pregunta ¿Dónde hacerlo?. Regularmente los estudios de localización de actividades mineras específicas acorde con su objetivo se realizan posteriormente.

A diferencia con las demás industrias, la localización de los yacimientos minerales, indica el lugar donde se deben emplazar la explotación minera. Castilla (2014) en su modelo para la evaluación de impacto ambiental y Jiang-Liu (2009) en su relación de espacio-tiempo coinciden y enumeran cinco tipos de uso del suelo persistentes en toda obra minera: a) uso para asentamientos, b) uso debido a subsidencia, c) el espacio ocupado por presas de jales, d) el suelo utilizado para diversos fines y el e) suelo para la explotación minera directa. La metodología PlanMin propuesta toma de base estas características, con el objeto de generar un Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, estandarizando valores de modelación por medio del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), con la esencia que sea relativamente rápida, baja en insumo material y reforzado con validación en trabajo de campo.

De acuerdo a las bases datos del Servicio Geológico Mexicano (SGM), el lote minero se localiza en el noroeste de la República Mexicana, en la zona limítrofe de los estados de Chihuahua y Sinaloa, en el municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua; en las coordenadas 107°08'40" de longitud oeste, 26°04'20" de latitud norte y 107°06'00" de longitud oeste y 26°01'20" latitud norte, respectivamente (Figura 1).

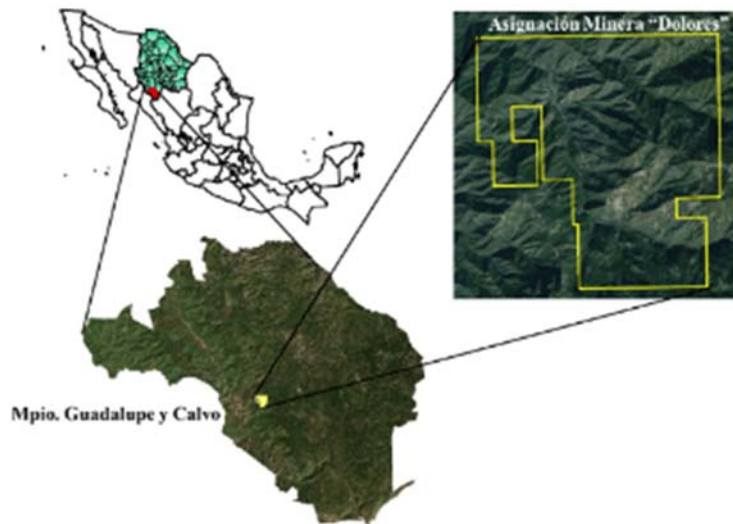


Figura 1. Localización de la Asignación Minera “Dolores”

Materiales y métodos

La metodología PlanMIN para la obtención del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, se realizó en tres etapas: a) Caracterización del sitio; b) valoración territorial; c) zonificación del proyecto (Figura 2).

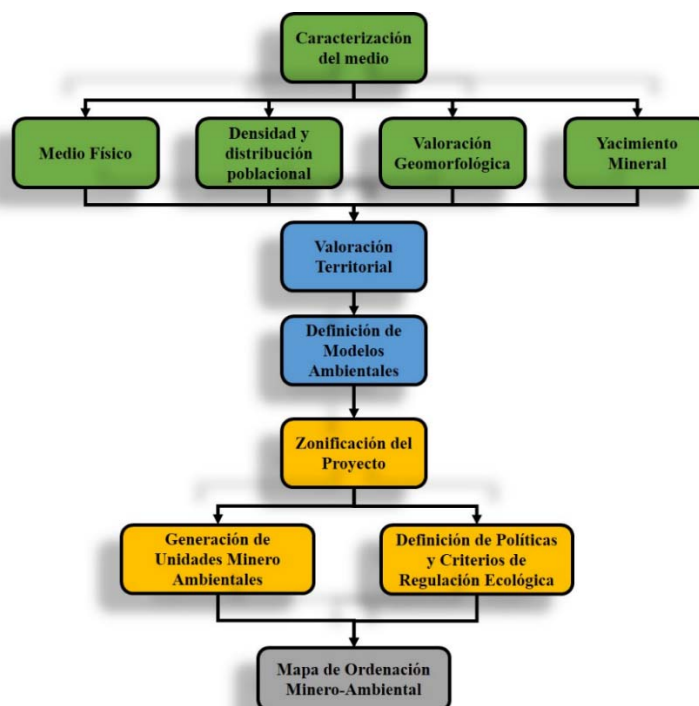


Figura 2. Versión sintética de la metodología para la elaboración del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental

Caracterización del sitio

Se compilaron imágenes Landsat 8 del Servicio Geológico Norteamericano y Sentinel 2 de la Unión Europea, el procesamiento de los datos de percepción remota fue limitado a una sección de la porción suroeste de la imagen Thematic Mapper (TM), sensor OLI del satélite LandSat 8. El código de posición del Sistema de Referencia Mundial: path 32, row 42, con medidas de 38 km por 32 km (tamaño de imagen de 1,268 por 1,067 pixeles) abarcando una superficie de 1, 216 km², la fecha de la imagen es del 27 de octubre del 2015, se procesó con el software ArcGis 10.2.2. Mediante firmas espectrales se realizó una clasificación supervisada de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio e índice NDVI de conservación vegetal.

Basado en la cartografía geológica del SGM y a las características cualitativas hidrogeológicas, se definió el mapa de tres unidades hidrogeológicas de permeabilidad media a muy baja. La elaboración de la temática geomorfológica escala 1:20,000, obtuvo su base en los métodos establecidos por Lugo Hupb (1988) y Aceves (2014), a través de SIG (Sistemas de Información Geográfica), se generaron los mapas combinando los factores estructurales, litológicos, etc. (Figura 3).

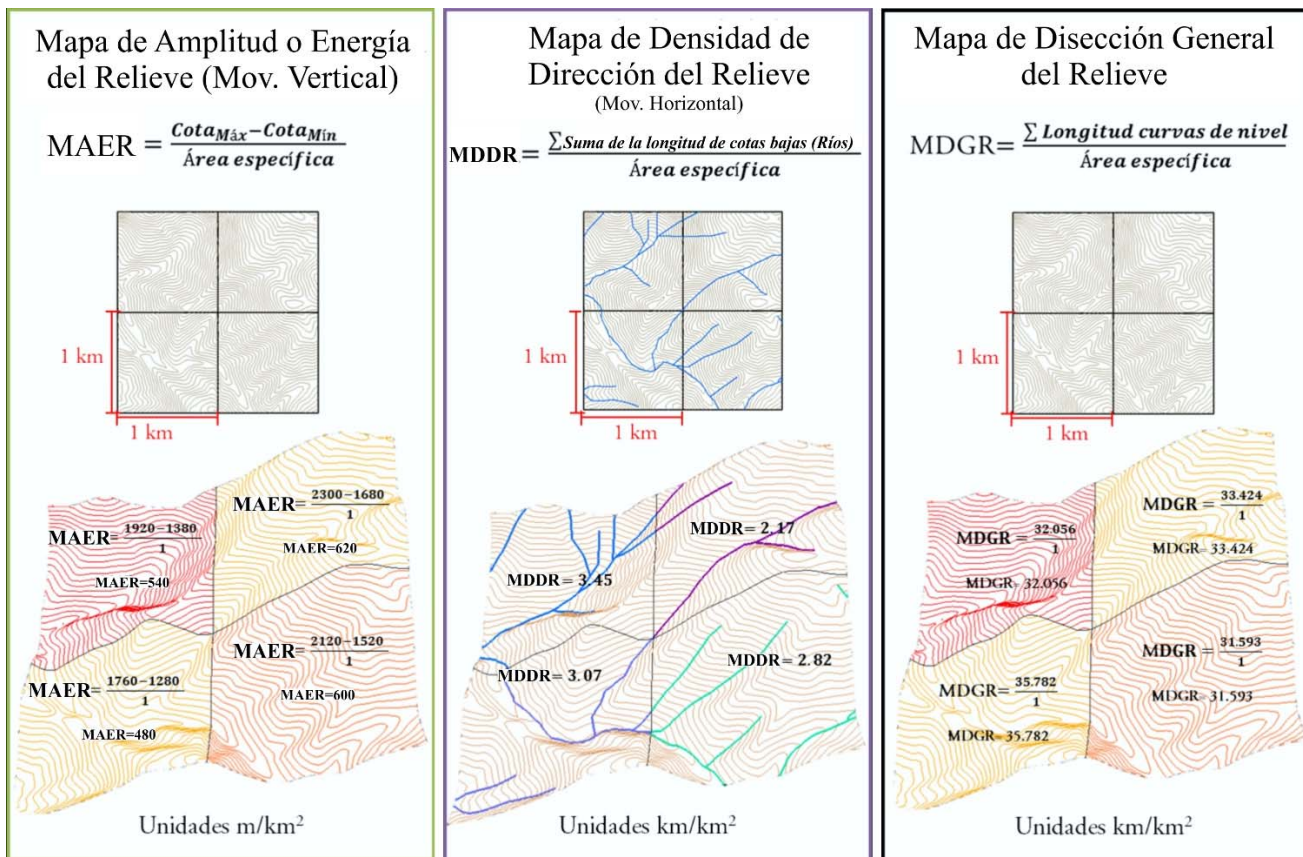


Figura 3. Diagramas de elaboración de acuerdo a (Lugo Hupb, 1989)

Valoración territorial

El objetivo de esta etapa, es el análisis de las características del sitio para conocer la capacidad de asimilación de las diferentes actividades mineras y el grado de conservación natural. Considerando los puntos descritos por Castilla (2014) y Jiang-Lu (2009), se definieron las actividades mineras del uso del suelo en cinco tipos: uso para asentamientos, uso debido a subsidencia, el espacio ocupado por presas de jales, el suelo utilizado para diversos fines y el suelo para la explotación minera directa, basado en ello, se definieron seis modelos a elaborar:

- *Modelo Índice de Conservación Ecológica (MICE)*. El objetivo del MICE fue obtener las zonas con mejor conservación, utilizado posteriormente como herramienta, para definir las estrategias de las zonas ambientales susceptibles de protección y recuperación.
- *Modelo General de Uso para Asentamientos (MGUA)*. El objeto del MGUA es obtener un conocimiento general, de los sitios donde se tenga la probabilidad de desarrollar asentamientos humanos, sin especificar obra o actividad.
- *Modelo de Riesgo por Subsidencia (MRS)*. El propósito del MRS es delimitar las áreas que tienen riesgo alto por subsidencia, afin de evitar colocar asentamientos humanos o desarrollos productivos en zonas susceptibles de subsidencia, por las características operativas de la industria minera subterránea.
- *Modelo Zonas para Uso de Presas de Jales (MZUPJ)*. El objetivo del MZUPJ es determinar aquellas zonas, donde se pueda disponer no solo los jales, producto del beneficio del mineral, sino que también áreas para depositar material inerte sin valores de explotación. Este modelo tiene la característica, que únicamente se aplicaron aquellas zonas con drenaje superficial grado uno y se localizaran sobre una unidad hidrogeológica de permeabilidad baja a muy baja.
- *Modelo Zonas para Proceso Beneficio de Mineral (MZPBM)*. El objeto del MZPBM es obtener las zonas con alta vocación para desarrollar el proceso de beneficio de minerales.
- *Modelo Zonas para Obras Auxiliares de Minería (MZOAM)*. El objetivo del MZOAM es obtener las zonas con alta vocación para la construcción de las obras auxiliares relacionadas a la minería.
- Se utilizaron como atributos para la preparación de los modelos: el substrato geológico (mapa de densidad de fracturamiento, mapa geológico), la zona susceptible a explotación, previamente establecida, rasgos morfológicos (mapa de pendientes e hipsométrico), morfométricos (mapa de energía o de amplitud del relieve y mapa de disección general del relieve), características del drenaje superficial (mapa de densidad de disección del relieve) y el mapa de unidades hidrogeológicas, las relaciones de la diversidad y conservación de la densidad vegetal (mapa resultado del análisis de la imagen Landsat 8 sensor OLI), así como la densidad demográfica dentro del área de estudio. En la Tabla 1 se enumeran los atributos utilizados y el criterio con los que se subdividieron para la aplicación a cada modelo (Figura 4).

Tabla 1. Criterios utilizados por atributo

Atributos	Criterios	Unidades	Valores bajos	Valores medios	Valores altos
Índice NDVI	Zonas de cobertura vegetal		Zonas sin cobertura vegetal		Zonas con cobertura vegetal
Pendientes	Mapa de pendientes	Grados de inclinación	0° a 15°	15.1° a 20°	20.1° a 45°
Densidad de disección del relieve	Áreas de mayor densidad de drenaje superficial (Mov. horizontal)	km/Km ²	0 a 1.5	1.51 a 3	3.1 a 4.5
Disección general del terreno	Mapa de erosión general del terreno	Km/Km ²	0.15 a 25	25 a 30	30 a 50
Disección vertical o de energía	Mapa de amplitud o de energía o de energía del relieve (Mov. vertical)	m/Km ²	0 a 300	300 a 600	600 a 1000
Densidad de fracturamiento	Longitud de fracturamiento por kilómetro cuadrado	Km/Km ²	0 a 0.05	0.051 a 0.5	0.5 a 2
Unidades hidrogeológicas de permeabilidad	Unidades hidrogeológicas cualitativas de permeabilidad		Unidades de permeabilidad baja a muy baja		Unidades de permeabilidad media a alta
Localización y áreas de influencia de poblaciones	Áreas de influencia calculada mediante el método de puntos calientes.		Zonas sin influencia		Zonas con influencia
Áreas de mineralización	Zonas identificadas con desarrollo mineral de origen hidrotermal		Zonas sin valores de yacimiento mineral		Zonas sin valores de yacimiento mineral

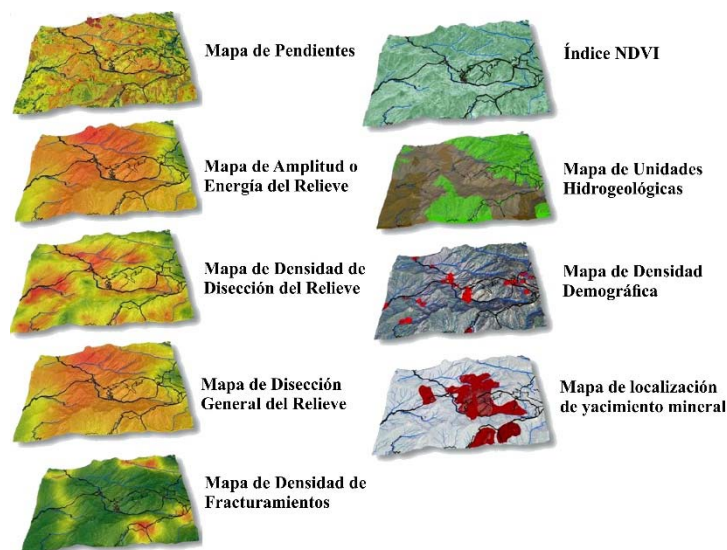


Figura 4. Atributos ambientales para modelación.

Tabla 2. Modelos con atributos y pesos asignados

Modelo de Índice de Conservación Ecológica			
Clave	Atributo	Criterio	Pesos (AHP)
IE-1	Índice NDVI	Zonas de cobertura vegetal sin perturbar	0.490
IE-2	Pendientes	Pendientes de 20° a 45° de inclinación	0.312
IE-3	Densidad de disección del relieve (Alto)	Áreas de mayor densidad de drenaje superficial	0.198
TOTAL			1.000
Modelo General de Uso para Asentamientos			
C-1	Índice NDVI	Zonas con menor cobertura vegetal	0.250
C-2	Pendientes	Pendientes con hasta 20° de inclinación	0.206
C-3	Disección general del terreno (Bajo)	Valores bajos de erosión	0.186
C-4	Fracturamiento	Valores de longitud bajos por kilómetro cuadrado	0.132
C-5	Permeabilidad baja	Unidad hidrogeológica de permeabilidad baja	0.109
C-6	Disección vertical o de energía (Bajo)	Valores bajos a intermedios, de los presentes en el sitio	0.056
C-7	Densidad de disección del relieve (Bajo)	Áreas de menor densidad de drenaje superficial	0.045
C-8	Áreas mineralizadas	Zonas sin mineralización	0.016
TOTAL			1.000
Modelo Riesgo por Subsistencia			
H-1	Pendiente mayor o igual 20°	Pendientes mayores de 20° de inclinación	0.280
H-2	Densidad de fracturamiento	Valores de longitud altos por kilómetro cuadrado	0.217
H-3	Disección general del terreno	Valores altos de erosión	0.231
H-4	Disección vertical o de energía (Alto)	Valores altos de disección vertical del terreno	0.162
H-5	Movimiento horizontal (Alto)	Valores altos de densidad de drenaje superficial	0.069
H-6	Áreas mineralizadas	Áreas con mineralización	0.041
TOTAL			1.000
Modelo Zonas para Uso de Presas de Jales			
PJ-1	Drenaje superficial grado 1	Zonas con densidad de drenaje superficial grado 1	0.288
PJ-2	Pendiente menor o igual 20°	Pendientes con hasta 20° de inclinación	0.209
PJ-3	Permeabilidad baja	Unidad hidrogeológica de permeabilidad baja	0.271
PJ-4	Bajo fracturamiento	Valores de longitud bajos por kilómetro cuadrado	0.127
PJ-5	Índice NDVI bajo	Zonas de cobertura vegetal sin perturbar	0.069
PJ-6	Áreas mineralizadas	Áreas sin mineralización	0.036
TOTAL			1.000
Modelo Zonas para Proceso Beneficio de Mineral			
BM-1	Pendiente menor o igual 15°	Pendientes con hasta 15° de inclinación	0.264
BM-2	Fracturamiento	Valores de longitud bajos por kilómetro cuadrado	0.222
BM-3	Permeabilidad baja	Unidad hidrogeológica de permeabilidad baja	0.196
BM-4	Áreas de poblaciones	Zonas sin influencia de poblaciones	0.133
BM-5	Índice NDVI	Zonas sin cobertura vegetal	0.106
BM-6	Densidad de disección del relieve	Baja densidad de disección general del relieve	0.045
BM-7	Áreas mineralizadas	Zonas sin valores de yacimiento mineral	0.034
TOTAL			1.000
Modelo Zonas para Obras Auxiliares de Minería			
OA-1	Índice NDVI	Zonas sin cobertura vegetal	0.281
OA-2	Áreas de poblaciones	Zonas sin influencia de poblaciones	0.219
OA-3	Pendiente menor a 15° de inclinación	Pendientes con hasta 15° de inclinación	0.210
OA-4	Fracturamiento	Valores de longitud bajos por kilómetro cuadrado	0.168
OA-5	Permeabilidad	Unidad hidrogeológica de permeabilidad baja	0.073
OA-6	Áreas mineralizadas	Zonas sin valores de yacimiento mineral	0.049
TOTAL			1.000

Mediante la utilización del cálculo de pesos por medio del método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), normalizado por la Proporción de Consistencia (PC) menor al 10%, su escala normalizada PC y la implementación de los SIG, facilitó que los resultados intermedios y finales de cada modelo sean homogéneos y fácilmente comparables entre sí, el resultado obtenido en cada modelo fue la herramienta base para identificar las áreas prioritarias de cada actividad con respecto a su función dentro de la operación minera, posteriormente dieron la posibilidad de delimitar las unidades de manejo, su evolución, usos compatibles y las propuestas para su sustentabilidad y desarrollo. En la Tabla 2 se enumeran los atributos y criterios utilizados para cada modelo y los pesos obtenidos, para ser aplicados mediante una plataforma SIG a la generación de los modelos.

Zonificación del proyecto

Después de obtener los modelos que en función de las actividades, se identificaron las superficies idóneas para su desarrollo, se combinaron los resultados de todos modelos con el fin de encontrar un Modelo de Vocación Minera (MVM), siendo este, la expresión gráfica de la Asignación “ Dolores ” y su área de influencia, que muestra la categorización de su superficie, en función de los rangos de mayor o menor conveniencia, para la localización de explotación minera directa y sus obras y actividades auxiliares, que funcionó como principal sustento de la planeación, a través de la enunciación de políticas y criterios ambientales. Para definir las áreas de vocación minera, se utilizaron la suma de los pesos obtenidos en cada modelo en la etapa de Valoración Ambiental, asignándole el peso de importancia para el MVM de acuerdo a los criterios de la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios y Pesos utilizados para el Modelo de Vocación Minera

Modelo-Atributo	Criterios de prioridad	Pesos
Modelo Índice de Conservación Ecológica	Valores \leq 0.5 pesos MICE	0.282
Modelo de Riesgo por Remoción de Masas	Valores \leq 0.5 pesos MRRM	0.218
Modelo General de Uso para Asentamientos	Valores \geq 0.51 pesos MGUA	0.217
Modelo Zonas para Uso de Presas de Jales	Valores \geq 0.51 pesos MZUPJ	0.165
Modelo Zonas para Proceso Beneficio de Mineral	Valores \geq 0.51 pesos MZPBM	0.077
Modelo Zonas para Obras Auxiliares de Minería	Valores \geq 0.51 pesos MZOAM	0.041

Generación de las Unidades Minero-Ambientales (UMA)

Arranz González (2008) describe que considerando las peculiaridades propias de la actividad minera se da entrada al marco de la ordenación territorial, a lo que han llamado proyectos de Ordenación Minero-Ambiental. Añadiéndolos como otro tipo de estudios ambientales de carácter territorial. El proceso de regionalización es una de las herramientas indispensables para la construcción de los modelos de planeación ambiental, Euán y Cuevas (2009) presentan algunas de las principales aproximaciones sugeridas para determinar los límites de la regionalización,

dentro de los cuales utiliza a los límites de cuencas (parteaguas creados por la topografía). El proceso continúa para la delimitación de las regiones, con diversos criterios biofísicos, sociales y económicos, con sobreposición de mapas, además del acceso a bases de datos geoespaciales. De acuerdo a esto, para los fines de delimitación de las UMA's se tomó como base:

- 1) Los límites geomorfológicos de las microcuencas del área de estudio.
- 2) el mayor o menor grado de conservación vegetal presentes en porciones específicas de la zona;
- 3) el modelo de riesgo subsidencia.
- 4) las áreas de densidad poblacional dentro del área de interés, datos obtenidos del Marco Geo estadístico Nacional de INEGI.

Utilizando los mapas temáticos generados a lo largo del trabajo, a través de los sistemas de información geográfica, se trabajó a escalas 1:10,000 a 1:15,000, se generaron 46 Unidades Minero-Ambientales a partir de cinco paisajes geomorfológicos (Figura 5).

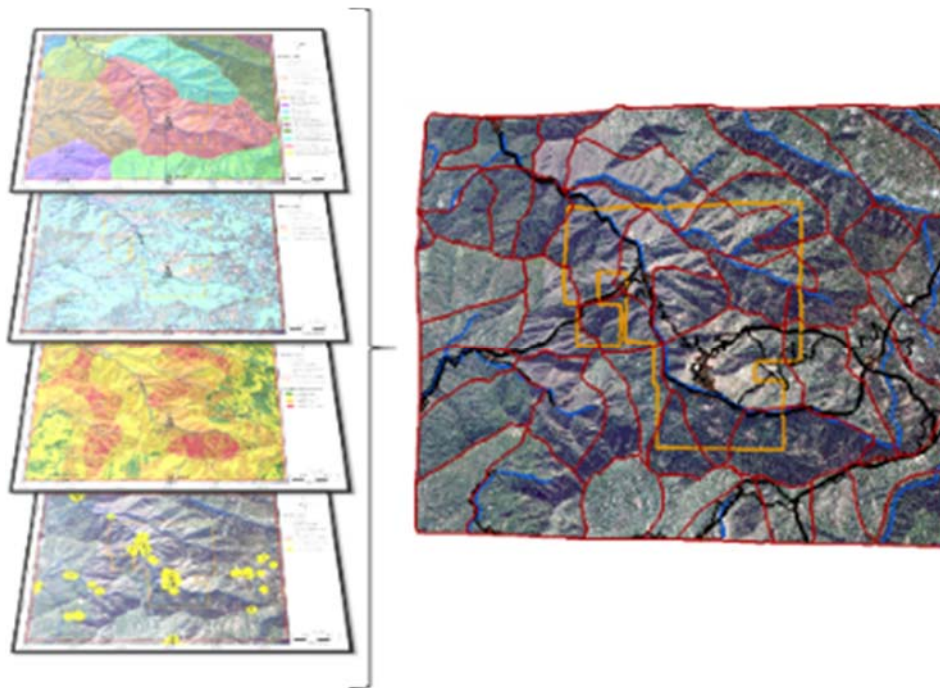


Figura 5. Unidades Minero-Ambientales

Definición de Políticas y Criterios de Regulación Ecológica

La definición de las Políticas de Regulación Ecológica se basaron en seis puntos clave: A) la conservación y restauración de las zonas con poca o nula alteración vegetal; B) las zonas de infraestructura social y de actividades mineras que se encuentren fuera de las zonas donde exista

riesgo por subsidencia; C) la reubicación de las comunidades existentes en las cercanías de la principal zona de explotación minera; D) la localización de las áreas de explotación intensiva minera; E) la disposición de la infraestructura ligada al beneficio de mineral; F) las zonas ideales para la disposición de presas de jales.

Como resultado final, es el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, de acuerdo a los criterios enumerados, se clasificaron a las UMA's de acuerdo a siete Políticas de Regulación Ambiental, dichas políticas se expresaron a través de una matriz de triple entrada considerando como criterios de mayor peso los resultados del Modelo Índice de Conservación Ecológica por un lado y el Modelo de Riesgo por Subsidencia por otro y el Modelo de Vocación Minera en la margen superior (Tabla 4 y Figura 6).

Tabla 4. Matriz de Vocación para actividades mineras

		Modelo de Vocación Minera					
		Baja	Media	Alta	Muy Alta		
Modelo de Riesgo por Remoción de Masas	Baja	G	E	B	A	Baja	Modelo Índice de Conservación Ecológica
	Media	G	E	D	C	Media	
	Alta	G	F	F	F	Alta	
	Muy Alta	G	G	G	G	Muy Alta	
Categoría	Política de Regulación Ambiental	Uso		Descripción			
A	Zona adecuada para explotación	Suelo para explotación minera directa		Capacidad vocacional muy alta para actividades extractivas, riesgo bajo debido a menor probabilidad de ocurrencia por subsidencia e Índice de Conservación Ecológico bajo.			
B	Zona de explotación optimizada	Suelo para explotación minera directa con reservas		Capacidad vocacional muy alta para actividades extractivas, riesgo medio a alto, probable ocurrencia por subsidencia e Índice de Conservación Ecológico medio.			
C	Zona de explotación regulada	Suelo para diversos fines del proceso minero		Capacidad vocacional alta para actividades del proceso de beneficio de mineral, obras auxiliares de minería, sin riesgo por subsidencia e Índice de Conservación Ecológico bajo a medio.			
D	Zona de explotación moderada	Espacio para Presas de Jales y/o depósitos de material sin valores minerales		Capacidad vocacional muy alta para presas de jales y depósitos de material inerte, sin riesgo por subsidencia e Índice de Conservación Ecológico bajo.			
E	Zona de explotación mínima	Uso para asentamientos, actividades productivas locales y conservación del medio		Capacidad vocacional baja para actividades mineras, alta vocación para asentamientos humanos, actividades productivas locales, bajo riesgo para ocurrencia de eventos por subsidencia, Índice de Conservación Ecológico medio a alto.			
F	Zona de explotación prohibida	Uso para asentamientos, actividades productivas locales y conservación del medio		Capacidad vocacional baja para actividades mineras, alta vocación para conservación y regeneración del medio, riesgo medio para ocurrencia de eventos por remoción de masas, Índice de Conservación Ecológico medio a alto.			
G	Zona de explotación vedada	Nula actividad		Capacidad vocacional baja para actividades mineras, alta vocación para conservación del medio, riesgo alto a muy alto por ocurrencia de eventos por subsidencia, Índice de Conservación Ecológico medio a muy alto.			

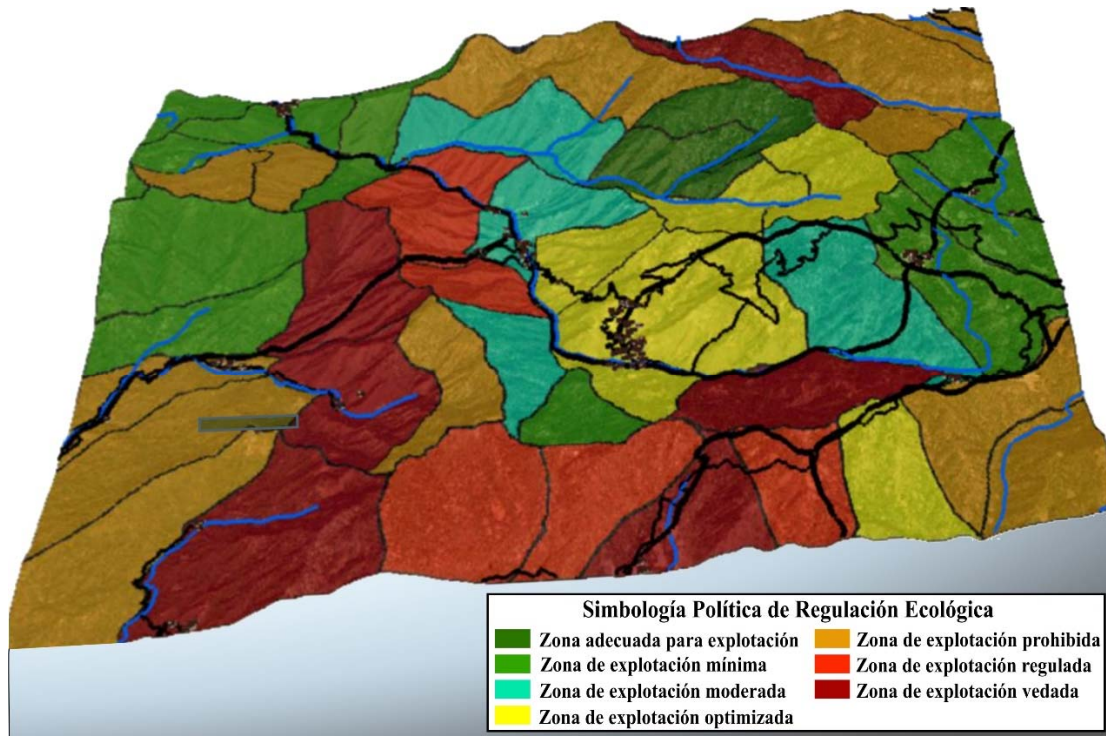


Figura 6. Mapa de distribución de Políticas de Regulación Ecológica

La diferenciación de los niveles de vocación minera son fáciles de establecer, pues se toman los valores extremos de los parámetros establecidos, sin embargo, cabe señalar, que considerándolos en su conjunto, existen muchas y distintas opciones de vocación minera que se pueden formar en función de estos tres factores, siendo pues una propuesta, por lo que no es única, y se puede subdividir más en función del nivel de detalle de la información de que se disponga.

Políticas zona de explotación optimizada y zona adecuada de explotación

Son las zonas con alta respuesta a valores de mineralización y que serán el blanco principal de las labores de explotación minera, se distinguieron dos políticas, en función de las condiciones de conservación del medio y principalmente por tratarse con riesgo de subsidencia, que combinados con las actividades de extracción, la probabilidad de ocurrencia se multiplicaría. *Las zonas adecuadas de explotación* son las áreas en las que el riesgo es mínimo y las zonas ya han sido perturbadas por actividades antropogénicas. *Las zonas de explotación optimizada* son aquellas superficies que de acuerdo a los resultados de la modelación, tienen medio a alto riesgo de

incidencia de emergencias, por lo que las medidas de estabilización y ambientales serán más rigurosas.

Política zona de explotación regulada

Se distinguieron aquellas zonas con alto nivel de perturbación a la superficie vegetal y las zonas con baja probabilidad de ocurrencia de fenómenos por subsidencia, con el objeto de establecer aquellas áreas idóneas para establecer el proceso de beneficio de mineral y de obras auxiliares de la minería, como lo son campamentos, talleres de mantenimiento, oficinas, etc.

Política zona de explotación moderada

Se definió bajo el principio de delimitar aquellas zonas de baja conservación vegetal, y cuyas características hidrogeológicas y geotécnicas, sirvan de indicador, para delimitar los blancos de aplicación de los estudios a detalle que requiere la NOM-141-SEMARNAT-2003, para la localización de las presas de jales y sitios de disposición de material sin valores económicos.

Política zona de explotación mínima

Se basó principalmente en la protección de núcleos urbanos, o de principios de reasentamiento, que prevean mejores condiciones de desarrollo productivo, aprovechamiento por autoconsumo, servicios y vías de acceso, haciéndolos compatibles con las actividades de conservación y regeneración del medio.

Política zona de explotación prohibida

Se definió bajo el uso prioritario de conservación y rehabilitación de aquellas zonas con superficies vegetales que no hayan sido modificadas, o estar incluidas en algún perímetro de protección delimitados, legalmente vinculante y de cumplimiento obligatorio, hacia la porción sureste se colinda con el Área Natural Protegida denominada Área de Protección de Flora y Fauna, Cerro Mohinora y lo descrito por las UBA's 91 y 92 del POEGT, adicionalmente se consideraron los lineamientos legalmente no vinculantes pero que cuentan con reconocimiento internacional, en materia de conservación como los Sitios Ramsar, AICAS, las Regiones Terrestres e Hidrológicas Prioritarias y el Mapa de vacíos y omisiones de la CONABIO, no encontrando regionalizaciones o zonificaciones dentro o en las inmediaciones del área de estudio.

Política zona de explotación vedada

Se definieron bajo el principio de exclusión de actividades, representando aquellas zonas en las que no es recomendable, la puesta en marcha de cualquier actividad; asentamientos humanos, actividades productivas y actividades de explotación de recursos naturales renovables y no renovables, por su incompatibilidad con las condiciones riesgosas del terreno y/o a la alta conservación natural del medio, busca asegurar que no se desarrollen actividades que pudieran ocasionar riesgos a la población o al desarrollo de actividades productivas.

Resultados

Aplicando el Metodo propuesto PlanMin, se generó un Modelo de Vocación Minera, y a través del mismo, el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental con 46 Unidades Minero-Ambientales, que definen las zonas, en las que no es aconsejable las actividades de explotación minera directa por el alto riesgo probable, ni en zonas donde existe una alta conservación del medio, además de distinguir zonas para asentamientos humanos cualquiera que sea su uso.

Se propusieron 147 Criterios Ecológicos, encaminados a la minimización de las perturbaciones e impactos ambientales que las obras de explotación minera y sus actividades auxiliares, a través de la generación del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental de la Asignación "Dolores", que sirva como guía para contestar la pregunta ¿Donde? localizar los asentamientos humanos cualquiera que sea su uso, en superficies que hayan sido modificadas previamente por el hombre o su Índice de Conservación Ecológico sea medio y tomar las consideraciones por la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno geológico por subsidencia, las siete Políticas de Regulación Ecológica, constituyeron los razonamientos para que en todos los casos, sobre las superficies de las Unidades Minero-Ambientales se definieran los criterios.

Discusión

Castilla-Herrera (2014), proponen una metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental, creado para el sector minero, modelando los impactos ambientales de un proyecto, basado en el ciclo de vida y el comportamiento dinámico de los impacto ambientales, para finalmente ponderar el efecto ambiental acumulativo en general, el objeto principal del método, radica en que al finalizar la ponderación de los criterios establecidos, llega a un Índice de Impacto Ambiental Acumulativo, los criterios descritos fueron de utilidad debido a que enumeraron los puntos de mayor sensibilidad en la valoración ambiental, tanto en los factores medioambientales evaluados, como en las actividades mineras más críticas.

Jiang-Liu (2009) haciendo relaciones espacio-tiempo definieron las actividades mineras del uso del suelo en cinco tipos: uso para asentamientos, uso debido a hundimiento, el espacio para presas de jales, el suelo utilizado para diversos fines y el suelo para la explotación minera directa. Desde el punto de vista de los dos últimos usos, mencionan que hay ciertas insuficiencias en la teoría de planificación existente, métodos y sistema de planificación. Destacan que existen regulaciones acerca del uso del suelo para otras actividades productivas, como la agricultura, turismo, industria, etc., condiciones legislativas en materia ambiental que presenta México.

Lo aquí presentado es una propuesta metodológica, existen muchos y distintos parámetros para elaborar el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, por lo que con los mismos atributos se pueden obtener muchas subclasificaciones considerando razonable la propuesta de la estructura metodológica seguida para aplicarse en otros lotes mineros.

Resulta fundamental expresar que la propuesta metodológica aquí desarrollada se basó en el uso de la cartografía digital de elevación, líneas de elevación a 20 m de INEGI, imágenes lidar, imágenes Landsat 8 y Sentinel 2, insumos de descarga y uso libre, para el desarrollo de parámetros, por lo que se prevé será relativamente fácil seguirla pero laboriosa en su generación, el rigor del trabajo dependerá de la existencia de la información detallada, así como el capital intelectual y el tiempo.

Conclusiones

La metodología propuesta para generar el Modelo de Ordenación Minero Ambiental permite ser aplicado a otros lotes mineros cuyo método de explotación sea minado subterráneo y se localice en zonas muy abruptas, el resultado obtenido es una primera prueba en la valoración del territorio para distinguir las áreas con vocación específica para las diferentes actividades involucradas en el proceso minero, de manera eficiente, minimizando la probabilidad de ocurrencia de riesgos por subsidencia y con un enfoque de asimilación ambiental y no prohibitivo para las actividades mineras.

El método propuesto tiene como finalidad, ahorrar tiempo y recursos, ofreciendo un panorama de la distribución de las áreas en función de las condiciones naturales y de las necesidades del proceso minero, dando cumplimiento con los requerimientos de la normatividad ambiental aplicable a cada obra o actividad.

En general, la evaluación basada en el Proceso Analítico Jerárquico y los Sistemas de Información Geográfica, es de gran valor para la planificación, formulación y ejecución de las políticas y criterios de regulación ecológica enfocada a una explotación de los recursos minerales sustentable y sostenible, siendo herramientas fundamentales para la generación del Modelo de Vocación Minera y el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental.

Agradecimientos

Al Servicio Geológico Mexicano por el apoyo brindado a través del Programa de Formación y Desarrollo del Recurso Humano, así como la información geológica-minera que dispone la institución, a los directivos, asesor interno y compañeros que brindaron comentarios para el presente trabajo. Agradezco el apoyo y asesoría de maestros del Posgrado en el Instituto Politécnico Nacional para la realización del trabajo.

In Memoriam del Dr. José María Ramos Rodríguez. Se extrañaran, tus siempre atinadas observaciones y apoyo; amigo, compañero y maestro, gracias por compartir tu estancia, en la Tierra, con nosotros.

Referencias bibliográficas

- Aceves, F., Legorreta G., Álvarez Y. (2014) Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **66**(2), 329-342.
- Arranz González J.C. (2008) Los proyectos de Ordenación Minero-Ambiental realizados por el IGME, *Seminario: Evaluación y recuperación ambiental de espacios mineros, pasivos ambientales mineros*, Centro de Formación de la AECID, Santa Cruz de la Sierra Bolivia.
- Castilla-Gómez J. y Herrera-Herbert J. (2015) Environmental analysis of mining operations: Dynamic tolls for impact assessment, *Minerals Engineering Journal*, **76**, 87-96.
- Sheng, J., Li-zhong, L.. (2009) Discussion on theory and methods of land-use planning in mining area, *Procedia Earth and Planetary Science*, **1**(1), 956-962. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.148>
- Lugo-Hubb, J. (1988) El Relieve de la República Mexicana, *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, **9**(1), 82-111.