



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



CARRERA DE BIOLOGÍA

Desarrollo de una propuesta metodológica para la evaluación de los  
impactos ambientales en proyectos de exploración y explotación de  
minerales en México

AREA ESPECÍFICA: CIENCIAS AMBIENTALES.

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

TONATIUH GONZÁLEZ AGUADO

DIRECTORA DE TESIS: BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA

Laboratorio de Proyectos Ambientales

México, D. F. 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO.

	<i>Pág.</i>
<i>Resumen</i>	5
<i>Introducción</i>	6
<i>Capítulo 1.- Marco Teórico</i>	7
<i>1.1 Capital Natural de México</i>	7
<i>1.2 Deterioro Ambiental</i>	7
<i>1.2.1 Contaminación hídrica</i>	9
<i>1.2.2 Contaminación del suelo</i>	10
<i>1.2.3 Contaminación Atmosférica</i>	11
<i>1.3 Hábitat</i>	12
<i>1.4 Minería en México</i>	12
<i>1.5 Tipos de exploración y explotación de minerales</i>	13
<i>1.5.1 Minería a tajo abierto</i>	13
<i>1.5.2 Minería aluvial</i>	13
<i>1.5.3 Minería subterránea</i>	13
<i>1.5.4 Reprocesamiento de minas inactivas y relaves</i>	13
<i>1.6 Deterioro ambiental por la industria minera</i>	14
<i>1.7 Organismos que regulan la industria de la minería</i>	14
<i>1.8 Instrumentos Ambientales Jurídicos que regulan la industria minera</i>	15
<i>1.9 Evaluación del Impacto Ambiental</i>	17
<i>1.9.1 Impacto ambiental</i>	17
<i>1.9.2 Manifestación de Impacto Ambiental (MIA)</i>	17
<i>1.9.2.1 Capítulos de la Manifestación de Impacto Ambiental</i>	20
<i>1.9.3 Metodologías en Impacto Ambiental</i>	23
<i>1.9.3.1 Lista de Chequeo</i>	23
<i>1.9.3.2 Método de la Matriz de Leopold</i>	24
<i>1.9.3.3 Método de Batelle-Columbus</i>	25
<i>1.9.3.4 Método de Índice de Significancia (Bojórquez-Tapia)</i>	26
<i>1.9.3.5 Método de Lógica Difusa</i>	28
<i>1.9.3.6 Método de Conesa Simplificado</i>	30
<i>1.9.3.7 Análisis Multicriterio</i>	34
<i>Capítulo 2.- Método</i>	37
<i>2.1 Justificación</i>	37
<i>2.2 Objetivos</i>	37
<i>2.2.1 Objetivo General</i>	37
<i>2.2.2 Objetivos Particulares</i>	37
<i>2.3 Procedimiento</i>	38

<b>Capítulo 3.- Resultados y análisis</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Unidad Minera Cerro de San Pedro</b>	<b>40</b>
3.1.1 Revaloración de Matriz de Leopold que la unidad minera propone	45
3.1.2 Aplicación de Método Conesa simplificado	49
3.1.3 Aplicación de Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia	50
3.1.4 Resultado y Análisis de Lógica Difusa	53
<b>3.2 Unidad minera Los Cardones.</b>	<b>59</b>
3.2.1 Matriz de Leopold Propuesta para la Unidad Minera los Cardones	63
3.2.2 Aplicación de Método Conesa simplificado	69
3.2.3 Aplicación de Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia	70
3.2.4 Resultado y Análisis de Lógica Difusa	73
<b>Conclusiones</b>	<b>81</b>
<b>Literatura Citada</b>	<b>83</b>

### *Índice de figuras*

	<i>Pág.</i>
<b>Figura 1.</b> Dependencias que regulan la Industria Minera en México.	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b> Panorámica actual (2011) Minera Cerro de San Pedro, tomada de la MIA presenta por la empresa Minera San Xavier S.A. de C.V.	<b>44</b>
<b>Figura 3.</b> Atributos de la provincia fisiográfica para delimitar el SAR.	<b>60</b>

### *Índice de tablas*

<b>Tabla 1.</b> Balance y flujos de Recursos Naturales, 2006 y 2010 en México.	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Escala de criterios de valoración del método Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia.	<b>27</b>
<b>Tabla 3.</b> Significado de los criterios de valoración para las Evaluación de Impacto Ambiental en Metodología CONESA Simplificado.	<b>32</b>
<b>Tabla 3.1.</b> Rangos para el cálculo de Importancia del impacto ambiental en Metodología de Conesa.	<b>33</b>
<b>Tabla 4.</b> Títulos de Concesión de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, autorizados por CONAGUA desde 1999 hasta 2005 en Unidad Minera Cerro de San Pedro.	<b>41</b>
<b>Tabla 5.</b> Metodologías utilizadas para la evaluación de los impactos ambientales en la unidad minera Cerro de San Pedro.	<b>43</b>
<b>Tabla 6.</b> Información de la manifestación de impacto ambiental Unidad Minera Cerro de San Pedro.	<b>45</b>
<b>Tabla 6.1.</b> Matriz de Leopold propuesta para la Unidad Minera Cerro de San Pedro.	<b>46</b>
<b>Tabla 6.2.</b> Valoración de impactos ambientales con método Conesa simplificado.	<b>49</b>
<b>Tabla 6.3.</b> Valoración de impactos ambientales con método de Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia.	<b>51</b>

<b>Tabla 6.3.1.</b> Resultado de Índice de Significancia de cada impacto valorado.	<b>52</b>
<b>Tabla 6.4.</b> Proyecto Cerro de San Pedro (Lógica Difusa).	<b>53</b>
<b>Tabla 6.4.1.</b> Comportamiento de la Matriz de Impactos de Importancia media en Proyecto Cerro de San Pedro.	<b>53</b>
<b>Tabla 6.4.2.</b> Minera Cerro de San Pedro.	<b>54</b>
<b>Tabla 6.4.3.</b> Matriz de Importancia Absoluta del Factor Ambiental contra las Etapas en Minera Cerro de San Pedro.	<b>55</b>
<b>Tabla 6.4.4.</b> Proyecto Minera Cerro de San Pedro.	<b>55</b>
<b>Tabla 6.4.5.</b> Proyecto Minera Cerro de San Pedro.	<b>56</b>
<b>Tabla 6.4.6.</b> Minera Cerro de San Pedro.	<b>56</b>
<b>Tabla 6.4.7.</b> Minera Cerro de San Pedro.	<b>57</b>
<b>Tabla 6.4.8.</b> Calidad Ambiental a partir de los Impactos Ambientales de la Minera Cerro de San Pedro.	<b>57</b>
<b>Tabla 6.4.9.</b> Calidad Ambiental Neta en Minera Cerro de San Pedro.	<b>58</b>
<b>Tabla 6.4.10.</b> Impactos Difusos del Entorno en Minera Cerro de San Pedro.	<b>58</b>
<b>Tabla 6.4.11.</b> Comportamiento del Valor de los impactos en la Minera Cerro de San Pedro.	<b>59</b>
<b>Tabla 7.</b> Información de la manifestación de impacto ambiental de la Unidad Minera Los Cardones.	<b>62</b>
<b>Tabla 7.1.</b> Matriz de Leopold propuesta para la Unidad Minera Los Cardones.	<b>64</b>
<b>Tabla 7.2.</b> Valoración de impactos ambientales con método Conesa simplificado.	<b>69</b>
<b>Tabla 7.3.</b> Valoración de impactos ambientales en Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia.	<b>71</b>
<b>Tabla 7.3.1.-</b> Resultado del índice de significancia de cada impacto evaluado.	<b>72</b>
<b>Tabla 7.4.</b> Proyecto Los Cardones (Lógica Difusa).	<b>73</b>
<b>Tabla 7.4.1.</b> Matriz de comportamiento de Importancia Media del os Impactos de Minera Los Cardones.	<b>74</b>
<b>Tabla 7.4.2.</b> Minera Los Cardones.	<b>74</b>
<b>Tabla 7.4.3.</b> Matriz del Comportamiento de la Importancia Relativa al Entorno en la Minera Los Cardones.	<b>75</b>
<b>Tabla 7.4.4.</b> Importancia Absoluta del Sistema Ambiental y las Etapas de la Minera Los Cardones.	<b>75</b>
<b>Tabla 7.4.5.</b> Importancia Media Ponderada del Sistema Ambiental y las Etapas de la Minera Los Cardones.	<b>76</b>
<b>Tabla 7.4.6.</b> Calidad Ambiental con los Impactos de Minera Los Cardones.	<b>76</b>
<b>Tabla 7.4.7.</b> Comportamiento de la Calidad Ambiental con los Impactos de Minera Los Cardones.	<b>77</b>
<b>Tabla 7.4.8.</b> Calidad Ambiental Neta de Minera Cerro de San Pedro.	<b>77</b>
<b>Tabla 7.4.9.</b> Valor de los Impactos difusos del Entorno de Minera Los Cardones.	<b>78</b>

## ***RESUMEN.***

La evaluación de Impacto Ambiental es un Instrumento de Política Ambiental que prevé el deterioro de la calidad del ambiente bajo una metodología que utiliza para evaluar los proyectos productivos y de desarrollo, entre ellos los de actividad minera. En el presente trabajo se desarrolló una propuesta metodológica para la evaluación de los impactos ambientales en proyectos de exploración y explotación de minerales en México, casos: Unidad Minera Cerro de San Pedro y Unidad Minera Los Cardones, para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva de información sobre las dos manifestaciones de Impacto Ambiental de los casos mencionados, con resolutive favorable otorgado por la SEMARNAT. En ambas manifestaciones se aplicó los métodos Conesa Simplificado, Índice de Significancia y Lógica Difusa, para conocer si con uno o más de estos es posible obtener los impactos significativos, acumulativos y residuales, que solicita la LGEEPA.

El método Conesa para la Unidad Minera Cerro de San Pedro permitió identificar las actividades que generaron los impactos significativos, que fueron, el minado, la extracción de agua subterránea y la generación y manejo de residuos peligrosos. Para el proyecto Los Cardones las actividades que generaron los impactos significativos fueron; el despalme, la operación de la presa de jales, procesado mineral, trituración, molienda, cianuración, lavado, reciclaje, productos, el tajo y tepetateras y el paisaje. Respecto del Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia, para la Unidad Minera Cerro de San Pedro las actividades con impactos significativos son; el minado, la extracción de agua subterránea y la generación y manejo de residuos peligrosos; en el caso de Los Cardones son el desmonte de áreas, el despalme afectando al relieve y la operación de presa de jales que afecta la hidrología subterránea.

A partir de los resultados obtenidos con los métodos de Conesa y Significancia se procedió a aplicar del método Lógica Difusa, integra variables lingüísticas y numéricas, lo que disminuye sustancialmente el grado de incertidumbre y subjetividad al evaluar los impactos ambientales. El proyecto Cerro de San Pedro, las actividades con mayor importancia fueron la estabilidad geológica producida por el minado, el aprovechamiento de agua subterránea y el aporte de contaminantes al suelo producido por jales mineros. Para el proyecto Los Cardones las actividades con mayor importancia fueron el despalme, que afecta a la calidad del suelo, el relieve y la erosión, la operación de la presa de jales afecta la hidrología subterránea y geohidrología, el procesado de mineral que genera gases contaminantes también afecta la geohidrología, además del tajo, las tepetateras y la calidad del paisaje. El Valor Ambiental Total Difuso del Entorno para los dos proyectos indica que el sistema ambiental no cambiaría significativamente, debido a su resiliencia y a la aplicación de todas las medidas de mitigación que se proponen en el estudio, además de las que la autoridad establezca para los proyectos.

Es necesaria la implementación de métodos especializados para la valoración de los impactos ambientales, así como la calidad ambiental de entorno local y regional. Lógica Difusa permite obtener ambas condiciones.

## ***INTRODUCCIÓN***

En el territorio Mexicano concurren dos grandes zonas biogeográficas; la Neártica y la Neotropical, confiriendo por un lado la representación de especies de zonas templadas del mundo y por el otro elementos de zona tropical provenientes de la Cuenca Amazónica. En México se encuentran casi todos los climas del planeta, junto con su topografía y compleja geología permite que se desarrollen casi todos los ecosistemas terrestres, concentrados en poco menos de dos millones de kilómetros cuadrados (Sarukhán *et al.*, 2009: 10). Cerca de dos terceras partes de la biodiversidad mundial se concentra en poco más de una docena de países conocidos como mega diversos, México se encuentra en esa lista, que lo coloca como la cuarta nación en cuanto a riqueza de especies (Sarukhán *et al.*, 2009: 9).

En tan solo unos años se ha experimentado un alto deterioro en los ecosistemas del país, la extracción de minerales y su transformación, tanto de la mina como en las plantas de procesamiento, contamina el suelo, agua superficial y subterránea y atmósfera (Durán, 1990: 66), sobre todo cuando el proceso se realiza a cielo abierto. Esto exige una planeación ambiental que regule los impactos ambientales derivados de las obras y actividades de exploración, explotación y beneficios de minerales, por lo que es de suma importancia establecer métodos que permitan identificar, evaluar y determinar los impactos ambientales significativos.

Las actividades mineras juegan un papel central en el desarrollo económico, se constituyen como uno de los ejes básicos de articulación de sus relaciones con los entornos natural y social; sus impactos ambientales, sociales y a la salud humana, destacan no solo por ser cuantitativos sino también por ser cualitativos agresivamente en el tiempo y espacio (Delgado, 2010: 10).

México cuenta con Leyes, como la General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) para regular diferentes obras y actividades, que impacten al medio ambiente que responsabilizan a la federación; según el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental, la exploración y explotación de beneficios minerales necesitan ser sometidas a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Sarukhán, *et al.*, 2009: 10). Para el desarrollo de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), se cuenta con varios métodos, tales como; métodos “ad hoc”, técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones, listas de chequeo, matrices, índice de significancia y lógica difusa, entre otros; Cada uno con sus ventajas y escenarios de oportunidad. Sin embargo, existen métodos más robustos que pueden fortalecer la identificación y evaluación de los IA para mitigar y compensar el daño ambiental eficazmente, sin la necesidad de frenar el progreso económico y social, aunado a un buen manejo de los recursos naturales involucrados en este tipo de proyectos.

## **Capítulo 1.- Marco Teórico.**

### *1.1 Capital Natural de México.*

En México se encuentra de manera general ecosistemas naturales como: selvas, bosques, manglares, arrecifes, etc. y los ecosistemas antropizados como los campos agrícolas, forestales, de acuicultura, entre otros, todos estos en conjunto y su variación genética es a lo que se le llama biodiversidad (Sarukhán *et al.*, 2009: 10).

“El propósito del capital natural de México ha sido adelantar el nivel de conocimiento acerca del patrimonio natural nacional; transitar de la definición de problemas al planteamiento y diseño de soluciones, y pasar de la reacción ante los problemas a la anticipación de los mismos” (Sarukhán *et al.*, 2009: 14).

Los procesos de deterioro continúan. Peor aún, los impactos más graves podrían estar por ocurrir. Es probable que en muchos aspectos ya se esté rebasando los umbrales de estabilidad de diversos ecosistemas y se enfrente lo ante posible cambios abruptos, no lineales, inducidos por los mayores grados de vulnerabilidad catalizados por fenómenos globales, particularmente el cambio climático (Sarukhán *et al.*, 2009: 96).

A pesar de eso la naturaleza cuenta con un sistema de amortiguamiento que le ayuda a resistir los cambios bruscos en el ambiente llamado resiliencia que por concepto “*Se conoce como la elasticidad de los ecosistemas y/o comunidades a la capacidad que tienen las especies que forman parte de éstos, de regresar al estado original después de que se ha producido un cambio debido a perturbaciones naturales o por actividades humanas*”; sin embargo, con el paso del tiempo le será imposible a un ecosistema recuperarse con todos los impactos acumulativos que se generen, por lo que es importante tener en cuenta que los recursos naturales no son eternos (Cuevas, 2010: 2).

### *1.2 Deterioro Ambiental.*

La sociedad interactúa de forma dinámica con los ecosistemas que se presentan en el territorio nacional, lo que da lugar a distintos beneficios o servicios ecosistémicos. Estos servicios incluyen los de provisión, los de regulación, los culturales, y los de sustento (Balvanera y Cotler, 2009: 187).

Los servicios ambientales son los que brindan alimentos, agua, madera, fibras. Estos servicios proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas; para los servicios de regulación se incluyen la regulación climática, la regulación de los vectores de enfermedades y la regulación de la erosión de los suelos, entre otros; los culturales como beneficios espirituales, recreativos o educacionales que brindan los ecosistemas se consideran en esta categoría y por último los de sustento siendo procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de los anteriores servicios ecosistémicos. Entre estos servicios se encuentran la productividad primaria, que es la conversión de energía lumínica en tejido vegetal, y el mantenimiento de la biodiversidad (Balvanera y Cotler, 2009: 188).

México presenta un caso particular donde se combinan, por un lado, la elevada diversidad biológica y cultural de nuestro país, y por otro, un profundo deterioro de los sistemas que albergan la biodiversidad, con consecuencias negativas para la población humana (Balvanera y Cotler, 2009: 187).

En la tabla 1 se puede observar a partir del balance y flujo de los recursos naturales, los aspectos del agotamiento como los correspondientes a la degradación, en el cual se observan las tasas del deterioro ambiental medido en unidades físicas. México contribuye con alrededor de 1.6% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que lo ubica en la posición 13 de los países emisores (Ramírez, (s.f)).

**Tabla 1. Balances y flujos de los recursos naturales, 2006 y 2010**

Recursos	Unidad de medida	2006	2010	TMCA <sup>a</sup>	Observaciones
Forestal (Existencia de bosques)	Miles de m <sup>3</sup> de madera en rollo	2'328,369	2'270,885	-0.6	Balance apertura+/- Cambios =Balance de cierre
Hidrocarburos (Reservas totales)	Millones de barriles	45,376	43,072	-1.3	Balance apertura+/- Cambios =Balance de cierre
Agua subterránea (Sobreexplotación)	Millones de m <sup>3</sup>	5,961	5,558	-1.7	Flujo
Contaminación del aire (Emisiones)	Toneladas	19'162,123	18'816,775	-0.5	Flujo
Contaminación del suelo por Residuos Sólidos Urbanos	Toneladas	39'871,615	43'689,334	2.3	Flujo
Contaminación del agua (Descargas de agua residual no tratadas)	Millones de m <sup>3</sup>	12,601	17,975	9.3	Flujo
Degradación del suelo (Superficie afectada)	Hectáreas	73'359,530	74'270,821	0.3	Flujo

<sup>a</sup> Tasa media de crecimiento anual

Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México, 2006-2010.

Una de las actividades que mayor impacto causa en la degradación de los recursos naturales es la exploración y explotación de minerales, contamina desde los cuerpos hídricos superficiales, el suelo y la atmósfera.

### 1.2.1 Contaminación hídrica.

El agua es un elemento esencial en la producción agropecuaria, porcícola y avícola; así como en procesos industriales; por lo cual, debe cumplir con parámetros de calidad; para ser consumida por seres vivos, requiere estar libre de elementos tóxicos que pueden acumularse en los tejidos y fluidos de los animales y plantas de granja, convirtiéndose en productos alimenticios nocivos (Tobón *et al.*, 2010: 301).

La alteración del hábitat, los efectos en la salud humana, la eutrofización, la disminución de las poblaciones de peces y otros recursos vivos, cambios en el flujo de sedimentos, son aspectos relacionados a las fuentes fijas y difusas de la contaminación producida por actividades que tienen lugar en tierra y que por el efecto de captación de agua que tienen las cuencas hidrográficas, generan efectos en las desembocaduras de los ríos en el mar y las zonas costeras aledañas (Escobar, 2002: 10).

Hay diferentes fuentes de contaminación de agua; desde residuos explosivos, químicos, combustibles, residuos de laboratorio, drenajes, herbicidas y pesticidas entre otros;

El principal problema relacionado con la contaminación de las aguas continentales por las descargas mineras corresponde a las emisiones ácidas y a la falta de tratamientos adecuados para estos derrames (Escobar y Barg, 1990: 16).

El drenaje ácido y la lixiviación contaminante es la fuente más importante de impactos en la calidad de agua relacionadas con la minería metálica. El lixiviado de compuestos tóxicos como el arsénico, selenio y otros metales puede ocurrir aun en ausencia de condiciones ácidas (ELAW, 2010: 9).

El agua en la minería es de suma importancia, ya que en el proceso se requieren cantidades considerables; hay proyectos mineros que no se pueden desarrollar por falta de este recurso.

### *1.2.2 Contaminación del suelo.*

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación y de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable. Este recurso se utiliza para fines muy diversos como la agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las edificaciones, eliminación de residuos y actividades de ocio y recreo, entre otros (Silva y Correa, 2009: 15).

Su capacidad de almacenaje, filtración, amortiguación y transformación lo convierte en uno de los principales factores para la protección del agua y el intercambio de gases con la atmósfera. Se puede decir que un suelo está contaminado, cuando las características físicas, químicas o biológicas originales han sido alteradas de manera negativa, debido a la presencia de componentes de carácter peligroso para ese ecosistema (Silva y Correa, 2009: 16-18).

La erosión causada por la exposición de suelos, extracción de minerales, relaves y materiales finos que se encuentran en las pilas de desechos puede ser resultado por el aumento de la carga de sedimentos en las aguas superficiales y drenajes. Además, los

derrames y vertidos de materiales tóxicos y la sedimentación de polvo contaminado pueden causar la contaminación de suelos (ELAW, 2010: 16).

Los impactos sobre el suelo se pueden ordenar en suelos contaminados por partículas arrastradas por el viento y por derrames de compuestos químicos y residuos (Silva y Correa, 2009: 15-16).

### *1.2.3. Contaminación atmosférica.*

La contaminación del aire es actualmente uno de los más grandes problemas ambientales a nivel mundial. Presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre (Romero *et al.*, 2006: 2).

Entre los proyectos que mayor contaminación y daño generan al ambiente se encuentran, los parques industriales, termoeléctricos, industria relacionada con los químicos y agroquímicos, los alimentos, petroindustrias, mineras, entre otras.

Entre los daños que produce la minería a la atmósfera se encuentran; el material particulado transportado por el viento procedente de las excavaciones, el transporte de los materiales y la erosión eólica, las emisiones de gases de escape de las fuentes móviles, como puede ser maquinaria pesada, vehículos, etc., y las emisiones gaseosas de quema de combustible y procesamiento de minerales (ELAW, 2010: 13).

Un ejemplo de contaminación agresiva es de la extracción de carbón con explosivos estos forman tapones de gas que circulan alrededor de la mina formando gases nocivos como el CO y CO<sub>2</sub>; aldehídos, vapores nitrosos y en especial polvo.

Asimismo la contaminación atmosférica provocada por la minería subterránea se debe a la descarga de los ventiladores situados en los pozos de retorno siendo los contaminantes los polvos y subproductos de las explosiones, basta decir que en las minas modernas se alcanzan cifras del orden de 400,000 m<sup>3</sup>/d de aire expulsado, en cada metro cúbico la cantidad que se arroja a la atmósfera es de suma importancia (Jiménez, 2001:628).

### *1.3 Hábitat.*

Las especies silvestres viven en comunidades interdependientes. La supervivencia de estas comunidades depende de diversos factores tales como las condiciones de suelo, clima local, altitud, entre otros.

La minería causa daños directos e indirectos en la vida silvestre. Los impactos parten principalmente de la perturbación, remoción y redistribución de superficie de terreno. Algunos impactos son a corto plazo y cercanos de donde está la mina, otros pueden de ser de mayor alcance y a largo plazo.

Los efectos más directos son la destrucción o desplazamiento de especies en áreas excavadas y en los depósitos de desechos mineros. Las especies silvestres terrestres móviles como los animales de caza, aves y predadores deben dejar estas áreas. Muchos animales con menor capacidad de movilizarse como los invertebrados, reptiles y vertebrados pequeños se ven afectados severamente (ELAW, 2010: 15).

### *1.4 Minería en México.*

A lo largo de la historia esta actividad ha desempeñado un papel muy importante, remontándose desde la época prehispánica, con la producción de joyas y objetos artísticos y otras herramientas para agricultura, pesca, caza entre otras. En la historia del México moderno, la minería ha jugado el mismo papel. Como ejemplos de épocas más recientes, la industria minera figuró entre los antecedentes que desencadenaron la Revolución Mexicana (Estrada, 2001:2).

Durante la segunda mitad del siglo XVI Zacatecas se convirtió en punto de partida de todas las expediciones hacia el norte; en la independencia la minera llegó a su nivel más bajo de explotación, tan solo funcionaban las minas de plata de alta ley de mena y las minas más importantes eran las de Zacatecas, Guanajuato, Real del Monte y Real del catorce; entre 1850 y 1876 Zacatecas produjo el 20% del volumen total nacional, Guanajuato el 18%, Hidalgo el 16% y San Luis Potosí el 11% (Coll-H *et al.*, 2002:31,35).

## *1.5 Tipos de exploración y explotación de minerales.*

### *1.5.1 Minería a tajo abierto.*

Es un tipo de minería superficial en la cual el mineral metálico se extiende muy profundamente en el suelo, demanda la remoción de capas de excedente y mineral. Debido a que la minería a tajo abierto frecuentemente comprende la remoción de áreas con vegetación nativa, es uno de los tipos de minería más destructivos ambientalmente (ELAW, 2010: 4).

### *1.5.2 Minería aluvial.*

Esta comprende una acumulación de mineral valioso que se encuentra depositado con sedimentos en el lecho de una corriente de agua o en una zona inundable. Este es un tipo de minería ambientalmente destructiva, liberando grandes cantidades de sedimento, y puede impactar las aguas superficiales a lo largo de muchos kilómetros de distancia del lugar de la mina.

### *1.5.3 Minería subterránea.*

En la minería subterránea el acceso al depósito de mineral se logra mediante un túnel. Se retira una cantidad mínima de material sobrecapa o excedente para tener acceso al yacimiento de mineral. Esta es menos destructiva al acceder al yacimiento de mineral, pero por lo general es más costosa y conlleva riesgos a la seguridad mucho más grandes que la minería superficial, incluyendo la minería a tajo abierto.

### *1.5.4 Reprocesamiento en minas inactivas y relaves.*

Algunos proyectos mineros comprenden el reinicio de la extracción de minerales a partir de depósitos de desechos de las minas inactivas o abandonadas, o de depósitos antiguos. Los proyectos mineros que sólo comprenden volver a procesar los depósitos de desechos mineros abandonados evaden los impactos ambientales que causa la minería superficial, minería a tajo abierto, pero aun conllevan impactos ambientales asociados al procesamiento de los metales que se encuentran en los depósitos de desechos (ELAW, 2010: 4).

### 1.6 Deterioro ambiental por la industria minera.

Los proyectos mineros se diferencian por el tipo de metales o materiales que se extraen de la tierra, como el cobre, níquel, cobalto, oro, plata, plomo, zinc, molibdeno y platino (ELAW, 2010: 3).

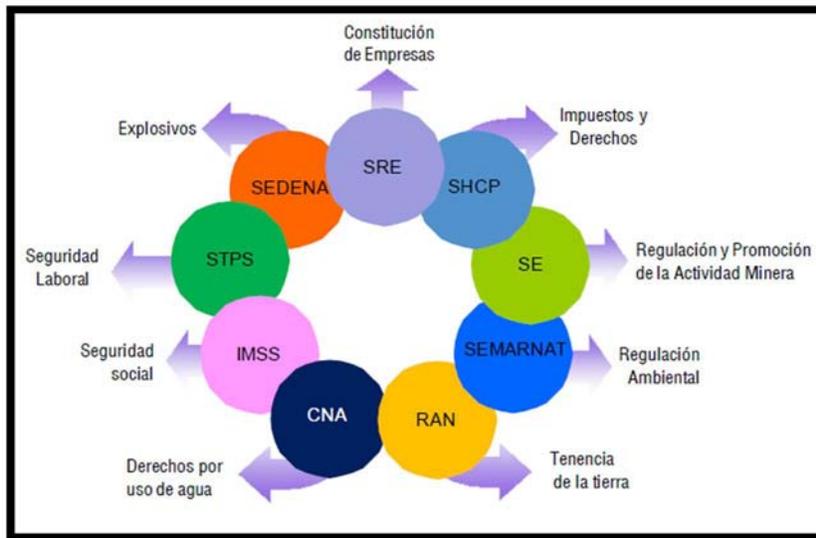
Los impactos más importantes de la minería se presentan en los recursos hídricos; el drenaje ácido de minas y lixiviados siendo la fuente más importante de impactos adversos en la calidad de agua que vierte la industria de exploración y explotación de minerales (ELAW, 2010: 9).

La minería a gran escala potencialmente puede contribuir a la contaminación de la atmósfera, más en la etapa de operación. Las actividades de extracción del mineral, procesamiento, manipulación y transporte dependerán del equipo y de qué tipo de energía utilice lo cual puede generar contaminantes atmosféricos peligrosos, como material particulado, metales pesados, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (ELAW, 2010: 13).

### 1.7 Organismos que regulan la industria de la minería.

La regulación de la actividad minera está a cargo principalmente de nueve dependencias:

Figura 1.- Dependencias que regulan la Industria Minera en México.



Fuente: Secretaría de Economía, 2013.

Las principales encargadas en la parte medio ambiental son el Servicio Geológico Mexicano (SGM) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). El SGM, tiene como principal objetivo, proporcionar a los diferentes usuarios la información y conocimiento de las variadas especialidades de ciencias de la tierra y sus recursos beneficiando las áreas de investigación y planeación futura de proyectos; ofreciendo como servicio importante la Geología Ambiental asumiendo este un compromiso en la preservación del medio ambiente natural, realizando convenios para la realización de trabajos de: Impacto ambiental, Uso de suelo, Áreas Naturales Protegidas, etc. (Secretaría de Economía, 2013: 15-16).

La SEMARNAT establece las condiciones para la realización de obras y actividades que puedan llegar a causar un desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones que se establecen en las disposiciones que se aplican para proteger el medio ambiente, lo cual esté asentado en la LGEEPA en su artículo 28. Menciona de igual manera, que cuando el proyecto ha pasado a fase de explotación, el promovente del proyecto debe integrar una Manifestación de Impacto Ambiental, que dependiendo de la naturaleza del proyecto puede requerir un Estudio de Riesgo (Secretaría de Economía, 2013: 17).

#### *1.8 Instrumentos Ambientales Jurídicos que regulan la industria minera.*

México cuenta con la LGEEPA para la regulación de actividades que impliquen un daño o deterioro ambiental, la cual menciona en el Capítulo 1, Artículo 5; que son facultades de la federación; *“La regulación de las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficio de los minerales, substancias y demás recursos del subsuelo que corresponden a la nación, en lo relativo a los efectos que dichas actividades puedan generar sobre el equilibrio ecológico y el ambiente;”*

De igual manera en el Título primero, capítulo IV, sección V, el artículo 28 en su párrafo III de la LGEEPA en lo que corresponde a la Evaluación de Impacto Ambiental; hace alusión a que proyectos como la minería tienen que ser sometidos a una Manifestación de Impacto Ambiental y presentada a la Secretaría Responsable para la acreditación de dicho proyecto.

*“III.- Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de las Leyes Minera y Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear” (LGEEPA, 2012:23)*

Como complemento a la LGEEPA existe el Reglamento en Materia Evaluación de Impacto Ambiental, en su capítulo II, el **Artículo 5° en el inciso “L” sostiene que** quienes pretendan llevar a cabo alguno de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

*“L) Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la federación:*

*1. Obras para la explotación de minerales y sustancias reservadas a la federación, así como su infraestructura de apoyo;*

*II. Obras de exploración, excluyendo las de prospección gravimétrica, geológica superficial, geoelectrica, magnetotelúrica, de susceptibilidad magnética y densidad, así como las obras de barrenación, de zanjeo y exposición de rocas, siempre que se realicen en zonas agrícolas, ganaderas o eriales y en zonas con climas secos o templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinares, ubicadas fuera de las áreas naturales protegidas, y*

*III. Beneficio de minerales y disposición final de sus residuos en presas de jales, excluyendo las plantas de beneficio que no utilicen sustancias consideradas como peligrosas y el relleno hidráulico de obras mineras subterráneas” (RLGEEPA, 2014:3-4).*

Dentro de los Instrumentos de Política Ambiental, la Evaluación de Impacto Ambiental es el instrumento por excelencia, para analizar el tema; ya que innumerables países han incorporado a sus respectivas legislaciones éste, con el objetivo de prevenir e identificar las consecuencias de ciertas obras y actividades sobre el medio ambiente y de esta manera prevenir, mitigar o restaurar daños ambientales (CEMDA, 2009:47-48).

## *1.9 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).*

### *1.9.1 Impacto Ambiental (IA).*

El impacto de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación, es decir, la alteración neta (positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano) resultante de una actuación (Conesa F. V., 1993:6).

El significado manifestado en la LGEEPA escrito en su Título primero, Capítulo I, Artículo 3° Fracción XX dice que;

***“XX.- Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza;”***

La evaluación del impacto ambiental es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite planificar opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. A lo largo de las dos últimas décadas ha logrado constituirse en una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y a los recursos renovables del país y ha evolucionado con el propósito de garantizar un enfoque preventivo que ofrezca certeza pública acerca de la viabilidad ambiental de diversos proyectos de desarrollo (INE, 2000:5).

Para ello es necesario desarrollar un estudio integrado, que ayude a identificar los impactos ambientales generados por una obra o actividad denominada, Manifestación de Impacto Ambiental.

### *1.9.2 Manifestación de Impacto Ambiental (MIA).*

La LGEEPA en su Título primero, Capítulo I, Artículo 3° Fracción XXI, da el significado de la MIA;

**XXI.- Manifestación del impacto ambiental:** *El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo;*

También es importante destacar en la LGEEPA en su Título primero, Capítulo IV, sección V, lo que menciona el artículo 35 Bis 1;

**“ARTÍCULO 35 BIS 1.-** *Las personas que presten servicios de impacto ambiental, serán responsables ante la Secretaría de los informes preventivos, manifestaciones de impacto ambiental y estudios de riesgo que elaboren, quienes declararán bajo protesta de decir verdad que en ellos se incorporan las mejores técnicas y metodologías existentes, así como la información y medidas de prevención y mitigación más efectivas.*

*Asimismo, los informes preventivos, las manifestaciones de impacto ambiental y los estudios de riesgo podrán ser presentados por los interesados, instituciones de investigación, colegios o asociaciones profesionales, en este caso la responsabilidad respecto del contenido del documento corresponderá a quien lo suscriba.”*

El capítulo V Artículo 36 del Reglamento de la LGEEPA en materia de EIA, señala que; *“Quienes elaboren los estudios deberán observar lo establecido en la Ley, este reglamento, las normas oficiales mexicanas y los demás ordenamientos legales y reglamentarios aplicables. Asimismo, declararán, bajo protesta de decir verdad, que los resultados se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención y mitigación sugeridas sean las más efectivas para atenuar los impactos ambientales” (RLGEEPA, 2014: 18).*

De acuerdo a la ley “Ley Federal de Responsabilidad Ambiental”; donde en su Título primero, Capítulo I, Artículo 1º menciona que; *“ La presente Ley regula la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, así como la reparación y compensación de dichos daños cuando sea exigible a través de los procesos judiciales federales previstos por el artículo 17 constitucional, los mecanismos alternativos de solución de controversias, los procedimientos administrativos y aquellos que correspondan*

*a la comisión de delitos contra el ambiente y la gestión ambiental.”, esto ayudando de manera óptima a la evaluación de impacto ambiental y haciendo responsable a los prestadores de estos estudios a que cada trabajo se haga de la manera más adecuada o se verá en la necesidad de atenerse a la legislación que cada vez se hace más robusta en el ámbito de sanciones por deterioro al medio ambiente.*

***Artículo 12.-** Será objetiva la responsabilidad ambiental, cuando los daños ocasionados al ambiente devengan directa o indirectamente de:*

- I.** Cualquier acción u omisión relacionada con materiales o residuos peligrosos;*
- II.** El uso u operación de embarcaciones en arrecifes de coral;*
- III.** La realización de las actividades consideradas como Altamente Riesgosas, y*
- IV.** Aquellos supuestos y conductas previstos por el artículo 1913 del Código Civil Federal.*

Dicha Ley, destacan los párrafos I y III relacionados directamente con las actividades mineras.

En el artículo 13° de la presente Ley habla sobre la reparación de los daños ocurridos al medio ambiente por actividades peligrosas, es por eso que es de suma importancia la propuesta metodológica concisa y además adecuada para evaluar los impactos ambientales y así evitar delitos federales y ambientales.

***Artículo 13.-** La reparación de los daños ocasionados al ambiente consistirá en restituir a su Estado Base los hábitat, los ecosistemas, los elementos y recursos naturales, sus condiciones químicas, físicas o biológicas y las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como los servicios ambientales que proporcionan, mediante la restauración, restablecimiento, tratamiento, recuperación o remediación.*

*La reparación deberá llevarse a cabo en el lugar en el que fue producido el daño (LFRA, 2013:1,5)*

Es necesario tener en consideración como se estructuran los capítulos de la Manifestación de Impacto Ambiental para poder establecer el esquema normativo que los rigen y de qué manera, estos deben ser aplicados en un proyecto.

#### *1.9.2.1 Capítulos de la Manifestación de Impacto Ambiental.*

Dentro de la manifestación de impacto ambiental existen ocho capítulos que estipula el Reglamento de Impacto Ambiental.

El título de los primeros 3 capítulos son:

**I.-** Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable de la elaboración del estudio de impacto ambiental.

**II.-** Descripción del proyecto.

**III.-** Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y, en su caso, con la regulación del uso de suelo.

**IV.-** Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto.

“El objetivo de este apartado se orienta a ofrecer una caracterización del medio en sus elementos bióticos y abióticos, describiendo y analizando, en forma integral, los componentes del sistema ambiental del sitio donde se establecerá el proyecto, todo ello con el objeto de hacer una correcta identificación de sus condiciones ambientales, de las principales tendencias de desarrollo y/o deterioro” (SEMARNAT, 2002:44-45).

“Para delimitar el área de estudio se utilizará la regionalización establecida por las unidades de gestión ambiental del ordenamiento ecológico (cuando exista para el sitio y esté decretado y publicado en el Diario Oficial de la Federación o en el boletín o periódico oficial de la entidad federativa correspondiente), la zona de estudio se delimitará con respecto a la ubicación y amplitud de los componentes ambientales con los que el proyecto tendrá alguna interacción, por lo que podrá abarcar más de una unidad de gestión ambiental de acuerdo con las características del proyecto, las cuales serán consideradas en el análisis. Para el desarrollo de esta sección se analizarán de manera integral los elementos del medio físico, biótico, social, económico y cultural, así como los diferentes usos de suelo y del agua que hay en el área de estudio” (SEMARNAT, 2002:45-46).

## V.- Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales.

“Para la identificación y evaluación de impactos existen diferentes metodologías, la cuales podrán ser seleccionadas por el responsable técnico del proyecto, justificando su aplicación. Una definición genéricamente utilizada del concepto indicador establece que éste es “un elemento del medio ambiente afectado, o potencialmente afectado, por un agente de cambio”. No debe confundirse el concepto de indicador de impacto ambiental con el indicador ambiental aunque están muy relacionados; este último es, de acuerdo con la publicación de MIMA, 1996; una variable o estimación ambiental que ha sido dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertada coherentemente en el proceso de toma de decisiones (Gómez, 2002:199).

Los criterios de valoración del impacto que pueden aplicarse en un Estudio de Impacto Ambiental son variados y su selección depende en gran medida del autor y del estudio.

Los criterios permiten evaluar la importancia de los impactos producidos y los métodos tratan de evaluar conjuntamente el impacto global de una obra” (Gómez, 2002:70,76)

Hay una gran variedad de metodologías, unas muy simples derivadas de estudios de Ordenamiento Ecológico del Territorio otras específicas de los EIA.

“Es recomendable que la metodología que use el profesional o el equipo responsable de la elaboración de los estudios sea adecuada considerando principalmente el grado de interacción o complejidad del proyecto o actividad bajo análisis y el nivel de certidumbre que ofrece el modelo seleccionado” (Gómez, 2002:78-79).

## VI.- Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales.

“En este capítulo el responsable del estudio deberá asegurar una identificación precisa, objetiva y viable de las diferentes medidas de mitigación de los impactos ambientales, que deriven de la ejecución del proyecto desglosándolos por componente ambiental. Es recomendable que la descripción incluya cuando menos lo siguiente:

- La medida de mitigación, con explicaciones claras sobre su mecanismo y medidas de éxito esperadas con base en fundamentos técnico-científicos o experiencias en el manejo de recursos naturales que sustenten su aplicación.
- Duración de las obras o actividades de mitigación, señalando la etapa del proyecto en la que se requerirán, así como su duración (SEMARNAT, 2002:81).

Las medidas de mitigación implican costos adicionales que, comparados con el costo total del proyecto suelen ser bajos, sin embargo se pueden evitar si no se produce impacto alguno, hay que tener en cuenta que las medidas de mitigación en la mayoría de los casos eliminan solo una parte de la alteración y en muchos casos ni siquiera eso.

#### **VII.- Pronósticos ambientales y en su caso, evaluación de alternativas.**

“Con apoyo del escenario ambiental elaborado en apartados precedentes, realizar una proyección en la que se ilustre el resultado de la acción de las medidas correctivas o de mitigación, sobre los impactos ambientales relevantes y críticos.

Igual es importante presentar un programa de seguimiento de condicionantes que tiene por función básica establecer un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas de mitigación, compensación, recuperación, etc. incluidas en el estudio de impacto ambiental.

Finalmente y con base en una autoevaluación integral del proyecto, realizar un balance impacto-desarrollo en el que se discutan los beneficios que podría generar el proyecto y su importancia en la modificación de los procesos naturales de los ecosistemas presentes y aledaños al sitio donde éste se establecerá” (SEMARNAT, 2002:82,86).

#### **VIII.- Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información señalada en las fracciones anteriores.**

“De acuerdo al artículo número 19 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental, se entregarán cuatro ejemplares impresos de la Manifestación de Impacto Ambiental, de los

cuales uno será utilizado para consulta pública. Asimismo todo el estudio será grabado en memoria magnética, incluyendo imágenes, planos e información que complementa el estudio mismo que deberá ser presentado en formato Word. Se señalan todos los anexos, fotografías, glosarios, videos, listas, etc” (SEMARNAT, 2002:86,88).

Para ello las metodologías usadas para evaluar el impacto ambiental de una obra o proyecto deben ser robustas y confiables.

### *1.9.3 Metodologías en impacto ambiental.*

La manifestación de impacto ambiental requiere métodos para la identificación de los impactos que generan los proyectos. El reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental menciona en su Capítulo III, Artículo 12 y 13 que “La manifestación de impacto ambiental, en su modalidad particular y regional, deberá contener la siguiente información entre otra: la fracción V solicita que en la integración de la metodología en la Manifestación de impacto ambiental será posible “Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental” (RLGEEPA, 2000, 12-13), hay diferentes metodologías que logran identificar este tipo de impactos, desde matrices hasta otros como índice de significancia, Método Conesa simplificado y lógica difusa por su amplio criterio para establecer los impactos en un proyecto, esto sirve para establecer dicha relación con la actividad que se realiza y los factores ambientales del proyecto; estas diferentes metodologías se explican a continuación:

#### *1.9.3.1 Listas de chequeo.*

Se conocen también como listados de control o de verificación, las cuales en términos generales consisten en listados de preguntas o aspectos. El analista debe pensar acerca de las posibles consecuencias de un proyecto determinado. Chequear listas de impactos o de variables que deben ser consideradas en determinados tipos de proyectos, las cuales han sido configuradas previamente con base en proyectos anteriores o en reuniones de expertos (Arboleda, 2008: 64)

La principal función de esta lista es la de servir en las primeras etapas para identificar los impactos ambientales, su contenido cambia según el tipo de proyecto, por lo que no es inmutable.

En sus desventajas se identifica, que no propicia el establecimiento de la causa-efecto en las diferentes etapas de un proyecto y no tiene una interpretación global del impacto (García, 2004:47).

#### *1.9.3.2 Método de la matriz de Leopold.*

Este método fue desarrollado en 1971 por él Dr. Luna Leopold y colaboradores en el Geological Survey de los Estados Unidos, especialmente para proyectos en construcción. Corresponde a un método de evaluación de impactos, sin embargo, es un método indirecto, califica las interacciones entre el proyecto y el ambiente, sin darle ningún nombre al impacto que se presenta en esa interacción. Por lo tanto, no parte de una lista previa de impactos, sino de una matriz construida de manera similar a la explicada en los métodos matriciales para la identificación de impactos.

En su versión original, la matriz de Leopold contiene 100 acciones susceptibles de causar impacto y 88 características o condiciones ambientales, lo cual arroja 8800 posibles interacciones (García, 2004:70).

#### *Ventajas:*

- Fuerza a considerar los posibles impactos proyectuales sobre los diferentes factores ambientales.
- Integra la consideración de “magnitud” e “importancia” de un impacto ambiental.
- Permite la comparación de alternativas, desarrollando una matriz.
- Resume toda la información contenida en un informe de impacto ambiental.

#### *Áreas de oportunidad:*

- Su reproducibilidad es difícil, debido al carácter subjetivo del proceso de evaluación, pues no contempla metodología alguna para determinar la magnitud ni la importancia de un impacto.
- No tiene en consideración las interacciones entre diferentes factores ambientales.

- No distingue entre efectos a corto y largo plazo, aunque pueden realizarse dos matrices según dos escalas de tiempo.
- Los efectos no son exclusivos o finales, existe la posibilidad de considerar más de una vez un efecto (García, 2004:50).

### *1.9.3.3 Método de Batelle-Columbus.*

Fue elaborado por el Instituto Battelle-Columbus, especialmente para proyectos hidráulicos, fue creada en 1973 a solicitud de la oficina de rescate de tierras del Departamento del Interior de Estados Unidos.

Bases del método. Se compone de cuatro grandes factores, Ecología, Contaminación Ambiental, Aspectos estéticos y Aspectos de interés humano.

Parámetros ambientales. El método original contiene una lista de 78 parámetros ambientales (parámetro igual a factor), agrupados en 18 componentes y cuatro grandes categorías. Permite la ponderación de los parámetros y la obtención del Índice Ponderal: En cualquier ambiente, algunos factores ambientales son más importantes que los otros, ya sea por su productividad, su estado de conservación, etc. El índice ponderal es el mecanismo que permite reflejar esta importancia y se denominan Unidades de Índice Ponderal (UIP) (Arboleda, 2008: 73).

#### *Ventajas:*

- Tratándose del primer esfuerzo serio de valoración de impactos que ha servido de base a métodos posteriores.
- Los parámetros o factores ambientales se transforman a unidades conmensurables representativas de la calidad del medio ambiente, lo que permite la adición de las magnitudes de impacto para cada acción y factor ambiental.
- En cada parámetro se reflejan valores en unidades de impacto ambiental con y sin proyecto y referente al proyecto por diferencia de los dos.
- Permite el cálculo del impacto ambiental global del proyecto y la comparación de alternativas al proyecto.

#### *Áreas de oportunidad:*

- Fue diseñado para identificar el impacto ambiental de los proyectos hidráulicos; para otros proyectos se deben proponer diferentes índices ponderales, y funciones de transformación aplicables.
- Tiene el inconveniente de que las unidades de índices ponderales se asignan de manera subjetiva.
- En la vida real los factores ambientales son ilimitados y no es posible contar con todas las funciones de calidad ambiental para todos los proyectos posibles (García, 2004:61).

#### *1.9.3.4 Método de Índice de Significancia (Bojórquez-Tapia).*

Dicho método utiliza matrices matemáticas para determinar la significancia de las afectaciones. Fue creado en 1998 por el Doctor Bojórquez-Tapia y colaboradores, y por lo tanto es considerado como una forma más rigurosa de evaluarlas y una forma de incrementar la eficiencia en el manejo de datos y en la toma de decisiones complejas.

Para evaluar el comportamiento que podría tener cada afectación se calculan dos índices, llamados Básicos (magnitud, extensión y duración) y Complementarios (sinergia, acumulación y controversia), que a su vez se utilizarán para calcular la Intensidad y la Significancia de cada impacto, medidos en forma de índice. Las ecuaciones para calcular los dos primeros índices son las siguientes:

Tabla 2.- Escala de criterios de valoración del método Índice de Significancia-Bojorquez Tapia.

	Escala ordinal.									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnitud. (M)	-	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Extensión. (E)	-	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Duración. (D)	-	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Sinergia. (S)	Nula	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Acumulación. (A)	Nula	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Controversia. (C)	Nula	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta
Mitigación. (T)	Nula	Nula a Baja	Muy Baja	Baja	Baja a Moderada	Moderada	Moderada a Alta	Alta	Muy Alta	Extremadamente Alta

Aplicar a los impactos identificados originalmente en la MIA, así como en aquellos que se identifiquen en el re análisis del sistema ambiental, el método: **Índice de Significancia** que tiene como fórmulas para su realización:

$$\text{Índice Básico} \quad \text{MED}_{ij} = 1/27 * (M_{ij} + E_{ij} + D_{ij})$$

$$\text{Índice Complementario} \quad \text{SAC}_{ij} = 1/27 * (S_{ij} + A_{ij} + C_{ij})$$

Donde;

$M_{ij}$ =Magnitud;  $E_{ij}$ =Extensión;  $D_{ij}$ = Duración;  $S_{ij}$ = Sinergia;  $A_{ij}$ = Acumulación;  $C_{ij}$ =Controversia.

Para evaluar la magnitud de la afectación de las actividades del proyecto sobre los factores ambientales se calcularán otros dos índices:

$$\text{Índice de Intensidad} \quad I_{ij} = (\text{MED}_{ij})^{(1-\text{SAC}_{ij})}$$

$$\text{Índice de Significancia} \quad G_{ij} = I_{ij} * [1 - (T_{ij}/9)]$$

Donde;

$M_{ij}$ =Magnitud;  $E_{ij}$ =Extensión;  $D_{ij}$ =Duración;  $A_{ij}$ =Acumulación;  $S_{ij}$ =Sinergia;  $C_{ij}$ =Controversia;  $G_{ij}$ = Índice de Significancia  $T_{ij}$ =Mitigación.

El resultado del índice de significancia que ofrece el método se puede interpretar en categorías de impacto de bajo a muy alto con respecto al número que el índice determina siendo 0 el valor más bajo hasta 1 el más alto.

Bajo – 0 a 0.25

Moderado - 0.26 a 0.49

Alto - 0.5 a 0.74

Muy Alto - 0.75 a 1

#### *Ventajas.*

Bojórquez-Tapia *et al.* (1998), proporciona una metodología cuantitativa base con la que, además de conocer la intensidad de los impactos, se permite la aplicación de medidas de mitigación (T) en todos los impactos adversos negativos y es posible conocer la efectividad de la medida propuesta mediante la reducción de los efectos negativos en magnitud, extensión o duración (ERM-MÉXICO S.A. DE C.V., 2011: 8).

#### *Áreas de oportunidad.*

La metodología original ofrecida por Bojórquez-Tapia1 parte de un cálculo de índices basado en 9 calificaciones posibles: nula (0), nula a baja (1), muy baja (2), baja (3), baja a moderada (4), moderada (5), moderada a alta (6), alta (7), muy alta (8), y extremadamente alta (9), lo cual genera una posibilidad de obtener un puntaje máximo de 9 en cada índice inicial (básico y complementario) que constan de 3 criterios. Sin embargo, la descripción detallada de cada una de las 9 calificaciones (y en algunos casos contando hasta 0) resulta redundante y en ocasiones genera problemas por la falta de diferencia sustancial de cambios entre una calificación y otra (ERM-MÉXICO S.A. DE C.V., 2011: 13).

#### *1.9.3.5 Método de Lógica Difusa.*

El concepto “difuso” o “borroso” apareció, en un principio, en el campo de las Matemáticas, concretamente en la Teoría de los Conjuntos Difusos (o borrosos) que comenzó a desarrollar L. Zadeh (1965) como “un sistema que proporciona una vía natural para tratar los problemas en los que la fuente de imprecisión es la ausencia de criterios claramente definidos de tipos de pertenencia” (Martin, 2011:28).

Es importante definir el término de *Fusificación y Desfusificación* ya que son los pasos que sigue un controlador difuso; al fusificar se leen los valores de entrada para determinar los grados con los cuales implicará; y el desfusificar implica obtener un valor único de salida a partir del promedio de las diferentes reglas.

Una metodología de lógica difusa para la evaluación de impacto ambiental, plantea una aplicación de un sistema de computación de palabras basados en aritmética difusa que pueda definir sistemas de una gran cantidad de entradas y calcular entradas al sistema, a partir de las salidas que sirvan para caracterizar medidas correctoras.

Se distinguen dos fases una es la **Valoración aproximada** siendo la parte cualitativa, resumiéndose en; *“describir el medioambiente como un conjunto de factores, describir la actividad que se evalúa con su conjunto de acciones, identificar los impactos que cada acción tiene sobre cada factor ambiental, caracterizar cada impacto mediante la estimación de la importancia de cada uno de ellos y analizar la importancia global de la actividad sobre el medio ambiente, utilizando para ello las importancias individuales de cada impacto”*; y la fase de **Valoración detallada** que es cuantitativa en la cual se busca determinar el Valor de Impacto Total mediante un procedimiento específico.

La Valoración Detallada para cada “Factor  $F_i$ ,” se determina sin proyecto; denominada la variable Magnitud del factor  $F_i$  sin el proyecto  $M_{sin-i}$ , para cada impacto  $A_j$  sobre un factor  $F_i$  se determinará como se afecta el factor  $F_i$  y se reflejará en unidades propias del factor denominado como Magnitud del Impacto de la Acción  $A_j$  o  $M_{ij}$ , para cada Factor  $F_i$ , se obtendrá la Magnitud Total de  $F_i$  con el proyecto o  $M_{con-i}$ , mediante un sistema de computación con palabras cuyas entradas son el conjunto de todas las magnitudes  $M_{ij}$  correspondiente a ese factor, para cada factor  $F_i$  se obtendrá la calidad ambiental del factor  $F_i$  con el proyecto y sin él o  $CA_{con-i}$  y  $CA_{sin-i}$ , mediante un mismo sistema de computación con palabras cuyas entradas son  $M_{con-i}$  y  $sin-i$  respectivamente, se obtendrá la Calidad Neta del Factor  $F_i$ ,  $CA_{neta-i}$ , mediante un sistema cuyas entradas son  $CA_{con-i}$  y  $sin-i$ . Para cada factor  $F_i$  se obtendrá el Valor de Impacto Ambiental  $IAD_i=V_i$ , mediante un sistema de palabras cuyas entradas son la importancia  $I_i$  y la  $CA_{neta-i}$  antes descrito; el factor *pe* indica el peso de la importancia con respecto a la calidad ambiental;

$$IAD_i = V_i = f(I_i, CA_i) = pe * I_i + (1 - pe) * CA_i$$

Se obtiene el Valor del Impacto Ambiental Total Difuso sobre el entorno, IADT, mediante un sistema, son el conjunto de todos los  $IAD_i=V_i$ ; (García, 2004:107, 108).

$$IADT = \sum_{i=1}^n IAD_i$$

Con la realización de estas metodologías se determinará qué resultados se obtienen para cada método, y así se determinará cuál o cuáles son los más adecuadas y robustas en la identificación y análisis de los impactos ambientales.

#### *Ventajas.*

El método se asocia con variables lingüísticas marcándolo con siete etiquetas; Extremadamente perjudicial, Muy perjudicial, Perjudicial, Irrelevante, Beneficioso, Muy beneficioso y Extremadamente beneficioso; es un proceso muy detallado y específico que permite saber con exactitud el valor del impacto ambiental.

De acuerdo a su complejidad logra establecer la identificación de impactos residuales y acumulativos de un proyecto.

#### *Área de oportunidad.*

Complejidad de elaboración y lo tardado que podría llevar el realizarlo en un proyecto (García, 2004:109).

#### *1.9.3.6 Método de Conesa simplificado.*

Vicente Conesa y otros colaboradores formularon en 1993 un método para la evaluación de los impactos ambientales. Su uso es bastante complejo y es por eso que algunos expertos en EIA han hecho una modificación simplificando el método utilizando los criterios y el algoritmo del método original, pero sin cumplir todos los pasos que establece Conesa en su propuesta.

En el método de Conesa, se valora y describe el impacto ambiental considerando las tipologías de intensidad, extensión, causa-efecto, momento, persistencia, reversibilidad, periodicidad, acumulación, sinergia y recuperabilidad. A cada una de ellas se le asignan puntos de acuerdo al sistema, indicado en la tabla 3.1, que considera valores máximos, medios y mínimos para cada categoría (Betancourt y Herrera, 2010: 96).

Tabla 3.- Significado de los Criterios de Valoración para la Evaluación de Impacto Ambiental en Método Conesa Simplificado.

Criterios.		Significado.
Signo	+/-	Hace alusión al carácter <i>benéfico</i> (+) o <i>perjudicial</i> (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
Intensidad	IN	<i>Grado de incidencia</i> de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa. Varía entre 1 y 12, siendo 12 la expresión de la destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y 1 una mínima afectación.
Extensión	EX	<i>Área de influencia</i> teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (% de área, respecto al entorno, en que se manifestó el efecto). Si la acción produce un efecto muy localizado, se considera que el impacto tiene un carácter puntual (1). Si por el contrario, el impacto no admite una ubicación precisa del entorno de la actividad, teniendo una influencia generalizada en todo el, el impacto será total (8). Cuando el efecto se produce en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de cuatro unidades por encima del que le corresponda en función del % de extensión en que se manifiesta.
Momento	MO	<i>Alude al tiempo</i> entre la aparición de la acción que produce el impacto y el comienzo de las afectaciones sobre el factor considerado. Si el tiempo transcurrido es <i>nulo</i> , el momento será <i>inmediato</i> , y si es inferior a 1 año, <i>Corto plazo</i> , asignándole en ambos casos un valor de <i>cuatro</i> (4). Si es un periodo de tiempo mayor a cinco años, <i>Largo plazo</i> (1).
Persistencia	PE	<i>Tiempo</i> que supuestamente <i>permanecerá el efecto</i> desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por los medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.
Reversibilidad	RV	Se refiere a la <i>posibilidad de reconstrucción</i> del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, <i>por medios naturales</i> , una vez aquella deje de actuar sobre el medio.
Recuperabilidad	MC	Se refiere a la <i>posibilidad de reconstrucción</i> , total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, <i>por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental)</i> . Cuando el efecto es irrecuperable (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor de ocho (8). En caso de ser irrecuperable, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor adoptado será cuatro (4).
Sinergia	SI	Este atributo contempla el <i>reforzamiento de dos o más efectos simples</i> . La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.
Acumulación	AC	Este atributo da idea del <i>incremento progresivo</i> de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando un acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple), el efecto se valora como uno (1); si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a cuatro (4).
Efecto	EF	Este atributo se refiere a la <i>relación causa-efecto</i> , o sea, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Puede ser <i>directo o primario</i> , siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta, o <i>indirecto o secundario</i> , cuando la manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden.
Periodicidad	PR	Se refiere a la <i>regularidad de manifestación del efecto</i> , bien sea de manera <i>cíclica o recurrente</i> (efecto periódico), de forma <i>impredecible en el tiempo</i> (efecto irregular) o <i>constante en el tiempo</i> (efecto continuo)

Tabla 3.1.- Rangos para el cálculo de Importancia del impacto ambiental en Metodología de Conesa.

Criterio/Rango.	Calificación	Criterio/Rango.	Calificación
<b>NATURALEZA (NA)</b> Impacto benéfico Impacto perjudicial	+ -	<b>INTENSIDAD (IN)</b> (Grado de destrucción) Baja Media Alta Muy alta Total	1 2 4 8 12
<b>EXTENSIÓN (EX)</b> Puntual Parcial Extensa Total Crítica	1 2 4 8 (+4)	<b>MOMENTO (MO)</b> (Plazo de manifestación) Largo plazo Medio Plazo Inmediato Crítico	1 2 4 (+4)
<b>PERSISTENCIA (PE)</b> Fugaz Temporal Permanente	1 2 4	<b>REVERSIBILIDAD (RV)</b> Corto plazo Medio plazo Irreversible	1 2 4
<b>SINERGIA (SI)</b> Sin sinergismo (simple) Sinérgico Muy sinérgico	1 2 4	<b>ACUMULACIÓN (AC)</b> (Incremento progresivo) Simple Acumulativo	1 4
<b>EFEECTO (EF)</b> Indirecto (secundario) Directo	1 4	<b>PERIODICIDAD (PR)</b> Irregular o aperiódico o discontinuo Periódico Continuo	1 2 4
<b>RECUPERABILIDAD (MC)</b> Recuperable inmediato Recuperable a medio plazo Mitigable o compensable Irrecuperable.	1 2 4 8	<b>IMPORTANCIA (I)</b> $I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	

De acuerdo con los valores asignados a cada criterio, la importancia del impacto puede variar entre 13 y 100 unidades que de acuerdo con el reglamento de EIA Español, establece la siguiente significancia (Arboleda, 2008: 89-90):

- Inferiores a 25 son **irrelevantes o compatibles** con el ambiente
- Entre 25 y 50 son impactos **moderados**.
- Entre 50 y 75 son **severos**
- Superiores a 75 son **críticos**

#### *Ventajas.*

Es un método muy completo y complejo que contiene diversas tipologías que ayudan a tener un alcance más completo de la evaluación de impactos ambientales.

La interpretación de cada tipología no es compleja y el valor que se le da a cada una es fácilmente usado cuando se evalúa un impacto ambiental.

### *Áreas de oportunidad.*

Por su complejidad es un método tardado y al hacer la matriz muchos optan por usar otros métodos más sencillos.

Es objetivo con los valores asignados y suele ser difícil el establecer si es un impacto nulo o nulo bajo, alto o muy alto por ejemplo.

Esta metodología es más robusta para analizar detalladamente los impactos ambientales de los proyectos de exploración y explotación de minerales.

#### *1.9.3.7 Análisis Multicriterio en decisión ambiental.*

La teoría de la decisión ha sido estudiada extensamente en el ámbito de las ciencias de la economía y la ingeniería; los métodos más usados en la actualidad son producto de la investigación realizada en esas áreas del conocimiento.

La teoría de la decisión se ha orientado a dos direcciones diferentes:

- Una denominada positiva o empírica; consiste en elaborar una serie de articulaciones lógicas que pretenden explicar y predecir el comportamiento de los agentes decisores reales.
- La llamada normativa que define la racionalidad de los decisores basándose en una serie de supuestos justificables intuitivamente, para después realizar una serie de operaciones que dejen deducir el comportamiento óptimo compatible con la racionalidad previamente establecida. (García, 2004:68)

Desde el punto de vista de las aplicaciones en las empresas y las organizaciones, el análisis multicriterio se desarrolla en dos formas:

- Decisión multicriterio discreta, que se interesa por la elección entre un número finito de alternativas posibles.
- Decisión multicriterio continua, centrándose en la programación lineal con criterios múltiples, generalizando al caso de criterios múltiples, los resultados de programación lineal y sus algoritmos asociados (García, 2004:69).

La teoría de decisiones es una herramienta muy necesaria en aplicaciones de las ciencias ambientales como evaluación de impactos ambientales, evaluación estratégica ambiental de políticas, programas y proyectos, planificación territorial, etc.

Hoy en día la decisión multicriterio puede ser considerada como un campo de actividad en el que la aplicabilidad práctica y las herramientas informáticas son dominantes (García, 2004:70)

Los procesos de toma de decisiones, comúnmente se han analizado basados en la siguiente lista:

- 1.- Se establece el conjunto de soluciones factibles del problema de decisión analizado.
- 2.- Partiendo de un cierto *criterio*, se asocia a cada solución o alternativa, un número que representa el grado de deseabilidad que tiene cada alternativa para el centro de decisor.
- 3.- Se establece una ordenación de las soluciones factibles.
- 4.- Utilizando técnicas matemáticas más o menos sofisticadas, se busca entre las soluciones factibles aquella que posee un mayor grado de deseabilidad y esa alternativa es la “solución óptima” (García, 2004:70)

Los elementos básicos que intervienen en un proceso de toma de decisiones multicriterio son:

*Decisor*, conjunto de personas interesadas en el problema de decisión.

*Alternativas*, conjunto de soluciones, estrategias, acciones o decisiones posibles que hay que analizar durante el proceso de resolución del problema que se considere.

*Ambiente*, conjunto de características que definen la situación de decisión con respecto al entorno, también se le llama estado del ambiente o de la naturaleza.

*Criterios*, son los objetivos, atributos y metas que se consideran relevantes en un contexto de decisión.

*Solución eficiente*, soluciones factibles tales que no existe otra que proporcione una mejora en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos otro de los atributos (García, 2004:76)

### *Ventajas.*

El decisor se encuentra en disposición de escoger entre varias posibilidades denominadas alternativas, en conjunto de estas se le llama conjunto de elección.

Tiene a su favor el realismo y la legibilidad, que son activos importantes en las organizaciones, en un momento en el que la complejidad de las decisiones es reconocida por la mayor parte de los actores, aun cuando no todos ellos muestren la misma sensibilidad ante los diferentes activos.

### *Áreas de oportunidad.*

Es difícil que una decisión respecto a un equipamiento público satisfaga a todos los actores implicados.

Por lo antes descrito es importante contar con métodos avalados por la comunidad científica para la evaluación de los impactos ambientales, los proyectos relacionados con la actividad minera son los que más impactos ambientales y sociales ocasionan, al entorno ecológico y demográfico. Por lo que deben proponerse los mejores métodos para la evaluación del impacto ambiental que generan los diferentes proyectos de desarrollo, el presente estudio ofrece una propuesta que determina la secuencia de métodos para obtener los impactos ambientales acumulativos, sinérgicos y residuales, que solicita la LGEEPA.

## ***Capítulo 2.- Método***

### ***2.1 Justificación.***

El desarrollo de proyectos de exploración y explotación de minerales en México ha cobrado gran importancia para el entorno social, esto ha obligado que la autoridad ambiental y la sociedad exijan estudios de impacto ambiental objetivos que contengan estrategias eficaces para identificar, compensar y mitigar los impactos ambientales derivados de dicha actividad, entre ellas están las metodologías de identificación y evaluación del impacto ambiental, particularmente el Capítulo III del reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental menciona en su Artículo 12 y 13 fracción V, que dentro de la MIA exista la “Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental” lo que hace necesario desarrollar y proponer los mejores métodos que permitan obtener la Calidad del sistema ambiental en su conjunto y no solamente los impactos ambientales por componente y etapa del proyecto.

### ***2.2 Objetivos.***

#### ***2.2.1 General.***

Aplicar y comparar los métodos Índice de Significancia, Lógica Difusa y Método Conesa en proyectos de exploración y explotación de minerales en México, para saber si a través de ellos es posible obtener los impactos significativos e identificar los acumulativos y residuales para proponer cuáles son los más eficaces, para coadyuvar en la toma de decisiones respecto del manejo de los recursos naturales involucrados en dichos proyectos, así como el impacto social que este tipo de proyectos trae consigo.

#### ***2.2.2 Particulares.***

-Analizar la descripción del Sistema Ambiental de cada uno de las manifestaciones de impacto ambiental seleccionadas para conocer los criterios usados y cómo influye en la identificación, evaluación y descripción de los impactos significativos.

- Revisar cada una de las metodologías usadas en la identificación de los impactos ambientales de los proyectos antes mencionados, para saber si identificaron los significativos, acumulativos y residuales.

-Aplicar los métodos de Índice de Significancia, Método Conesa Simplificado y Lógica Difusa en cada MIA seleccionada, para saber si se pueden identificar y evaluar los impactos ambientales significativos, acumulativos y residuales, y determinar que metodología es la más adecuada o si requiere de otra (s) complementaria (s).

-Proponer cuáles son los métodos pertinentes a usar en la identificación y evaluación de los impactos ambientales que permitan obtener la Calidad global del sistema ambiental, provocados por proyectos de exploración y explotación de minerales.

### **2.3 Procedimiento.**

Se seleccionaron dos MIA. La *Manifestación de Impacto ambiental Modalidad Regional- Unidad Minera Cerro de San Pedro-proyecto de optimización, consolidación de reservas y cierre*. Localizado en las proximidades de la intersección de las coordenadas 22°13' de latitud norte y 100° 49' de longitud oeste, aproximadamente a 20 kilómetros al noroeste de la Ciudad de San Luis Potosí.

Debido a que se encontraron dos estudios, uno llamado “Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional Unidad Minera Cerro de San Pedro- Operación y Desarrollo”, y otro denominado “Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional Unidad Minera Cerro de San Pedro–proyecto de optimización, consolidación de reservas y cierre”; además que ambos tienen la misma información técnica y metodológica con tan solo algunos cambios de fechas y nuevos permisos que incluyó La Promovente; Para la aplicación de los métodos de evaluación del IA, se decidió usar la “Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional Unidad Minera Cerro de San Pedro–proyecto de optimización, consolidación de reservas y cierre”; ya que es la que opera actualmente y es continuación de la primera.

Y la *Manifestación de Impacto Ambiental para el proyecto Los Cardones*, cuyas coordenadas geográficas son: 23°39'26.95'' latitud norte y 110°06'43.20'' longitud oeste, 23°38'52.71'' N y 110°06'41.57''O, 23°38'43.51'' N y 110°05'51.82'' O, 23°38'43.59'' N y 110°04'20.78'' O.

Otros criterios de selección fueron, que tuvieran resolutivo favorable y hayan causado controversia social, debido a la ubicación de los sitios donde se pretendía desarrollar los proyectos, así como por los impactos ambientales que pueden ocasionar a los habitantes de la región.

De cada MIA se obtuvieron los datos siguientes: título, modalidad, atributos para delimitar el sistema ambiental, los métodos usados para identificar, evaluar y describir los impactos ambientales, así como los impactos acumulativos y residuales que solicita la LGEEPA.

Se contrastaron los resultados de los impactos ambientales obtenidos en cada MIA, a partir de estos, se les aplicó Matriz de Leopold, para obtener los IA de mayor magnitud e importancia, así como los factores ambientales y acciones del proyecto.

A los impactos ambientales con mayor magnitud e importancia, se les aplicaron los métodos Conesa Simplificado, Índice de Significancia y Lógica Difusa, para proponer cuáles permiten obtener los IA significativos, acumulativos y residuales, de acuerdo al Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación de Impacto Ambiental en su Artículo 11.

## ***Capítulo 3.- Resultados y Análisis***

### ***3.1 Unidad Minera Cerro de San Pedro.***

El proyecto consiste en el aprovechamiento de un yacimiento mineral con valores de oro y plata, mediante la explotación a tajo abierto, el beneficio mediante un proceso de lixiviación estática y su recuperación a través de una planta tipo Merrill–Crowe. Se tiene una capacidad de procesamiento de hasta 60,000 TPD (toneladas por día) de mineral (SEMARNAT, 2010:4).

En el análisis del estudio se encontraron los siguientes hallazgos:

- La evaluación del IA la realizaron para la etapa de operación de la unidad minera, misma que incluye las actividades relacionadas con la explotación y beneficio.
- Los criterios que usaron para la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SAR), fueron: efecto del desarrollo sobre el componente biótico; la incidencia sobre el acuífero subyacente de forma directa a partir del aprovechamiento del agua subterránea (tabla 1.1.).
- En la descripción del SAR consideran de carácter puntual la actividad a realizar, no consideran el carácter acumulativo que tienen varias de las actividades del proyecto.
- Al definir los aspectos para la delimitación de SAR hay una mezcla entre elementos bióticos y abióticos y las posibles alteraciones o resultados de la alteración hidrológica así como de las acciones.
- No fue considerado el recurso hídrico superficial, ya que está ausente en la zona.
- La delimitación del sitio de muestreo de flora y fauna se enfocó a la superficie localizada en el área de operación del proyecto y al área de influencia, pero no a nivel regional, siendo que la modalidad de la MIA es de este tipo.
- La dimensión del proyecto está sustentada fuertemente en la parte técnica y económica dándole un peso menor a lo ambiental. Asumen que como ya se cuenta con la infraestructura necesaria para la etapa de aprovechamiento, no se causarán IA significativos sobre los recursos y servicios ambientales.
- Actualmente un recurso estratégico es el agua; la minera San Xavier S.A. de C. V. cuenta desde 1996 cuenta con 12 títulos de concesión (Tabla 4), para uso y aprovechamiento de agua subterránea. Se señala que el volumen total anual requerido para el proyecto está cubierto por dichos títulos. Es importante evaluar el

grado de vulnerabilidad o fragilidad hídrica de la cuenca en la que se encuentra el proyecto en cuestión, ya que el factor básico para determinar el SAR fue el elemento hídrico (cuenca, subcuenca, microcuenca y acuíferos).

Tabla 4.- Títulos de Concesión de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, autorizados por CONAGUA desde 1999 hasta 2005.

No.	No. de Título	Volumen autorizado (m <sup>3</sup> )	Fecha del Título	Año en que se recibió el título de derechos	Futuro vencimiento
1	07SLP100312/37FMGE99	120,000	31/VIII/1999	1999	04/12/2016
2	07SLP100833/37FMGE99	24,000	31/VIII/1999	1999	01/03/2016
3	07SLP108896/37FMGE01	53,000	17/VII/2001	2001	16/09/2010
4	07SLP109328/37FMGE01	250,000	31/VIII/1999	2004	17/11/2014
5	07SLP109329/37FMGE99	185,000	14/III/2001	2001	28/11/2010
6	07SLP111104/37FMGE05	90,000	30/V/2005	2005	28/10/2012
7	07SLP111649/37FMGE04	20,000	18/VIII/2004	2004	30/07/2008
8	07SLP111650/37FMGE04	36,000	18/VIII/2004	2004	21/12/2009
9	07SLP111651/37FMGE04	89,000	18/VIII/2004	2004	19/09/2010
10	07SLP111652/37FMGE04	109,000	18/VIII/2004	2004	19/09/2010
11	07SLP111671/37FMGE04	34,234	15/IX/2004	2004	21/02/2011
12	3SLP103415/37AMGR98	360,000	16/II/1998	2008 (*)	16/02/2008
<b>TOTAL DE TITULOS: 12</b>		<b>VOLUMEN TOTAL AUTORIZADO: 1' 370, 234 m<sup>3</sup></b>			

- El volumen de agua requerido por el proyecto representa únicamente el 0.73 % del volumen total que es extraído (volumen de agua concesionado), lo cual no representa una presión excesiva al acuífero; de acuerdo lo que contiene la MIA.
- La MIA menciona que existen dos acuíferos en la región (Acuífero del Valle de San Luis Potosí y Acuífero Villa de Reyes), uno somero ubicado al oeste de la zona estudiada y otro profundo en una franja al pie de la sierra de Álvarez, en el primero el agua es de mala calidad. El proyecto se encuentra fuera del área de recarga de la cuenca.
- El proyecto no interaccionará directamente con la cuenca, y que la cantidad de agua extraída es mínima, tomando en cuenta lo anterior y revisando las concesiones otorgadas en el cuadro 2, la posibilidad de que haya impactos sinérgicos y acumulativos es elevada.
- La MIA no aborda lo que puede ocurrir con la hidrología subterránea, respecto de los volúmenes de agua que extraen. En San Luis Potosí los acuíferos han sido

“sobrexplotados” tienen un balance hidrológico negativo, ya que hay un gran número de aprovechamientos de agua subterránea.

- Del volumen de lluvia anual local, las características climatológicas no permiten su aprovechamiento en gran escala ya que 97.7% retorna a la atmosfera por evaporación.
- En la tabla II.11 de la MIA denominada “Criterios de diseño para la operación de proceso” la precipitación anual fue de 381 mm/año y su evaporación neta de 2,123 mm/año, su temperatura ambiental del aire es de 32°C como máxima y mínima de -5°C, respecto de la precipitación. Está relativamente descrita en función de lo que pueda ocurrir con la actividad y su relación con el tiempo de retorno; sin embargo, dejan de lado algo muy importante, la recarga de los acuíferos subterráneos ya que de ahí se va abastecer de líquido para realizar la operación.
- Vierten al patio de lixiviación diferentes soluciones, para mitigar el impacto se enfocan en la Atenuación Natural, siendo una práctica estándar en la minería, justificando que económicamente no es viable utilizar otros métodos para remover el cianuro. Aseveran que los líquidos cianhídricos no alcanzarán el acuífero por el grado de permeabilidad que presenta el suelo; sin embargo, no menciona a detalle el impacto que pueden ocasionar los lixiviados a la intemperie y como mitigarlos.
- El material estéril proveniente de las voladuras, al final de la etapa de Operación estará representado por 65 millones de Ton. de material lixiviado acomodado en 3 etapas; 1 y 2 se pondrán 7 capas de mineral y ubican otras 7, en la etapa 3 (14 capas) de 70m en una superficie de 716,370 m<sup>2</sup>.
- El área general del tajo y de terreros esta impactada por actividades mineras históricas, incluyendo minería subterránea, terreros de jales de cianuración, no mencionan como evaluaran los impactos “acumulativos” de acuerdo a impactos previos.
- El suelo proviene de material parental que contiene de forma natural Pb, As y Mn, esto es importante para posteriormente evaluar la acumulación y sinergia de los impactos ya que en el 2005, hubo caso de niños con problemas de salud.
- De acuerdo a la MIA la calificación del sitio es de baja calidad ambiental; lo cual no pudiese argumentarse en el Informe Nacional al Convenio sobre Diversidad Biológica del año en el que la consultora hace el estudio, sin embargo, el muestreo solo fue realizado en su área de proyecto y el área de influencia; y no en el SAR,

como debe realizarse por ser una MIA Regional. La mayor densidad de especies está representada por *Hechtia glomerata* en casi todas las zonas del proyecto seguido de *Tillandsia recurvata* que es epífita.

- De acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, existen en la zona del proyecto 3 especies con estatus de protección (*Crotalus molosus*, *Gerrhontus liocephalus*, *Kinosternon integrum*), 2 amenazadas (*Masticophis glagellum*, *Pituophis deppei*) y 1 en peligro de extinción (*Spizella wortheni*).
- Para identificar los IA usaron métodos como: Listas de chequeo, Matriz de Leopold Modificada, para la valoración de impactos ambientales citan al autor (Gómez-Orea, 1999; García, 2004), la consultora basa su método en los principios de este.
- En la tabla 5, se observa que métodos utilizaron en la elaboración de la MIA para cada etapa.

Tabla 5.- Metodologías utilizadas por el equipo consultor para cada una de las etapas de proceso de evaluación de impacto ambiental en el proyecto Unidad Minera Cerro de San Pedro.

Etapa del proceso de evaluación ambiental	Metodologías utilizadas
A. Identificación de las fuentes generadoras de impacto o agentes causales del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lectura del entorno y sobreposición cartográfica</li> <li>▪ Listas de chequeo</li> <li>▪ Matrices de interacción</li> <li>▪ Estudios de campo</li> </ul>
B. Identificación de componentes ambientales susceptibles de afectación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lectura del entorno y sobreposición cartográfica</li> <li>▪ Listas de chequeo</li> <li>▪ Matrices de interacción</li> <li>▪ Estudios de campo</li> </ul>
C. Selección de indicadores ambientales de estado y calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisión de índices e indicadores de la literatura científica</li> <li>▪ Listas de chequeo</li> <li>▪ Estudios de campo (diagnóstico ambiental)</li> </ul>
D. Identificación de impactos potenciales (interacciones entre las actividades del proyecto y los factores ambientales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Listas de chequeo</li> <li>▪ Modelos conceptuales</li> <li>▪ Matrices de interacción</li> </ul>
E. Estimación o valoración de impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matrices de evaluación (Leopold modificada)</li> <li>▪ Análisis semi-cuantitativo modificado de Espinoza (2001)</li> </ul>
F. Jerarquización de impactos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis semi-cuantitativo de valoración de significancia</li> </ul>
F. Descripción y análisis de impactos ambientales relevantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis descriptivo</li> </ul>

- Es muy importante destacar que se tiene en cuenta la existencia de los impactos sinérgicos y acumulativos generados por etapas pre operativas esto “*No siendo parte del objetivo de este estudio*” ya que la parte preoperativa está evaluada en otra MIA.

De acuerdo a lo anterior, es recomendable no elaborar dos manifestaciones de impacto ambiental para un mismo proyecto, ya que el análisis, ponderación, evaluación e interpretación debe ser global. Si bien es cierto que cada etapa tiene sus propios impactos, éstos no son aislados, el proyecto es uno y por ello la evaluación debe hacerse de forma conjunta.

Al interior de la SEMARNAT quien evalúe la primera MIA, deberá evaluar la siguiente. Si el evaluador es diferente, tal vez evalúe de forma parcial y fragmentada los IA, lo que limita a hacer un análisis congruente de la identificación, evaluación y descripción detallada de los acumulativos y residuales, siendo estos los más importantes, de acuerdo al Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación de Impacto Ambiental en su Artículo 11.



Figura 2.- Panorámica actual (2011) Minera Cerro de San Pedro, tomada de la MIA presenta por la empresa Minera San Xavier S.A. de C.V.

A continuación en la tabla 6, se presentan los criterios que propone la MIA sujeta a evaluación ante la SEMARNAT, para delimitar el SAR, las metodologías de impacto ambiental que usaron, así como los impactos significativos que identifican, para la Minera Cerro de San Pedro.

Tabla 6.- Información de la manifestación de impacto ambiental *Unidad Minera Cerro de San Pedro*.

Modalidad.	Criterios para delimitar el sistema ambiental regional	Métodos usados en la identificación y valoración de IA.	Impactos significativos identificados por la consultora responsable de la elaboración de la MIA.
Regional	<p>a) El efecto del desarrollo sobre el componente biótico.</p> <p>b) El efecto sobre el componente físico que es directo alterando el relieve, y la composición natural del área, pero limitado a la microcuenca.</p> <p>c) No se utilizó el recurso hídrico superficial.</p> <p>d) La incidencia sobre el acuífero subyacente de forma directa a partir del aprovechamiento del agua subterránea.</p>	<p>Listas de chequeo</p> <p>Modelos Conceptuales</p> <p>Matrices de Interacción</p> <p>Matriz de Leopold Modificada.</p> <p>Análisis semi-cuantitativo modificado de Espinoza (2001).</p>	<p>De acuerdo al Análisis semi-cuantitativo de valoración de significancia los muy significativos fueron:</p> <p>Minado (voladuras)</p> <p>Extracción y acarreo de material</p> <p>Quebrado de mineral</p> <p>Impactos significativos que identifica la metodología propuesta se confunden al no diferenciar entre si son positivos o negativos.</p>

Los IA para el estudio *Unidad Minera Cerro de San Pedro*, se identificaron por medio de una matriz de Leopold Modificada (anexo 1).

A partir de los hallazgos encontrados y del análisis de la Matriz de Leopold que el Promovente presentó a la SEMARNAT, se decidió elaborar una nueva matriz para fortalecer la valoración de los IA.

### ***3.1.1 Aplicación de la matriz de Leopold al proyecto Unidad Minera Cerro de San Pedro.***

Para hacer una evaluación de los IA que generará la Minera Cerro de San Pedro, se procedió a desarrollar nuevamente la matriz de Leopold, para ello se integraron nuevos indicadores y actividades, que consideramos son de suma importancia para la evaluación del Sistema Ambiental Regional; la matriz que se modificó y evaluó nuevamente se puede observar en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1; Matriz de Leopold propuesta para la Unidad Minera Cerro de San Pedro.

Componente Ambiental	Variable	Indicador	Fase/Actividades																		Impactos							
			Operación y Desarrollo												Cierre						Magnitud e Importancia A (-)		Magnitud e Importancia B (+)					
			Minado (voladuras)	Extracción y acarreo de material	Quebrado de mineral	Disposición de material estéril	Mantenimiento de Maquinaria	Beneficio y recuperación	Manejo de soluciones de la pileta de Lixiviación	Extracción de agua subterránea	Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Almacenamiento y manejo de combustibles	Generación y manejo de aguas residuales.	Restauración de sitio contaminados	Construcción de Viviero.	Generación y manejo de residuos sólidos urbanos.	Manejo y conservación de los suelos	Detoxificación del patio y piletas	Estabilización física de tajo, terreros y patio de lixiviación	Control de escurrimientos	Restauración de superficie y revegetación	Cierre y desmantelamiento de instalaciones.	Magnitud e Importancia A (-) por indicador	Magnitud e Importancia B (+) por indicador	Magnitud e Importancia A (-) por componente	Magnitud e Importancia B (+) por componente		
Aire	Calidad	Concentración de partículas suspendidas.	2	1	1	3		1			3			1		1	1	3		2	1	13	7	30	10			
		Gases contaminantes.	1	1			1	1	1		1	1		1						2		1	13			9	33	15
		Niveles de ruido y vibraciones.	2	1	1	2										1		1		1	1	10	0					
Geología		Estabilidad	3			2												2		2	5	4	5	4				
Microclima		Temperatura	1																2		1	2	1	2				
Geomorfología	Relieve	Modificación Topográfica del sitio.	3			2											1		2		6	2	6	7				
Suelo	Erodabilidad	Erosión.	2			2				3			1		2		2	1	2		7	8	19	10				
	Calidad	Aporte de contaminantes.	2			2	1	2		4	1	1	2		2		1	1	3		12	4	22	17				
Agua Superficial	Calidad	Aporte de contaminantes.				1	1	1	1		1	1	1				2	2	1		7	5	10	8				
	Estructura	Patrones de escurrimiento.	1			1				1							2	3	1		3	3	14	9				
Agua Subterránea	Calidad	Aporte de contaminantes.						2	2		1		1				1	2	1		7	3	16	8				
	Cantidad	Aprovechamiento.						3		4										7	0	19	9					
	Procesos	Capacidad de recarga.				2							1					1	2	2	5	6	6					
Paisaje	Estructura	Calidad y armonía visual.	2	1	1	2				4			2	2					2	2	10	8	10	8				
Vegetación Terrestre		Diversidad											1						2		0	3	3	10				
		Especies protegidas.	2										1								2	0						
		Cobertura.	1																2		1	2						
		Sucesión ecológica.																2		0	5	6						
Fauna Silvestre		Abundancia Faunística.	2	1	1	1		1					1				1	2		1	2	6	5	21	10			
		Diversidad.	2																1	2	0	3						
		Especies protegidas.	2						2										1		4	1						
		Especies Amenazadas.	2						2										1		4	1						
		Especies en Peligro de Extinción.	3						4										1		7	1						
Población	Social	Demografía.																		2	2	0	23	43				
		Salud pública.	3	1	1	2	1	2			3	1	1	1	1		1	2	2	2	2	16			8			
	Economía	Generación de empleos.	2	2	2	1	2	2		1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2			35			
		Economía regional.	2	2	2	1	2	2		2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	3	2			35			

Magnitud e Importancia A(-) Por Actividad	32	6	5	22	4	13	14	7	18	0	4	0	0	2	1	3	1	0	1	9	144/166	
Magnitud e Importancia B(+) Por Actividad	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	10	113/146
Magnitud e Importancia A(-) Por Etapa	129/148												15/18						144/166			
Magnitud e Importancia B(+) Por Etapa	35/43												78/103						113/146			

Impactos Adversos. Impactos Benéficos

La Magnitud e Importancia se asignaron de acuerdo a los valores siguientes:

Valor Magnitud	Criterio
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

Valor Importancia	Criterio
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

Los resultados de la matriz de Leopold muestran que los indicadores con mayor magnitud e importancia son; la calidad del aire, seguido por la salud pública de la población en el entorno, la calidad del suelo y finalmente la calidad y armonía visual.

En el presente estudio se consideró como un indicador, el aprovechamiento de agua subterránea. De acuerdo a los IA identificados en la MIA presentada por Minera San Xavier S. A. de C.V. el aprovechamiento del agua subterránea es de solo 0.73% de total del volumen que es extraída. Sin embargo en la evaluación de IA del presente estudio el resultado es IA significativo, debido a que la micro cuenca Portezuela Cerro de San Pedro se alimenta de la Cuenca Rio Verde 2, que forma parte de la región Hidrológica del Panuco, esta gran cuenca tiene Alta Importancia Ecológica y muy alta Presión de Uso, como lo establece la NMX-AA-159-SCFI-2012 Determinación de Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas.

La salud pública de la población refiere un IA significativo, ya que hay dos estudios que reporta la propia MIA de la Minera San Xavier, uno elaborado en 2004, en donde una muestra de 46 niños para determinarles Plomo, Mercurio y Arsénico, 26% registró concentraciones por arriba del límite la NOM-199-SSA1-1999. En 2005 se registró nuevamente un segundo monitoreo, donde el 42% de la muestra (población) analizada, presentó concentraciones de Plomo por arriba del límite de la Norma mencionada, los 7 individuos monitoreados presentaron concentraciones de Arsénico por arriba de los límites establecidos por la OMS (<10 µg/L). Si bien es cierto que hay residuos mineros abandonados con anterioridad, entonces se debe de abordar como un IA acumulativo y no simplemente mencionar que no es significativo.

En la MIA elaborada por La Promovente, no toman en cuenta en el desarrollo de la matriz de Leopold, la división entre las categorías de riesgo de las especies de fauna establecidas

en la NOM-059-SEMARNAT-2010, las engloban en el componente ambiental como fauna silvestre y como indicador señalan abundancia faunística y diversidad y especies protegidas.

En el presente trabajo se tomó en cuenta la categoría de riesgo establecida en la NOM, ya que el mismo estudio contiene en su información que *Spizella wortheni* (gorrión de worthen) está en el Status de Peligro de Extinción, además de ser una especie endémica.

La nueva propuesta de valoración de la Matriz de Leopold agregando actividades e indicadores, contiene los impactos con mayor magnitud e importancia, se marcaron en rojo para su análisis a través de los métodos de Conesa, Índice de Significancia y Lógica Difusa. En ese orden de análisis es la propuesta del presente trabajo para obtener los impactos ambientales acumulativos y residuales que debe contener al menos una MIA.

A partir de la identificación de los impactos con mayor magnitud e importancia, se continuará con el método de Conesa Simplificado como se desarrolla a continuación:

### 3.1.2 Aplicación e interpretación de Método Conesa simplificado.

#### Proyecto Minero Cerro de San Pedro.

Tabla 6.2.- Valoración de Impactos Ambientales con método Conesa simplificado.

Impactos		Criterio											I
Actividad	Indicador.	NA	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	
Minado (Voladuras)	Estabilidad	-	8	4	4	4	4	2	1	4	2	8	61
Minado (Voladuras)	Modificación Topográfica del sitio.	-	4	4	4	4	4	2	1	4	2	8	49
Minado (Voladuras)	Especies en peligro de extinción.	-	4	4	4	4	4	2	1	4	1	4	44
Minado (Voladuras)	Salud Pública.	-	4	4	2	2	1	1	1	1	2	2	32
Disposición de Material Estéril	Concentración de partículas suspendidas	-	4	2	2	2	2	1	1	1	1	1	27
Manejo de soluciones de la pileta de Lixiviación	Especies en peligro de extinción	-	4	4	4	4	2	2	1	4	1	4	42
Extracción de agua subterránea	Erosión	-	4	4	2	4	2	2	1	4	4	4	43
Extracción de agua subterránea	Aprovechamiento de agua subt	-	8	4	4	4	2	2	4	4	2	8	62
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros)	Concentración de partículas suspendidas	-	2	2	2	2	2	1	1	1	2	4	25
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros)	Aporte de contaminantes al suelo	-	8	4	4	4	4	4	4	4	4	8	68
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Calidad y armonía visual	-	4	4	4	4	4	2	1	4	4	4	47
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros)	Salud pública	-	4	4	2	2	2	1	1	4	2	4	38
Cierre y desmantelamiento de instalaciones	Economía regional	-	2	2	4	2	2	1	1	1	1	4	26

Donde; NA: Naturaleza, IN: Intensidad, EX: Extensión, MO: Momento, PE: Persistencia, RV: Reversibilidad, SI: Sinergia, AC: Acumulación, EF: Efecto, PR: Periodicidad, MC: Recuperabilidad.

Los resultados arrojan que al aplicar el método Conesa, se obtuvieron tres actividades con el mayor valor de importancia, que afectan severamente a la estabilidad geológica por el minado, el aprovechamiento de agua subterránea por la extracción y el aporte de contaminantes al suelo por la generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros). Las actividades mencionadas se relacionan directamente con la condición actual de los recursos del SAR ya que de no ser supervisadas adecuadamente causarían impactos catastróficos a la región, la aplicación de este método se justifica por proveer una alta certeza en la identificación de impactos, ya que limita en gran medida la subjetividad.

El impacto ambiental por el minado a la estabilidad geológica es de una alta intensidad y magnitud, ocurrirá inmediatamente y de forma permanente, será irreversible a pesar de las medidas de mitigación, es de carácter sinérgico, aunado a su periodicidad, la estabilidad será irrecuperable. La extracción de agua subterránea será de los impactos ambientales más importantes en el análisis, es de intensidad muy alta y extensa por la poca disponibilidad del recurso en la zona, ocurrirá en el largo plazo, será permanente lo que favorecerá su ocurrencia a acumulativo y sinérgico, el recurso hídrico será irrecuperable por la baja tasa de infiltración hacia el subsuelo. El aporte de contaminantes al suelo por la producción de jales, puede ser catastrófico por su alta intensidad y extensión, ya que se tornaría en un impacto permanente, altamente sinérgico, acumulativo, continuo por la acción de la erosión eólica. Será determinante aplicar las medidas de mitigación en estos tres impactos ya que de ellos depende la sustentabilidad del área y del proyecto mismo.

### ***3.1.3 Aplicación e interpretación de Índice de Significancia de Bojórquez-Tapia.***

Para desarrollar el Índice de Significancia, se usaron valores: del 0 al 9 que se pueden consultar en su artículo “Appraisal of environmental impacts and mitigation measures through mathematical matrices” del año 1998; de cada uno de los criterios considerados para caracterizar y evaluar las afectaciones de las actividades del proyecto sobre los factores ambientales y sociales y así identificar los impactos más significativos o con mayor índice de significancia (Bojórquez-Tapia, *et al.* 1998: 4).

Se aplicó el Índice de Significancia a los IA con mayor magnitud e importancia identificadas en la matriz de Leopold, como a continuación se describe.

Tabla 6.3.- Valoración de los impactos ambientales con Metodología de Índice de Significancia (Bojórquez-Tapia).

Impactos		Criterios de Valoración por Bojórquez-Tapia.						
Actividad	Indicador.	M	E	D	S	A	C	Mi
Minado (Voladuras)	Estabilidad	7	6	7	4	2	0	0
Minado (Voladuras)	Modificación Topográfica del sitio.	8	3	8	2	2	0	0
Minado (Voladuras)	Especies en peligro de extinción.	7	6	6	2	2	7	3
Minado (Voladuras)	Salud Pública.	6	7	6	3	3	5	6
Disposición de Material Estéril.	Concentración de partículas suspendidas.	5	2	2	0	0	0	7
Manejo de soluciones de la pileta de Lixiviación	Especies en peligro de extinción.	2	3	4	2	2	4	3
Extracción de agua subterránea	Erosión	6	6	7	7	3	0	3
Extracción de agua subterránea	Aprovechamiento de agua sub.	7	7	8	8	8	6	0
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Concentración de partículas suspendidas.	6	3	3	6	3	3	6
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Aporte de contaminantes al suelo.	8	6	7	8	7	7	0
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Calidad y armonía visual.	7	5	7	5	3	6	3
Generación y manejo de residuos peligrosos (jales mineros).	Salud Pública.	6	5	5	5	3	7	7
Cierre y desmantelamiento de instalaciones.	Economía regional.	4	3	3	0	0	0	7

Donde; M=Magnitud, E=Extensión, D=Duración, S=Sinergia, A=Acumulación; C=Controversia, Mi=Mitigación

Tabla 6.3.1.- Resultado del índice de significancia de cada impacto evaluado.

Indicador Ambiental	Índice Básico	Índice complementario	Índice de intensidad	Índice de significancia
Estabilidad Geológica.	0.74	0.22	0.79	0.791825149
Modificación topográfica del sitio	0.70	0.15	0.74	0.741308107
Especies en peligro de extinción	0.70	0.41	0.81	0.541343702
Salud Pública (voladuras)	0.70	0.41	0.81	0.270671851
Concentración de partículas suspendidas (disposición de material estéril)	0.33	-	0.33	0.074074074
Especies en peligro de extinción	0.33	0.30	0.46	0.307720725
Erosión	0.70	0.37	0.80	0.534343906
Aprovechamiento de agua subterránea	0.81	0.81	0.96	0.962785252
Concentración de partículas suspendidas (jales mineros)	0.44	0.44	0.64	0.212432906
Aporte de contaminantes del suelo	0.78	0.81	0.95	0.954526657
Calidad y armonía visual	0.70	0.52	0.84	0.562898088
Salud Pública (jales mineros)	0.59	0.56	0.79	0.176112528
Economía Regional	0.37	-	0.37	0.082304527

Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
------	----------	------	----------

Como se puede observar, con este método se obtuvo que los IA con mayor Índice de Significancia (IS), son: extracción de agua subterránea, seguido de aporte de contaminantes al suelo por jales mineros, el tercer sitios lo ocupa la estabilidad debido al minado y voladuras; el de menor IS es la concentración de partículas suspendidas por disposición de material estéril.

### 3.1.4 Resultado y Análisis de Lógica Difusa.

Para el Análisis de Lógica difusa se usó el Software TDEIA, elaborado en el lenguaje C++ mediante la herramienta de desarrollo Borland 4.52, realizado en el departamento de ciencias de la computación e inteligencia artificial de la Universidad de Granada. El programa permitió obtener, analizar e interpretar la Calidad Ambiental del Entorno.

Tabla 6.4- Proyecto Cerro de San Pedro (Lógica Difusa)

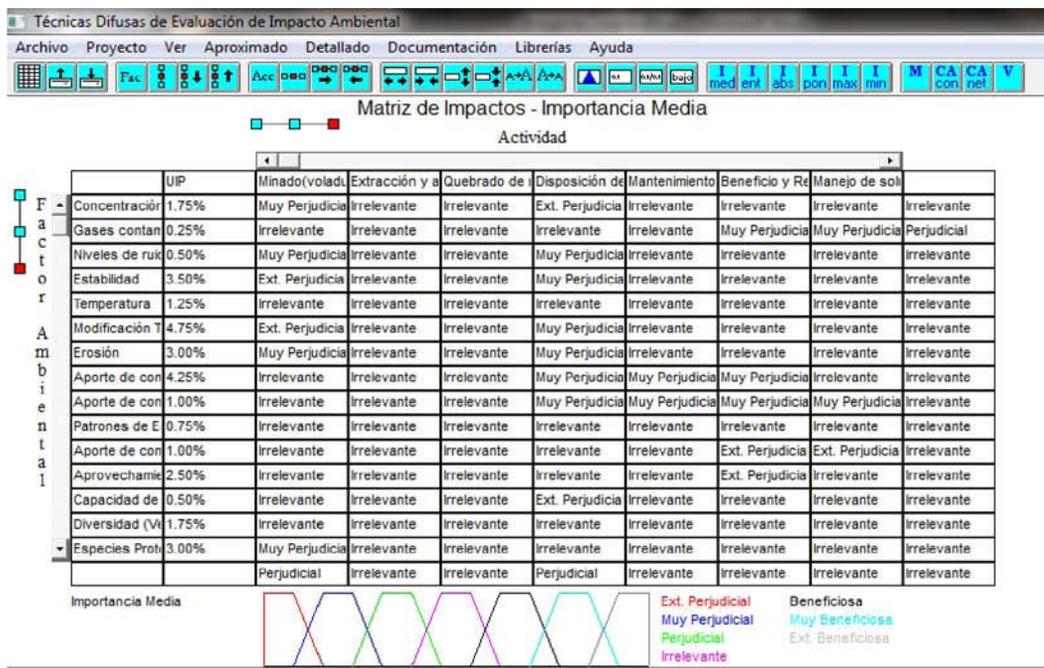
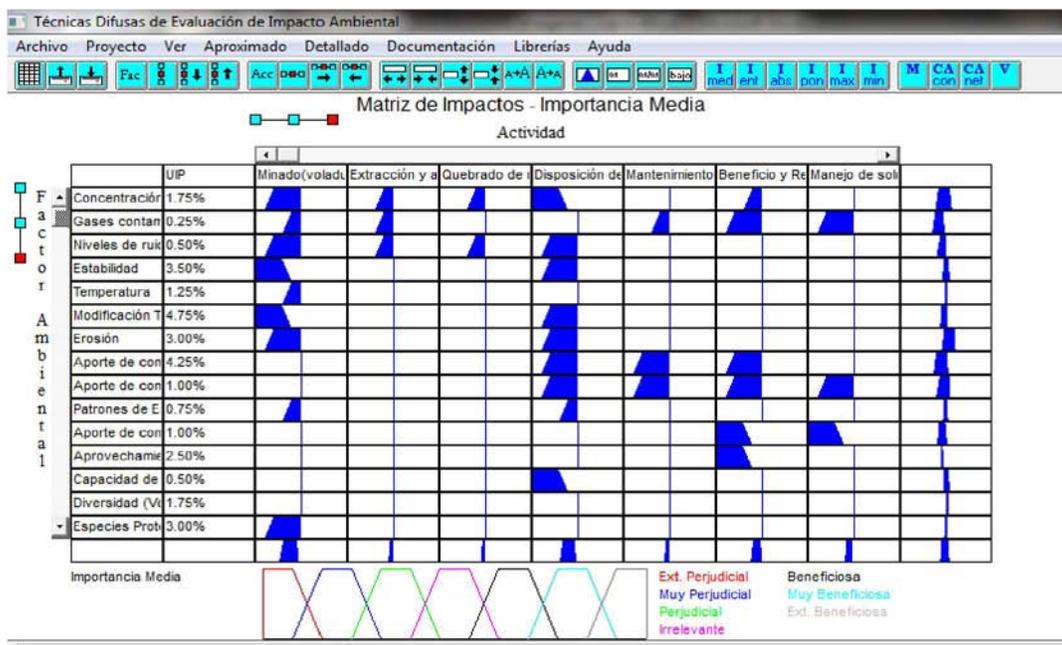


Tabla 6.4.1- Comportamiento de la Matriz de Impactos de Importancia media en Proyecto Cerro de San Pedro.



A partir de este análisis, el proyecto generará actividades que son perjudiciales de acuerdo a la Importancia Media obtenida, como se observa en la tabla 6.4. Los resultados arrojan que las actividades como minado, disposición del material estéril, entre otras, tienen una importancia media.

Tabla 6.4.2.- Minera Cerro de San Pedro.

Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental

Archivo Proyecto Ver Aproximado Detallado Documentación Librerías Ayuda

Matriz de Impactos - Importancia Relativa al Entorno

Actividad

	UIP	Minado(volad.	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol	
Factor	Concentración	1.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Gases con	0.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Niveles de ru	0.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Estabilidad	3.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Temperatura	1.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Ambiente	Modificación T	4.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Erosión	3.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Aporte de con	4.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Aporte de con	1.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Patrones de E	0.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Aporte de con	1.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Aprovechamie	2.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Capacidad de	0.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Diversidad (V)	1.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Especies Prot	3.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
			Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante

Importancia Relativa

Ext. Perjudicial  
Muy Perjudicial  
Perjudicial  
Irrelevante

Beneficiosa  
Muy Beneficiosa  
Ext. Beneficiosa

Como se puede ver en la Tabla 6.4.2 para la caracterización que arroja la matriz de Importancia Relativa del entorno, todos los impactos generados por las actividades del proyecto son irrelevantes, lo que se puede interpretar como la capacidad del sistema ambiental para absorber, mitigar y compensar los IA, o bien se deberá desechar la valoración de la importancia relativa del entorno, como parte del método de Lógica Difusa, ya que desde la Matriz de Leopold e Índice de Significancia se obtienen los mismo indicadores ambientales, impactados. Ya que como vemos a continuación los resultados de Importancia Absoluta de los Factores Ambientales, si son muy perjudiciales a extremadamente perjudiciales.



Tabla 6.4.5.- Proyecto Minera Cerro de San Pedro.

Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental

Archivo Proyecto Ver Aproximado Detallado Documentación Librerías Ayuda

Matriz de Impactos - Importancia Media Ponderada

Actividad

	UIP	Minado (volad)	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol	
Concentración	1.75%	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Ext. Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Gases contan	0.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Perjudicial
Niveles de ruido	0.50%	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Estabilidad	3.50%	Ext. Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Temperatura	1.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Modificación T	4.75%	Ext. Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Erosión	3.00%	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Aporte de con	4.25%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante
Aporte de con	1.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial	Muy Perjudicial
Patrones de E	0.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Aporte de con	1.00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Ext. Perjudicial	Ext. Perjudicial	Irrelevante
Aprovechamie	2.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Ext. Perjudicial	Ext. Perjudicial	Irrelevante
Capacidad de	0.50%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Ext. Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Diversidad (V)	1.75%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
Especies Prot.	3.00%	Muy Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
	Importancia Ponderada								

Ext. Perjudicial  
Muy Perjudicial  
Perjudicial  
Irrelevante

Beneficiosa  
Muy Beneficiosa  
Ext. Beneficiosa

En la matriz de importancia media ponderada de los impactos, tabla 6.4.5, se puede observar que en general las actividades del proyecto tienen un comportamiento irrelevante a pesar de que en esta matriz se evalúa con relación al peso en porcentaje (UIP) y cada impacto se comporta diferente. Las actividades que más impactarán a lo largo del proyecto son: el minado, con una clasificación de “Muy perjudicial”. Con criterio de “Perjudicial” arroja a la disposición de material estéril, generación y manejo de residuos sólidos peligrosos (jales mineros), Salud pública y cierre del proyecto. Por lo que es determinante el cumplimiento total de las medidas de mitigación que propone la MIA.

Tabla 6.4.6.- Minera Cerro de San Pedro.

Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental

Archivo Proyecto Ver Aproximado Detallado Documentación Librerías Ayuda

Matriz de Impactos - Importancia Media Ponderada

Actividad

	UIP	Minado (volad)	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol	
Concentración	1.75%								
Gases contan	0.25%								
Niveles de ruido	0.50%								
Estabilidad	3.50%								
Temperatura	1.25%								
Modificación T	4.75%								
Erosión	3.00%								
Aporte de con	4.25%								
Aporte de con	1.00%								
Patrones de E	0.75%								
Aporte de con	1.00%								
Aprovechame	2.50%								
Capacidad de	0.50%								
Diversidad (V)	1.75%								
Especies Prot.	3.00%								
	Importancia Ponderada								

Ext. Perjudicial  
Muy Perjudicial  
Perjudicial  
Irrelevante

Beneficiosa  
Muy Beneficiosa  
Ext. Beneficiosa

Tabla 6.4.7.- Minera Cerro de San Pedro.

		Actividad	UIP	Minado(volad.	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol
Factores Ambientales	Concentraci	1.75%	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Alta
	Gases contan	0.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Niveles de ru	0.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Estabilidad	3.50%	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Temperatura	1.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Modificación T	4.75%	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Erosión	3.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Aporte de con	4.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta
	Aporte de con	1.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Patrones de E	0.75%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Aporte de con	1.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Aprovechamie	2.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta
	Capacidad de	0.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Diversidad (V)	1.75%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	
Especies Prot	3.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	

A partir de la aplicación del Método de Lógica Difusa, particularmente con los resultados de la matriz de importancia, permite obtener la Calidad Ambiental del Entorno como se observa en la tabla 6.4.7. En la mayoría de los factores ambientales es baja, por lo que importante acatar las medidas de mitigación establecidas en la MIA, además de aquellas que la autoridad ambiental resuelva.

Tabla 6.4.8.- Calidad Ambiental a partir de los Impactos Ambientales de la Minera Cerro de San Pedro.

		Actividad	UIP	Minado(volad.	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol
Factores Ambientales	Concentraci	1.75%	Baja	Baja	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Alta
	Gases contan	0.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Niveles de ru	0.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Estabilidad	3.50%	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Temperatura	1.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Modificación T	4.75%	Media	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Erosión	3.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Aporte de con	4.25%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta
	Aporte de con	1.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Patrones de E	0.75%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Aporte de con	1.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
	Aprovechamie	2.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta
	Capacidad de	0.50%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Diversidad (V)	1.75%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	
Especies Prot	3.00%	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	

Tabla 6.4.9.- Calidad Ambiental Neta en Minera Cerro de San Pedro.

Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental

Archivo Proyecto Ver Aproximado Detallado Documentación Librerías Ayuda

Matriz de Impactos - Calidad Ambiental Neta

Actividad

	UIP	Minado(volad	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol	
Concentración	1.75%	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora mucho
Gases contan	0.25%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Niveles de rui	0.50%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Estabilidad	3.50%	Mejora	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora
Temperatura	1.25%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Modificación T	4.75%	Mejora	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora
Erosión	3.00%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora
Aporte de con	4.25%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora mucho
Aporte de con	1.00%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Patrones de E	0.75%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Aporte de con	1.00%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Aprovechamie	2.50%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	Mejora mucho
Capacidad de	0.50%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Diversidad (Vi	1.75%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia
Especies Prot	3.00%	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia	No cambia

Calidad Ambiental Neta

Empeora mucho  
Empeora  
No cambia  
Mejora

Mejora mucho

En la tabla 6.4.9, se puede observar la calidad ambiental neta del proyecto, la cual no cambia considerablemente en los diferentes factores ambientales, a pesar de los impactos negativos determinados en las diferentes etapas del proyecto. Para la integridad escénica, la salud pública, las especies en peligro de extinción “Mejora mucho” y la valoración para la condición ecológica del paisaje “Mejora”, de acuerdo a las técnicas de lógica difusa. Es importante destacar que debido a la resiliencia del sistema, estos indicadores mejoran si y solo si, se aplican las medidas de mitigación y compensación indicadas para cada etapa.

Tabla 6.4.10.- Impactos Difusos del Entorno en Minera Cerro de San Pedro.

Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental

Archivo Proyecto Ver Aproximado Detallado Documentación Librerías Ayuda

Matriz de Impactos - Valor de los Impactos

Actividad

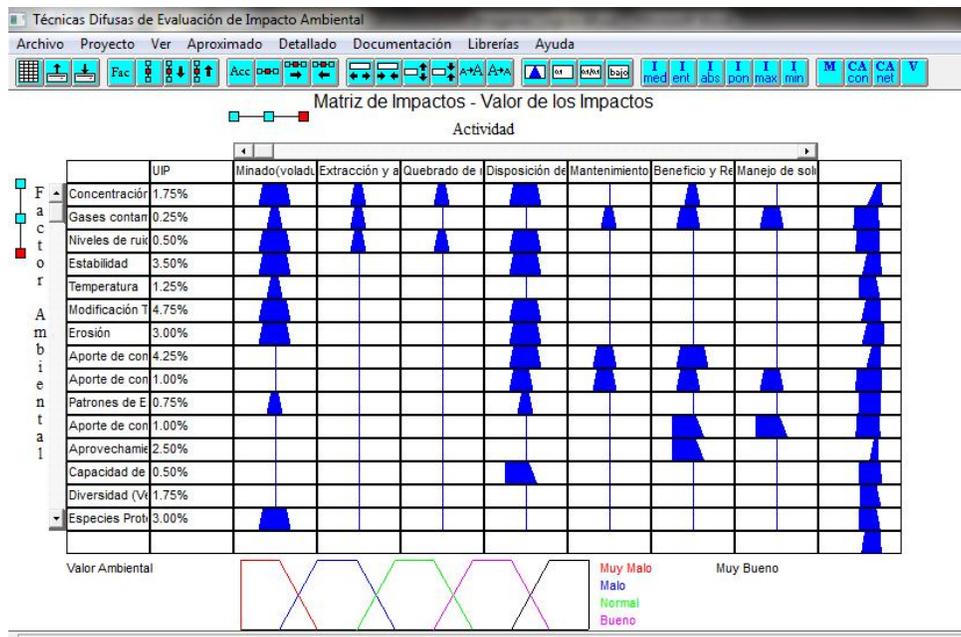
	UIP	Minado(volad	Extracción y a	Quebrado de	Disposición de	Mantenimiento	Beneficio y Re	Manejo de sol	
Concentración	1.75%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Bueno
Gases contan	0.25%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Niveles de rui	0.50%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Estabilidad	3.50%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Bueno
Temperatura	1.25%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Modificación T	4.75%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Bueno
Erosión	3.00%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Bueno
Aporte de con	4.25%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Bueno
Aporte de con	1.00%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Patrones de E	0.75%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Aporte de con	1.00%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Malo	Malo	Normal
Aprovechamie	2.50%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Malo	Normal	Bueno
Capacidad de	0.50%	Normal	Normal	Normal	Malo	Normal	Normal	Normal	Normal
Diversidad (Vi	1.75%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Especies Prot	3.00%	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Valor Ambiental

Muy Malo  
Malo  
Normal  
Bueno

Muy Bueno

Tabla 6.4.11. Comportamiento del Valor de los impactos en la Minera Cerro de San Pedro.



El Valor de los Impactos del entorno, es el valor final que se obtiene después del análisis de las importancias y magnitudes del factor ambiental y las etapas del proyecto, como se observa en la tabla 6.4.11, la tendencia del Valor Ambiental es “bueno” con poca probabilidad de tornarse normal lo que lo hace un sistema sensible a las pequeñas tasas de cambio en los impactos ambientales, hay que enfatizar la importancia de la compensación en el proyecto ya que de esto depende la protección y conservación de los recursos naturales.

### 3.2 Unidad minera Los Cardones.

“Los Cardones” es un proyecto Minero Metalúrgico, con obras y actividades para la explotación de una mina a tajo abierto en la Delegación de San Antonio, Municipio de la Paz, B.C.S., dentro de los predios “Jesús María” y “La Junta”, ambos propiedad de la empresa Desarrollos Zapal, S.A. de C.V.

El proyecto cuenta con antecedentes desde 1970, en un lugar cuyo potencial minero es reconocido en el Programa Estatal de minería del Estado de Baja California Sur (2010), su ubicación corresponde a una subzona de aprovechamiento especial, en donde se permite la minería en forma condicionada y se han hecho exploraciones anteriormente. (SEMARNAT, 2012: II-1).



En el análisis del estudio ambiental se encontraron los siguientes hallazgos:

En cada una de las tres etapas del proyecto la consultora “Desarrollo Zapal” analizó de manera diferenciada los impactos ambientales, al final lo integró en una sola MIA.

1. Evaluación del impacto ambiental del proyecto Los Cardones en su versión integral para el aprovechamiento mineral metalúrgico.
  2. Evaluación del impacto ambiental de las obras y actividades asociadas para un Acueducto y obras complementarias de energía eléctrica para servicio al proyecto Los Cardones.
  3. Evaluación de impacto ambiental de las obras y actividades asociadas a la planta desalinizadora para el abasto de agua a el proyecto Los Cardones y actividades complementarias para el manejo de salmuera de rechazo.
- La infraestructura que se utilizará en el proyecto cumplirá un programa de cero daños al ambiente.
  - Desarrollos Zapal, S.A. de C.V. repite a lo largo de la MIA los riesgos geo-hidrológicos del área del proyecto, además que el proyecto se realizará en una zona tectónicamente estable en la cual no existen fallas geológicas activas.
  - No existe acuífero dinámico refiriéndose a que no hay extracción de este y que hay escasa agua encontrada en las fisuras de las rocas en los primeros 30 m de profundidad; después se encuentra un acuífero a 300 metros, los estudios reportan un valor de bajo a moderado de vulnerabilidad.
  - Se desalinizará el agua de mar, al regresar la salmuera no se estará afectando significativamente al sistema.
  - En el Apéndice 5 al Capítulo II de la MIA, titulado “Emisiones a la Atmósfera”, no se discuta ninguna de las fuentes de emisiones a la atmósfera.

A continuación se presentan los criterios para delimitar el Sistema Ambiental Regional, los métodos para la identificación de los IA y los impactos significativos encontrados en el estudio.

Tabla 7.- Desglose de información entre la manifestación de impacto ambiental *Proyecto los Cardones*.

Modalidad.	Criterios para delimitar el sistema ambiental	Métodos usados en la identificación de IA.	Impactos significativos dentro del estudio.
Regional	<p>Criterios a delimitar en el proyecto:</p> <p><u>Provincia Fisiográfica</u>: Cuando la región de estudio muestra atributos homogéneos por su relieve, altitud y topografía es posible identificar áreas que responden a un Sistema Ambiental básico. No es posible justificar el SAR con únicamente atributos fisiográficos ya que hay diferencias entre la fisiografía.</p> <p><u>Uso de suelo y vegetación</u>: Las asociaciones vegetales pueden servir como fronteras vegetales.</p> <p><u>Cuencas y microcuencas hidrográficas</u>: Estos atributos se seleccionaron en virtud de que en la mayoría de los casos es preferible realizar un manejo de áreas en unidades hidroterritoriales pequeñas sin perder de vista el entorno más amplio que es la cuenca.</p>	<p><b>Para Proyecto de aprovechamiento mineral:</b></p> <p>Matriz de Análisis Multivariado.</p> <p><b>Y para proyectos secundarios:</b></p> <p>Lista de chequeo.</p> <p>Método Conesa.</p> <p>Matriz de Leopold modificada.</p>	<p>En la etapa de selección y preparación del sitio los impactos más significativos fueron; disminución de la calidad de suelo por efecto de desmonte y despilme y reducción de abundancia de vegetación y fauna.</p> <p>En la etapa de construcción no hay impactos significativos solo moderados y están ligados a la excavación, relleno y compactación del suelo.</p> <p>En la etapa de operación y mantenimiento solo hay 5 impactos moderados.</p> <p>Los <u>impactos Residuales</u> identificados son; Las áreas donde se instalarán las diversas construcciones permanecerán libres de vegetación, no revirtiendo el efecto del desmonte, alteración permanente en cuencas visuales existentes, incrementos puntuales en la descarga de salmuera, desviación del escurrimiento que influye en el área del tajo y presa de jales y reducción de la diversidad del área del proyecto.</p> <p>Los <u>impactos Acumulativos</u> inciden sobre el factor suelo, vegetación y paisaje; debiéndose a los efectos acumulados por el desmonte para actividades agrícolas, apertura de caminos y edificación de construcciones permanentes que existen en la zona de influencia del proyecto.</p>

Se usó un Análisis Ponderado Multivariado para la evaluación de impactos ambientales, el cual es muy redundante en sus términos, obtenida en el libro “Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Larry W. Canter. Ed. McGraw-Hill, Madrid, 1999”.

Los impactos más relevantes que se identifican dentro del Análisis Multivariado fueron; de manera porcentual: 53% Adversos y 47% benéficos, los impactos adversos significativos se asocian al manejo de jales mineros tradicional con 4 interacciones significativas con el medio físico y biológico; en particular con suelo, calidad del paisaje, una asociada con la compatibilidad con el efecto de la infraestructura para el manejo de los residuos sólidos y la observancia de las regulaciones de uso y actividades.

Los impactos adversos potencialmente significativos, se identifican solo 2 acciones de carácter significativo, relacionadas con el manejo de jales mineros y su control en la presa de jales con la presencia y conducta del acuífero, incidiendo potencialmente en riesgos de

fallas en el manejo de medidas de seguridad operativas; y por otro lado el impacto en la calidad del aire en la forma de emisiones de polvos en diferentes fracciones.

El presente estudio para la evaluación de los IA del proyecto *Unidad Minera Los cardones.*, propone usar inicialmente la Matriz de Leopold Modificada, que se presentan en la tabla 7.1.

### ***3.2.1 Matriz de Leopold propuesta para Unidad Minera los Cardones.***

Se añadió como indicador a la Matriz la hidrología subterránea debido a las concesiones otorgadas por CONAGUA a la empresa, y se le asignó un valor alto al impacto ya que dentro de la zona se presenta una deficiencia hídrica, esto se fundamenta con lo que la CONAGUA presenta en la situación de los recursos hídricos de México en el 2011, donde se observa que la Región Hidrológica-Administrativa numero I que es la Península de Baja California es la más baja de acuerdo a la recarga media total de los acuíferos teniendo 1249 m.ll.m<sup>3</sup>/año (CONAGUA, 2011:2).

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos de la evaluación.



La Magnitud e Importancia se asignaron de acuerdo a los valores siguientes:

Valor Magnitud	Criterio
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

Valor Importancia	Criterio
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy Alta

A partir del análisis de la MIA con resolutive favorable, se han realizado una serie de consideraciones a las actividades del proyecto y que se han plasmado en la propuesta de la construcción de la matriz de Leopold modificada para la identificación, evaluación y descripción de los IA.

Debido a los hallazgos descritos anteriormente, se hacen las siguientes consideraciones:

Es importante tomar en cuenta el alto grado de erosión que la zona presenta, así como el bajo nivel de materia orgánica en los suelos, lo que impide su adecuada formación, por lo que es conveniente cuestionar toda la infraestructura propuesta para el desarrollo del proyecto.

La infraestructura que se utilizará en el proyecto cumplirá un programa de cero daños al ambiente, sin abundar más en ello. Ningún proyecto puede asegurar que la infraestructura que se utilizará en el proyecto cumplirá un programa de cero daños al ambiente. La planta desalinizadora consumirá anualmente en promedio 30 millones de kW-hora de electricidad; equivale en términos de combustibles fósiles, unos 5 millones de litros de combustóleo, por lo que no es posible hablar de cero daños al ambiente.

Han considerado a la zona del proyecto como tectónicamente estable, sin embargo en la MIA está ausente el estudio que fundamente tal riesgo.

La información científica disponible y las cartas geológicas oficiales, describen precisamente a esta misma área como una zona en la que existen fallas geológicas importantes que podrían poner en riesgo la seguridad estructural e hídrica del proyecto,

todo esto lo sustenta por la información proporcionada por diferentes autores como Fletcher, J.M., Mattern, F., Munguía, L. que dentro de sus estudios destacan las fallas de la Región del Cabo y como el sitio donde se pretende desarrollar el proyecto está sobre estas fallas (Ezcurra, 2012).

La descarga de sustancias químicas es una de las actividades donde hay mayor riesgo, de que ocurra un evento adverso, sobre todo considerar eventos climáticos extremos; por lo que el diseño de la presa debe ser robusto como para prevenir un desborde. Basada en un modelo gráfico que extrapola la distribución de Weibull de eventos extremos, es importante mencionar que la “Distribución de Weibull” resulta muy conveniente para modelar la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia de tiempo, ya que tiene la suficiente flexibilidad para representar los periodos de falla temprana (Muñoz, 2009:381). La empresa ha determinado un límite de seguridad de 330 mm de lluvia como el umbral máximo esperable en un periodo de 100 años. Según este método, la probabilidad acumulativa de falla de la presa de jales con su carga letal de cianuro sería, en 10 años, **del 10%**. Una probabilidad de una catástrofe trágica de 10% es un valor de riesgo demasiado elevado para cualquier instalación industrial con residuos peligrosos. De igual manera, este riesgo es un valor subestimado, ya que no toma en cuenta la incidencia creciente de anomalías atmosféricas que está induciendo el cambio climático global, ni tampoco considera los posibles errores de la estimación gráfica a la probabilidad de Weibull. Contando esto, la probabilidad acumulativa de fallas en la presa de jales como producto de eventos meteorológicos anómalos es cercana **al 20%**, un umbral de riesgo inaceptablemente alto para una región que depende tan críticamente de acuíferos sanos y libres de contaminación (Ezcurra, 2012).

A pesar de no ser parte de este trabajo, cabe destacar el proyecto asociado a la Planta Desalinizadora, por los impactos que esta genera son de tal magnitud, que merece una MIA por si sola para la actividad de la desalinizadora. Esta demanda representa el consumo energético de unos 6,000 a 10,000 hogares en esta región, y el abasto de esta cantidad de energía obligará prácticamente a duplicar la infraestructura local. La planta desalinizadora deberá disponer cada año de unas *88,000 toneladas de sal producto de la desalación*, que serán arrojadas al Océano Pacífico en forma de salmueras. Es importante destacar el impacto que tiene la salmuera hacia el ecosistema marino, naturalmente hay desalinización

en el mar a partir del ciclo hidrológico lo cual genera el primer impacto alterando este ciclo por la gran demanda de agua que el proyecto requiere (Esteve, *et al.* 2003: 130). Se debe ser tomada en cuenta para la evaluación de los impactos ambientales, siendo que el incremento en el consumo eléctrico representará que las estaciones eléctricas de la región aumenten su consumo de combustóleo, estimó una emisión anual adicional de unas 8,000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Por lo que es importante destacar que en el Apéndice 5 al Capítulo II de la MIA, titulado “Emisiones a la Atmósfera”, no se discuta ninguna de estas fuentes de emisión, siendo preocupante al momento de evaluar, esto tomado en cuenta en nuestra evaluación para ver la interacción de los impactos con el sistema. Además de ser altamente contradictorio ya que en la MIA se menciona que la infraestructura será cero daño al ambiente.

Hay tres puntos importantes a tomar en cuenta al momento del apartado del cierre de mina y restauración del sitio, con base a la legislación en el Capítulo IV del Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas de la LGEEPA en el Artículo 70 demanda una serie de condiciones para un programa de restauración exitoso. Entre otras, (I) exige que la reforestación de estas zonas se realice con especies nativas de la región, y (II) demanda el restablecimiento de las condiciones propicias para la regeneración natural o inducida.

De igual manera, la LGEEPA, en el Artículo 78, Capítulo II, titulado “Zonas de Restauración”, establece que” en aquellas áreas que presenten procesos de degradación o desertificación, o graves desequilibrios ecológicos, la Secretaría deberá formular y ejecutar programas de restauración ecológica, con el propósito de que se lleven a cabo las acciones necesarias para la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales que en ella se desarrollaban.”

Por último, la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003 “Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales” dentro de estos criterios, los sub-incisos 5.7.4 y 5.7.5 establecen claramente que: (5.7.4) “la superficie del depósito debe ser cubierta con el suelo recuperado, de ser el caso, o con materiales que permitan la fijación de especies vegetales”,

y (5.7.5) “las especies vegetales que se utilicen para cubrir el depósito deben ser originarias de la región, para garantizar la sucesión y permanencia con un mínimo de conservación”

Por todo esto es importante subrayar que el programa de revegetación de la MIA “Los Cardones” no cumple ni siquiera de manera básica con los criterios que la normatividad y la legislación demandan para un programa de restauración ecológica, debiendo presentar la empresa responsable un programa de cierre de mina y de restauración del sitio con especies nativas, para asegurar que se ha tratado de minimizar de manera seria y concienzuda el impacto ambiental sobre el área natural protegida. Más aún, no sabemos si va a usar semillas ortodoxas o recalcitrantes o cuál va a ser el modelo para revegetación, ya que en estos programas se deben usar plantas endémicas para favorecer la recuperación de la cubierta vegetal que el sitio y su área de influencia poseían (Ezcurra, 2012).

El programa de restauración no tiene probabilidades de éxito, mencionan que en viveros se hará la propagación de especies nativas, sin embargo, muchas de estas especies por ejemplo son de crecimiento muy lento, como el cardón que tan solo alcanza en unos centímetros después de 10 años en un vivero y no se puede trasplantar al campo si no es bajo la sombra de un árbol nodriza (Ezcurra, 2012).

Los resultados de la matriz de Leopold y tomando en consideración lo antes descrito, muestran que los componentes ambientales con mayor magnitud e importancia son: el ecológico, el geológico, así como los factores suelo y atmósfera. Los impactos benéficos más importantes son la oferta de servicios e interés social.

Las actividades adversas con el valor más alto de Magnitud e Importancia son: el desmonte y despalme; así como la creación y operación de tepetateras y tajo, la fase del proyecto con más impactos adversos es el desarrollo de obras de integración a la infraestructura ya que en esta fase se construye todo lo que compondrá la mina para su aprovechamiento y para diferentes indicadores ambientales, es contraproducente.

La nueva propuesta de valoración de la Matriz de Leopold agregando actividades e indicadores, contiene los impactos con mayor magnitud e importancia, se marcaron en rojo para su análisis a través de los métodos de Conesa, Índice de Significancia y Lógica Difusa. En ese orden de análisis es la propuesta del presente trabajo para obtener los impactos

ambientales acumulativos y residuales que debe contener al menos una MIA que es sometida a evaluación por la autoridad ambiental.

A partir de la identificación de los impactos con mayor magnitud e importancia, se continuará con el método de Conesa Simplificado como se desarrolla a continuación:

### 3.2.2 Aplicación e interpretación del Método Conesa simplificado.

#### Proyecto minero Los Cardones.

Tabla 7.2.- Valoración de los impactos ambientales con Método Conesa simplificado.

Impactos		Criterio											I
Actividad	Indicador.	NA	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	
Desmante de áreas.	Relieve	-	4	2	4	2	2	1	1	4	2	4	36
Despalme	Calidad del suelo	-	8	4	4	4	2	1	1	4	4	8	60
Despalme	Relieve	-	8	4	8	4	4	2	4	4	4	8	70
Despalme	Erosión	-	8	4	4	2	2	2	4	4	4	4	58
Creación de Tepetateras, apertura del tajo.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	-	4	4	2	2	2	1	1	4	2	4	38
Construcción de presa de Jales y obras de control de escurrimientos.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	-	4	4	2	2	2	1	1	4	2	4	38
Construcción de presa de Jales y obras de control de escurrimientos.	Calidad del paisaje.	-	4	4	4	2	2	2	4	4	2	4	44
Trazo y rehabilitación de caminos internos.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	-	4	2	2	2	2	1	1	4	2	4	34
Operación de presa de jales.	Hidrología subterránea	-	8	4	2	4	4	2	4	4	4	8	64
Operación de presa de jales.	Calidad del paisaje.	-	4	4	4	4	2	2	1	4	4	8	49
Operación de presa de jales.	Geohidrología	-	8	4	4	4	2	2	4	4	2	4	58
Procesado mineral, trituración, molienda, cianuración, lavado, reciclaje, productos.	Gases contaminantes	-	8	4	4	2	2	2	4	4	2	4	56
Procesado mineral, trituración, molienda, cianuración, lavado, reciclaje, productos.	Geohidrología	-	8	2	2	4	2	2	4	4	2	4	52
Tajo y tepetateras	Relieve	-	4	4	4	4	2	2	1	4	2	4	43
Tajo y tepetateras	Estabilidad del subsuelo	-	4	2	2	2	2	2	1	4	2	4	35
Tajo y tepetateras	Geohidrología	-	8	4	2	4	4	2	4	4	2	8	62
Tajo y tepetateras	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	-	4	2	2	2	2	1	1	4	2	4	34
Tajo y tepetateras	Calidad del paisaje.	-	8	4	4	4	2	1	4	4	2	4	57

Donde; NA: Naturaleza, IN: Intensidad, EX: Extensión, MO: Momento, PE: Persistencia, RV: Reversibilidad, SI:

Sinergia, AC: Acumulación, EF: Efecto, PR: Periodicidad, MC: Recuperabilidad

El método Conesa permitió identificar ocho impactos de carácter severo de acuerdo al valor de importancia obtenido, siendo estos, el despalme, el relieve, la calidad del suelo y la erosión, este último es el componente ambiental más afectado. Así mismo se identificó la operación de presa de jales, la hidrología subterránea, el proceso general de aprovechamiento de minerales, la calidad del paisaje producido por las tepetateras y el tajo y uno de los más severos es Geohidrología, afectada principalmente por la Operación de la presa de Jales, el procesado del mineral y el tajo con las tepetateras, es importante tomar en cuenta este indicador ya que el peligro Geológico incide en la infraestructura de manera importante pudiendo ocasionar un daño irreversible a la hidrología subterránea de la zona.

El despalme afecta tanto la calidad del suelo, como el relieve y la erosión, los IA serán de carácter altamente intensos, extensos y permanentes, ocurrirán a mediano plazo, serán acumulativos y sinérgicos; la calidad del suelo, será irrecuperable, el impacto por erosión que puede mitigarse. Por otro lado, debido a su alta intensidad y extensión la operación de presa de jales afectará a la hidrología subterránea, con medidas de mitigación altamente exigentes puede ser recuperable a largo plazo, en caso de que no ocurra el impacto puede ser permanente e irreversible, generando acumulación y sinergia al medio hídrico.

El procesado de mineral genera emisiones de gases a la atmosfera de manera inmediata, la emisión será temporal a largo plazo. La afectación a la Geohidrología será permanente por las características de la zona, a partir de IA acumulativo y sinérgico. La emisión de gases a la atmósfera puede ser de carácter mitigable pero la Geohidrología será irrecuperable.

Las actividades de tajo y las tepetateras afectan de igual manera a la Geohidrología del sitio, así como a la calidad del paisaje, tienen valores altos de intensidad y extensión, serán permanentes, no hay sinergia en la calidad del paisaje que puede ser mitigable.

El método Conesa no nos arroja el impacto residual que se puede generar por las diversas actividades de un proyecto, por lo que se optó por usar otra metodología más robusta para hacer una mejor interpretación de los impactos ambientales en proyectos de exploración y explotación de minerales.

### ***3.2.3 Aplicación e Interpretación de Índice de Significancia de Bojórquez- Tapia.***

Para desarrollar el Índice de Significancia, se usaron valores: del 0 al 9 que se pueden consultar en su artículo “Appraisal of environmental impacts and mitigation measures

through mathematical matrices” del año 1998; de cada uno de los criterios considerados para caracterizar y evaluar las afectaciones de las actividades del proyecto sobre los factores ambientales y sociales y así identificar los impactos más significativos o con mayor índice de significancia (Bojórquez-Tapia, *et al.*1998: 4).

Se aplicó el Índice de Significancia a los IA con mayor magnitud e importancia identificados en la matriz de Leopold, como a continuación se describe.

Tabla 7.3.- Valoración en Índice de Significancia para los impactos ambientales.

Impactos		Criterios de Valoración por Bojórquez-Tapia.						
Actividad	Indicador.	M	E	D	S	A	C	Mi
Desmonte de áreas.	Relieve	6	5	7	3	3	4	0
Despalme.	Calidad del suelo	7	5	6	5	5	5	3
Despalme.	Relieve	8	6	8	7	5	6	0
Despalme.	Erosión	5	7	7	5	4	5	3
Creación de Tepetateras, apertura del tajo.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	5	5	5	0	0	5	5
Construcción de presa de Jales y obras de control de escurrimientos.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	5	4	5	3	3	5	5
Construcción de presa de Jales y obras de control de escurrimientos.	Calidad del paisaje.	5	6	6	4	3	4	3
Trazo y rehabilitación de caminos internos.	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	3	2	4	2	2	4	5
Operación de presa de jales.	Hidrología subterránea	7	7	8	5	5	7	0
Operación de presa de jales.	Calidad del paisaje.	6	6	5	4	3	4	3
Operación de presa de jales.	Geohidrología	5	5	5	6	6	7	2
Procesado mineral, trituración, molienda, cianuración, lavado, reciclaje, productos.	Geohidrología	5	4	4	4	4	6	3
Tajo y tepetateras	Estabilidad del Subsuelo	5	4	4	3	3	4	3
Tajo y tepetateras	Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	4	3	3	0	0	4	6
Tajo y tepetateras	Calidad del paisaje.	7	5	5	3	3	5	3
Tajo y tepetateras	Geohidrología	7	6	7	6	6	8	2

Donde; M=Magnitud, E=Extensión, D=Duración, S=Sinergia, A=Acumulación; C=Controversia, Mi=Mitigación

Tabla 7.3.1.- Resultado del índice de significancia de cada impacto evaluado.

Actividad	Índice Básico	Índice complementario	Índice de intensidad	Índice de significancia
Relieve	0.67	0.37	0.77	0.77
Calidad del suelo	0.67	0.56	0.84	0.56
Relieve	0.81	0.67	0.93	0.93
Erosión	0.70	0.52	0.84	0.56
Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	0.56	0.19	0.62	0.28
Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	0.52	0.41	0.68	0.30
Calidad del paisaje.	0.63	0.41	0.76	0.51
Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	0.33	0.30	0.46	0.21
Hidrología subterránea	0.81	0.63	0.93	0.93
Calidad del paisaje.	0.63	0.41	0.76	0.51
Geohidrología.	0.56	0.70	0.84	0.65
Geohidrología.	0.48	0.52	0.70	0.47
Gases contaminantes	0.63	0.67	0.86	0.67
Relieve	0.59	0.41	0.73	0.49
Estabilidad del Subsuelo	0.48	0.37	0.63	0.42
Especies en status, carismáticas y vulnerables al cambio de hábitat.	0.37	0.15	0.43	0.14
Calidad del paisaje.	0.63	0.41	0.76	0.51
Geohidrología.	0.74	0.74	0.93	0.72

Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
------	----------	------	----------

Aplicando el índice de Significancia se identificaron tres impactos significativos de valor muy alto, como son la modificación del relieve, el despalme y el desmonte, así como la hidrología subterránea por la operación de presa de Jales, es importante mencionar que el proyecto Los Cardones se ubica en la Región Hidrológica 10, Sierra de la Laguna la cual provee de este recurso hídrico subterráneo a poblaciones aledañas importantes, el recurso está muy limitado en la zona.

De igual manera se identifican 6 impactos de alta Significancia, como la calidad del suelo, la erosión, así como la construcción y operación de la presa de jales y el tajo, el proceso

general de aprovechamiento de minerales expresado en gases contaminantes y tepetateras, afectando estos a la calidad del paisaje.

A partir de los IA identificados con mayor magnitud e importancia en la matriz de Lepold, posteriormente el método Conesa modificado, seguido de índice de significancia; ahora se procederá a aplicar el método de lógica difusa.

### 3.2.4 Resultado y Análisis de Lógica Difusa.

Tabla 7.4. Proyecto Los Cardones (Lógica Difusa).

The screenshot shows a software interface titled 'Técnicas Difusas de Evaluación de Impacto Ambiental'. The main window displays a 'Matriz de Impactos - Importancia Media' for the 'Sierra de la Laguna' component. The matrix is organized by 'Etapa' (Stage) and 'Componente Ambiental' (Environmental Component). The 'Paisaje' component shows the highest impact, with 'Muy Perjudicial' (Very Harmful) impacts during the 'Preparación' and 'Operación' stages. A legend at the bottom indicates the color coding for impact levels: Ext. Perjudicial (red), Muy Perjudicial (blue), Perjudicial (green), Irrelevante (purple), Beneficiosa (cyan), Muy Beneficiosa (light blue), and Ext. Beneficiosa (yellow).

		Etapa										
		UIP	Preparación	Desarrollo	Operación	Riesgos As						
S i e r r a	Inerte	25,00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante						Irrelevante
	Biotico	25,00%	Perjudicial	Perjudicial	Irrelevante	Irrelevante						Irrelevante
	Socioeconó	25,00%	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante						Irrelevante
	Paisaje	25,00%	Perjudicial	Muy Perjud	Perjudicial	Irrelevante						Perjudicial
A m b i e n t a l												
			Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante						Irrelevante

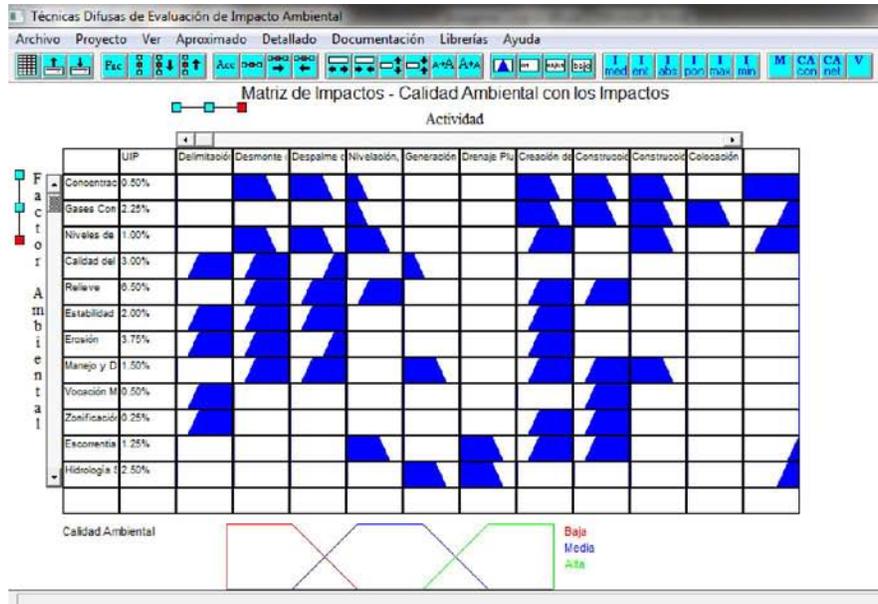
En la tabla 7.4 se observa que el componente Paisajístico es el más afectado, ya que dentro del estudio la minera ha propuesto usar parte del territorio de la Zona de la Reserva de la Biosfera “Sierra de la Laguna”.





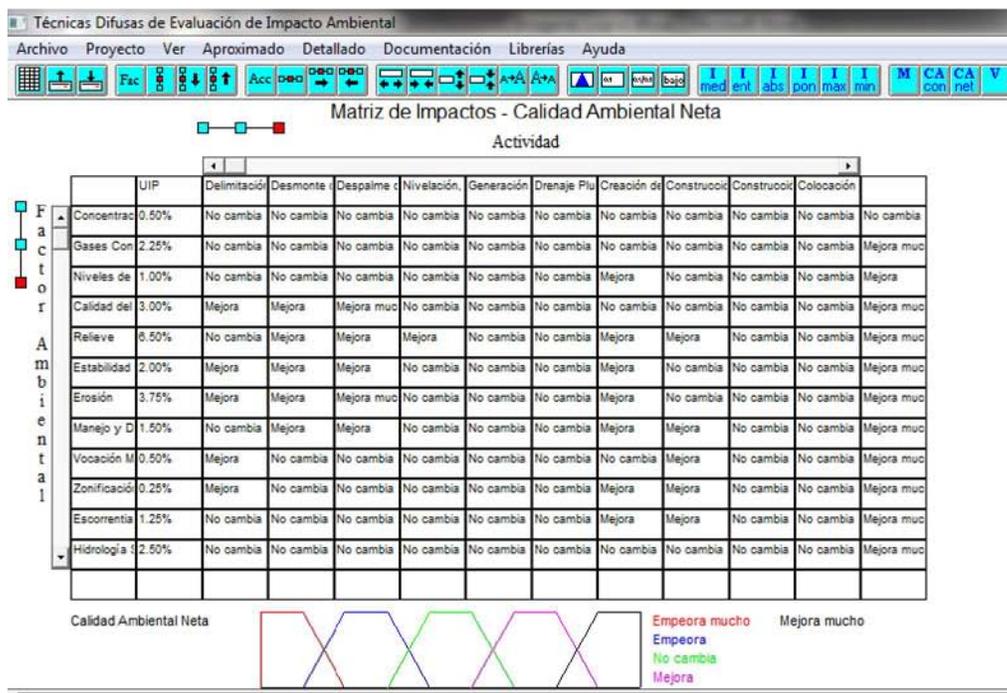


Tabla 7.4.7. Comportamiento de la Calidad Ambiental con los Impactos de Minera Los Cardones.



En las tablas 7.4.6 y 7.4.7, se observa cómo se comporta y describe la calidad ambiental, respecto de los impactos en el sistema. La calidad ambiental es baja en los factores como acceso y vialidades, rehúso de agua, vivienda rural y concentración de partículas suspendidas, a pesar de que anteriormente el factor más afectado dentro del estudio era el Paisaje con la Lógica difusa se puede ver como el entorno tiende a tener un alto nivel de resiliencia.

Tabla 7.4.8. Calidad Ambiental Neta de Minera Los Cardones.



La Calidad Neta del entorno en la mayoría de los Factores ambientales Mejora mucho, debido a la resiliencia del sistema ambiental y al escenario de la aplicación de todas las medidas de mitigación, compensación y reducción de IA. (Tabla 7.4.8)

Tabla 7.4.9. Valor de los Impactos difusos del Entorno de Minera Los Cardones.

Matriz de Impactos - Valor de los Impactos

		Etapa								
		UIP	Preparación	Desarrollo	Operación	Riesgos As				
S i s t e m a	Inerte	25,00%	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno				Bueno
	Biotico	25,00%	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno				Bueno
	Socioeconóm	25,00%	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno				Bueno
	Paisaje	25,00%	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno				Bueno
Ambienta										
										Bueno

Valor Ambiental: Muy Malo, Malo, Normal, Bueno, Muy Bueno

De acuerdo a los resultados de la tabla 7.4.9, el valor de los impactos sobre el entorno es “bueno”, por lo que el proyecto es factible de realizarse, si se aplican las medidas de reducción, mitigación y compensación adecuadas enfocándose más en el Factor Paisaje y Biótico; además de las condiciones que fije la autoridad ambiental.

El análisis a la MIA minera Los Cardones, realizado en el presente trabajo indica que los dos proyectos asociados (salinera y acueducto) deben ser evaluados ambientalmente de forma independiente, debido a la extensión la magnitud de sus impactos.

Los resultados obtenidos a partir de las metodologías (Matriz de Leopold modificada, Índice de Significancia, Conesa y Lógica Difusa) propuestas en este trabajo coinciden con lo analizado por el grupo consultor. Sin embargo, se añaden otros impactos severos y de suma importancia para su evaluación y mitigación que no son tomados en cuenta, como son el factor paisaje.

La identificación de los impactos al ambiente derivados de diversas actividades del proyecto está condicionada por tres situaciones: (1) la ausencia de un adecuado conocimiento de la respuesta de muchos componentes del ecosistema y medio social frente a una acción determinada, (2) la carencia de información detallada sobre algunos componentes del proyecto que pueden ser fundamentales por su interrelación con el ambiente, y (3) en la obra se presentan desviaciones respecto al proyecto original que no pueden ser tomadas en cuenta a la hora de realizar el Estudio de Impacto Ambiental.”

La evaluación del impacto ambiental requiere de metodologías especializadas que ayuden a identificar, evaluar y describir el grado que un impacto ocasiona a un sistema ambiental y como mitigarlos sin la necesidad de frenar el desarrollo de una región.

La Matriz de Leopold, es un método para identificar los impactos ambientales de una obra o actividad de un proyecto, que permite obtener su magnitud e importancia, es la base de métodos con mayor grado de complejidad.

El método de Conesa es usado con frecuencia, aunque solo en un 9% en su versión original. En el 58% de los casos, su ecuación original es modificada, lo cual sería una evidencia que no todos los analistas ambientales comparten plenamente el método.

Conesa (2010) plantea que el modelo numérico ideal debe tener una adecuación matemática, una adecuación a la información y una adecuación conceptual. Esta última exige que el modelo sea lógico, claro y no presente incoherencias. El modelo conceptual debe incluir una adecuación legal, es decir debe corresponderse con las normas. El mencionado autor señala que su modelo tiene una alta adecuación conceptual y legal (cumple la normativa de sus país, España).

El método de índice de significancia (Bojórquez-Tapia), es un método cuantitativo, además de identificar las características básicas de cualquier impacto ambiental, proporciona información de características complementarias y estima las medidas de mitigación, de los

impactos ambientales, lo que da mayor certeza del impacto total del proyecto, en algunos casos, es necesario un grupo de especialistas para poder bajar el grado de incertidumbre.

Lógica Difusa es una Metodología basada en un sistema de computación con palabras basados en aritmética difusa, permite minimizar lo mayor posible el nivel de incertidumbre en la evaluación de los impactos ambientales; el objetivo de esta mezcla de variables lingüísticas y numéricas es obtener la Calidad Ambiental del Proyecto y a su vez el Valor del Impacto Ambiental Total Difuso del Entorno para determinar la viabilidad real del proyecto, con esta metodología se elimina subjetividad al evaluar los impactos ambientales y no se evalúan los impactos de forma separada.

Como se menciona en su artículo 11 del reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación de Impacto Ambiental, en el párrafo IV donde especifica que; *“Las manifestaciones de impacto ambiental se presentarán en la modalidad regional cuando se trate de: Proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas”*(RLGEEPA, 2000:12)., por lo se necesita un método o conjunto de estos que identifiquen y valúen los impactos Acumulativos, Sinérgicos y Residuales.

Se sugiere el uso del método de Lógica Difusa como método de evaluación en la elaboración de las manifestaciones de impacto ambiental, ya que mejoraría significativamente la evaluación de los impactos ambientales y su interpretación si se construyen modelos numéricos y lingüísticos adecuados.

Es importante tener metodologías avaladas por la comunidad científica y aplicarlas en general a los proyectos. O bien, si no se van a usar estrictamente y se modifica alguno de los métodos debe estar la parte argumentativa técnico-científica del por qué se modifican, dichos métodos.

## ***Conclusiones.***

Para describir el sistema ambiental en minera Cerro de San Pedro lo realizaron con los criterios: componente biótico, efecto sobre el componente físico. En la minera Los Cardones usaron los criterios: provincia fisiográfica, uso de suelo y vegetación y cuencas y microcuencas hidrográficas,

En los proyectos de exploración y explotación minera el recurso hídrico es uno de los elementos más importantes y de mayor atención, más aun cuando es limitado en la zona, como ocurre en ambos proyectos.

Las matrices usadas por el grupo consultor en ambos proyectos solamente permiten obtener la naturaleza del impacto, los métodos usados son parciales y no ofrecen la información suficiente para determinar los impactos sinérgicos acumulativos y residuales.

Por la extensión y magnitud de los proyectos complementarios (acueducto y planta desalinizadora) en Los Cardones es importante elaborar una MIA para cada uno.

La matriz de Leopold que se desarrolló en el presente trabajo, permitió identificar los IA con mayor magnitud e importancia, para Cerro San Pedro son la concentración de partículas suspendidas, estabilidad, modificación topográfica del sitio, erosión, aprovechamiento de agua subterránea, calidad y armonía visual, especies en peligro de extinción y salud pública. Para proyecto los Cardones son los gases contaminantes, calidad del suelo, relieve, erosión, Geohidrología e hidrología subterránea, especies en status, carismáticas y la calidad del paisaje.

El método Conesa simplificado ayudó a evaluar el comportamiento e importancia total de cada IA. Para Cerro San Pedro son la estabilidad geológica, aprovechamiento de agua subterránea y aporte de contaminantes al suelo. Para los Cardones la calidad del suelo, relieve y erosión afectada por el despalme, hidrología subterránea, gases contaminantes por el procesado de mineral y la Geohidrología afectada por la presa de jales, el tajo y tepetateras, así como la calidad del paisaje.

El Índice de Significancia permitió obtener los IA significativos; para Cerro San Pedro es la estabilidad geológica, aprovechamiento de agua subterránea y aporte de contaminantes al suelo. Para el Proyecto los Cardones son, el relieve afectado por el desmonte y despalme y la hidrología subterránea.

El Índice de Significancia permitió obtener los IA significativos considerando en la evaluación las medidas de mitigación. Es necesario que si el valor de controversia es alto, se deberá consultar a un grupo de especialistas para poder bajar el grado de incertidumbre; para que además de los IA significativos se obtengan los residuales.

El método Lógica Difusa permitió obtener la calidad total del entorno ambiental, que para Cerro San Pedro “Mejora mucho” al igual que para los Cardones debido a la resiliencia del sistema y la aplicación del 100% de las medidas de mitigación y compensación indicadas para cada etapa.

No hay un solo método necesario para la identificación total de los IA en proyectos mineros, por lo menos se deben usar tres métodos, entre los que están Matriz de Leopold, método Conesa simplificado o Índice de Significancia y el método de Lógica Difusa para conjuntar en la evaluación el comportamiento del entorno social y ambiental.

No se debe de omitir la estimación de los impactos significativos o residuales, por el simple hecho de tratar de obtener un resolutive favorable. Es necesario hacer lo más profesional posible la evaluación para que el seguimiento y cumplimiento de las condicionantes impacte positivamente los factores social y ambiental.

### ***Literatura Citada.***

Arboleda. G. J., (2008), *Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, obras o actividades*, Medellín, Colombia.

Balvanera P., H. Cotler, (2009). *Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en Capital natural de México*, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México.

Betancourt L. y Herrera A. (2010). Pautas para la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental. Programa EcoMar, Inc., Editora Búho, Santo Domingo, República Dominicana, 133 pp.

Bojórquez- Tapia, L. A., Ezcurra E. And Garcia, O (1998), *Appraisal of environmental impacts and mitigation measures through mathematical matrices*; Journal of Environmental Management.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 30 Mayo (2000), *Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental*, Diario Oficial de la Federación, México.

Ramírez O. (s, f). Centro de Análisis e Información sobre Bióxido de Carbono del Depto. de Energía. “Calentamiento Global”.

Centro de Estudios Jurídicos Ambientales, Revista Derecho Ambiental y Ecología (2009), Numero 30 Año 5. PP. 47-48.

Coll-Hurtado. A., Sánchez M. T., Morales J., (2002), *La minería en México*, Col. Temas Selectos de Geografía de México (I.5.2), Instituto de Geografía, UNAM, México.

Comisión Nacional de Agua, (2011). Estadísticas del agua, Editorial Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua, México.

Conesa F. V., (1993), *Guía Metodológica para la evaluación del Impacto Ambiental*, Edit. MUNDI-PRENSA, Segunda Ed. Madrid, España.

Cuevas R. P., (2010), *Importancia de la resiliencia biológica como posible factor indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad*, Rev. Biológicas, México, 12(1).

Delgado R. G., (2010), *Ecología Política de la Minería en América Latina*, Edit. UNAM, México.

Durán H., (1990), *Impacto Ambiental de la Actividad Minera en Chile: Balance Preliminar*, Amb. y Des., 6(1).

Escobar J., (2002), *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*, Edit. ONU, CEPAL, Santiago de Chile.

ERM-MÉXICO S.A. DE C.V., (2011), *Evaluación de Impacto Ambiental y Social Proyecto Etileno XXI, Proyecto 123172* Recuperado de: [http://ifcext.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/B30D3092CEBC68FB85257959004DE5C6/\\$file/ESIA%20Vol.%203.%20Capitulo\\_6-Captiulo\\_11.pdf](http://ifcext.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/B30D3092CEBC68FB85257959004DE5C6/$file/ESIA%20Vol.%203.%20Capitulo_6-Captiulo_11.pdf)

Esteve M.A., Pascual M. LL., Martínez C. (2003), *Los Recursos Naturales de la región de Murera, un análisis interdisciplinar*, Universidad de Murera, España.

Estrada A., (2001), *Impactos de la inversión minera canadiense en México: una primera aproximación*, FUNDAR- Centro de Análisis e Investigación, México.

Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW), (2010), *Guía para evaluar EIA's de Proyectos Mineros*, Edit. ELAW, U.S.A.

García, L. (2004) “*Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*”, (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Gómez O. D. (2002), *Evaluación de Impacto Ambiental*, Editorial Mundi-Prensi, Segunda Edición, España.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, (INE). (2000). *La Evaluación del Impacto Ambiental*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Escobar Jairo J. y Barg U., Roma, (1990), *La contaminación de las aguas continentales de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela*, FAO, Roma.

Jiménez B. E., (2001), *La contaminación ambiental en México*, Editorial Limusa, México, pp. 628.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; Diario Oficial de la Federación, México, última reforma 09 de enero del 2015.

Ley Federal de Responsabilidad Ambiental; Diario Oficial de la Federación, México, última reforma 07 de Junio de 2013.

Martin B. R. (2011), *Gestión de Sostenibilidad utilizando Lógica Borrosa*, (Tesis de Maestría), Universidad Complutense de Madrid, España.

Muñoz D. F. (2009), *Administración de operaciones: Enfoque de administración de proceso de negocios*, Cengage Learning Editores. México.

Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Diario Oficial de la Federación, México, última reforma 31 de Octubre de 2014.

Romero M., Diego F., Álvarez M., (2006), *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud*, Redalyc, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Cuba.

Sarukhán J., Koleff P., Carabias J., Soberón J., Dirzo R., Llorente-Bousquets J., Halffter G., González R., Marcj I., Mohar A., Anta S., Maza J., (2009), *Capital natural de México. Síntesis, Conocimiento actual, evaluación y perspectiva de sustentabilidad*, Edit. CONABIO, México.

Secretaría de Economía, (2013), *Guía de Procedimientos Mineros*, Diario Oficial de la Federación, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2002), *Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental MINERO Modalidad Particular*, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2012), MIA Modalidad Regional; Proyecto Los Cardones, Sistema Nacional de Trámites, Recuperado de: <http://app1.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2012/03BS2012M0005.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2010), MIA Modalidad Regional; UMCSP-Proyecto de optimización de la operación, consolidación de reservas y cierre, Sistema Nacional de Trámites, Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/slp/estudios/2011/24SL2011M0006.pdf>

Silva S. M., Correa F. J., (2009), *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidad de regulación económica*, Edit. SciELO, Universidad de Medellín, Vol. 12 No. 23, Colombia.

Tobón, R; López., L. y Paniagua, R. (2010), Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia: En: Rev. Salud Pública. Vol.12. N° 2. p. 300-307.



