



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FAENAS
MINERAS ABANDONADAS/PARALIZADAS MEDIANTE SIG EN LA
II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geógrafa

LICENCIADA: MAIRA FIGUEROA VERA

PROFESOR GUÍA: FRANCISCO FERRANDO ACUÑA

Santiago, Chile
2011

Índice

I.	INTRODUCCIÓN	6
II.	PROBLEMÁTICA.....	8
III.	ÁREA DE ESTUDIO – REGIÓN DE ANTOFAGASTA	13
1.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	13
2.	DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA	13
3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES	15
A.	<i>Macrorrelieve</i>	15
B.	<i>Clima</i>	19
C.	<i>Vegetación</i>	21
4.	CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS	23
5.	CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA	26
IV.	OBJETIVOS	28
1.	OBJETIVO GENERAL	28
2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
V.	ANTECEDENTES TEÓRICO - METODOLÓGICOS.....	29
1.	LAS FAENAS MINERAS ABANDONADAS/PARALIZADAS (FMA/P).....	29
A.	<i>Definición</i>	29
B.	<i>Diagnóstico de FMA/P en Chile</i>	32
2.	PASIVOS AMBIENTALES MINEROS.....	35
A.	<i>Definición</i>	35
B.	<i>Normativa Legal e institucionalidad minero ambiental en Chile</i>	37
C.	<i>Propuesta de Ley sobre PAM en Chile</i>	42
D.	<i>La responsabilidad</i>	44
E.	<i>Instrumentos de Gestión en Chile</i>	47
F.	<i>Financiamiento</i>	48
3.	EL CONCEPTO DE RIESGO.	51
A.	<i>Definición</i>	51
B.	<i>El Riesgo en las FMA/P</i>	53
VI.	METODOLOGÍA ESPECÍFICA	56
1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	56
2.	PASOS METODOLÓGICOS	59
3.	ANÁLISIS DE FACTORES PONDERADOS	62
A.	<i>Distancia a aguas superficiales/subterráneas</i>	63
B.	<i>Distancia a áreas agrícolas y ganaderas</i>	64
C.	<i>Distancia a áreas silvestres protegidas</i>	65
D.	<i>Distancia a vegetación</i>	66
E.	<i>Distancia a caminos habilitados</i>	66
F.	<i>Distancia a centros poblados</i>	67
G.	<i>Precipitación</i>	68
H.	<i>Sismicidad</i>	69
I.	<i>Tipo de suelo</i>	70

J.	Valor Paisajístico.....	70
K.	Vientos regionales.....	72
VII.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
1.	DETERMINACIÓN DE CRITERIOS.....	73
2.	ANÁLISIS DEL ÁREA DE ESTUDIO EN FUNCIÓN DE LOS CRITERIOS.....	78
A.	Cobertura de FMA/P en SIG.....	78
B.	Análisis de cobertura de aguas superficiales/subterráneas.....	80
C.	Análisis de cobertura de zonas agrícolas y ganaderas.....	82
D.	Análisis de cobertura de áreas silvestres protegidas.....	84
E.	Análisis de cobertura de vegetación.....	86
F.	Análisis de cobertura para caminos habilitados.....	88
G.	Análisis de cobertura de centros poblados.....	90
H.	Análisis de cobertura de precipitación.....	92
I.	Análisis de riesgo por sismicidad (fallas activas).....	94
J.	Análisis de cobertura de tipo de suelo según erodabilidad.....	96
K.	Análisis de cobertura valor paisajístico.....	99
3.	GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES.....	101
4.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS MATRIZ DE RIESGO FORMULARIO E-400 Y AMC.....	104
VIII.	DISCUSIÓN.....	111
IX.	CONCLUSIONES.....	116
X.	BIBLIOGRAFIA.....	118
XI.	ANEXOS.....	122
	<i>Anexo 1: Formulario E-400. SERNAGEOMIN, 2011.....</i>	<i>123</i>
	<i>Anexo 2 : Matriz de entrevista a expertos.....</i>	<i>129</i>
	<i>Anexo 3: Nivel de riesgo de FMA/P según elemento ambiental analizado.....</i>	<i>131</i>
	<i>Anexo 4: Listado priorizado de FMA/P según localización y puntaje de riesgos asignado en el Formulario E-400 para ítem contaminación para la vida y salud de las personas.....</i>	<i>135</i>
	<i>Anexo 5: Listado priorizado de FMA/P según localización y puntaje de riesgos asignado en el Formulario E-400 para ítem contaminación para los recursos naturales.....</i>	<i>138</i>

Índice de figuras, gráficos, mapas y tablas

<i>Figura 1: Matriz de Evaluación preliminar de riesgos en base a probabilidades y consecuencias Formulario E-400 SERNAGEOMIN.</i>	11
<i>Figura 2: Organigrama Ministerio de Minería.</i>	38
<i>Figura 3: Esquema metodológico de la investigación.</i>	61
<i>Figura 4: Ponderación combinada de los factores del AMC en Expert Choice.</i>	77
<i>Figura 5: Matriz de riesgos Formulario E-400 Planta Frente Mantos de La Luna, comuna de Tocopilla, II Región de Antofagasta.</i>	108
<i>Figura 6: Matriz de riesgos Formulario E-400 Punta Lequena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.</i>	109
<i>Figura 7: Matriz de riesgos Formulario E-400 Punta Lequena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.</i>	109
<i>Figura 8: Matriz de riesgos Formulario E-400 Quetena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.</i>	109

<i>Tabla 1: Resultados del Catastro Nacional de FMA/P para “riesgos altos”</i>	10
<i>Tabla 2: Población de las Regiones de Chile en los años 1992 y 2002, Variación Intercensal 1992 – 2002; Territorio y Densidad Poblacional.</i>	23
<i>Tabla 3: Población por situación de pobreza, años 2000 y 2009, II Región.</i>	24
<i>Tabla 4: Porcentajes (%) de la Población II Región y País en situación de pobreza, años 2000 y 2009.</i>	25
<i>Tabla 5: Sistema financiero II Región de Antofagasta: depósitos y captaciones.</i>	27
<i>Tabla 6: Diagnóstico de FMA/P en Latinoamérica.</i>	31
<i>Tabla 7: Resumen: normas, reglamentos y leyes de Latinoamérica relacionadas a los PAM.</i>	50
<i>Tabla 8: Escala de medidas de Saaty.</i>	60
<i>Tabla 9: Escala de niveles de vulnerabilidad.</i>	62
<i>Tabla 10: Niveles de proximidad.</i>	64
<i>Tabla 11: Reclasificación de los Niveles de vulnerabilidad de los acuíferos.</i>	64
<i>Tabla 12: Niveles de vulnerabilidad asociados a acceso.</i>	67
<i>Tabla 13: Niveles de vulnerabilidad según distancia a centros poblados.</i>	67
<i>Tabla 14: Niveles de vulnerabilidad según precipitación.</i>	68
<i>Tabla 15: Niveles de vulnerabilidad asociados a fallas activas.</i>	70
<i>Tabla 16: Niveles de erodabilidad del suelo.</i>	70
<i>Tabla 17: Niveles de vulnerabilidad valor paisajístico.</i>	71
<i>Tabla 18: Factores físico-naturales ponderados en Expert Choice:</i>	74
<i>Tabla 19: Resumen FMA/P según catastro del Formulario E-400.</i>	78
<i>Tabla 20: FMA/P clasificadas con riesgo alto según el Formulario E-400, distribuidas de acuerdo a zonas de vulnerabilidad determinadas con AMC.</i>	106

<i>Gráfico 1: Comparación de población en situación de pobreza II Región y País, años 2000 y 2009.</i>	25
<i>Gráfico 2: Composición del PIB de la II Región de Antofagasta.</i>	26
<i>Gráfico 3: Zonas de riesgo según AMC y FMA/P con Riesgo Alto.</i>	105

<i>Mapa 1: Contexto geográfico del área de estudio – II Región de Antofagasta.</i>	<i>14</i>
<i>Mapa 2:II Región de Antofagasta -FMA/P según índices de evaluación del Formulario E-400.</i>	<i>79</i>
<i>Mapa 3: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con agua superficial/subterránea.</i>	<i>81</i>
<i>Mapa 4: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con áreas agrícolas/ganaderas.</i>	<i>83</i>
<i>Mapa 5: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con áreas silvestres protegidas.</i>	<i>85</i>
<i>Mapa 6: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con vegetación.</i>	<i>87</i>
<i>Mapa 7: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con caminos habilitados.</i>	<i>89</i>
<i>Mapa 8: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con centros poblados.</i>	<i>91</i>
<i>Mapa 9: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con precipitación.</i>	<i>93</i>
<i>Mapa 10: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con fallas activas.</i>	<i>95</i>
<i>Mapa 11: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con erodabilidad.</i>	<i>98</i>
<i>Mapa 12: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con valor paisajístico.</i>	<i>100</i>
<i>Mapa 13: II Región de Antofagasta. Nivel de riesgo según AMC con respecto a localización de FMA/P.</i>	<i>103</i>
<i>Mapa 14: Representación de riesgo por contaminación de FMA/P según matriz de formulario E-400 complementada con AMC en la II Región de Antofagasta, Chile.</i>	<i>107</i>

I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera, una actividad industrial primordial para el desarrollo económico, laboral y social de Chile, también ha cumplido un rol histórico de transformación de los territorios a lo largo y ancho de nuestro país. En este contexto, se le reconoce a este sector cierta agresividad con el medio ambiente, debido tanto a las huellas dejadas por actividades mineras extractivas del pasado, como a los actuales efectos sobre el paisaje, el agua, los suelos, la vegetación y el aire, entre otros.

Con la inserción de Chile en el comercio mundial mediante Tratados de Libre Comercio se asume una importante obligación: poner al país en sintonía ambiental. De esta manera, la temática ambiental en la minería se convierte en un gran desafío para el Estado, centrando su enfoque en dos tareas primordiales: hacerse cargo de sitios afectados por la minería histórica y solicitar planes de cierre de faenas mineras actualmente activas de tal manera de no afectar a la población y medio ambiente una vez concluida la extracción.

En este sentido, cabe señalar la aprobación unánime del Senado chileno a la idea de legislar sobre el proyecto de ley que regulará el cierre de faenas mineras a fin de reducir el impacto ambiental¹ (10/03/2010) y además, para el caso de aquellos lugares que fueron explotados y abandonados en décadas pasadas, se ingresará al congreso otro proyecto de ley. Lo anterior, vendría a llenar los vacíos que presenta la Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente de Chile, dado que no se incluye en su texto a los Pasivos Ambientales Mineros (en adelante PAM), que provienen de la minería histórica y a que trata en forma somera el Cierre de Faenas Mineras al término de explotación de los recursos (Cartagena, 2005).

El organismo competente del Estado encargado de velar por el cumplimiento de la legislación en estos temas es el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN, institución responsable de investigar y catastrar faenas mineras inactivas y gestionar proyectos de cooperación internacional para promover buenas

¹[http://www.bnamericas.com/news/mineria/Senado aprueba proyecto de ley para regular cierre de faenas](http://www.bnamericas.com/news/mineria/Senado_aprueba_proyecto_de_ley_para_regular_cierre_de_faenas)

prácticas ambientales en la actividad minera nacional (SERNAGEOMIN, 2010), misión que llevó a este Servicio a publicar el año 2007 el “Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas (en adelante FMA/P) y análisis preliminar de riesgos”, comenzando con un inventario de 216 faenas catastradas. En la actualidad, la cifra de FMA/P asciende a 412 (Campos, 2011).

El método utilizado para catastrar las FMA/P consiste en la aplicación del *Formulario E-400*, desarrollado por expertos de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (*JICA*) en conjunto con SERNAGEOMIN. Para conocer los impactos ambientales que generó el estudio de las FMA/P, SERNAGEOMIN aplica un *Análisis Preliminar de Riesgos*, donde por medio de una matriz dichas faenas son clasificadas según el nivel de riesgo, distinguiéndose los grados alto, medio y bajo para los ítems de: vida y salud; infraestructura; y recursos naturales (SERNAGEOMIN, 2007).

En este contexto se desarrolla esta investigación, con el objeto de profundizar en el estudio de las FMA/P mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico, debido a la necesidad de avanzar en el análisis a posteriori de los PAM, lo que indudablemente puede ser desarrollado por medio de esta herramienta, ya que favorece el manejo de información territorial y tiene la capacidad de manipular eficazmente grandes cantidades de datos. Ello posibilitará generar un conocimiento geográfico mucho más acabado, una mejor expresión cartográfica, y determinar áreas de influencias y de riesgos asociados a diversos procesos y actividades. Como resultado, se dispondrá de una visión integrada de los problemas que provocan los PAM en los territorios locales, provinciales y regionales, lo que facilitará la gestión de los mismos.

II. PROBLEMÁTICA

La minería es una actividad económica que se desarrolla en Latinoamérica desde siglos atrás, explotando diversos metales que ineludiblemente generan residuos (Yupari, 2003). Estos eventualmente pueden constituirse en riesgosos para el medio ambiente y para la población, razón por la que en la actualidad existe una necesidad imperiosa de avanzar en el desarrollo de estudios sobre PAM.

La tradición minera de Chile tiene larga data, existiendo registros desde la época precolombina en distritos como Andacollo y Chañarillo, principalmente a nivel de pequeña y mediana minería de tipo metálico y no metálico. Sólo desde mediados del Siglo XIX, es que se desarrollan explotaciones a gran escala en el país, primero el salitre y luego el cobre, la plata y el oro (Ministerio de Minería, 1996).

Conjuntamente, durante el desarrollo de la actividad minera, la regulación jurídica ha estado orientada a la protección de los derechos de los propietarios, sin una mayor consideración respecto del medio ambiente, por lo que no se ha establecido en el tiempo obligación alguna de remediar lo eventuales PAM que pudieron haberse generado por dicha actividad y los impactos por ellos generados.

Sólo a partir de la entrada en vigencia del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, SEIA, al amparo de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, los proyectos mineros han debido hacerse cargo de los impactos ambientales en la fase de cierre o abandono, adoptando medidas de mitigación, reparación o compensación, así como medidas de seguimiento ambiental y planes de contingencia.

El enfoque con el que la legislación existente se ha aproximado al tema, en forma previa a la puesta en vigencia de la Ley de Bases del Medio Ambiente, explica en parte el que la actividad minera extractiva haya acarreado un número considerable de faenas mineras abandonadas, provenientes tanto de la pequeña y mediana minería como de la gran minería, las que pasarán a constituir PAM.

Esta situación es preocupante, considerando que el legado de la minería es una de las razones por la cual esta industria se encuentra bajo una creciente presión de justificar los costos ambientales y sociales de nuevos proyectos y así obtener la licencia social para sus operaciones. La aprobación social constituye el mayor obstáculo para la puesta en marcha de un proyecto minero y las comunidades tienden a asociar nuevos proyectos con los problemas que quedaron de los anteriores y a oponer resistencia a su emplazamiento.

El Estado por su parte tiene la obligación de velar por el desarrollo sustentable y el derecho de su población de vivir en un ambiente libre de contaminación, una garantía que ya se encuentra en la mayoría de las legislaciones en Latinoamérica, y en Chile incluso en la Constitución (Constitución Política de la República de Chile, citado en SOFOFA, 2011).

Es razonable entonces no dejar dudas que el desarrollo del país no va en desmedro del medio ambiente y que la competitividad de los productos no se funda sobre un dumping verde².

En este escenario se explica porqué tanto el Estado como la industria minera, y obviamente la comunidad afectada, se interesaron en resolver el problema que constituyen los PAM. Ello llevó al SERNAGEOMIN a ejecutar dos proyectos en el año 2002 para comenzar con el estudio de los PAM:

- “Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en Gestión Ambiental Minera” (FOCIGAM), con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, JICA.
- “Bases para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Chile”, con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR).

²Cuando las diferencias en las regulaciones que deben cumplir las industrias son muy marcadas entre un país y otro, las empresas que cumplen con los requisitos más estrictos pueden verse en la imposibilidad de competir con sus homólogas de otros países que no tienen que adecuarse a esos niveles de exigencia. Esto es lo que se conoce como dumping ecológico, dumping verde o eco-dumping (Ibarra, 1995).

Así, el primer proyecto consistió en comenzar un registro sistemático de las FMA/P, incorporando además una evaluación preliminar de riesgos en base a probabilidades y consecuencias (ver Figura 1, pp. 11), que permitiera enfocarse en FMA/P “prioritarias”, entendidas como aquellas con alta probabilidad de constituir un PAM, y someterlas a remediación.

De esta manera, se da a conocer en el año 2007 el “Catastro Nacional de FMA/P”, que consideró el levantamiento de información de 216 FMA/P distribuidas a lo largo y ancho del territorio. Aquí, como resultado de la evaluación preliminar de riesgos altos se obtuvo lo siguiente (ver Tabla 1).

Tabla 1: Resultados del Catastro Nacional de FMA/P para “riesgos altos”.

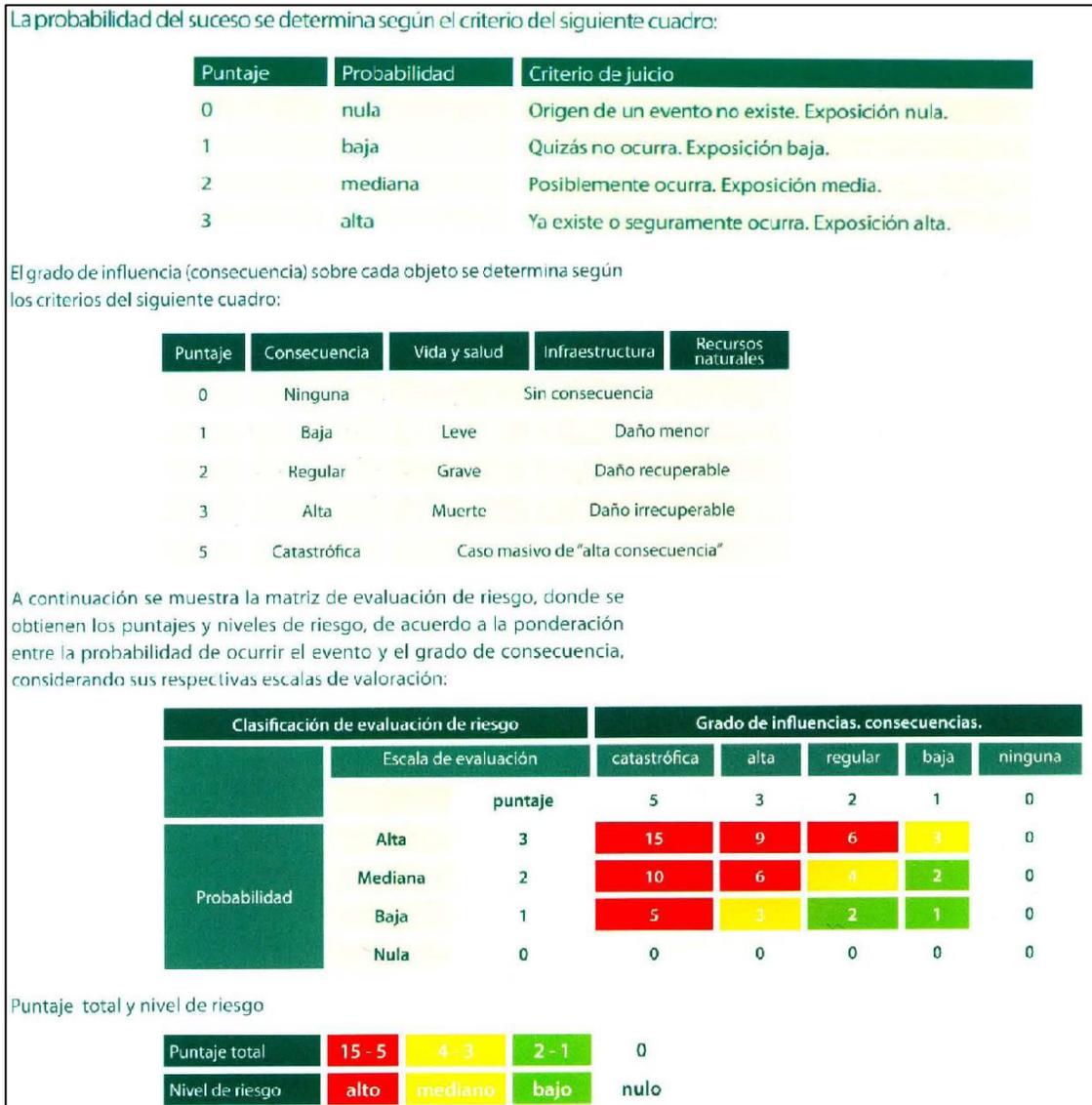
Riesgo alto para:	FMA/P
Vida y Salud	88
Infraestructura	7
Recursos naturales	25

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

Para la recolección de datos en terreno, en el marco del proyecto FOCIGAM se diseñó un formulario de levantamiento de información de la FMA/P y su entorno, llamado *Formulario E-400* (ver Anexo 1, pp.122). Ésta es una herramienta que permite administrar ordenada y unificadamente la información sobre FMA/P recopilada en el territorio nacional, enfocándose especialmente en la identificación de instalaciones y obras remanentes, así como características generales del entorno e impactos ambientales o de seguridad que pudiesen afectar a las personas o al medio ambiente.

Además, incluye un ítem llamado *Análisis Preliminar de Riesgos*, donde quien aplica el formulario, en este caso el Evaluador Ambiental, designa un valor numérico a la probabilidad y consecuencia de ocurrencia de un hecho (ver Figura 1, pp. 11). Dentro de este análisis el evaluador sólo puede clasificar los componentes ambientales afectados dentro de las categorías: vida y salud, infraestructura y recursos naturales, así como seleccionar entre dos formas de impacto: contaminación y/o seguridad (SERNAGEOMIN, 2007).

Figura 1: Matriz de Evaluación preliminar de riesgos en base a probabilidades y consecuencias
Formulario E-400 SERNAGEOMIN.



Fuente: Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgos. SERNAGEOMIN. 2007.

Esta metodología no permite describir y explicar la manera en que los procesos de impacto ambiental se desarrollan dentro del territorio.

Posteriormente, toda la información recopilada se ingresa a una base de datos, llamada Sistema de Información Minera Nacional en línea, SIMIN-OL, que entrega un reporte de los datos ingresados, incluyendo además una matriz de riesgos.

La realización de la investigación significó un gran avance en el estudio de FMA/P, donde además de localizar las faenas se investigó el estado de las diversas instalaciones que éstas contienen: minas, plantas y depósitos de residuos (tranques de relave, desmontes, rípios de lixiviación, etc.); y a través de los años se ha continuado con el catastro, llegando a contabilizar en el año 2010 un total de 412 FMA/P.

Sin embargo, el problema radica en que los resultados se obtienen “a modo de dato en papel”, sin poder asociar el resultado de forma rápida a un territorio en particular. Por otra parte, si bien se describe un riesgo de tipo “alto, medio o bajo”, tampoco está definida el “área de influencia” que tiene cada uno de éstos, ni su relación con variables de tipo geológicas, hidrológicas o población, entre otras, elementos que son importantes para el análisis al tratarse de residuos que ocasionalmente pueden ser tóxicos y dañar el entorno.

La lectura de un mapa geográfico que contuviese esta información permitiría relacionar los resultados obtenidos del análisis preliminar de riesgos de una FMA/P con cartas temáticas de, por ejemplo, la geomorfología, hidrología, geología, vegetación, SNASPE, en un SIG, obteniendo una visión integradora de los procesos que acontecen en el territorio. Además, se facilitaría la comprensión del nivel de riesgos a los que está sometido el entorno y permitiría tener una visión sistémica de los procesos que ocurren en el área.

En atención a lo señalado, la realización de un análisis, evaluación y cartografía preliminar de riesgos medioambientales de PAM permitirá que SERNAGEOMIN, organismo encargado de profundizar estos estudios, cuente con información adecuada sobre ellos y disponga de una herramienta que le permita tener una mirada sistémica, favoreciendo la priorización en el desarrollo de análisis más detallados de FMA/P que lo ameriten.

III. ÁREA DE ESTUDIO – REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Para la realización del estudio se escogió como área de investigación la II Región de Antofagasta, históricamente vinculada a la minería y reconocida como un laboratorio natural para la minería nacional e internacional³ (ver Mapa 1, pp.14).

Según el Anuario de la Minería Chilena publicado en 2011 por SERNAGEOMIN, Antofagasta constituye una región predominante en lo que respecta a la producción de cobre, con 54% de producción de este mineral metálico con respecto al total Nacional; además tiene el segundo lugar en participación de oro, con el 38% del total Nacional, y lidera la participación del molibdeno con un 33% respecto del total Nacional.

Entonces, considerando los triunfos económicos y financieros de esta región, resulta interesante el análisis con respecto a su situación ambiental, legado de la actividad minera durante décadas.

1. Localización geográfica

La Segunda Región de Antofagasta está situada en la zona norte de Chile, con límite norte que va de los 21° 23' lat. S. en la parte occidental a los 20° 53' lat. S. en la alta Cordillera. Su límite Sur se desarrolla desde los 26° 15' lat. S. en la costa hasta los 25° 15' lat. S. en la línea fronteriza con Argentina. Limita por el oeste con el mar de Chile y por el oriente con la República Argentina⁴.

Además, esta región cuenta con 126.049,1 km² de extensión (IGM, 2010), siendo la segunda en superficie (representa el 16,67% de Chile Continental e Insular).

2. División político-administrativa

Desde este punto de vista, la región está constituida por las siguientes provincias: Antofagasta conformada por las comunas de Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Taltal; El Loa con las comunas de Calama, San Pedro de Atacama y Ollagüe; y Tocopilla con las comunas de Tocopilla y María Elena. Su capital regional es

³véase: http://www.mch.cl/revistas/index_neo_php?id=336

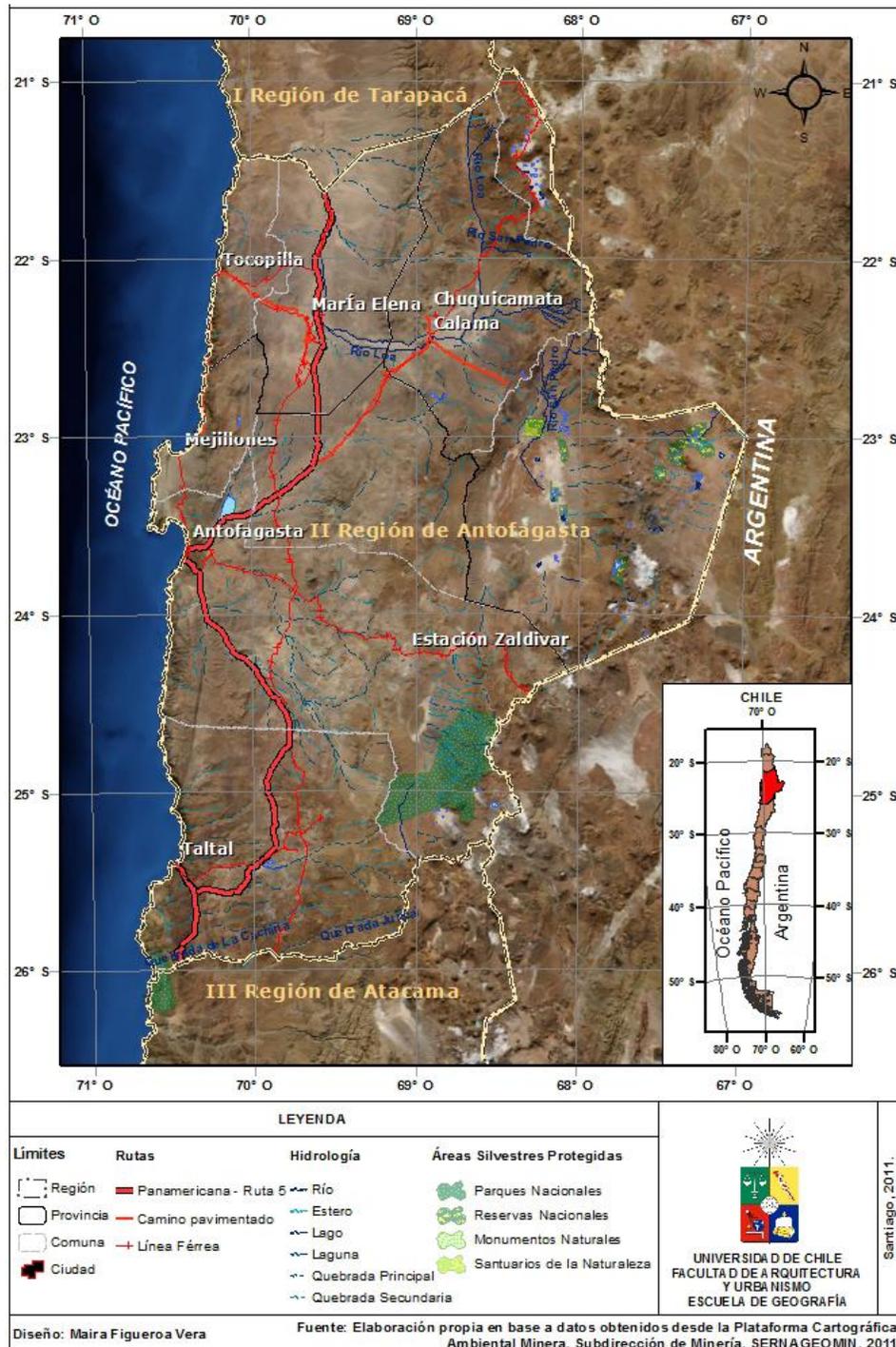
⁴ IREN – SERPLAC II Región. Inventario de Recursos Naturales por método de percepción del satélite LANDSAT II Región – Antofagasta.1976.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG
 II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Antofagasta, ciudad portuaria situada a 23°38' de latitud Sur y 70° 24' de longitud Oeste (IGM, 2010).

Mapa 1: Contexto geográfico del área de estudio – II Región de Antofagasta.



3. Características físico-naturales

La II Región de Antofagasta es marcadamente desértica, a excepción de oasis esporádicos y valles estrechos donde se desarrolla la agricultura intensiva. La causa de esta situación se debe a la ausencia de lluvias, la sequedad y la fuerte amplitud térmica que impiden el desarrollo de todo tipo de vegetación con excepción de algunas áreas donde se encuentran napas subterráneas (BCN).

Si bien la presencia de horizontes de concentración de sales corresponde a climas áridos prolongados, la morfología general de la II Región es resultado de procesos erosivos asociados a climas de alta precipitación. La explicación se encuentra al analizar los grandes fenómenos climáticos acontecidos durante el Cuaternario. Durante este período cercano a los dos millones de años, las oscilaciones climáticas produjeron glaciaciones que en el Norte de Chile afectaron fundamentalmente sobre los 4.000 m.s.n.m. Bajo esta altitud, producto de temperaturas más moderadas, el dominio morfodinámico estuvo regido por la acción de abundantes lluvias y, consecuentemente, elevadas escorrentías, que fueron la causa principal de los grandes procesos de erosión, transporte y sedimentación que configuraron la morfología que actualmente presenta gran parte del Norte Grande de Chile.

A. Macrorrelieve

En cuanto a las características de su macrorrelieve regional se caracteriza por la presencia de planicies litorales y una gran cuenca altiplánica en la cual se localiza el Salar de Atacama. Al respecto, se distinguen las siguientes unidades:

Cordillera de la Costa

Se exhibe como un conjunto de cordones de cerros y lomajes suaves e innumerables depresiones generadas producto de la intensa actividad tectónica en el pasado. Superando los 2.000 m de altitud, presenta abundancia de sedimentos cuaternarios, desde la cumbre misma de cerros y colinas hasta el fondo de las depresiones menores, donde existen espesos depósitos de arenas, gravas y limos.

Junto a esta morfología endorreica también se presentan discontinuidades relacionadas con formas derivadas de sistemas de paleodrenaje exorreico. A modo de ejemplo, se señalan: la profunda garganta con que el río Loa ha disectado esta unidad orográfica y la discontinuidad producida por el llamado Estero de Tocopilla (Brüggen, 1959 en IREN-SECPLAC II Reg.).

El contacto de la Cordillera de la Costa con el mar está marcado por un abrupto desnivel, el cual está relacionado con el margen activo de la placa sudamericana y los efectos de la subducción de la placa de Nazca bajo ella, lo que se relaciona tanto con formas abisales como con la generación de las morfoestructuras principales. Este escarpe costero en la actualidad presenta efectos erosivos, principalmente por haloclastía, que origina descomposición granular, y por el fuerte fracturamiento de las rocas que colabora con los fenómenos gravitacionales y con la generación de flujos en caso de lluvias suficientes. La ausencia de planicies litorales es característica en la costa de esta región.

Depresión central

Se presenta como un plano depositacional, interrumpido constantemente por la presencia de cerros islas y cordones montañosos menores, entre los cuales es frecuente encontrar depresiones provistas de acumulaciones salinas.

Los cerros islas y cordones menores poseen alturas promedio entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m. Sus laderas se encuentran surcadas por innumerables valles de reducida extensión que culminan en un conjunto de conos de deyección coalescentes, constituyendo el piedmont. Su morfología es típica de zonas lluviosas que ha sido suavizada por efecto de la deflación.

Las amplias superficies tabulares derivadas de las potentes capas aluvionales que rellenan los sectores deprimidos de la Depresión Central reciben el nombre de Planos Depositacionales. Al Norte de los 22°20' de latitud S. esta depresión presenta en superficie un gran glacis de sedimentación, conocido bajo el nombre de Pampa del Tamarugal. Desde el Sur de los 22°20' de latitud S. hasta los 23°20' de latitud S., la topografía corresponde a una pampa ondulada con presencia de lomajes en que

afloran las rocas del sustrato y pequeños cerros islas que sobresalen en el área oriental. Una tercera unidad morfológica y topográfica se desarrolla al Sur de los 23°20' de latitud Sur, marcada por la presencia importantes planos deyeccionales que se desprenden de los contrafuertes occidentales de la Cordillera de Domeyko.

Por último, se encuentran los depósitos aluviales, gran cantidad de concentraciones de diferentes sales, que se encuentran tanto en cuencas cerradas o bolsones como en la mitad distal de los amplios abanicos aluviales. Es así como existen los salares de nitratos localizados por lo general en el piedmont oriental de la Cordillera de la Costa y de cloruros que ocupan principalmente bolsones intermontanos.

Cordilleras intermedias

Existen tres unidades montañosas que, por su continuidad y altura promedio, constituyeron divisorias importantes durante los períodos Pluvio-Glaciales del Pleistoceno. Se trata de la Cordillera de Sajasa, la Cordillera de La Sal y la Cordillera de Domeyko.

La Cordillera de Sajasa se extiende a lo largo del meridiano 69° O., desde la Quebrada de Chacarilla hasta el curso medio del Río Loa. Al norte de Calama, presenta una morfología de bloques sollevados a diferentes niveles, razón por la que se observan algunas depresiones interiores. Además, una densa red de vías de drenaje escarpadas cortan como gargantas los cordones occidentales, contribuyendo a otorgarle un aspecto desmembrado. Hacia el E. y S.E. esta cordillera es profundamente abierta observándose algunos cerros islas, los que emergen entre los abundantes planos inclinados formados por los sedimentos aluviales drenados hacia la garganta del Río Loa durante las fases Pluvio-Glaciales del Cuaternario.

La Cordillera de Domeyko se extiende al Sur del paralelo 24°13' S. a lo largo del meridiano 69°15' O. Se manifiesta como una larga y angosta divisoria que se prolonga hasta las nacientes meridionales de la Quebrada de Taltal, interrumpida por el Sector de Imlac, donde se presenta dividida en varias líneas de cumbres. El resto de esta Cordillera aparece como un continuo afloramiento de capas de rumbo general N-S. Las

líneas de cumbres están formadas por los bordes de las rocas más resistentes y, por su posición, dan una morfología de laderas abruptas y escarpes y flancos de menor pendiente, pero fuertemente disectados hacia el Oriente.

Al oriente de la Cordillera de Domeyko, y de menores dimensiones meridianas, se encuentra la Cordillera de La Sal, que es un plano depositacional con abundantes conos de deyección ricos en sales (cloruros principalmente), con un ancho máximo de 10 km en sentido E-O. Ésta constituye un relieve plegado y fuertemente erosionado, observándose algunas inversiones de la topografía original, como por ejemplo, anticlinales desventrados (Valle de la Luna) y sinclinales colgados. Su mitad norte presenta un grado de disección más marcado, y en los sectores bajos se observan modelados ruiformes derivados de la acción de aguas subterráneas en las sales.

Cuencas Prealtiplánicas

En este conjunto se incluyen las depresiones correspondientes a los salares de Atacama, Punta Negra y Pajonales, constituyendo amplias superficies topográficamente deprimidas en las que, por su carácter endorreico, se han acumulado potentes depósitos de sedimentos, transportados por una abundante red de drenaje generada durante las fases pluviglaciales del Pleistoceno y cuyos canales de escurrimiento aún se conservan, aunque sólo una ínfima parte de ellos presentan drenaje superficial.

Cordilleras Volcánicas

Se le denomina de esta manera a la cadena de volcanes pleistocénicos que recorre el límite oriental de la región en toda su magnitud, así como otras unidades de distinta naturaleza que están comprendidas en ella.

Con respecto a su morfología, se distinguen formas volcánicas terciarias y cuaternarias, las que se explican a continuación:

- a) Formas volcánicas terciarias: Corresponden principalmente a los plateau de riolitas ignimbríticas, las cuales aparecen bajo los centros volcánicos cuaternarios, constituyendo un plano inclinado en forma de abanico cuya

superficie está fuertemente erosionada, dando el aspecto de un caos de lajas y bloques angulosos.

- b) Formas volcánicas cuaternarias: Son los relieves de mayor altura y continuidad topográfica y constituyen el principal centro de acumulación y reserva de agua para la región, observándose en sus cumbres superiores a 5.000 m una gran cantidad de glaciares. Es una unidad que morfológicamente corresponde a los resultados derivados del volcanismo central, distinguiéndose conos volcánicos mayores, conos parásito, domos, coladas y camas de lavas, algunas corrientes laháricas y conos de deyección de material volcánico que conforman el piedmont.

B. Clima

Las condiciones climáticas a las que se ha sometido esta región desde fines del Terciario hasta la fecha la han convertido en una zona extremadamente árida y cálida en la actualidad, considerándose como la región más árida del Norte Grande. Se identifican cinco espacios climáticos diferentes, estratificados en franjas paralelas desde el litoral hacia el interior, dispuestos en el mismo orden que se citan a continuación:

Desértico costero con nubosidad abundante

Se define como una franja angosta que va desde el litoral hacia el interior, llegando hasta los 900 m.s.n.m. Sus características principales son: la ausencia casi total de precipitaciones, una humedad relativa alta propia de la capa oceánica, una nubosidad abundante del tipo estrato cumuliforme y una oscilación térmica de escasa amplitud moderada por la presencia del mar. Su temperatura media anual se ubica alrededor de los 17°C y presenta una gran estabilidad térmica, siendo su variación media entre el mes más frío y el mes más cálido alrededor de 6°C.

Desértico Normal

Se desarrolla entre los 800 m a los 2.800 m de altura aproximadamente. En esta zona llegan a producirse varios años seguidos sin precipitaciones, siendo este comportamiento el que la designa como la de mayor aridez de todo el territorio

nacional. Este ambiente junto con el del Altiplano, son los más característicos y descriptivos de toda la región, estando sus montos anuales de precipitación comprendidos entre 1 y 10 mm, lo que ocasiona un paisaje desprovisto de vegetación. Los valores de temperaturas extremas sobrepasan los 30°C para las máximas diarias de verano y bajan de los 0°C durante el invierno. No obstante, se desarrollan microclimas que permiten el desarrollo de la agricultura y ganadería menor, como es el caso de San Pedro de Atacama, Toconao y Peine.

Desértico Marginal de Altura

Cubre una angosta faja de terreno comprendida entre los 2.800 m y los 4.000 m aproximados de altura y constituye un área de transición entre el desierto normal y la estepa de altura, originándose un cambio gradual en el paisaje, así como también una variación paulatina de los accidentes orográficos por parte de los elementos del clima. Las precipitaciones en promedio varían entre 50 y 100 mm, presentando un régimen estival y de origen ciclónico, y la variabilidad de temperaturas medias anuales se asocia en forma inversa con la altura, quedando comprendida entre los 10°C y los 30°C entre los límites superior e inferior de esta tipología. Debido a la altura, las temperaturas son más frías y se atenúan las oscilaciones térmicas anuales, aumentando las diarias, y la humedad relativa es muy baja.

Estepa de Altura

Esta tipología comienza a desarrollarse a partir de los 4.000 m de altitud aproximadamente sobre el área del altiplano chileno. En este sector, la Cordillera de los Andes y el Altiplano se funden en una sola estructura orográfica en la que solo esporádicamente queda de manifiesto la presencia de la primavera, debido a que la altura hace que las temperaturas sean muy frías (entre los 5°C y 0°C o incluso negativos), con presencia de precipitaciones de tipo nieve, que cada vez son menores.

Hielo por efecto de Altura

Se trata de áreas localizadas por sobre los 5.000 m de altura, cota desde la cual y hacia alturas mayores no es posible encontrar rastro alguno de vegetación, dominando en el paisaje la presencia de hielos y nieves eternas. Estos sectores se

encuentran cubiertos de hielo durante todo el transcurso de todo el año experimentando sólo un pequeño retroceso o avance de las nieves según sea invierno o verano respectivamente.

C. Vegetación

Considerando que el agua es el factor limitante para la vegetación en toda la zona, las formaciones vegetales se desarrollan en aquellos lugares en que ésta se presenta con menor escasez, aprovechándola en su integridad por medio de adaptaciones morfo y fisiológicas.

En atención a esta premisa, se distinguen cuatro grandes dominios vegetacionales, los que responden a la ocurrencia de agua ya sea como aporte superficial, subterránea o proveniente de neblinas, además de las condicionantes de suelo y clima. Éstos se describen a continuación:

Dominio del desierto absoluto

En la depresión intermedia, donde el desierto es absoluto, la vegetación es muy escasa, con excepción de algunas áreas donde se encuentran napas subterráneas. Este dominio es representado por la formación del desierto absoluto.

Dominio del matorral desértico

En la costa se presentan condiciones favorables de humedad que permiten el desarrollo de vegetación como el Pingo-pingo, la Chamicilla, el Llantén, el Chañar, la Chilca y la Brea, dominio que también se desarrolla en el área del Salar de Atacama. Este dominio es representado por la formación de matorral desértico.

Dominio del matorral bajo desértico

En la pampa al interior se encuentra el tamarugo, el cual se va extinguiendo hacia el sur, dando origen a pastos que se alimentan de aguas subterráneas. Esta zona es asociada al desarrollo de la formación de matorral bajo desértico.

Dominio del matorral de altitud y herbazal de altitud

En la zona de la pre-cordillera, se desarrolla un paisaje compuesto por plantas xerófilas y espinosas. En los sectores cordilleranos (sobre los 4.300 m de altitud) la vegetación se caracteriza por presentar plantas en cojines como el Coirón y la Yareta; mientras que en las áreas de mayor humedad predominan pastos y gramíneas como la Poa, la Festuca y la Stipa. Este dominio es representado por las formaciones del matorral de altitud y el herbazal de altitud, respectivamente.

4. Características demográficas

La II Región de Antofagasta alberga una población total de 493.984 habitantes, que se distribuye en 11.438 personas que viven en áreas rurales (4,1%) y 482.546 personas que viven en áreas urbanas (95,9%) (INE, 2002).

Con una superficie de 126.049 km² se reconoce como la segunda más extensa de Chile. Su escasa población y su extensa superficie le dan una de las densidades poblacionales más bajas del país, con 3,92 habitantes por kilómetro cuadrado.

En el período entre los censos de 1992 y 2002 su población creció en un 20,3%, convirtiéndose en la segunda región con mayor crecimiento poblacional del país, ubicándose 7 puntos por arriba del crecimiento poblacional de Chile (ver tabla 2).

Tabla 2: Población de las Regiones de Chile en los años 1992 y 2002, Variación Intercensal 1992 – 2002; Territorio y Densidad Poblacional.

Región	Población Total 1992	Población Total 2002	Variación Intercensal 1992-2002 (%)	Territorio (km ²)	Densidad (Hab/km ²)
I	339.579	428.594	26,2	59.099,10	7,25
II	410.724	493.984	20,3	126.049,10	3,92
III	230.873	254.336	10,2	75.176,20	3,38
IV	504.387	603.210	19,6	40.579,90	14,86
V	1.384.336	1.539.852	11,2	16.396,10	84,43
VI	696.369	780.627	12,1	16.387,00	47,64
VII	836.141	908.097	8,6	30.296,10	29,97
VIII	1.734.306	1.861.562	7,3	37.062,60	50,23
IX	781.242	869.535	11,3	31.842,30	27,31
X	948.809	1.073.135	13,1	67.013,10	16,01
XI	80.501	91.492	13,7	108.494,40	0,84
XII *	143.198	150.826	5,3	132.297,20	1,14
RM	5.257.937	6.061.185	15,3	15.403,20	393,5
CHILE **	13.348.402	15.116.435	13,2	756.096,30	19,9

Notas: *No incluye el Territorio Antártico Chileno. **Sólo considera Chile Continental.

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, INE.

En el área de estudio se reconocen 11 centros poblados en los que se agrupa la población. Todos éstos tienen por actividad principal la minería, ya sea por explotación u otros servicios relacionados con ella. Históricamente, las ciudades que concentran la mayor cantidad de población son Antofagasta y Calama, con el 83,5% del total de población urbana (INE, 2002).

En cuanto a los indicadores de pobreza en la II Región, éstos muestran significativos avances en términos de una disminución progresiva. Según los indicadores, se observa una sustancial reducción del número de personas en esta situación, tanto indigentes como no indigentes (ver tabla 3).

Tabla 3: Población por situación de pobreza, años 2000 y 2009, II Región.

TIPO DE POBLACIÓN	2000	2009	Variación 2000-2009
Indigentes	15.202	4.014	-11.188
Pobres No indigentes	49.100	38.967	-10.133
Total Pobres	64.302	42.981	-21.321
No Pobres	414.233	494.009	79.776
Total	478.535	536.990	58.455

Fuente: MIDEPLAN, División Social, Departamento de Información Social, Encuesta CASEN 2000 y 2009.

Además, al observar las cifras señaladas en la Tabla 4 (ver pp.25), e ilustradas en el Gráfico 1 (ver pp. 25), se concluye que la intensidad en la disminución de la pobreza en la II Región es similar a la del resto del país.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG
II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

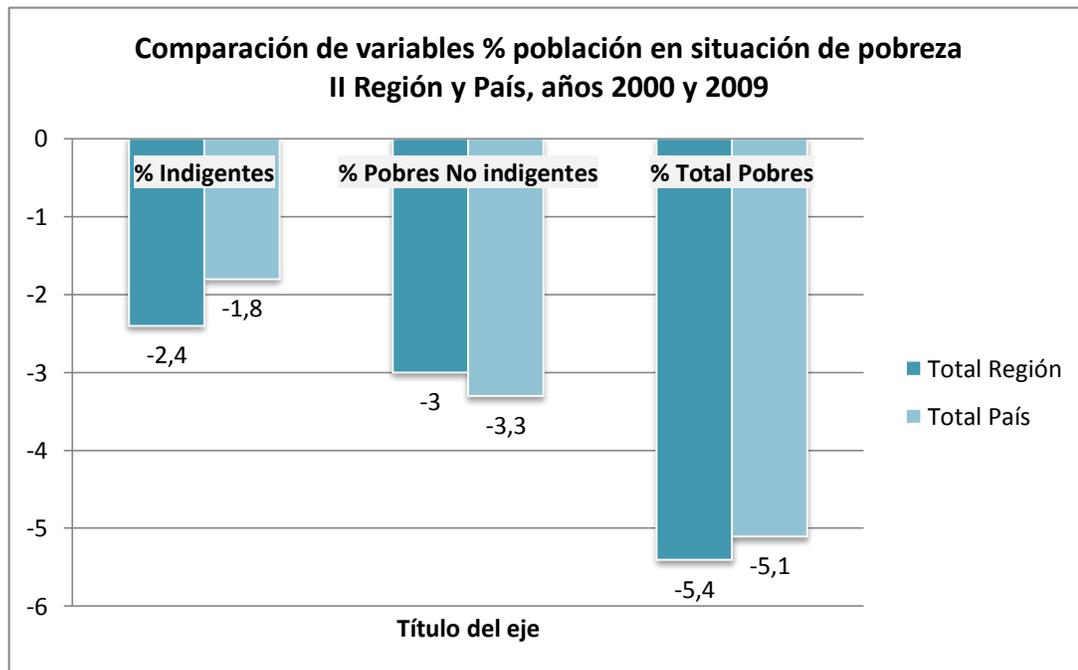
Tabla 4: Porcentajes (%) de la Población II Región y País en situación de pobreza, años 2000 y 2009.

	II Región			País		
	2000	2009	Variación 2000-2009	2000	2009	Variación 2000-2009
% Indigentes	3,2	0,7	-2,4	5,6	3,7	-1,8
% Pobres No indigentes	10,3	7,3	-3,0	14,6	11,4	-3,3
% Total Pobres	13,4	8,0	-5,4	20,2	15,1	-5,1
% No Pobres	86,6	92,0	5,4	79,8	84,9	5,1

Fuente: MIDEPLAN, División Social, Departamento de Información Social, Encuesta CASEN 2000 y 2009.

El siguiente gráfico ilustra cómo la disminución de la pobreza en la región ha ido a la par con el resto del país.

Gráfico 1: Comparación de población en situación de pobreza II Región y País, años 2000 y 2009.

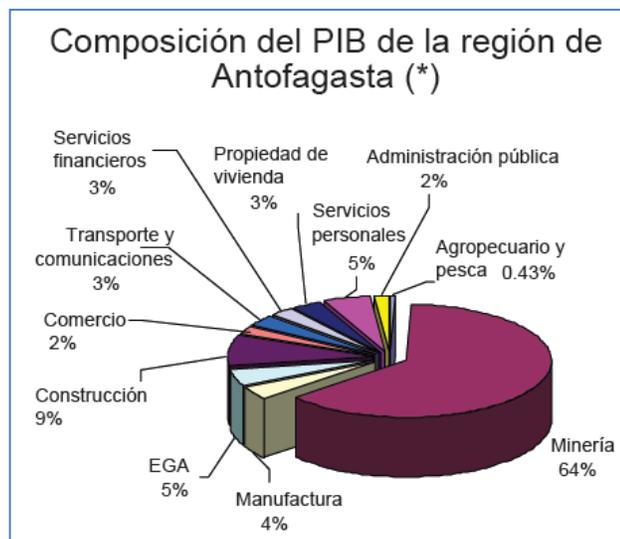


Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Tabla 2.

5. Caracterización económica

La actividad económica de la Región de Antofagasta ha estado históricamente vinculada al sector minero: primero, a fines del siglo XIX y primera mitad del siglo XX, con la explotación del salitre, y desde 1915 (fecha de surgimiento de Chuquicamata) hasta hoy, con la minería del cobre. Así, la minería ha influido significativamente en la configuración de las estructuras económicas, sociales y urbanas regionales, ya sea como centros mineros o como ciudades de servicio hacia la minería, particularmente puertos y estructuras productivas de aprovisionamiento (Arrollo-Rivera, 2004). Lo anterior se observa en el siguiente gráfico sobre la composición del Producto Interno Bruto (PIB) (ver gráfico 2).

Gráfico 2: Composición del PIB de la II Región de Antofagasta.



(*) Datos correspondientes al año 2003.
Fuente: Banco Central de Chile.

Por otra parte, Antofagasta es una de las regiones con mayor cantidad de depósitos y captaciones de inversiones extranjeras (por sobre el promedio regional), concentradas en grandes proyectos mineros y empresas vinculadas a través de un sistema de outsourcing⁵ (Cochilco, 2005).

⁵Outsourcing consiste en el acto de la transferencia de algunas actividades internas recurrentes de una organización a proveedores externos, mediante un contrato. Debido a que las actividades son recurrentes y los contratos frecuentes, el outsourcing va más allá de la utilización de consultorías. En la práctica, no sólo

Tabla 5: Sistema financiero II Región de Antofagasta: depósitos y captaciones.

Depósitos y captaciones			
Dic. 1989-Dic. 2006 (*)		Dic. 2006	
R.M	42	R.M	5.6
XII	15	XII	1.3
V	10	V	1.0
I	8	II	0.9
II	8	I	0.7
VIII	7	III	0.7
III	6	XI	0.6
VI	6	VIII	0.6
XI	6	X	0.6
X	6	VI	0.6
VII	5	VII	0.5
IV	5	IV	0.5
IX	5	IX	0.5
Promedio regional (**)	7	Promedio regional (**)	0.7

(*) Acumulado entre diciembre de 1989 y diciembre 2006 (**).

Fuente: Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras.

Respecto al Indicador de Actividad Económica Regional (INACER), durante el año 2010 se mantuvo la tendencia al crecimiento en lo que respecta a la Minería en la II Región de Antofagasta, presentando un dinamismo superior al promedio del crecimiento del país entre 2000 y 2009, período en que el Producto Interno Bruto (PIB) a nivel nacional anotó un promedio de 3,7%, mientras que la Región creció por sobre la variación nacional, alcanzando un 3,8%. A juicio de expertos, este ritmo de expansión se atribuye en gran parte a la creciente actividad minera que se ha desarrollado durante la última década en la zona norte del país, la que sin ir más lejos se ha visto fuertemente reforzada por el alto precio del cobre (Diario Financiero, 2011).

las actividades son transferidas, los factores de producción también. Éstos consisten en los recursos que permiten que las actividades ocurran e incluyen a las personas, instalaciones, equipo, tecnología y otros activos (Greaver, Maurice F., 1999).

IV. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Realizar una propuesta metodológica y una evaluación comparada de riesgos medio ambientales producto de la existencia de FMA/P en la Segunda Región de Antofagasta, Chile.

2. Objetivos Específicos

- 1) Determinar cuáles son los criterios claves para evaluar los riesgos medioambientales de FMA/P.
- 2) Analizar las características físico-naturales del área de estudio en función de los criterios claves identificados.
- 3) Generar una cartografía preliminar de riesgos medioambientales de FMA/P.
- 4) Contrastar la cartografía con los resultados obtenidos del análisis preliminar de riesgos realizados por SERNAGEOMIN.
- 5) Proponer mejoras en los instrumentos, criterios y procedimientos para determinar los riesgos medioambientales de las FMA/P.

V. ANTECEDENTES TEÓRICO - METODOLÓGICOS

Considerando que no todas las FMA/P presentan o generan efectos adversos a la salud humana o al medio ambiente es necesario introducir un criterio adecuado para diferenciar los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en subgrupos. En la actualidad, “en el caso de Perú y Chile se definen como PAM solamente aquellas faenas mineras abandonadas que presentan un riesgo significativo (Chile) o permanente y potencial (Perú)” (Oblasser y Chaparro, 2008).

La Agenda Ambiental País, 2002 – 2006 señala que es “imperioso solucionar problemas de pasivos ambientales a través de programas que permitan efectivamente limpiar y recuperar nuestro entorno”. Y la Agenda Ambiental 2004 – 2006 manifiesta como uno de cuatro ejes temáticos de acción el “Control de la Contaminación y el Mejoramiento de la Calidad ambiental” (Op. cit).

1. Las Faenas Mineras Abandonadas/Paralizadas (FMA/P)

A. Definición

Aproximándose al concepto de FMA/P se puede decir que por faena minera se entiende al “conjunto de obras, labores e instalaciones destinadas a la exploración, explotación o beneficio de minerales, y las demás en que existe industria extractiva minera, incluyendo sus residuos”, según la legislación minera aplicable (Op. cit). Dentro de este conjunto de obras se han diferenciado las FMA/P, usando parámetros que pueden variar de un país a otro, incluyendo entre otras variables el grado de inactividad, la relación con un dueño/responsable o el impacto de la actividad en el ambiente.

En Canadá, las Iniciativas de Minas Abandonadas/Huérfanas (NOAMI – National Orphaned/Abandoned Mines Initiative) habla explícitamente de faenas mineras “huérfanas” sin tomar en cuenta el riesgo que pueda emanar de un pasivo, definiéndolas como: “aquellas donde no se pudo identificar un dueño o responsable, o donde el dueño no puede o no quiere responder a su responsabilidad de remediación. (Op. cit).

En Estados Unidos en cambio, el Programa de Sitios Mineros Abandonados (Program Abandoned Mine Lands, PAML) define como sitio minero abandonado aquellas tierras, aguas y cuencas contaminadas o dañadas por la extracción, beneficio o el procesamiento de minas y minerales, incluyendo fosfato pero no el carbón, y en donde la actividad minera es temporalmente inactiva (Op. cit), resaltando la relación de la FMA/P con el impacto de su actividad en el territorio.

Ya en Latinoamérica, específicamente en el caso de nuestro país vecino Perú, las Faenas Mineras Abandonadas son definidas como aquellas en que el dueño hace dejación con el ánimo de desprenderse del dominio de la misma. A diferencia, las Faenas Mineras Paralizadas son aquellas donde la actividad minera se encuentra detenida temporal o definitivamente, excluyéndose la relación de impacto al territorio y también el concepto de responsabilidad del dueño (Yupari, 2003).

Ahora bien, SERNAGEOMIN define faena minera abandonada como aquella que no tiene dueño conocido, ya sea porque la faena terminó hace mucho tiempo o porque no se han atribuido responsables (citado en la Revista Minería Chilena, 2010), Cabe señalar que existe un ítem específico en el Formulario E-400 de identificación de la Empresa y Titular, que deberían guiar hacia el responsable del impacto ambiental, no obstante, evidentemente se excluye la relación con el impacto ambiental de la actividad, lo que no debería sorprendernos si consideramos que, como refiere Pizarro (citado en entrevista para la Revista Minería Chilena, 2010), en nuestro país no existe una norma de calidad de suelos ni de calidad de aguas subterráneas y suelen ocuparse parámetros reconocidos en otros países.

A continuación se presenta un resumen basado en la investigación de Yupari (2003), donde se exponen los principales resultados de los esfuerzos por realizar un diagnóstico de la situación de los FMA/P dentro de Latinoamérica (ver Tabla 6, pp. 31).

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG
II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Tabla 6: Diagnóstico de FMA/P en Latinoamérica.

PAÍS	AÑO	RESULTADOS
Bolivia	1993	Diagnóstico global de las condiciones ambientales del sector minero durante la década 1980-1990. Principales impactos detectados: <ul style="list-style-type: none"> - Transformación del paisaje: minas a rajo abierto, diques, disposición de desmontes, etc. - Contaminación de aguas superficiales, subterráneas y suelo. - Acumulación de residuos sólidos. - Emisiones de polvo con metales pesados que contaminan agua y suelos.
Colombia	2000	Ponencia de la 1° Jornada Iberoamericana de Cierre de Minas. Principales impactos detectados: <ul style="list-style-type: none"> - Severidad de procesos erosivos. - Destrucción de la fauna y flora, afectación de ecosistema en general. - Contaminación de aguas limpias, que encarece el proceso de potabilización o imposibilidad de recuperarla para el consumo.
Ecuador	1992	La mayoría de los impactos han afectado las aguas debido a los procesos usados para la extracción del oro: <ul style="list-style-type: none"> - Cuencas hidrográficas afectadas por pasivos que siguen generándose en zonas de alta biodiversidad y fragilidad ambiental. - Deterioro parcial de las riberas de los ríos por almacenamiento de residuos. - Relaves, rípios y arenas con alto contenido de metales, sulfuros y sulfatos se descargan directamente en quebradas y ríos. - Construcción de plantas de cianuración en las orillas de los ríos permiten que las colas sean rápidamente arrastradas durante las crecidas. - Deficiencias en el proceso técnico de cianuración hace que las colas y relaves contengan residuos significativos de cianuro.
Perú	2000	Impactos producidos: <ul style="list-style-type: none"> - Degradación de las aguas de los ríos, lagos y mares producidas esencialmente por el vertimiento de residuos sólidos y líquidos, con alto contenido de sustancias contaminantes. - Degradación del aire, suelos, flora, fauna y paisaje; generada también como consecuencia de los vertimientos o emisiones. - Deforestación: destrucción de la cobertura vegetal, que pone en peligro la estabilidad de taludes y procesos de almacenamiento del agua en el suelo. - Eliminación o disposición inadecuada de sustancias y residuos: disposición de material de desechos y escombreras en áreas localizadas a la intemperie.

Fuente: Elaboración propia en base a Yupari (2003).

B. Diagnóstico de FMA/P en Chile

A comienzos de siglo SERNAGEOMIN firmó dos convenios de cooperación respecto del tema de los pasivos ambientales mineros: el proyecto “Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en Gestión Ambiental Minera FOCIGAM”, con la Agencia de Cooperación Internacional en Japón (JICA), y el Proyecto PAM “Bases para la remediación de Pasivos Ambientales Mineros”, con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos naturales (BGR) de Alemania.

El objetivo principal del proyecto FOCIGAM, el cual empezó el año 2002 con una duración proyectada de 5 años, fue la capacitación de los funcionarios de SERNAGEOMIN en la evaluación de riesgos de FMA/P. Para tal efecto, se elaboró una metodología y un Formulario (E-400) de levantamiento de información en terreno y se investigaron en total 213 FMA/P mediante una evaluación de riesgo preliminar. La información obtenida se incorporó en el Catastro de Faenas Minera abandonas o paralizadas. En el año 2005 se seleccionaron 5 faenas que según la evaluación de riesgo preliminar presentan un riesgo alto para el ambiente, de modo que fueran sometidas a una evaluación detallada en los siguientes temas: estabilidad física de talud de tranques de relaves y de bancos de rajos abiertos, estabilidad física, química y bioquímica de rípios de lixiviación y el tema de las aguas efluentes de minas (SERNAGEOMIN, citado en Chaparro, 2010).

El segundo convenio firmado con el gobierno alemán tuvo como objetivo crear las bases en Chile para remediar los PAM. Los objetivos específicos fueron: la capacitación del SERNAGEOMIN en la identificación y clasificación de los pasivos y en la evaluación de planes de remediación y fiscalización de la ejecución de éstos; la elaboración de una propuesta de ley para la gestión de los pasivos e identificación de instrumentos de financiamiento para la remediación de los pasivos de responsabilidad estatal.

En el año 2007, el SERNAGEOMIN publicó un “Catastro de Faenas Mineras abandonadas o Paralizadas y análisis preliminar de riesgos”, desarrollado por el proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en la Gestión Ambiental

Minera (FOCIGAM), ejecutado en el periodo de julio de 2002 a junio de 2007, entre el SERNAGEOMIN y la Agencia de Cooperación Ambiental de Japón (JICA).

Este permitió la elaboración de un registro sistemático de faenas mineras, catastrando 213 faenas.

En general, los tipos de impactos identificados se resumen en los siguientes puntos (Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, 2002):

- Tranques de relave abandonados o que no tienen planes de cierre, la mayor parte utilizados y abandonados antes de 1990 y en especial de pequeñas y medianas labores mineras, pues aquellos pertenecientes a las grandes minas cuentan con planes de cierre o en elaboración.
- Desechos generados: los masivos (estéril, relaves, ripios, escorias) y los de tipo industrial (reactivos químicos, neumáticos, aceites, chatarra, etc.) en faenas abandonadas.
- La acidificación de aguas.
- La contaminación atmosférica generada por las fundiciones de cobre, la que sin embargo ha desaparecido casi por completo como fuente generadora de impactos debido a la aplicación de los Planes de Descontaminación de las fundiciones⁶.
- Contaminación provocada por la pequeña minería y minería artesanal. En este sector los problemas se asocian a la construcción y manejo de tranques de relaves y el uso de mercurio en pequeñas plantas de trapiches.

El método de catastro aplicado fue el Formulario E-400 (ver Anexo 1, pp. 122), desarrollado por expertos de JICA y SERNAGEOMIN. Ésta es una herramienta que permite administrar ordenada y unificada la información sobre FMA/P recopilada en el territorio nacional, enfocándose especialmente en la identificación de instalaciones y obras remanentes, así como en las características generales del

⁶ Los Planes de Descontaminación fueron introducidos por mandato del Decreto 185 sobre la regulación y control de emisiones de la atmósfera de SO₂ y partículas a partir de fuentes fijas.

entorno y en los impactos ambientales o de seguridad que se pudiesen ocasionar a las personas o al medio ambiente.

Tal formulario consta de 17 ítems, dentro de los cuales el ítem C, referido a Identificación de la Faena, registra información del nombre de la FMA/P, coordenadas UTM, y cota con punto de referencia. La información recopilada es de gran importancia, ya que debería permitir localizar la faena y establecer relaciones espacio-territoriales. Sin embargo, actualmente se puede detectar al menos 3 inconvenientes prácticos en el sistema:

- 1) Si bien uno de los objetivos del catastro es lograr la ubicación de FMA/P respecto de un entorno determinado para posteriormente relacionar la información con datos de carácter ambiental y social, en la actualidad no se establece relación espacio-territorial.
- 2) Existen 2 niveles en el sistema de gestión de pasivos. Primero, el análisis simplificado de riesgos (catastro) y luego, basándose en los resultados del primero se realiza un análisis detallado de los tipos de riesgo. Ambos obedecen a una programación anual, según cumplimientos de metas iguales para cada Dirección Regional de SERNAGEOMIN. Por lo tanto, de lo anterior se deduce que podrían existir regiones con cantidades superiores de FMA/P que ameritan atención por sobre otras pertenecientes a regiones donde no existen prioridades de este tipo.
- 3) En el caso de que un evaluador ambiental deba aplicar el Formulario E-400 en un área donde no maneje información profunda de su entorno, probablemente sean poco fehacientes los datos de proximidad a recursos hídricos, áreas silvestres protegidas, centros poblados, entre otros elementos del entorno.

2. Pasivos Ambientales Mineros

A. Definición

Hace 10 años se abordó en el primer Taller Panamericano sobre Minas Abandonadas (Santiago, Chile, 18 de Junio 2001) la discusión en cuanto a la terminología apropiada para referirse a este subtipo de FMA/P. Allí quedó claro que cada país debía usar su propia terminología en vista de que los términos como minas abandonadas, huérfanas o inactivas bien podría tener diversa connotación de acuerdo al sistema legal y las definiciones existentes. Por cuestiones prácticas y no siendo materia de estudio del presente informe la discusión en torno a la terminología, usaremos el término pasivos ambientales mineros como ya se usa en algunos países como Perú, Bolivia y el nuestro.

A pesar de que los problemas en torno a las antiguas instalaciones mineras son conocidos en la mayoría de los países, la discusión sobre el tema se inició tardíamente en Latinoamérica. Aquello se relaciona con las carencias de marcos legales que orienten la identificación global de los PAM, las estrategias de acción frente a ellos, la priorización en cuanto a la necesidad de intervención, la imputación de responsabilidades, y el financiamiento de los costos de saneamiento en los recursos naturales del entorno.

En la actualidad, el concepto de PAM puede mostrar diferencias entre distintos países, sin embargo, se acepta que en su esencia está directamente relacionado con los impactos negativos generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueños/operadores identificables y en donde no se haya realizado un cierre de minas regulado/certificado por la autoridad correspondiente (Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, 2002). En EEUU, por ejemplo, la ley CERCLA se refiere a sitios contaminados (llamados Sitios de “Superfund”) por desperdicios peligrosos que se asocian a un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente, y que por ello han sido identificados como candidatos para limpieza, mejora o restauración. En Perú se consideran como PAM “todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y

potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”, (según el Art. 2º Ley No. 28.217. Ley que regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. Perú, Lima 06 de Julio de 2004). En Bolivia, el Reglamento General de Gestión Ambiental de la Ley de Medio Ambiente, Ley N°1333, en su Capítulo V define como PAM el conjunto de impactos negativos perjudiciales para la salud y/o el medio ambiente, ocasionados por determinadas obras y actividades existentes en un determinado período de tiempo y los problemas ambientales en general no solucionados por determinadas obras o actividades, entendiendo por daño ambiental sólo aquellas consecuencias producidas entre el inicio y la conclusión de las actividades mineras de un operador (Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, 2002).

Hoy en día sabemos que los impactos dejados por la minería se hicieron más evidentes durante los años 70's y 80's. Ello debido al crecimiento de la producción minera, empobrecimiento de los yacimientos, y el incremento de residuos metálicos en los relaves. Dentro de los principales impactos referidos en la literatura se señalan:

- La contaminación atmosférica en zonas saturadas con emisiones desde las fundiciones de cobres localizadas en los alrededores de centros poblados,
- Contaminación de los cursos de agua, debido a efluentes líquidos
- Contaminación del suelo
- Riesgos latentes debido a faenas mineras y tranques de relaves abandonados que en muchos casos acaban contaminando cursos de agua naturales.
- El drenaje ácido como una de las causas principales de la degradación ambiental, la destrucción parcial o completa de ecosistemas acuáticos y la contaminación de las aguas subterráneas.

Según el Informe de PAM en Sudamérica (Yupari, 2003), Ecuador, Colombia y Bolivia han desarrollado practicas mineras que prestan poca o nula atención al control de la contaminación, con el consiguiente deterioro del medio ambiente. Perú recientemente presta mayor atención a la situación, realizando un catastro de FMA/P y un trabajo de identificación de zonas ambientalmente críticas, en que la actividad minera ha tenido un rol contaminante. En la misma investigación se refiere a que en

Sudamérica resultaron ser las empresas extranjeras quienes trajeron su propia política ambiental, mejorando la preocupación por el cuidado del medio ambiente en sus proyectos, incorporando medidas concretas de protección ambiental y de mitigación de impactos, aunque éstas pueden no ser suficientemente amplias y efectivas

Los impactos ambientales, sociales y económicos de los PAM no solamente dañan la imagen y reputación de las empresas mineras, sino provocan un creciente rechazo de todas las actividades mineras presentes y futuras. Es por ello que, aunque los PAM son considerados como un problema histórico, requieren hoy en día una solución integral para no poner en peligro todo el sector minero (Oblasser y Chaparro, 2008).

En el caso de Chile, los vacíos legales también han postergado y retrasado acciones por parte de todos los agentes involucrados en el tema como: la industria, el gobierno y las comunidades (Chilean Cooper Commission, 2001). Debido a ello se ha formulado un proyecto de Ley para la Remediación de PAM, donde se señala que estas serían aquellas faenas mineras abandonadas o paralizadas (incluidos sus residuos) que constituyen un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente (Oblaser y Chaparro, 2008). Dicha remediación se podría concretar a través del camino de la mitigación, la reparación o la compensación de las víctimas (Pizarro, citado en entrevista para Revista Minería Chilena, 2010).

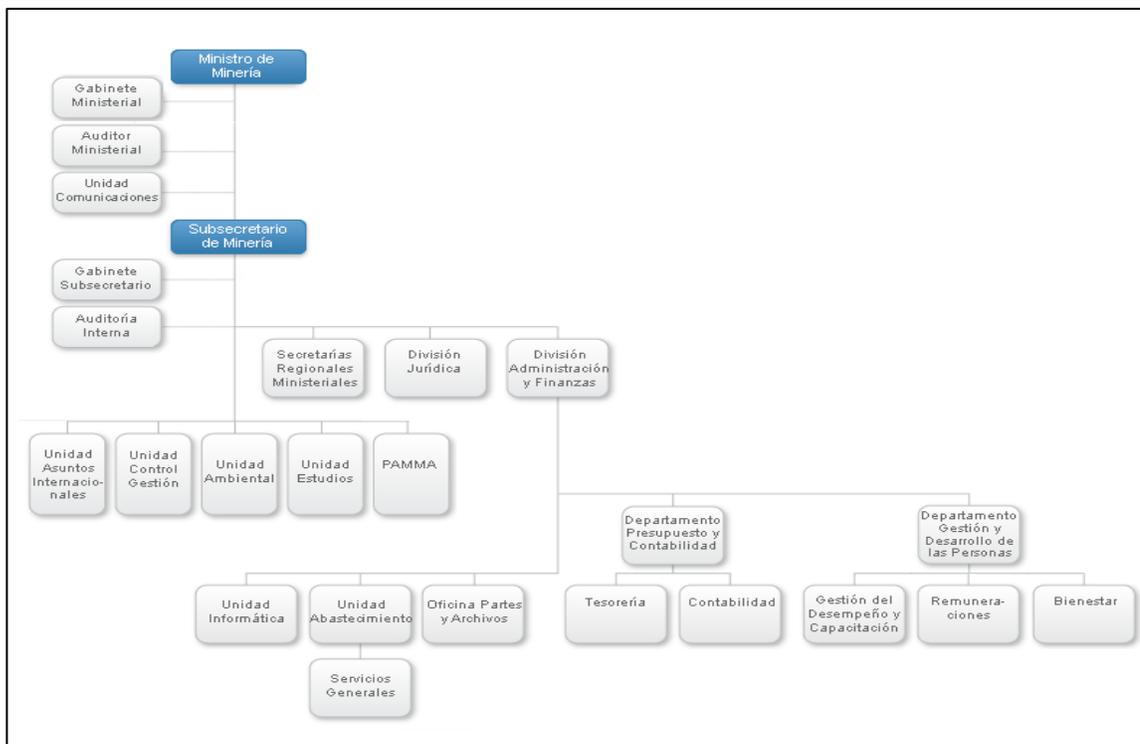
B. Normativa Legal e institucionalidad minero ambiental en Chile

La inserción de Chile en el comercio mundial bajo Tratados de Libre Comercio implicó oportunidades para crecer, pero también obligaciones. Una de estas últimas es muy importante: el compromiso del país para cumplir la legislación ambiental (Correa, 2006, citado en XVII Congreso Geológico Boliviano). Así, el camino elegido para avanzar en el manejo de la variable ambiental ha sido la utilización de las facilidades basadas en convenios internacionales de cooperación técnico–económica, con el Gobierno de Japón a través de su Agencia de Cooperación Internacional (JICA) y del Ministerio de Minería (MM) representado por el SERNAGEOMIN.

Para la elaboración de la propuesta de ley se creó un comité consultivo, con la participación de representantes del Ministerio de Minería, SERNAGEOMIN, CONAMA, CEPAL y BGR como un grupo consultor. Como resultado del proyecto, en Diciembre de 2005 se entregó el borrador de la Ley sobre Remediación de Pasivos Ambientales Mineros al Ministerio de Minería. En el marco de este proyecto se elaboró también un “Manual para la calificación y Remediación de PAM” para el uso de los profesionales de SERNAGEOMIN en cuanto salga la ley.

La entidad a cargo del sector minero es el Ministerio de Minería y Energía. Según Resolución (E) N° 69, el año 1991 se creó en la Subsecretaría de Minería una Unidad Técnica denominada “Unidad Ambiental del Ministerio de Minería”, dependiente directamente del Subsecretario de esta Secretaría de Estado y dirigida por un funcionario técnico idóneo con la designación de Jefe coordinador y funcionarios técnico-administrativos. A continuación se observa el organigrama (ver Figura 2):

Figura 2: Organigrama Ministerio de Minería.



Fuente: Ministerio de Minería, 2011. <http://www.minmineria.gob.cl/574/w3-propertyvalue-2632.html>

En resumen, las funciones que realiza esta Unidad son las siguientes:

- 1) Cumplir el rol de asesorar al Ministro de Minería en temas ambientales.
- 2) Proponer las leyes, normas y reglamentación ambiental necesaria en el ámbito minero.
- 3) Propiciar la capacitación técnica y/o profesional del personal de la subsecretaría competente en esta área
- 4) Participar en grupos de investigación público/privados sobre materias minero-ambientales.

Además, SERNAGEOMIN, Comisión Chilena del Cobre, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Comisión Nacional de Energía y Centro de Investigaciones Mineras y Metalúrgicas designan a un representante permanente y un alterno, quienes también son integrantes de esta Unidad, con el objetivo de que las funciones de la mismas detalladas en la resolución que la crea sean realizadas con el mayor grado de respaldo técnico-científico disponible al Ministerio de Minería.

El SERNAGEOMIN, institución subordinada al Ministerio de Minería y Energía, fue creado en 1980 mediante la fusión de dos entidades que hasta esa fecha habían funcionado en forma independiente, el Instituto de Investigaciones Geológicas y el Servicio de Minas del Estado.

De acuerdo a su organigrama⁷, SERNAGEOMIN se divide en la Subdirección Nacional de Geología, la Subdirección Nacional de Minería y las Direcciones Regionales, supervisadas por la Subsecretaría de Minería del Ministerio competente. La función principal de la Subdirección Nacional de Minería es la supervisión y control en la aplicación de las normas legales y reglamentarias relacionadas con la propiedad minera, la seguridad en la industria minera extractiva y el medio ambiente en la minería.

A partir del año 1992 la gestión ambiental del SERNAGEOMIN se centralizó en el Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental (DIGA) cuya función principal es contribuir a prevenir y minimizar el riesgo ambiental en el sector minero y geológico,

⁷Para revisar el organigrama institucional visite: <<http://www.sernageomin.cl/pdf/organigrama.pdf>>

mediante la participación en el proceso de evaluación de los proyectos y actividades que se someten al sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, SEIA, y observaciones, recomendaciones y la fiscalización ambiental en terreno.

La administración ambiental por lo general está a cargo de las dependencias regionales de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y del SERNAGEOMIN.

CONAMA fue creada en 1994 por la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente. Esta ley fue la primera que abordó el tema ambiental del país y estableció como responsabilidad de este organismo actuar como servicio de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente. CONAMA dependió del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y una de sus tareas principales era la coordinación de la gestión ambiental de Estado. Fue el órgano encargado de la administración del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), la promoción de la educación ambiental, el financiamiento de proyectos de protección, preservación y conservación, la elaboración de normas ambientales y planes de prevención y descontaminación, entre otros. El 2 de julio de 2010, la Contraloría General de la República tomó razón de los decretos con fuerza de ley que dieron vida a la nueva institucionalidad ambiental en el país. Esta acción se tradujo en la creación del Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Así, dejó de existir la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) el 01/10/2010. Junto con crear el Ministerio del Medioambiente, la norma aprobada por el Congreso instaló en el aparato público el ya nombrado Servicio de Evaluación Ambiental, un ente separado del ministerio y que continúa realizando la labor que realizaba CONAMA, pero ahora enfocado a simplificar los permisos ambientales y proporcionar información adecuada para los proponentes y la comunidad, todo bajo el sistema de selección de alta dirección pública.

Como se puede deducir, a partir de la fecha de creación de CONAMA, con la promulgación de la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, es que se inició el desarrollo ambiental a nivel institucional. Dicha ley se construyó sobre el derecho constitucional de vivir en un ambiente libre de contaminación (Artículo 19 de la

Constitución Política de la República de Chile) y creó diferentes instrumentos para la gestión ambiental como lo es el SEIA.

El SEIA, cuya administración correspondía a la CONAMA o a las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (COREMAS), definió que los proyectos nuevos, enumerados en la Ley de Bases y en su reglamento, susceptibles de causar impactos ambientales deben realizar un Estudio de Impacto Ambiental. Complementariamente el Reglamento del SEIA (D.S. 30/97) establece en su Artículo 3 una lista de proyectos que entran al SEIA. Entre ellos se incluyen “los proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles”. En estos estudios se deben incorporar las medidas para la protección de la vida o salud humana y del medio ambiente para las etapas de cierre y abandono.

En resumen, a pesar de existir algunas normas aisladas, en nuestro país no hay una regulación marco que aglutine todos los esfuerzos para controlar los sitios contaminados y pasivos ambientales” (Revista minería chilena, 2010). Este problema se pretende resolver con el anteproyecto de Ley que propone a SERNAGEOMIN (Oblasier y Chaparro, 2008) y el Servicio de Evaluación Ambiental como los órganos estatales competentes en el manejo de PAM.

C. Propuesta de Ley sobre PAM en Chile

En el año 2005, en el marco del proyecto de cooperación técnica entre Chile y Alemania se planteó la iniciativa de un proyecto de Ley sobre Remediación de Pasivos Ambientales Mineros. El borrador de este proyecto de ley fue entregado al Ministerio de Minería en Diciembre de ese año.

El anteproyecto de ley contiene disposiciones generales sobre la identificación, catastro, evaluación, declaración, priorización y remediación de los pasivos ambientales mineros con el objetivo de controlar, reducir o eliminar los riesgos significativos para la vida o salud humana o para el medio ambiente.

De acuerdo con el proyecto de ley se entiende por pasivo ambiental minero aquella “faena minera abandonada o paralizada, incluyendo sus residuos, que constituye un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente”. El principio del riesgo significativo se basa en el concepto, de que no toda faena minera abandonada o paralizada representa riesgo o genera efectos adversos a la salud o al medio ambiente, que requieran medidas de mitigación. Los riesgos se identifican con la “probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso considerable en la vida o salud de las personas o el medio ambiente producto de una FMA/P, debido a la existencia de elementos, obras, instalaciones o residuos mineros constitutivos o presentes en ella y a su naturaleza, estado, composición, concentración magnitud, duración propagación o peligrosidad”. Solamente las FMA/P que presentan riesgo significativo se denominan PAM.

El criterio diferenciador es el carácter “considerable” del riesgo que pueda presentar o generar, en la actualidad, una faena minera abandonada o paralizada para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, en términos que si puede calificarse de tal, fundado en el correspondiente Informe de Evaluación de Riesgos (EDR). En este caso, la FMA/P, pasará a constituir un “PAM” y como tal, deberá ser objeto de remediación.

La ley de Bases del Medio Ambiente (Ley 19.300) no se refiere en su texto a los PAM que provienen de la minería histórica. Sin embargo, se hace necesario prevenir los riesgos de efectos significativos en la salud de las personas y el medio ambiente

provocados por éstas, por lo que SERNAGEOMIN, con la cooperación de organismos internacionales, ha desarrollado un proyecto de ley que atiende esta situación (Cartagena, 2006; citado en XVII Congreso Geológico Boliviano).

Hasta antes de la entrada en vigencia del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental contemplado en la Ley N°19.300, un considerable número de estas faenas e instalaciones fueron abandonadas por los propietarios u operadores mineros, o paralizadas sin la adopción de medidas de seguridad minera o de protección ambiental, así como tampoco con control por parte de las autoridades competentes, constituyendo los llamados pasivos de la minería (Op. cit).

No se pudo recopilar información clara respecto de la forma en que se coordinarían distintos organismos estatales para el traspaso de información relacionada con las FMA/P. Aparentemente esto contribuyó a que un número de faenas mineras medianas y pequeñas surgieran y desaparecieran sin un seguimiento riguroso, lo que podría evitarse por ejemplo, con una mayor coordinación entre el SII y SERNAGEOMIN.

El deber que pesa sobre el Estado de Chile de velar por el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación que la Carta Fundamental asegura a toda persona, y de tutelar la preservación de los recursos naturales, sumado a las obligaciones y compromisos que el país ha asumido en el plano internacional, dan cuenta de la necesidad actual de disponer de los instrumentos institucionalizados adecuados, que permitan la adopción de medidas tendientes a evitar que las FMA/P del pasado puedan generar riesgos significativos para la vida o salud de la población o para el medio ambiente y que dichos riesgos sean reducidos a niveles no significativos (Op. cit).

El objetivo general del anteproyecto de Ley PAM es reducir los riesgos significativos de FMA/P a niveles considerados aceptables para la vida/salud de las personas y/o medio ambiente. El riesgo significativo se entiende como una alta probabilidad de que ocurra un daño “considerable” en la vida/salud de las personas y/o medio ambiente, debido a la existencia de elementos peligrosos en las obras, instalaciones o residuos mineros presentes en la FMA/P, independiente de su estado, composición, concentración, magnitud, duración, y forma de propagación. Esta

definición evidentemente necesita esclarecer el concepto “daño considerable”, puesto que de lo contrario, todo quedaría basado en apreciaciones subjetivas.

D. La responsabilidad

Para Oblasser y Chaparro (2008), una legislación o un sistema de gestión de PAM debe abarcar a las faenas mineras abandonadas, paralizadas, inactivas o huérfanas, teniendo como objetivo mitigar, remediar y también prevenir daños ya producidos o los riesgos de un futuro daño, donde los aspectos claves para una gestión de PAM son la identificación de los responsables y los mecanismos de financiamiento de la remediación.

En su estudio, Yupari (2003) toca el tema de la responsabilidad planteando que, independiente del régimen legal que cada país decida adoptar, no se debe olvidar que el objetivo final es el saneamiento, remediación y recuperación de los bienes afectados. Aquello debiera estar, en la medida de lo posible, en conformidad con el principio “quien contamina, paga”, pero en el caso de las minas abandonadas, sin titular responsable⁸, no hay más alternativa viable de que el Estado asuma la responsabilidad de la rehabilitación ambiental, ya que finalmente fue éste quien autorizó la realización de actividades mineras y/o el lanzamiento de sustancias contaminantes al medio. Alude también al llamado “Convenio Araus” de las Naciones Unidas, donde se propone que en la toma de decisiones sobre las acciones de remediación, la participación ciudadana es una metodología a incorporar, favoreciéndose el acceso a la información y a la justicia en materia del medio ambiente, para asegurar oportunidades efectivas de participación pública en temas ambientales que, finalmente involucran a la sociedad.

En Estados Unidos, el organismo competente define como grupo potencialmente responsable (PRP) (Oblasser y Chaparro, 2008) a los siguientes actores:

⁸ Ferrando (2011) plantea que el titular o dueño legal siempre debería mantener su responsabilidad por las consecuencias de la actividad minera, tal y como sucede en el caso de las inmobiliarias, donde la responsabilidad recae en las personas (dueños o ex dueños) y no en las empresas. Señala además que para el Servicio de Impuestos Internos toda actividad económica, incluidas las mineras, tienen o tuvieron una persona natural como responsable, de modo que si no hay un cierre oficial de la faena ésta aún debería contar con un propietario responsable.

- Los dueños actuales o los operadores de la instalación.
- Los dueños previos o los operadores de la instalación, si ellos eran los dueños en el momento de la disposición de las sustancias peligrosas.
- Aquellos que organizaron el tratamiento o la eliminación de sustancias peligrosas en una instalación.
- Los transportadores de las sustancias peligrosas que seleccionaron el sitio para la eliminación de estas sustancias.

Aquellos PRP identificados son responsables de los costos para la restauración, los costos de la evaluación de riesgo por salud, el desagravio por mandato judicial donde un sitio presenta un potencial de riesgo inminente y substancial.

Esta responsabilidad se subdivide en: responsabilidad retroactiva, solidaria y objetiva. La responsabilidad retroactiva se aplicaría para aquellas acciones que ocurrieron antes de la Ley Superfund en 1980; la responsabilidad solidaria donde a cualquiera de los responsables identificados de un sitio contaminado se le adjudica la responsabilidad de todo un sector en que no se puede determinar que el daño es divisible entre más actores; por último, la responsabilidad objetiva sería aquella donde no es necesario demostrar que el PRP actuó con culpa, o si las consecuencias eran imprevisibles, o si cumplió con los estándares vigentes en el momento de la disposición de los residuos, ya que en todos los casos el PRP es responsable.

En Chile, la responsabilidad por el daño ambiental se regula según el Título III de la Ley 19.300 donde se aplica el concepto de la responsabilidad subjetiva, es decir, para que haya responsabilidad civil es necesario que exista culpa o dolo en la acción del daño, entendiéndose por este último la “pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes”.

Según el actual anteproyecto de ley serán obligados a concurrir al pago de los costos de la remediación de los PAM:

- Las empresas mineras y sus sucesores legales, que hayan operado las faenas mineras que dieron origen a un PAM.

- El titular de una concesión minera o de un establecimiento de beneficio y sus sucesores legales, respecto de los PAM que se originen como consecuencia del ejercicio de las servidumbres.
- El titular de una concesión minera o de un establecimiento de beneficio o el dueño de un predio superficial.
- La persona natural o jurídica que adquiera inmueble en cuya superficie exista un PAM ya declarado, sin considerar los pasivos existentes debajo de la superficie de un terreno, como por ejemplo en el caso de las minas subterráneas o también en el caso de residuos enterrados.

Se especifica de igual manera que los titulares de una concesión minera o el propietario de un predio superficial no están obligados de asumir los costos para la remediación si el PAM tuviere su origen en faenas mineras ejecutadas por terceros y si el PAM fue originado como consecuencia del ejercicio por terceros de alguna de las servidumbres establecidas en el Título IX del Código de Minería (1983).

Parece importante destacar que el concepto de “responsabilidad subjetiva” propuesto en el anteproyecto de ley mencionado anteriormente, carece de especificidad técnica en los términos de “disminución”, “detrimento”, “pérdida”, los cuales no tienen un desarrollo teórico-científico en las disciplinas que abordan el medio ambiente, como podrían ser los conceptos de “degradación”, “contaminación” y “desnaturalización”, entre otros. Por otro lado, la ambigüedad respecto de la responsabilidad de la remediación en aquellos casos donde el PAM no registra una persona natural identificable como propietario, representa una seria dificultad considerando, que un porcentaje importante de las FMA/P son anteriores a la existencia de los organismos fiscalizadores y, por lo tanto, no cuentan con registros legales que permitan determinar al responsable de la remediación. Para algunos autores en este caso el responsable es el Estado, sin embargo, acá no se especifica.

E. Instrumentos de Gestión en Chile

El proyecto de ley propone los siguientes instrumentos para la gestión de remediación de las faenas mineras abandonadas o paralizadas y de los pasivos ambientales mineros:

- 1) El Catastro Nacional de Faenas Mineras Abandonadas o paralizadas
- 2) La Evaluación de Riesgos
- 3) El Catastro Nacional de Pasivos Ambientales Mineros
- 4) El Listado Priorizado de Pasivos Ambientales Mineros
- 5) El Plan de Remediación

La identificación de las FMA/P y la elaboración y actualización del Catastro Nacional de FMA/P está a cargo de SERNAGEOMIN. Este catastro es público y el proyecto de Ley establece una obligación de informar al SERNAGEOMIN sobre la existencia de FMA/P para la empresa minera, el propietario de una concesión minera, el propietario del terreno superficial y los poseedores de inmuebles de una FMA/P. También las Municipalidades deben informar la existencia de FMA/P que se encuentren dentro de los límites de sus comunas.

Basándose en el Catastro Nacional de FMA/P, en caso que una FMA/P pueda presentar riesgos significativos para la vida o salud de las personas o el medio ambiente, o a uno o más de sus componentes, se debería efectuar una Evaluación de Riesgos, con el objetivo de determinar si la faena constituye un pasivo ambiental o no. Las que confirmasen su carácter de PAM entran al Catastro Nacional de Pasivos Ambientales Mineros y serán priorizados (según el grado de riesgo que representan), donde sólo aquellas faenas que figuren en el Catastro Nacional de Pasivos Ambientales Mineros requerirán de una remediación.

El Plan de Remediación será el documento que contendrá detalladamente las acciones y medidas adecuadas para la reducción del riesgo que presenta o genera un PAM a niveles no significativos para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, siendo SERNAGEOMIN el responsable de supervisar la aplicación y emitir la resolución donde se declare el cumplimiento del plan de remediación en cuestión.

F. Financiamiento

La Ley CERCLA en EEUU dotó al Superfund (fondo que provee recursos para la restauración de sitios contaminados, cuando no se puede identificar un responsable o cuando el responsable identificado no puede asumir el costo para la restauración) por un monto de 1,6 mil millones de dólares durante 5 años, mientras que la implementación de la ley SARA autorizó 5,1 billones de dólares.

La mayoría de los ingresos al fondo fideicomiso son: transacciones entre fondos (interfund transactions), los cuales representan las contribuciones estimadas de los ingresos generales de la tesorería; la recuperación de costos, los cuales representan pagos al fondo provenientes de los responsables identificados para rembolsar al gobierno por los gastos de restauración; y los intereses y beneficios de inversionistas y multas⁹.

El gobierno federal puede implementar medidas de restauración, si el potencial responsable identificado se niega a asumir los costos para la restauración del sitio contaminado, y recuperar estos costos más adelante del responsable identificado por vía judicial.

Además el Superfund permite al Gobierno Federal, a los estados y a privados recuperar los recursos invertidos en las actividades de restauración y remediación. Si la restauración se ejecuta con recursos provenientes del Fondo, la EPA tratará de recuperarlos de los responsables identificados, incluyendo los costos para la planificación e implementación de las medidas de restauración; la investigación y monitoreo; acciones para limitar el acceso al sitio; costos necesarios para respaldar la restauración, etc.

En Perú, la remediación de los PAM de responsabilidad Estatal es financiada por el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM), quien se encarga de captar la cooperación financiera nacional, donaciones, canjes de deudas y otros recursos. Según el Banco Mundial, el FONAM carece de experiencia en la obtención de fondos en este ámbito y necesitaría asociarse con agentes de probada excelencia técnica, además de recibir

⁹ CRS Report for Congress (2006) “Superfund Taxes or General Revenues: Future Funding Issues for the Superfund Program”.

capacitación al respecto. Por tanto, el Estado Peruano aún no asume la responsabilidad de remediar sus propios PAM con un compromiso financiero significativo para hacerse cargo de los problemas de uno de los sectores más fuertes de su economía¹⁰.

A continuación se presenta un cuadro resumen de las normativas existentes en países latinoamericanos con respecto a normativas específicas de PAM y sus respectivos organismos responsables. Se puede observar que el país que ha avanzado en estas materias corresponde a Perú, siendo el único con una Ley promulgada (ver Tabla 7, pp.50).

¹⁰Banco Mundial (2005). “Riqueza Y Sostenibilidad: Dimensiones Sociales y Ambientales de la Minería en el Perú”.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG
II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Tabla 7: Resumen: normas, reglamentos y leyes de Latinoamérica relacionadas a los PAM

	NORMATIVA PAM	ENTIDAD A CARGO	LEYES Y REGLAMENTOS
Bolivia	NO existe legislación específica.	-	<ul style="list-style-type: none"> - Ley del Medio ambiente aprobada por Ley de la República N°1333 del 27 de Abril de 1992. - Código de Minería, aprobado por Ley N°1777, de 17 de Marzo de 1997. - Reglamento Ambiental para las Actividades Mineras (RAAM) DS. No. 2478 del 31-07-1997.
Colombia	NO existe legislación específica.	-	<ul style="list-style-type: none"> - Código de Minería. - Instrumentos legales: planes de manejo ambiental, EIA, licencia ambiental, permisos y concesiones para la utilización de recursos naturales renovables, guías ambientales y autorizaciones correspondientes.
Ecuador	NO existe legislación específica.	-	<ul style="list-style-type: none"> - Legislación Minera Ley N° 126 año 1991 y reformada el año 2000. - Ley de Gestión Ambiental año 1999. - Reglamento ambiental para actividades mineras año 1997.
Perú	<p>Ley N° 28271, que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (06.07.04), modificada el año 2005 por la Ley N° 28256.</p> <p>D. Sup. N° 059-2005: Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera.</p>	<p>Ministerio de Energía y Minas MEM a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros DGAAM.</p> <p>Consejo Nacional del Medio Ambiente CONAM.</p> <p>Fondo Nacional del Ambiente, FONAM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Código de Medio Ambiente y los Recursos Naturales Do. N° 613, (07-09-90). - D. Sup. N° 014-92-EM del 02.06.92, de la Ley General de Minería. - D. Sup. N° 016-93-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades minero metalúrgicas. (01-05-93). - Ley N° 27474: Ley de Formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal. - Resolución Ministerial N° 596-2002-ED/DM: aprueba reglamento de consulta y participación ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de los Estudios Ambientales en el sector Energía y Minas (21-12-2002). - Ley N° 28090: regula cierre de Minas (14-03-2003).
Chile	Proyecto de Ley	Ministerio de Minería	<ul style="list-style-type: none"> - Ley N°19.300, sobre Bases del Medio Ambiente (LBMA). - Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que sólo es obligatorio desde 1997 (Decreto N°30 de 1997). - Ley Orgánica constitucional sobre concesiones Mineras N°18.097. - Código de Minería. - Reglamento del Código de Minería.

Fuente: Elaboración propia en base a Oblasser y Chaparro, 2008.

3. El concepto de Riesgo.

A. Definición

El concepto de riesgo ha sido abordado desde distintos puntos de vista, cada uno de los cuales depende de las disciplinas científicas que han llegado a definirlo desde su ámbito del saber. Por este motivo, algunos autores plantean que el riesgo no ha sido abordado de forma integral, sino que por el contrario ha sido fragmentado de acuerdo al enfoque de cada disciplina (Sarricolea, 2004; Carreño, 2006 citado en Berrocal, 2008).

Dentro de la perspectiva de la geografía, en el inicio de los estudios de riesgo, se consideraba que los desastres eran resultado de eventos físicos/naturales extremos, donde la investigación debía centrarse en la distribución espacial de las amenazas y sus características (MINAM, 2010). Posteriormente, alrededor de los años 40's se realizaron las primeras postulaciones académicas sobre este concepto, cuando el geógrafo Gilbert White y sus colegas postularon que los desastres no eran sinónimos estrictos de las amenazas naturales, sino el resultado de una interacción con la vulnerabilidad de una sociedad al riesgo. Así el concepto evolucionó para llegar en 1974 a proponer que el riesgo de sufrir un desastre depende de la magnitud de la amenaza natural en relación con la vulnerabilidad de la sociedad expuesta, lo cual se resume de la siguiente expresión:

$$\text{RIESGO} = \text{VULNERABILIDAD} \times \text{AMENAZA}$$

Desde este momento en adelante se entiende la idea de que un evento extremo no es sinónimo de desastre sin que tenga un efecto negativo para la sociedad, la cual a su vez agrega un factor de su propia capacidad de enfrentamiento ante las amenazas (Martínez, 2003).

En la misma línea se puede decir que la amenaza, el riesgo y la vulnerabilidad se condicionan mutuamente: “debe haber amenaza para que exista el riesgo y para que haya riesgo debe haber exposición y no se puede ser vulnerable si no se está

amenazado” (Cardona, 2001; citado en Martínez, 2003). Las situaciones de riesgo, en tanto escenario potencial, deben ser entendidas como consecuencia de la carencia de capacidad de respuesta adecuada respecto de la escala de manifestación de procesos naturales o amenazas a la que pueden verse enfrentadas las vidas, bienes y obras asentadas en el área de proyección del fenómeno (Ferrando, 1994; citado en Sarricolea, 2004).

Con es de esperarse, con esta nueva concepción no basta conocer los factores físico/naturales que se desarrollan en la dinámica terrestre, sino también los elementos sociales que hacen que un proceso natural se convierta en un desastre social. (Berrocal, 2008).

Según la investigación de Martínez (2003) encargada por la CEPAL, se entiende por:

- **Riesgo:** El potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, resultado de la concurrencia y mutuo condicionamiento de la amenaza y la vulnerabilidad. El riesgo está siempre asociado a la posible ocurrencia de un suceso no deseado. Por otro lado, el riesgo siempre puede ser administrado, actuando en su frecuencia, en sus consecuencias o en ambas. De esta forma, el riesgo se expresa en función de esos factores:

$$R = f (F,C)$$

R = riesgo

F = frecuencia de ocurrencia de la amenaza

C = consecuencias (pérdidas y/ o daños)

- **Vulnerabilidad:** es un factor de riesgo interno, y constituye la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social y cultural de un individuo, comunidad o sistema, de ser afectado o de sufrir daños en caso de un fenómeno natural o antrópico desestabilizador. A mayor vulnerabilidad, mayor será la severidad de los efectos.

Por otro lado, profundizando en el concepto de amenaza, en la actualidad se ha pensado que ésta no constituye solamente un fenómeno natural, sino que podrían considerarse como amenazas socio-naturales y/o antrópicas, visualizando que también los patrones de intervención humana alteran de manera fundamental las características de ésta. En otras palabras, aquellos procesos sociales, políticos y económicos que construyen la vulnerabilidad de una sociedad, también influyen en las amenazas en distintos niveles; de ahí que algunos autores planteen que los desastres tienen causas tanto humanas como naturales (MINAM, 2010).

Es así como en el desarrollo del análisis y gestión de riesgos se ha incorporado progresivamente la tecnología para el manejo de la información territorial, permitiendo superponer diversos mapas temáticos de zonas con peligros naturales y los de población en un SIG. Así, además de facilitar la lectura cartográfica también se enriquece el análisis espacial.

El riesgo, dado que se manifiesta en un territorio determinado, debe ser considerado siempre en su dimensión espacial y, por lo tanto, su análisis espacial es clave dentro del trabajo del geógrafo, quien domina las metodologías que permiten cartografiar los espacios y el tipo de riesgo que amenaza el territorio y contribuir a la toma de decisiones con respecto a políticas de gestión (Berrocal, 2008).

B. El Riesgo en las FMA/P

Los riesgos más comúnmente asociados a la fase de cierre y remediación de una faena minera son: contaminación del aire, del suelo y del agua por escapes de los relaves, posibilidad de generación de aguas ácidas, posible presencia de metales pesados en suelos de vocación agropecuaria. Desadaptación laboral de la población, fenómenos migratorios y disminución de la actividad económica en la zona de influencia (Martínez 2003).

En general, se entiende por riesgo la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento y la magnitud de su consecuencia. Un riesgo de menor magnitud se asocia con eventos con una alta probabilidad de ocurrencia y consecuencias despreciables, mientras que un riesgo de mayor magnitud tiene relación

con una amenaza de baja probabilidad de ocurrencia y consecuencias catastróficas. El riesgo de colapso de un tranque de relaves depende de la probabilidad de falla del talud por inestabilidad física, y del volumen almacenado dependerá la magnitud de la consecuencia o desastre. Por esta razón es importante no considerar solamente el riesgo en sí como elemento de definición de los PAM, sino también la magnitud de tal riesgo.

En Perú, los PAM son aquellas FMA/P que constituyen un riesgo potencial/permanente. En su normativa, riesgo se define como la “probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en presencia como en futuro”.

La definición de riesgo según el reglamento peruano se refiere solamente al riesgo derivado de la probabilidad de contaminación, y no al riesgo por seguridad, como puede ser por ejemplo la caída de una persona a un pique abierto. La connotación “potencial” es propia del concepto riesgo, y dejará de serlo cuando se manifieste en un impacto o desastre. La idea de “permanente” indicada está supeditada a la mantención de la situación y no al momento de su paso de situación potencial a real, es decir, la generación del impacto, la degradación o la destrucción. Por lo tanto la permanencia de la situación de riesgo no depende de la frecuencia con que este se manifieste. En relación con las FMA/P, la manifestación del riesgo depende del tipo de efecto ambiental y/o social adverso, su permanencia o persistencia. En este sentido la situación de riesgo podrá tener muy distintas expresiones temporales. En el caso de la generación de aguas ácidas por lixiviación de un depósito de relaves mineros, por ejemplo, el riesgo será permanente hasta que por agotamiento los flujos efluentes ya no porten en solución los elementos químicos contaminantes.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

En Chile, la clasificación de riesgo de los PAM se efectuó mediante el uso de una matriz que permite evaluar, con la asignación de un factor numérico, la probabilidad de que ocurrieran ciertos efectos y la consecuencia que traería sobre las variables que interesa analizar, donde $\text{Riesgo} = \text{probabilidad de ocurrencia del efecto por el tipo y nivel de las consecuencias derivadas de la naturaleza del efecto}$.

Se definieron como eventos a analizar (Correa, 2006; citado en XVII Congreso Geológico Boliviano):

La contaminación del agua y el suelo por inestabilidad física, química y bioquímica de minas y residuos mineros, lo que podrían ser consecuencia de:

- Colapso de depósitos de residuos mineros.
- Accesos abiertos de minas.
- Remanentes de insumos contaminados y peligrosos.
- Estructuras y equipos abandonados.
- Subsistencia del terreno.
- Otros (probabilidad de derrumbes de tortas de relave por efecto sísmico; probabilidad de flujos detríticos o movimientos en masa por saturación de agua de un depósito o torta de relave minero ante la ocurrencia de lluvias abundantes y persistentes)

Para calificar la condición de riesgo ambiental en una FMA/P, es decir, determinar si se trata de un residuo contaminante (PAM) o simplemente son desechos abandonados, se consideró que deben existir tres condiciones simultáneas: una fuente emisora, un medio de transporte y un receptor del contaminante. Si una de estas tres condiciones no existe, no hay calificación de PAM y, por lo tanto, no hay riesgo ambiental (Correa, op. cit).

VI. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

1. Descripción general

El objetivo de realizar una representación del territorio en un mapa de riesgo, integrando distintas variables geofísicas, demográficas y la localización de las FMA/P, requiere de una metodología capaz de considerar la interacción dinámica de los factores involucrados y su posterior expresión mediante un SIG.

Para responder a esta exigencia, en los últimos 30 años se ha incrementado el uso de la metodología de Análisis Multicriterio (AMC) en SIG, lo que se evidencia en las publicaciones científicas donde se alude a éste como parte del proceso de estudio de diversos fenómenos espaciales. Malczewski (2006) realizó una revisión de las publicaciones donde se utilizó el AMC en SIG, encontrando un número creciente de referencias en las que destacaron las aplicaciones en el área de planificación ambiental, planificación ecológica y manejo ambiental. Según sus palabras, hoy existe suficiente literatura complementando SIG y AMC como para considerar esta metodología *“un subcampo esencial dentro de las ciencias de la información geográfica, representando un avance en el área de apoyo a la toma de decisiones espaciales”*.

Es importante recordar que no fue sino hasta finales de los 80's que se mezcló el AMC con los sistemas de información geográfica para la toma de decisiones. Esta integración metodológica, también llamada *“toma de decisión multicriterio espacial”* se refiere a la aplicación de análisis multicriterio en un contexto espacial donde las alternativas, criterios y otros elementos de los problemas de decisión tienen dimensiones espaciales explícitas (Chackar y Mousseau, 2007).

Respecto de los SIG y el AMC, podemos decir que son dos herramientas de investigación complementarias. Por un lado el SIG es un sistema de apoyo para la toma de decisiones que envuelven la integración de datos referenciados espacialmente en la resolución de problemas ambientales (Cowen, 1988; citado en Malczewski, 2006), mientras que el AMC tiene una rica gama de técnicas y procesos para

estructurar la resolución de problemas y diseñar, evaluar y priorizar las alternativas de decisión (Malczewski, 2006).

El AMC se ha caracterizado en la literatura por ser una herramienta para la toma de decisiones que permite mantener la orientación del proceso en forma sistematizada, basándose en una estructura que permite la comparación de diferentes alternativas o escenarios acordados por múltiples criterios, los que a menudo se contraponen (Chackar y Mousseau, 2007). Esta estructura comparativa se logra en una suerte de mapa de criterios donde un evaluador experto expone sus preferencias subjetivas (dos personas diferentes podrían establecer distintas preferencias) sobre la importancia de una determinada variable por sobre las otras. De ahí que algunos autores consideren que la principal ventaja de la incorporación de las técnicas del análisis multicriterio dentro de los procedimientos del SIG es el hecho de que los evaluadores pueden insertar sus preferencias (respecto de un criterio o una alternativa) dentro de los procedimientos de toma de decisiones, recibiendo una retroalimentación de sus implicancias para la evaluación posterior (Saaty, 1990; Malczewski, 2006).

Generalmente, en el análisis multicriterio el evaluador considera que un criterio es más importante que otro. Esta importancia relativa es usualmente expresada en términos de número que suele llamarse “peso asignado al criterio”.

Estos pesos influyen profundamente la elección final y pueden llevar a una decisión no aplicable si el evaluador se equivoca en la asignación de ellos a las variables.

Para reducir el margen de error que pudiera derivarse de la subjetividad del evaluador en esta ponderación de variables, se ha propuesto que lo ideal es la participación de un conjunto de expertos que realizarán el proceso en forma independiente, para posteriormente concretar el análisis a través de las principales tendencias observadas (Chackar y Mousseau, 2007). En un contexto espacial como el que se está desarrollando, los criterios de evaluación son asociados con entidades geográficas y relaciones entre entidades que pueden ser representadas en la forma de un mapa, tal como lo plantea Eastman (2003) al decir que el AMC espacial es un método mediante el cual muchas capas de información se combinan o evalúan para

originar un mapa que muestra la aptitud del territorio para un propósito en particular (Eastman, 2003, en Podlech, 2010).

Cuando esta metodología se utiliza para realizar un análisis de riesgo en el territorio, como es el caso de esta investigación, no se debería hablar de riesgo si la amenaza no tiene posibilidad de afectar a una comunidad o alguna infraestructura física o económica (González, 2006), puesto que el concepto de riesgo está ligado a la cuantificación de pérdidas ya sean humanas y/o económicas. De esta manera, los mapas obtenidos simplemente indican las posibles zonas donde hay una probabilidad alta/media/baja de ocurrencia de eventos adversos con el medio ambiente, pero sólo al ser relacionado con la posibilidad de amenazar una localidad o comunidad se considera un riesgo significativo (González, 2006).

Para García (2004) la aplicación del análisis multicriterio y la lógica difusa a la evaluación de riesgo/impacto ambiental actualiza y mejora el uso de los métodos clásicos gracias a la ventaja de que permite manejar simultáneamente información cuantitativa y cualitativa. De esta combinación se espera una mejor aproximación a la realidad, al admitir que la naturaleza tiene matices y que las decisiones se toman en función de una amplia gama de posibilidades y de criterios en ocasiones contradictorios o en conflicto, todos igualmente válidos.

En resumen, Ascought et al (2002) nos plantea que el análisis multicriterio espacial requiere información sobre los valores de cada criterio y la ubicación geográfica de las alternativas, además de las preferencias de los tomadores de decisiones con respecto a un conjunto de criterios de evaluación. Esto significa que los resultados del análisis no sólo dependen de la distribución geográfica de los atributos, sino también en los juicios de valor que participan en la toma de decisiones.

Por lo tanto, dos aspectos son de suma importancia para el análisis espacial de decisión multicriterio:

- 1) El componente SIG (por ejemplo, adquisición de datos, almacenamiento, recuperación, manejo y capacidad de análisis); y

- 2) El componente de análisis Multi-Criteria Decision Making (MCDM) (por ejemplo, la agregación de los datos espaciales y las preferencias de quienes toman las decisiones sobre las alternativas de decisión discreta) (Carver, 1991; Jankowski, 1995, citados en Ascough et al, 2002).

2. Pasos metodológicos

Para la realización del procedimiento investigativo se procedió de la siguiente manera (ver Figura 3 en pp. 61).

- 1) Definición de criterios considerados en la evaluación de riesgos medioambientales, de acuerdo a:
 - a. Búsqueda bibliográfica para conocer los factores geográficos involucrados.
 - b. Entrevistas estructuradas a expertos.
- 2) Ponderación de criterios definidos en el paso anterior por un grupo de expertos, quienes asignan "pesos" a los criterios según influencia (ver Anexo 2, en pp. 128).

Dentro de las distintas herramientas utilizadas para obtener alguna medida o magnitud resumen, que permita ponderar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores que entran en juego en dicha descripción y análisis, se utilizó la escala de Saaty (ver Tabla 8, pp. 60), empleada en el software Expert Choice, con frecuencia asociado al AMC (Ramírez, 2004).

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Tabla 8: Escala de medidas de Saaty.

ESCALA DE MEDIDAS DE SAATY		
Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente a otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Fuente: Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME (Martínez, 2007).

Quizás una de las actividades más creativas a la hora de tomar una decisión es escoger los factores que son importantes para tal decisión. En el Proceso Analítico Jerárquico esos factores previamente seleccionados son posicionados, mediante una estructura jerárquica descendente, desde un objetivo general a criterio, subcriterio y alternativas en niveles sucesivos (Saaty, 1990).

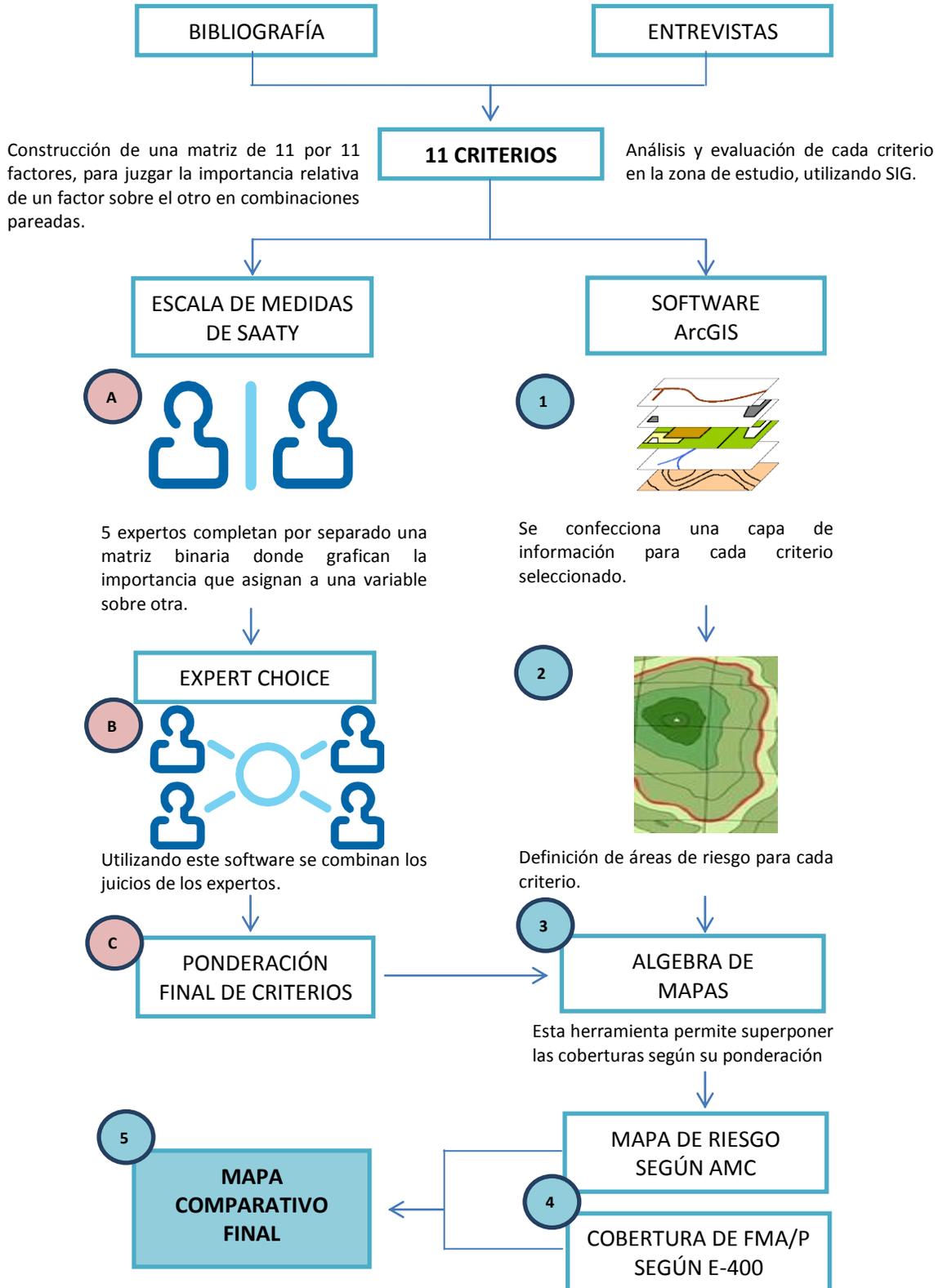
En el AMC es recomendable contar con la mayor cantidad de criterios de prioridad posibles para reducir la influencia de algún criterio en particular, evitando de esta manera que se sobrevalore alguno (Sánchez et al, 2004).

- 3) Espacialización de cada criterio definido de acuerdo a su nivel de riesgo según la proximidad a una FMA/P (alto, medio, bajo), mediante el software ARCGIS 10 y su herramienta Spatial Analysis.
- 4) Superposición de cobertura de FMA/P según E-400 al mapa resultante del AMC, dando como resultado el mapa comparativo final

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Figura 3: Esquema metodológico de la investigación.



3. Análisis de Factores ponderados

A continuación se describen los factores que se utilizarán para determinar la vulnerabilidad en relación a una FMA/P, además de sus respectivas categorizaciones a ser empleadas en la elaboración cartográfica.

Como se mencionó anteriormente, la fuente de información consistió en un grupo de expertos con un conocimiento elevado sobre el tema, lo que además fue complementado con una revisión bibliográfica.

Dichos factores son los que posteriormente el mismo grupo de expertos evaluará en una matriz de comparación por pares o "binaria", asignándole pesos específicos, según nivel de importancia/influencia basándose en la escala de Saaty, para la determinación del nivel de riesgos de una FMA/P.

Además, para que estos factores puedan ser posteriormente combinados en el software SIG, es necesario que éstos sean clasificados con una escala de medición estándar (Henríquez, 2011). En el caso de todos los factores en cuestión, se plantea la existencia de una relación directamente proporcional entre nivel de riesgo y distancia, entendiendo entonces que mientras más cercana se encuentre la fuente emisora (FMA/P) mayor será el riesgo del contexto expuesto. De esta manera, se propone una escala nominal estándar con 5 niveles de vulnerabilidad (ver Tabla 9).

Tabla 9: Escala de niveles de vulnerabilidad.

NIVEL	Descripción
1	Extremadamente vulnerable
2	Fuertemente vulnerable
3	Moderadamente vulnerable
4	Levemente vulnerable
5	No presenta vulnerabilidad

Lo anterior permite jerarquizar cada uno de los factores y relacionarlos en base a un mismo criterio de medición (Henríquez, 2011).

A. Distancia a aguas superficiales/subterráneas

Distintos expertos mencionan como un factor a considerar la proximidad a los recursos hídricos, ya sean superficiales o subterráneos, puesto que su contaminación puede producir un efecto prolongado en el tiempo y una irradiación areal progresiva.

Por otra parte, la excavación de minas subterráneas genera espacios vacíos que, una vez cesadas las labores extractivas, podrían constituirse en superficies con probabilidades de hundimientos o colapsos, que a su vez podría generar cambios en los sistemas de drenaje de las aguas (Golder Associates, 2008).

“En este sentido se señala que: lo que se podría eternizar más en términos de impacto es la generación de aguas ácidas. Esa cuestión una vez que se gatilla, a no ser que se trate, es un efecto a muy largo plazo, desde el punto de vista de la permanencia es muy larga (...) Entonces, desde ese punto de vista, la componente ambiental más delicada o más frágil en cuanto al efecto que puede generar un pasivo es el agua...” (Adasme, 2011).

“una mina que tiene labores subterráneas típicamente puede producir 3 escenarios de riesgos que son:

- La presencia de drenaje que puede contaminar recursos hídricos superficiales.
- La presencia de drenaje que puede contaminar recursos hídricos subterráneos.
- Aguas contaminadas que pueden ser empleadas para la bebida o uso” (Campos, 2011).

Para efecto de facilitar la graduación de la variable se propone la siguiente tabla de niveles de proximidad (ver Tabla 10, pp. 64), basada en Golder Associates (2008), quienes postulan un rango de alcance para fuentes emisoras (relaves):

“En general, fuentes emisoras de gran extensión (más de 10 ha de superficie) pueden afectar suelos a más de 5 km de distancia, mientras

que las fuentes más pequeñas (0,5 – 10 ha) tienen efectos más locales (1-5 km). Fuentes pequeñas (<0,5 ha), no deberían ser capaces de emitir relave seco a más de 1 km de distancia, pero ello debe ser corroborado con información de terreno”.

Tabla 10: Niveles de proximidad.

Distancia	Nivel de Proximidad
Menos de 1 km	Extremadamente vulnerable
2 a 4 km	Fuertemente vulnerable
5 a 7 km	Moderadamente vulnerable
8 a 10 km	Levemente vulnerable
Más de 10 km	No presenta vulnerabilidad

Además, dicha información se relacionará también con la cobertura Vulnerabilidad de acuíferos, desarrollado por IREN-SECPLAC (1976), considerando la intersección entre FMA/P con los distintos niveles de vulnerabilidad definidos para su nivel de riesgo. Esta cobertura fue reclasificada, pasando de 7 a 5 categorías de sensibilidad, obteniendo lo siguiente (ver tabla 11).

Tabla 11: Reclasificación de los Niveles de vulnerabilidad de los acuíferos.

Vulnerabilidad	Reclasificación
Alta	Extremadamente vulnerable
Media alta roca	
Media	Fuertemente vulnerable
Media/Baja	Moderadamente vulnerable
Baja	Levemente vulnerable
Muy baja	No presenta vulnerabilidad
Muy baja roca	

B. Distancia a áreas agrícolas y ganaderas

La distancia a áreas agrícolas y ganaderas podría considerarse dentro de los factores analizados por la posibilidad de que estas sean alcanzadas por el efecto contaminante de una FMA/P, como receptores que pueden llegar a estar en contacto con el medio contaminado (polvo tóxico sobre suelo, follaje, frutas o cultivos agrícolas).

En el caso de las actividades agrícolas, el riesgo radica en que frutas y verduras cercanas a una fuente contaminante sean consumidas en centros poblados próximos, afectando la salud de las personas. Por otra parte, las actividades

ganaderas se consideran pensando en que el ganado llegase a consumir agua contaminada y/o pasto regado o alimentado naturalmente por agua contaminada. (Golder Associates, 2008).

“Toda la dispersión de ese material contaminante va a dar a los poblados indígenas, a las poblaciones que viven de la agricultura. Eso está generando una contaminación de los cultivos que finalmente llegan a las ciudades” (Blanco, 2011).

Igual que en el caso anterior, se propone utilizar la misma tabla de niveles de proximidad, según Golder Associates (2008) (ver Tabla 10, pp. 64).

C. Distancia a áreas silvestres protegidas

Por el impacto asociado a la contaminación de un área silvestre protegida, los expertos la incorporan dentro de las variables a considerar. Aunque aclaran que de ser así el efecto podría considerarse principalmente indirecto, debido a que es una “vía” que recibe la contaminación en forma directa (aire, agua o suelo).

Para Golder Associates (2008) se deben identificar las zonas con especies de flora y fauna de “importancia ecológica”, ya que como receptores estos podrían ser alcanzados por la contaminación y formar parte del impacto ecológico. Se señala que:

“dependiendo de la cercanía a (...) un área protegida (desde el punto de vista de la biodiversidad), se van a generar distintos efectos, que son indirectos como puede ser la contaminación del aire, salud de las personas, contaminación del agua (...). Si nos vamos al tema de la flora y fauna, se consideraría como un efecto indirecto, porque si se está contaminando el agua, se está contaminando la fuente de bebida de animales y claro, el ecosistema en general, lo mismo que para el caso de las personas (Adasme, 2011).

Para esta determinación se utilizan las mismas categorías anteriores (ver Tabla 10, pp. 64).

D. Distancia a vegetación

En tanto hábitat de distintas especies animales, los bosques o áreas verdes deberían incluirse dentro de las variables analizadas, puesto mediante las vías de exposición aire, agua y suelo el contaminante podría terminar afectando a organismos individuales y luego a la cadena trófica, menoscabando así al ecosistema en general. En este sentido:

“todo el material fino de los relaves o los productos de lixiviación salen con el viento y se van depositando en los lugares donde hay vegetación, lo que pasa a la cadena trófica de los vegetales, de los animales y finalmente a nosotros” (Blanco, 2011)

Igual que en el caso anterior, se propone emplear los niveles de proximidad expuestos en la Tabla 10 (ver pp. 64).

En términos de cercanía o distancia, se consideran como variables:

E. Distancia a caminos habilitados

La existencia o no de una red vial cercana a una FMA/P se configura como un factor que incrementa la posibilidad de que las personas accedan a sus dependencias, con las consecuencias que esto pueda traer para su seguridad. Al respecto, se señala que:

“Sobre todo en las faenas aisladas, abandonadas, las rutas de acceso a poblados debieran desviarse de estas FMA/P, si es que no han sido debidamente remediadas”. (Blanco, 2011)

También se plantea que:

“los caminos se pueden hundir... hay zonas de subsidencia cerca de en caminos que van bordeando una mina” (Arias, 2011)

En la segunda región, donde la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia se caracterizan por ser zonas de lomajes suaves y llanos, las FMA/P localizadas en

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

estas áreas serían de fácil acceso, existiendo la posibilidad de que las personas se desvíen de un camino habilitado y recorran huellas que los conduzcan hacia instalaciones abandonadas.

Por camino habilitado se entienden caminos, huellas y senderos no bloqueados que permiten aproximarse a una FMA/P dentro de los siguientes rangos de distancia, los que difieren de los casos anteriores porque se evalúa la accesibilidad, no el alcance de contaminantes.

Tabla 12: Niveles de vulnerabilidad asociados a acceso.

Distancia	Nivel de Proximidad
Menos de 1 km	Extremadamente vulnerable
1 a 5 km	Fuertemente vulnerable
6 a 10 km	Moderadamente vulnerable
11 a 15 km	Levemente vulnerable
Más de 15 km	No presenta vulnerabilidad

F. Distancia a centros poblados

La existencia de centros poblados en las proximidades a una FMA/P es otro factor que incrementa la posibilidad de acceso para las personas, ya que podrían aproximarse a las instalaciones en diversos medios de transporte, o incluso caminando:

“Si se tiene una población muy cerca, el receptor humano va a estar muy cerca. O si se tiene caminos de acceso para la población, fáciles, en asentamientos donde todo el mundo sale de picnic y se van a meter allá” (Arias, 2011).

Considerando lo anterior, y teniendo como referencia que la velocidad aproximada de una persona caminando es de 5 km/h y 15 km/h en bicicleta, se establecen los siguientes niveles de riesgo según la distancia (ver Tabla 13).

Tabla 13: Niveles de vulnerabilidad según distancia a centros poblados.

Distancia	Nivel de Proximidad
Menos de 10 km	Extremadamente vulnerable
11 a 15 km	Fuertemente vulnerable
16 a 20 km	Moderadamente vulnerable
21 a 25 km	Levemente vulnerable
Más de 25 km	No se presenta vulnerabilidad

G. Precipitación

Las precipitaciones aparecen como factor importante por su incidencia en la posibilidad de que exista contaminación de aguas, lo que a su vez se relaciona con el primero de los factores donde se menciona el fenómeno de las aguas ácidas como uno de los efectos más nocivos y con mayor duración en el ambiente.

Además, las precipitaciones podrían constituir un escenario de peligro en el caso de la existencia de residuos peligrosos en la faena abandonada usados durante algún proceso (cianuro, ácido sulfúrico, zinc, mercurio), acopios de concentrados que quedaron abandonados, residuos con aceites y lubricantes, estanques con restos de combustibles, asbesto, askareles¹¹, residuos arsenicales, etc. Éstos podrían ser arrastrados por el agua de precipitaciones y ser transportados hasta llegar a cursos o cuerpos de agua superficial e inclusive infiltrarse hasta afectar aguas subterráneas (Golder Associates, 2008).

“El clima, si es un clima donde llueve mucho o no llueve, el nivel de precipitaciones para el tema de aguas ácidas es un elemento que hay que tener ahí a mano” (Adasme, 2011).

Los rangos para definir la precipitación se basaron en los utilizados por IREN en el Inventario de Recursos Naturales, 1976 (ver Tabla 14).

Tabla 14: Niveles de vulnerabilidad según precipitación.

Precipitación	Nivel
201-300 mm/año	Extremadamente vulnerable
151-200 mm/año	Fuertemente vulnerable
101-150 mm/año	Moderadamente vulnerable
26-100 mm/año	Levemente vulnerable
10-25 mm/año	No se presenta vulnerabilidad

¹¹ El askarel es un aceite oscuro, similar al aceite quemado de auto, se caracteriza por no ser flamable y poseer hasta un 70 por ciento de PCB, se ha utilizado como aislante o refrigerante en los transformadores y equipos eléctricos debido a su resistencia a temperaturas extremas tanto altas como bajas sin cambiar su estado físico. Por el gran potencial tóxico y contaminante que siempre posee, es altamente peligroso y carcinógeno. (Pérez, 2004).

Lo anterior se complementará considerando las eventuales precipitaciones de invierno que generan flujos en la grava litoral y cordillera de la costa donde hay FMA/P. Por lo tanto, siguiendo la divisoria de la Cordillera de la Costa, esta zona se considerará con una vulnerabilidad leve.

H. Sismicidad

La sismicidad, como una variable de base en el territorio se considera en la medida en que se relaciona con el movimiento de fallas geológicas activas, el cual podría llegar a inestabilizar instalaciones mineras del pasado.

“las fallas, con un movimiento sísmico, podrían generar inestabilidad de taludes, lo que pudiese afectar lugares puntuales (Blanco, 2011).

“...o la microsismicidad, que también podría venir a influir en la estabilidad de taludes, incluida la provocada por la misma actividad minera como las tronaduras (Ferrando, 2011).

Para disponer de esta información, se visitó la página web del Centro Regional de Sismología para América del Sur¹² (CERESIS), donde se presenta un Mapa Sísmico probabilístico que muestra distribución de isosistas y otro de hipocentros, ambos a escala Sudamericana y en muy baja resolución. Lo anterior, lo convierte en información no manejable para un análisis regional en SIG. Por lo tanto, se utilizó la cobertura de fallas realizada por SERNAGEOMIN (1995), filtrando la información para obtener sólo fallas activas.

Para realizar el cálculo de esta variable, se realiza una intersección entre fallas y FMA/P, considerando un área de influencia de hasta 200 m de ancho total para éstas últimas.

No obstante, basándose en la opinión de expertos, las fallas geológicas incrementarían la peligrosidad de una FMA/P sólo si éstas estuvieran situadas en el lugar de la instalación misma o muy próxima. Por lo tanto, en este caso el área de

¹² <http://www.ceresis.org/portal/index.php>

influencia para este factor se establece según las siguientes distancias al eje de la falla (ver Tabla 15).

Tabla 15: Niveles de vulnerabilidad asociados a fallas activas.

	Distancia	Nivel de Proximidad
Hacia cada lado del eje de la falla	Menos de 50 m	Extremadamente vulnerable
	51 a 100 m	Fuertemente vulnerable
	101 a 150 m	Moderadamente vulnerable
	151 a 200 m	Levemente vulnerable
	Más de 200 m	No se presenta vulnerabilidad

I. Tipo de suelo

El nivel de permeabilidad del suelo determina el nivel de conductividad de partículas de agua y aire. En este sentido, determinar el tipo de suelo de acuerdo a las características físicas (textura, porosidad, estructura y consistencia) permitiría estimar si en un escenario de contaminación de una FMA/P (lixiviados), éstos percolarían a través de los horizontes de suelo, pudiendo fluir por zonas permeables (Fundación Chile, 2010).

Dado que resultó imposible conseguir una carta de suelos para la II Región de Antofagasta, esta cobertura se reemplazó por una de erodabilidad del suelo, clasificándolo en 5 niveles de riesgo tal como se muestra en la siguiente matriz (ver Tabla 16).

Tabla 16: Niveles de erodabilidad del suelo.

Erodabilidad
Muy alta
Alta
Moderada
Baja
No se presenta

Fuente: CIREN, 2007.

J. Valor Paisajístico

Es reconocido el grado de intervención del paisaje asociado a la actividad minera. En zonas de especial valor paisajístico, la modificación también podría

considerarse como un impacto ambiental, ya que deteriora la belleza de un escenario natural. (Ferrando, 2011).

En este sentido, para establecer un criterio con el que se pueda analizar este factor, se plantea asimilar las áreas de alto valor paisajístico con algunas de las Áreas protegidas oficiales con efecto en el Sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA):

- Zonas de interés turístico: Se entenderá por Zona de Interés Turístico Nacional, aquella área de características esencialmente rural, amplia en extensión, donde junto a recursos turísticos relevantes coexisten otros usos o actividades con una compatibilidad básica con estos (SERNATUR, 2011).
- Monumentos Históricos: Son Monumentos Históricos los lugares, ruinas, construcciones y objetos de propiedad fiscal, municipal o particular que por su calidad e interés histórico o artístico o por su antigüedad, sean declarados tales por decreto supremo, dictado a solicitud y previo acuerdo del Consejo. Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales, artículo 9, de los Monumentos Históricos.

La escala de áreas de impacto negativo se presenta de la siguiente manera (ver Tabla 17).

Tabla 17: Niveles de vulnerabilidad valor paisajístico.

Distancia	Nivel de Proximidad
Menos de 1 km	Extremadamente vulnerable
2 a 4 km	Fuertemente vulnerable
5 a 7 km	Moderadamente vulnerable
8 a 10 km	Levemente vulnerable
Más de 10 km	No se presenta vulnerabilidad

K. Vientos regionales

El Aire, representado principalmente en la forma de vientos regionales, es un componente importante de analizar ya que, se puede considerar una vía de exposición a través de la cual se expandiría el material contaminante (deflación):

“En estricto rigor, este componente ambiental está vinculado con otros componentes. Si se tienen vientos preferentes desde un lugar, la pluma se genera para el opuesto, entonces en toda esta zona el suelo se verá afectado y la gente que esté viviendo por allá también. Se produce un cruce entre cosas porque la componente ambiental suelo y aire se ve afectada por un puro elemento, que es el viento” (Campos, 2011).

Por otro lado, el aire es en sí un recurso que se daña en tanto su contacto con material contaminado puede comprometer su calidad en una zona.

“El otro componente ambiental que yo diría que también es frágil o delicado desde el punto de vista de los problemas que podría generar una FMA/P es el aire, o sea la calidad del aire, también asociado principalmente a relaves, porque los relaves son material particulado muy fino que va a quedar expuesto al medio, va a quedar expuesto indefinidamente. Entonces, si no se aplica una medida que minimice el levantamiento de material particulado eso va a afectar permanentemente la calidad del aire” (Adasme, 2011).

VII. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. Determinación de criterios

Mediante una revisión bibliográfica junto con entrevistas a personas con experiencia en temas de evaluación ambiental y minería se definieron 11 factores, denominados “criterios”, que tienen relación en el medioambiente con una FMA/P (ver Tabla 18, pp. 74).

Estos criterios fueron organizados en una matriz de filas y columnas que cada experto completó realizando combinaciones pareadas sobre la preponderancia relativa de una variable en relación con el resto de los factores geográficos considerados en la investigación, siguiendo la escala de medidas de Saaty. A partir de esto fue posible deducir un criterio de asignación de importancia individual, el que a su vez se logró combinar utilizando el software de apoyo para la toma de decisiones que involucran múltiples criterios y evaluadores: Expert Choice.

La combinación de los criterios de asignación de importancia de cada uno de los expertos arrojó un perfil de ponderación para las variables físico-naturales, donde para cada factor se calculó un indicador numérico del peso que se le atribuirá en la elaboración de la carta dentro del SIG.

La siguiente Tabla (ver pp. 74) resume la ponderación combinada de las preferencias del grupo de expertos, conformado por 5 jueces que desde su especialidad intervienen en problemáticas de riesgo ambiental y/o actividad minera. Como se mencionó, las variables/factores expuestas/os se obtuvieron a partir de entrevistas realizadas a los mismos jueces y la revisión de la literatura actualizada en torno al tema, seleccionando las once que a continuación se presentan ordenadas según el nivel de importancia que obtuvieron al combinar las opiniones de los expertos.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Tabla 18: Factores físico-naturales ponderados en Expert Choice:

Criterios		Ponderación Combinada
1	Distancia a centros poblados	0,243
2	Distancia a aguas superficiales y subterráneas	0,183
3	Distancia a áreas agrícolas y ganaderas	0,128
4	Distancia a áreas silvestres protegidas	0,097
5	Distancia a bosques y o áreas verdes	0,079
6	Precipitaciones	0,075
7	Tipo de suelo	0,052
8	Distancia a caminos habilitados	0,045
9	Vientos Regionales	0,034
10	Valor paisajístico	0,032
11	Sismicidad (falla)	0,031
* Inconsistencia		0,03

En este caso, el índice de inconsistencia alcanza un valor de 0.03, mientras que la literatura señala que el riesgo de inconsistencia está aumentado cuando el valor es igual o mayor a 0,1 (Ávila, 2000; Álvarez, Arquero, Martínez, 2006). Este índice señala que las diferencias en las preferencias de los expertos entrevistados se mantiene dentro de un rango perfectamente aceptable para el análisis combinado, es decir, que sus juicios de importancia/influencia de un criterio por sobre el otro coinciden en un porcentaje significativo y por lo tanto no requieren de una readecuación de sus combinaciones pareadas utilizando la escala de Saaty.

Al analizar la ponderación combinada de los expertos consultados es posible constatar que dentro de los factores a los que se les asigna una mayor importancia se encuentra la distancia a centros poblados, aguas superficiales/subterráneas, y distancias a áreas agrícolas/ganaderas. En base a los argumentos expuestos en las entrevistas realizadas, podemos decir que estos factores se destacan en la ponderación por su implicancia en el riesgo directo o indirecto hacia el ser humano, donde la cercanía de un centro poblado representa el riesgo más concreto y directo para la salud y seguridad de las personas, mientras que las aguas y áreas agrícolas/ganaderas podrían actuar como una vía para que la contaminación culmine con el ser humano como receptor.

En el cuarto y quinto lugar los expertos sitúan la distancia a áreas silvestres protegidas y a vegetación, lo que se relacionaría con el posible riesgo de afectar el equilibrio de un ecosistema delicado, a través de la contaminación del hábitat de especies y de la cadena trófica en definitiva. Es posible también que la preferencia de los expertos considere el riesgo al que se enfrentarían recursos naturales protegidos y el efecto indirecto que su contaminación pueda tener para las personas.

Los factores como el nivel de precipitaciones, el tipo de suelo, los caminos habilitados y los vientos regionales podrían tener en común su participación como una vía para la contaminación o la seguridad de las personas, tal y como se menciona en las entrevistas realizadas; los expertos se refieren a que la precipitación y el tipo de suelo y la intensidad/dirección de los vientos se relacionaría con una mayor o menor diseminación de elementos contaminantes, mientras que los caminos representarían el principal medio de acceso de las personas para concretar un riesgo de seguridad.

Por último, los factores como el valor paisajístico de los alrededores de la faena minera y la sismicidad (entendida como riesgosa en la situación de que la faena se encuentre situada en una falla) son catalogados como los menos importantes dentro del listado, ya que en las entrevistas se pesquiza que el riesgo asociado a ellos es difícil de concretar y dependería de la confluencia de más variables. En el caso de la sismicidad se menciona que sólo la presencia de una falla en las inmediaciones de la faena minera y que se encontraran personas en el momento de un sismo, mientras que en el valor paisajístico el riesgo sería notorio sólo en algunos tipos de faena.

En resumen, siempre considerando que este ordenamiento es el resultado de una combinatoria pareada de importancia relativa de cada factor por sobre el resto, es posible notar que para el grupo de expertos la principal preocupación se asocia a los factores que incrementan la probabilidad de ocurrencia de una consecuencia negativa para la salud de las personas, ya sea esta materializada en forma directa (el ser humano como primer receptor) o indirecta (el ser humano como receptor secundario a través de la contaminación de una vía tal cual es el aire, el agua, los cultivos, etc.). Luego se destacan los factores que implicarían riesgos de contaminación de otras vías específicas y ecosistemas frágiles, lo que se relaciona con la posibilidad de afectar la

salud de las personas por la contaminación de su medio o con la valoración que los expertos realizan de estos recursos naturales en sí mismos. Por último, en relación con los factores que ocupan el último lugar en la valoración de los expertos, es importante recordar que su posición dentro del ordenamiento en ningún caso implica que sean irrelevantes, puesto que en las entrevistas realizadas ambas aparecían como variables a considerar en un análisis del territorio y sus características físico-naturales.

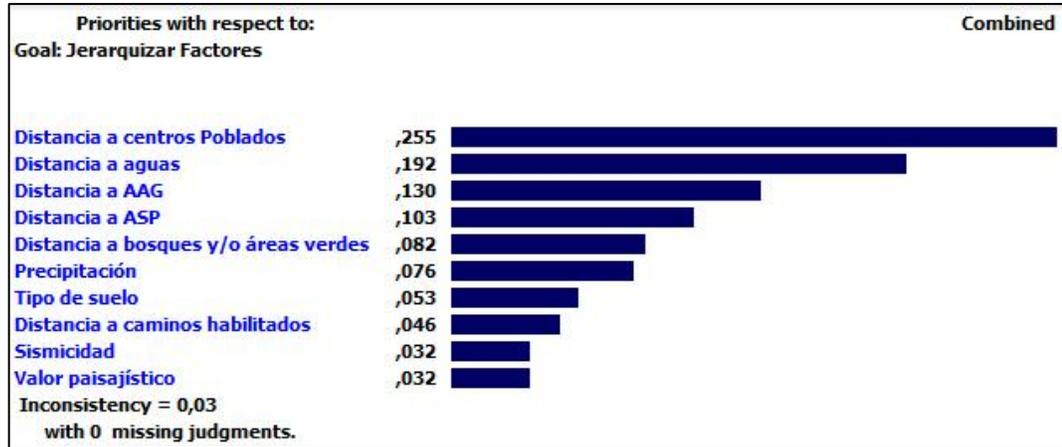
Es importante detenerse en analizar el factor de los vientos regionales, el cuál fue mencionado en varias de las entrevistas como una variable asociada a un fenómeno de contaminación que podría considerarse principalmente en aquellas regiones desérticas, donde el agua como vía pierde importancia debido a su escasez, pero donde existe riesgo de que el viento transporte material particulado contaminado, como sería el caso de aquel que se acumula en un relave y sea transportado a otros sectores de la región. Probablemente, este fenómeno aún no está suficientemente estudiado como pareado, sin embargo, las entrevistas dejan ver que es un foco interesante e importante de estudiar en futuras investigaciones. Debido a la imposibilidad de disponer de una cobertura de información sobre los vientos regionales, este factor debió ser excluido del análisis multicriterio. Cabe señalar que, precisamente por el bajo peso asignado por los expertos, la exclusión de este criterio no condujo a cambios significativos en la ponderación del resto de los factores, tal y como se puede apreciar en la Figura 4 (ver pp. 77).

Si bien los recursos hídricos fueron evaluados en conjunto como aguas superficiales/subterráneas, para el análisis en ArcGIS fue considerada sólo una cobertura con información sobre vulnerabilidad de los acuíferos. Lo anterior se decidió basándose en que en esta región cobran gran relevancia los recursos subterráneos, ya que la zona sufre de un arreísmo absoluto, a excepción del Río Loa que también está considerado para el flujo subterráneo. Además, de acuerdo al National Academy Council (1993) el concepto de vulnerabilidad del agua subterránea se refiere a la tendencia o probabilidad que un contaminante alcance una posición especificada en el sistema acuífero, después de su introducción en algún punto sobre el terreno y, en este caso, se relacionaría mucho más con FMA/P como posibles fuentes contaminantes.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Figura 4: Ponderación combinada de los factores del AMC en Expert Choice.



Se observan los criterios jerarquizados, con su respectivo peso y el nivel de inconsistencia.

De esta manera, la matriz realizó combinaciones pareadas con los 10 factores restantes.

2. Análisis del área de estudio en función de los criterios

A. Cobertura de FMA/P en SIG

Al proyectar en SIG las 80 faenas catastradas hasta la fecha en la II Región de Antofagasta, se puede observar lo siguiente:

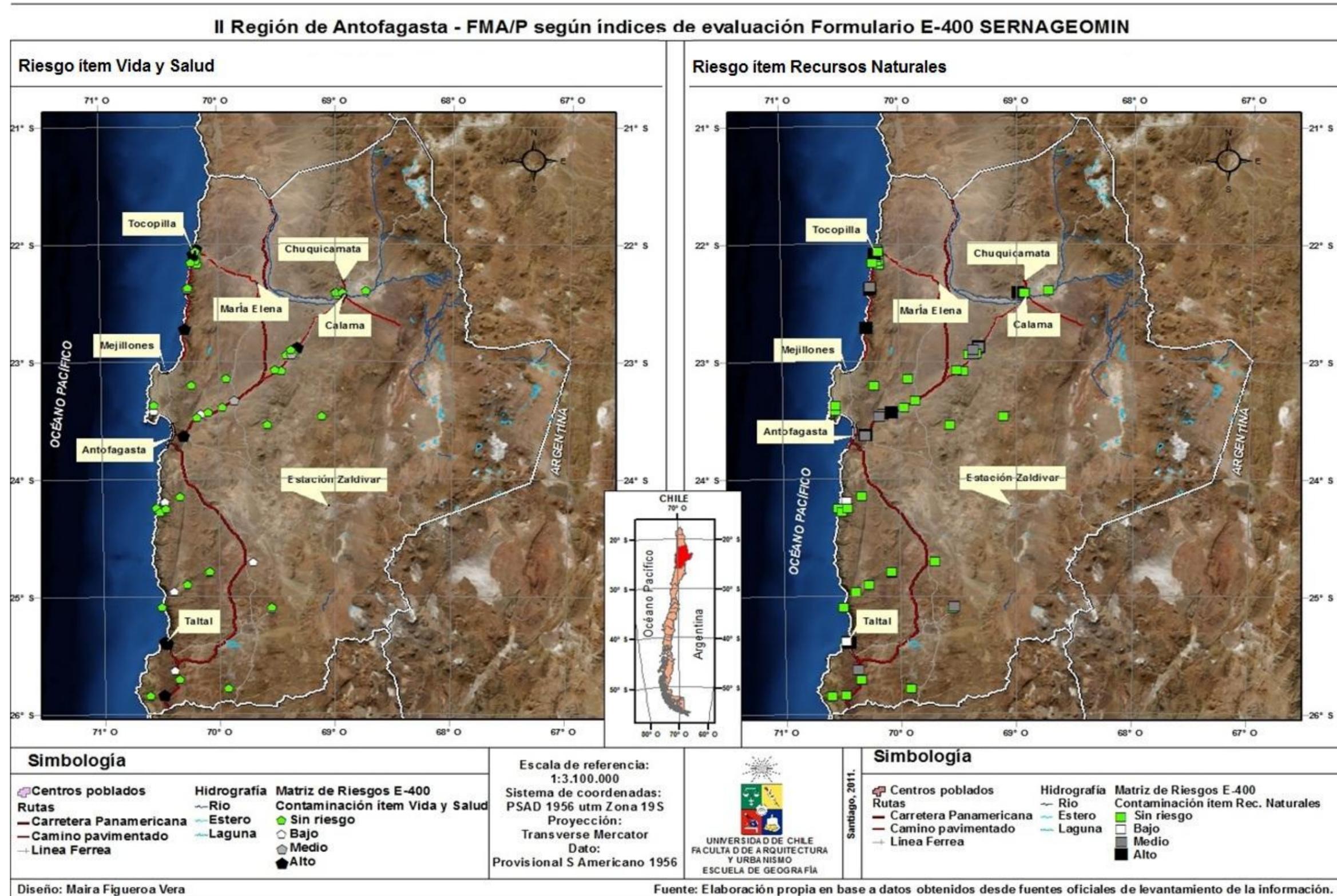
1. Según la matriz de riesgo del Formulario E-400, para la vida y salud de las personas, 54 FMA/P presentan riesgos despreciables, 7 FMA/P tienen riesgos bajos, 8 FMA/P riesgos medios y 11 FMA/P están en el rango de riesgo alto (ver Tabla 19).
2. Según la matriz de riesgo del Formulario E-400, para la contaminación de recursos naturales: 51 FMA/P se observan con riesgos despreciables, 7 FMA/P con riesgos bajos, 11 FMA/P con riesgos medios y 11 FMA/P con riesgos altos (ver Tabla 19).
3. Se observa en el mapa (ver Mapa 2, pp. 79) que amplias zonas de la región se encuentran sin FMA/P catastradas, lo que no implica necesariamente que no existan faenas localizadas en estos lugares. Se deduce entonces que no hay una tendencia u ordenamiento claro en el patrón de catastro de las FMA/P, de modo que no es posible estimar la cantidad que queda pendiente a ser evaluada.
4. En total, existen 17 FMA/P con riesgo Alto entre vida y salud de las personas y recursos naturales, y hay sólo 5 que están clasificadas con riesgo alto en los dos ítems.

Tabla 19: Resumen FMA/P según catastro del Formulario E-400.

Resumen FMA/P según Catastro Formulario E-400		Riesgo por contaminación para:	
		Vida y Salud de las personas	Recursos naturales
Nivel de Riesgo Estimado	Riesgo despreciable	54	51
	Riesgo Bajo	7	7
	Riesgo Medio	8	11
	Riesgo Alto	11	11

Fuente: SERNAGEOMIN (2007)

Mapa 2: II Región de Antofagasta - FMA/P según índices de evaluación del Formulario E-400.



B. Análisis de cobertura de aguas superficiales/subterráneas

Al relacionar las áreas de vulnerabilidad para las aguas superficiales/subterráneas, definidas con la escala propuesta en la Tabla 10 y 11 (ver pp. 64), con la cobertura de FMA/P, se observa que: (ver Mapa 3, pp. 81).

Hay 4 FMA/P dentro de la zona extremadamente vulnerable. De éstas, según el puntaje estimado por el Formulario E-400, ninguna presentaría riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales, lo que causa bastante extrañeza considerando que todas están localizadas a menos de 1 km de distancia de un recurso hídrico superficial o subterráneo y en una zona definida como de tipo Alta en el caso de la vulnerabilidad de los acuíferos. Según la metodología AMC todas estas FMA/P se clasifican como extremadamente riesgosas para las aguas superficiales/subterráneas.

Hay 17 faenas mineras localizadas en una zona fuertemente vulnerable, situadas en general a más de 40 km de un recurso hídrico superficial. Según el puntaje estimado por el Formulario E-400, 7 estarían clasificadas como de riesgo alto para la vida o salud de las personas o recursos naturales. De acuerdo a esta metodología, se clasifican como fuertemente riesgosas.

No hay FMA/P (o aún no se han catastrado) en las zonas moderadamente vulnerables.

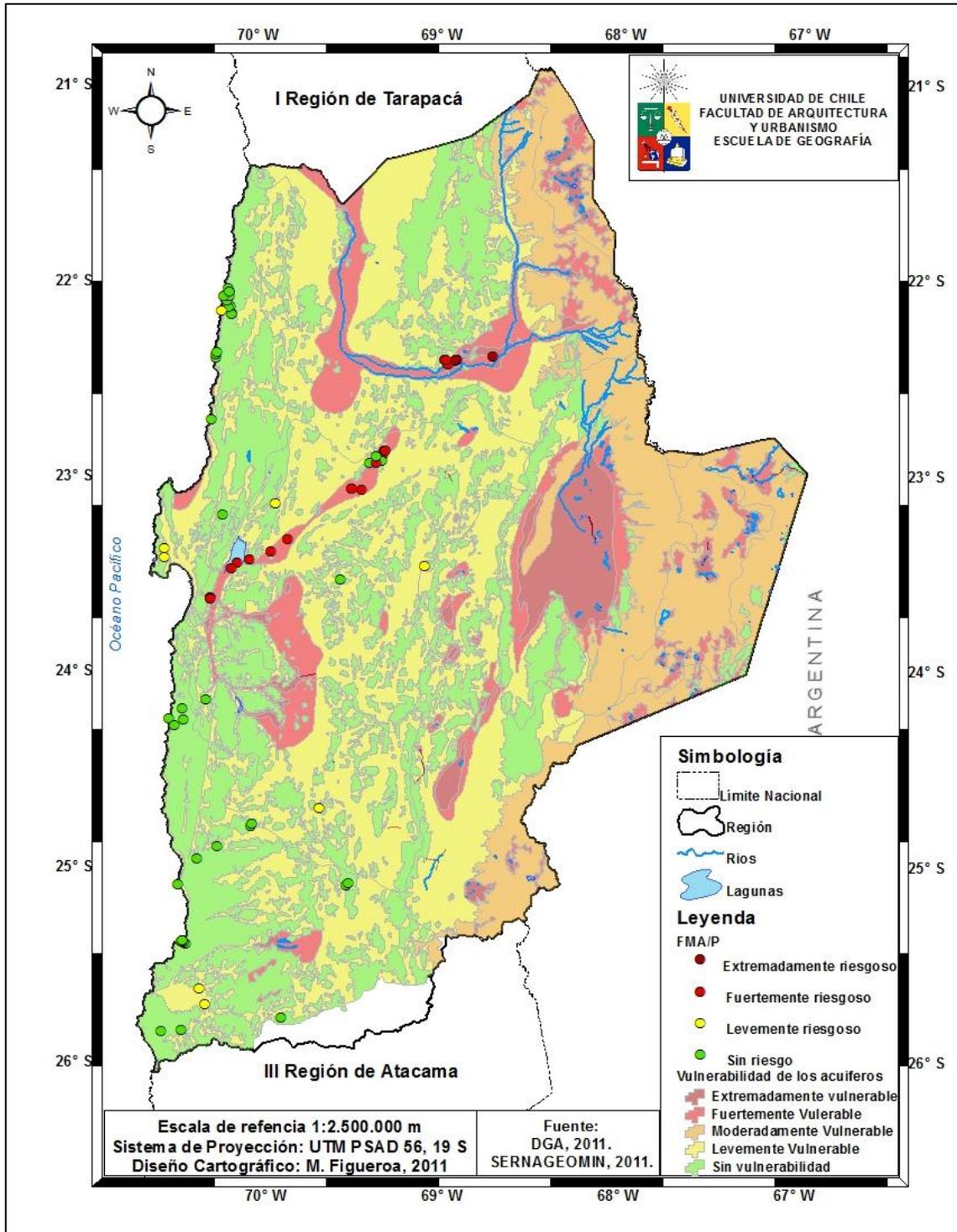
Hay 8 FMA/P dentro de las zonas levemente vulnerables, considerando que se encuentran a más de 60 km de distancia a un recurso hídrico superficial, por lo tanto, según esta metodología, las FMA/P localizadas en esas zonas se clasifican como levemente riesgosas.

Hay 48 FMA/P en zonas que no presentan vulnerabilidad, por lo tanto, se consideran como FMA/P sin riesgo para el criterio de aguas superficiales/subterráneas. En el mapa, se observa que existen FMA/P pertenecientes a esta clasificación localizadas junto a otras definidas como fuertemente riesgosas. A mayor detalle se podría distinguir que su localización es en zonas sin vulnerabilidad de los acuíferos.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
 MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 3: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con agua superficial/subterránea.



C. Análisis de cobertura de zonas agrícolas y ganaderas.

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas para zonas agrícolas y ganaderas utilizando la escala propuesta en la Tabla 10 (ver pp.64), con la cobertura de FMA/P, se observa que: (ver Mapa 4, pp. 83).

Hay 17 FMA/P que se encuentran a menos de 1 km de distancia de zonas agrícolas y ganaderas. De éstas, 5 según la matriz de riesgos del formulario E-400 presentan riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. De acuerdo a la metodología del AMC, todas las que se encuentran en esta zonas se clasifican como extremadamente riesgosas.

Hay 14 FMA/P a más de 1 km y menos de 5 km de zonas agrícolas y ganaderas, de las cuales 2 presentan un puntaje superior a 5 en alguno de los aspectos evaluados por el Formulario E-400. Según la metodología AMC, dada su proximidad al criterio evaluado, se clasifican como fuertemente riesgosas.

Hay 5 FMA/P a más de 5 km y menos de 7 km de distancia a zonas agrícolas y ganaderas, de las cuales 1 presenta un puntaje superior a 5 en alguno de los aspectos evaluados por el E-400. Todas éstas de acuerdo a la metodología AMC se clasifican como levemente riesgosas.

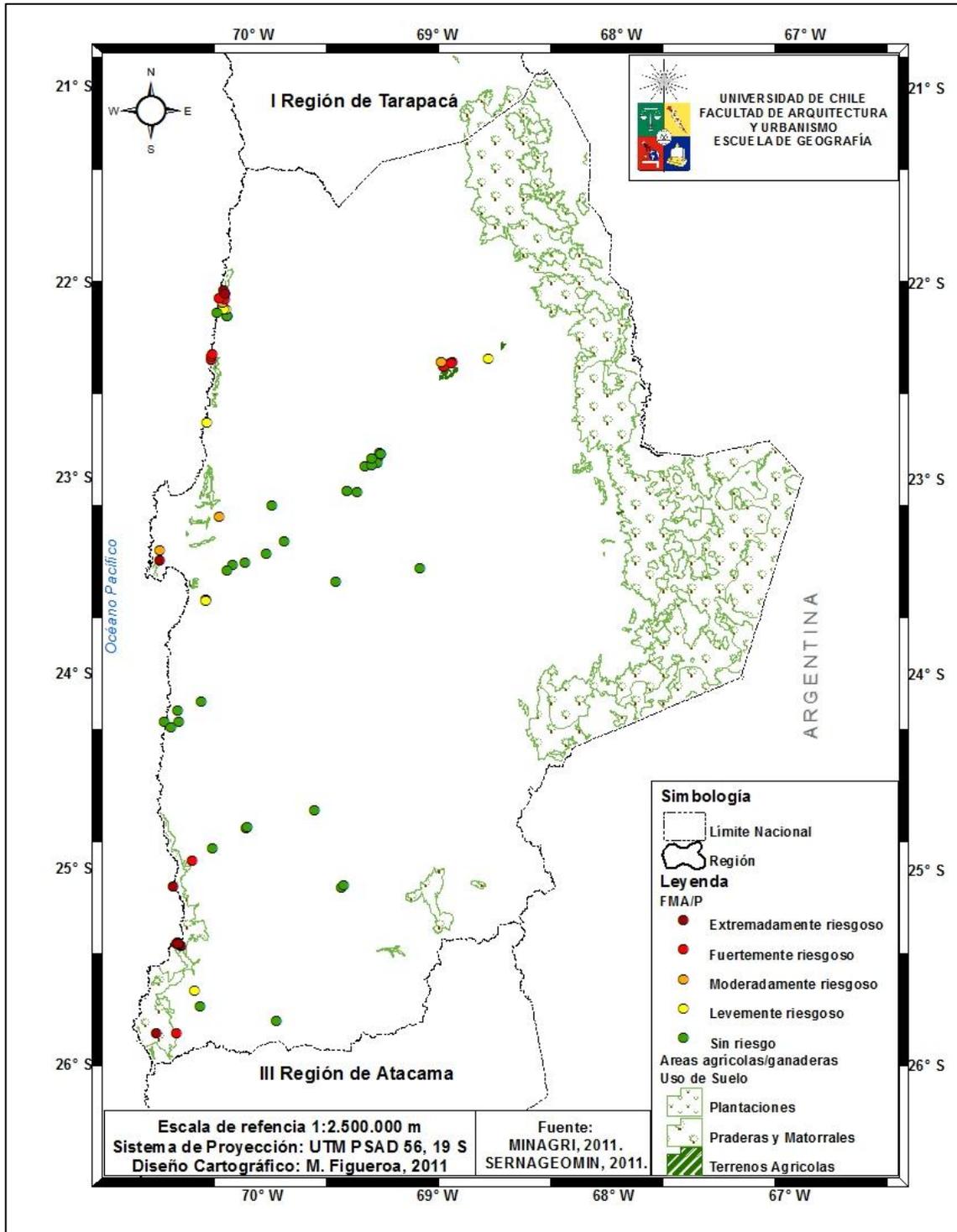
Hay 8 FMA/P a más de 8 km y menos de 10 km de distancia a un recurso hídrico superficial o subterráneo. De éstas, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, 4 presentan riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. Para el caso de las zonas agrícolas y ganaderas, serían levemente riesgosas.

Hay 36 FMA/P a más de 10 km de distancia de zonas agrícolas y ganaderas. De éstas, 4 tienen un puntaje de riesgo superior a 5 en alguno de los aspectos evaluados por el Formulario E-400. En el caso de las zonas agrícolas y ganaderas, ninguna de éstas FMA/P significarían riesgo.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 4: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con áreas agrícolas/ganaderas.



D. Análisis de cobertura de áreas silvestres protegidas

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas con la escala propuesta para las áreas silvestres protegidas (ver Tabla 10, pp. 64), con la cobertura de FMA/P, se observa lo siguiente (ver Mapa 5, pp.85).

No hay FMA/P clasificadas como extremadamente riesgosas en relación con las áreas silvestres protegidas.

Igual que en el caso anterior, no hay FMA/P clasificadas como fuertemente riesgosas.

Hay 1 FMA/P entre 5 y 7 km de distancia de un área silvestre protegida, recibiendo la clasificación de moderadamente riesgosa.

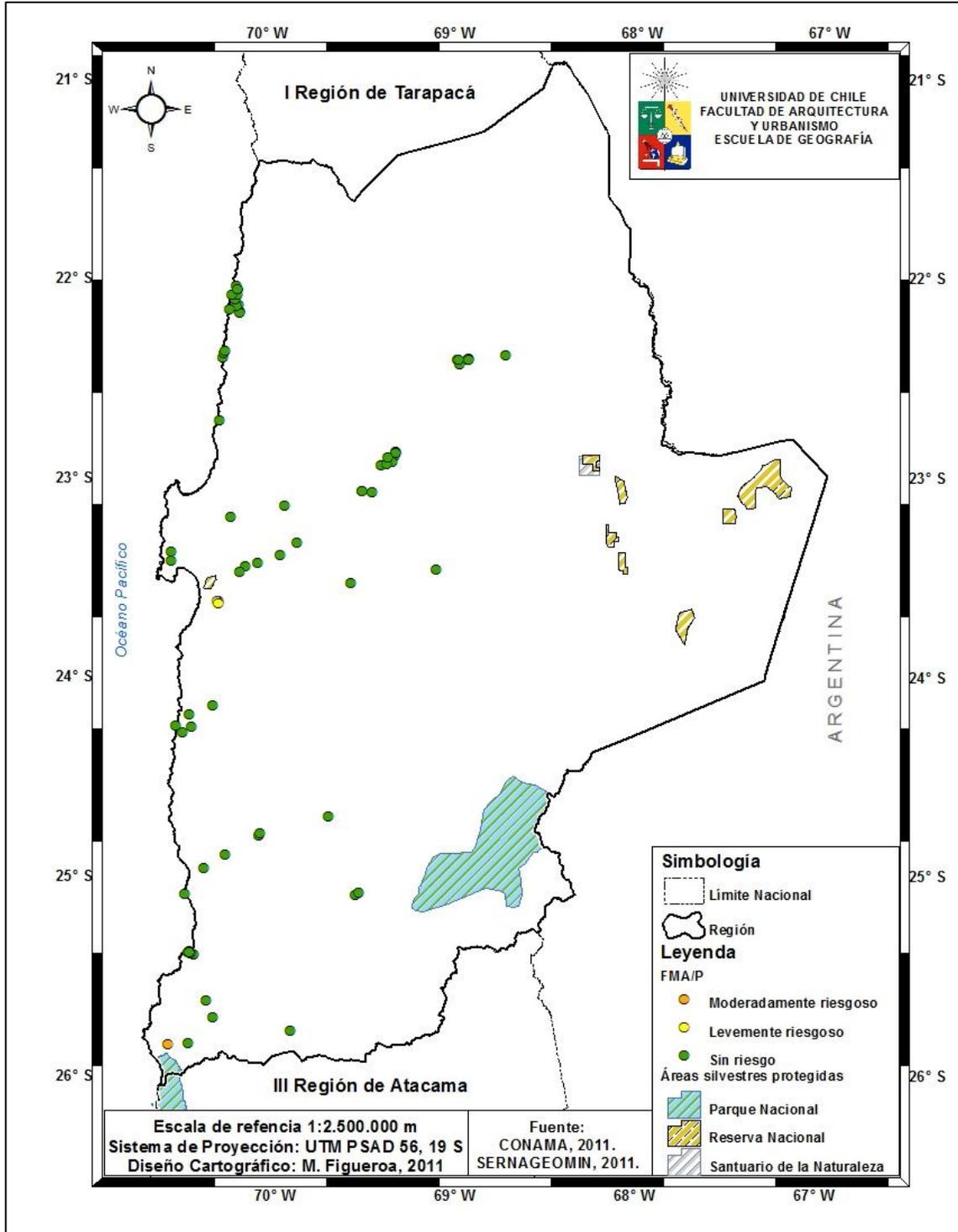
Hay 4 FMA/P entre 8 y 10 km de distancia de un área silvestre protegida. De éstas, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, 3 presentarían riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. En el caso de las áreas silvestres protegidas, se clasifican como levemente riesgosas.

Hay 76 FMA/P a más de 10 km de distancia de áreas silvestres protegidas. De éstas, 14 presentan un puntaje superior a 5 en alguno de los aspectos evaluados por el Formulario E-400. En el caso de las áreas silvestres protegidas, no presentarían riesgos.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 5: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con áreas silvestres protegidas.



E. Análisis de cobertura de vegetación

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas para la vegetación con la escala propuesta en la Tabla 10 (ver pp.64), con la cobertura de FMA/P, se observa lo siguiente (ver Mapa 6, pp. 87).

Hay 46 FMA/P a menos de 1 km de distancia de formaciones vegetacionales. De éstas, 9 según la matriz de riesgos del Formulario E-400 presentan riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. En el caso de la vegetación, todas reciben la clasificación de extremadamente riesgosas.

Hay 13 FMA/P localizadas a más de 1 y menos de 5 km de distancia de formaciones vegetacionales, de las cuales 3 presentan un riesgo de tipo alto según el Formulario E-400. En el caso de la vegetación, se clasifican como fuertemente riesgosas.

Hay 2 FMA/P localizadas a más de 5 y menos de 7 km de distancia de formaciones vegetacionales, de las cuales 1 está clasificada como de riesgo alto por el Formulario E-400. Según el análisis AMC, se trata de FMA/P moderadamente riesgosas para la vegetación.

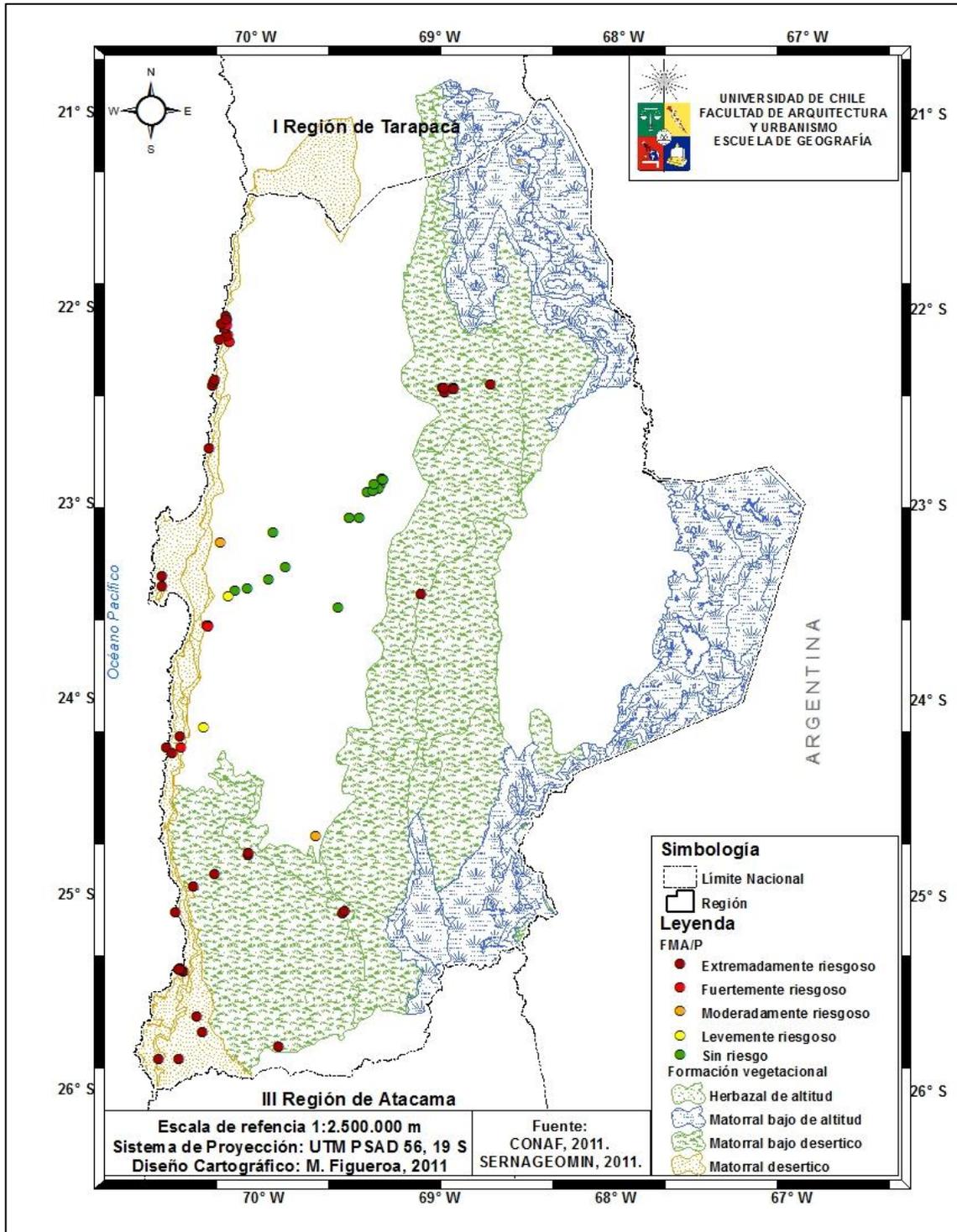
Hay 2 FMA/P que se encuentran a más de 8 y menos de 10 km de distancia de formaciones vegetacionales. De éstas, ninguna según el puntaje estimado en el Formulario E-400 presenta riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. Con respecto a este criterio, se clasifican como levemente riesgosas.

Hay 17 FMA/P a más de 10 km de distancia de formaciones vegetacionales que para el caso de este criterio no representarían riesgo.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 6: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con vegetación.



F. Análisis de cobertura para caminos habilitados.

Al relacionar las áreas de vulnerabilidad establecidas para la relación entre rutas de acceso y FMA/P, definidas según la escala propuesta en la Tabla 11 (ver página 64), se observa lo siguiente (ver Mapa 7, pp. 89).

En la mayoría de los casos, las FMA/P se encuentran relativamente cercanas a caminos actualmente utilizados por particulares en forma habitual. Esta situación se expresa en el siguiente resultado:

Hay 42 FMA/P que se encuentran a menos de 1 km de distancia de caminos habilitados. De éstas, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, 10 presentan riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales. Para el caso de este criterio, dada la proximidad con rutas de acceso, todas se consideran como extremadamente riesgosas.

Hay 72 FMA/P que se encuentran entre 1 y 5 km de distancia a un camino, de las cuales 5 fueron clasificadas como de riesgo alto por el Formulario E-400. En el caso de este criterio, dada su proximidad se clasifican como fuertemente riesgosas.

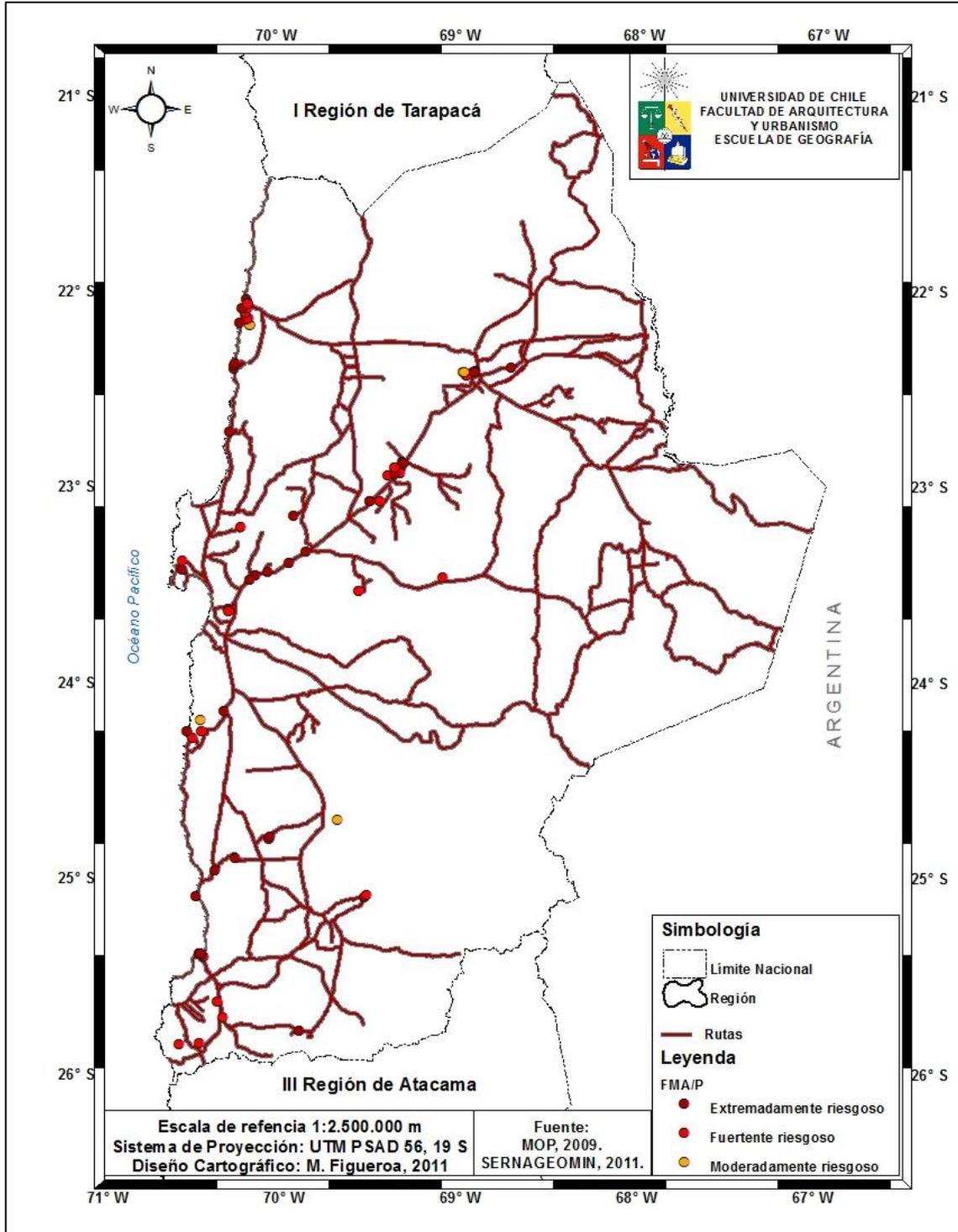
Hay 7 FMA/P que se encuentran a más de 5 y menos de 10 km de distancia a una ruta. De éstas, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, 1 presenta un puntaje superior a 5 en alguno de los aspectos de vida y salud o recursos naturales. Se clasifican con respecto a este criterio como moderadamente riesgosas.

No hay FMA/P (o no se han catastrado) a más de 10 km de rutas. Por lo tanto, no aparecen en el mapa FMA/P de nivel levemente riesgoso y sin riesgos.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 7: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con caminos habilitados.



G. Análisis de cobertura de centros poblados

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas con la escala propuesta en la Tabla 12 (ver página 67) para los centros poblados, según la cercanía a una FMA/P, se observa lo siguiente (ver Mapa 8, pp. 91).

Hay 28 FMA/P que se clasifican como extremadamente riesgosas, es decir, que se encuentran en el radio de 10 km de un centro poblado. De éstas, 12 según la matriz de riesgos del formulario E-400 presentan riesgo alto para la vida y salud de las personas o recursos naturales.

Hay 7 FMA/P que se encuentran a más de 10 y menos de 16 km de un centro poblado, de las cuales ninguna está clasificada como de riesgo alto por el Formulario E-400. Para el análisis de esta cobertura, se consideran como fuertemente riesgosas.

No hay FMA/P entre 16 y 20 km de distancia a un centro poblado, rango considerado como moderadamente riesgoso.

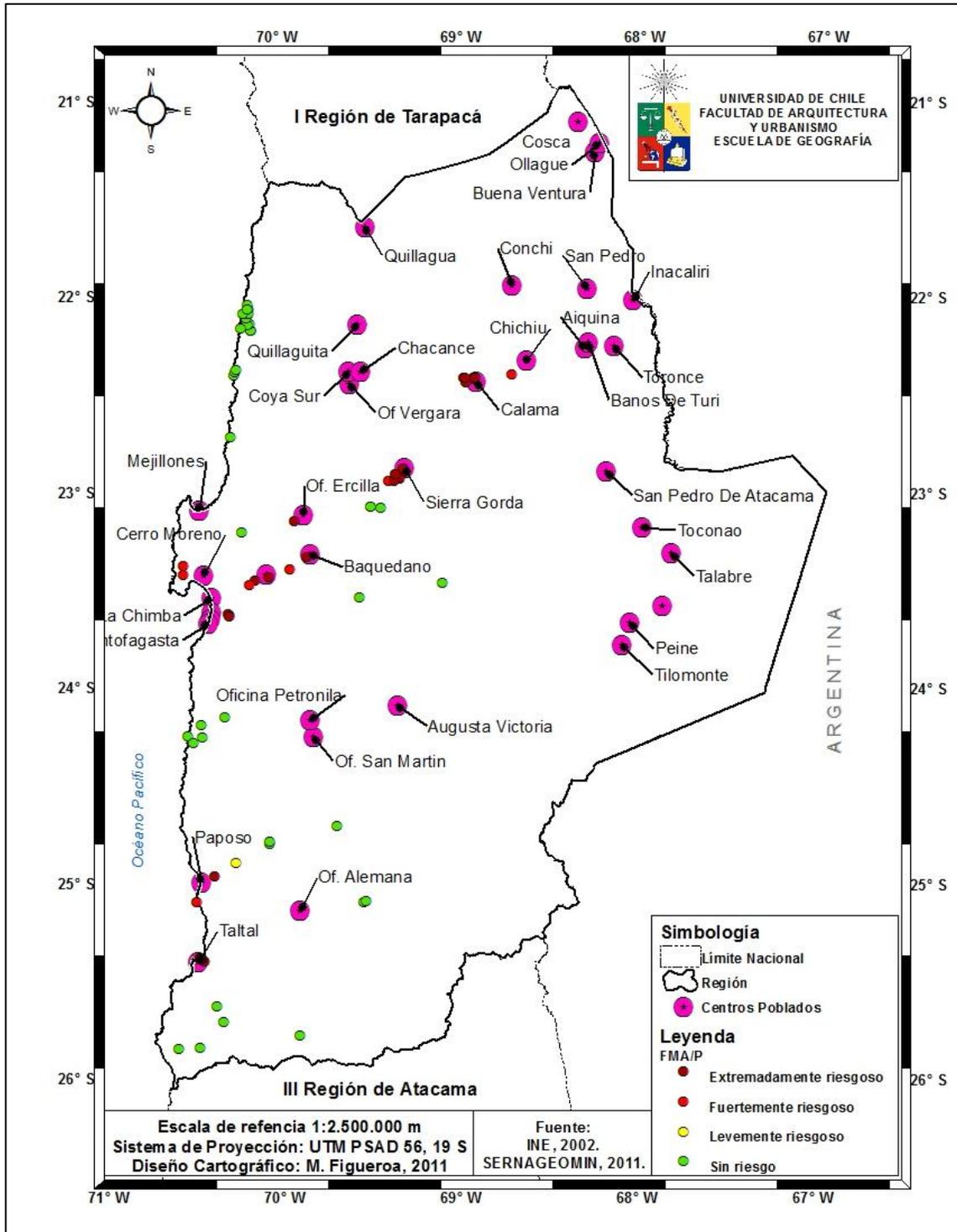
Hay 1 FMA/P que se encuentra entre 21 y 25 km de distancia de un centro poblado. Según el Formulario E-400 no representaría riesgos, sin embargo, dada la proximidad según esta metodología se clasifica como levemente riesgosa.

Hay 43 FMA/P a más de 25 km, en zonas consideradas como alejadas de un centro poblado. A pesar de que 4 de ellas están clasificadas como de riesgo alto por el Formulario E-400, para el análisis de este criterio se clasifican como sin riesgo.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
 MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 8: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con centros poblados.



H. Análisis de cobertura de precipitación

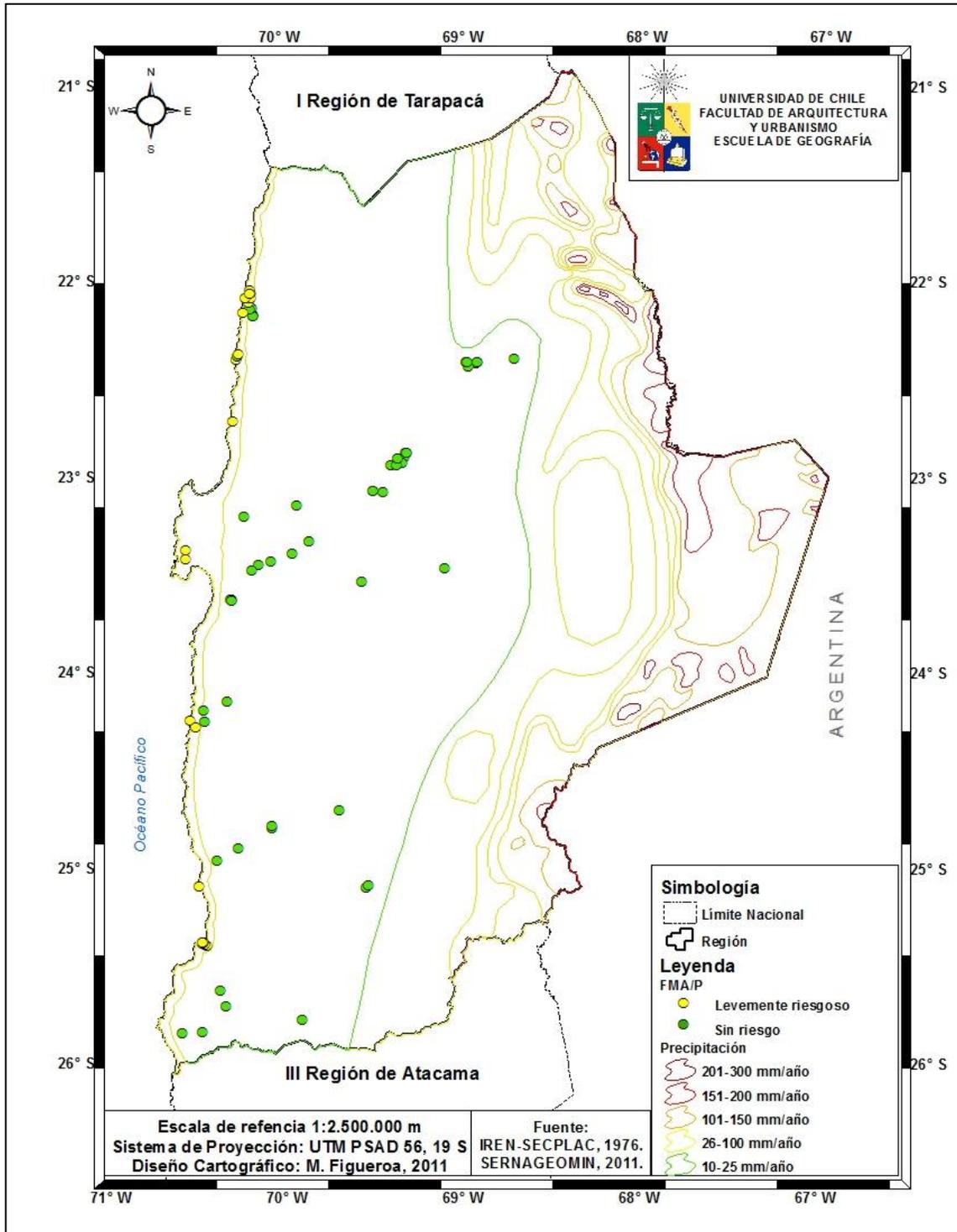
El contexto regional, predominantemente árido, presenta en la dimensión temporo-espacial eventuales registros de precipitaciones en sectores litorales, los que han provocado flujos detríticos y, por ende, tendrían la capacidad de afectar a FMA/P que existan en dicho sector. Esta situación tiende a ser estacional en el caso del sector altiplánico, con la diferencia que el catastro no registra este tipo de instalaciones en él.

Dado este escenario, al relacionar las áreas de sensibilidad definidas con la escala propuesta para la precipitación (ver Tabla 13, pp. 67) respecto de la existencia de FMA/P, se observa que la gran mayoría de las FMA/P catastradas en esta región se encuentran localizadas en la zona definida como aquella donde no se presenta sensibilidad. Sin embargo, para el caso de aquellas localizadas en la franja litoral, se asignan a algunas de ellas, según su posición respecto de quebradas existentes en el acantilado costero, sensibilidades de nivel leve ante la posible ocurrencia de eventos pluviométricos ocasionales, tal como se observa en el mapa a continuación (ver Mapa 9, pp. 93).

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
 MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 9: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con precipitación.



I. Análisis de riesgo por sismicidad (fallas activas)

Considerando que la región es sísmica y que estos eventos suelen provocar la reactivación de fallas preexistentes, e incluso revelar o generar otras, la localización de FMA/P respecto de estas configura escenarios de riesgo de diferente magnitud, cuyo efecto puede desestabilizar los depósitos y estructuras remanentes de estas faenas y con ello afectar sectores o instalaciones cercanas.

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas con la escala propuesta en la Tabla 14 (ver pp. 68) para la sismicidad, con la cobertura de FMA/P, se observa lo siguiente (ver Mapa 10, pp. 95).

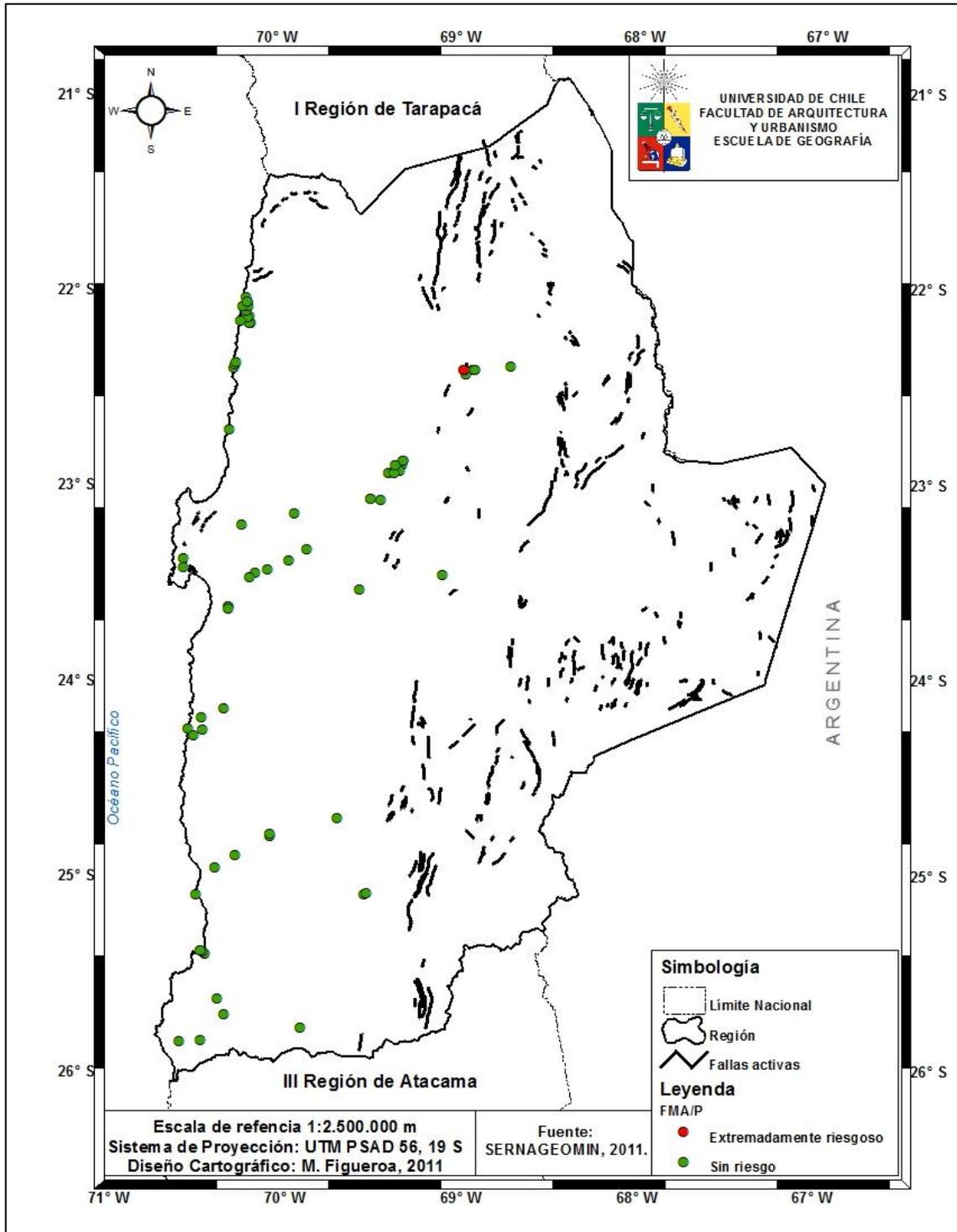
Hay 1 FMA/P que se encuentran a menos de 50 m hacia un lado del eje de una falla. Justamente, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, ésta presenta riesgo alto para la vida y salud de las personas. Por lo tanto, se clasifica como extremadamente riesgosa según este criterio.

Ninguna FMA/P se localiza a una distancia entre 51 y 100 m del eje de la falla, lo mismo sucede para el rango entre 101 - 150 m y 151 -200 m del eje de la falla. Por lo tanto, el resto de las FMA/P se clasifican como sin riesgo, dada su distancia mayor a 200 m de una falla activa.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 10: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con fallas activas.



J. Análisis de cobertura de tipo de suelo según erodabilidad

Como se mencionó en la metodología, al no disponer de información y mapas sobre los suelos a nivel regional, se sustituyó esta componente por información que da cuenta de la erodabilidad. Dicha condición deriva en posibles procesos que pueden afectar la estabilidad de las componentes de una FMA/P (pérdida de estabilidad por desmoronamiento, deslizamiento, subsidencia o desnivelación de los terrenos).

La erodabilidad se define como la capacidad del suelo para resistir la erosión en un sentido amplio. Esta característica se refiere a la vulnerabilidad o susceptibilidad de un suelo respecto de los agentes erosivos locales y varía de un suelo a otro en función de sus propiedades. Los factores que determinan la erodabilidad son los siguientes (Fernández, 2001).

- Propiedades físicas, químicas, biológicas y geológicas del suelo.
- Topografía del suelo que incluye la gradiente y la longitud de la pendiente.

Según Ferrando (1992) en Fernández (2006), la erodabilidad está condicionada por factores internos, y puede ser asociada al concepto de vulnerabilidad degradacional, correspondiente a la susceptibilidad presente en un paisaje a ser degradado (Z) y la resistencia natural a la degradación (S):

$$\text{Erodabilidad: } Z \times S$$

La erodabilidad superficial depende de la resistencia a la degradación, la disolución de los materiales y su posterior evacuación.

Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas para el tipo de suelo, con la cobertura de FMA/P, se observa que: (ver Mapa 11, pp. 98).

Hay 8 FMA/P dentro de la zona definida como extremadamente sensible, es decir, con una erodabilidad muy alta. De éstas, según el puntaje estimado en el Formulario E-400, 4 presenta riesgo alto para los recursos naturales y la vida y salud de las personas.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Hay 35 FMA/P que se localizan en la zona considerada con muy alta erodabilidad. Dada su localización, se clasifican como extremadamente riesgosas para este criterio.

Hay 6 FMA/P en la zona de alta erodabilidad. Con respecto a este criterio, se clasifican como fuertemente riesgosas.

Hay 2 FMA/P dentro de la zona definida con moderada erodabilidad. Pese a que según el Formulario E-400 ambas están clasificadas como de riesgo alto, con respecto a este criterio se clasifican como moderadamente riesgosas.

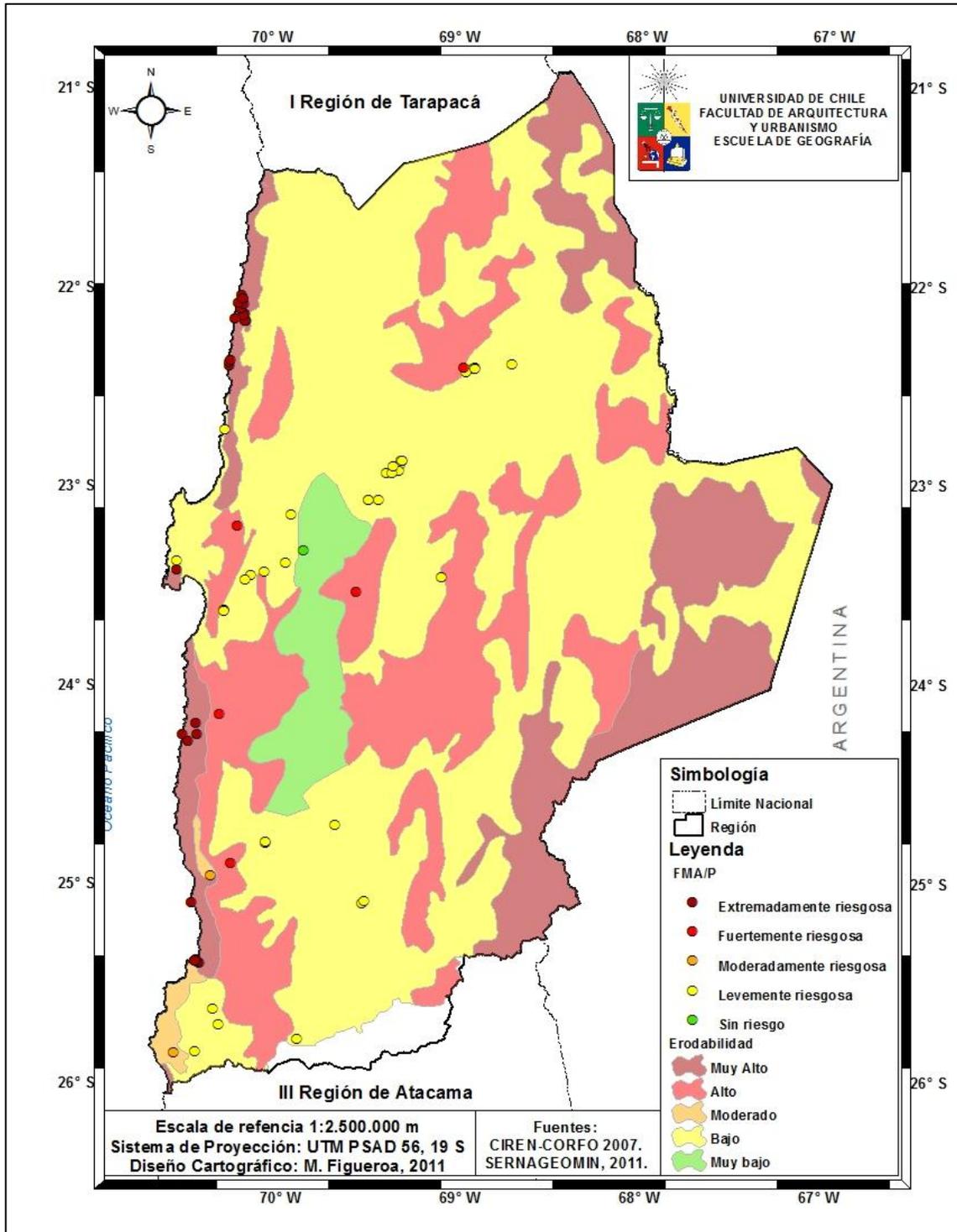
Hay 36 FMA/P en la zona considerada de baja erodabilidad, que se considerarán como levemente riesgosas

Por último, hay 1 FMA/P localizada en una zona como de muy baja erodabilidad, y para la evaluación de este criterio, se considera como sin riesgo.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
 MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 11: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con erodabilidad.



K. Análisis de cobertura valor paisajístico

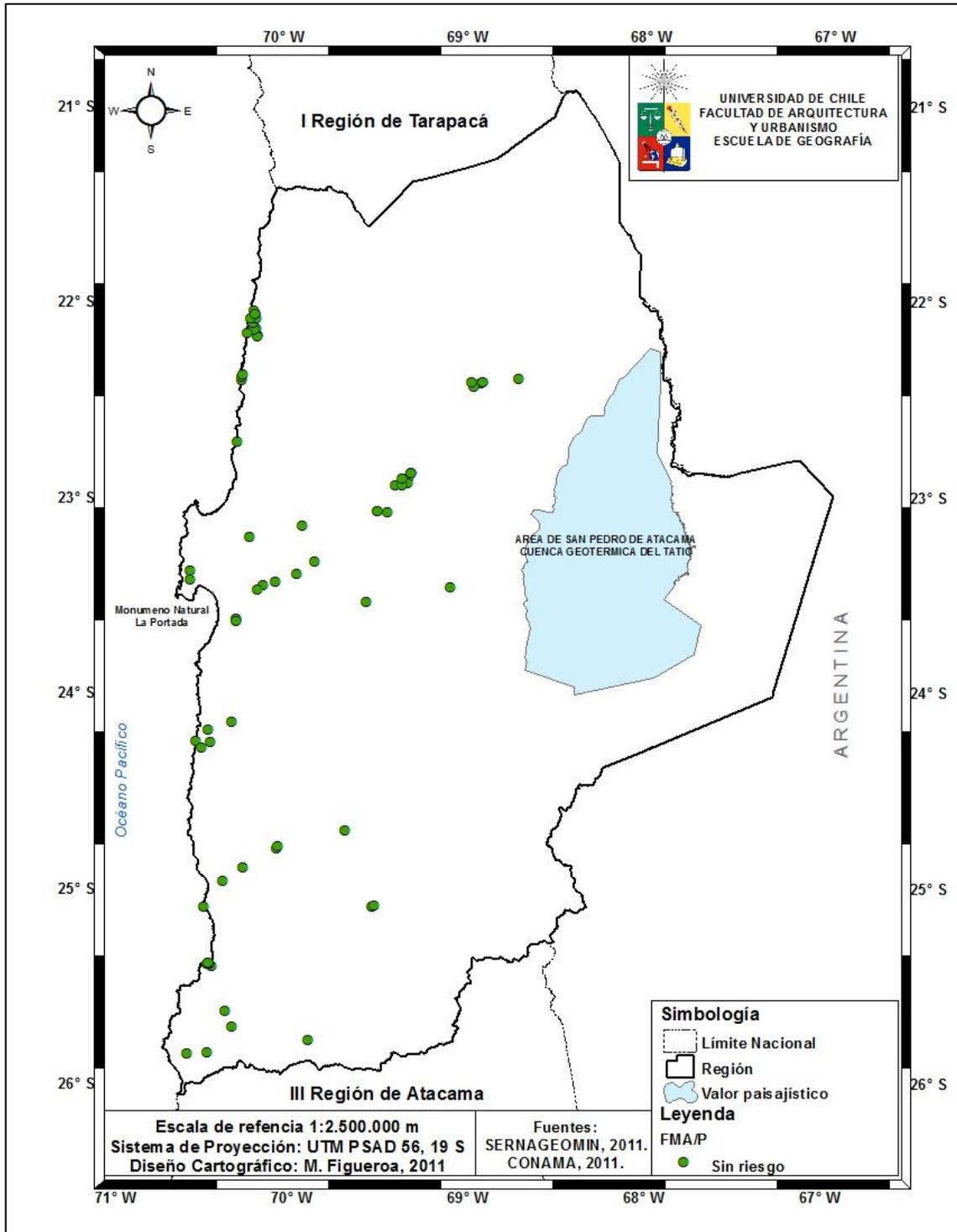
Al relacionar las áreas de sensibilidad definidas con la escala propuesta para el valor paisajístico (ver Tabla 16, pp. 70) con la cobertura de FMA/P, se observa que el 100% de las FMA/P se encuentran localizadas en la zona definida como aquella donde no se presenta riesgo de acuerdo a la distribución espacial de unas respecto de otras, tal y como se observa a continuación (ver Mapa 12, pp. 100).

Ello se debe fundamentalmente a la escasa existencia de áreas de valor paisajístico reconocidas oficialmente en la región (SERNATUR), lo cual no quiere decir que existan otros sectores que deberían estar reconocidos como tales y, por ello, presentar restricciones de uso y protecciones de tipo ambiental.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 12: Clasificación de riesgos de FMA/P en relación con valor paisajístico.



3. Generación de cartografía de riesgos medioambientales

Siguiendo los pasos metodológicos, luego de definir las áreas de influencia para cada una de las capas anteriores, se procedió a generar mediante la herramienta Álgebra de Mapas de ArcGIS la cartografía final.

La principal capacidad de los SIG radica en la obtención de nuevas capas de información a partir de otra u otras preexistentes. Para ello, en el ámbito de trabajo con capas ráster, se dispone de un conjunto de herramientas de cálculo a partir de matrices de datos que reciben en nombre genérico de álgebra de mapas. El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores y funciones que se ejecutan sobre una o varias capas ráster de entrada para producir una nueva capa de salida.

De esta forma, cada capa ráster se consideró como una matriz de números, y la operación algebraica programada, en este caso, la sumatoria de todas las coberturas de acuerdo al porcentaje de influencia/importancia según la matriz combinada de los juicios de los expertos, se realizó para todos los números de esta matriz almacenados como información numérica en las celdas de la capa ráster (ver Anexo 3. pp. 131).

Por resultado se obtuvo una sola capa ráster con 5 niveles de vulnerabilidad definidos (ver Mapa 13, pp. 103).

- Las áreas en *rojo oscuro* y *rojo* representan aquellas zonas *extremada y fuertemente vulnerables*, en donde la localización de una FMA/P constituiría un riesgo extremo. Se puede apreciar que en la definición de estas zonas es evidente la mayor influencia de la cobertura de centros poblados, aguas superficiales/subterráneas y áreas agrícolas/ganaderas, hecho que coincide con la ponderación de criterios realizada a través del AMC, donde estas tres mismas coberturas obtuvieron las mayores ponderaciones. A su vez, dadas las condiciones de aridez de la región de estudio, se deduce que la disponibilidad de acceso a recursos hídricos habría condicionado el asentamiento de centros poblados y, por lo tanto, el desarrollo de actividades económicas. Si se relaciona el resultado obtenido con los niveles de riesgo descrito por SERNAGEOMIN, se podría decir que las FMA/P son de *riesgo alto*, debido a

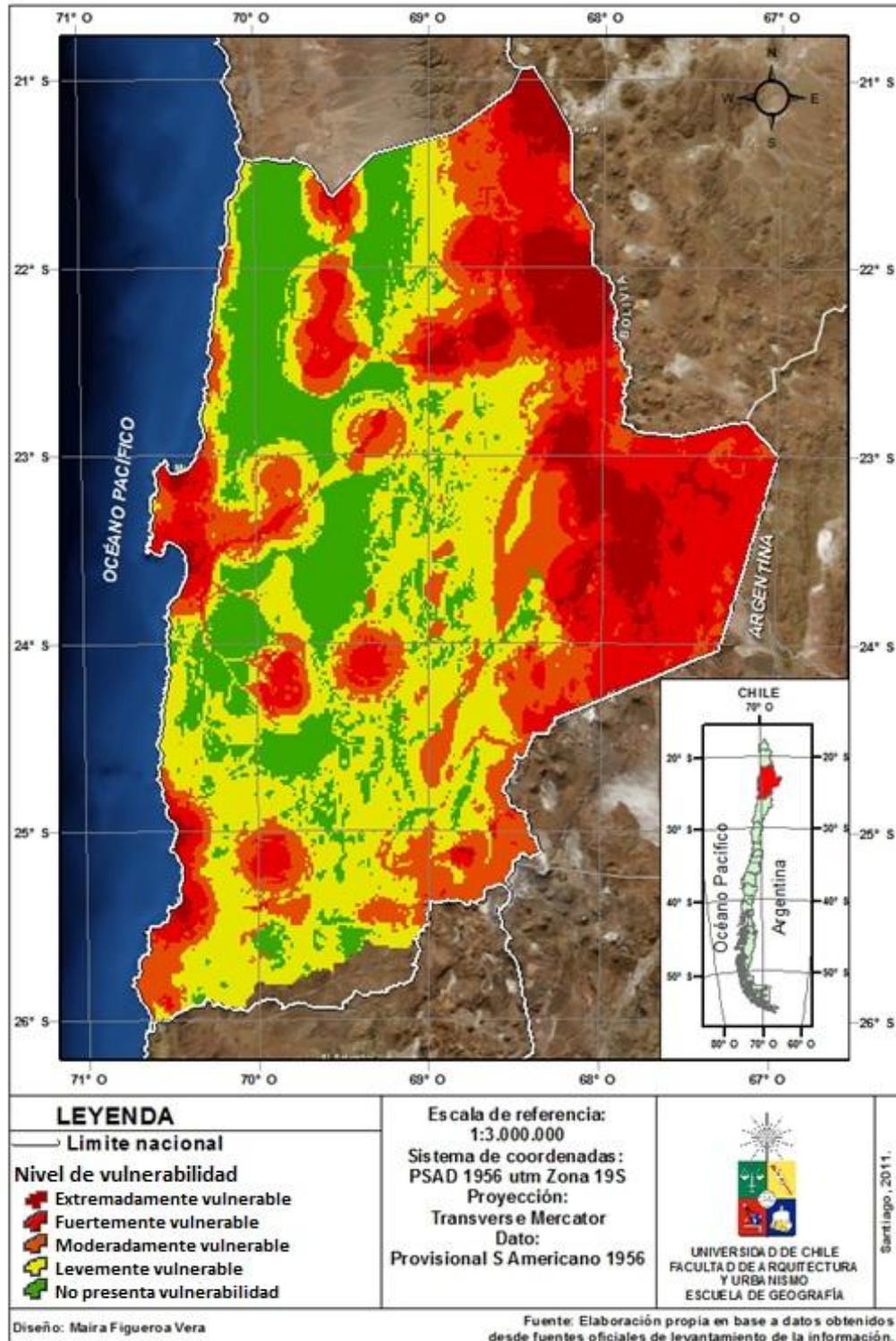
que cualquier daño que se produzca en esta zona afectará en un alto grado a diversos elementos del medio ambiente, ocasionando severas consecuencias.

- Las áreas en color *naranja* representan zonas *moderadamente vulnerables*, entendidas como lugares más alejados de centros poblados, aguas superficiales/subterráneas y áreas agrícolas/ganaderas, pero probablemente de fácil acceso, o donde pueden confluir otras variables con menor peso en la matriz combinada. Se puede considerar como una zona donde las FMA/P son moderadamente riesgosas.
- Las áreas de color *amarillo* simbolizan vulnerabilidad leve, y las de color *verde*, las zonas en las que *no se presenta vulnerabilidad*. Se tratarían de zonas que coinciden con el desierto en la depresión intermedia, donde dadas las difíciles condiciones para el desarrollo de la vida, no habría confluencia de los factores analizados. Por lo tanto, las FMA/P localizadas en estas zonas serían levemente riesgosas o no representarían riesgo, respecto de los criterios considerados.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
 MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Mapa 13: II Región de Antofagasta. Nivel de riesgo según AMC con respecto a localización de FMA/P.



4. Comparación de resultados Matriz de riesgo Formulario E-400 y AMC

Para concretar la comparación propuesta en los objetivos de la investigación, se confeccionaron dos mapas que contienen la información de los índices de riesgo por contaminación del Formulario E-400 para un total de 80 FMA/P catastradas en la II Región de Antofagasta hasta el año 2010. En uno de los mapas se representan los resultados para “contaminación para la vida y salud de las personas” y en el otro se incorporan los índices de “contaminación para los recursos naturales”. En ambos casos se usó de base la imagen ráster obtenida del AMC. Cabe señalar que la representación se realizó en forma separada para cada categoría debido a que la matriz de riesgos del formulario E-400 evalúa los riesgos por contaminación y vida y salud de las personas en forma independiente, sin que exista una metodología que arroje un índice final relacionándolas.

Se analizó en profundidad el caso de aquellas FMA/P clasificadas como de riesgo alto según el E-400 (ver Tabla 20, pp. 106), considerando que estas FMA/P serán el foco de interés para análisis detallados. En el caso de vida y salud de las personas, 11 FMA/P registran en el Formulario E-400 un índice de riesgo clasificado como alto, mientras que en el caso de la contaminación de recursos naturales serían 12 las que caen en dicho nivel de riesgo. Con esta información se pudo verificar: las zonas de riesgo en que cada una de estas FMA/P se localiza dentro del mapa basado en el AMC; y las coincidencias y discrepancias que pudieran aparecer entre la evaluación del E-400 y la evaluación preliminar del mapa de riesgo basado en el AMC.

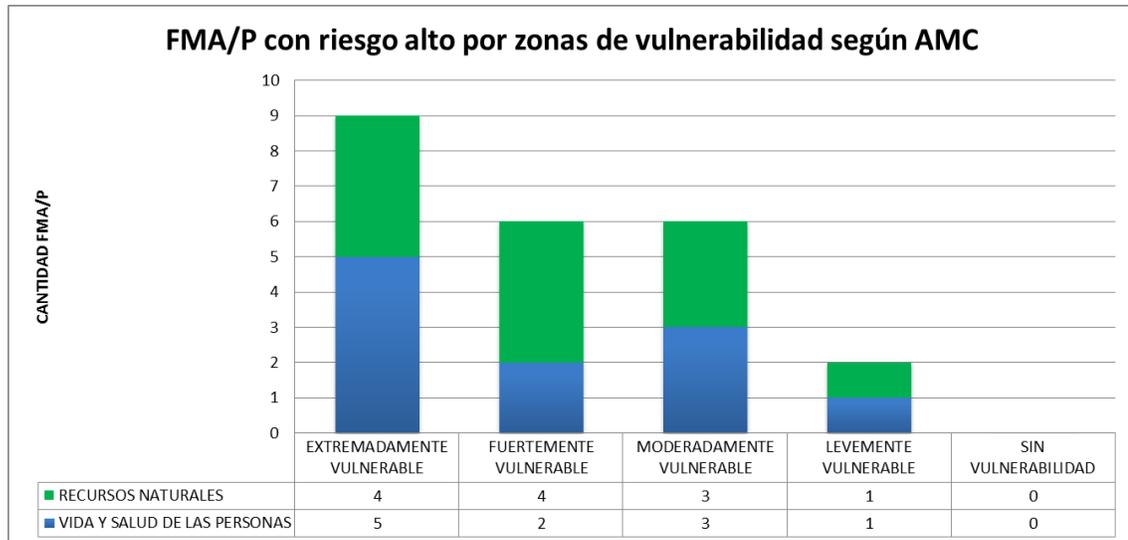
El siguiente gráfico (ver pp. 105) representa la cantidad de FMA/P correspondientes a las zonas definidas según vulnerabilidad en el mapa basado en AMC, separadas por su puntaje en los índices de “contaminación para la vida y salud de las personas” y “contaminación para los recursos naturales”. En él se puede apreciar que la mayor cantidad de FMA/P catalogadas con Riesgo Alto se localizan en zonas extremadamente vulnerables, de las que se destaca la denominada “Planta el Hueso” como la faena con mayor índice de riesgo según el Formulario E-400 de toda la región, tanto para el ítem de vida y salud de las personas como para los recursos

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

naturales. Por otro lado, se evidencia que en las zonas “no vulnerables” del mapa basado en el AMC, no han sido catastradas FMA/P que presenten riesgo alto. Ambos hallazgos podrían sugerir una tendencia a la concordancia de los resultados obtenidos con las dos formas de evaluación.

Gráfico 3: Zonas de riesgo según AMC y FMA/P con Riesgo Alto.



Para ambos ítems evaluados por el Formulario E-400, se repiten las siguientes FMA/P en la categoría “riesgo alto”: en la zona extremadamente vulnerable la denominada “Planta el hueso”, en la zona fuertemente vulnerable las denominadas “Planta Hasser” y “Planta Kazazian”, en la zona moderadamente vulnerable la “Planta de Chancado y flotación”, y por último en la zona levemente vulnerable la denominada “Carolina de Michilla S.A”(ver Tabla 20, pp. 107). A partir de lo anterior, y considerando el alto puntaje que presenta en el Formulario E-400, así como su localización en una zona extremadamente vulnerable, la “Planta el hueso” surge como una candidata a un análisis detallado de FMA/P en terreno.

Con este razonamiento, se ejemplifica una utilidad del mapa de riesgo basado en AMC ya que:

1. Entrega un lineamiento de zonas a catastrar en el futuro, favoreciendo la priorización de aquellas que tienen mayor vulnerabilidad.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

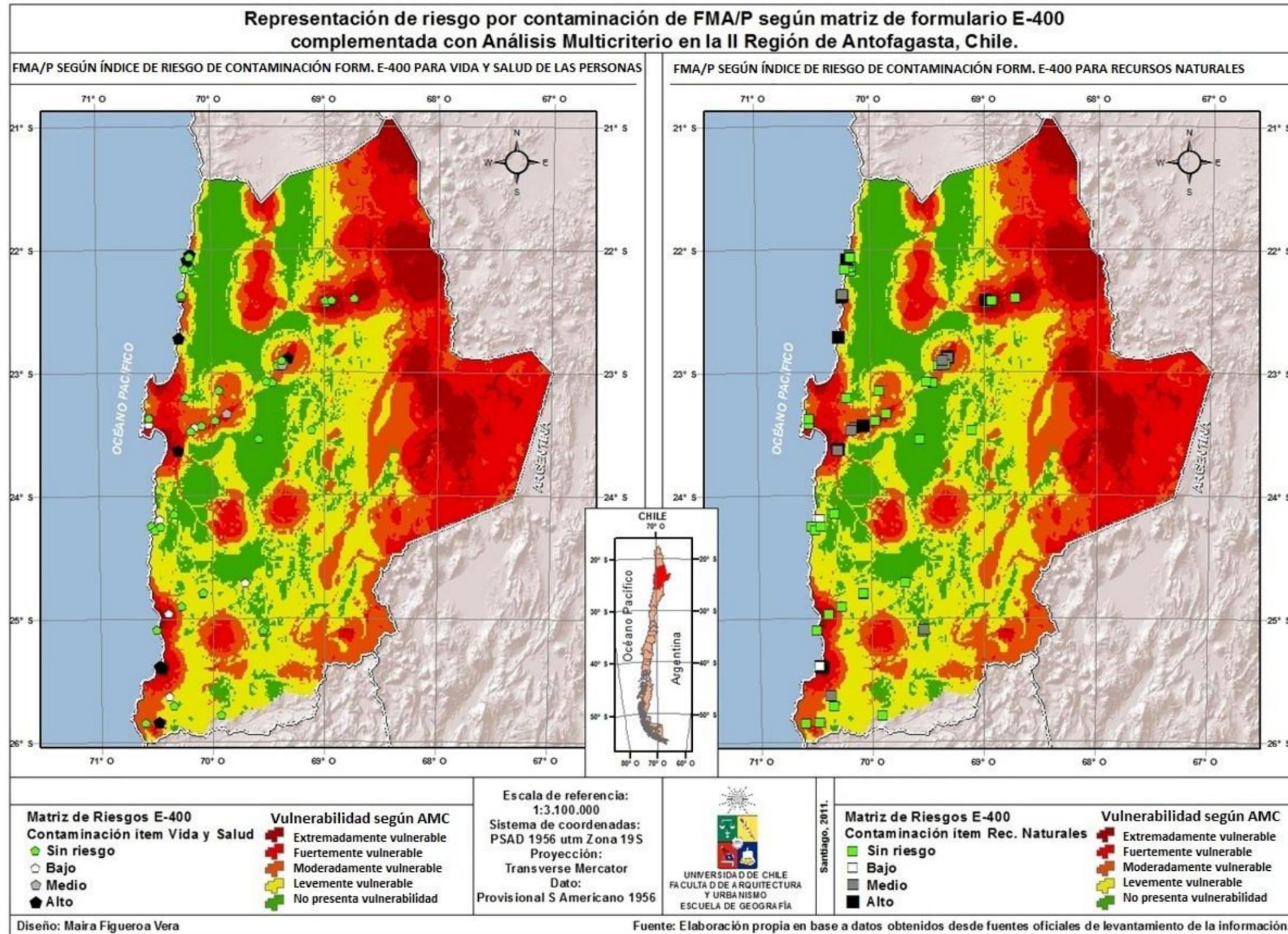
2. Permite priorizar las FMA/P que deben ser sometidas a análisis detallados, considerando su nivel de riesgo evaluado por el Formulario E-400 y su localización dentro del mapa de vulnerabilidad según el AMC, avanzando de este modo en el proceso de pesquisa de los PAM que debieran ser sometidos a remediación (ver Anexo 4, pp. 135 y Anexo 5, pp. 138)

Tabla 20: FMA/P clasificadas con riesgo alto según el Formulario E-400, distribuidas de acuerdo a zonas de vulnerabilidad determinadas con AMC.

FMA/P CON RIESGO ALTO PARA	ZONAS VULNERABLES SEGÚN AMC								
	EXTREMADAMENTE VULNERABLE		FUERTEMENTE VULNERABLE		MODERADAMENTE VULNERABLE		LEVEMENTE VULNERABLE		SIN VULNERABILIDAD
	NOMBRE	PUNTAJE E-400	NOMBRE	PUNTAJE E-400	NOMBRE	PUNTAJE E-400	NOMBRE	PUNTAJE E-400	
VIDA Y SALUD DE LAS PERSONAS	PLANTA EL HUESO	9	PLANTA HASSER	6	TRANQUE ABANDONADO	6	CAROLINA DE MICHILLA S.A.	6	
	PLANTA JOSE ANTONIO MORENO ENAMI TALTAL	6	PLANTA KAZAZIAN	6	PLANTA DE CHANCADO Y FLOTACIÓN	6			
	PLANTA INCOMIN I	6			PLANTA BENEFICIOS DE MINERALES MANUEL	6			
	PLANTA CARLOS MARTÍNEZ	6							
	FAENA TAL-TAL	6							
RECURSOS NATURALES	PLANTA EL HUESO	9	PLANTA HASSER	6	PLANTA FRENTE MANTOS DE LA LUNA	9	CAROLINA DE MICHILLA S.A.	6	
	INCOMIN S.A	6	PLANTA KAZAZIAN	6	MANTOS BLANCOS 1	6			
	SALAR DEL CARMEN	6	MINERA SIERRA	6	PLANTA DE CHANCADO Y FLOTACIÓN	6			
	PLANTA JOSE ANTONIO MORENO ENAMI TALTAL	6	TRANQUE SECTOR PUNTA LEQUENA	6					

A continuación se presenta el mapa final de las zonas de riesgo basadas en el AMC con la cobertura de las FMA/P diferenciadas por ítem y nivel de riesgo evaluado en el E-400 (ver Mapa 14, pp. 108).

Mapa 14: Representación de riesgo por contaminación de FMA/P según matriz de formulario E-400 complementada con AMC en la II Región de Antofagasta, Chile.



**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Al extender el análisis comparativo al resto de las FMA/P utilizando el mapa anterior, se puede destacar lo siguiente:

- 1) FMA/P clasificadas con “riesgo medio” y “bajo” utilizando el Formulario E-400 coincidieron con zonas “extremadamente vulnerables” según el AMC. Aquello al parecer graficaría una discrepancia en el resultado de las metodologías, puesto que en las zonas más vulnerables según el AMC, es difícil pensar que exista una FMA/P inofensiva (recordemos que en esta zona tal FMA/P estaría muy cerca de centros poblados, recursos hídricos, actividades humanas y ecosistemas valiosos y frágiles). Esta discrepancia puede deberse a que el evaluador subestimó la importancia del entorno cercano, no consideró factores que para los expertos encuestados son importantes de analizar o quizás no incorporó en la formulación de sus juicios un análisis integrado de las variables ambientales.
- 2) Existirían FMA/P clasificadas con distintos niveles de riesgo para la categoría “contaminación para la vida y salud” y “contaminación de los recursos naturales”. Este hecho resalta una dicotomía interna dentro de la matriz del Formulario E-400, ya que diferencia entre un receptor humano y otro ambiental, pudiendo incluso existir una FMA/P sin riesgo para la vida y la salud, pero altamente riesgosa para los recursos naturales, tal y como se puede apreciar en los siguientes ejemplos (ver Figura 5, pp. 108 y Figura 6, pp. 109).

Figura 5: Matriz de riesgos Formulario E-400 Planta Frente Mantos de La Luna, comuna de Tocopilla, II Región de Antofagasta.

INFORME EXTERNO E400 PROYECTO FOCIGAM								
Impactos Ambientales		Consecuencias				Riesgos		
Categoría	Item	Proba bilidad	Vida y Salud	Propiedad	Recursos	Vida y Salud	Propiedad	Recursos
Contaminación	A.Contaminación de aguas	3	1		3	3	3	9
	B.Generación de polvo					3		9
	C.Otros					3		9

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Figura 6: Matriz de riesgos Formulario E-400 Punta Lequena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.

INFORME EXTERNO E400 PROYECTO FOCIGAM								
Impactos Ambientales		Consecuencias				Riesgos		
Categoría	Ítem	Probabilidad	Vida y Salud	Propiedad	Recursos	Vida y Salud	Propiedad	Recursos
Contaminación	A. Contaminación de aguas	2			3			e e
	B. Generación de polvo							e
	C. Otros							e

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

- 3) FMA/P próximas (a menos de 1 km de distancia) son clasificadas con distintos niveles de riesgo según el Formulario E-400, siendo que a partir del AMC cabrían en la misma zona de vulnerabilidad. Al comparar en detalle las matrices de riesgo del Formulario E-400 para FMA/P así de próximas, se puede observar que los resultados proponen una distinta probabilidad de ocurrencia, a pesar de que su cercanía llegaría a un punto en que sería difícil distinguir el riesgo de una u otra, influenciándose incluso entre ellas. Por el contrario, considerando que el mapa las muestra dentro de una misma zona de vulnerabilidad, para el análisis del AMC se trataría de un área homogénea, donde las variables más relevantes no presentarían variaciones significativas.

Figura 7: Matriz de riesgos Formulario E-400 Punta Lequena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.

INFORME EXTERNO E400 PROYECTO FOCIGAM								
Impactos Ambientales		Consecuencias				Riesgos		
Categoría	Ítem	Probabilidad	Vida y Salud	Propiedad	Recursos	Vida y Salud	Propiedad	Recursos
Contaminación	A. Contaminación de aguas	2			3			e e
	B. Generación de polvo							e
	C. Otros							e

Figura 8: Matriz de riesgos Formulario E-400 Quetena, comuna de Calama, II Región de Antofagasta.

INFORME EXTERNO E400 PROYECTO FOCIGAM								
Impactos Ambientales		Consecuencias				Riesgos		
Categoría	Ítem	Probabilidad	Vida y Salud	Propiedad	Recursos	Vida y Salud	Propiedad	Recursos
Contaminación	A. Contaminación de aguas	2			1			e e
	B. Generación de polvo							e
	C. Otros	3						e

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

- 4) En general, las zonas donde no se presenta riesgo según el AMC, no coinciden con FMA/P catastradas hasta la fecha. Esto se puede deber a que los evaluadores no han cubierto homogéneamente el área de estudio, sin lograr muestrear posibles FMA/P en zonas de difícil acceso. Otra explicación podría relacionarse con el hecho de que entre los factores analizados están las rutas de acceso y los recursos hídricos, los que de alguna u otra forma habrían condicionado la localización de una faena minera en el pasado, haciendo menos probable un asentamiento de este tipo en dichos lugares.

VIII. DISCUSIÓN

A partir de la revisión bibliográfica descubrimos que en Chile se han realizado esfuerzos para diagnosticar la situación nacional de faenas mineras del pasado, al mismo tiempo que se elevan propuestas para la intervención en la problemática. Sin embargo, surge la comparación inevitable entre la realidad nacional y del exterior, donde quedan en evidencia los vacíos legales con respecto a la responsabilidad por el daño ambiental. En el caso de nuestro país, los conocimientos respecto de las FMA/P se encuentran en un nivel intermedio, puesto que se sabe su localización, aunque no en forma exhaustiva, y se estima un nivel de riesgo asociado a su existencia, aunque ello aún no se traduce en acciones concretas para la remediación de las que han mostrado mayor necesidad de intervención.

Chile ha tenido la oportunidad de desarrollar un catastro con apoyo internacional, sin embargo, no ha continuado esta tarea con el esfuerzo que se podría esperar en lo que respecta a la actualización y mejora de la metodología de evaluación, la cual se aplica sin variaciones desde entonces. Por motivos de costo, la implementación de un procedimiento más detallado para la evaluación del riesgo de una FMA/P se reserva exclusivamente para aquellas situaciones en que la severidad de las consecuencias es extrema, pública y amerita una rápida intervención.

Para el caso de responsabilidad de las FMA/P que no presentan registros legales, o no tienen una persona natural identificable como dueño, el proyecto de ley no especifica claramente quien asumirá los costos de la remediación. En el caso de las FMA/P medianas y pequeñas de antigüedad considerable, que son un porcentaje importante dentro del universo de las FMA/P, probablemente nos encontremos con esta situación en reiteradas ocasiones. Mientras no se especifique la responsabilidad de la remediación será más difícil generar las intervenciones necesarias para reducir el impacto ambiental. Otro aspecto difuso dentro del proyecto de ley es que tampoco se determina qué profesional será el encargado de realizar estas evaluaciones. De acuerdo a la experiencia de este estudio, el rol de los evaluadores es fundamental, donde la diversidad de áreas de competencia enriquece también el análisis.

Por otra parte, es preocupante pensar que existan FMA/P que ya han acumulado suficiente evidencia como para concluir que requieren remediación y aún no se beneficien de este tipo de intervenciones debido a la tardanza en la promulgación de la ley.

Con respecto al formulario E-400, impresiona la mayor profundidad que éste tiene en lo que respecta a la evaluación de riesgos por seguridad, mientras que el área de evaluación de riesgos por contaminación es menos elaborada o precisa. Esto nos lleva a pensar que, el registro de información fidedigna en este ámbito, requiere de un evaluador con conocimientos detallados del lugar a evaluar, o de lo contrario, sería más probable que este incurra en juicios errados que se basen más en supuestos que en el conocimiento del área.

Es claro que el formulario tiene una falencia que nace desde la ausencia de una visión sistémica para la comprensión de las relaciones entre factores del medio ambiente. Tal y como fue representado con las situaciones ejemplificadas en los resultados, el Formulario E-400 divide tipos de contaminación, receptores y vías, sin considerar una metodología que los interrelacione. Desde la geografía, la visión sistémica permite dilucidar la influencia dialéctica de una variable por sobre otra, lo que nos lleva a afirmar que el todo es más que la suma de las partes, puesto que necesariamente implica la interacción de éstas. Con esta visión de los fenómenos ambientales, los efectos en el medio ocasionados por un agente externo no son lineales sino exponenciales, siendo imposible concebir un impacto para los recursos naturales que no implique a su vez un riesgo para el resto de los elementos del medio (incluido el ser humano), a diferencia de como lo propone el Formulario E-400, donde una FMA/P puede ser catalogada como altamente riesgosa para la contaminación de los recursos naturales pero sin riesgo para la vida y salud de las personas.

La utilización del AMC basada en un SIG permite combinar diversas variables. En este caso, posibilitó la elaboración de un mapa de vulnerabilidad de elementos presentes en el medio ambiente que se podrían ver afectados por la presencia de una FMA/P, incorporando en su realización juicios de opinión de un grupo de expertos y también una ponderación de factores. Esta forma innovadora y dinámica de tratar la

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

información puede además ser realizada por una persona a distancia, permitiendo complementar los datos que se recopilan en terreno para el Formulario E-400, con información proveniente de fuentes oficiales. Así, la utilización de los SIG permite manipular grandes cantidades de datos y aplicar herramientas de análisis espacial para relacionarlos, facilitando la toma de decisiones. Además, el hecho de que se efectúe dentro de este tipo de software significa que la metodología es estandarizable y replicable para otras investigaciones.

Por supuesto, lo anterior requeriría de personal capacitado en el uso de SIG, lo que a su vez implica valorar la incorporación de tecnología en el quehacer de los departamentos encargados de gestión ambiental, con los consiguientes esfuerzos en reclutamiento y capacitación de los funcionarios.

Otro aspecto importante de destacar y que se ha mencionado con anterioridad como una limitación de la evaluación realizada con el E-400, es la sensibilidad que dicha metodología puede presentar ante las preferencias, creencias y/o juicios individuales de un evaluador en terreno. A diferencia del AMC basado en SIG propuesto en esta investigación, el Formulario E-400 se vuelve demasiado dependiente del criterio de un solo sujeto y ello podría ser la principal explicación para las incongruencias observadas en el mapa de riesgos en el que se proyectaron las FMA/P. Dentro del paradigma del AMC se asume que siempre existirán juicios desde el evaluador y que serán estos los que regularán sus acciones, sin embargo, propone la conjugación de un grupo de sujetos con un alto grado de experticia como el método para superar esta limitación. De este modo, no se corre el riesgo de que un evaluador inflencie el resultado de su labor de acuerdo a sus preferencias particulares, puesto que el criterio a aplicar se constituye previamente sobre la base del grupo de jueces.

En resumen, se propone implementar las siguientes mejoras en el Método de Análisis preliminar de FMA/P llevado por SERNAGEOMIN, ello además del necesario término del catastro de este tipo de faenas.

- Contar con un mapa que permita priorizar zonas a evaluar y FMA/P que requieran análisis más detallados.

- Complemente la evaluación en terreno realizada con el E-400 con un mapa de riesgos elaborado en SIG que informe al evaluador sobre la situación del entorno de la FMA/P.
- Utilizar el AMC para estandarizar los criterios que se evaluarán y la importancia de cada uno de éstos sobre otro. De esta manera, se disminuye la interferencia del juicio personal de cada evaluador, y por lo tanto, se agrega consistencia a las evaluaciones realizadas.
- Capacitar a los profesionales en el manejo de nuevas herramientas informáticas, fundamentalmente SIG, ya que les permitirá mejorar las evaluaciones que realizan al tener una visión global de los lugares donde se catastre una FMA/P.
- Como una medida de focalización de recursos, la priorización de zonas más vulnerables que se identifiquen mediante un mapa de riesgos en SIG, permitiría utilizar un criterio basado en un conocimiento científico, distinto de la accesibilidad de la FMAP a los evaluadores, que al parecer es el que más ha primado hasta el momento.
- Las metas de evaluación deberían ser zonales y no por número de faenas, siendo la zona priorizada aquella que se defina con mayor vulnerabilidad. En este proceder se recomendaría acercarse a las organizaciones sociales del sector (municipalidades, juntas de vecinos), como una fuente de información clave para la determinación de las faenas a catastrar en la zona

Para futuras investigaciones, se recomienda:

- 1) Un grupo de expertos más amplio y diverso. Para esta investigación piloto se contó con la participación de 6 expertos en las entrevistas que definían las variables relevantes y 5 para la asignación de pesos a los criterios. En teoría, un mayor número de jueces enriquecería la metodología, sobre todo en el caso de que sus áreas de conocimiento o desempeño profesional sean específicas y relacionadas con el tema.
- 2) Los vientos regionales aparecen en los discursos de los expertos como una de las vías de exposición más recurrentes dentro del área de estudio. De ser posible, en la medida que éste fenómeno sea más estudiado, las investigaciones futuras podrían incluirlo dentro del mapa de riesgo. En este mismo tema, sería interesante contar con estudios sobre la tendencia depositacional de material particulado proveniente de relaves secos que son transportados por el viento
- 3) Debido a nuestra diversidad topográfica y climática, se debe considerar que las variables que se incorporen en el AMC estarán directamente relacionadas con la zona geográfica que se estudie.

IX. CONCLUSIONES

En relación a los objetivos de la investigación se concluye que es posible realizar un mapa de zonas de riesgos medioambientales utilizando la metodología de Análisis Multicriterio basada en un SIG. Dentro del procedimiento, el software Expert Choice parece ser apropiado y valioso para la realización del AMC, combinando los juicios de importancia/influencia de las 10 variables referidas por el grupo de expertos. Además, arroja un índice de consistencia que valida la ponderación combinada y calcula en definitiva el peso que se le asignará en el software ArcGIS a los factores. Por lo tanto, dentro de un contexto de recursos limitados el mapa resultante del estudio es una buena herramienta para la toma de decisiones en la priorización de las FMA/P.

Además, los expertos coincidieron en un alto grado en sus evaluaciones, lo que significa que al parecer entre ciencias afines los conocimientos pueden haber alcanzado un desarrollo suficiente para ser transversales.

Al comparar las distintas metodologías, las diferencias son evidentes y algunas de las inconsistencias halladas en la matriz de riesgos de E-400 sugieren que la metodología propuesta sería más estable y congruente para clasificar zonas de riesgo en relación a FMA/P y de esta manera se constituye como un complemento más eficiente para la matriz del formulario E-400 referente a los riesgos de seguridad, la cual desarrolla adecuada y profundamente dichos aspectos de la FMA/P.

En la Región de Antofagasta se han catastrado hasta la fecha 80 FMA/P, siendo difícil estimar cuántas aún no han sido localizadas y evaluadas. De éstas, 7 presentan riesgos significativos en ambos métodos de evaluación, y por lo tanto se deben analizar detalladamente sus efectos actuales y potenciales, tanto para personas y asentamientos humanos como para componentes ambientales y actividades como la agricultura y la ganadería de auquénidos. Mientras no se avance en este tema, no se podrá concretar la remediación necesaria, importantísima en aquellos sectores que se encuentran más expuestos. Respecto de este último punto, podemos recordar asentamientos humanos como: Calama, Antofagasta, Sierra Gorda, Caleta Paposo y Taltal, ya que poseen FMA/P a menos de 10 km de distancia.

La geografía nuevamente se presenta como una ciencia que aporta importantes herramientas para el análisis del territorio en todas las escalas, considerando su visión dinámica de los fenómenos que tienen lugar en un tiempo y espacio determinado y su relación con las nuevas metodologías computacionales que adquieren cada vez más relevancia en la investigación geográfica y la práctica de la gestión ambiental.

X. BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, M.; Arquero, A.; Martínez, E. (2006).** Empleo del AHP incorporado en SIG para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a una biblioteca, XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Granada.
- AscoughII, J.;Rector,H.;Hoag,D.;McMaster,G.;Vandenberg B.;Shaffer M.;Weltz, M.;AhjuaI. (2002).** Multi-criteria Spatial DecisionSupportSystems: Overview, applications, and future research directions. En: A.E. Rizzoli and A. J. Jakeman, Editors. Integrated Assessment and Decision Support, Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Volume 3, pp. 175- 180. [on line] <<http://www.library.umaine.edu/theses/pdf/MurphyS2003.pdf>> [última revisión: 04-06-2011].
- Adasme, C. (2011).** Entrevista de investigación para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.
- Arias, C.(2011).** Entrevista de investigación para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.
- Ávila, R (2000).** El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su implicación para determinar el uso de las tierras, el caso de Brasil. Proyecto regional “información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible”, Santiago, Chile.
- Blanco, N. (2011).** Entrevista de investigación para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.
- Berrocal, M. (2008).** Análisis y evaluación de la vulnerabilidad de la población de La Fortuna de San Carlos a la actividad volcánica del volcán Arenal, Costa Rica. [on line] <<http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/7918/Tmbv1de9.pdf?sequence=1>> [última revisión: 04-09-2011].
- Campos, J. (2011).** Entrevista de investigación para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.
- Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, Editor (2002).** Minería, Minerales y Desarrollo sustentable en América del Sur.
- Chakhar, S.;Mousseau, V (2007):** Spatial Multi-criteria Decision Making. En: Shehkar, S., Xiong, H. (eds.) Encyclopedia of Geographic Information Science, pp. 747–753. Springer, New York.
- Chaparro, E. (2010).** Seminario taller sobre los PAM, una visión general. Publicación de las Naciones Unidas, CEPAL. [on line] <<http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CUBYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.asogravas.org%2FLinkClick.aspx%3Ffileticket%3DhFXU>>

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

E8Wf5DE%253D%26tabid%3D258%26mid%3D1788&rct=j&q=estabilidad%20
fisica%20de%20talud%20de%20tranques%20de%20relaves&ei=wdjRTdvsPI6
-tgeFkZiiCg&usg=AFQjCNHjKfusQcTCwu5FyS_ZDzRaxvu3Pg&cad=rja>
[última revisión: 16-05-2011]

Chilean Cooper Commission (2001). Abandoned Mines: Problems, Issue and Policy Challenges for Decision Makers. Pan-American Workshop on Abandoned Mines, 1st. Santiago, Chile, 18 June.

Colegio de Geólogos de Bolivia (2006). Memorias del XVII congreso Geológico Boliviano. Tupac Katari. Bolivia, Sucre.

Ferrando, Francisco (2011). Conversaciones personales como tutoría de Memoria para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.

Fernández, Freddy (2001). Manejo y conservación de suelos. Capítulo V: Erodabilidad. [on line]
<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:4lnkUtSSZVUJ:ffernandez56.8k.com/CONSER%25205.pdf+erodabilidad+significado&hl=es&gl=cl&pid=bl&scid=ADGEESgCLXOUPOjHV27U4e4cP5WUva4yoh9x1SFyzhtHUunTixrz-gZx-98MPZLhehbua-Ef1uDZHNcLioxZ4vtvnwkUS66h-NHUqUbX_rWAv7EUb4R7vyvfGMNvjc9si6isfwhgOhRu&sig=AHIEtbTNWjW_7ia1xPh9TxXsAqz-CzFUoA&pli=1> [última revisión: 07-11-2011]

García, Luis. (2004). Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de impactos ambientales. Tesis para optar al título de doctor, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. [on line]
<<http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2005-04-01&pag=16>> [última revisión: 04-06-2011]

González Valencia, Juan Esteban. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, enero- junio, 59-70.

Henríquez, J. (2011) Conversaciones personales como Licenciado en Geografía, Universidad de Chile.

Instituto Geográfico Militar de Chile (2010). Atlas Geográfico para la Educación. Santiago, Chile. 216 p.

Ibarra, G. (1995). Memorias del Seminario el GATT-94 y la OMC: perspectivas y retos para el agro colombiano. Cuadernos de desarrollo agrícola, Vol. 1, N° 0. [on line]<http://books.google.cl/books?id=BPEqAAAAYAAJ&pg=PA121&dq=%22dumping+verde%22&hl=es&ei=mhWNTpy0IKfu0gHCx7wu&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=%22ibarra%22&f=alse> [última revisión: 04-06-2011]

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

- IREN – SERPLAC II Región.** Inventario de Recursos Naturales por método de percepción del satélite LANDSAT II Región – Antofagasta. 1976.
- Malczewski, J.(2006).** GIS-based multi-criteria decision analysis: A survey of the literature. En: International Journal of Geographical Information Science Vol. 20, No. 7, Agosto, pp. 703–726.
- Martínez, Z. (2003).** Guías prácticas para situaciones específicas: manejo de riesgos y preparación para respuestas a emergencias mineras. [on line] <<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/0/13040/Lcl1936e.pdf>> [última revisión: 04-09-2011]
- Ministerio del Ambiente del Perú(2010).** Gestión integral y adaptativa recursos ambientales para minimizar vulnerabilidades al cambio climático en microcuencas alto andinas. [on line] <<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/0615566001285086946.pdf>> [última revisión: 04-09-2011]
- Ministerio de Minería de Chile (1996).** *Historia de la minería en Chile*. Santiago de Chile: Comunicación Total Ltda. 421 p.
- Oblassier, A; Chaparro, E. (2008).** Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. Publicación de las Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile.
- Pérez, Félix. (2004) Lo que usted debe saber sobre el askarel.** [on line] <<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=729>> [última revisión: 22-11-2011]
- Ponce, R. (2010).** Evaluación de Riesgos y Versión Actualizada del SYSPAM. Encuentro Anual del Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental, SERNAGEOMIN (Documento interno).
- Revista Minería Chilena (2010).** Remediación de sitios contaminados y pasivos: Trabajo Minero de Alto Estándar. Revista minería Chilena, N° 345. Chile, Santiago, volumen Marzo.
- Sánchez, J.F.; Velásquez, S.; Piedra M.; Romero H. (2004).** Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso Hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente. Comunicación Técnica pp.88-95
- Servicio Nacional de Geología y Minería (2007).** Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgos. Santiago, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (2010).** Fiscalización Ambiental. Recuperado el 15 de junio del 2010 [on line]

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

<[http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=124
&Itemid=181](http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=124&Itemid=181)> [última revisión: 15-06-2011]

Servicio Nacional de Geología y Minería (2011). Anuario de la Minería de Chile 2010. Santiago, Chile. 211 p.

Sociedad de Fomento Fabril (2011). Medio Ambiente: Constitución Política de la República de Chile. [on line] <<http://www.sofofa.cl/ambiente/constitucionpolitica.htm>> [última revisión: 05-10-2011].

Villenas, L. (2011). Entrevista de investigación para optar al título de Geógrafa en la Universidad de Chile.

Yupari, Anida. (2003). Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica. En Conferencia Internacional sobre Pasivos Ambientales Mineros. Santiago, Chile. 271 p.

XI. ANEXOS

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Anexo 1: Formulario E-400. SERNAGEOMIN, 2011.

FORMULARIO E-400 FAENAS MINERAS

A Identificación de la Empresa
 (Rut Empresa) (Nombre Empresa)

B Identificación del Titular (Nombre)
 (Rut) (Fono/Fax) (e-mail)

C Identificación de la Faena (Nombre Faena)
 (UTM) Norte Este Cota (m) Ubicación física punto de referencia
 (Zona Minería) Nombre Número
 (Evaluación Ambiental) Ingresó al SEIA No ingresó al SEIA Ingreso Parcial al SEIA

D Tipo de Minería Metálica No Metálica Combustibles

E Tipo de Sustancia (Principal) Oro Cobre Plata Yodo Boratos Nitratos Carbón Otros
 (Secundaria) Oro Cobre Plata Yodo Boratos Nitratos Otros

F Situación de la Faena Prospección Desarrollo Operación
 Activa total Activa parcial Paralizada Cerrada Abandonada desde qué año
 Comentario

G Mapas y Documentos Relacionados No hay Hay >>> Anexo 1 junto con la faena cercana N°

H Identificación de las Instalaciones (Unidad de Evaluación) Todas las pasivas Una parte de las pasivas
 (Croquis) >>> Anexo 2 Número de evaluación

(Mina) (Tipo) 1: Rajo abierto 2: Subterránea 3: Superficial
 Tamaño del rajo (m)

Nombre de la Mina	Comuna	Tipo	UTM Norte	UTM Este	Cota (m)	Tipo Yacimiento	Ancho	Largo	Profund.
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									

 Comentario Coordenadas Centrales (sector planta)

(Planta)

Nombre de la Planta	Comuna	UTM Norte	UTM Este	Cota (m)
<input type="text"/>				

 Procesos Chancado Molienda Flotación Lixiviación S.X.E.W Precipitación Fusión/Conversión
 Incluidos Refinación Lavadero Tostación Cianuración Amalgamación Otros
 Comentario Quebrada de Casilla

(Depósito de Residuos) (Tipo) 1: Desmonte / estéril 2: Relaves 3: Ripio de lixiviación 4: Piscina evaporación
 5: Escoria 6: Residuos industriales 7: Otros acopios
 Tamaño del residuo (m)

Nombre del Depósito	Comuna	Tipo	UTM Norte	UTM Este	Cota (m)	Ancho	Largo	Alt	Comentario
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									
<input type="text"/>									

 Comentario Minerales de pirita y calcopirita

I Uso de Sustancias Riesgos Mercurio Cianuro Ácido sulfúrico Otros Donde

J Evaluación Visual del Inspector Respecto a Residuos Ordenado Esparcido Confinado Otros
 Comentario del lugar:

K Accesibilidad a las Faenas Mineras Accesible por vehículo Accesible Parcialmente Inaccesible

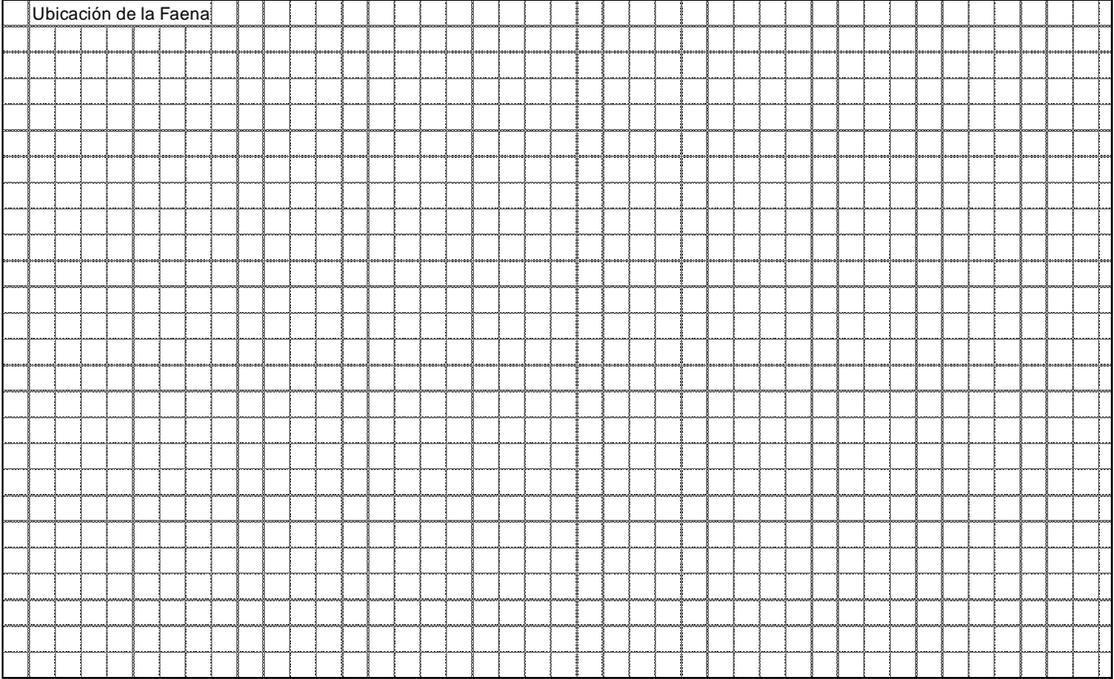
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Anexo 2 N° Faena _____

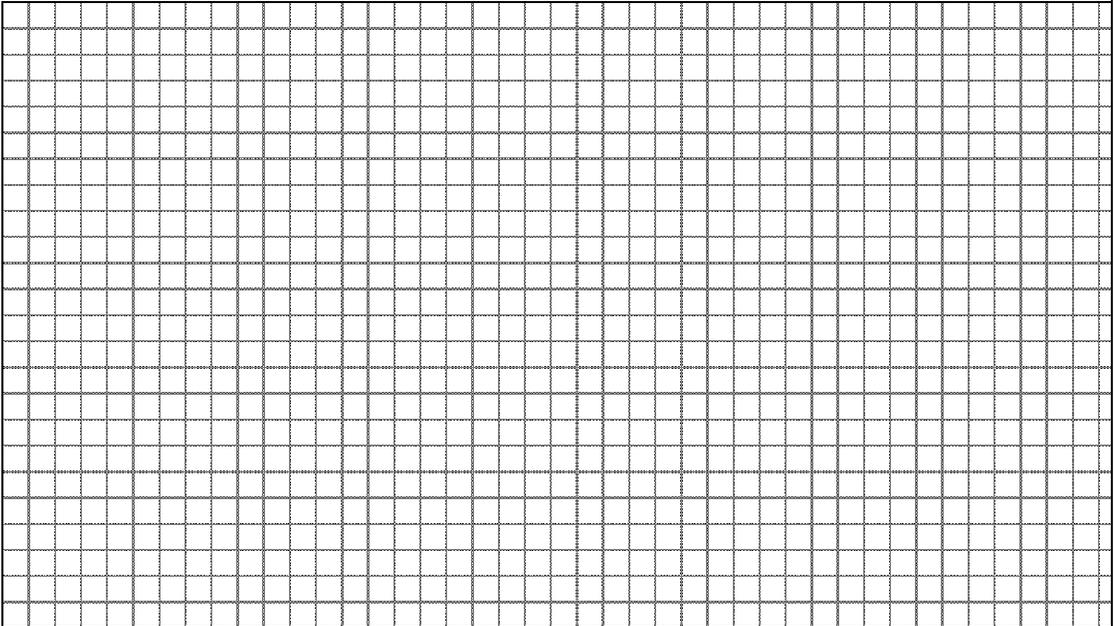
Croquis del Faena Minera

Ubicación de la Faena



Simbología ejemplo

 Pozo	 Casa	 Industria	 Río	 Bosque	 Áreas agrícolas y/o ganaderas
--	--	---	---	--	---



**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Anexo 2 : Matriz de entrevista a expertos.

CRITERIOS PARA DETERMINAR ÁREAS DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FAENAS MINERAS ABANDONADAS/PARALIZADAS (FMA/P)

Entrevista para grupo de expertos - Licenciada Maira Figueroa Vera

La presente entrevista se enmarca dentro de la memoria de título para optar al grado de Geógrafa, denominada “Evaluación Preliminar de Riesgos Medioambientales de Faenas Mineras Abandonadas/Paralizadas mediante SIG en la II Región de Antofagasta, Chile.” Su objetivo es alcanzar resultados territoriales que permitan, mediante un Análisis Multicriterio, desarrollar una metodología complementaria a la evaluación efectuada por SERNAGEOMIN, mediante la que se posibilite la integración de la información recopilada en el catastro preliminar de FMA/P con un Sistema de Información Geográfico (SIG).

A continuación se presenta la matriz de factores a considerar en el análisis de riesgos, los cuales fueron seleccionados en base a la revisión bibliográfica y una entrevista semi-estructurada elaborada con el apoyo de un grupo de expertos, con la intención de que usted pueda valorarlos según una escala de evaluación llamada “Saaty”, que se muestra más adelante.

Dichos criterios deben ser evaluados según su nivel de importancia en función de sus conocimientos, preferencias y experiencias propias, para posteriormente ser integrados en ArcGIS.

La metodología de asignación de importancia a los criterios consiste en una matriz de comparación de valores asignados en pares (comparaciones binarias), es decir, se requiere que usted emita un juicio sobre la importancia relativa de un criterio por sobre el otro.

La escala Saaty le permite a usted expresar verbalmente sus preferencias entre dos elementos y representar estas preferencias descriptivas mediante valores numéricos (que fluctúan entre 1 y 9). Así, cuando dos elementos son “igualmente importantes o

ESCALA DE MEDIDAS DE SAATY		
Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente a otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

Instrucciones: En la siguiente tabla usted deberá expresar un juicio respecto de la importancia/influencia de las variables de cada columna por sobre las variables de las filas. Complete cada casilla asignando un valor numérico de acuerdo a la escala Saaty.

Ejemplo: Columna A sobre Fila 2:

- **Pregunta:** ¿La distancia a caminos habilitados cuánto más importante es para evaluar el riesgo de una FMA/P que la distancia a centros poblados?
- **Acción:** Revisando la escala de medidas de Saaty, responda de acuerdo a sus conocimientos, experiencias y juicios personales.
- **Respuesta:** «1»: La distancia a caminos habilitados y la distancia a centros poblados revisten una misma importancia para el cumplimiento del objetivo.

		Columna A	Columna B	Columna C	Columna D	Columna E	Columna F	Columna G	Columna H	Columna I	Columna J	Columna k
	CRITERIOS	Distancia a aguas superficiales/subterráneas	Distancia a áreas agrícolas y ganaderas	Distancia a áreas silvestres protegidas	Distancia a vegetación	Distancia a caminos habilitados	Distancia a centros Poblados	Precipitación	Sismicidad	Tipo de suelo	Valor paisajístico	Vientos regionales
Fila 1	Distancia a aguas superficiales/subterráneas	1										
Fila 2	Distancia a áreas agrícolas y ganaderas		1									
Fila 3	Distancia a áreas silvestres protegidas			1								
Fila 4	Distancia a vegetación				1							
Fila 5	Distancia a caminos habilitados					1						
Fila 6	Distancia a centros poblados						1					
Fila 7	Precipitación							1				
Fila 8	Sismicidad								1			
Fila 9	Tipo de suelo									1		
Fila 10	Valor Paisajístico										1	
Fila 11	Vientos regionales											1

Si usted lo considera relevante, puede argumentar brevemente alguna de sus respuestas:

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Anexo 3: Nivel de riesgo de FMA/P según elemento ambiental analizado.

Nombre FMA/P	Nivel de riesgo Formulario E-400		Nivel de riesgo FMA/P para elementos ambientales									
	Vida y Salud	Rec. Naturales	Vulnerabilidad del agua	Áreas agrícolas/ganaderas	Áreas silvestres protegidas	Vegetación	Rutas de acceso	Centros Poblados	Precipitación	Sismicidad (fallas)	Erodabilidad	Valor paisajístico
PLANTA GASEODUCTO II	0	0	1	2	5	1	1	1	5	5	4	5
PLANTA GASEODUCTO I	0	0	1	2	5	1	1	1	5	5	4	5
PLANTA CERRO LA CRUZ	0	1	1	2	5	1	2	1	5	5	4	5
PLANTA LIXIVIACION FINCA GONZA	0	4	2	2	5	1	2	1	5	5	4	5
QUETENA	0	2	2	3	5	1	3	1	5	1	2	5
TRANQUE SECTOR PUNTA LEQUENA	0	6	2	3	5	1	3	1	5	5	2	5
SALAR DEL CARMEN	3	6	2	4	4	2	1	1	5	5	4	5
INCOMIN S.A.	4	6	2	4	4	2	2	1	5	5	4	5
PLANTA INCOMIN 1	6	4	2	4	4	2	2	1	5	5	4	5
PLANTA SAN IGNACIO	2	3	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
MINERA SIERRA	4	6	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA CARACOLAS	0	0	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA HASSER	6	6	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA KAZAZIAN	6	4	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA ACONCAGUA DOÑA ADA II	4	4	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
MANTOS BLANCOS 1	0	6	2	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA BORO CHILE INTERNACIONAL S.A.	4	0	2	5	5	5	1	1	5	5	5	5
MARIA VICTORIA	0	0	4	5	5	5	1	1	5	5	4	5
PLANTA TRAPICHE TALTAL	0	2	5	1	5	1	1	1	4	5	1	5
PLANTA LADO ENAMI	4	4	5	1	5	1	1	1	4	5	1	5
PLANTA DE COBRE TALTAL	2	0	5	1	5	1	1	1	4	5	1	5

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

PLANTA CARLOS MART-NEZ	6	0	5	1	5	1	1	1	4	5	1	5
FAENA TALTAL	6	2	5	1	5	1	1	1	4	5	1	5
PLANTA EL HUESO	9	9	5	1	5	1	2	1	4	5	1	5
PLANTA JOSE ANTONIO MORENO ENAMI TALTAL	6	6	5	1	5	1	2	1	4	5	1	5
FUNDICION JOSE ANTONIO MORENO	2	0	5	2	5	1	1	1	5	5	3	5
SIERRA MIRANDA SCM	0	0	5	5	5	5	2	1	5	5	4	5
MINA ACONCAGUA	0	4	5	5	5	5	2	1	5	5	4	5
PLANTA JOSE FERNANDEZ VEGA	0	0	1	4	5	1	1	2	5	5	4	5
PLANTA SOEXSU LTDA.	0	3	2	5	5	4	1	2	5	5	4	5
PLANTA BORO CHILE S.A.	0	0	2	5	5	5	1	2	5	5	4	5
MINA ILUSION	1	0	4	1	5	1	1	2	4	5	1	5
LA SALVACION	0	0	4	3	5	1	2	2	4	5	4	5
MONTECRISTO	0	0	5	1	5	1	1	2	4	5	1	5
MINA ELIANA 21	0	0	5	5	5	5	2	2	5	5	4	5
PLANTA JULIA	0	0	5	5	5	1	1	4	5	5	2	5
PLANTA SIMIN	0	0	2	5	5	5	1	5	5	5	4	5
PLANTA CIMIN	0	0	2	5	5	5	1	5	5	5	4	5
PLANTA ULEXITA	0	0	2	5	5	5	2	5	5	5	4	5
PLANTA TRAPICHES	2	4	4	4	5	1	2	5	5	5	4	5
MINA BUEN ESPERANZA	0	0	4	5	5	1	1	5	4	5	1	5
MINA EL LIMON	0	0	4	5	5	1	2	5	5	5	4	5
MINA TERESA	0	0	4	5	5	1	2	5	5	5	4	5
MINA BUENOS AIRES	2	0	4	5	5	3	3	5	5	5	4	5
LAGARTIJA	0	0	5	1	5	1	1	5	4	5	1	5
TRANQUE ABANDONADO	6	0	5	1	5	1	1	5	4	5	1	5
FLOR I	0	0	5	1	5	1	2	5	4	5	1	5
FLOR DE LA SUERTE II	0	0	5	1	5	1	2	5	4	5	1	5

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

LA FLOR DE LA SUERTE 2	0	0	5	1	5	1	2	5	4	5	1	5
FLOR 1	0	0	5	1	5	1	2	5	4	5	1	5
MINA CALETA EL TIGRILLO	0	0	5	1	3	1	2	5	5	5	3	5
MINA LA BANDERA	0	0	5	1	5	2	2	5	4	5	1	5
BOLIVIA 2	0	5	5	2	5	1	1	5	4	5	1	5
MINA SAN PEDRO	0	0	5	2	5	1	1	5	4	5	1	5
PLANTA SANTA MONICA	0	3	5	2	5	1	1	5	4	5	1	5
PLANTA DE CHANCADO Y FLOTACIÉN	6	6	5	2	5	1	1	5	4	5	1	5
PLANTA FRENTE MANTOS DE LA LUNA	3	9	5	2	5	1	1	5	5	5	1	5
PLANTA BENEFICIOS DE MINERALES MANUEL RODR-GUEZ	6	0	5	2	5	1	2	5	5	5	4	5
MINA ARGENTINA	0	0	5	2	5	2	1	5	4	5	1	5
RIQUEZA	0	0	5	2	5	2	2	5	4	5	1	5
DOS DE MAYO	0	0	5	2	5	2	2	5	4	5	1	5
PLANTA CMT	0	2	5	3	5	1	2	5	4	5	1	5
MINA SORPRESA	0	0	5	3	5	3	2	5	5	5	2	5
CAROLINA DE MICHILLA S.A.	6	6	5	4	5	1	1	5	4	5	4	5
MANTO GIMENA 1 AL 13	0	0	5	4	5	1	2	5	5	5	1	5
EL CONDOR	0	0	5	4	5	2	2	5	5	5	1	5
PLANTA CALETA DEL COBRE	0	0	5	5	5	1	1	5	4	5	1	5
MINA RINCON	0	0	5	5	5	1	2	5	4	5	1	5
PLANTA CALETA PAPOSO	2	2	5	5	5	1	3	5	5	5	1	5
TIRITA	0	0	5	5	5	1	1	5	5	5	4	5
RUINAS	0	0	5	5	5	1	1	5	5	5	4	5
PLANTA DE TOSTACIÉN SOLEDAD	4	0	5	5	5	1	1	5	5	5	4	5
PLANTA CHATAL	0	0	5	5	5	1	1	5	5	5	4	5
MINA GUANACO 1	0	4	5	5	5	1	2	5	5	5	4	5
MINA BRUJULA	0	0	5	5	5	2	2	5	5	5	1	5

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

DESCUBRIDORA I	0	0	5	5	5	2	3	5	5	5	1	5
DESCUBRIDORA II	0	0	5	5	5	2	3	5	5	5	1	5
DESCUBRIDORA III	0	0	5	5	5	2	3	5	5	5	1	5
LOMAS VERDE	0	0	5	5	5	4	1	5	5	5	2	5
MINA ROSADA	0	0	5	5	5	5	2	5	5	5	2	5

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Anexo 4: Listado priorizado de FMA/P según localización y puntaje de riesgos asignado en el Formulario E-400 para ítem contaminación para la vida y salud de las personas.

ID	NOMBRE FMA/P	RIESGO SEGÚN AMC	RIESGO SEGÚN E-400 Contaminación para la Vida y salud
1	PLANTA QUEBRADA EL HUESO	Extremadamente riesgoso	9
2	FAENA TALTAL	Extremadamente riesgoso	6
3	PLANTA CARLOS MART=NEZ	Extremadamente riesgoso	6
4	PLANTA INCOMIN 1	Extremadamente riesgoso	6
5	PLANTA JOSE ANTONIO MORENO ENAMI TALTAL	Extremadamente riesgoso	6
6	INCOMIN S.A.	Extremadamente riesgoso	4
7	PLANTA LADO ENAMI	Extremadamente riesgoso	4
8	SALAR DEL CARMEN	Extremadamente riesgoso	3
9	FUNDICION JOSE ANTONIO MORENO	Extremadamente riesgoso	2
10	PLANTA DE COBRE TALTAL	Extremadamente riesgoso	2
11	PLANTA LIXIVIACION FINCA GONZA	Extremadamente riesgoso	0
12	PLANTA JOSE FERNANDEZ VEGA	Extremadamente riesgoso	0
13	PLANTA GASEODUCTO II	Extremadamente riesgoso	0
14	PLANTA CERRO LA CRUZ	Extremadamente riesgoso	0
15	PLANTA GASEODUCTO I	Extremadamente riesgoso	0
16	PLANTA TRAPICHE TALTAL	Extremadamente riesgoso	0
17	PLANTA KAZAZIAN	Fuertemente riesgoso	6
18	PLANTA HASSER	Fuertemente riesgoso	6
19	PLANTA BORO CHILE INTERNACIONAL S.A.	Fuertemente riesgoso	4
20	MINERA SIERRA	Fuertemente riesgoso	4
21	PLANTA ACONCAGUA DODA ADA II	Fuertemente riesgoso	4
22	PLANTA SAN IGNACIO	Fuertemente riesgoso	2
23	MINA ILUSION	Fuertemente riesgoso	1
24	SIERRA MIRANDA SCM	Fuertemente riesgoso	0
25	PLANTA CARACOLES	Fuertemente riesgoso	0
26	TRANQUE SECTOR PUNTA LEQUENA	Fuertemente riesgoso	0
27	QUETENA	Fuertemente riesgoso	0
28	PLANTA SOEXSU LTDA.	Fuertemente riesgoso	0
29	LA SALVACION	Fuertemente riesgoso	0
30	MANTOS BLANCOS 1	Fuertemente riesgoso	0
31	MONTECRISTO	Fuertemente riesgoso	0

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

32	PLANTA BORO CHILE S.A.	Fuertemente riesgoso	0
33	CAROLINA DE MICHILLA S.A.	Moderadamente riesgoso	6
34	PLANTA DE TOSTACIÉN SOLEDAD	Moderadamente riesgoso	4
35	PLANTA CALETA PAPOSO	Moderadamente riesgoso	2
36	PLANTA TRAPICHES	Moderadamente riesgoso	2
37	PLANTA CMT	Moderadamente riesgoso	0
38	MANTO GIMENA 1 AL 13	Moderadamente riesgoso	0
39	EL CONDOR	Moderadamente riesgoso	0
40	PLANTA SIMIN	Moderadamente riesgoso	0
41	MINA ELIANA 21	Moderadamente riesgoso	0
42	MINA EL LIMON	Moderadamente riesgoso	0
43	MINA SORPRESA	Moderadamente riesgoso	0
44	MINA BRUJULA	Moderadamente riesgoso	0
45	MINA GUANACO 1	Moderadamente riesgoso	0
46	MINA RINCON	Moderadamente riesgoso	0
47	MINA TERESA	Moderadamente riesgoso	0
48	PLANTA CALETA DEL COBRE	Moderadamente riesgoso	0
49	PLANTA CHATAL	Moderadamente riesgoso	0
50	PLANTA CIMIN	Moderadamente riesgoso	0
51	RUINAS	Moderadamente riesgoso	0
52	TIRITA	Moderadamente riesgoso	0
53	TRANQUE ABANDONADO	Levemente riesgoso	6
54	PLANTA BENEFICIOS DE MINERALES MANUEL RODRIGUEZ	Levemente riesgoso	6
55	PLANTA DE CHANCADO Y FLOTACIÉN	Levemente riesgoso	6
56	PLANTA FRENTE MANTOS DE LA LUNA	Levemente riesgoso	3
57	DOS DE MAYO	Levemente riesgoso	0
58	RIQUEZA	Levemente riesgoso	0
59	PLANTA SANTA MONICA	Levemente riesgoso	0
60	MINA SAN PEDRO	Levemente riesgoso	0
61	MINA LA BANDERA	Levemente riesgoso	0
62	MINA ARGENTINA	Levemente riesgoso	0
63	LAGARTIJA	Levemente riesgoso	0
64	FLOR DE LA SUERTE II	Levemente riesgoso	0
65	FLOR I	Levemente riesgoso	0
66	BOLIVIA 2	Levemente riesgoso	0
67	FLOR 1	Levemente riesgoso	0
68	LA FLOR DE LA SUERTE 2	Levemente riesgoso	0
69	MARIA VICTORIA	Levemente riesgoso	0
70	MINA ACONCAGUA	Levemente riesgoso	0

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

71	MINA BUEN ESPERANZA	Levemente riesgoso	0
72	MINA CALETA EL TIGRILLO	Levemente riesgoso	0
73	PLANTA JULIA	Levemente riesgoso	0
74	PLANTA ULEXITA	Levemente riesgoso	0
75	MINA BUENOS AIRES	Sin riesgo	2
76	DESCUBRIDORA III	Sin riesgo	0
77	DESCUBRIDORA II	Sin riesgo	0
78	DESCUBRIDORA I	Sin riesgo	0
79	LOMAS VERDE	Sin riesgo	0
80	MINA ROSADA	Sin riesgo	0

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

Anexo 5: Listado priorizado de FMA/P según localización y puntaje de riesgos asignado en el Formulario E-400 para ítem contaminación para los recursos naturales.

ID	NOMBRE FMA/P	RIESGO SEGÚN AMC	RIESGO SEGÚN E-400 Contaminación para los recursos naturales
1	PLANTA EL HUESO	Extremadamente riesgoso	9
2	PLANTA JOSE ANTONIO MORENO ENAMI TALTAL	Extremadamente riesgoso	6
3	INCOMIN S.A.	Extremadamente riesgoso	6
4	SALAR DEL CARMEN	Extremadamente riesgoso	6
5	PLANTA INCOMIN 1	Extremadamente riesgoso	4
6	PLANTA LADO ENAMI	Extremadamente riesgoso	4
7	PLANTA LIXIVIACION FINCA GONZA	Extremadamente riesgoso	4
8	FAENA TALTAL	Extremadamente riesgoso	2
9	PLANTA TRAPICHE TALTAL	Extremadamente riesgoso	2
10	PLANTA CERRO LA CRUZ	Extremadamente riesgoso	1
11	PLANTA CARLOS MART=NEZ	Extremadamente riesgoso	0
12	FUNDICION JOSE ANTONIO MORENO	Extremadamente riesgoso	0
13	PLANTA DE COBRE TALTAL	Extremadamente riesgoso	0
14	PLANTA GASEODUCTO I	Extremadamente riesgoso	0
15	PLANTA GASEODUCTO II	Extremadamente riesgoso	0
16	PLANTA JOSE FERNANDEZ VEGA	Extremadamente riesgoso	0
17	PLANTA HASSER	Fuertemente riesgoso	6
18	MINERA SIERRA	Fuertemente riesgoso	6
19	MANTOS BLANCOS 1	Fuertemente riesgoso	6
20	TRANQUE SECTOR PUNTA LEQUENA	Fuertemente riesgoso	6
21	PLANTA KAZAZIAN	Fuertemente riesgoso	4
22	PLANTA ACONCAGUA DOÑA ADA II	Fuertemente riesgoso	4
23	PLANTA SAN IGNACIO	Fuertemente riesgoso	3
24	PLANTA SOEXSU LTDA.	Fuertemente riesgoso	3
25	QUETENA	Fuertemente riesgoso	2
26	PLANTA BORO CHILE INTERNACIONAL S.A.	Fuertemente riesgoso	0
27	MINA ILUSION	Fuertemente riesgoso	0
28	LA SALVACION	Fuertemente riesgoso	0
29	MONTECRISTO	Fuertemente riesgoso	0
30	PLANTA BORO CHILE S.A.	Fuertemente riesgoso	0
31	PLANTA CARACOLES	Fuertemente riesgoso	0

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

Maira Figueroa

32	SIERRA MIRANDA SCM	Fuertemente riesgoso	0
33	CAROLINA DE MICHILLA S.A.	Moderadamente riesgoso	6
34	PLANTA TRAPICHES	Moderadamente riesgoso	4
35	MINA GUANACO 1	Moderadamente riesgoso	4
36	PLANTA CALETA PAPOSO	Moderadamente riesgoso	2
37	PLANTA CMT	Moderadamente riesgoso	2
38	PLANTA DE TOSTACIÉN SOLEDAD	Moderadamente riesgoso	0
39	EL CONDOR	Moderadamente riesgoso	0
40	MANTO GIMENA 1 AL 13	Moderadamente riesgoso	0
41	MINA BRUJULA	Moderadamente riesgoso	0
42	MINA EL LIMON	Moderadamente riesgoso	0
43	MINA ELIANA 21	Moderadamente riesgoso	0
44	MINA RINCON	Moderadamente riesgoso	0
45	MINA SORPRESA	Moderadamente riesgoso	0
46	MINA TERESA	Moderadamente riesgoso	0
47	PLANTA CALETA DEL COBRE	Moderadamente riesgoso	0
48	PLANTA CHATAL	Moderadamente riesgoso	0
49	PLANTA CIMIN	Moderadamente riesgoso	0
50	PLANTA SIMIN	Moderadamente riesgoso	0
51	RUINAS	Moderadamente riesgoso	0
52	TIRITA	Moderadamente riesgoso	0
53	PLANTA FRENTE MANTOS DE LA LUNA	Levemente riesgoso	9
54	PLANTA DE CHANCADO Y FLOTACIÉN	Levemente riesgoso	6
55	MINA ACONCAGUA	Levemente riesgoso	4
56	PLANTA SANTA MONICA	Levemente riesgoso	3
57	BOLIVIA 2	Levemente riesgoso	2
58	PLANTA BENEFICIOS DE MINERALES MANUEL RODRIGUEZ	Levemente riesgoso	0
59	TRANQUE ABANDONADO	Levemente riesgoso	0
60	DOS DE MAYO	Levemente riesgoso	0
61	FLOR 1	Levemente riesgoso	0
62	FLOR DE LA SUERTE II	Levemente riesgoso	0
63	FLOR I	Levemente riesgoso	0
64	LA FLOR DE LA SUERTE 2	Levemente riesgoso	0
65	LAGARTIJA	Levemente riesgoso	0
66	MARIA VICTORIA	Levemente riesgoso	0
67	MINA ARGENTINA	Levemente riesgoso	0
68	MINA BUEN ESPERANZA	Levemente riesgoso	0
69	MINA CALETA EL TIGRILLO	Levemente riesgoso	0

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES DE FMA/P
MEDIANTE SIG EN LA SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Maira Figueroa

70	MINA LA BANDERA	Levemente riesgoso	0
71	MINA SAN PEDRO	Levemente riesgoso	0
72	PLANTA JULIA	Levemente riesgoso	0
73	PLANTA ULEXITA	Levemente riesgoso	0
74	RIQUEZA	Levemente riesgoso	0
75	MINA BUENOS AIRES	Sin riesgo	0
76	DESCUBRIDORA I	Sin riesgo	0
77	DESCUBRIDORA II	Sin riesgo	0
78	DESCUBRIDORA III	Sin riesgo	0
79	LOMAS VERDE	Sin riesgo	0
80	MINA ROSADA	Sin riesgo	0