



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

**EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL DEL TRANQUE
DE RELAVE LAS TÓRTOLAS UBICADO EN LA COMUNA
DE COLINA, REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE GEÓGRAFO

Autor

RODRIGO ALEJANDRO CALABRÁN TORO

Profesor Guía

FRANCISCO JOSÉ FERRANDO ACUÑA

**SANTIAGO
2009**

Oración por los suelos

Heredarás tu Santa Tierra como su fiel sirviente, de generación en generación, sus recursos y productividad.

Salvaguardarás tus campos de la erosión de los suelos, de que se sequen tus florestas y aguas vivientes, protegiendo tus colinas del excesivo pastoreo, de modo que tus descendientes puedan disfrutar de eterna abundancia.

Si fallaras en esta servidumbre de La Tierra, tus campos fructíferos se convertirán en campos pedregosos y estériles, en barrancas inaprovechables y tus descendientes disminuirán y vivirán en la pobreza o desaparecerán de la faz de La Tierra.

Walter C. Lowdermilk

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quisiera agradecer a mi Profesor Guía Francisco Ferrando por todo su apoyo, recomendaciones y alcances para que este trabajo llegara a buen puerto.

A mi familia, la cual siempre me apoyó en este proceso.

No puedo dejar de agradecer a todas las personas de ONEMI que me ayudaron y aconsejaron desde el primer día en que llegué a hacer la práctica profesional.

A las personas del Comité del Medio Ambiente de Huertos Familiares, especialmente a don Luís Púa. También me gustaría hacer mención a don Christian Walker de Anglo-American Chile por su buena disposición en la etapa de terreno.

A mis compañeros y amigos de la carrera, especialmente a los de la generación 2003 que me apoyaron y ayudaron durante este largo camino. No está demás agradecer a compañeros de generaciones anteriores y posteriores.

A todos ellos...

Gracias, totales!!!

ÍNDICE

Proemio.....	10
Resumen.....	11
1.- Introducción.....	12
2.- Planteamiento de la problemática y área de estudio.....	14
3.- Hipótesis.....	22
4.- Objetivos.....	22
4.1.- General.....	22
4.2.- Específicos.....	22
5.- Metodología.....	23
5.1.- Marco metodológico general.....	23
5.2.- Metodología canadiense para la caracterización ambiental del tranque de relave	
Las Tórtolas.....	24
5.2.1.- Características de los contaminantes.....	24
5.2.2.- Trayectos de exposición.....	26
5.2.3.- Receptores.....	33
5.2.4.- Puntaje final.....	38
5.3.- Del procesamiento y realización de cartografía.....	39
5.4.- Aspectos conceptuales.....	41
5.4.1.- De los conceptos de riesgo, amenaza y vulnerabilidad.....	41
5.4.2.- Protección civil.....	42
5.4.3.- Impacto ambiental.....	42
5.4.4.- Riesgos.....	43
5.4.5.- Gestión de riesgos.....	44
5.4.6.- Tipos de Riesgos.....	44
5.4.6.1.- Según su origen.....	44
5.4.6.2.- Según su manifestación.....	45
5.4.7.- Riesgos químicos.....	45
5.4.8.- Tranques de relave.....	46
5.4.8.1.- Características generales de la depositación en los tranques de relave.....	46
5.4.8.2.- Riesgos asociados a los tranques de relaves.....	48
5.4.8.3.- Clasificación de los riesgos ambientales asociados a los tranques de relaves.....	48
5.4.8.4.- Manejo del riesgo en tranques de relave.....	55
5.4.9.- Disposiciones legales vigentes.....	56
6.- Desarrollo.....	59
6.1.- Antecedentes históricos de impactos generados por depósitos de relave.....	59
6.1.1.- Casos internacionales.....	59
6.1.1.1.- Mina Smuggler Mountain, Estados Unidos.....	59
6.1.1.2.- Mina Idarado, Estados Unidos.....	60
6.1.1.3.- Mufulira, Zambia.....	60
6.1.1.4.- Arcturus Mine, Zimbabwe.....	61
6.1.1.5.- Mochikoshi, Japón.....	61
6.1.1.6.- Stava, Trento, Italia.....	62
6.1.1.7.- Mina El Cofre, Perú.....	63
6.1.2.- Casos en Chile.....	64
6.1.2.1.- Tranque Barahona.....	65
6.1.2.2.- Bahía de Chañaral.....	65
6.1.2.3.- El Cobre.....	67
6.1.2.4.- Las Cenizas.....	68
6.1.2.5.- Tranque Estay.....	69

6.1.2.6.- Tranque Pérez-Caldera	69
6.1.2.7.- Minera Cobrex	69
6.1.2.8.- Tranque Flamenco	69
6.1.2.9.- Minera Cobrex	69
6.1.2.10.- División Andina CODELCO	70
6.1.2.11.- Minera Las Juntas	70
6.1.2.12.- Minera Cobrex	70
6.1.2.13.- División Chuquicamata CODELCO	72
6.1.2.14.- Cerro Negro	72
6.1.3.- Estado actual de los tranques de relave en Chile	74
6.1.3.1.- Una visión general	74
6.1.3.2.- Historia del yacimiento Los Bronces	75
6.1.3.3.- Expansiones de la empresa Anglo-American	75
6.1.4.- Tranque de relave Las Tórtolas	81
6.1.4.1.- Características del tranque antes de ser construido	81
6.1.5.- Caracterización del área de estudio	84
6.1.5.1.- Geología	84
6.1.5.2.- Geomorfología	84
6.1.5.3.- Clima y meteorología	86
6.1.5.4.- Hidrogeología	88
6.1.5.5.- Hidrología	90
6.1.5.6.- Suelos	91
6.1.5.7.- Vegetación	92
6.1.5.8.- Fauna	93
6.1.5.9.- Paisaje	93
6.1.6.- Aplicación de la Metodología N.C.S.C.S. al tranque de relave Las Tórtolas	94
6.1.6.1.- Características de los contaminantes	94
6.1.6.2.- Trayectos de exposición	95
6.1.6.3.- Receptores	108
6.1.6.4.- Determinación del riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas	117
6.2.- Investigación en terreno	119
6.2.1.- Puntos de muestreo	119
6.2.2.- Tranque de relave Las Tórtolas	120
6.2.3.- Pueblo de Huertos Familiares y sus alrededores	124
6.3.- Discusión de prioridades	127
6.3.1.- Reestructuración del puntaje final	132
6.4.- Elaboración de cartografía	133
6.4.1.- Aplicación del método GOD para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación en el área del tranque de relave Las Tórtolas	136
6.4.2.- Resultados obtenidos a partir de la aplicación del Método GOD	138
6.5.- Conclusiones	140
6.6.- Planificación: Recomendaciones y medidas de mitigación	141
7. Referencias	145
7.1- Bibliografía	145
7.2.- Recursos bibliográficos en línea	150
7.3.- Otros materiales utilizados	157

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Ubicación del tranque de relave Las Tórtolas con respecto al pueblo de Huertos Familiares.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura N° 2: Esquema general de funcionamiento del proceso minero.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura N° 3: Clasificación de sistemas de disposición de relaves.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura N° 4: Riesgo de socavamiento de un tranque de relave.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura N° 5: Riesgo por aumento excesivo del muro.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura N° 6: Ubicación del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura N° 7: Perfil entre el área de la mina Los Bronces y el tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 8: Modelo de terreno entre la mina Los Bronces y el tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 9: Geología del sector del tranque Las Tórtolas y sus alrededores.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura N° 10: Geomorfología del sector del tranque Las Tórtolas y sus alrededores.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura N° 11: Hidrogeología del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura N° 12: Hidrología del sector del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura N° 13: Capacidad de uso de suelo.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura N° 14: Estaciones de monitoreo y toma de muestras.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura N° 15: Pendientes en el sector del tranque Las Tórtolas y alrededores.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura N° 16: Permeabilidad del suelo en el sector del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura N° 17: Plano de inundación del estero Peldehue cerca del tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura N° 18: Proximidad del suministro de agua potable en el pueblo de Huertos Familiares.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura N° 19: Suministro alternativo de agua potable para el pueblo de Huertos Familiares.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura N° 20: Área de recuperación de vegetación nativa, suelos de valor ambiental y ecosistemas naturales en el sector de Huertos Familiares.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura N° 21: Puntos de muestreo en el tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura N° 22: Isointensidad sísmica histórica para el área del tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura N° 23: Calculo de biomasa a través del uso de NDVI (1989).....</i>	<i>130</i>
<i>Figura N° 24: Calculo de biomasa a través del uso de NDVI (1999).....</i>	<i>131</i>
<i>Figura N° 25: Superposición de variables a través del Método GOD.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura N° 26: Vulnerabilidad del acuífero en el sector del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>139</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico N° 1: Aumento de la producción de cobre en Chile para el periodo 1997-2006.....</i>	<i>15</i>
<i>Gráfico N° 2: Precipitaciones medias v/s permeabilidad del suelo.....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfico N° 3: Temperaturas mensuales periodo 2001-2005 para el área Las Tórtolas.....</i>	<i>87</i>
<i>Gráfico N° 4: Velocidad del viento periodo 2001-2005 área Las Tórtolas.....</i>	<i>88</i>
<i>Gráfico N° 5: Depositación histórica de relaves en el tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfico N° 6: Concentración de molibdeno para el pozo PP2.....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfico N° 7: Concentración de sulfatos en el pozo PP2.....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfico N° 8: Concentración de molibdeno para el pozo C-50.....</i>	<i>98</i>
<i>Gráfico N° 9: Concentración de sulfatos para el pozo C-50.....</i>	<i>98</i>
<i>Gráfico N° 10: Niveles de molibdeno medidos en los distintos pozos.....</i>	<i>99</i>
<i>Gráfico N° 11: Precipitaciones v/s permeabilidad en el sector del tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>103</i>
<i>Gráfico N° 12: Rosa de los vientos para el sector de Las Tórtolas (Julio de 2004).....</i>	<i>105</i>
<i>Gráfico N° 13: Concentraciones de MPS según distancias al muro del tranque Las Tórtolas.....</i>	<i>107</i>
<i>Gráfico N° 14: Aves observadas en los alrededores del tranque de relave Las Tórtolas.....</i>	<i>116</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1: Aumento en la producción de cobre en Chile</i>	14
<i>Tabla N° 2: Puntaje asignado al grado de peligrosidad de los contaminantes</i>	25
<i>Tabla N° 3: Puntaje asignado a la cantidad de contaminantes</i>	25
<i>Tabla N° 4: Puntaje asignado al estado físico de los contaminantes.....</i>	25
<i>Tabla N° 5: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación del agua subterránea</i>	26
<i>Tabla N° 6: Puntaje asignado para la contención de contaminantes con respecto al agua subterránea</i>	26
<i>Tabla N° 7: Puntaje asignado al espesor de la capa sobre el acuífero de interés.....</i>	26
<i>Tabla N° 8: Puntaje asignado para la permeabilidad del acuífero</i>	27
<i>Tabla N° 9: Puntaje asignado para las precipitaciones anuales del sitio de interés</i>	27
<i>Tabla N° 10: Puntaje asignado a la conductividad hidráulica del acuífero.....</i>	27
<i>Tabla N° 11: Puntaje asignado para el conocimiento de contaminación del agua superficial</i>	28
<i>Tabla N° 12: Puntaje asignado para la contención de contaminantes con respecto al agua superficial</i>	28
<i>Tabla N° 13: Puntaje asignado a la distancia de los contaminantes con respecto al curso principal de agua superficial.....</i>	28
<i>Tabla N° 14: Puntaje asignado para el rango de pendientes del terreno</i>	29
<i>Tabla N° 15: Comparación de clasificaciones de pendientes.....</i>	29
<i>Tabla N° 16: Reasignación de puntaje para el tipo de pendientes del terreno.....</i>	30
<i>Tabla N° 17: Asignación de puntaje para el potencial de escorrentía.....</i>	31
<i>Tabla N° 18: Asignación de puntaje para el potencial de desbordes del cauce principal.....</i>	31
<i>Tabla N° 19: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación fuera del sitio</i>	31
<i>Tabla N° 20: Puntaje asignado a la emisión de contaminantes a través del aire</i>	32
<i>Tabla N° 21: Puntaje asignado a la accesibilidad al sitio contaminado.....</i>	32
<i>Tabla N° 22: Puntaje asignado a la potencial migración de gases desde el sitio contaminado.....</i>	32
<i>Tabla N° 23: Puntaje asignado al conocimiento de impacto adverso en seres humanos.....</i>	33
<i>Tabla N° 24: Puntaje asignado al conocimiento de impactos en suministro de agua potable</i>	33
<i>Tabla N° 25: Puntaje asignado a la proximidad de suministros alternativos al sitio contaminado</i>	34
<i>Tabla N° 26: Puntaje asignado a la disponibilidad de suministros alternativos de agua</i>	34
<i>Tabla N° 27: Puntaje asignado al conocimiento de impacto en otros recursos de agua</i>	34
<i>Tabla N° 28: Puntaje asignado a la cercanía del recurso hídrico con respecto a diversas actividades humanas.....</i>	35
<i>Tabla N° 29: Puntaje asignado a los distintos tipos de uso del agua</i>	35
<i>Tabla N° 30: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación del suelo usado en diversos tipos de actividades humanas.....</i>	35
<i>Tabla N° 31: Puntaje asignado al potencial de contaminación del suelo usado en diversos tipos de actividades humanas.....</i>	36
<i>Tabla N° 32: Puntaje asignado al conocimiento de impactos en ambientes sensitivos.....</i>	36
<i>Tabla N° 33: Puntaje asignado a la distancia del medio ambiente sensitivo más cercano al sitio contaminado.....</i>	37
<i>Tabla N° 34: Puntaje asignado a la distancia del sitio contaminado con respecto a zonas de carga o descarga de agua subterránea</i>	37
<i>Tabla N° 35: Categorías de riesgo ambiental</i>	38
<i>Tabla N° 36: Cuadro resumen aplicado a los riesgos asociados a los tranques de relave</i>	49
<i>Tabla N° 37: Cuadro resumen de legislación ambiental aplicable a tranques de relave.....</i>	57
<i>Tabla N° 38: Impactos provocados por tranques de relaves a nivel internacional</i>	59
<i>Tabla N° 39: Impactos provocados por depósitos de relave en Chile.....</i>	64
<i>Tabla N° 40: Distribución de los tranques de relave en la Región Metropolitana de Santiago</i>	74
<i>Tabla N° 41: Precipitaciones mensuales periodo 1994-2005 para el área Las Tórtolas.....</i>	87
<i>Tabla N° 42: Concentración de PM-10 para el sector de Las Tórtolas.....</i>	105
<i>Tabla N° 43: Concentración de Material Particulado Sedimentable para el sector Las Tórtolas</i>	106
<i>Tabla N° 44: Concentraciones de metales en Material Particulado Sedimentable (MPS) en el sector Las Tórtolas</i>	106

<i>Tabla N° 45: Densidad de pozos para el área de Huertos Familiares.....</i>	109
<i>Tabla N° 46: Tipo de actividad realizada por las aves al momento del censo</i>	113
<i>Tabla N° 47: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas</i>	114
<i>Tabla N° 48: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas</i>	114
<i>Tabla N° 49: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas</i>	114
<i>Tabla N° 50: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas</i>	114
<i>Tabla N° 51: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas</i>	115
<i>Tabla N° 52: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas</i>	115
<i>Tabla N° 53: Caracterización de riesgo ambiental del tranque Las Tórtolas.....</i>	117
<i>Tabla N° 54: relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad del viento necesaria para lograr su movimiento.</i>	129
<i>Tabla N° 55: Asignación de puntaje para el tipo de acuífero.....</i>	134
<i>Tabla N° 56: asignación de puntaje para el tipo de permeabilidad.....</i>	135
<i>Tabla N° 57: Valores de índices de profundidad.....</i>	135
<i>Tabla N° 58: Rangos de vulnerabilidad del agua subterránea.....</i>	136
<i>Tabla N° 59: Vulnerabilidad del agua subterránea dentro del área de estudio</i>	138

Proemio

28 de marzo de 1965. 12:33 horas. Un terremoto de magnitud Richter 7.6 con epicentro en La Ligua y Petorca se dejó sentir desde Copiapó a Osorno e incluso en Buenos Aires. En varias regiones pensaron en el fin del mundo. Para más de 300 personas del poblado minero de “El Cobre”, lo fue.

El día se convirtió en noche y la tierra comenzó a temblar. Se sintió una fuerte explosión; el polvo ocultó al sol que ese día se mostraba más radiante que nunca. Sus cálidos rayos fueron testigos de una tragedia enorme. Familias enteras fallecían en fracciones de segundos, envueltos en un alud de barro, piedras y residuos minerales de un tranque de relave que cedió ante la fuerza monstruosa de un terremoto.

La avalancha, de diez millones de metros cúbicos de lodo, se dejó caer sobre el sector bajo de “El Cobre” a una velocidad de 40 kilómetros por hora. Un manto tenebroso de entre dos y cinco metros cubrió para siempre el poblado, en una extensión de 11 kilómetros y 500 metros de ancho. Fue la tumba para más de 300 personas. Sólo cerca de 40 cadáveres tuvieron cristiana sepultura en un “Campo Santo”.

FERNANDEZ (2005)

Resumen

La minería es una de las actividades que más contamina y perjudica el medio ambiente. Esto ha provocado grandes daños, ya sea de forma directa o indirecta, en diversas partes del mundo.

En Chile, la minería es la actividad de mayor desarrollo productivo y dinámico, constituyéndose de esta forma en el sector de más influencia en el avance económico del país, siendo el cobre el producto estrella. Pero también esto genera algunas particularidades, tales como que del total de material extraído en una mina metálica, sólo el 2% corresponde al metal deseado, el resto es descartado como diferentes desechos: 50% estériles, 44% relaves y 4% escorias. Esto significa que por cada tonelada de material extraído se obtienen 980 Kg de material de residuo.

Los residuos llamados relaves se depositan en los llamados tranques de relaves, definidos como “aquel depósito de relaves donde el muro de contención es construido con la fracción más gruesa del relave” (MINISTERIO DE MINERÍA, 2007). Estos tranques, a lo largo de la historia, tanto en Chile como en otras partes del mundo, han provocado la muerte de muchas personas inocentes debido al mal funcionamiento o a causas externas, tales como precipitaciones intensas o fuertes movimientos telúricos.

Para el año 1990 en la Región Metropolitana de Santiago se contabilizaban un total de 33 de estas estructuras, siendo el tranque de relave Las Tórtolas uno de los proyectos de mayor envergadura. Este se ubica en la comuna de Colina pero el problema radica en que su funcionamiento estaría afectando a algunos habitantes del pueblo de Huertos Familiares, perteneciente a la comuna de Til-Til pero ubicado a menos de 5 kilómetros de distancia, quienes reclaman por la ampliación del ya mencionado tranque, lo cual traería consigo un empeoramiento de la situación. Para ver si es que esto es efectivamente así, se utiliza de forma general la metodología AIDEP (ONEMI, 2000) y en forma específica se plantea una caracterización ambiental de dicho tranque a través de una metodología canadiense para la clasificación de sitios contaminados (N.C.S.C.S.) y, de esta forma, conocer el nivel de riesgo, obtenido en base a las diferentes situaciones de amenaza y vulnerabilidad.

Dicha caracterización ambiental arroja un resultado de 74,5 puntos, lo que significa que dicho tranque presenta un alto riesgo ambiental. Las variables físicas que tienen una mayor importancia, en primera instancia, son aquellas relacionadas con el agua y el viento. Posterior al análisis de gabinete, se realiza una visita a terreno para corroborar, en la medida de lo posible, los datos obtenidos anteriormente. Luego se realiza la elaboración de cartografía a través del Método GOD (FOSTER & HIRATA, 1991), jerarquizando la zona de estudio en baja, media y alta vulnerabilidad. Finalmente se propone, a modo de planificación, algunas medidas de mitigación para aminorar las consecuencias del funcionamiento de este tranque de relave.

Palabras claves: Minería, Tranque, Relave, Huertos Familiares, Las Tórtolas, Vulnerabilidad, Amenaza, Riesgo, Contaminación, Medio Ambiente.

1.- Introducción

Chile tiene y ha tenido grandes riquezas como la plata, el salitre, el yodo, el litio, además de grandes recursos marinos y forestales, pero ninguna de estas puede llegar siquiera a compararse con la inmensidad que representa el cobre. Este es un metal de característico color rojizo y brillo metálico, elevada conductividad térmica y eléctrica, tenacidad, maleabilidad, es decir la susceptibilidad de ser batido en planchas o láminas, y ductilidad o capacidad de extensión en filamentos, por lo que constituye una importante materia prima para la elaboración de cables, alambres y láminas (SERNAGEOMIN, 2006).

Con sus 742.000 Km², el territorio chileno es, apenas, el 0,5% de la superficie terrestre. Sin embargo, en esta pequeña franja de tierra se encuentra entre el 40% y el 50% de los recursos de cobre económicamente explotables todavía existentes en el mundo (ALCAYAGA, 2005). Esto transforma a Chile en el mayor productor de cobre del planeta, donde se destaca que la producción minera ha aumentado en un 265% desde 1990. De acuerdo con CEPAL (2005) esta actividad económica emplea al 1,2% de la fuerza laboral total del país, convirtiéndose en la industria de mayor desarrollo productivo y dinámico del país, aportando el 8,2% del PIB y el 42% del valor de las exportaciones.

Pero no todo puede ser miel sobre hojuelas. Respecto de esta actividad existen algunas singularidades como es el gran volumen de material litológico removido para la obtención de bajos porcentajes del producto explotado. LÓPEZ *et al.* (2003) señala que “del total de material extraído en una mina metálica, sólo el 2% corresponde al metal deseado. El resto es descartado como diferentes desechos: 50% estériles, 44% relaves y 4% escorias”. VERDUGO (1983) citado en VIERTTEL (2003) es un poco más drástico, señalando que la ley media de las minas chilenas es del orden del 1%, donde se puede deducir que por cada tonelada de roca extraída se obtiene 990 Kg de material de residuo. Precisamente por tales razones es de fundamental importancia que exista preocupación y se desarrollen marcos políticos y legales que tiendan a la sustentabilidad de esta actividad. Todo esto con miras a desarrollar proyectos mineros que no sólo generen grandes beneficios para el inversionista, sino que signifiquen beneficios para la globalidad de actores involucrados, para la comunidad y para el Estado, mirados como entidades que permanecen en el tiempo, trascendiendo a la vida operativa del proyecto minero.

Según lo señalado por LAGOS (1997) los impactos ambientales de la minería pueden llegar a ser particularmente importantes a nivel local, en especial la contaminación atmosférica generada por las fundiciones de cobre, que son las instalaciones de la industria minera que causan un mayor impacto ambiental, la cual, de acuerdo a lo señalado por GINOCCHIO *et al.* (2007) “ha contribuido a aumentar el contenido de cobre de algunos suelos, tanto en zonas urbanas como en áreas agrícolas y silvestres. Por ejemplo, se han registrado contenidos de cobre de hasta 2.000-3.000 Mg/Kg en suelos cercanos a fundiciones y plantas de extracción y procesamiento de minerales. Estos niveles han despertado preocupación debido a los efectos potenciales sobre la producción agrícola y la salud humana”. Esto es reafirmado por GONZÁLEZ (1994) quien señala que la minería es responsable de fuertes aumentos metálicos en la superficie del suelo en áreas vecinas a faenas mineras.

Bajo esta mirada, RAMÍREZ (2000) señala que “hasta hace algunas décadas era común en Chile y en otros países de tradición minera deshacerse de los relaves derivados de las operaciones minero-metalúrgicas, arrojándolos en los lechos de los ríos, lagunas, quebradas, valles o mar más próximo. Cuando en las cercanías de alguna faena no se disponía de estos sectores naturales “tan convenientes”, los empresarios solían acumular los relaves en áreas de contención, que amurallaban con terraplenes levantados con los mismos relaves. Una vez que se agotaba el yacimiento, estos depósitos quedaban abandonados”.

Según ANDÍA y LAGOS (1996) “la historia de la legislación ambiental chilena, en particular la relacionada con la disposición de residuos mineros, no es reciente, pudiendo incluso catalogarse como vanguardista en sus orígenes. La primera legislación ambiental fue la Ley N° 3.133 de 1916 sobre neutralización de los residuos provenientes de establecimientos industriales. Posteriormente, en 1931, se dictó el Código Sanitario, el cual otorgaba amplias facultades a los servicios de salud, entre ellas la de controlar los residuos mineros. Diecisiete años más tarde, en 1948, se aprobó la Ley de Protección a la Agricultura. En ella, el tema del control de los residuos mineros nuevamente se centró en la prohibición de vaciarlos directamente a los cauces. Sólo en 1970 se establece una norma aplicable a la disposición de residuos mineros, más allá del caso puntual de su derrame en los cursos de agua. Esta norma es el Decreto Supremo N° 86 (MINISTERIO DE MINERÍA, 1970), el cual aprueba el Reglamento sobre Construcción y Operación de Tranques de Relave”.

En lo que respecta a la normativa ambiental Chilena (Ley N° 19.300 de bases del medio ambiente), esta, en su Artículo N° 10, señala los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental en cualquiera de sus fases y que deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.). Dentro de esto, en la letra *i* de dicho Artículo se señala a los proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda.

Finalmente, en lo que se refiere a la normativa actual sobre tranques de relaves, el 11/04/07 se publicó en el Diario Oficial el Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves (MINISTERIO DE MINERÍA, 2007), reformulando el antiguo Decreto Supremo N° 86 del año 1970, el cual sólo daba cuenta de la construcción y operación de tranques de relaves, dejando de lado el tema del cierre de estas estructuras.

2.- Planteamiento de la problemática y área de estudio

La minería es el sector más atractivo en el desenvolvimiento de la economía nacional, ya sea por el nivel de las inversiones o el aporte en divisas que genera la exportación de sus productos (MINISTERIO DE MINERIA, S.A.), lo cual puede ser ratificado por AGACINO *et al.* (1998) al señalar que “a través del sector minero y particularmente del cobre, es posible observar parte importante de las relaciones entre la economía chilena como economía nacional y su articulación con la economía mundial”.

De acuerdo con ALCAYAGA (2005), Chile posee entre el 40 y 50% del cobre económicamente explotable que existe en el mundo. Es decir, no es un productor más, sino que la única superpotencia tanto en la producción como en el comercio mundial de cobre.

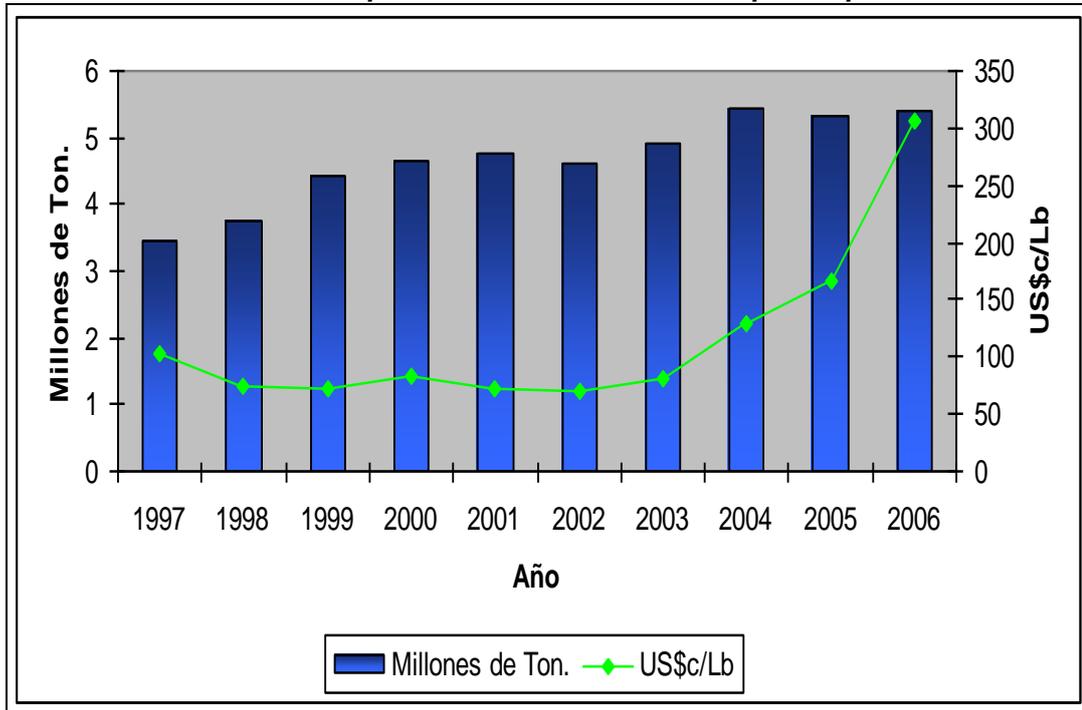
Según cifras entregadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (I.N.E., S.A.) el crecimiento en la producción de cobre en Chile ha aumentado casi un 63% (Tabla Nº 1) durante la última década, lo que, ligado al aumento en el valor de la libra de cobre en el mercado internacional, ha generado grandes ganancias para el país (Gráfico Nº 1).

Tabla Nº 1: Aumento en la producción de cobre en Chile

Año	Millones de Ton.	Total Ton.
1997	3,4	3.438.103
1998	3,8	3.763.994
1999	4,4	4.421.785
2000	4,6	4.646.335
2001	4,8	4.766.062
2002	4,6	4.619.787
2003	4,9	4.909.178
2004	5,4	5.418.800
2005	5,3	5.330.414
2006	5,4	5.381.761

Fuente: I.N.E. (S.A.).

Gráfico N° 1: Aumento de la producción de cobre en Chile para el periodo 1997-2006



Fuente: I.N.E. (S.A.).

Pero como todas las cosas, todo esto también tiene un lado menos amable. DINTRANS y BASTIDAS (1991) señalan que toda acción que se desarrolle en nuestro planeta, tendiente a la explotación de algún recurso natural, traerá consigo irremediablemente una alteración del ecosistema involucrado. Lo importante es tener una conciencia ecológica, de modo de lograr que estos efectos sean lo menos perjudiciales posibles, tomando las medidas preventivas y mitigadoras correspondientes. Siguiendo la misma línea, el Centro de Investigación Minero y Metalúrgico (CIMM, 2005) menciona que es necesario hacer referencia a la imagen negativa que posee la comunidad con respecto a la minería, actividad que es considerada como un generador de impactos, la mayoría de las veces perjudiciales, hacia el medio ambiente y la salud de las personas.

Con respecto a la minería, y más específicamente a las plantas de la gran minería, PALMA *et al.* (2007) menciona que estas producen más de 15.000 ton/día, pudiendo generar más de 110.000 ton/día, derivándose de este proceso una gran cantidad de desechos. Según lo señalado por ESPINACE *et al.* (2006) los relaves son residuos producidos en el proceso de flotación de minerales, constituidos fundamentalmente por el mismo material del yacimiento al cual se le ha extraído la fracción mineral. Antiguamente estos residuos eran depositados directamente a los ríos, quebradas o el mar, lo que ocasionó efectos negativos en los ecosistemas; actualmente, se almacenan en tranques de relave.

BORREGAARD (2001) señala que la mayoría de estos materiales no pueden ser reprocesados ni reutilizados en el proceso productivo, se depositan en los llamados tranques de relave, definido, según el MINISTERIO DE MINERIA (2007) como “aquel depósito de relaves donde el muro de contención es construido con la

fracción más gruesa del relave (arenas)”, las cuales deben ser estructuras seguras, estables en el tiempo y no producir afecciones al ambiente y la salud pública en su área de influencia. Con respecto a los otros tipos de desechos generados, el INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS (2005) señala que las escorias son desechos que se producen durante la etapa de fundición de los concentrados de cobre. Se caracterizan porque fijan el Fe (hierro) y otros metales presentes en el concentrado, mediante la generación de compuestos estables con el sílice que se utiliza como fundente. En lo que respecta a los estériles, estos incluyen aquellos materiales que solo han sido removidos del yacimiento y que en ningún momento han entrado al proceso de beneficio. Estos desechos provienen de todos aquellos sectores del yacimiento cuyo contenido de mineral valioso es muy bajo para hacer atractivo su recuperación, pero que de todas maneras es necesario remover para poder acceder a zonas más ricas del mismo. Este tipo de residuo se conoce como estéril o lastre. El estéril una vez removido del yacimiento se dispone formando las características “tortas” de estéril que rodean los yacimientos mineros.

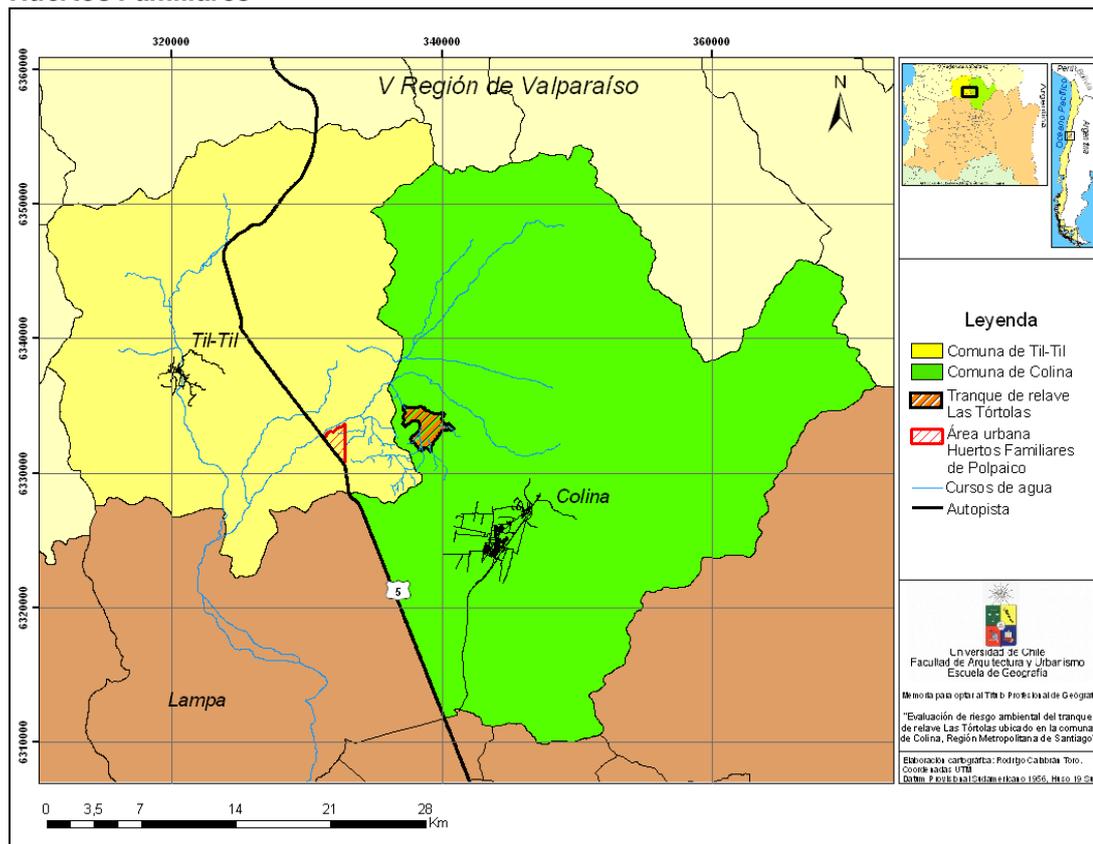
Profundizando un poco más en lo referente a los tranques de relave, estos son generadores de grandes impactos, donde, CEPAL (2005) señala que si un tranque de relave se rompe, el derrame puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas, destruir los cultivos y constituir una amenaza para la vida humana. RAMIREZ (2000) señala que otros efectos pueden ser la contaminación de suelos por arrastre de relaves y la contaminación del aire por sólidos en suspensión. Es por lo tanto importante identificar previamente los potenciales riesgos ambientales. Estos riesgos, además de estar determinados por las características propias de los residuos, dependen fuertemente de las condiciones ambientales existentes en el lugar de disposición, en particular de todos los factores climáticos y geológicos que determinan la circulación de aguas superficiales y subterráneas (MARINKOVIC, 2002).

En concordancia con lo anterior, en la Región Metropolitana de Santiago, en 1990 se contabilizaban 33 tranques de relaves en proyecto, construcción, operación o abandonados, siendo la provincia de Chacabuco la que más alberga este tipo de estructuras, con un total de 15 (SERNAGEOMIN, 1990).

Uno de los proyectos de mayor envergadura dentro de la provincia de Chacabuco es el tranque de relave Las Tórtolas, el cual se ubica en la comuna de Colina (Figura N° 1). Este procesa un promedio de 75.425 toneladas de desechos diarios. El problema radica en que su funcionamiento está, posiblemente, afectando al entorno inmediato. Sólo por mencionar un caso: El pueblo de Huertos Familiares, perteneciente a la comuna de Til-Til, sería un lugar que estaría siendo afectado negativamente, donde la COMISIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE HUERTOS FAMILIARES (S.A.) señala que “una de nuestras grandes preocupaciones, además del tema de la contaminación, es la posibilidad de un inminente derrumbe de los muros de contención de dicho gigantesco tranque. No somos geólogos, sin embargo, por lógica básica sabemos que nuestro país es altamente sísmico y que en cualquier momento por un desastre natural llámese terremotos, aluviones, etc. nuestra localidad podría desaparecer bajo miles de litros de agua y con ello las vidas de nuestras familias”.

La presentación de un Estudio de Impacto Ambiental para la ampliación de su capacidad es un tira y afloja constante entre los vecinos de Huertos Familiares y Anglo-American Chile, debido a las potenciales externalidades negativas emanadas de esta estructura. Es por este motivo que se plantea una caracterización ambiental de dicho tranque con el fin de tener algún indicador de carácter objetivo que pueda afirmar o refutar dicha controversia.

Figura N° 1: Ubicación del tranque de relave Las Tórtolas con respecto al pueblo de Huertos Familiares



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

De acuerdo con la CAMARA DE DIPUTADOS (2006) ante el Estudio de Impacto Ambiental para la ampliación de dicho tranque, uno de los parlamentarios señaló que “se trata de un proyecto que, por sus características, ha estado sometido a los respectivos estudios de impacto ambiental. Sin embargo, siento el deber de manifestar una vez más la profunda preocupación y, en muchos casos, el rechazo que genera en la comunidad la ampliación de ese proyecto, que origina una nueva fuente de incertidumbre sobre lo que ocurrirá”. El Diputado se mostró preocupado por la calidad de las aguas y por la posible infiltración en las napas freáticas, que son fuentes de riego para un importante sector de la agricultura; la calidad del aire y la emisión de material particulado; y por la pérdida de calidad de los suelos. “Desconozco si el estudio de impacto ambiental considera la adopción de medidas precautorias respecto de esas aguas ante el posible depósito de dichos materiales”, indicó.

Siguiendo la misma línea, el Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA, 1997) señala que pueden aparecer ciertas implicancias o impactos ambientales provocados por estas estructuras, las cuales son:

- *Aire*: Emisión de material particulado y compuestos volátiles contenidos en el relave.
- *Suelo*: Ocupación y enterramiento de grandes superficies de suelo bajo potentes espesores de material estéril. Alteración del paisaje, de la cubierta vegetal y de la forma del terreno.
- *Agua*: Infiltración de aguas contaminadas hacia napas subterráneas por filtraciones en geomembranas. Derrame y vertido hacia cursos superficiales por rotura, rebalse o colapso del tranque.

También se debe considerar el medio ambiente construido ante el eventual colapso de estos tranques de relave. De acuerdo con esto, ORREGO (2002) señala que “se constata que el histórico liderazgo y peso económico de la minería en el país, ha llevado a que se institucionalice y legalice una política sumamente liberal respecto de la regulación de este sector. Esto incluye una suerte de “laissez faire” sobre sus impactos ambientales, al punto que nada se sabe sobre los efectos de cientos de tranques de relaves existentes en el país, en particular sobre las aguas subterráneas”.

En este sentido, y en base a los antecedentes anteriormente mencionados, el tranque de relave Las Tórtolas surge como una amenaza de origen antrópico y que tiene una manifestación de lento desarrollo, encontrándose el pueblo de Huertos Familiares, potencialmente en riesgo debido a la cercanía al tranque, donde la vulnerabilidad se concibe como un factor interno de riesgo de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a perder el equilibrio o ser dañado. Las fotos 1A, 1B y 1C muestran, en primera instancia, el área de estudio antes de la construcción de dicho tranque, posteriormente se observa el lugar el mismo lugar pero 10 años después, finalmente se muestra el área en la actualidad.

Foto N° 1A: Área de estudio en el año 1989



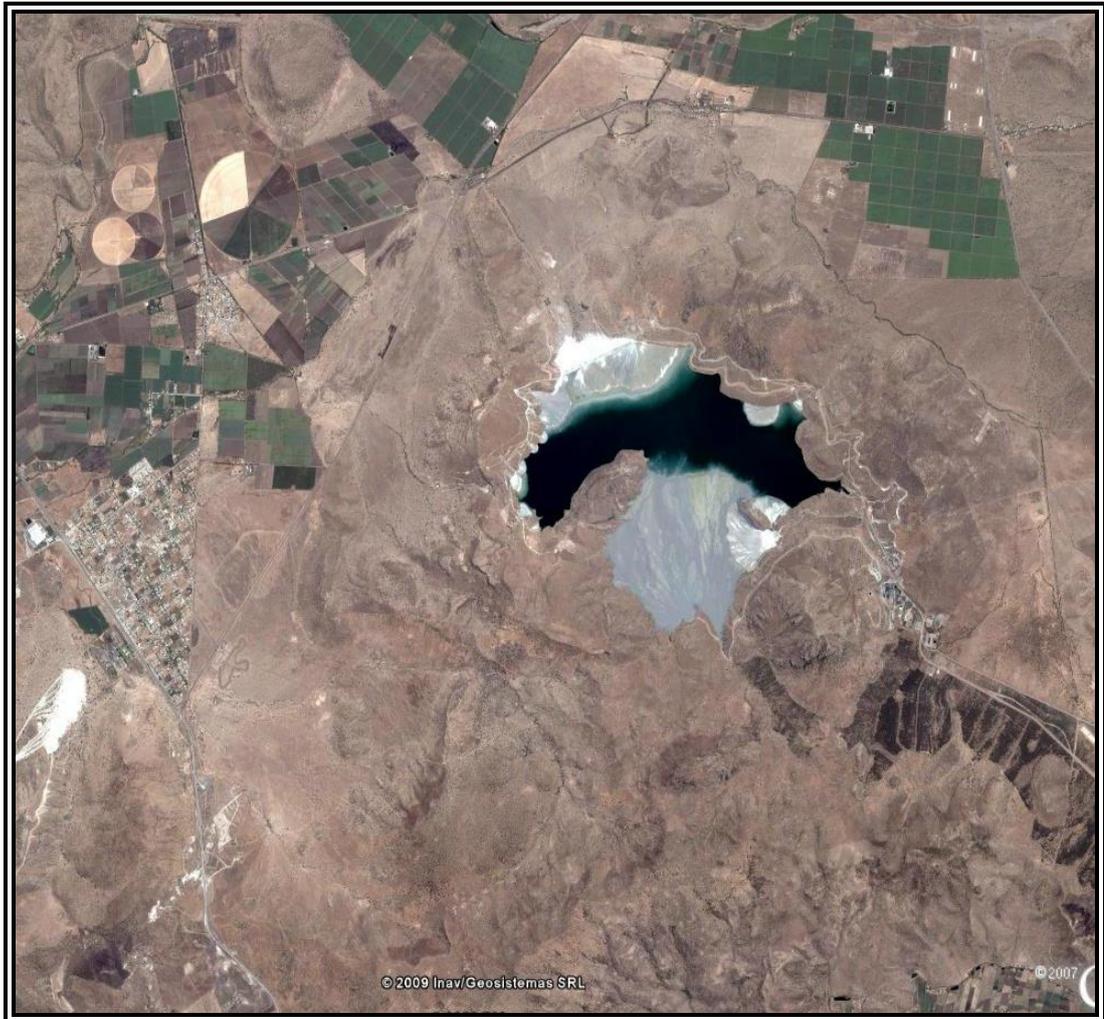
Fuente: Imagen Landsat TM, 17-03-1989.

Foto N° 1B: Área de estudio en el año 1999



Fuente: Imagen Landsat ETM+, 26-12-1999.

Foto N° 1C: Área de estudio en el año 2008



Fuente: Software Google Earth, 2008.

3.- Hipótesis

CORVALÁN (1999) señala que “hoy, una actividad minera tradicional de pequeña escala es reemplazada por una actividad minera donde el tamaño y la tecnología utilizada marcan la diferencia no sólo en los beneficios económicos, sino también en el impacto ambiental que genera”. Siguiendo la misma línea, CORVALÁN (2000) agrega que “uno de estos riesgos son los tranques de relave construidos por las empresas mineras, los cuales representan en la mayoría de los casos una alerta para las comunidades que se encuentran próximas a sus instalaciones, teniendo en cuenta que dicha proximidad se conjuga con la localización aguas arriba de una quebrada, alterando en forma drástica la vida de los grupos humanos emplazados en el área”. Por lo tanto, de lo anterior se puede desprender lo siguiente:

- *“Al ser uno de los proyectos de residuos mineros más grandes de la Región Metropolitana de Santiago, el tranque de relave Las Tórtolas puede tener un alto riesgo ambiental. Por consiguiente se puede inferir que este sería una fuente de contaminación que alteraría en forma negativa el entorno, lo que sumado al proyecto de ampliación, agravaría la situación actual”.*

4.- Objetivos

4.1.- General

- Realizar una caracterización del tranque de relave Las Tórtolas, ubicado en la comuna de Colina, según riesgo ambiental.

4.2.- Específicos

- Describir y caracterizar los contaminantes presentes en el tranque de relave Las Tórtolas.
- Identificar el potencial de migración de contaminantes del tranque de relave Las Tórtolas.
- Identificar los posibles receptores de los contaminantes emitidos por el tranque de relave Las Tórtolas.
- Proponer algunas alternativas de mitigación, reparación o compensación dentro de los sectores más afectados en el caso que fuese necesario.

5.- Metodología

En este contexto, la investigación tiene un marco metodológico referencial general. En lo específico se desarrolla mediante la aplicación de la metodología canadiense para la clasificación de sitios contaminados.

5.1.- Marco metodológico general

El estudio de “*Evaluación de riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas, ubicado en la comuna de Colina, Región Metropolitana de Santiago*” se enfoca a través de la metodología AIDEP, diseñada por ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior de Chile). Esta tiene como finalidad el facilitar los procesos locales de microzonificación de riesgos y recursos para el diseño de planes de protección y seguridad (ONEMI, S.A.). Dentro de esta se enmarcan las siguientes etapas:

1. **Análisis histórico:** Etapa que impulsa a preguntarse ¿Qué nos ha pasado? Las respuestas sobre eventos destructivos (accidentes, emergencias o desastres) que hayan afectado a una comunidad específica en el pasado, pueden ser encontradas en los registros policiales, en las estadísticas emanadas de la aplicación del Plan Dedo\$ (Sistema de evaluación de daños y necesidades en situaciones de emergencia o desastre) y, por sobre todo, en la memoria histórica de los propios habitantes del área investigada.
2. **Investigación empírica o en terreno:** Esta etapa está destinada a relacionar las condiciones que generaron o agravaron los eventos destructivos en el pasado, con la realidad actual, para determinar si pudieran ocurrir nuevamente tales hechos, o las condiciones se han modificado. Es aquí donde la investigación debe ser nutrida por estudios técnicos y científicos que puedan aportar organismos especializados, a través de la coordinación de la Municipalidad, Gobernación y/o Intendencia respectiva.
3. **Discusión de prioridades:** Una vez concluido el análisis histórico y la relación de las condiciones advertidas con las actuales, se deberán determinar aquellos riesgos aún presentes. Con tales antecedentes, el comité debe discutir (vale decir, evaluar participativamente y relacionar distintas opiniones a fin de establecer consensos), respecto de cuales riesgos serán abordados prioritariamente, para evitar la ocurrencia de una nueva emergencia o para aminorar los impactos si esta se produce. Resulta pertinente cuestionarse en esta etapa que resulta más urgente y fundamental para la comunidad:
 - ✓ Los riesgos que permanentemente generan accidentes y emergencias de menor impacto, pero que por su recurrencia van provocando un deterioro continuo en las condiciones de seguridad en esa área, o...
 - ✓ Los riesgos que muy esporádicamente provocan una emergencia o desastre, pero que cuando ello ocurre, se producen amplios y graves impactos en áreas mucho más extensas.

4. **Elaboración de la cartografía:** Concluidas las etapas anteriores, se elabora una cartografía (mapa, plano o croquis), señalizando los riesgos detectados, con distinción de prioridad. En esta cartografía también se señalizan los recursos detectados. El objetivo es elaborar una suerte de “**fotografía**” de la realidad. No se pretende una obra de arte o una pieza tecnicada, sino un instrumento de visualización sencillo, autoexplicativo.
5. **Planificación:** Los riesgos detectados y los recursos disponibles para enfrentarlos son la base sustantiva del soporte informativo del Plan Integral de Protección y Seguridad del área. En esta planificación se consultan acciones de Prevención, Mitigación, Preparación, Respuesta (con los respectivos sistemas de Alerta y Alarma), de Rehabilitación y Reconstrucción, en caso de ocurrir eventos destructivos. Tales acciones son las que conforman el ciclo metodológico para el Manejo de Riesgos, en función de una mejor calidad de vida de las personas, como factor del desarrollo sostenible.

5.2.- Metodología canadiense para la caracterización ambiental del tranque de relave Las Tórtolas

GUEVARA (1999) señala que en Canadá, el *CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME, 1992)* a través de su *National Contaminated Sites Remediation Program* creó un sistema de clasificación para sitios contaminados llamado *National Classification System For Contaminated Sites (NCSCS)* para evaluarlos de acuerdo a su potencial impacto sobre el ser humano y el medio ambiente. Realiza una evaluación comparable de sitios contaminados en dicho país a través de puntajes asociados a las diversas variables consideradas. El máximo puntaje asociado al sitio es de 100 puntos, los cuales se dividen en tres categorías de 33, 33 y 34 puntos, cada una correspondiente a:

1. Característica de los contaminantes
2. Trayectos de exposición
3. Receptores

El puntaje final se obtiene de la suma de los puntajes en las etapas de caracterización de las tres categorías, lo cual genera distintas clases, logrando una clasificación y priorización general de sitios contaminados, con el objeto de adoptar la mejor acción sobre estos.

A continuación pasan a detallarse cada una de las tres categorías

5.2.1.- Características de los contaminantes

- A. **Grado de peligrosidad:** Está dado por el tipo de contaminantes y la concentración de estos. Según esta metodología, los contaminantes de alta preocupación son desechos radiactivos, desechos hospitalarios y de laboratorios, solventes químicos y pesticidas. Los de mediana preocupación son aquellos tales como desechos municipales, desechos de comidas y residuos mineros. Los de baja preocupación son materiales de construcción tales como desechos de maderas, metales y áridos. La Tabla N° 2 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 2: Puntaje asignado al grado de peligrosidad de los contaminantes

Criterio	Puntaje
Contaminante de alta preocupación y alta concentración	14
Contaminante de alta preocupación y baja concentración	11
Contaminante de mediana preocupación y alta concentración	8
Contaminante de mediana preocupación y baja concentración	5
Contaminante de baja preocupación	3

Fuente: CCME (1992).

- B. Cantidad de contaminantes: Se debe estimar o medir el área o cantidad de contaminación potencial. La Tabla Nº 3 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 3: Puntaje asignado a la cantidad de contaminantes

Criterio	Puntaje
> 10 Has o > 1.000 m ³	10
2 - 10 Has o 100 - 1.000 m ³	6
< 2 Has o < 100 m ³	2

Fuente: CCME (1992).

- C. Estado físico de los contaminantes: Se debe determinar el estado de los contaminantes cuando fueron dispuestos o depositados. La Tabla Nº 4 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 4: Puntaje asignado al estado físico de los contaminantes

Criterio	Puntaje
Líquido / gas	9
Pulpa	7
Sólido	3

Fuente: CCME (1992).

- D. Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +6 y -6 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

5.2.2.- Trayectos de exposición

A. Agua subterránea

1. Conocimiento de contaminación: Se debe revisar los datos químicos de la calidad del agua subterránea o estudios relacionados. La Tabla N° 5 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 5: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación del agua subterránea

Criterio	Puntaje
Si el agua subterránea excede las normas o si existe conocimiento de contacto de los contaminantes con el agua subterránea	11
Si existe un juicio profesional de posible contacto de los contaminantes con agua subterránea	6
Si el agua subterránea cumple con las normas de calidad	0

Fuente: CCME (1992).

2. Potencial de contaminación

- i. Contención: Se debe revisar la información respecto a los sistemas y obras existentes para relacionarlas con la hidrogeología del lugar. La Tabla N° 6 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 6: Puntaje asignado para la contención de contaminantes con respecto al agua subterránea

Criterio	Puntaje
No existe contención	4
Contención parcial	2
Contención total	0

Fuente: CCME (1992).

- ii. Espesor de la capa sobre el acuífero de interés: A través de información geológica o de informes relacionados se debe estimar el espesor de la capa de suelo sobre el acuífero. La Tabla N° 7 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 7: Puntaje asignado al espesor de la capa sobre el acuífero de interés

Criterio	Puntaje
< 3 m	1,5
3 - 10 m	1
> 10 m	0

Fuente: CCME (1992).

iii. Conductividad hidráulica (permeabilidad) de la capa sobre el acuífero: Se debe determinar la naturaleza geológica del terreno y estimar la permeabilidad. La Tabla N° 8 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 8: Puntaje asignado para la permeabilidad del acuífero

Criterio	Puntaje
$> 10^{-4}$ cm/seg	1,5
10^{-4} y 10^{-6} cm/seg	1
$< 10^{-6}$ cm/seg	0,5

Fuente: CCME (1992).

iv. Precipitaciones anuales: Se debe usar el promedio anual de precipitaciones. La Tabla N° 9 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 9: Puntaje asignado para las precipitaciones anuales del sitio de interés

Criterio	Puntaje
> 1.000 mm	1
600 mm	0,6
400 mm	0,4

Fuente: CCME (1992).

v. Conductividad hidráulica del acuífero de interés: Los acuíferos con alta conductividad hidráulica pueden transportar contaminantes a altas velocidades sobre grandes distancias. La Tabla N° 10 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 10: Puntaje asignado a la conductividad hidráulica del acuífero

Criterio	Puntaje
$> 10^{-2}$ cm/seg	3
10^{-2} cm/seg - 10^{-4} cm/seg	1,5
$< 10^{-4}$ cm/seg	0,5

Fuente: CCME (1992).

vi. Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +4 y -4 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

B. Agua superficial

1. Conocimiento de contaminación: Se debe revisar la información disponible sobre la calidad del agua y relacionarla con los contaminantes presentes en el sitio. Se debe revisar el efecto del sitio sobre la calidad del agua superficial. La Tabla N° 11 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 11: Puntaje asignado para el conocimiento de contaminación del agua superficial

Criterio	Puntaje
Si existe conocimiento o una fuerte sospecha que la calidad del agua sobrepasa más del doble de la norma correspondiente, producto de la contaminación del sitio	11
Si existe conocimiento o una fuerte sospecha que la calidad del agua sobrepasa la norma, producto de la contaminación del sitio	6
Si se cumple con las normas establecidas	0

Fuente: CCME (1992).

2. Potencial de contaminación: Si no existe información o juicio profesional que permita asignar un puntaje por conocimiento de contaminación del curso de agua superficial se deben evaluar los siguientes factores:

i. Contención superficial: Se deben revisar los sistemas existentes y relacionarlos con las condiciones del sitio y la proximidad a cursos de agua superficial. La Tabla N° 12 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 12: Puntaje asignado para la contención de contaminantes con respecto al agua superficial

Criterio	Puntaje
No existe contención	5
Contención parcial	3
Contención total	0,5

Fuente: CCME (1992).

ii. Distancia al curso de agua principal. La Tabla N° 13 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 13: Puntaje asignado a la distancia de los contaminantes con respecto al curso principal de agua superficial

Criterio	Puntaje
0 - 100 m	3
100 - 300 m	2
> 300 m	0,5

Fuente: CCME (1992).

iii. Topografía: Se debe revisar la documentación e información acerca de la topografía del sitio y la pendiente del terreno que lo rodea. Dentro de esta metodología hay 2 clases de pendientes:

- Pendiente inclinada (Steep slope) $\geq 50\%$
- Pendiente plana (Flat slope) $\leq 5\%$

La Tabla N° 14 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 14: Puntaje asignado para el rango de pendientes del terreno

Criterio	Puntaje
Contaminantes sobre tierra y pendiente inclinada	1,5
Contaminantes bajo tierra y pendiente inclinada	1,2
Contaminantes sobre tierra y pendiente plana	0,8
Contaminantes bajo tierra y pendiente plana	0

Fuente: CCME (1992).

Pero en relación al criterio anteriormente mencionado, este parece ser un poco ambiguo. Según HAUSER (2000) “los relaves sometidos a sollicitaciones sísmicas tienen un elevado potencial de licuefacción, por lo que adquieren la consistencia de un fluido de baja viscosidad, que puede escurrir por cauces preexistentes, favorecidos por la pendiente local del terreno”. Es por esto que, para efectos prácticos de esta metodología, se usarán los siguientes rangos, basados en el ángulo de inclinación, propuestos por F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations) en su clasificación de pendientes (Tabla N° 15, Columna B).

Tabla N° 15: Comparación de clasificaciones de pendientes

Angle degrees (Log. Scale)	A	B	C	D	Altan
90	Very steep	Very steep	Cliffed	Precipitous	3.5
80			Precipitous to vertical	90° Overhanging 70° Almost vertical	
70	Steep	Steep	Very steep	Very steep	3.0
60			Steep	Steep	
50	Moderately steep	Moderately steep	High moderate	Moderately steep	2.5
40			Low moderate	Moderate	
30	Strongly sloping	Moderately steep	Gentle	Moderate	2.0
20				Moderate	
15	Moderately sloping	Sloping	Gentle	Moderate	1.5
10				Moderate	
9	Gently sloping	Gently sloping	Gentle	Gentle	1.0
8				Gentle	
7	Flat	Flat or almost flat	High gradient	Very gentle	1.0
6				Very gentle	
5	Flat	Flat or almost flat	High gradient	Level to Almost level	1.0
4				Level to Almost level	
3	Flat	Flat or almost flat	High gradient	Level	1.0
2				Level	
1	Flat	Flat or almost flat	High gradient	Level	1.0
0.5				Level	
0.25	Flat	Flat or almost flat	High gradient	Level	1.0
0.25				Level	

Fuente: YOUNG (1972).

Dichas pendientes se dividen en las siguientes clases:

< 1° : Pendiente plana o casi plana
 1° - 3,5° : Pendiente muy suave
 3,5° - 7,5° : Pendiente suave
 7,5° - 16° : Pendiente moderadamente inclinada
 16° - 30° : Pendiente inclinada
 > 30° : Pendiente muy inclinada

A lo nombrado anteriormente se mantiene la misma asignación de puntaje para las dos condicionantes (sobre o bajo tierra), dividiéndose en 6 rangos planteados por la F.A.O. Finalmente la Tabla N° 16 muestra la asignación de puntaje para este ítem.

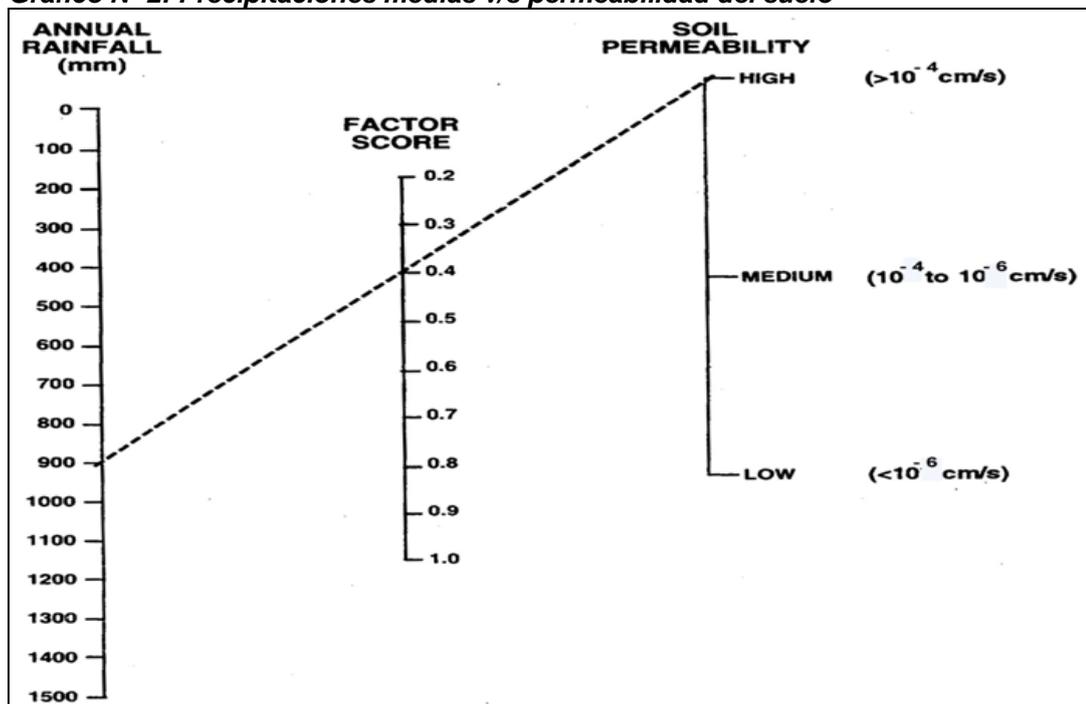
Tabla N° 16: Reasignación de puntaje para el tipo de pendientes del terreno

Tipo de pendiente	Condicionante	
	Sobre tierra	Bajo tierra
Plana o casi plana	0,8 puntos	0 puntos
Muy suave	0,94 puntos	0,24 puntos
Suave	1,08 puntos	0,48 puntos
Moderadamente inclinada	1,22 puntos	0,72 puntos
Inclinada	1,36 puntos	0,96 puntos
Muy inclinada	1,5 puntos	1,2 puntos

Fuente: Elaboración propia en base a YOUNG (1972.) y CCME (1992).

iv. Potencial de escorrentía: Esto es función de las precipitaciones y la permeabilidad del suelo, donde aquellos que son menos permeables permitirán una mayor escorrentía. A modo de ejemplo se ilustra en el Gráfico N° 2 que si la precipitación media fuera de 900 mm y la permeabilidad del suelo fuera alta se otorgaría un puntaje de 0,4.

Gráfico N° 2: Precipitaciones medias v/s permeabilidad del suelo



Fuente: CCME (1992).

La Tabla N° 17 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 17: Asignación de puntaje para el potencial de escorrentía

Criterio	Puntaje
Precipitación media anual mayor a 1.000 mm y baja permeabilidad del suelo	1
Precipitaciones entre 500 y 1.000 mm y permeabilidad moderada del suelo	0,6
Precipitaciones inferiores a 500 mm y suelo altamente permeable	0,2

Fuente: CCME (1992).

v. Potencial de desbordes: Se debe revisar datos de desbordes y estudios relacionados. La Tabla N° 18 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 18: Asignación de puntaje para el potencial de desbordes del cauce principal

Años de desbordes	Puntaje
1 en 2 años	0,5
1 en 10 años	0,3
1 en 50 años	0,1

Fuente: CCME (1992).

Además, cabe mencionar que si el sitio contaminado no se encuentra en el plano de inundación del curso de agua principal, se asigna 0 puntos.

vi. Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +4 y -4 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

C. Contacto directo

1. Conocimiento de contaminación del medio fuera del sitio: Se debe revisar la información relativa a conocimientos o índices de contaminación del suelo, sedimentos o aire dentro o fuera del sitio. La Tabla N° 19 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 19: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación fuera del sitio

Criterio	Puntaje
Si existe conocimiento de contaminación del suelo, aire, fuera del sitio debido a contacto con polvo, sedimentos o aire contaminado	11
Si existe una alta sospecha de contaminación del medio producto del sitio contaminado	6
Si no existe contaminación	0

Fuente: CCME (1992).

2. Potencial de contaminación directa a seres humanos y/o animales: Si no existe información o juicio profesional que permita asignar un puntaje por conocimiento de contaminación se deben evaluar los siguientes puntos:

i. Emisión a través del aire: Ya sea a través de gases, vapores, polvo, etc. La Tabla N° 20 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 20: Puntaje asignado a la emisión de contaminantes a través del aire

Criterio	Puntaje
Si existe conocimiento o se sospecha de emanaciones que están impactando las propiedades vecinas	5
Si las emisiones están restringidas al sitio	3
Si no existen emisiones	0

Fuente: CCME (1992).

ii. Accesibilidad al sitio: Se debe revisar la localización de las estructuras existentes con el fin de determinar si es que hay barreras entre el sitio y los seres humanos y/o animales. Por ejemplo rejas, cercas, barreras naturales o ubicación remota con respecto de poblados. La Tabla N° 21 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 21: Puntaje asignado a la accesibilidad al sitio contaminado

Criterio	Puntaje
Si no existen barreras para prevenir el acceso al sitio y los contaminantes no están cubiertos	4
Accesibilidad moderada o existencia de barreras, donde los contaminantes están cubiertos	3
Acceso controlado o localización remota, donde los contaminantes están cubiertos	0

Fuente: CCME (1992).

iii. Migración de gases: Se debe considerar la presencia de materiales orgánicos en el sitio, la distancia al curso de agua subterránea, la conductividad hidráulica, olores, etc. La Tabla N° 22 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 22: Puntaje asignado a la potencial migración de gases desde el sitio contaminado

Criterio	Puntaje
Contaminantes son putrefactos y la permeabilidad del suelo es alta	2
Contaminantes son putrefactos, pero la permeabilidad del suelo es baja o la distancia al curso de agua subterránea es menor a 2 m	1
Si no existen materiales putrefactos en el sitio	0

Fuente: CCME (1992).

iv. Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +4 y -4 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

5.2.3.- Receptores

A. Usos humanos y animales: Se debe revisar y evaluar los informes existentes de impactos producidos por el sitio contaminado y evaluar a través del conocimiento de impactos adversos o el potencial de impactos en seres humanos y/o animales.

1. Conocimiento de impactos adversos en seres humanos y/o animales domésticos como resultado de sitios contaminados. La Tabla N° 23 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 23: Puntaje asignado al conocimiento de impacto adverso en seres humanos

Criterio	Puntaje
Si existe conocimiento de efectos adversos provocados por el sitio contaminado	18
Si existe una fuerte sospecha de efectos adversos	15

Fuente: CCME (1992).

2. Potencial de impacto en seres humanos y animales: Si no existe información sobre conocimiento de contaminación, el puntaje asignado a los receptores humanos y animales se evalúa a través de los siguientes puntos:

i. Suministro de agua potable: Se debe revisar los informes de inspección y de evaluación para determinar si es que existe conocimiento o sospecha de contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua potable producto del sitio contaminado:

a) Conocimiento de impacto en suministros. La Tabla N° 24 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 24: Puntaje asignado al conocimiento de impactos en suministro de agua potable

Criterio	Puntaje
Si existe conocimiento que los suministros han sido adversamente afectados por el sitio contaminado	9
Si existe una alta sospecha de contaminación de suministros de agua	7
Si los suministros no han sido contaminados	0

Fuente: CCME (1992).

b) Potencial de impacto en suministros de agua potable: Se debe revisar mapas, fotografías aéreas y las distancias a las fuentes más cercanas de suministro de agua potable. En este ítem también se incluye el agua para el riego y la agricultura, la cual es incluida dentro del consumo humano.

✓ Proximidad a suministros alternativos. La Tabla N° 25 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 25: Puntaje asignado a la proximidad de suministros alternativos al sitio contaminado

Criterio	Puntaje
0 - 100 m	6
100 - 300 m	5
300 - 1.000 m	4

Fuente: CCME (1992).

✓ Disponibilidad de suministros alternativos: Este factor considera la disponibilidad de reemplazo de suministros de agua, y es utilizado como factor indicativo de urgencia del recurso. La Tabla Nº 26 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 26: Puntaje asignado a la disponibilidad de suministros alternativos de agua

Criterio	Puntaje
Suministros alternativos no disponibles	3
Suministros alternativos serían difíciles de conseguir	2
Suministros alternativos están disponibles	0,5

Fuente: CCME (1992).

- ii. Otros recursos del agua: Se debe revisar la documentación y reportes sobre sospecha de contaminación de agua utilizada para actividades como recreación, zonas de pesca, cadena alimenticia humana, regadío, etc. El puntaje correspondiente dependerá si es que existe conocimiento o no de impacto sobre estos otros usos del agua.
- a) Conocimiento de impacto en otros recursos de agua: Si existe conocimiento de efectos adversos como resultado del sitio contaminado. La Tabla Nº 27 muestra la asignación de puntaje para el siguiente ítem:

Tabla Nº 27: Puntaje asignado al conocimiento de impacto en otros recursos de agua

Criterio	Puntaje
Si la calidad está sobre las normas de uso	4
Si existe sospecha que estén contaminadas sobre la norma respectiva	3
Si existe conocimiento que no están contaminadas	0

Fuente: CCME (1992).

- b) Potencial de impacto en otros recursos del agua: Se debe determinar la distancia desde el sitio a las zonas recreacionales o zonas que influyan en la cadena alimenticia humana. También se evalúa el uso del suelo.
- ✓ Cercanías al uso del agua en actividades tales como: recreacional, preparación de comida, industrial, irrigación de cosechas, ganadería y otros usos. La Tabla Nº 28 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 28: Puntaje asignado a la cercanía del recurso hídrico con respecto a diversas actividades humanas

Criterio	Puntaje
0 - 100 m	2
100 - 300 m	1,5
300 - 1.000 m	1
1 - 5 km	0,5

Fuente: CCME (1992).

✓ Usos del agua: Si tiene múltiples usos se debe dar el máximo puntaje asignado en la Tabla Nº 29:

Tabla Nº 29: Puntaje asignado a los distintos tipos de uso del agua

Usos del agua	Frecuente	Ocasional
Recreacional (natación, pesca)	2	1
Preparación de comida industrial	1,5	0,8
Irrigación de cosechas	1	0,5
Ganadería	1	0,5
Otros usos domésticos	0,5	0,3
No se usa en el presente pero probablemente se usará	0,5	0,2

Fuente: CCME (1992).

c) Exposición humana directa: Se debe revisar el uso adyacente al sitio y evaluar los niveles de calidad de este. El puntaje final del ítem dependerá si es que existe o no conocimiento de contaminación producto del sitio contaminado.

✓ Conocimiento de contaminación del suelo usado por humanos. La Tabla Nº 30 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla Nº 30: Puntaje asignado al conocimiento de contaminación del suelo usado en diversos tipos de actividades humanas

Criterios	Puntaje
Si existe conocimiento de contaminación en suelo utilizado para agricultura, parque, colegios o uso residencial debido al sitio	5
Si existe contaminación del suelo utilizado para propósitos comerciales o industriales producto del sitio	3,5
Si existe conocimiento de que el suelo no está contaminado	0

Fuente: CCME (1992).

✓Exposición potencial a través del uso del suelo. La Tabla N° 31 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 31: Puntaje asignado al potencial de contaminación del suelo usado en diversos tipos de actividades humanas

Uso de suelo	Distancia del sitio		
	0 - 100 m	300 - 1.000 m	1 - 5 km
Residencial	5	4,5	3
Agricultura	5	4	2,5
Parques / Colegios	4	3	1,5
Comercial / Industrial	2	1	0,5

Fuente: CCME (1992).

d) Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +5 y -5 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

B. Medio ambiente

1. Conocimiento de impactos adversos en ambientes sensitivos como resultado del sitio contaminado: Se debe revisar los informes sobre impactos ambientales en la vegetación y ambientes sensibles tales como medios acuáticos, reservas nacionales, parques nacionales, hábitat de especies en peligro de extinción, etc. Los efectos adversos pueden ser uno o más de estos:

- Lesión o daños a la vida de plantas o animales.
- Debilitación de la salud de una persona.
- Alteración de las propiedades de plantas o animales y que resulten dañinas para el consumo humano.
- Interferencia de comportamiento normal.

La Tabla N° 32 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 32: Puntaje asignado al conocimiento de impactos en ambientes sensitivos

Criterios	Puntaje
Si existe conocimiento de impactos adversos sobre ambientes sensibles	16
Si existe conocimiento de stress en especies acuáticas, o vegetación tal como árboles, plantas o cosechas cercanas al sitio	14
Si existe una alta sospecha de impactos adversos sobre ambientes sensibles	12

Fuente: CCME (1992).

2. Impactos potenciales sobre ambientes sensibles: Si no existe información sobre conocimiento de contaminación, los receptores ambientales se evalúan a través de los siguientes puntos:

- i. La distancia del sitio al medio ambiente sensitivo más cercano. La Tabla N° 33 muestra la asignación de puntaje para este ítem:

Tabla N° 33: Puntaje asignado a la distancia del medio ambiente sensitivo más cercano al sitio contaminado

Distancia	Puntaje
0 - 500 m	10
500 - 2.000 m	6
2 - 5 Km	2
5 - 10 Km	0,5

Fuente: CCME (1992).

- ii. Distancia a un importante recurso de agua subterránea: Estas pueden ser zonas de descarga o recarga de agua. La Tabla N° 34 muestra la asignación de puntaje para el siguiente ítem:

Tabla N° 34: Puntaje asignado a la distancia del sitio contaminado con respecto a zonas de carga o descarga de agua subterránea

Distancia	Puntaje
0 - 500 m	6
500 - 2.000 m	4
2 - 5 Km	2
5 - 10 Km	1

Fuente: CCME (1992).

- iii. Consideraciones especiales: Este ítem asigna valores entre +5 y -5 puntos. Corresponde a un juicio técnico al respecto.

5.2.4.- Puntaje final

El resultado final se obtiene mediante la sumatoria de de los puntajes de la *Caracterización de los contaminantes, Trayectos y Receptores*, lo cual se muestra en la Tabla N° 35:

Tabla N° 35: Categorías de riesgo ambiental

Categoría	Rango de valores	Observaciones
1	100 - 70	Alto riesgo: La información disponible indica que es necesario tomar acciones (caracterización del sitio, control de riesgo, etc.). Esta clase está definida generalmente de alta preocupación debido a los diferentes factores de vulnerabilidad y amenaza.
2	69,9 - 50	Medio riesgo: La información disponible indica que existe un alto potencial de efectos adversos fuera del sitio pero la amenaza no es inminente.
3	49,9 - 37	Bajo riesgo: La información disponible indica que el sitio es de baja preocupación, aunque se recomienda realizar investigaciones adicionales para confirmar la clasificación.
N	< 37	La información disponible indica que probablemente no hay amenazas de impacto a la salud humana y del medio ambiente. No se requiere de acciones. Sin embargo, nueva información puede generar que el sitio sea de interés.
I	< = 15	Información insuficiente. Existe poca información para clasificar al sitio. Se requiere de mayores antecedentes.

Fuente: GUEVARA (1999).

5.3.- Del procesamiento y realización de cartografía

Con respecto a la elaboración de cartografía, la información se extrae casi en su totalidad del PROYECTO O.T.A.S. (2002), además de bases cartográficas digitales de SERNAGEOMIN (S.A.). Para el procesamiento de los datos obtenidos a partir de las bases digitales anteriormente mencionadas se utilizan los programas de sistemas de información geográfica *Arc View 3.2*, *Arc Gis 9.2* e *Idrisi Andes*. Los dos primeros se utilizan para procesar información espacial de tipo vectorial (líneas, puntos y polígonos), mientras que el tercer programa mencionado se utiliza para procesar la información espacial de tipo raster (conformada por píxeles y cuadrículas). Dicha Información es corroborada con las cartas topográficas regulares del área de estudio, escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Militar de Chile.

Para la elaboración de la cartografía final se seleccionan las variables que tienen mayor puntaje dentro de la metodología canadiense (N.C.S.C.S.). Estas variables son aquellas relacionadas con el agua subterránea y el contacto directo. Es por este motivo que se analiza la vulnerabilidad del acuífero al través del método GOD, el cual supone la asignación de puntaje según distintas variables. El primer parámetro (G) corresponde a la identificación del tipo de ocurrencia de las aguas subterráneas y su clasificación dentro de un rango entre 0 y 1. El segundo parámetro (O) corresponde a la caracterización de los estratos de suelo ubicados encima de la zona saturada del acuífero. El tercer parámetro (D) consiste en determinar la profundidad del nivel freático en caso de acuíferos freáticos, o la profundidad al techo del acuífero en casos de acuíferos confinados. De esta manera, a través del Método GOD se calcula el Índice de Vulnerabilidad multiplicando los tres valores, cuya expresión se detalla a continuación:

$$IV = IVG * IVO * IVD$$

Luego de esto, se superponen las variables en un mapa, logrando ubicar sectores homogéneos, para posteriormente multiplicar entre sí los índices anteriormente mencionados, con esto se logran conocer los distintos rangos de vulnerabilidad del área de estudio, los cuales tienen una asignación y un color que finalmente será expresado en la cartografía final. A saber: vulnerabilidad baja se asocia al color verde, vulnerabilidad media con el amarillo, vulnerabilidad alta con el naranja y vulnerabilidad extrema con el color rojo.

En lo referente al uso de imágenes satelitales y con el fin de realizar un análisis diferenciado en dos periodos distintos, se utilizan dos imágenes, una del momento previo a la construcción del tranque de relave Las Tórtolas y la otra posterior a dicho momento. La primera corresponde a una imagen Landsat TM (Thematic Mapper) captada el 17 de marzo de 1989, la cual cuenta con una resolución espacial de 30 metros y siete bandas espectrales. La segunda es una imagen Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) captada el 26 de diciembre de 1999 la cual está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Al ser dos imágenes distintas, BOSTON GEOMÁTICA (S.A.) señala que "un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 es igual que el del Landsat 5 (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 Km por

escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (WRS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 (ETM+) con datos históricos del LANDSAT 5 (TM) existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea por ejemplo para un estudio multitemporal”.

5.4.- Aspectos conceptuales

5.4.1.- De los conceptos de riesgo, amenaza y vulnerabilidad

A continuación se entregan algunas definiciones, a modo de abordar con mayor precisión el tema:

- **Amenaza:** Se concibe como un factor externo de riesgo, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana, que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas (ONEMI, 2000).
- **Vulnerabilidad:** Se concibe como un factor interno de riesgo de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañada (ONEMI, Op. Cit.).
- **Riesgo:** Es la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. El valor específico de daños se refiere a las pérdidas que la comunidad está dispuesta a asumir, y se conoce como riesgo aceptable. El riesgo está conformado por una relación interdependiente y directamente proporcional entre los factores amenaza y vulnerabilidad (ONEMI, Op. Cit.). Puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$R= AV/P$$

Donde R= Riesgo; A= Amenaza; V= Vulnerabilidad; P= Preparación

- **Relaves:** En concordancia con el Decreto Supremo N° 86 del año 1970 sobre “Construcción y operación de tranques de relaves”, este, en su Artículo N° 1, define al relave como “suspensión de sólidos en líquidos que se desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales y estériles que han experimentado una o varias etapas en circuitos de molienda fina. El vocablo se aplica, también, a la fracción sólida de la pulpa que se ha descrito en la suspensión a que se alude anteriormente”. Posteriormente, en el Artículo N° 2 se define a un tranque de relave como “la disposición de almacenamiento de los relaves que cumple la función de ubicar la fracción sólida en una estructura estable y disponer, a la vez, de la suspensión parcial de sólidos en líquidos y de una fracción líquida, capaces de mantenerse en condiciones seguras respecto de eventuales rebalses u otras perturbaciones”. De acuerdo con VERDUGO (1983) citado en VIERTEL (2003) “el relave está constituido principalmente por arenas limosas a limos arenosos no cohesivos saturados”.

A la fecha, el nuevo Decreto N° 248, del 29 de Diciembre de 2006 (publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el 11/04/07) para la “Aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relave” define a los tranques de relave como “aquel depósito de relaves donde el muro de contención es construido con la fracción más gruesa del relave” (MINISTERIO DE MINERÍA, 2007).

5.4.2.- Protección civil

De acuerdo con el Plan Nacional de Protección Civil (ONEMI, 2002), esta es entendida como la protección a las personas, a sus bienes y ambiente ante una situación de riesgo colectivo, sea éste de origen natural o generado por la actividad humana. Es ejercida en Chile por un sistema integrado por organismos, servicios e instituciones, tanto del sector público como privado, incluyendo a las entidades de carácter voluntario y a la comunidad organizada, bajo la coordinación de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI.

En este sistema todos mantienen su propia estructura y tienen plena libertad para adecuar su organización, con el objetivo de lograr máxima eficiencia en el cumplimiento de sus tareas de prevención, mitigación, preparación, respuesta y rehabilitación frente a un evento destructivo, concurriendo cada uno con sus recursos humanos y técnicos especializados, en forma coordinada, según corresponda.

Desde esta perspectiva, actualmente de reconocimiento internacional, la protección no sólo debe ser entendida como el socorro a las personas una vez ocurrida una emergencia o desastre. La misión de la protección civil abarca la prevención, como supresión del evento, y la mitigación, para reducir al máximo el impacto de un evento destructivo; la preparación adecuada, mediante planes concretos de respuesta; ejercitación y clara información, para responder eficaz y eficientemente cuando una emergencia o desastre no ha podido evitarse, todo esto centrado en el concepto de Riesgo.

5.4.3- Impacto ambiental

CONAMA (1994) señala que la Ley General de Bases del Medio Ambiente en su Artículo N° 1 da cuenta que “el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de que otras normas legales establezcan soberanía sobre la materia”. Además, esta Ley señala, en su Artículo N° 10 que los proyectos susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.). Dentro de todos aquellos señalados, los que interesan para el desarrollo del presente estudio, mencionados en la letra *i*) son los de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, los cuales comprenden las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda. Con respecto a los proyectos de desarrollo minero, FERRANDO (2003) señala que estos “conllevan fuertes impactos ambientales, que se relacionan directa e indirectamente con la generación de desastres en el sistema natural y se ubican dentro de los desastres que sufre el medio ambiente biosférico como resultado de acciones antrópicas. Dentro de estos se incluyen los depósitos de relaves y estériles”.

Bajo la premisa anterior, CABELLO (1985) señala que “el impacto ambiental que produce un tranque de relaves es un problema que cada día se hace más crítico debido al aumento creciente de material procesado por las minas, lo que exige

consecuentemente volúmenes de embalse cada vez mayores. Los sitios disponibles en los contrafuertes de la cordillera de Los Andes, donde se ubica la mayoría de las minas, se hacen insuficientes debido a la gran pendiente de sus valles, lo que obliga a buscar nuevos lugares en la Depresión Central o en valles de la Cordillera de la Costa, ocupando terrenos agrícolas cercanos a centros poblados o de recreación. El hecho que estas estructuras se ubiquen generalmente interceptando el curso de corrientes naturales trae como consecuencia la alteración de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas y superficiales que finalmente serán destinadas al consumo humano en forma directa o indirecta”.

Siguiendo la misma línea, RAMÍREZ (2000) señala que “los efectos negativos pueden ser la contaminación de aguas naturales al mezclarse con los efluentes; contaminación de suelos por arrastre de relaves y contaminación del aire por sólidos en suspensión. Dichos efectos constituyen una amenaza para la vegetación natural, suelos cultivados, fauna silvestre y también para los seres humanos. Las implicancias ambientales de un proyecto de tranques de relave son variadas y se extienden durante todas sus etapas de existencia: construcción, operación, restauración y abandono”. De lo anteriormente mencionado surge el escenario de Riesgo.

5.4.4.- Riesgos

Vivimos en una sociedad del riesgo. Cada día las noticias hablan de sucesos tales como accidentes de tráfico, intoxicaciones masivas, guerras, incendios, inundaciones, la polémica sobre las leyes que supuestamente “atentan” contra los derechos de los fumadores. Entre estos peligros de la época actual destacan sobre todo los grandes riesgos de origen humano/tecnológico, de carácter más reciente: nucleares, químicos, los relacionados con la ingeniería genética y los riesgos ecológicos vinculados a los efectos devastadores de la degradación medioambiental (PUY, 1995).

Como se mencionó anteriormente, el concepto de Riesgo se define como el resultado de la acción potencial de la amenaza a una comunidad determinada, asociada a las condiciones de vulnerabilidad de la misma comunidad. Dentro de esto se trabaja siempre en un contexto dentro de “que pasaría en el peor de los escenarios frente a una determinada situación” con el fin de estar siempre alerta y de esta forma prevenir la ocurrencia, minimizar las pérdidas y recuperarse de los efectos producidos por eventos adversos, ya sean emergencias o desastres (ONEMI, 2000).

LAVELL (S.A.) señala que “el riesgo solamente puede existir al concurrir tanto una amenaza, como determinadas condiciones de vulnerabilidad. El riesgo se crea en la interacción de amenaza con vulnerabilidad, en un espacio y tiempo particular. De hecho, amenazas y vulnerabilidades son mutuamente condicionadas o creadas. No puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa. Un evento físico de la magnitud o intensidad que sea no puede causar un daño social si no hay elementos de la sociedad expuestos a sus efectos. De la misma manera, hablar de la existencia de vulnerabilidad o condiciones inseguras de existencia es solamente posible con referencia a la presencia de una amenaza particular. La magnitud del riesgo siempre está en función de la magnitud de las

amenazas y las vulnerabilidades, las cuales, de igual manera que el riesgo, constituyen condiciones latentes en la sociedad. O sea, la amenaza es la posibilidad de ocurrencia de un evento, no el evento en sí, y la vulnerabilidad es la propensión de sufrir daño, no el daño en sí. Todas las categorías se refieren a una potencialidad o condición futura, aunque su existencia es real como condición latente”.

5.4.5.- Gestión de riesgos

OLIVERA (2007) señala que la gestión del riesgo surge como respuesta a la necesidad de cambiar la visión y manera de enfrentar los desastres, pasando del asistencialismo a la planificación del desarrollo y generar medidas de largo plazo que no sólo mitiguen las condiciones de riesgo existentes, si no que también generen los mecanismos jurídicos, ambientales, administrativos y territoriales para prevenir su nueva aparición. Por lo tanto, las acciones están orientadas, por un lado, a la reducción de la amenaza y por otro lado a la reducción de la vulnerabilidad y a la protección del capital económico, social o ambiental expuesto. Siguiendo la misma línea, SARMIENTO (2007) señala que el análisis de riesgos es un área esencial de la gestión de riesgos que permite, bajo un uso sistémico de la información disponible, determinar la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos adversos, así como la magnitud de sus posibles consecuencias. Entre las actividades más relevantes se encuentran:

- Identificar la naturaleza, extensión, intensidad y magnitud de la amenaza.
- Determinar la existencia y grado de vulnerabilidad.
- Identificar las medidas y recursos disponibles.
- Construir escenarios de riesgo probables.
- Desarrollar un enfoque multiamenaza.
- Determinar niveles aceptables de riesgo así como consideraciones costo-beneficio de posibles medidas dirigidas a evitarlo o reducirlo.
- Fijar prioridades en cuanto a tiempo y movimiento de recursos.

5.4.6.- Tipos de Riesgos

De acuerdo con ONEMI (2002) las emergencias o desastres se clasifican según su Origen (natural o antrópico) y Manifestación (rápida o lenta):

5.4.6.1.- Según su origen

Desde el punto de vista de su origen, las emergencias y desastres se clasifican en:

- A. De origen natural: Son aquellas derivadas de la manifestación de amenazas generadas por fenómenos naturales sobre un sistema vulnerable. Se enmarcan en dos grandes ámbitos, las de tipo geológico - terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis - y las de tipo hidrometeorológico - sequía, temporales, aluviones, nevadas. Sin embargo algunas de ellas pueden relacionarse, al confluir dos o más en un mismo momento, o pueden ser gatilladas por ambas, como lo son los deslizamientos y la erosión.

B. De origen antrópico: Son aquellas emergencias o desastres que se manifiestan a partir de la acción del propio hombre y sus interrelaciones, muchas veces en función de su desarrollo, o a veces originadas intencionalmente. Son eventos adversos de origen humano (antrópico) los incendios, los accidentes (tránsito, aéreo, marítimos), las explosiones, los derrames, la contaminación ambiental, el terrorismo, etc.

5.4.6.2.- Según su manifestación

Desde el punto de vista de su manifestación, las emergencias o desastres se clasifican en:

A. Manifestación lenta: Son aquellos fenómenos o eventos que se desarrollan gradualmente en un lapso de tiempo prolongado (meses o años) y que por su duración, extensión y severidad, terminan generando daños materiales y/o humanos, con características de emergencia o desastre. Algunos de estos son, por ejemplo: sequías, contaminación ambiental, desertificación, etc.

B. Manifestación súbita: Son aquellos eventos de desarrollo instantáneo o en un breve lapso de tiempo (horas o días) siendo la mayoría de las veces violento, generando daños materiales y humanos con características de emergencia o desastre; por ejemplo: terremotos, explosiones químicas, etc.

5.4.7.- Riesgos químicos

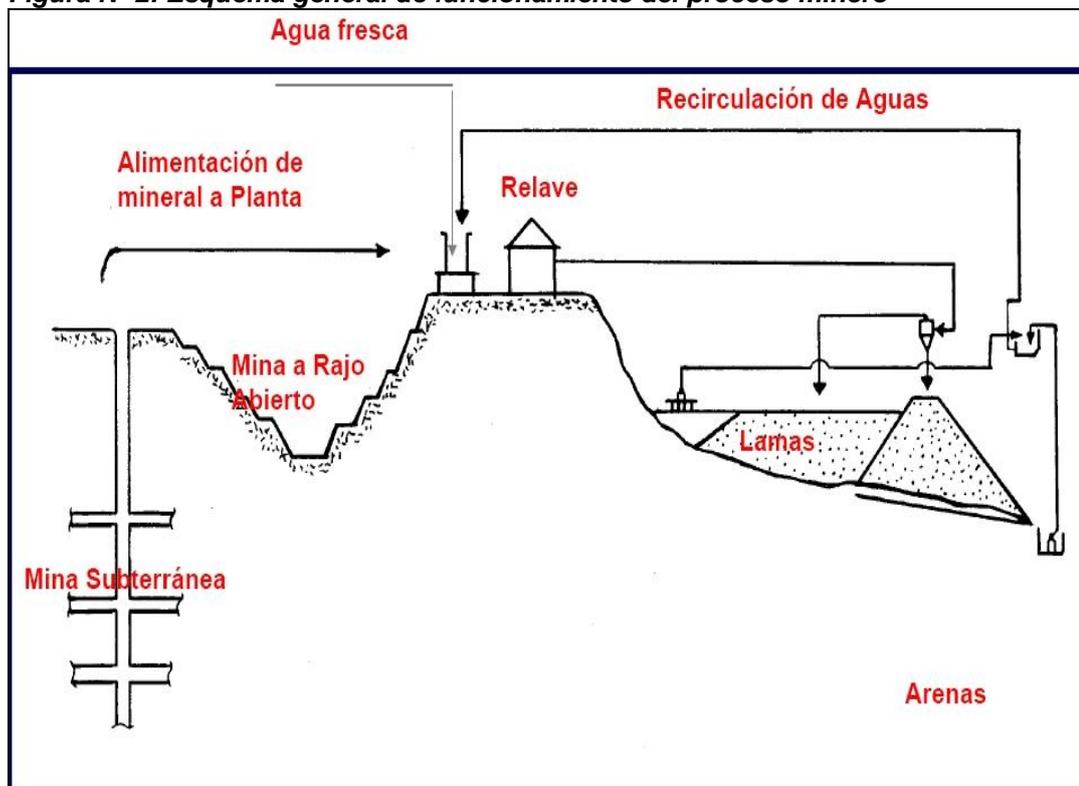
Según el Plan básico de coordinación para enfrentar emergencias y desastres por sustancias o materiales peligrosos ACCEQUIM (ONEMI, 1994), la actividad industrial, elemento clave para el desarrollo del país, ha introducido un factor de riesgo cada vez más creciente, fundamentalmente en el ámbito químico, cuya administración o manejo requiere urgentemente una visión integral, que considere los procesos productivos, almacenamiento y transporte, como base sustantiva de una acción resueltamente preventiva al interior de las industrias, como igualmente en los entornos de las mismas, vías de traslado y depósito de sustancias y productos. AVELLANEDA (2002) menciona, dentro de este punto, que la mejora en las prácticas en el manejo de residuos tóxicos o peligrosos es una de las acciones de mayor prioridad que deben ser puestas en práctica para una mejora integral del medio ambiente.

Visto lo anterior, el grado de amenaza de los residuos peligrosos varía ampliamente. Una distinción útil es entre aquellos residuos que poseen un riesgo potencialmente alto para la salud humana, y aquellos donde el riesgo es menor, pero las cantidades son mucho mayores. Un ejemplo de la primera categoría incluye solventes inflamables de bajo punto de inflamación, pesticidas altamente tóxicos o materiales persistentes clorinados como los PCB, mientras que en la última categoría se incluyen grandes volúmenes de actividades mineras (relaves) y borras de caliza u otros minerales (UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, 2007).

5.4.8.- Tranques de relave

De acuerdo con PRUDENCIO (2002), los tranques de relaves son estructuras en las que se almacenan desechos del proceso de flotación compuesto por mineral molido y agua. Estas estructuras consisten en un sistema que transportan el relave, una cubeta en la que se almacena el relave y el o los muros de contención para la retención del material dentro de la cubeta (Figura N° 2). Además, los tranques son diseñados con murallas construidas con material estéril y están recubiertos en el fondo con arcilla y polietileno de alta densidad (OLCA, 1997).

Figura N° 2: Esquema general de funcionamiento del proceso minero



Fuente: GALAZ (2007).

5.4.8.1.- Características generales de los depósitos en los tranques de relave

De acuerdo con PRUDENCIO (2002) el propósito de los tranques de relaves es contener el relave y almacenar o recuperar, en la gran parte de los casos, el agua para reutilizarla; siempre teniendo en cuenta la protección a largo plazo del medio ambiente.

La forma de disposición de los residuos es generalmente por decantación, de modo que la fracción sólida se ubique en una estructura estable y se tenga a la vez una suspensión parcial de sólidos en líquidos y una fracción líquida, capaces de mantenerse en condiciones seguras respecto a eventuales rebalses y otras perturbaciones. La fracción líquida, llamada "aguas claras", en algunos casos es recuperada para el proceso minero de acuerdo a las necesidades de la planta o se evapora o se elimina restituyéndola a un cauce natural y finalmente al mar.

Para cumplir con el propósito de un tranque de relaves, existen varias formas de disposición, que dependerán de las características propias del lugar y del relave. Para tener una visión general del modo de disposiciones, la Figura N° 3 muestra una clasificación de disposiciones de relaves. De los depósitos que se mencionan, los usados en Chile son los depósitos sobre la superficie de la tierra.

Figura N° 3: Clasificación de sistemas de disposición de relaves



Fuente: PRUDENCIO (2002).

5.4.8.2.- Riesgos asociados a los tranques de relaves

LÓPEZ *et al.* (2003) señala que los principales tipos de depósitos de relaves existentes en Chile son los denominados “tranques convencionales”, que introducen en la operación una etapa de separación de tamaños del mineral contenido en la pulpa y, además, utilizan la arena para construir un muro de contención de la fracción más fina. Como ejemplo podemos citar Talabre, Los Pelambres, Ovejería y Las Tórtolas. También dice que “los análisis realizados a distintos relaves en Chile han identificado elementos como cobre, calcio, magnesio, sodio, potasio y sulfatos, entre otros, en su composición. Mientras, en otros, también se han detectado muestras de arsénico, cadmio, cianuro libre, compuestos fenólicos, hierro disuelto y suspendido, molibdeno, plomo, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, aceites y grasas”.

Por otro lado, y complementando lo anterior, HAUSER (2000) manifiesta que “debido a que la gran mayoría de nuestros yacimientos cupríferos se encuentra en ambientes andinos, las estructuras de almacenamientos, necesariamente tienen que ser emplazadas en los cauces de valles fluviales, con el fin de optimizar las disponibilidades de espacio, normalmente precarias. Ello crea condiciones de riesgo de falla, cuando la construcción de los muros o prismas resistentes no consideran la utilización de un adecuado diseño, cuidadosa construcción y eficiente operación. Ocurrida la ruptura de la estructura, el depósito previamente acumulado se desplaza como un flujo de gran energía, devastando todo lo que se antepone a su paso y, a partir de ese momento, adquiere las características de un proceso de remoción en masa”.

Continuando la misma línea, RENNERT y PONCE (2004) señalan que los riesgos que encierran los pasivos mineros para la población y el medio ambiente, radican en la toxicidad de las sustancias contenidas en estos, el arrastre de polvo, el peligro de derrumbe de grandes tranques, el potencial de aguas acidas y, en menor medida, los piques y socavones que han quedado abiertos y desprotegidos, además de otras instalaciones propias de una faena minera.

5.4.8.3.- Clasificación de los riesgos ambientales asociados a los tranques de relaves

LAGOS (1989) señala que todas las formas de contaminación pueden influir sobre los suelos, por lo cual es preciso considerar que cualquier excedencia, por pequeña que esta sea, de las normas de contaminación atmosférica o de las aguas contaminará acumulativamente los suelos de las regiones circundantes. El caso de los relaves es singularmente sensible, ya que es sabido que los grados de infiltración deben ser conocidos y probados. De otra forma, la contaminación puede alcanzar cuencas completas, modificando el equilibrio del ecosistema en forma irreversible. La Tabla N° 36 muestra un resumen de los riesgos asociados a los tranques de relave, los cuales pasarán a detallarse posteriormente.

Tabla Nº 36: Cuadro resumen aplicado a los riesgos asociados a los tranques de relave

	Tipo de riesgo	Efectos primarios	Observaciones
A	Riesgo sísmico	Derrumbe de taludes y remoción en masa.	Se puede producir contaminación de cursos de agua, de zonas agrícolas y víctimas humanas debido a la destrucción o daño de infraestructura.
B	Riesgo hidrológico	Arrastre de desechos y residuos. Drenaje ácido de mina.	Como flujo aluvional puede dañar o cortar fuentes, bocatomas y caudales, provocando la contaminación de cursos de agua superficial y subterránea, además de afectar flora y fauna.
C	Riesgo por generación de polvo	Levantamiento de polvo. Nubes de polvo.	Daños al ser humano y a la fotosíntesis de las plantas.
D	Riesgo por fallas en el sistema de disposición	Fallas en los sistemas de transporte y fallas en los tranques.	Derrames que pueden contaminar cursos de agua y suelo, con el consiguiente efecto al ser humano y al medio ambiente.
E	Riesgo por aumento excesivo del muro	Deslizamientos y flujos. Colapso del muro.	Contaminación de cursos de agua y suelos.

Fuente: Mod. de GUEVARA (1999).

A. Riesgo sísmico: SERNAGEOMIN (1990) señala que el riesgo sísmico es la probabilidad que eventos naturales asociados a los terremotos, tales como movimientos de suelo, fallas del suelo de apoyo y/o ocurrencia de deformaciones tectónicas, que puedan causar daños, ocurran en un lugar para un periodo de tiempo especificado.

Según ANDÍA (1996) citado en GUEVARA (1999) “este riesgo se evalúa a través de dos factores: la estabilidad de los taludes y el riesgo de licuefacción, que es un fenómeno en el cual el relave pasa a ser un fluido viscoso de alta densidad. Depende en gran forma de la granulometría y grado de la saturación de las partículas”.

Otro punto importante a destacar es la cota a la cual se encuentra el tranque. No es lo mismo que se encuentre a la misma altitud que a una altitud mayor de un poblado. Ante un evento sísmico puede ocurrir contaminación de cursos de agua, contaminación de zonas agrícolas y la muerte de seres humanos.

B. Riesgo hidrológico: De acuerdo con el SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (2004) las explotaciones mineras modifican irreversiblemente el ambiente, con la pérdida de hábitat e individuos en el sitio de la extracción e instalación de estructuras, caminos, botaderos de estériles, tranques de relaves, plantas de procesos y otros. La magnitud del impacto sobre el medio dependerá de la magnitud de la explotación. Dado el carácter puntual de las prospecciones, sus efectos son mínimos, sin embargo, debe cuidarse que la disposición de riles no

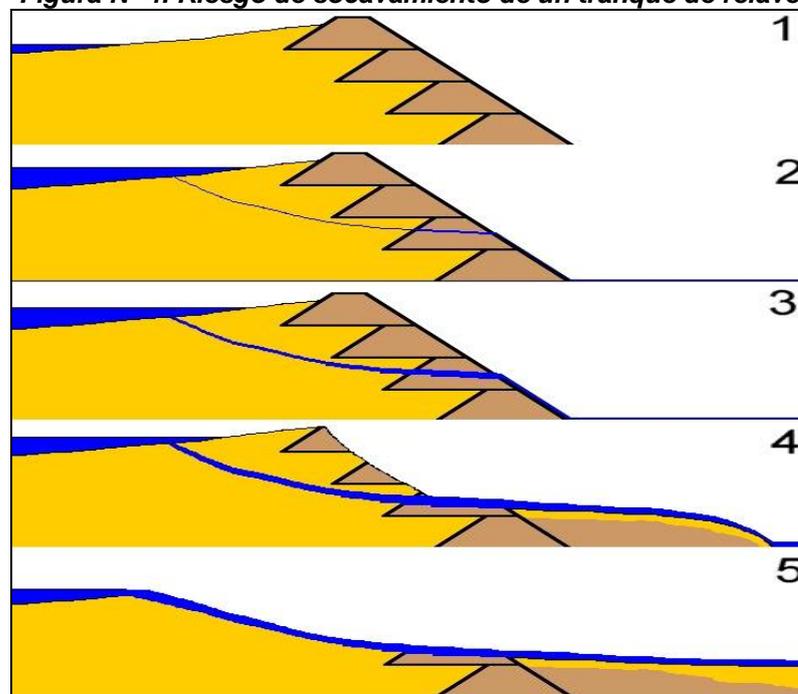
afecte el suelo, cursos de agua o humedales. LAGOS (1989) plantea que, en cuanto a la contaminación de aguas y suelos, el problema es mucho más complejo, está más distribuido a nivel nacional y se conoce menos de él. El examen de las normas de construcción y operación de los tranques de relaves parece ser una prioridad, ya que es previsible que la mayor parte de la contaminación hídrica producida por la minería provenga de dichas instalaciones. Siguiendo la misma línea, SERNAGEOMIN (2003) señala que en algunos casos, el agua de los relaves puede disolver minerales solubles y contener reactivos de flotación, mercurio u otros productos, por lo que podría ser nocivo que llegue a contactar suelos y recursos de agua utilizados por las personas. Dentro de esta categoría se incluyen seis subcategorías:

- Arrastre de desechos y residuos: Si ocurre una crecida por intensas precipitaciones se puede producir el arrastre de una parte o del total de los materiales del relave, los cuales pasarán a incorporarse a los cursos de agua. Al respecto, CORVALÁN (2000) señala que “en el caso particular de los depósitos de residuos mineros, la erosión que provoca la lluvia al impactar con la superficie desnuda de los depósitos, permite el arrastre hidráulico del material contenido, disminuyendo la estabilidad de las instalaciones y contaminando las aguas que reciben estos residuos”.
- Arrastre por remociones en masa: De acuerdo con PRUDENCIO (2002) estas se producen por distintas causas como sismos, aluviones, lluvias intensas, etc. desplazando grandes cantidades de material como suelo y relaves, tapando túneles y/o canales por donde el relave es conducido hasta su depositación. Por esto, la actividad minera, al encontrarse en zonas cordilleranas, requiere de un constante control en caso de remociones, debido al peligro del personal y de la infraestructura.
- Drenaje Ácido de Mina (D.A.M.): COTORAS (1996) citado en GUEVARA (1999) señala que este es un fenómeno que provoca la contaminación de aguas y suelo. Corresponde a una contaminación inorgánica en la cual es necesario la presencia de múltiples factores. Se produce por la presencia de ciertos tipos de minerales que se exponen al aire, agua y a la presencia de micro-organismos. La acidificación comienza cuando interactúan el aire, el agua y algunas bacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*) sobre la pirita, oxidándola y generando ácido y sulfato ferroso, el cual se sigue oxidando hasta obtener entre otros, ion férrico. Esto, junto con la acción degradativa de la bacteria, disuelve los distintos metales de los minerales presentes en los relaves, formándose aguas acidas. De esta forma los metales son transportados por las aguas a otros lugares.
- Solubilización de metales: MUÑOZ y LAGOS (1990) citado por GUEVARA (Op. Cit.) señalan que este fenómeno ocurre cuando aguas generalmente acidas entran en contacto con los relaves, produciéndose la disolución de los metales pesados. Las aguas acidas pueden ser de origen natural, por ejemplo, por la acidez del suelo u originadas por procesos de acidificación del tipo D.A.M.
- Contaminación directa de cursos de agua: Según GUEVARA (Op. Cit.) muchas veces se descargan relaves o las aguas claras directamente a cursos de agua o al océano. Esto provoca serios trastornos, ya sea por la cantidad o actividad de

sus componentes. Genera problemas de cieno y turbidez, sepultando la flora y la fauna, contaminación de los cursos de agua, como así también una continua abrasión del fondo. Las partículas en suspensión obstaculizan el paso de la luz solar, generando daños a las especies que habitan en estos cursos de agua. Esto se constata en la contaminación de la Bahía de Chañaral.

- **Riesgo de socavamiento:** De acuerdo con PRUDENCIO (2002) es la posibilidad de la pérdida provocada por lluvias intensas, la insuficiencia de filtros de drenajes, una saturación (que a la vez podría provocar la fisura del muro), licuefacción, etc. Esto ocurre si existen infiltraciones dentro o debajo del muro, causando caminos de flujos (formando verdaderas tuberías en el muro), los cuales van provocando erosión. Muchos casos se relacionan con filtraciones emergentes en la cara del muro. El resultado de esta falla en el muro puede ser general o local (Figura N° 4).

Figura N° 4: Riesgo de socavamiento de un tranque de relave



Fuente: WISE URANIUM (2004).

C. Riesgo de generación de polvo: LIRA (1994) señala que las partículas de polvo son el mayor problema relacionado con la contaminación del aire en las minas y las plantas concentradoras. Ellas provienen de dos fuentes: las puntuales y las dispersas, ubicándose en esta última categoría las áreas de almacenamiento de relaves. Siguiendo la misma línea, LAGOS (1997) citado en GUEVARA (1999) señala que este fenómeno se presenta con mayor fuerza en depósitos abandonados o que están en proceso de secamiento. Provoca impactos a la salud humana (caso de la bahía de Chañaral). Se ha comprobado que las partículas de diámetro inferior a 10 micrones pueden ser inhaladas y pasar al sistema respiratorio, causando efectos físicos y químicos importantes. Dependiendo del tipo y tamaño de las partículas es que este riesgo pasará a ser considerado como

altamente peligroso para la salud humana. Además, el polvo provoca daños físicos directos a las plantas e impide parcial o totalmente en proceso de fotosíntesis, además de reducir la fecundación de las flores y disminuir el rendimiento y calidad de árboles frutales y plantas de cultivo.

Con respecto a los PM-10 (partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, suspendidas en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a 10 μm) es correcto señalar que “el factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas, debido al grado de penetración y permanencia que ellas tienen en el sistema respiratorio. La mayoría de las partículas cuyo diámetro es mayor a 5 μm se depositan en las vías aéreas superiores (nariz), en la tráquea y los bronquios. Aquellas cuyo diámetro es inferior, tienen mayor probabilidad de depositarse en los bronquiolos y alvéolos y a medida que su tamaño disminuye son más dañinas” (CONAMA, 1998).

Los efectos en salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante son:

- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar
- Muertes prematuras
- Síntomas respiratorios severos
- Irritación de ojos y nariz
- Agravamiento en casos de asma
- Agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares

Además, su acumulación en los pulmones origina enfermedades como:

- Silicosis
- Asbestosis

Una vez que las partículas se han depositado en el sistema respiratorio, su acción irritante es producto por una parte, de su composición química y su toxicidad y, por otra, de su facilidad de absorber y adsorber otras sustancias en su superficie, produciéndose un efecto sinérgico que incrementa su agresividad.

También se encuentra el Material Particulado Sedimentable (MPS), definido como “el material particulado, cualquiera sea su tamaño, captado sobre una unidad de superficie en una unidad de tiempo” (MINISTERIO DE MINERÍA, 1991). Dentro de los principales metales que componen al MPS se encuentran el Arsénico (As), el Cobre (Cu), el Hierro (Fe) y el Molibdeno (Mo).

Entre los riesgos que el MPS provoca a la salud humana, según TCHERNITCHIN y HERRERA (2006) se pueden señalar los siguientes:

- **Arsénico:** Este es un elemento cuya exposición causa el desarrollo de diversas enfermedades, entre ellas el cáncer broncopulmonar, de vejiga urinaria, riñón, vías urinarias, piel (excluyendo los melanomas) e hígado. Se encuentra en forma natural en rocas y en más altas concentraciones en diversos minerales, entre ellos, en algunos minerales de cobre. La exposición humana puede ser por vía inhalatoria y por vía digestiva. La exposición por vía inhalatoria del arsénico ocurre

principalmente en los trabajadores de fundiciones de cobre y a los habitantes de zonas aledañas, aún cuando también afecta a mineros y otros trabajadores expuestos a polvo con alto contenido de arsénico. La exposición por vía digestiva ocurre en población que ingiere aguas contaminadas con arsénico, contaminación que puede ser de fuentes naturales o antropogénicas. El arsénico es concentrado por algunas especies vegetales y animales, y de ellas, algunas especies de uso hortofrutícola.

- Cobre: Este es un micronutriente esencial en muy pequeñas cantidades para la utilización del hierro, la formación de tejido conectivo, la pigmentación y la producción energética. Es muy tóxico para organismos inferiores y para algunas especies vegetales, lo cual explica que la Norma Chilena para cobre es más exigente para el agua de riego que para agua potable. Entre las fuentes de exposición principales están la minería y los relaves abandonados.

Efectos tóxicos principales: en forma aguda provoca hemólisis, necrosis hepática, hemorragias gastrointestinales, etc. En forma crónica aparece localmente irritación respiratoria, alteraciones gastrointestinales y dermatitis por contacto.

- Molibdeno: DONOSO y PEÑA-ROJAS (2006) señalan que en Chile, la industria minera del cobre, relevante como motor del desarrollo del país, a través de sus procesos de elaboración genera molibdeno (Mo) como uno de los residuos. Este metal pesado se acumula en los tranques de relave y por consiguiente, también está presente en las aguas residuales de este, donde el uso de estas aguas origina que se contaminen los suelos. De acuerdo con CARRASCO (1994) el molibdeno es el elemento con el mayor potencial para acumularse en los cultivos a nivel peligrosos para el hombre. En lo que se refiere a las características propiamente tales de dicho elemento, TCHERNITCHIN y HERRERA (2006) señalan que el molibdeno es un oligoelemento esencial para la función de la nitrogenasa en plantas y es, en animales, un cofactor para enzimas tales como la xantín oxidoreductasa, la aldehído oxidasa y la sulfuro oxidasa. Dicho elemento traza esencial se encuentra en legumbres, productos lácteos y alimentos cárneos. Numerosos autores consideran al molibdeno de una relativa baja toxicidad en el ser humano, y las patologías de ésta pueden deberse en forma secundaria, según algunos autores, a una depleción (disminución, por ejemplo, de la cantidad de líquidos o células de un tejido u órgano) de cobre del organismo. No obstante lo anterior, diversos autores han sugerido un riesgo de la inhalación de polvo con contenido de molibdeno para el desarrollo de diversas enfermedades broncopulmonares, incluyendo cáncer. Se ha demostrado, por ejemplo, que la exposición de animales de laboratorio (ratones) por dos años a 10, 30 y 100 microgramos de molibdeno por metro cúbico de aire causa un significativo aumento de adenomas y de carcinomas bronquioalveolares, además del desarrollo de metaplasias epiteliales cercanas a la epiglotis y otras alteraciones morfológicas y funcionales del aparato respiratorio, tales como inflamación alveolar crónica y degeneración hialina del epitelio olfatorio.

Con respecto a los problemas de salud que conlleva la ingesta de agua con este tipo de residuos en los humanos, LENNTECH (S.A.) señala que “se ha informado de alguna evidencia de disfunción hepática con hiperbilirubinemia en trabajadores crónicamente expuestos a una planta soviética de molibdeno y cobre. Además, se

han encontrado signos de gota (enfermedad metabólica producida por una acumulación de sales de urato ácido úrico en el cuerpo, sobre todo en las articulaciones, riñón y tejidos blandos, por lo que se considera tradicionalmente una enfermedad reumática) en trabajadores de fábricas y entre los habitantes de zonas de Armenia ricas en molibdeno. Las características principales fueron dolores de la articulación de las rodillas, manos, pies, deformidades en las articulaciones, eritemas y edema de las zonas de articulación”.

- Hierro: Es un elemento fundamental para la vida del ser humano. Un adulto sano tiene de 3 a 5 gramos de Fe en su organismo, pero el exceso de hierro libre cataliza reacciones redox, provocando la peroxidación lipídica y la formación de radicales libres. Se ha demostrado además la teratogenicidad del hierro en animales de experimentación (anoftalmia e hidrocefalia) y un aumento de microsarcomas después de la aplicación intramuscular del compuesto; además se ha observado que los mineros con exposición aérea desarrollan cáncer pulmonar con mayor frecuencia que sujetos no expuestos.

- En lo que se refiere a los sulfatos, TCHERNITCHIN y HERRERA (2006) señalan que “estos contaminan las napas acuíferas y tienden a producir acidificación del suelo, lo cual tiende a solubilizar diversos elementos metálicos insolubles que pueden ser concentrados en productos hortofrutícolas cultivados en terrenos con alto contenido de sulfatos”.

D. Riesgo por fallas en el sistema de disposición: Durante la construcción, operación y aun después de ello, los sistemas de disposición de relaves están expuestos a fallas por mal diseño, construcción, operación y/o accidentes que pueden originar derrames. Hay dos tipos de fallas conocidas:

- Fallas en el sistema de transporte:

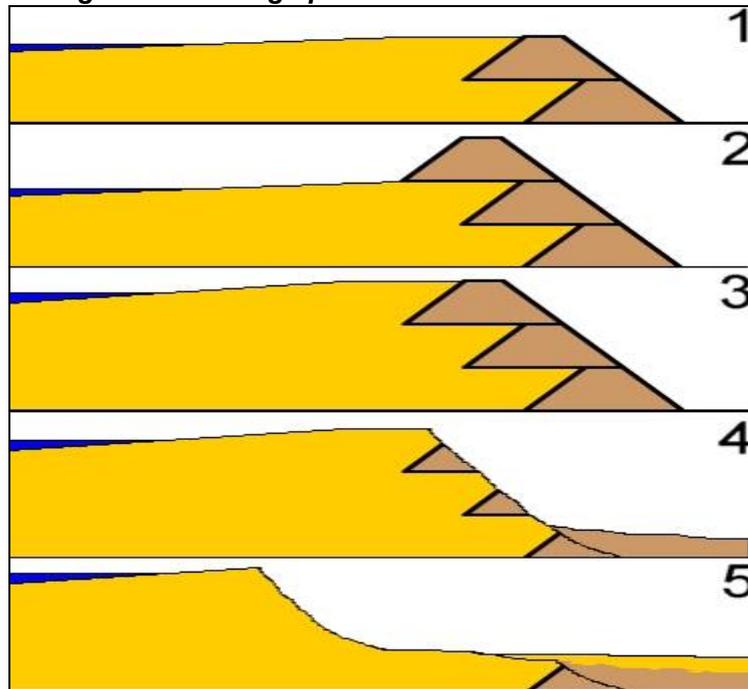
- ✓ Embancamiento de la canalización.
- ✓ Rupturas normales de la canalización (desgastes).
- ✓ Accidentes de la canalización, deslizamiento de suelos, rodados, incendios.

- Fallas en los tranques de relave:

- ✓ Fallas de operación.
- ✓ Fallas de diseño.
- ✓ Fallas en el sistema de desagüe.
- ✓ Fallas en el suelo de fundación.

E. Riesgo por aumento excesivo del muro: Es la posibilidad de pérdida provocada por un aumento excesivo de la presión de los poros dentro del muro generando su falla, especialmente cuando este ha sido levantado en forma apresurada (PRUDENCIO, 2002). La Figura N° 5 muestra este tipo de riesgo.

Figura N° 5: Riesgo por aumento excesivo del muro



Fuente: WISE URANIUM (2004).

5.4.8.4.- Manejo del riesgo en tranques de relave

ANDÍA y LAGOS (1996) plantean, con respecto a este tema, que el lugar de emplazamiento de un tranque de relave y el tipo de relave a embalsar, sin duda representan una de las variables más importantes al momento de establecer el diseño. Las características físicas y químicas del relave determinan la magnitud del daño susceptible de ser ocasionado en la zona de influencia, el costo de reparación de ellos y las posibles consecuencias en el mediano y largo plazo. En resumen, ambas variables determinan el riesgo al que estarán sometidos la población y el medio ambiente circundante.

Siguiendo la misma línea, y haciendo referencia a la tendencia de la ubicación de los tranques de relave, GREEN (2006) señala que sólo a partir de los años noventa los relaves han comenzado a bajar al valle y a ocupar terrenos con más vegetación. Este es el caso de los relaves Ovejería (propiedad de CODELCO División Andina, en Huechún, RM), Las Tórtolas (Anglo-American, en Peldehue, RM), Carén (CODELCO División El Teniente, RM) y el futuro embalse El Mauro, de Minera Los Pelambres, al interior de Los Vilos, IV Región de Coquimbo.

Esto ha traído consigo una mayor preocupación de parte de las empresas al localizarse cerca de poblados, ya que las disposiciones legales así lo exigen.

5.4.9.- Disposiciones legales vigentes

Actualmente existen muchas acciones legales que pueden realizarse frente a la constatación de irregularidades en las actividades mineras, que signifiquen daño al medio ambiente y/o a la salud de las personas. De acuerdo a la legislación vigente en Chile, las disposiciones que regulan a los tranques de relave se dividen de la siguiente manera (Tabla N° 37):

Tabla N° 37: Cuadro resumen de legislación ambiental aplicable a tranques de relave

	Cuerpo legal	Órgano competente	Materia	Actividades
1.	Código Sanitario D.F.L. 725 (31/01/1968)	Ministerio de Salud	Aguas y sus usos sanitarios	En su Artículo N° 73 señala que se prohíbe descargar las aguas servidas y los residuos industriales o mineros en ríos o lagunas, o en cualquier otra fuente o más de agua que sirva para proporcionar agua potable a alguna población, para riego o para balneario, sin que antes se proceda a su depuración en la forma que se señale en los reglamentos.
2.	Decreto Supremo N° 86 D.O. (1970)	Ministerio de Minería	Reglamenta la construcción y operación de tranques de relave	Antiguo decreto sobre la regulación para la construcción y operación de tranques de relaves en Chile. Una falencia es que no daba cuenta de las condiciones de cierre de estas estructuras.
3.	Norma Chilena 1.333 D.O. (1978)	Ministerio de Obras Públicas - Ministerio de Salud	Normas de agua para distintos usos	Fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. En el caso del agua de riego se establecen las concentraciones máximas permisibles de algunos elementos químicos, tales como 0,010 Mg/L para el molibdeno y 250 Mg/L para los sulfatos.
4.	Decreto Ley 3.557 D.O. (1980)	Ministerio de Salud	Establece disposiciones sobre protección agrícola	Dentro del Título II, Artículo N° 11 se señala que los establecimientos industriales, fabriles, mineros y cualquier otra entidad que manipule productos susceptibles de contaminar la agricultura, deberán adoptar oportunamente las medidas técnicas y prácticas que sean procedentes a fin de evitar o impedir la contaminación. Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, dichas empresas estarán obligadas a tomar las medidas tendientes a evitar o impedir la contaminación que fije el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Agricultura o del Ministerio de Salud Pública, según sea el caso, el cual deberá fijar un plazo prudencial para la ejecución de las obras. En casos calificados, el Presidente de la República podrá ordenar la paralización total o parcial de las actividades y empresas artesanales, industriales, fabriles y mineras que lancen al aire humos, polvos o gases, o que vacíen productos y residuos en las aguas, cuando se comprobare que con ello se perjudica la salud de los habitantes, se alteran las condiciones agrícolas de los suelos o se causa daño a la salud, vida, integridad o desarrollo de los vegetales o animales.

5.	D.F.L. N° 1.122 (29/10/1981)	Ministerio de Obras Públicas	Código de Aguas	El Código de Aguas en sus Artículos 294 al 297 del Libro Tercero, Título 1, faculta a la DGA para conceder la autorización de funcionamiento, una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que se hay probado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas.
6.	Decreto Supremo N° 72 (1985)	Ministerio de Minería	Reglamento de seguridad minera	Lo concerniente al almacenamiento de relaves y operación de depósitos de residuos mineros, será regido por las normas contenidas en el Decreto Supremo que aprueba el "Reglamento de construcción y operación de tranques de relaves".
7.	Ley 18.902 D.O. (27/01/1990)	Ministerio de Minería	Creación de Superintendencia de Servicios Sanitarios	En materia de residuos industriales, el Artículo N° 11, Inciso segundo, señala que se procederá a la clausura de un establecimiento cuando: letra d) la descarga de uno de sus efluentes en curso o masas de aguas superficiales o subterráneas afecte a las captaciones para agua potable y letra e) cuando la descarga de sus efluentes en curso o masas de aguas superficiales o subterráneas pongan en peligro o afecten gravemente la salud de la población o provoquen graves perjuicios pecuniarios a actividades económicas establecidas.
8.	Decreto N° 59 D.O.(25/05/1998)	CONAMA	Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable PM-10	En su Párrafo I, Artículo N° 1, letra F se señala que una estación de monitoreo de material particulado respirable PM-10 con representatividad poblacional (E.M.R.P.) se clasifica como tal si cumple simultáneamente con requisitos como: que exista al menos un área edificada en un círculo de radio de 2 Km, contados desde la ubicación de la estación; que esté colocada a más de 15 metros de la calle o avenida más cercana y más de 50 metros de la calle o avenida más cercana que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día; que esté colocada a más de 50 metros de la salida de un sistema de calefacción (que utilice leña, carbón o petróleo equivalente a petróleo-2 o superior) o de otras fuentes similares. Además, en su párrafo II, Artículo 2 señala que se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas, durante un periodo anual en cualquier estación monitorea clasificada como E.M.R.P. sea mayor o igual a 150 µg/m³N.
9.	Decreto N° 248 D.O. (11/04/07)	Ministerio de Minería	Reglamento para la aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves	Fija las normas sobre los procedimientos para la aprobación de los proyectos de depósitos de relaves mineros, además de los requisitos de diseño, construcción, operación y cierre de estos depósitos y la disposición de sus obras anexas que garanticen la seguridad de las personas y de los bienes.

Fuente: Elaboración propia en base a OLCA (1997) y LÓPEZ et al. (2003).

6.- Desarrollo

6.1.- Antecedentes históricos de impactos generados por depósitos de relave

Numerosos acontecimientos ligados a los tranques de relave han llegado a provocar importantes daños al medio ambiente, además de cobrar centenares de víctimas inocentes, en diversos lugares del mundo. Es por esto que se han abordado algunos casos, tanto de nivel internacional como nacional, para dar cuenta de accidentes.

6.1.1.- Casos internacionales

A nivel internacional se han detectado impactos al medio ambiente y a la salud humana producto de estos desechos. A continuación se muestra la Tabla N° 38, cuyos casos se detallarán posteriormente:

Tabla N° 38: Impactos provocados por tranques de relaves a nivel internacional

	Nombre	Ubicación	Año	Problema
1	Smuggler Mountain	Estados Unidos	1960	Contaminación de suelo y agua por relaves mineros.
2	Idarado	Estados Unidos	1965	Aumento de precipitaciones provocó el arrastre de relaves hacia el río San Miguel.
3	Mufulira	Zambia	1970	89 mineros resultaron muertos tras el colapso del tranque de relaves.
4	Arcturus Mine	Zimbabwe	1978	Producto de la falla del tranque de relave, 30.000 toneladas de desechos fueron liberadas.
5	Mochikoshi	Japón	1978	Terremoto causa el colapso de dos tranques de relave.
6	Stava	Italia	1985	Muerte de 268 personas por la rotura de un tranque de relaves.
7	El Cofre	Perú	2006	Contaminación del río Paratia por colapso de relaves mineros.

Fuente: Elaboración propia en base a GUEVARA (1999).

6.1.1.1.- Mina Smuggler Mountain, Estados Unidos: En esta mina se extraían minerales de plata, zinc y plomo durante el siglo XIX. Luego se detuvo la actividad en la región, para comenzar en 1960 con una actividad de reprocesamiento. El sitio llegó a tener cerca de 45 hectáreas de desechos mineros, entre los que se encontraban los relaves. Al comenzar las actividades de reprocesamiento se produjo una dispersión de los desechos y se crearon una serie de estanques de forma de facilitar las tareas. De esta forma los desechos se esparcieron a otras áreas donde se desarrollaban actividades comerciales y nuevos asentamientos residenciales. A través de muestras se constató contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas, que implicaban un riesgo potencial a la salud humana y el medio ambiente. En 1986 este sitio ingresó al sistema de evaluación de sitios riesgosos de la EPA (*Environmental Protection Agency*) para alcanzar su rehabilitación (GUEVARA, 1999).

6.1.1.2.- Mina Idarado, Estados Unidos: Esta mina del estado de Colorado producía cobre, plomo, plata y oro. Comenzó sus operaciones en 1965 y fue cerrada en 1978. Debido a precipitaciones se produjo la erosión y disposición de los metales contenidos en los relaves en ríos, arroyos y áreas de aguas subterráneas. A través de muestras en el río San Miguel se detectó que las concentraciones de zinc y cobre aumentaban aguas abajo. Esto provocó una degradación en la calidad del agua y del hábitat acuático. También se constató efectos negativos a la flora cercana al río. A esto hay que agregar los efectos de la erosión del viento sobre los relaves, que a la vez de contaminar el suelo y cursos de agua superficial, provocaron una nube de polvo en el pueblo de Telluride, deteriorando la calidad del aire. En 1984 ingresó al sistema de evaluación de sitios riesgosos de la EPA para rehabilitarlo (GUEVARA, Op. Cit.).

6.1.1.3.- Mufulira, Zambia: ENGELS y DIXON-HARDY (2002) señalan lo siguiente: *“On the 25th September 1970 an underground breach of a tailings dam occurred at the Mufulira Mine in Zambia. As the night shift crew were on duty the tailings dam above them collapsed causing nearly 1 million tonnes of tailings to fill the mine workings killing 89 miners. A sinkhole opened on the surface allowing surface water to continue to pour into the workings”*. La traducción al español del párrafo anterior sería la siguiente: “El 25 de Septiembre de 1970, una rotura subterránea de un tranque de relaves ocurrió en la mina Mufulira de Zambia. Como el turno de noche se encontraba trabajando, la presa que estaba sobre ellos se derrumbó, causando que cerca de un millón de toneladas de relaves saturara la mina, matando a 89 trabajadores. Una grieta en la superficie permitió al agua continuar fluyendo y vertiéndose al interior de la mina (Foto N° 2).

Foto N° 2: Colapso de un tranque de relaves en Mufulira, Zambia



Fuente: ENGELS y DIXON-HARDY (2002).

6.1.1.4.- Arcturus Mine, Zimbabwe: De acuerdo con SHAKESBY y WHITLOW (1991) *“At about 19:30 H on 31 January 1978, a breach approximately 55 m wide suddenly developed in the west wall of a large waste dump at Arcturus Mine. An estimated 30.000 tons of debris was evacuated from this breach, forming a flowslide about 300 m in length. This demolished two pole-and-mud huts, killing one child and injuring another. The official inquiry (Ministry of Mine unpublished data) the failure of the waste dump focused primarily on the issue of the heavy rainfall preceding the collapse and the ability of the penstocks (vertical drains) to cope with the abnormal accumulation of water on top of the dump”*. La traducción del párrafo sería la siguiente: Alrededor de las 19:30 horas del 31 de Enero de 1978, una rotura de aproximadamente 55 metros de ancho se produjo repentinamente en el muro oeste de un gran tranque en Arcturus Mine. Se estima que unas 30.000 toneladas de desechos fueron evacuadas producto de la rotura del muro, formando un aluvión de alrededor de 300 metros de largo. Producto de esto, dos chozas fueron destruidas, matando a un niño y dejando grave a otro. La investigación oficial (datos no publicados del Ministerio de Minería) fue que la falla del tranque se produjo debido a la fuerte lluvia antes del colapso, donde la capacidad de los desagües (drenajes verticales) se vio afectada al enfrentarse con una anormal acumulación de agua en la superficie del tranque.

6.1.1.5.- Mochikoshi, Japón: Según señalan SEID-KARBASI & BYRNE (2004) *“The 1978 Izu-Ohshim-Kinkai earthquakes in Japan caused two tailings dams owned by the Mochikoshi gold mining company to fail as a result of liquefaction of the tailings materials behind the dams. The earthquake consisted of a main shock with magnitude of M7 and a large after shock of M5.8”*. La traducción del párrafo anterior sería: Los terremotos de Izu-Ohshim-Kinkai en Japón, durante 1978, causaron la ruptura de dos tranques de relave de la Compañía Minera Mochikoshi al colapsar como consecuencia de la licuefacción ocurrida detrás de los muros. Los terremotos consistieron en un evento principal de Magnitud 7 y un evento posterior de Magnitud 5.8 (Foto N° 3).

Foto N° 3: Colapso de tranques de relave en Mochikoshi, Japón



Fuente: SEW (2005).

6.1.1.6.- Stava, Trento, Italia: En julio de 1985, 268 personas fueron enterradas vivas bajo 200.000 m³ de barro tóxico que se escapó de un pozo de relave de una mina de fluorita. Según señala una pagina italiana¹ “*Alle ore 12 e 22 minuti e 55 secondi del 19 luglio 1985, la colata di fango iniziò la sua corsa distruttiva con un tremendo boato. Il bacino superiore di decantazione dei fanghi della miniera crollò su quello inferiore che cedette a sua volta, riversando a valle 180 mila metri cubi di fango, ai quali si aggiunsero altri 40-50 mila metri cubi di materiale trascinato dalla forza devastatrice dell'urto. A quasi 90 chilometri l'ora, la massa fangosa si infilò nella Val di Stava travolgendo tutto ciò che incontrava sul suo cammino: case, alberi, strade, automobili. In soli tre minuti uccise 268 persone, distrusse 53 case, 3 alberghi, 6 capannoni, demolì 8 ponti e danneggiò gravemente 9 edifici*”. La traducción que se puede hacer del párrafo anterior es: A las 12 horas con 22 minutos y 55 segundos del 19 de julio de 1985, el flujo de lodo comenzó su carrera destructiva con un tremendo rugido. La cuenca superior de decantación de los lodos de la mina se derrumbó en la parte baja, vertiendo 180.000 m³ de lodo, a la que se añadieron otros 50.000 m³ de material arrastrado por la devastadora fuerza del impacto. A casi 90 Km/h, la masa barrosa se enfiló hacia el valle de Stava arrastrando todo a su paso: casas, árboles, carreteras, automóviles. En sólo tres minutos mató a 268 personas, destruyó 53 casas, 3 hoteles, 6 cobertizos, demolió 8 puentes y dañó gravemente 9 edificios (Fotos N° 4 y 5).

Foto N° 4: Tragedia de Stava en Italia



Fuente: FONDAZIONE STAVA 1985 (S.A.).

¹ <http://www.girovagandointrentino.it/puntate/2003/estate/fiemme2/fiemme2.htm>

Foto N° 5: Stava, Italia. La colada de barro se deslizó hasta el valle



Fuente: FONDAZIONE STAVA 1985 (S.A.).

6.1.1.7.- Mina El Cofre, Perú: En julio de 2006, un accidente desnudó las limitaciones para enfrentar este punto, cuando el colapso de una cancha de relaves de la Unidad Minera El Cofre contaminó el río Paratia y provocó la declaración de alerta roja para consumir líquido en la zona Puneña, de parte de la Dirección General de Salud Regional. Al final, se abrió un proceso contra la compañía, y las aguas del Paratia siguieron su curso hasta llegar al Titicaca. Paradójicamente, el último estudio del barco científico Big Bell en el lago establece que el daño ambiental por metales pesados, tanto en Perú como en Bolivia, está en los niveles de tolerancia (LA PRENSA, 2006).

6.1.2.- Casos en Chile

En Chile han existido varios acontecimientos negativos en lo que se refiere a los tranques de relave. Dichos casos, registrados entre los años 1928 y 2003, se mencionan en la Tabla N° 39 y pasan a detallarse en los párrafos siguientes.

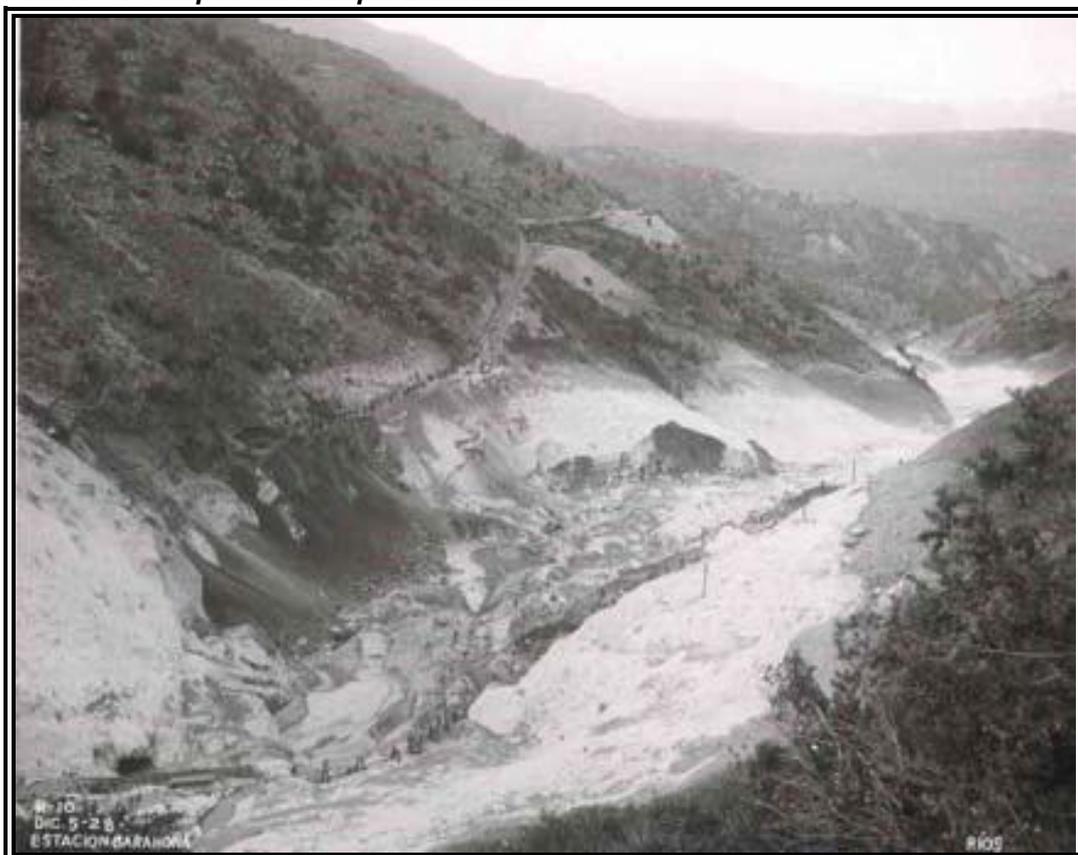
Tabla N° 39: Impactos provocados por depósitos de relave en Chile

	Nombre	Ubicación	Año	Problema
1	Tranque Barahona	VI Región	1928	Terremoto de 8.2 Richter provoca el colapso de este tranque, provocando la muerte de 55 personas.
2	Bahía de Chañaral	III Región	1938-1988	Se arrojó gran cantidad de relaves a la bahía, lo cual provocó embancamiento terrestre, daños al sistema acuático, emisión de material particulado, cambios en el paisaje, etc.
3	El Cobre	V Región	1965	Muerte de 250 personas aproximadamente y contaminación del estero El Sauce por colapso de los tranques producto de un sismo.
4	Las Cenizas	V Región	1981	Las aguas lluvias arrastraron relave de la minera Las Cenizas hasta el sector de Quimquimo, llegando hasta el borde de la carretera 5 Norte.
5	Tranque Estay	V Región	1987	Colapso del tranque por crecida del estero El Bronce, con su inminente contaminación.
6	Tranque Pérez-Caldera	R.M.	1987	Gran alarma por posible colapso del tranque producto de lluvias y deshielos.
7	Minera Cobrex	IV Región	1997	Alto riesgo de fallas por sismos y posible contaminación del río Elqui.
8	Tranque Flamengo	IV Región	1997	Debido al sismo de este año existe una alta probabilidad de contaminación del estero F. Sánchez por crecidas o sismos.
9	Minera Cobrex	III Región	1999	Contaminación del embalse Lautaro.
10	División Andina CODELCO	V Región	2000	Derrame de relaves en la quebrada El Maitén.
11	Minera Las Juntas	IV Región	2000-2001	Contaminación por relaves en el estero San Miguel.
12	Minera Cobrex	IV Región	2002	Derrame de 8.000 m ³ de relaves al río Elqui.
13	División Chuquicamata CODELCO	II Región	2002	Rotura de cañerías y derrame de relaves.
14	Cerro Negro	V Región	2003	Rotura del muro de su tranque de relave N° 5 y escurrimiento de agua con parte de relaves aguas abajo.

Fuente: Elaboración propia en base a GUEVARA (1999).

6.1.2.1.- Tranque Barahona: VILLAVICENCIO (S.A.) señala que “muchas de las víctimas (55) fueron causadas por el derrumbe del tranque Barahona, cuyo muro, formado por los relaves del mineral de cobre El Teniente, cedió arrastrando 314.000 m³ de agua y cuatro millones de toneladas de material sólido, los que arrasaron la pequeña estación Barahona” (Foto N° 6). Además, respecto a su destrucción, según URRUTIA y LANZA (1993) “en esa época hubo dos informes contradictorios: Uno de la Dirección de Obras Públicas y el otro de un Geólogo y de un Ingeniero que fue presentado al juzgado. Sin entrar en detalles de ambos, el contralor de la compañía Braden Copper Co. declaró que el tranque tenía en sus últimos momentos, veintisiete millones de toneladas de material sólido y trescientos catorce mil metros cúbicos de agua. Al destruirse el muro se fue toda el agua y alrededor de cuatro millones de toneladas de material sólido, desapareciendo la pequeña población de la estación Barahona y la desembocadura del río Coya en el río Cachapoal.

Foto N° 6: Colapso del tranque Barahona



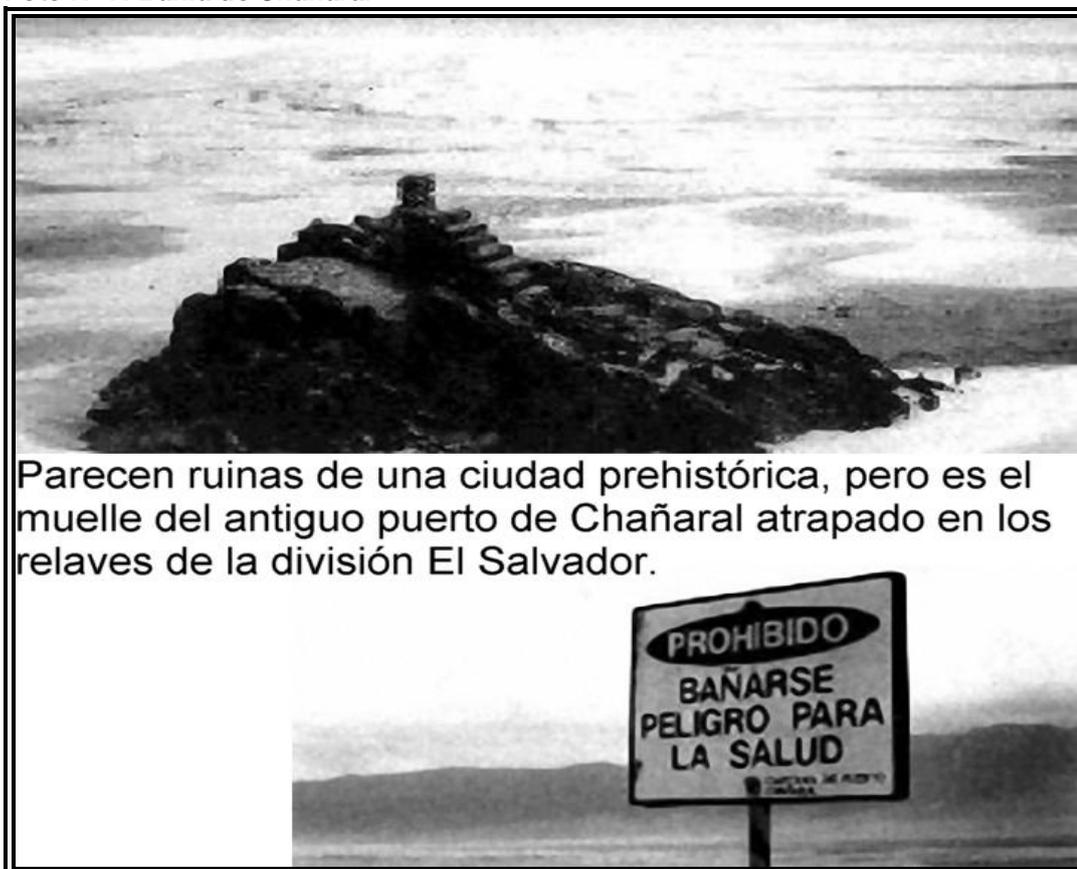
Fuente: EXPOMIN (2004).

6.1.2.2.- Bahía de Chañaral: Bravo (2000) señala que desde 1938 hasta 1988 se vaciaron más de trescientos millones de toneladas de desechos mineros en el medio terrestre y marino de Chañaral, lo que equivale a la descarga de un camión de 10 toneladas de arena cada 25 segundos, más la evacuación de un camión aljibe de diez mil litros de residuos líquidos cada 10 segundos (Foto N° 7). Los relaves provenían inicialmente del mineral de Potrerillos, perteneciente a la empresa estadounidense Andes Copper Mining Company, la que decidió volcarlos al río

Salado, que pasa por las localidades de Llanta, Diego de Almagro y El Salado antes de desembocar en el mar, frente a Chañaral. Una vez agotado ese yacimiento de cobre, la descarga continuó siendo alimentada por los relaves de El Salvador, que se comenzó a explotar en 1959. Con la Nacionalización del Cobre impulsada por el gobierno de Salvador Allende, el mineral pasó a ser propiedad de CODELCO, empresa estatal que continuó utilizando el mismo sistema de evacuación. Ya a comienzos de la década del 70, un barro negro y viscoso cubría la arena de la bahía. Pero no fueron los reclamos de la comunidad lo que motivó a la División Salvador a trasladar en 1975 el vaciado de sus desechos 9 kilómetros al norte de Chañaral, en la Caleta Palito. "Lo hicieron por un mero interés empresarial y mercantil, ya que el embancamiento de la bahía estaba perjudicando el puerto mecanizado de embarque de la Minera Santa Fe, ubicado al sur de Chañaral, y eso generó problemas entre ambas empresas", explica José Miguel Nieto, abogado que representa a la Junta de Vecinos N° 14 de Chañaral. Fue el Ministerio de Obras Públicas de la dictadura militar el que se encargó de desviar el río Salado para que desembocara más al norte.

El "remedio" resultó peor que la enfermedad, porque las corrientes litorales a la altura de Caleta Palito se encargaron de esparcir los agentes tóxicos a mar abierto. En consecuencia, el área contaminada en el mar aumentó de 5 a 20 millas, extendiéndose a la zona del Parque Nacional Pan de Azúcar, uno de los lugares costeros más hermosos de la III Región.

Foto N° 7: Bahía de Chañaral



Parecen ruinas de una ciudad prehistórica, pero es el muelle del antiguo puerto de Chañaral atrapado en los relaves de la división El Salvador.

Fuente: BRAVO (2000).

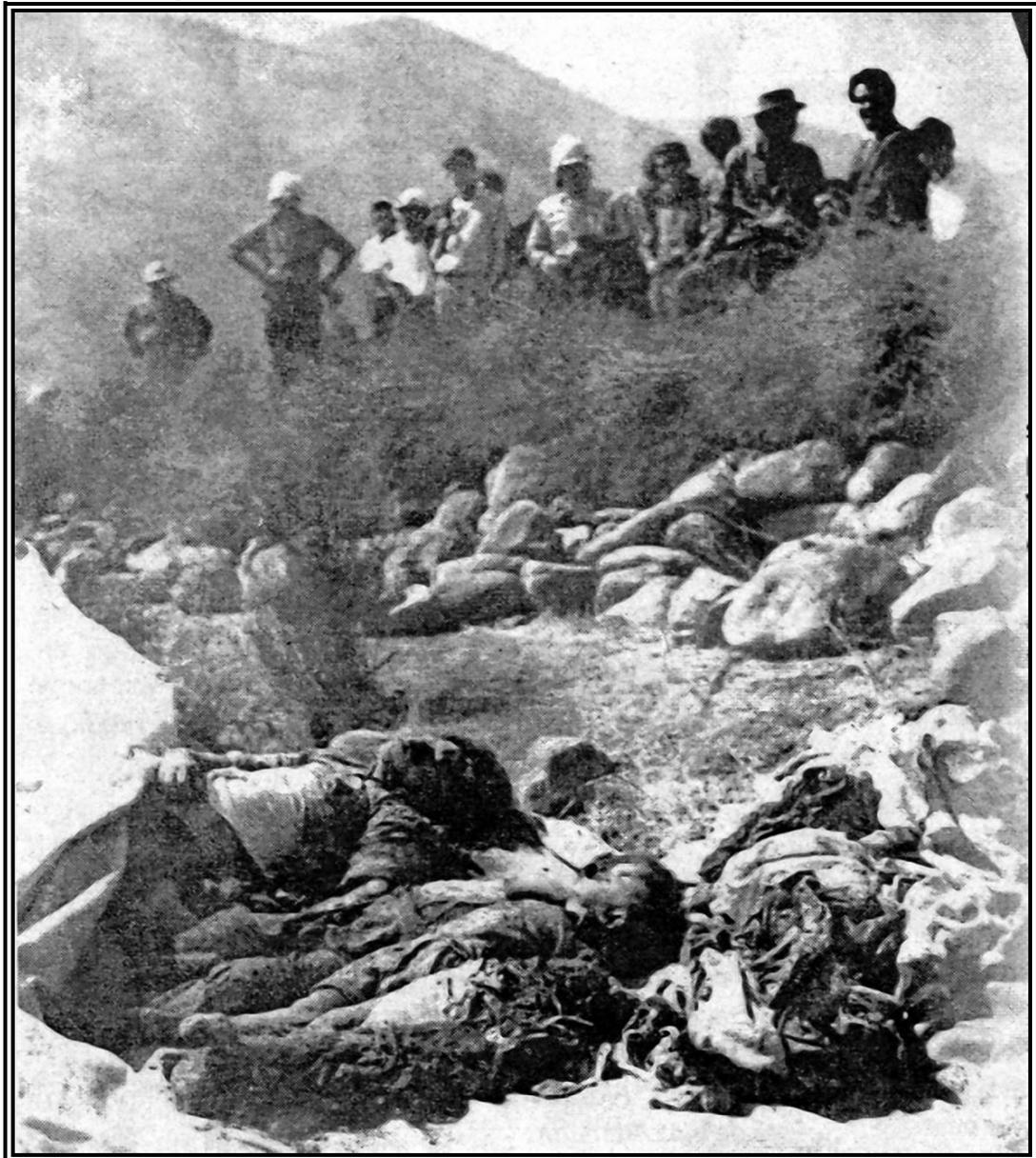
6.1.2.3.- El Cobre: ALISTE (1966) citado por GUEVARA (1999) señala que “la planta El Cobre se ubica en la V Región de Valparaíso. En 1965 se produjo el terremoto de La Ligua, con 7.5 grados en la escala Richter, lo cual provocó el colapso de los tranques 1 y 3, lo que se tradujo en un vertimiento de cerca de 1.500.000 m³ de relave. Este flujo alcanzó al poblado de El Cobre, donde murieron cerca de 250 personas y desapareció el pueblo. Hay que agregar los daños ocasionados por la contaminación del estero El Sauce que riega una extensa zona agrícola de la V Región (Foto N° 8)”. Según BLIGHT y FOURIE (2005) *“the flow was reported to have covered its 12 Km course in a few minutes. This is too imprecise to allow the speed of the flow to be estimated, but it must have been about 20 Km/h”*. Esto hace alusión a que el flujo, como se relataba, había cubierto un curso de 12 kilómetros en unos pocos minutos. Esto es demasiado impreciso para permitir la estimación de la velocidad del flujo, pero esto debe haber sido aproximadamente de unos 20 Km/h.

Una vez ocurrida la tragedia, URRUTIA y LANZA (1993) señalan que “las faenas de rescate de las víctimas fue lenta, se efectuó en medio de la angustia de los familiares de los que habían vivido en El Cobre, muchos de los cuales ayudaron a los ingenieros a organizar la operación de rescate, informándoles de la forma y ubicación que tenía el pueblo. Se movilizó todo el personal de Carabineros y del Ejército de la Región para poder remover los cientos de toneladas de fango. También llegó personal de Bomberos, Defensa Civil y Ambulancias para auxiliar a los sobrevivientes, ya que en los primeros momentos nadie pensó que el desastre había sido tan avasallador. No hubo más de diez sobrevivientes y se rescataron sólo 3 pavos y algunas sillas de montar. La tarde del domingo del terremoto, esa noche y los días subsiguientes trabajaron las patrullas tratando de sacar los cadáveres del alud; fueron encontrados sólo 35. El presidente de la República llegó el día lunes al lugar, y al conocer los detalles, determinó que había que establecer quienes eran los responsables de la catástrofe; se dispuso de una comisión que investigara los hechos frente al sinnúmero de interrogantes que planteó la tragedia. Otros tranques de relave que fallaron a consecuencia del sismo fueron los de las minas de Los Maquis, Cerro Negro, Bellavista, La Africana, El Cerrado y La Patagua, que cubrieron las partes bajas adyacentes, afectando terrenos inhabilitados, sin ocasionar víctimas”.

Según FERNÁNDEZ (2005) en entrevista a uno de los sobrevivientes de la catástrofe, este señala que “la empresa le dio trabajo tres meses después de ocurrida la tragedia. Su primera labor fue tétrica. Debí recolectar los restos de los cadáveres que las lluvias de junio desenterraron. Según relata Delifio Arcaya González, en las matas de guayacán había brazos, piernas y algunos cuerpos casi completos. Con una camilla y pañuelos en la boca hicieron su trabajo. Algunos estaban como momias debido a los elementos químicos del relave. Por años sentí una pena y un asco profundo en mi estomago al ver a esas personas con las que seguramente había compartido grandes momentos, señala”.

De acuerdo con WELKNER (1989) citado en VIERTTEL (2003) “esta tragedia trajo como consecuencia la adopción obligatoria del método de aguas abajo para la construcción de tranques de relave en Chile”.

Foto N° 8: Tragedia de El Cobre, donde murieron cientos de personas



Fuente: FERNÁNDEZ (2005).

6.1.2.4.- Las Cenizas: En 1981, durante los temporales de invierno, las aguas lluvias arrastraron relave de la Minera Las Cenizas hasta el sector de Quimquimo, casi al borde mismo de la Carretera 5 Norte. En esa ocasión los problemas no pasaron a mayores, pero toda la zona por donde pasó el barro arrastrado por las aguas lluvias, quedó cubierta de sedimentación mineral que de algún modo afectó a la producción agrícola (LÓPEZ *et al.* 2003).

6.1.2.5.- Tranque Estay: Este tranque de relaves de la planta de flotación Andacollo se ubica en la V Región de Valparaíso. Fue destruido en 1987 por la crecida del estero El Bronce. No existen antecedentes sobre los impactos ambientales ocasionados (GUEVARA, 1999).

6.1.2.6.- Tranque Pérez-Caldera: El tranque de relaves Pérez Caldera comenzó su operación en 1936. Este tranque se localiza a 2.800 m.s.n.m. en la cuenca del río San Francisco, el cual desemboca en el río El Arrayán (en las afueras de Santiago), el que finalmente se junta con el río Mapocho en Santiago. En 1978, cuando el tranque había alcanzado su máxima capacidad, comenzó la construcción del tranque Pérez-Caldera 2, adyacente al primero, pero localizado más abajo en el río San Francisco. Se construyó un segundo túnel de desvío para el río San Francisco (el primero fue para el Pérez-Caldera 1), así el río debía correr en forma paralela al tranque. En 1987 se comenzó la construcción de un segundo túnel, el Ortiga, con el objeto de tener una alternativa de emergencia en el caso de que el túnel San Francisco se bloqueara. Sin embargo, antes que el túnel Ortiga estuviera terminado, los excesivos deshielos primaverales de ese año bloquearon el túnel San Francisco impidiendo el desvío de este río. A consecuencia de lo anterior, el tranque Pérez-Caldera 2 almacenó más de 300.000 m³ de agua en 5 días. La cota superior de agua llegó a cerca de 45 cm del borde del tranque amenazando la ciudad de Santiago (ANDÍA y LAGOS, 2001).

6.1.2.7.- Minera Cobrex: TRONCOSO (1998) citado por GUEVARA (1999) señala acerca de este evento que "los cinco tranques denominados Sur 1, Sur 2, Sur 3, Norte 4 y Norte 5 se ubican en la IV Región. Están construidos en la ribera de la quebrada La Marquesa. Los depósitos Sur 1, Sur 2 y Norte 4 están en condiciones de inestabilidad por las crecidas del río Elqui, provocadas por las lluvias de 1997. Presentan un alto riesgo de falla de desplazamiento por sismos y de socavación, con una alta probabilidad de contaminar el río.

6.1.2.8.- Tranque Flamengo: TRONCOSO (1998) citado en GUEVARA (Op. Cit.) señala que este tranque se ubica en Farellón Sánchez a 38 Km al norte de Illapel y actualmente está abandonado. Posee una altura de 29 m y 5.000 m² de superficie. Se determinó que los taludes colapsaron por el sismo de 1997. Presenta riesgos de socavación fluvial por crecidas del estero F. Sánchez y riesgos de deslizamiento de los taludes para sismos con intensidades mayores que VII en la escala Mercalli Modificada.

6.1.2.9.- Minera Cobrex: En agosto de 1999 un derrame de relaves desde una planta de concentración de la empresa Cobrex S.A. contaminó el embalse de agua Lautaro, cerca de Copiapó. La emergencia se produjo al rebasar la "torta" (parte superior del tranque de depósito minerales) que contiene los elementos líquidos del relave, los cuales escurrieron más de 7 kilómetros por quebrada Amolanas, hasta desembocar en dicho embalse. El Gobierno Regional dispuso un sumario administrativo en contra de la empresa "Cobrex S.A." y determinó la suspensión del uso del tranque, mientras se realizan los análisis de las aguas y de la estructura del depósito colapsado. Eddie Funes, secretario ejecutivo de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó, denunció que en reiteradas oportunidades anteriores, la empresa vació

parte de sus relaves a la quebrada sin que llegaran al embalse como en esta oportunidad (FOLCHI, 2004).

6.1.2.10.- División Andina CODELCO: Esta división sufrió un derrame de 5.280 m³ de relave que contaminaron cursos de agua y ocasionaron la muerte del ganado de los agricultores vecinos de la quebrada El Maitén (FOLCHI, Op. Cit.).

6.1.2.11.- Minera Las Juntas: Esta empresa, que venía funcionando desde hace varios años, utilizaba un sistema de relaves muy defectuoso, provocando constantes episodios de contaminación en el estero San Miguel. Las comunidades agrícolas afectadas iniciaron acciones ante las autoridades que terminaron dándoles la razón y decretaron la clausura del tranque de relaves colapsado. Finalmente la empresa se declaró en quiebra y abandonó el establecimiento sin ningún tipo de plan de manejo de los desechos mineros (FOLCHI, Op. Cit.).

6.1.2.12.- Minera Cobrex: En septiembre, el tranque de relaves Talcuna 1 de la Minera, ubicada a 40 kilómetros de La Serena en la quebrada de Marquesa, valle del Elqui, sucumbió y provocó un derrame de 8.000 m³ de relave al río Elqui (Fotos N° 9 y 10). Como consecuencia, se produjo una reacción de los habitantes de La Serena que agotó en pocas horas el stock de agua mineral de la ciudad. Lo increíble de la situación es que el tranque de Cobrex había sido cerrado por SERNAGEOMIN dos meses antes, en julio. Los efectos de la contaminación del cauce del río Elqui tuvieron efectos en los cultivos, aunque los canales fueron cerrados antes que un gran volumen de agua supuestamente contaminada alcanzara a ingresar a las superficies sembradas. Se comprobó contaminación de cobre, hierro y manganeso en cantidades muy superiores a las permitidas para el consumo humano. Como si esto no bastara, a principios de noviembre - dos meses después - volvió a producirse un nuevo derrame sobre el río Elqui, que esta vez puso en peligro las instalaciones de la Empresa Sanitaria de Coquimbo, ESSCO. Producto de la turbiedad y contaminación del agua, las autoridades de la compañía determinaron, por precaución, cerrar la planta de tratamiento en La Serena y comenzar a operar con 20 pozos de aguas subterráneas, con lo que pudieron entregar un promedio normal de 900 litros por segundo de agua potable para abastecer a la población de la Cuarta Región. Para disculparse esta vez, los ejecutivos de Cobrex acusaron haber sido víctimas de un atentado dinamitero. Esta situación demuestra que la falta de recursos fiscalizadores de SERNAGEOMIN, que eviten que sus dictámenes sean letra muerta, pueden afectar la salud y la vida de los habitantes, además de poner en peligro a otras actividades productivas de la zona (LÓPEZ *et al.* 2003).

Foto N° 9: Accidente de la minera Cobrex el año 2002



Fuente: <http://www.tailings.info/images/pics/accidents/Chile1-4.jpg>

Foto N° 10: Accidente de la minera Cobrex desde otra perspectiva el año 2002

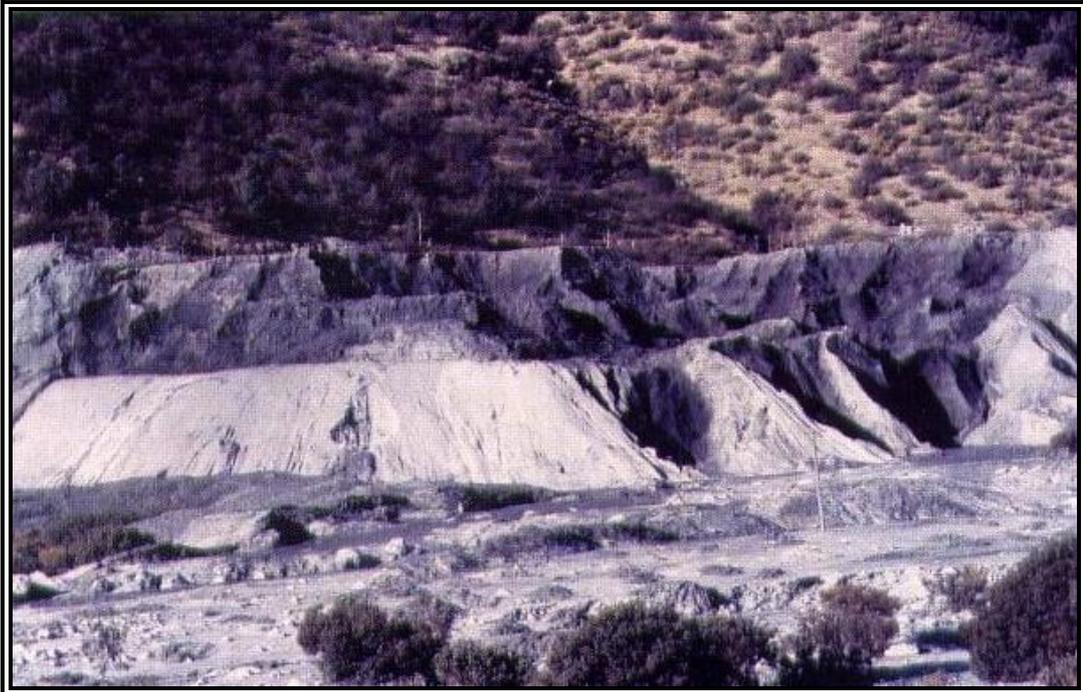


Fuente: <http://www.tailings.info/images/pics/accidents/Chile1-5.jpg>

6.1.2.13.- División Chuquicamata CODELCO: FOLCHI (2004) dice que en noviembre de 2002 se produjo, en dos oportunidades consecutivas, la rotura de cañerías, lo cual provocó el derrame de relaves que formaron una laguna de 3 kilómetros lineales que, según informo la empresa “no provocaron daño ecológico alguno”.

6.1.2.14.- Cerro Negro: Sorpresivamente, se desprendió la pared de contención del quinto sector del tranque, que contenía 300.000 toneladas de material rocoso particulado, producto del procesamiento de las faenas mineras de producción de cobre. Unas 50.000 toneladas de material escurrieron por las quebradas en un tramo de más de 10 kilómetros hacia el valle del sector de Guayacán, hasta llegar a las aguas del estero Los Ángeles, que provee agua a los diferentes predios agrícolas de la zona y desemboca en el caudal del río La Ligua (Fotos N° 11 y 12). Para contrarrestar los efectos del derrame, se iniciaron de inmediato trabajos de movimiento de tierra y la construcción de cuatro pozos con maquinaria pesada, para que el material escurrido se deposite allí. Ante la sospecha de que la contaminación se hubiera extendido, se dispuso la prohibición de uso de agua proveniente de napas y esteros en los sectores rurales poblados de Guayacán, La Puerta y La Vega. Lo grave es que los agricultores temen perder la siembra de la temporada, debido a la falta de riego. También están sufriendo de manera directa los animales en crianza, ya que se trata de una zona eminentemente ganadera. Unos mil habitantes de los sectores afectados quedaron sin agua para consumo y uso personal, situación que fue parcialmente paliada con la distribución a través de camiones aljibes proporcionados por la Municipalidad local. La Compañía Minera Cerro Negro afirmó que el relave no se usaba desde hace dos años. SERNAGEOMIN, en tanto, afirmó que el tranque estuvo en operaciones desde 1972, para lo cual contaba con la Resolución Sectorial Aprobatoria para Operación N° 135 de 19 de julio del mismo año, cumpliendo con su vida útil en el año 1990. Por lo anterior, al momento del accidente el relave se encontraba en condiciones de no operación y sin ningún aviso de reanudación ni autorizaciones para ello. Vecinos de Cabildo y especialmente de los sectores afectados, dijeron no comprender porque las autoridades del SERNAGEOMIN y de la Salud no han exigido a la Minera Cerro Negro el manejo adecuado del relave. Esto demuestra las lamentables condiciones de fiscalización con que cuenta el sistema, pues resulta increíble que el tranque de Cerro Negro haya podido funcionar 10 años sin permisos y a sabiendas de toda la comunidad de Cabildo (LÓPEZ *et al.* 2003).

Foto N° 11: Colapso de un muro perimétrico de depósitos de relave de Cerro Negro



Fuente: HAUSER (2000).

Foto N° 12: Otra perspectiva del accidente en Cerro Negro



Fuente: <http://www.tailings.info/images/pics/accidents/CerroNegro1.jpg>

A raíz de los antecedentes expuestos anteriormente corresponde preguntarse cual es la caracterización del riesgo ambiental actual del tranque de relaves Las Tórtolas y si es que puede ser considerado una amenaza para el entorno.

6.1.3.- Estado actual de los tranques de relave en Chile

6.1.3.1.- Una visión general

De acuerdo con CEPAL (2005) la mayoría de los 658 tranques de relave que existen en Chile se encuentran en la IV Región de Coquimbo (57%) y la III Región de Atacama (24%).

En lo que respecta a la Región Metropolitana de Santiago, en el año 1990 se finalizó el primer "Levantamiento catastral de tranques de relave en Chile", dentro del cual se contabilizaban 33 de estas estructuras en proyecto, construcción, operación o abandonados (SERNAGEOMIN, 1990). Posteriormente han ido agregándose varios proyectos más. Dentro de esta Región, la Provincia de Chacabuco es la que más alberga este tipo de obras, con un total de 15 (Tabla Nº 40), siendo el tranque de relave Las Tórtolas uno de los proyectos con mayor capacidad de almacenamiento.

Tabla Nº 40: Distribución de los tranques de relave en la Región Metropolitana de Santiago

Provincia	Comuna	Tranque	Ton. Mineral procesado/Día	Estado de los Tranques		
				En operación	Cerrado	En proyecto
	Colina	Las Tórtolas	75.425	1		
	Lampa	Batuco	170		3	
	Til-Til	Polpaico	3.120	1	3	1
	Til-Til	Refimet	90		4	
Chacabuco	Til-Til	Rungue	140		3	
	Til-Til	Ovejería	32.328			1
	Til-Til	Lo Atajo	28	1		
	Til-Til	Santa Anita	10	1		
	Til-Til	San Francisco	50	1		
			Subtotal Chacabuco	5	15	2
<i>Maipo</i>	Paine	Palo Alto	100		1	
			Subtotal Maipo	0	1	
	Alhué	Alhué	1.100			
<i>Melipilla</i>	Alhué	Membrillo	100			
	Curacaví	Lo Águila	12			
	Curacaví	San Pancrancio				
	Melipilla	Esperanza	57	1		
			Subtotal Melipilla	3	1	1
<i>Santiago</i>	Lo Barnechea	Disputada			6	
	Pudahuel	Africana			3	
	Pudahuel	Lo Aguirre				
			Subtotal Santiago	0	9	0
<i>Talagante</i>	Talagante	Naltahua				
	Peñaflor	Pelvin	15		1	
			Subtotal Talagante	0	2	0
			TOTAL	8	26	3

Fuente: CONAMA (1998).

6.1.3.2.- Historia del yacimiento Los Bronces

Los orígenes de la empresa se remontan a principios del siglo pasado en el yacimiento del mismo nombre. En el año 1916 se forma la actual empresa, resolviendo las numerosas disputas y litigios por la propiedad de las minas en explotación en el sector. La propiedad de una de las minas de este yacimiento fue particularmente disputada, lo cual dió origen al nombre de la Mina Disputada y posteriormente al nombre de la actual empresa. Con la formación de la Compañía Minera Disputada de Las Condes S.A. se inicia la explotación industrial del yacimiento Los Bronces, cuyo mayor desafío fue desde siempre el superar las dificultades de acceso y las severas condiciones de trabajo invernal. En los años posteriores se anexan las operaciones de la mina El Soldado y la Fundición Chagres. La propiedad de la empresa, a partir de 1952, estuvo en poder de capitales franceses. En 1972, el Estado de Chile compra Disputada a través de la Empresa Nacional de Minería. En 1978, la empresa se licitó internacionalmente y fue adquirida por sus actuales accionistas, Exxon Minerals Internacional Inc. Bajo la nueva administración, Disputada inició un proceso de modernización tecnológica, presupuestando inversiones de gran envergadura destinadas a obtener economías de escala y mejorar sus niveles de eficiencia operacional (SONAMI, 2001).

La mina Los Bronces se ubica entre las cotas 3.400 y 4.100 m.s.n.m. en la zona cordillerana de la comuna de Lo Barnechea, provincia de Santiago, dentro de la Región Metropolitana de Santiago. En este lugar se realizan operaciones que consisten en la extracción de mineral a rajo abierto y su posterior beneficio mediante flotación convencional para obtener concentrado de cobre. El mineral extraído de esta mina es sometido a procesos de chancado y molienda en el sector alto del río San Francisco, para luego ser enviado como pulpa a través de un mineraducto hacia una planta concentradora (flotación convencional) ubicada en el sector del cajón Las Tórtolas, a 45 Km al norte de Santiago y entre las cotas 700 y 850 m.s.n.m. El producto obtenido es transportado en camiones al puerto de San Antonio para su exportación, o a la fundición Chagres.

6.1.3.3.- Expansiones de la empresa Anglo-American

En lo que a producción se refiere, a la fecha se han llevado a cabo varios eventos de expansión de las obras y, la concerniente a este estudio, que se encuentra en resolución dentro de CONAMA (hay que recalcar que al comienzo de este estudio, el tercer proyecto de expansión mencionado se encontraba en proceso de revisión, finalizando con la Resolución de Calificación Ambiental el 26 de Noviembre de 2007). A continuación se describen brevemente algunas de ellas:

6.1.3.3.1.- Expansión del año 1996

CONAMA (1996) menciona que el proyecto de expansión-2 Mina Los Bronces considera aumentar la capacidad nominal de procesamiento de mineral de 37.000 a 75.000 toneladas por día. La justificación del proyecto radica fundamentalmente en que la compañía, para mantener y prolongar su competitividad a nivel mundial como productora de concentrado de cobre, requiere un proceso cada vez más rentable, lo que sólo puede lograr aumentando el ritmo de producción. La inversión estimada del

proyecto es de US \$570 millones. En el área Las Tórtolas los cambios más relevantes asociados al proyecto de expansión son los siguientes:

- i. Se instalan equipos adicionales para el proceso de flotación y recuperación de concentrado de cobre, de características similares a los existentes.
- ii. Se reemplaza la tubería de transporte de relave desde la planta hasta el depósito de relave por una de mayor diámetro. Las instalaciones de clasificación de relaves son readecuadas.
- iii. Se agregan nuevos estanques para el almacenamiento de cal y reactivos de flotación.
- iv. Para suplir los requerimientos adicionales de agua en la planta Las Tórtolas, se aumenta la recirculación de agua desde el depósito de relaves, y también el caudal de agua subterránea captada desde pozos existentes.
- v. El consumo adicional de energía eléctrica en el área Las Tórtolas es suministrado por el sistema existente.
- vi. El flujo vehicular se incrementa en aproximadamente 130 vehículos por día, de los cuales 60 corresponden al transporte de concentrado.

CONAMA (con fecha 27 de junio de 1997) acepta dicho proyecto de expansión pero añade ciertos requerimientos para el sector de Las Tórtolas, dentro de los cuales se contemplan las siguientes medidas (CONAMA, 1997):

- A. Reducir las emisiones de material particulado generadas en los procesos y caminos del área Las Tórtolas a través de:
 - i. Riego periódico de caminos durante la etapa de construcción y operación, especialmente en la temporada seca.
 - ii. Encapsulamiento de todas las correas transportadoras de concentrado.
 - iii. Almacenamiento de concentrado en recinto cerrado (galpón) con presión negativa y sistema colector de polvo.
 - iv. Carguío de concentrado a camión dentro del galpón de acopio.
- B. Para minimizar la extracción adicional de agua desde el acuífero a un promedio de aproximadamente 28 l/s, se contempla:
 - i. Recuperación de agua desde espesadores y filtros de concentrado.
 - ii. Recuperación de agua clara de relave desde el depósito de relaves.
- C. Aguas claras de relave en las zonas forestadas del área Las Tórtolas:
 - i. El efluente líquido del proceso, que corresponde a una parte del agua clara de relave (no recirculada), se debe someter a un tratamiento de acidulación para luego ser usado en el riego de plantaciones forestales.
- D. Plan de monitoreo para el área de Las Tórtolas:
 - i. En caso de rebalses de estanques y celdas del circuito de remolienda, de los espesadores y del circuito de filtración por embancamiento, o por detenciones imprevistas o fallas en las bombas impulsoras, con riesgo potencial de contaminación de suelo e infiltración hacia la napa, se debe considerar la implementación de los estanques y/o depósitos siguientes: planta de cal; celdas

- de flotación; planta de reactivos; planta de molibdeno; bodegas de lubricantes y estanques de petróleo.
- ii. En caso de reactivos químicos: se debe notificar a la autoridad correspondiente si la situación o magnitud así lo amerita; se aísla el sector afectado, evitando el contacto directo de personas; dependiendo del material se debe agregar una sustancia neutralizante; personal especializado procederá al retiro del material y se efectuará una limpieza final del sector afectado. El detalle de estas actividades está contenido en los manuales de operación y seguridad, especificado para cada uno de los reactivos químicos y será exigido por contrato a los proveedores y transportistas, siendo controlado en forma permanente por Compañía Minera Disputada de Las Condes S.A.
 - iii. En caso de filtraciones de tuberías con consecuentes fugas o roturas de tuberías de proceso, con riesgo potencial de contaminación de suelo e infiltración hacia la napa, las medidas de prevención serán principalmente aplicar las medidas de prevención y contingencia señaladas para el área Los Bronces.
 - iv. Además, se contempla el control permanente de los flujos de entrada y salida de los circuitos para detectar variaciones que puedan inducir un embancamiento y la habilitación de dos piscinas de emergencia, una para los circuitos de flotación y remolienda, la otra para los espesadores y las filtraciones.
 - v. Como medidas de contingencias se debe prever: acumulación gravitacional de los líquidos rebalsados en las piscinas; si es necesario, se interrumpirá de la impulsión de concentrado desde el área Los Bronces y vaciado del mineraducto en las piscinas de emergencia ubicadas a lo largo de su trazado y en el embalse de emergencia; después de resolver el desperfecto, los líquidos acumulados se bombearán nuevamente al proceso.

E. Mediciones de PM-10

- i. En el área Las Tórtolas el monitoreo se debe efectuar cuatro veces al año: un mes en verano, un mes en otoño, un mes en invierno y un mes en primavera, con una frecuencia de 3 días (10 mediciones mensuales). Si al cabo del primer año de operación las concentraciones de PM-10 se mantienen dentro de rangos estables y adecuados, sin presentar incrementos importantes, se reduciría la frecuencia de monitoreo a dos veces al año (verano e invierno).
- ii. Para las mediciones de PM-10 se debe utilizar un muestreador de alto volumen con cabezal para partículas de diámetro inferior a 10 μg . Los equipos se instalarán sobre la techumbre de viviendas o casetas. Los sitios estarán libres de obstrucciones significativas (estructuras, árboles, etc.) por sobre el nivel del equipo, en un radio de 30 m. Los métodos de muestreo cumplirán las normas de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de E.E.U.U.
- iii. Los resultados deben ser expresados como concentraciones en 24 horas de PM-10, a fin de compararlos con la concentración ambiental máxima permisible de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ establecida en el D.S.N° 185/1991 del Ministerio de Minería.

F. Medición de calidad del agua en sector Las Tórtolas

- i. La frecuencia de monitoreo de calidad del agua subterránea en el área Las Tórtolas es semestral (cada seis meses), determinándose la lista completa de parámetros de la NCH 1.333/78.

ii. Las medidas de abandono del depósito de relaves de Las Tórtolas están comprometidas en los permisos otorgados por parte de las autoridades correspondientes (SERNAGEOMIN y DGA), y se refieren a los siguientes aspectos:

- ✓ Al término de la vida útil del depósito de relaves se construirá un vertedero en un costado de la presa, con capacidad para evacuar un caudal asociado a la crecida máxima probable.
- ✓ La superficie final de los muros del depósito se protegerán con una capa de material grueso para minimizar la erosión eólica.
- ✓ Complementariamente se debe instalar una capa de suelo vegetal en la superficie final de los muros para permitir la plantación de especies adecuadas.
- ✓ Por otra parte, para interceptar las infiltraciones de aguas claras de relave que se producen bajo el muro, la empresa debe continuar operando durante el abandono la batería de pozos al pie del muro, desde donde las recircula al depósito (operación actual, los pozos de monitoreo quedarán habilitados para permitir mediciones posteriores al cierre). Se considera continuar con el monitoreo de aguas durante el período estimado de 30 años en que operará la batería de pozos, y un lapso posterior de 2 años después de finalizada la operación de los mismos.
- ✓ El agua reincorporada a la laguna del depósito se evaporará paulatinamente, y como una medida para acelerar su eliminación se contempla proseguir con el riego de las especies forestales hasta agotar el volumen de agua residual.

6.1.3.3.2.- Expansión del año 2000

En el informe de SONAMI (2001) se señaló que durante el año 2002 estaba prevista la puesta en marcha del proyecto de Expansión Los Bronces de la Compañía Minera Disputada de Las Condes, iniciado a comienzos del 2000, con una inversión de US\$ 200 millones. El proyecto aumentó en 40.000 toneladas de cobre por año la producción de concentrados en el proceso de molienda y flotación y en 20.000 toneladas de cátodos por año la producción de lixiviación y electrólisis, elevando la producción de Disputada sobre las 300.000 toneladas de cobre por año, cerca de un 8% de la producción de cobre registrada en Chile en 1999. Con el proyecto de expansión anteriormente mencionado, la producción de la mina aumentó a 200.000 toneladas por día de mineral y lastre.

El principal equipo de la expansión, con un costo de 10 millones de dólares, fue una segunda pala de 54 yardas cúbicas, capaz de cargar más de 60 toneladas en su balde. Adicionalmente, un nuevo molino de bolas de 14.500 HP permitió elevar a 54.000 toneladas por día la capacidad de molienda.

Para transportar el mayor tonelaje a Las Tórtolas, Disputada reemplazó la cañería de acero de 20 pulgadas por una de 24 pulgadas. El cambio de diámetro permitió optimizar el uso de este sistema, único en la industria, desarrollado con ingeniería chilena, utilizando las estaciones de disipación de energía, los puentes y los túneles existentes. Nuevas celdas, un molino y filtros repotenciados permitieron aumentar el tonelaje tratado y la recuperación metalúrgica en la planta Las Tórtolas.

Basados en el éxito de la tecnología de lixiviación bacteriana en altura de la primera planta inaugurada en 1998, el proyecto de Expansión Los Bronces contempló una

segunda planta de extracción por solvente y electrólisis, que triplicaría la capacidad actual de producción de cátodos con costos de operación muy bajos.

Un 75% de la inversión del proyecto (US\$ 150 millones) se gastó en bienes y servicios en Chile. Durante la construcción se crearon 1.200 empleos directos y unos 1.000 empleos indirectos. El diseño completo del proyecto se efectuó en Chile usando 400.000 horas de ingeniería. La operación contempló 40 empleos permanentes de alta calificación y compras adicionales de bienes y servicios en nuestro país por US\$ 20 millones anuales, sustentando unos 800 empleos indirectos.

El proyecto se desarrolló considerando altos estándares ambientales y de seguridad. La autoridad respectiva aprobó los completos estudios ambientales. En este sentido, hay que destacar que, como resultado de la expansión, la superficie del bosque que Disputada creó en Las Tórtolas, asociado a la planta de flotación, se extendió a mil hectáreas (300 hectáreas adicionales).

6.1.3.3.3.- Expansión del año 2006

ARCADIS GEOTECNICA (2006) señaló que el estudio de impacto ambiental fue presentado en este organismo el 5/10/2006. En lo referente al tranque de relaves Las Tórtolas se consignó lo siguiente:

El proyecto incrementa la tasa de generación de relaves de flotación a cerca de 155 ktpd nominales. El relave será dispuesto en el tranque Las Tórtolas, cuya capacidad se ampliará de 1.000 a 1.900 millones de toneladas. Para ello se aumentará la cota de coronamiento de los muros existentes en aproximadamente 50 metros (de 750 a 800 m.s.n.m.) y se incorporarán 3 muros secundarios.

El agua de la laguna de clarificación del tranque de relaves será recirculada al proceso. La capacidad de recuperación de agua en la laguna se ampliará instalando bombas adicionales. Los excedentes de agua continuarán siendo disipados mediante evapotranspiración en una plantación forestal de 450 hectáreas, complementada con una plantación de cultivos anuales de 100 hectáreas. La disipación de excedentes de agua del tranque de relaves mediante riego es una actividad del caso base que el proyecto no requiere modificar. Por el contrario, el proyecto considera aumentar la recirculación de agua al proceso, con lo cual se disminuirá el excedente que es necesario disipar. Sin embargo se mantendrá la actual superficie de riego porque sigue siendo necesaria para los años húmedos. En el sector de los muros secundarios se instalarán pantallas cortafugas para interceptar las infiltraciones y retornarlas al tranque. Estas pantallas alcanzarán la roca basal y sellarán los horizontes fracturados de la roca. En el muro principal del tranque se mantendrá la operación de la batería existente de pozos de captación de infiltraciones, cuya capacidad de bombeo (superior al flujo de infiltraciones) permitirá absorber eventuales aumentos de caudal.

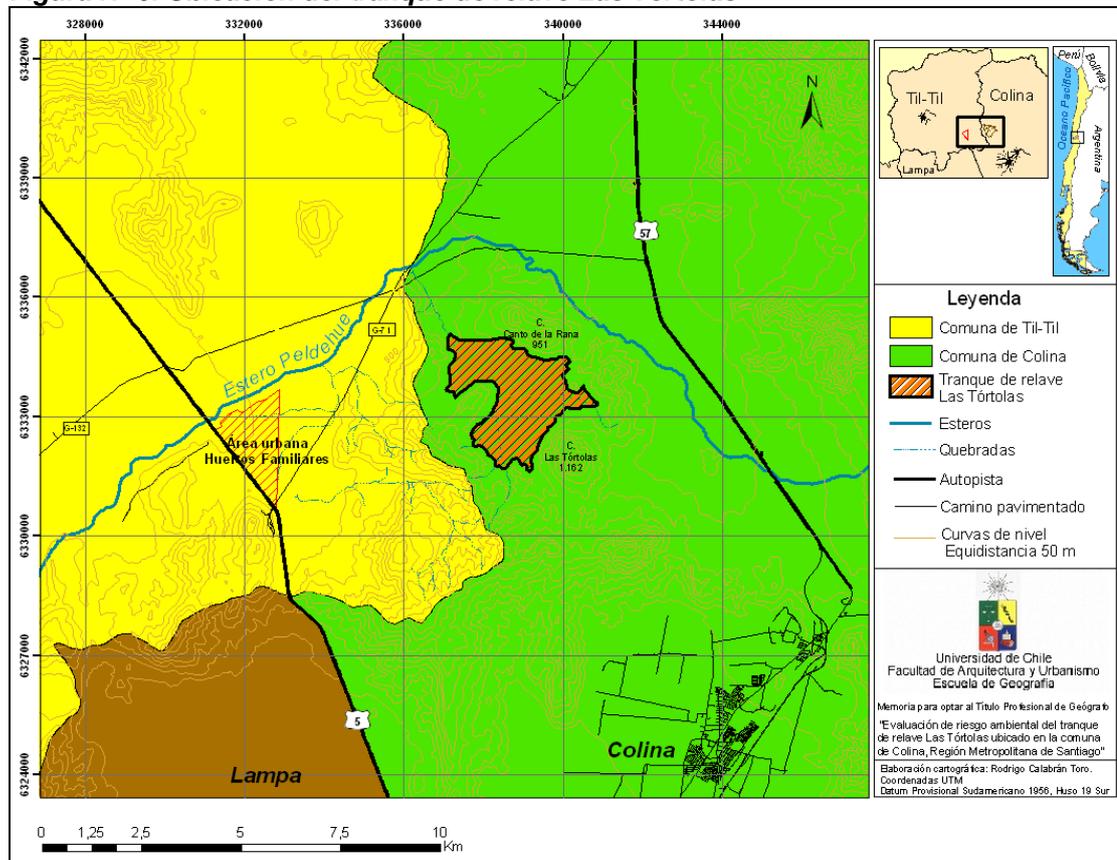
En el proyecto también se consideró incluir las necesarias conexiones entre estos sitios, en cuanto a caminos, tuberías y líneas eléctricas, y las instalaciones de apoyo. Los principales frentes de construcción que se llevarán a cabo en los sectores del área Las Tórtolas son los siguientes:

- i. Planta de flotación primaria y remolienda de cobre.
- ii. Planta de molibdeno y área de manejo / almacenamiento de concentrado de cobre.
- iii. Ajustes planta actual.
- iv. Conducción y clasificación de relaves.
- v. Muros tranque de relaves e instalaciones anexas.
- vi. Sistemas de control de filtraciones en muros del tranque de relaves.
- vii. Recuperación de aguas claras del tranque.
- viii. Trazado tuberías para la recirculación de aguas de relave.
- ix. Ampliación de plantas elevadoras existentes en tubería de recirculación de aguas.
- x. Instalaciones de apoyo.

6.1.4.- Tranque de relave Las Tórtolas

En 1992 inició su operación el tranque de relave Las Tórtolas (perteneciente a la empresa Anglo-American Chile) el cual se ubica dentro de la comuna de Colina (Figura N° 6). El diseño contempló desde el comienzo el control de la contaminación de las aguas subterráneas y la eliminación de la posibilidad de vertidos a aguas superficiales, por lo que se consideró la capacidad para absorber su crecida máxima previsible. Para evitar las infiltraciones se construyó una cortina de siete pozos de captación de aguas subterráneas al pie del tranque (ANGLO-AMERICAN CHILE, 2004).

Figura N° 6: Ubicación del tranque de relave Las Tórtolas



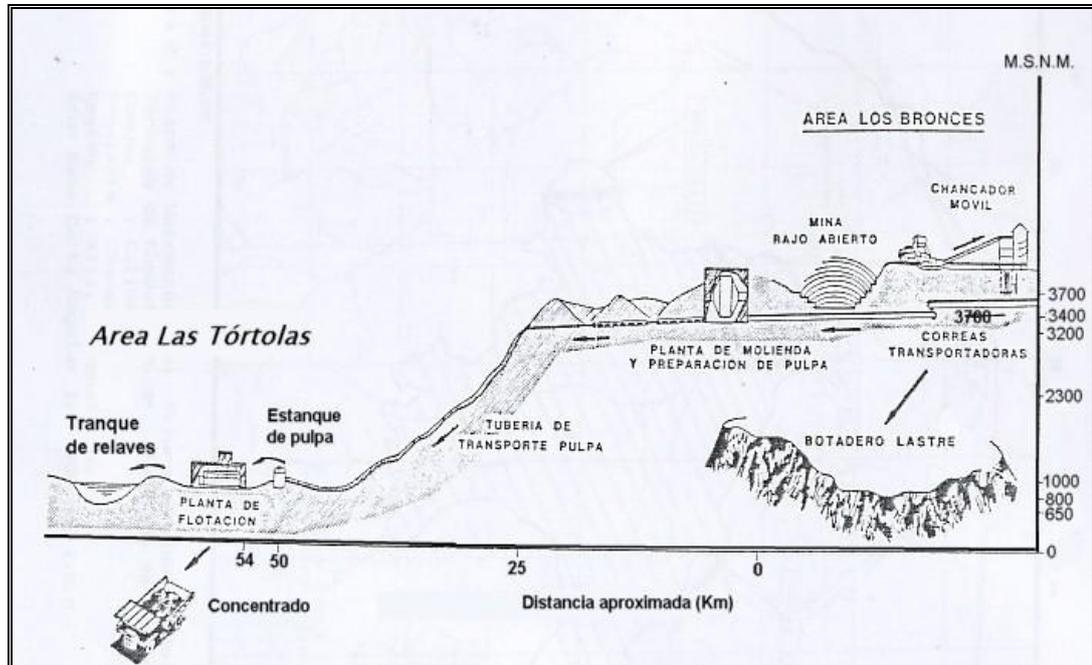
Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

6.1.4.1.- Características del tranque antes de ser construido

A continuación se detallan las características que posee el actual tranque de relaves Las Tórtolas, siendo descritas en el "Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile: Etapa A, Regiones V y XIII (SERNAGEOMIN, 1989).

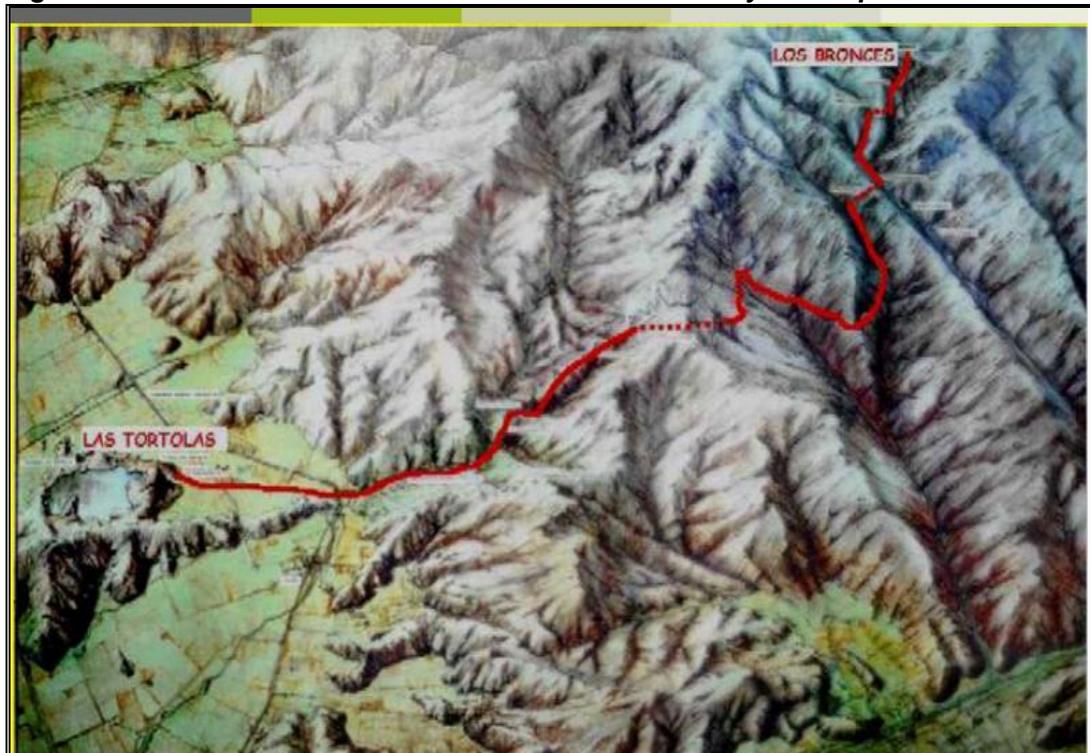
6.1.4.1.1.- Ubicación espacial: Se encuentra ubicado en el cajón de Las Tórtolas (33° 07' Latitud Sur; 70° 44' longitud Oeste), dentro de la comuna de Colina, provincia de Chacabuco. Los relaves provienen de la zona de Los Bronces, ubicada en la alta cordillera a 3.500 metros sobre el nivel del mar (Figuras N° 7 y 8).

Figura Nº 7: Perfil entre el área de la mina Los Bronces y el tranque de relave Las Tórtolas



Fuente: SERNAGEOMIN (1990).

Figura Nº 8: Modelo de terreno entre la mina Los Bronces y el tranque Las Tórtolas



Fuente: ANGLO-AMERICAN CHILE (2007β).

6.1.4.1.2.- Características de los muros: Los muros del tranque de relave Las Tórtolas se construyen mediante la depositación de relaves cicloneados, los que deben tener no más de un 10% de finos. El muro principal incluye un muro de partida (Starter Dam) de suelo compactado, sobre el cual se depositan hidráulicamente los relaves cicloneados, los que luego se compactan mecánicamente. El muro occidental se construye depositando hidráulicamente los relaves cicloneados, los que luego se compactan mecánicamente. El muro oriental se construye mediante relleno convencional, de capas horizontales compactadas de arenas de relaves, las que se transportan en camión.

6.1.4.1.3.- Condiciones de estabilidad: La estabilidad de un tranque de relave se puede definir como la capacidad de la obra para resistir distintos tipos de movimientos (VALENCIA, 1992). Algunos tipos son:

- i. **Estática:** Los antecedentes disponibles, a nivel de proyectos, permiten suponer que los muros del tranque de relave Las Tórtolas tendrán una estabilidad estática buena; con un factor de seguridad probablemente mayor que 1,5; y una muy baja probabilidad de falla.
- ii. **Sísmica:** Los antecedentes disponibles, a nivel de proyectos, permiten suponer que los muros del tranque de relave Las Tórtolas tendrán una estabilidad sísmica aceptable a buena; con un factor de seguridad probablemente mayor que 1,2; y una baja a muy baja probabilidad de falla.

6.1.4.1.4.- Fenómenos no sísmicos que podrían afectar al tranque de relaves Las Tórtolas: Dada las características geomorfológicas y climatológicas de la zona donde se ubica el tranque, el principal fenómeno no sísmico que lo podría afectar es la ocurrencia de lluvias intensas. La probabilidad de que estas lluvias intensas causen la falla total de alguno de los muros del tranque es remota; la probabilidad de que causen fallas parciales es muy baja; y la probabilidad de que causen fallas menores es muy baja a media.

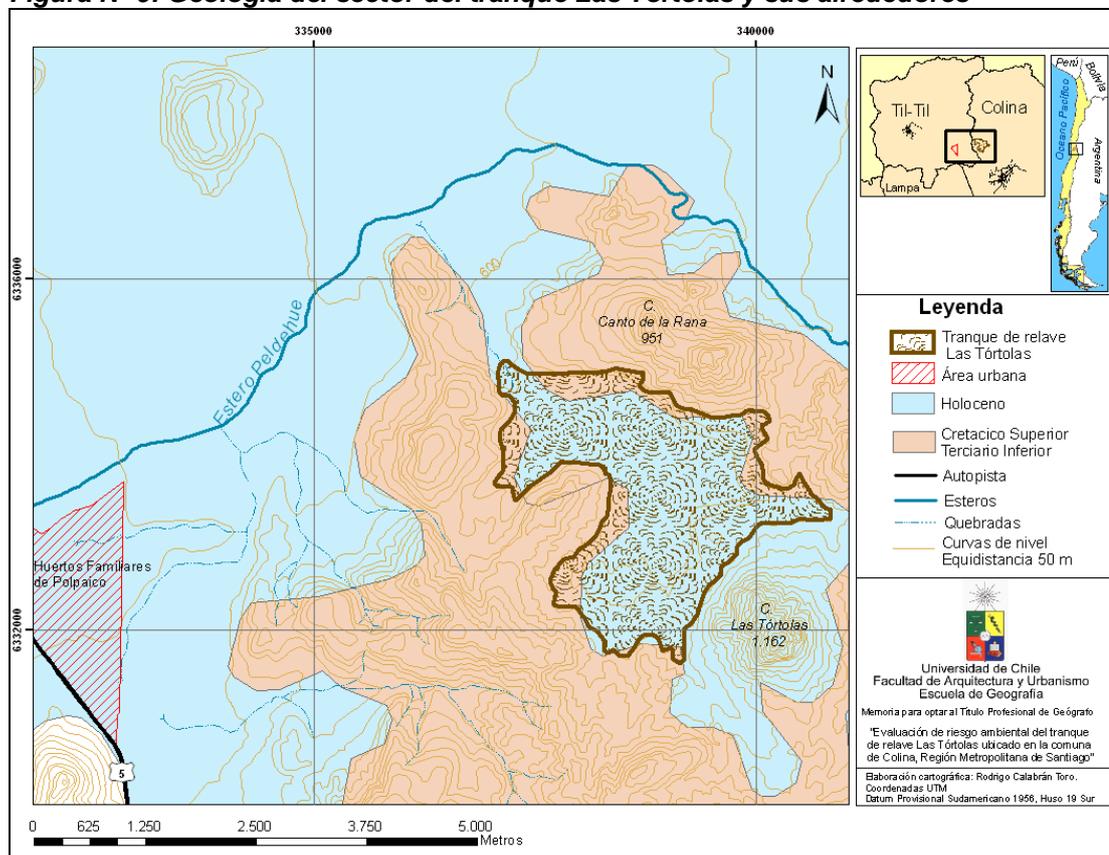
6.1.4.1.5.- Efectos de una falla parcial: La probabilidad de una falla parcial de alguno de los muros del tranque Las Tórtolas es baja a muy baja; sin embargo, en la eventualidad de que ocurriese, si permite el vaciado de los relaves podría ocasionar víctimas y daños importantes e incluso, si no permite el vaciado de los relaves, generaría una situación de potencial colapso que requeriría una inmediata, y probablemente costosa reparación.

6.1.5.- Caracterización del área de estudio

6.1.5.1.- Geología

De acuerdo a ARCADIS GEOTECNICA (2006) “el área de Las Tórtolas está formada por dos unidades geológicas: la planicie aluvial de Peldehue y los cerros de Colina. La planicie de Peldehue está formada por un relleno aluvial (Qa) del Pleistoceno la cual se conecta lateralmente con depósitos coluviales de piedemonte (Qc) que son importantes en ambos costados de la planicie. Los cerros de Colina constituyen un enclave montañoso ubicado en el extremo norte de la cuenca de Santiago y formado esencialmente por rocas de la formación Lo Valle (Kslv) del Cretácico Superior. Estas rocas están intruidas por cuerpos hipoabisales andesíticos y dioríticos del Mioceno, tal como el cerro Las Tórtolas (Figura N° 9).

Figura N° 9: Geología del sector del tranque Las Tórtolas y sus alrededores



Fuente: Elaboración propia en base a Proyecto O.T.A.S. (2002)

6.1.5.2.- Geomorfología

Según ARAYA VERGARA (1985) entre Chacabuco y Chicureo, tres géneros de formas hacen juego en el contacto entre montaña y fondo de depresión: los conos caóticos, los glaciares coluviales y los glaciares de derrame. Los conos caóticos aparecen sólo como formas correlativas a cuencas de drenaje bien desarrolladas; contienen abundantes bloques, abombamientos separados por talwegs y comúnmente sustentan la vegetación natural, ya que están cubiertos de suelo; aguas abajo, dan

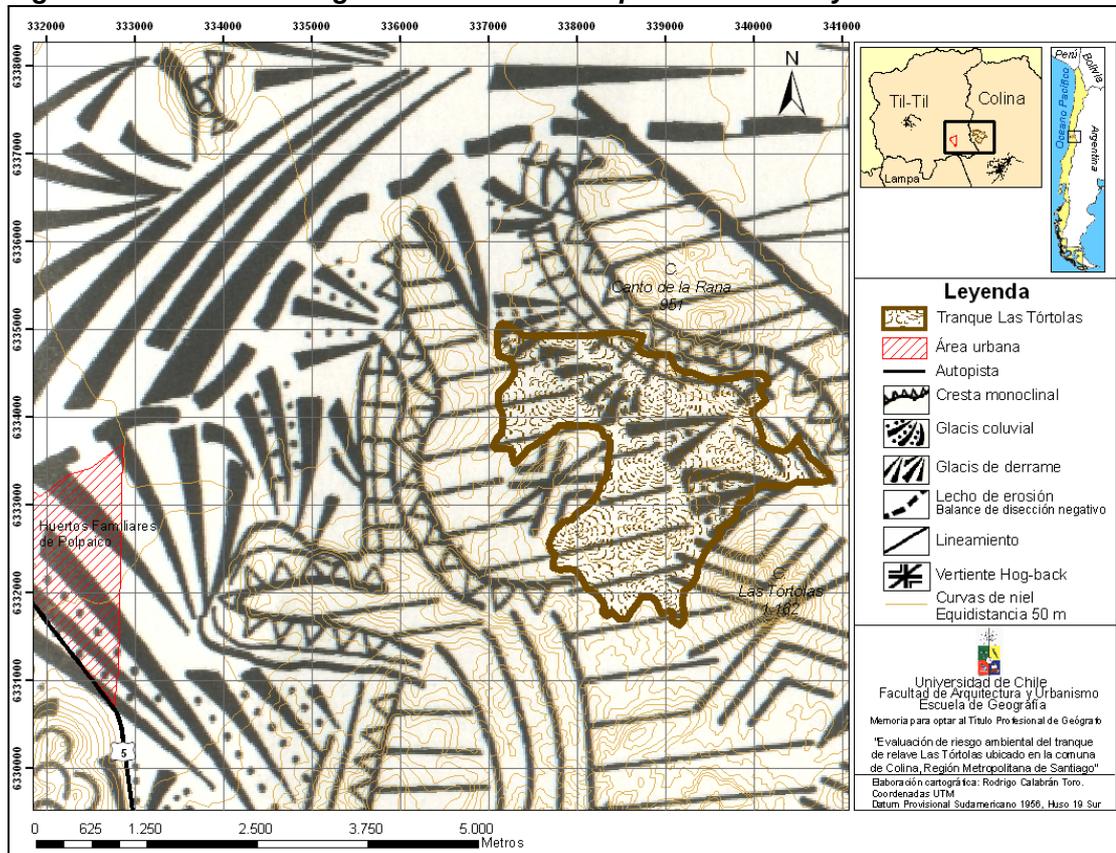
paso a glaciis de derrame con abundantes sedimentos finos; los materiales gruesos difícilmente pasan del tamaño de la grava y son subangulosos; los suelos son más profundos y de tendencia pesada, indicando condiciones de drenaje inferiores a las de los suelos de los conos; la arcilla otorga gran ligosidad al suelo, que lo vuelve muy duro y compacto al secarse; hacia la superficie se ve pedregosidad continua del tamaño de la gravilla, pero siempre englobada en abundante material fino; da la sensación de que algunas facies pueden corresponder a glaciis de ahogamiento. Los glaciis de derrame que no tienen conexión con conos están naturalmente ajenos al desarrollo de cuencas de drenaje importantes y aparecen como el producto de la arroyada de varias vertientes, como ocurre en el sector de Peldehue.

En el borde septentrional aparece una depresión periférica entre el sector de Chacabuco y los monoclinales de Polpaico. Ella está orientada en la dirección de la fracturación general para esta parte (NE-SW). Así, se puede proponer que el tipo de contacto entre montaña y fondo de depresión es aquí el de una depresión periférica. La fractura directriz de esta separa un paisaje de monoclinales de media o baja montaña que se destaca al sur de ella.

Una serie de glaciis marca el contacto entre la montaña y el fondo de esta depresión. Este se divide en dos secciones: la oriental está ocupada por glaciis de derrame, y la occidental por una terraza aluvial aparentemente de menor pendiente que el glaciis. El cuerpo de este es rico en gravilla y arena. Las gravas también están representadas dando cuenta de algunas facies de escurrimiento concentrado. Las gravas finas, gravillas y arenas están estructuradas en lentes largos y delgados, revelando la acción de posibles arroyadas concentradas. El suelo en esta parte es relativamente delgado. La terraza occidental se destaca por un cambio en el uso de la tierra, apareciendo profusamente ocupada por campos de cultivos. En la parte oriental tiende a haber bastante adaptación del drenaje concentrado actual a la morfología del glaciis; la incisión de los talwegs es muy leve y se puede proponer que en edad reciente la retroacción fue negativa, aunque en el presente hay una suave tendencia a la retracción positiva. En la terraza occidental, en cambio, la incisión fluvial es más manifiesta y se puede hablar de un balance reciente positivo.

A nivel de microescala, el área Las Tórtolas está constituida por dos unidades geomorfológicas, la planicie de Peldehue y la cuenca intramontana del cerro Las Tórtolas. La planicie se extiende con una altitud promedio de 1.300 m, la cual aumenta levemente conforme se avanza hacia el NE, donde se encuentra el conjunto montañoso, alcanzando una altura máxima de 1.162 m en el cerro Las Tórtolas. Con respecto al tranque de relave, este se encuentra ubicado en el fondo de valle de la cuenca intramontana anteriormente mencionada (Figura N° 10).

Figura N° 10: Geomorfología del sector del tranque Las Tórtolas y sus alrededores



Fuente: Elaboración propia en base a Proyecto O.T.A.S. (2002) y ARAYA VERGARA (1985).

6.1.5.3.- Clima y meteorología

El régimen hídrico del área Las Tórtolas es de tipo mediterráneo con 7 meses secos. Según los registros pluviométricos de la estación del mismo nombre, presentan una media anual de 204 mm, una precipitación media máxima mensual de 60 mm en junio y una media mínima mensual de 0,2 mm en diciembre, donde el 85% de las precipitaciones se concentra entre los meses de mayo y septiembre (Tabla N° 41). La evaporación de bandeja media anual es 1.634 mm, mientras que la evapotranspiración potencial media anual es de 1.005 mm, con valores máximos en el mes de enero y mínimos en el mes de julio (ARCADIS GEOTECNICA, 2006).

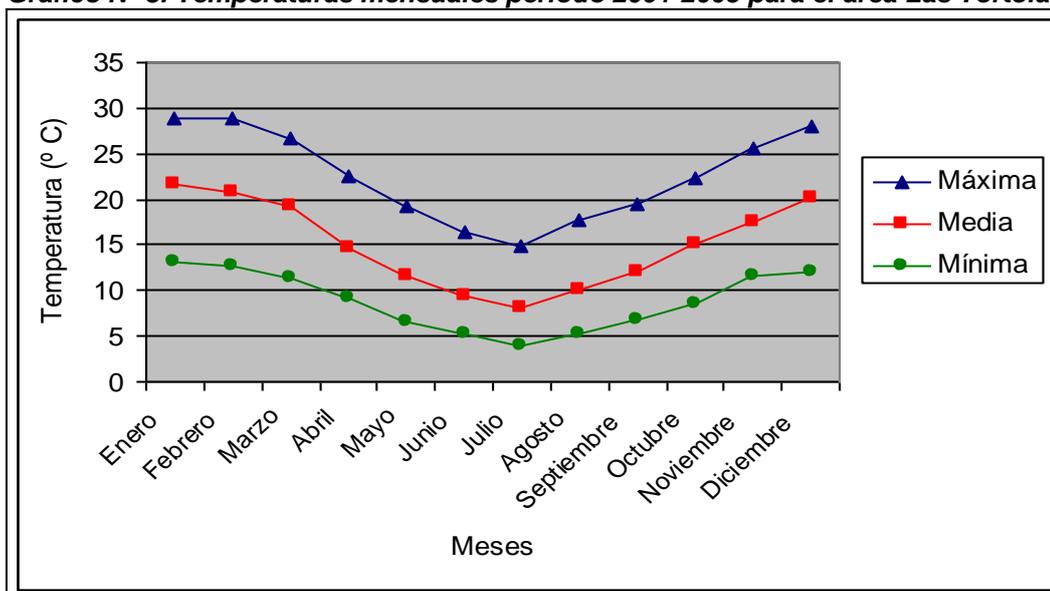
Tabla N° 41: Precipitaciones mensuales periodo 1994-2005 para el área Las Tórtolas

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual
1994	0	0	0	0	36,8	23,6	80	9,7	16,6	9,6	1,8	0	178,1
1995	1,3	0	0	7,1	4,6	39,1	25,4	21,6	0	3,8	0	0	102,9
1996	0	0	0,3	40,4	0,3	25,9	22,1	18	2,7	5,1	0	0	114,8
1997	0	0	3,8	0,3	69,1	228,6	52,9	93,2	77,1	53,3	3,8	0	582,1
1998	0	2,3	0	24,9	11,2	25,9	13,2	0,5	16,5	0	0	0	94,5
1999	0	0	10,2	12,9	1,1	34	16,4	92	37,9	29,4	0,4	1	235,3
2000	0	0,5	0	0	23,6	134,3	0	0,2	0	0	0	0	158,6
2001	0	0	0	0	24,4	1,5	120,4	43,4	22,4	8,4	0,8	0,5	221,8
2002	0	0	6,6	13,5	89,2	85,1	11,4	32,5	9,4	0	0	0,8	248,5
2003	0	0	0	0	0,5	24,6	33	2,3	1,8	1,3	4,1	0	67,6
2004	0	0	0	38,1	6,2	36,7	56,2	32,6	13,6	0,4	53,1	0	236,9
2005	1,3												
Media mensual	0,2	0,3	1,9	12,5	24,3	59,9	39,2	31,5	18,0	10,1	5,8	0,2	203,7

Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Con respecto a la temperatura (Gráfico N° 3), esta presenta una media anual de 15°C, con una media máxima mensual de 21,6°C en enero y una media mínima mensual de 8,1°C en julio. La humedad relativa media anual presentó un valor de 63%, con una media mensual máxima de 68% en julio y una media mensual mínima de 48% en febrero.

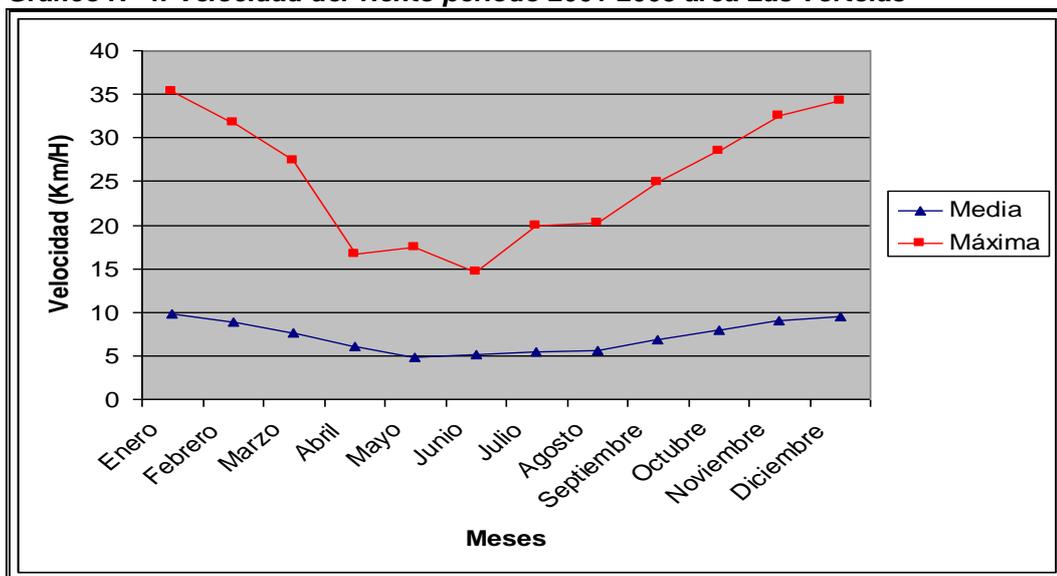
Gráfico N° 3: Temperaturas mensuales periodo 2001-2005 para el área Las Tórtolas



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

De acuerdo al régimen de vientos, ARCADIS GEOTECNICA (2006) señala que predomina la dirección Este (E) durante gran parte del año (estación de otoño, invierno y la mayor parte de la primavera). En relación a la estación de verano, el área se caracteriza por presentar un predominio de viento con dirección Sur-Suroeste (SSW) (de acuerdo a registros de la Estación Las Tórtolas). La velocidad media anual del viento en el área Las Tórtolas es de 6,6 Km/h, con una media mensual máxima de 8,28 Km/h en el mes de diciembre y una media mensual mínima de 3,6 Km/h en los meses de mayo/junio (Gráfico N° 4). La velocidad media máxima anual es de 27 Km/h, con variaciones entre 17,28 Km/h y 35,28 Km/h.

Gráfico N° 4: Velocidad del viento periodo 2001-2005 área Las Tórtolas



Fuente: Elaboración propia en base a ARCADIS GEOTECNICA (2006).

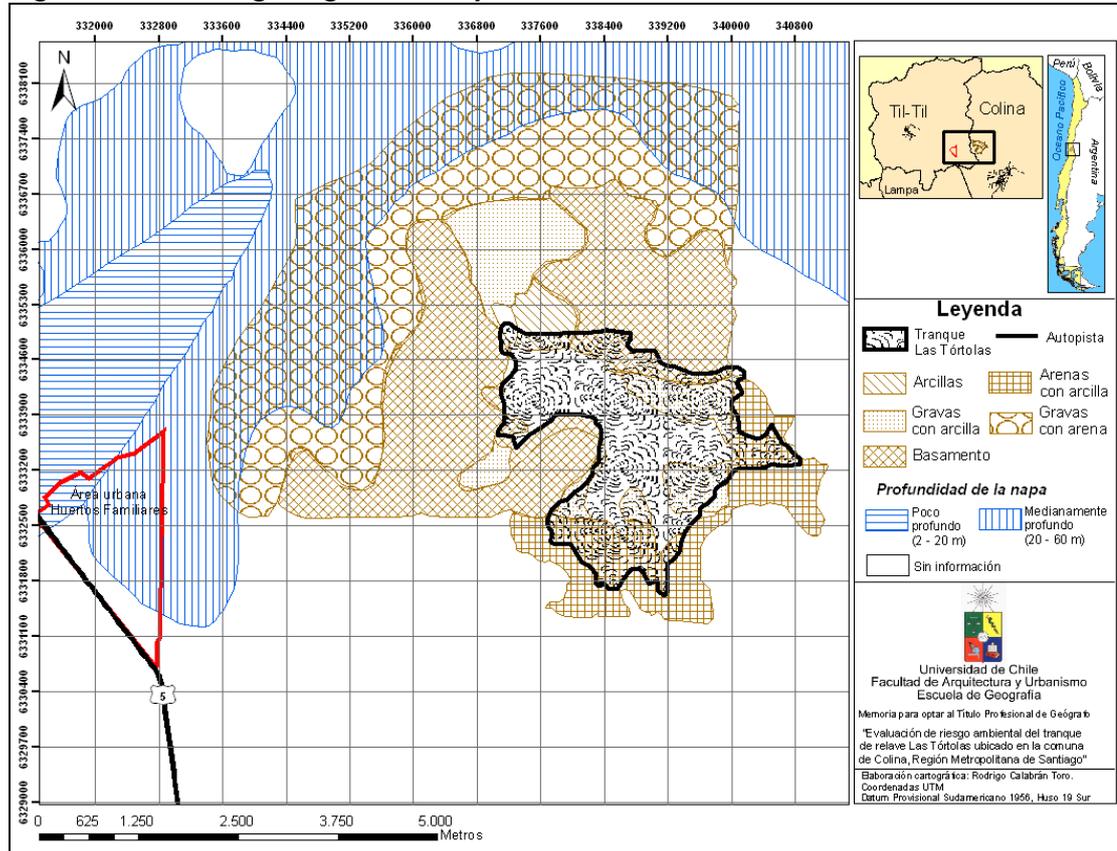
6.1.5.4.- Hidrogeología

Según la DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (2002) el Sistema Chacabuco corresponde a uno de los tres sistemas que conforman el acuífero del Maipo-Mapocho y, dentro de este, se encuentra inserto el Sector Polpaico - Chacabuco el cual está asociado a la cuenca hidrográfica del estero Peldehue.

A nivel de micro-escala, en el área Las Tórtolas, el acuífero se encuentra alojado principalmente en el relleno sedimentario en forma de un acuífero libre. Sin embargo, se pueden definir dos zonas en las cuales el acuífero se comportaría levemente distinto o se podría dividir en dos acuíferos conectados hidráulicamente: Estas serían el cajón de Las Tórtolas y el valle del estero Peldehue en el sector de Quilapilún. En primer lugar, en el sector del muro principal y cajón de Las Tórtolas, los sedimentos que conforman el acuífero presentan contenidos variables de arcilla, lo que eventualmente podría resultar en sectores en los que el acuífero se comporte como acuífero semiconfinado si el porcentaje de arcilla es muy elevado. En este sector, también forma parte del acuífero el depósito de remoción en masa ubicado en el sector del estribo derecho del muro del tranque de relaves, el cual se comporta también como un acuífero libre a semiconfinado por los niveles de arcilla presentes. Este acuífero alojado en los sedimentos del cajón Las Tórtolas engrana con el

acuífero del valle del estero Peldehue, que corresponde a un acuífero fluvial libre (Figura N° 11). El espesor de roca fracturada encontrada en casi la totalidad de los sondeos perforados también forma parte del acuífero en ambas zonas y se estima que posee un espesor de 5 m (ARCADIS GEOTECNICA, 2006).

Figura N° 11: Hidrogeología del tranque de relave Las Tórtolas



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

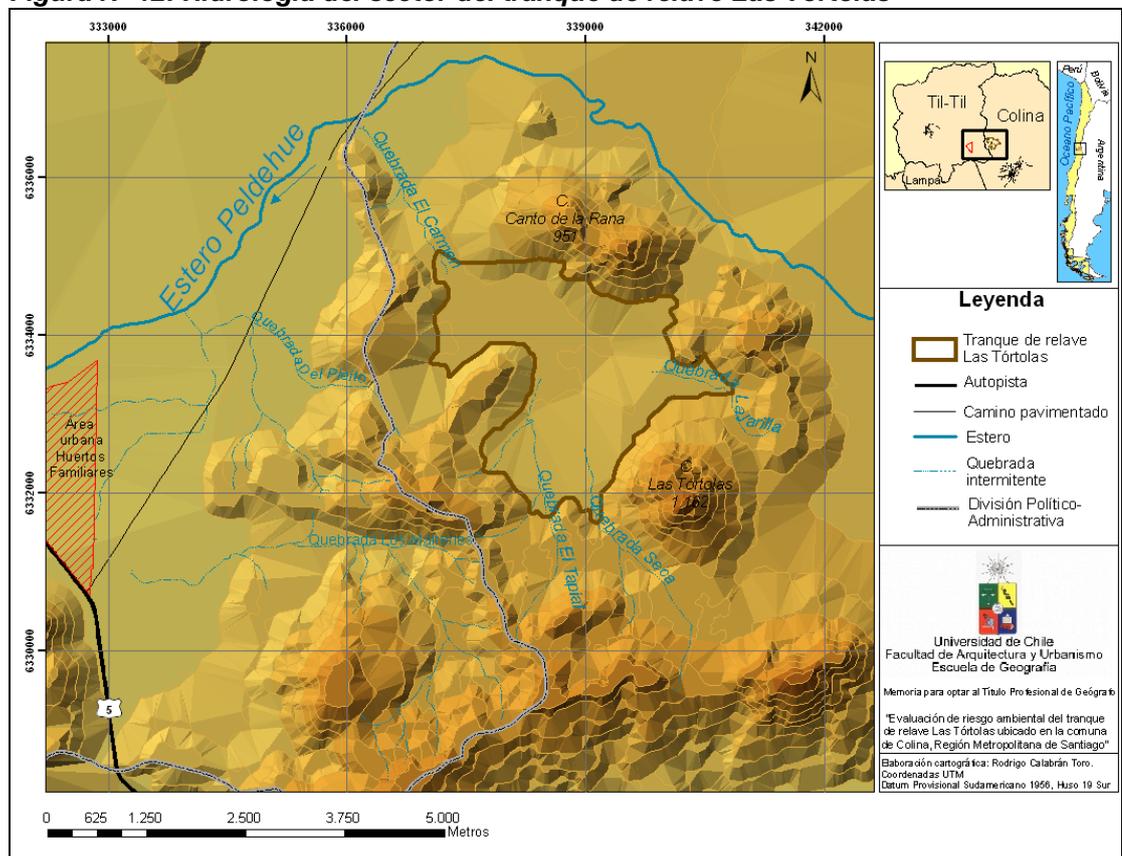
Finalmente, con respecto a algunos indicadores hidrogeológicos de la zona, la DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (1989) señala que:

- La profundidad de los pozos cercanos al área del tranque Las Tórtolas varía entre 40 y 70 m.
- La profundidad del nivel estático varía entre 10 y 42 m.
- La productividad de los pozos varía entre *Muy elevada* ($> 10 \text{ m}^3/\text{H}/\text{Mes}$) y *Elevada* ($4\text{-}10 \text{ m}^3/\text{H}/\text{Mes}$).
- La calidad del agua con respecto al Total de Sólidos Disueltos (TSD) varía entre 300 y 350 Mg/L.

6.1.5.5.- Hidrología

El área del tranque de relave Las Tórtolas se encuentra inserta dentro de la cuenca del estero Peldehue, el cual según BOETTIGER (1987) nace en las vertientes pre-andinas pero recibiría sus mayores aportes de caudal del macizo Altos de Polpaico, enclavado en el centro de la cuenca del estero Lampa. Su escurrimiento superficial sigue un curso de Este a Oeste cruzando la depresión de Polpaico. De acuerdo con ARCADIS GEOTECNICA (2006) la cuenca intramontana casi circular del cerro Las Tórtolas posee una serie de quebradas que constituyen una red de drenaje aparentemente centrípeta, aunque en estricto rigor es dendrítica (Figura N° 12). Las quebradas El Carmen Alto, Quebrada Seca, Quebrada La Jarilla y Quebrada El Tapial descienden de los cerros circundantes. Estas quebradas son alimentadas por las precipitaciones, por lo que poseen un régimen hidrológico de carácter esporádico.

Figura N° 12: Hidrología del sector del tranque de relave Las Tórtolas

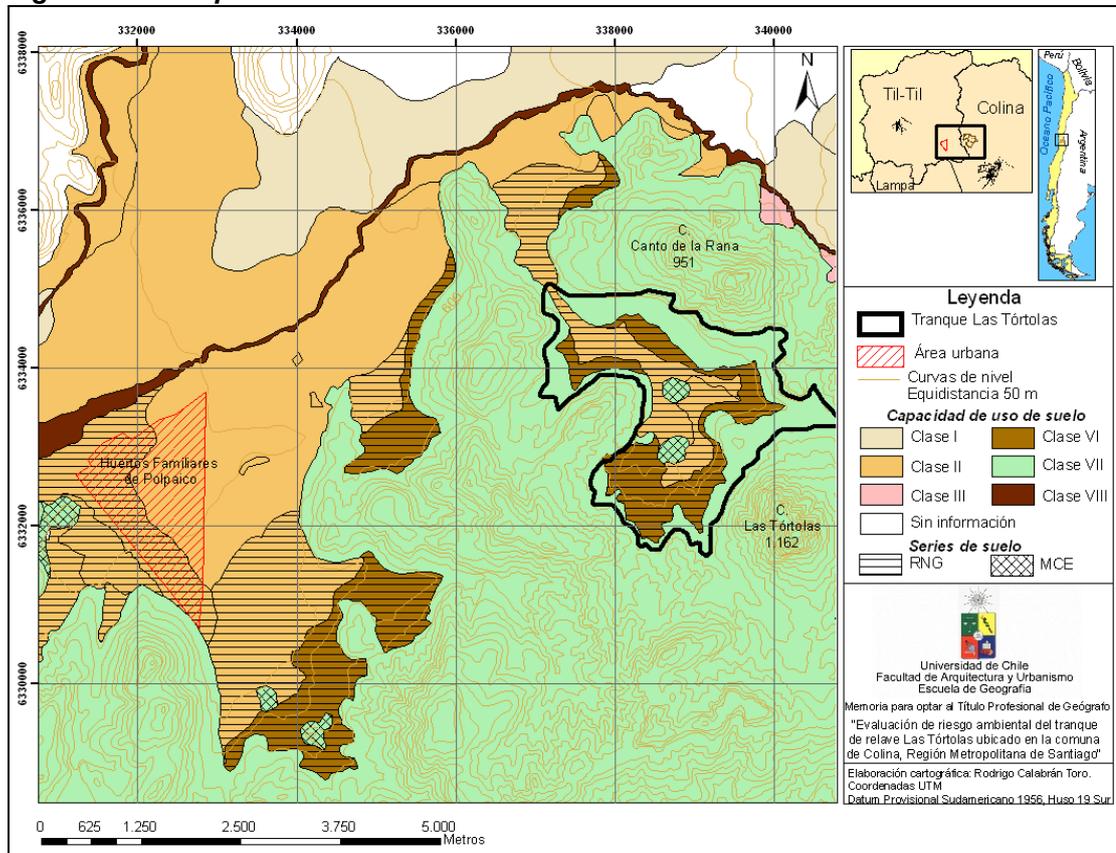


Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

6.1.5.6.- Suelos

VERGARA y CASANOVA (1994) citado en MAGALLANES (2008) señalan que el suelo es “el material mineral no consolidado sobre la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el desarrollo de las plantas. Este material mineral ha sido alterado e influenciado por los factores ambientales y genéticos tales como material parental, clima, organismos y topografía, a través del tiempo, y cuyo producto final, el suelo, difiere del material que lo originó en sus características y/o propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas. De acuerdo a lo anteriormente señalado, ARCADIS GEOTECNICA (2006) señala, para el área de Las Tórtolas, que los suelos de Capacidad de Uso I se localizan al norte del estero Peldehue y pertenecen a la Serie Polpaico (PLP). Los suelos de Capacidad II se ubican en los sectores más bajos y planos del área de estudio, pertenecen a la Serie Huechún (HCN) y dentro de sus características se puede decir que poseen ciertas restricciones por las texturas finas en el pedón. Los suelos de Capacidad III se ubican inmediatamente al sur del estero Peldehue y son pertenecientes a la Serie Quilapilún (QLP). Los suelos de Clase VI se ubican en una posición más alta respecto a las anteriores, presentan pendientes de 3% a 8% y pertenecen a la Serie Rungue (RNG). Los suelos de Clase de Capacidad de Uso VII están asociados a los cerros, los cuales presentan pendientes muy abruptas con algunos sectores con abundante pedregosidad superficial, son pertenecientes a la Serie Misceláneo Cerro (MCE) y son clasificados con litosoles y regosoles. Finalmente se puede mencionar que la clase VIII corresponde al lecho del estero Peldehue. En lo referente al tranque de relave propiamente tal, este ocupa suelos de la Serie Rungue (RNG) y el Misceláneo Cerro (MCE) (Figura N° 13).

Figura N° 13: Capacidad de uso de suelo



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

6.1.5.7.- Vegetación

Según QUINTANILLA (1985) citado por GARCÍA (1987) desde aproximadamente el cordón de Chacabuco, en las cuencas del valle central predomina la vegetación esclerófila. En Til-Til, como en otras cuencas cercanas a la Cordillera de la Costa, el matorral esclerófilo paulatinamente ha sufrido una transformación regresiva, debido a diferentes factores entre los que se destacan el déficit de humedad, un débil horizonte edáfico, una alta sequedad del aire y heladas invernales, esto último derivado de las características continentales del sector. El factor que es quizás más preponderante en la regresión de la vegetación es la explotación intensiva del suelo.

En las laderas occidentales de la cuenca predomina el matorral arbóreo de la Cordillera de la Costa, formación abierta que presenta tres estratos de vegetación: arbóreo, arbustivo y un estrato inferior de hierbas anuales y perennes. Entre las plantas que alcanzan un desarrollo arbóreo destacan la *Quillaja saponaria* (Quillay) y *Lithraea cáustica* (Litre). En sectores encajonados y sombríos, en quebradas con escurrimiento permanente o con humedad suficiente se encuentra *Cryptocarya alba* (Peumo), *Peumus boldus* (Boldo) y *Maytenus boaria* (Maitén).

En los cerros del bloque oriental, la formación de matorrales arbóreos se presenta con un carácter más abierto y las especies pierden altura, estando más distanciadas, lo que permite que el suelo reciba una mayor insolación y propicia el

crecimiento de las comunidades de hierbas estacionales. La especie arbórea dominante es el Litre, siendo acompañado de *Schinus polygamus* (Huingan). El espinal se presenta como una formación abierta de árboles y arbustos espinudos, con una cubierta herbácea compuesta de numerosas gramíneas de los géneros *Stipa* y *Bromus* entre otros. Acompañando al espino, al sur de la cuenca aparecen ejemplares aislados de *Prosopis chilensis* (Algarrobo).

En las laderas de solana el quisco es la planta conspicua, junto al chagual, encontrándose plantas xéricas de características pirófitas, de alta combustibilidad como el mismo chagual y el Huañil. En la caja misma del estero se encuentra la formación conocida como Chilcal, donde abundan las especies del género *Baccharis* como la chilca, también abunda el quilo, el *Cestrum parqui* (palqui) y *Psoralea glandulosa* (Culén) y algunos pocos *Salix chilensis* (Sauce).

6.1.5.8.- Fauna

ARCADIS GEOTECNICA (2006) señala que en el sector Las Tórtolas se determinó la existencia de 59 especies de vertebrados terrestres para ambientes de Espinal, ambiente más abundante en el área de estudio.

De las 59 especies de vertebrados terrestres, 11 corresponden a especies endémicas de Chile. Entre ellas se encontró 1 especie de anfibio, 5 especies de reptiles (1 culebra, 3 lagartijas y 1 lagarto), 49 especies de aves (38 terrestres, 11 acuáticas) y 4 especies de mamíferos.

En cuanto al conjunto de aves acuáticas que habitan el tranque de relaves, se aprecia una abundancia importante de individuos que es bastante similar a la encontrada en ambientes lacustres naturales de la zona central como la laguna Batuco, la laguna El Peral, la laguna El Rey u otros ambientes artificiales como el tranque Lo Orozco, Lo Ovalle o Huechún.

6.1.5.9.- Paisaje

De acuerdo con ARCADIS GEOTECNICA (Op. Cit.) el área del cerro Las Tórtolas corresponde a un subsistema dentro de una unidad de paisaje mayor o de mayor superficie. Por sus características es un área que presenta un paisaje con elementos diversos (heterogéneo) lo que se traduce en un valor estético intermedio, fundamentalmente por su carácter de paisaje mixto, es decir, elementos naturales combinados en proporciones variables con elementos antrópicos de diversa índole. La fragilidad visual también tiene un valor intermedio lo que indica que el paisaje en su situación actual tiene capacidad para absorber nuevos elementos sin sufrir modificaciones significativas en sus atributos de calidad.

6.1.6.- Aplicación de la Metodología N.C.S.C.S. al tranque de relave Las Tórtolas

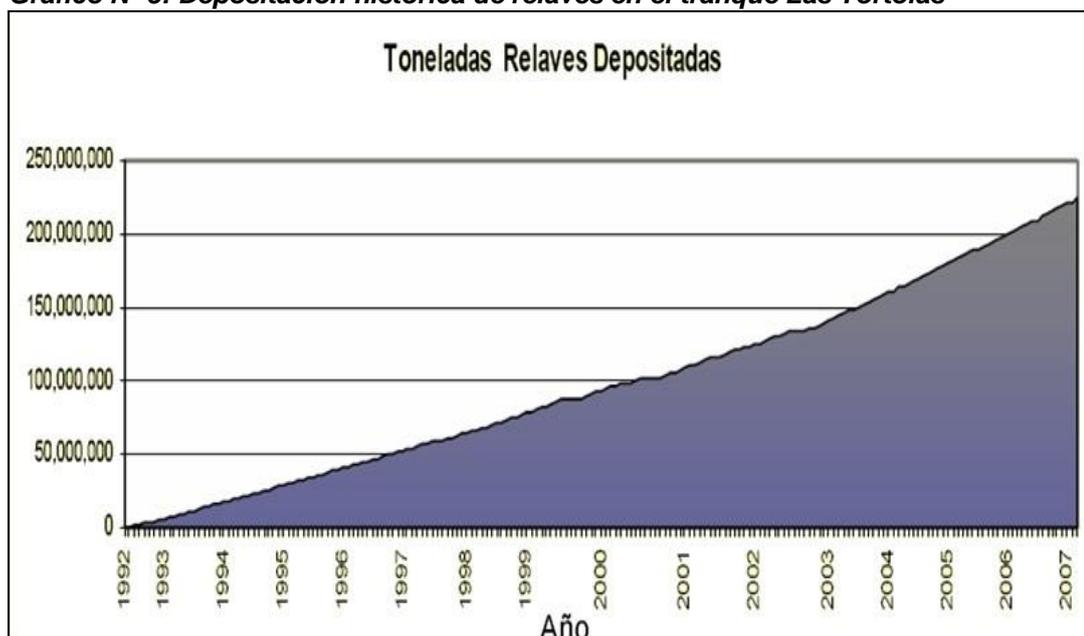
Según se indicó en la Metodología Canadiense para Sitios Contaminados (National Classification System for Contaminated Sites) y de acuerdo a las variables indicadas en ella, a continuación se procede a caracterizar y asignar los puntajes correspondientes a cada caso.

6.1.6.1.- Características de los contaminantes

Como punto de partida se hace mención a las características de los contaminantes del tranque de relave Las Tórtolas, las cuales pasan a detallarse a continuación:

- A. Grado de peligrosidad: Según esta metodología los residuos mineros son considerados de mediano interés, por lo tanto **se asignan 8 puntos para este ítem.**
- B. Cantidad de los contaminantes: El depósito se encuentra en operación desde el año 1992 y tiene un potencial de almacenamiento de 1.000 millones de toneladas de relaves (Gráfico N° 5). Es por esta razón que **se asignan 10 puntos.**

Gráfico N° 5: Depositación histórica de relaves en el tranque Las Tórtolas



Fuente: ANGLO-AMERICAN CHILE (2007β).

- C. Estado Físico: Los relaves generados en la planta concentradora Las Tórtolas son transportados al tranque de relaves ubicado en el cajón Las Tórtolas, inmediatamente al norte de la planta, los cuales son depositados en estado de pulpa (Foto N° 13). Es por esta razón que para esta variable **se asignan 7 puntos.**

Foto N° 13: Vista panorámica del tranque de relave Las Tórtolas



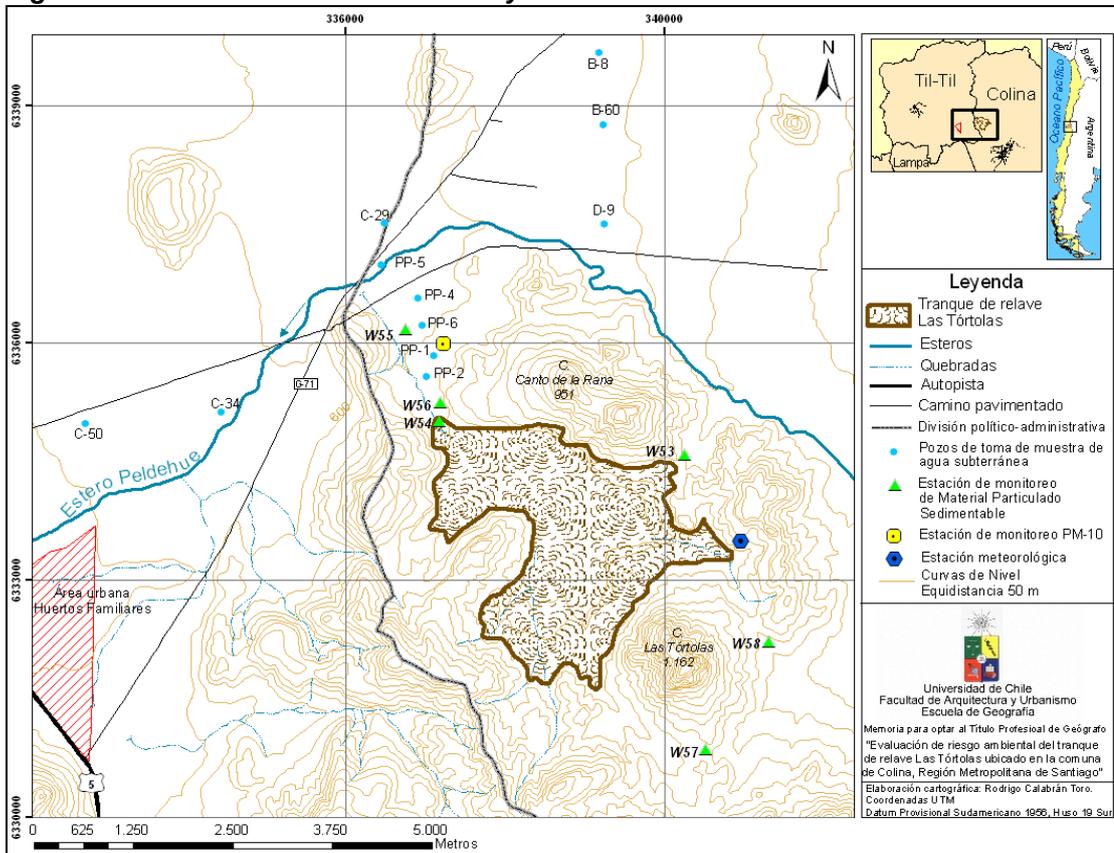
Fuente: BONACIN (S.A.).

6.1.6.2.- Trayectos de exposición

A. Agua subterránea

1. Conocimiento de contaminación: Según el Estudio de Impacto Ambiental "Proyecto de desarrollo Los Bronces" (ARCADIS GEOTECNICA, 2006), el análisis de los niveles de los diversos parámetros medidos ha permitido establecer que se presentan cuatro variables de interés, cuyos niveles, en el agua superficial de la laguna del tranque, son superiores a las normas de calidad de referencia (NCH 1.333). Estos parámetros son los siguientes: conductividad eléctrica, molibdeno, sólidos disueltos y sulfatos. Asimismo, se puede observar que la razón entre las concentraciones de molibdeno y sulfato son las más indicativas de la diferencia entre las composiciones químicas de las aguas, lo cual los sitúa como indicadores de la presencia/ausencia de aguas de relave en el entorno. Para esto se tomaron muestras en distintos pozos: PP-2, PP-1, PP-6, PP-4, PP-5, C-34, D-9, B-60, C-50, B-8 y C-29 (Figura N° 14), pero para efectos prácticos de este trabajo sólo se toman en cuenta los pozos C-50 y PP-2 por ser el más alejado y cercano, respectivamente, al tranque de relave Las Tórtolas. Los demás puntos se nombrarán brevemente.

Figura N° 14: Estaciones de monitoreo y toma de muestras



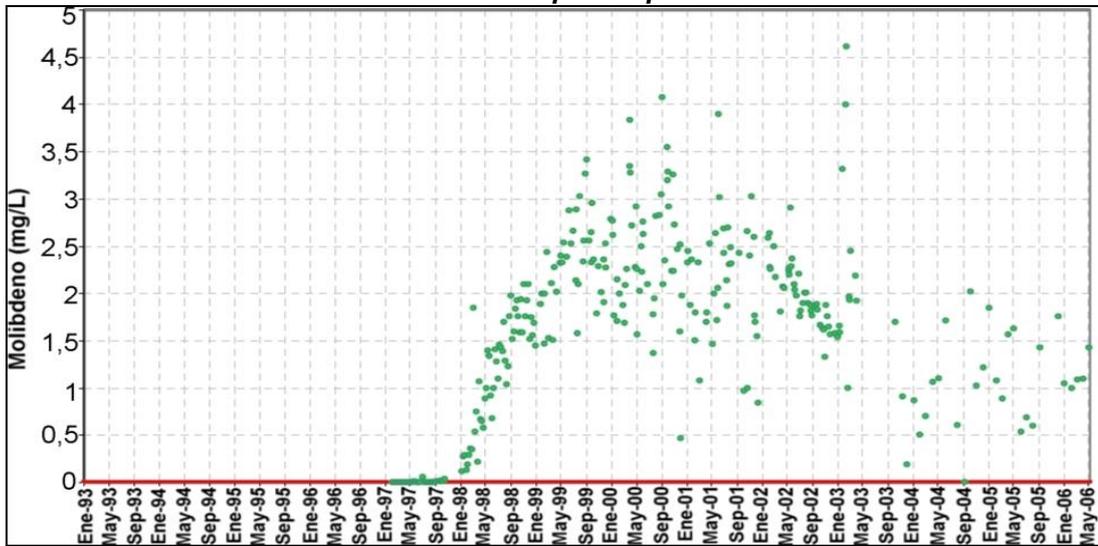
Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002) y ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Por otro lado, cabe señalar que la NCH N° 1.333 de requisitos de calidad del agua para diferentes usos, establece los parámetros máximos de metales que pueden contener dichas aguas, siendo 0.01 Mg/L para el molibdeno y de 250 Mg/L para los sulfatos (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, 1978).

En lo que respecta a la calidad de las aguas subterráneas (cabe mencionar que las concentraciones o valores de línea base a que se hace referencia corresponden a los parámetros totales medidos en los períodos señalados. Esto significa que la concentración del parámetro total involucra la concentración del parámetro disuelto en solución más la concentración del parámetro sedimentado en la solución, o también llamado parámetro no disuelto) los pozos mencionados anteriormente se caracterizan por:

- i. Punto PP2: Ubicado en la quebrada El Carmen, es el pozo más próximo al muro principal del tranque de relaves, considerando todos aquellos ubicados en la dirección del eje principal de dicha quebrada. En el Gráfico N° 6 se observa que los valores de molibdeno en este pozo, menores a 0,01 Mg/L antes de mayo de 1997, experimentaron un notorio aumento desde enero de 1998, llegando a sus máximos valores en el año 2003 (sobre 4,5 Mg/L), para posteriormente presentar una marcada disminución hacia el año 2005, con valores que se aproximan en promedio a 1 Mg/L, encontrándose, de igual modo, sobre la Norma.

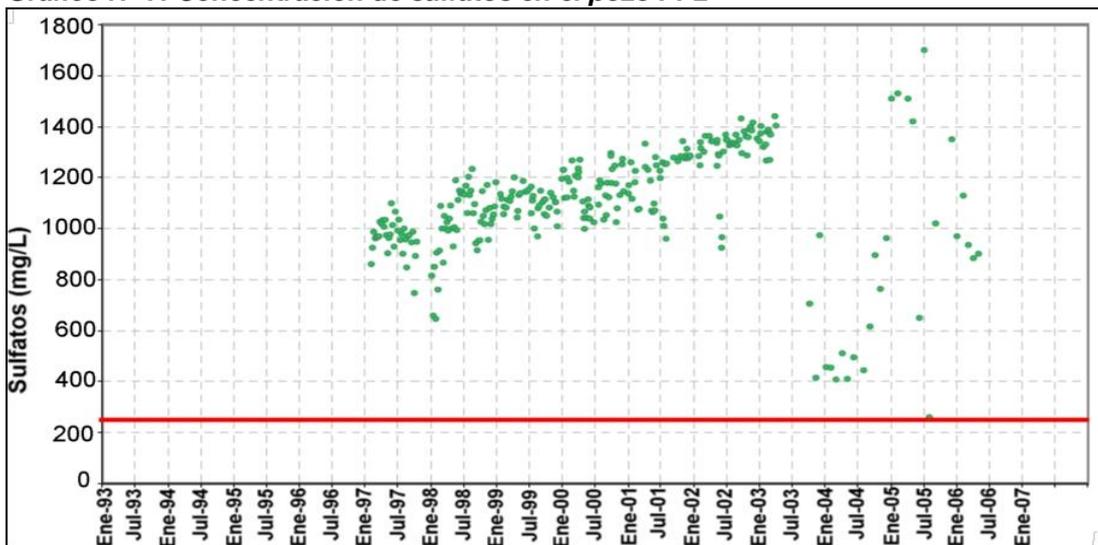
Gráfico N° 6: Concentración de molibdeno para el pozo PP2



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Con respecto a los sulfatos, después del inicio de la operación se observa un aumento en los niveles de estos elementos. Entre 1997 y el año 2003 la concentración tuvo una variación desde 800 Mg/L a 1.400 Mg/L. En esta fecha se realiza una optimización de la captura de las infiltraciones, producto de la habilitación de un nuevo pozo de captura de las infiltraciones observándose una disminución en la concentración de este parámetro, comportamiento que se mantiene hasta la fecha (Gráfico N° 7). Si embargo, se han encontrado montos de sulfatos superiores a lo que ocurría antes de Julio de 2003, lo cual indica que el pozo de captura anteriormente mencionado no estaría cumpliendo a cabalidad su función. Además, los registros de todos modos superan la norma establecida.

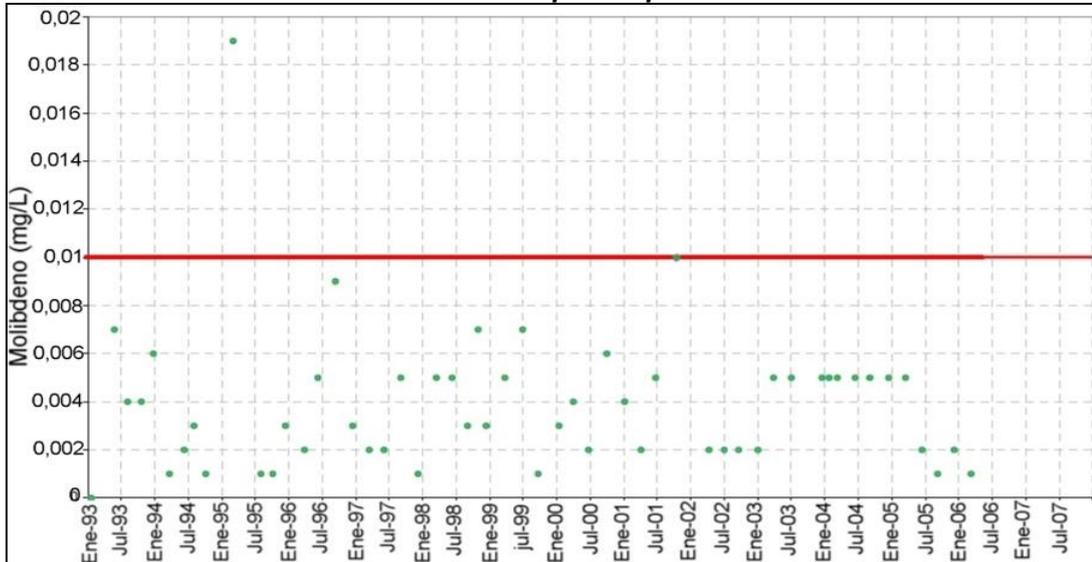
Gráfico N° 7: Concentración de sulfatos en el pozo PP2



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

- ii. Punto C-50: Es el pozo más cercano al pueblo de Huertos Familiares (se ubica exactamente al interior del fundo Santa Inés). Los niveles de molibdeno se mantienen por debajo de lo establecido en la NCH N° 1.333 (Gráfico N° 8).

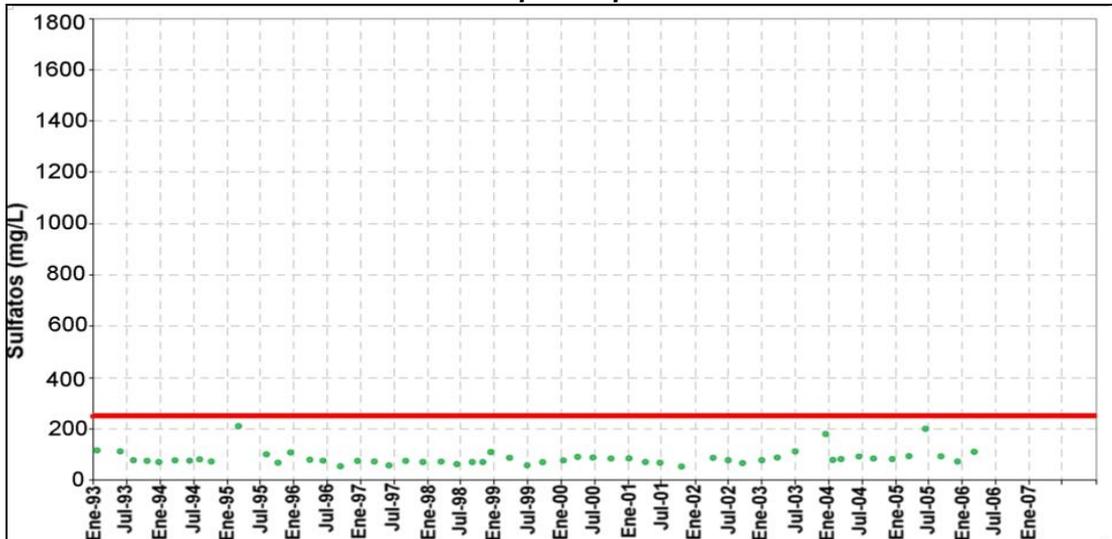
Gráfico N° 8: Concentración de molibdeno para el pozo C-50



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

En lo que a sulfatos se refiere, el pozo C-50 se mantiene por debajo de lo establecido por la NCH N° 1.333 (Gráfico N° 9).

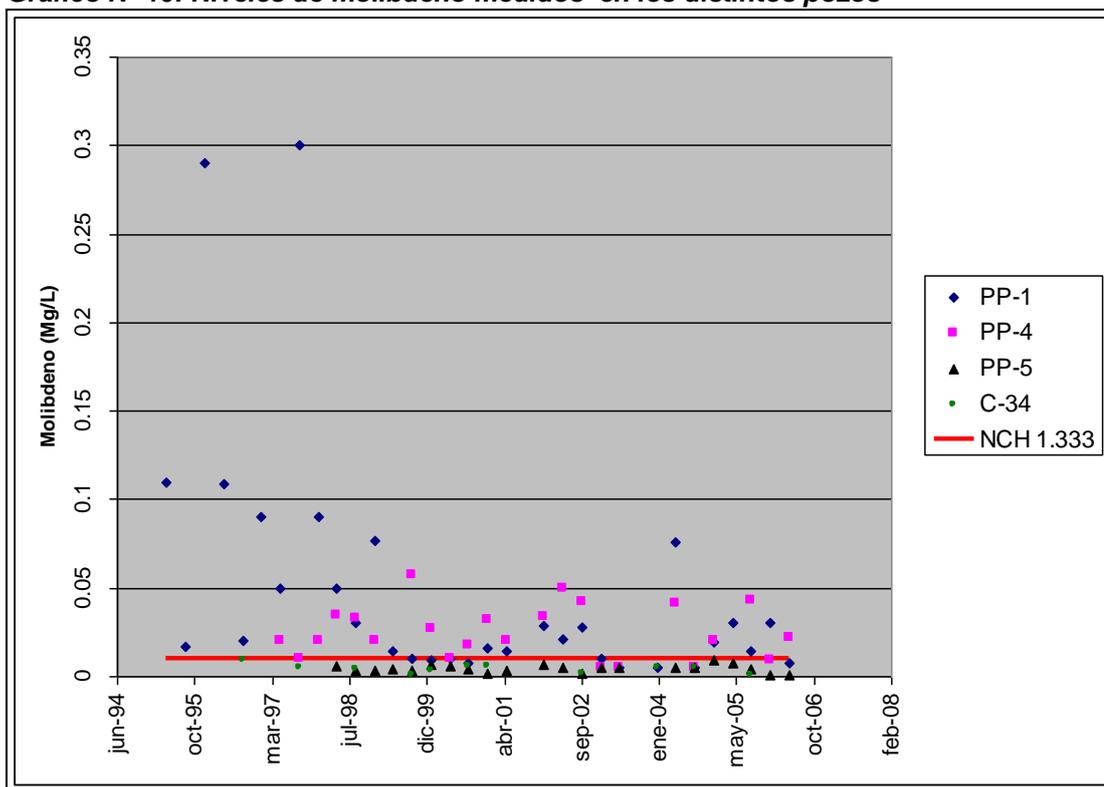
Gráfico N° 9: Concentración de sulfatos para el pozo C-50



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Haciendo un breve análisis acerca de los niveles de molibdeno medidos en los pozos anteriormente mencionados, se puede observar en el Gráfico N° 10 que el pozo PP-1, ubicado inmediatamente después del pozo más cercano al tranque de relave, es el que presenta los mayores índices entre 1995 y 1997 para luego disminuir notoriamente hacia mayo del 2005 pero cuyas mediciones todavía indican que el contenido de molibdeno está por sobre lo que establece la Ley. El pozo PP-4 presenta mediciones un poco más bajas que el pozo anterior pero todavía se mantiene por sobre la norma los contenidos de molibdeno, logrando estar por bajo la norma sólo entre septiembre de 2002 y enero de 2004, para luego volver a subir sus índices por sobre lo permitido por la Ley. El pozo PP-5 está ubicado a un costado del estero Peldehue y de acuerdo con las mediciones, presenta todos sus índices por debajo de la normativa, lo mismo que el pozo C-34. Con esto se puede decir que los niveles de molibdeno van disminuyendo paulatinamente a medida que la distancia con respecto al tranque es mayor, estableciéndose por debajo de la norma a partir del pozo PP-5, a casi 2 Km de distancia del tranque. Para el caso de los sulfatos, estos descienden por debajo de la norma en el pozo PP-1.

Gráfico N° 10: Niveles de molibdeno medidos en los distintos pozos



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

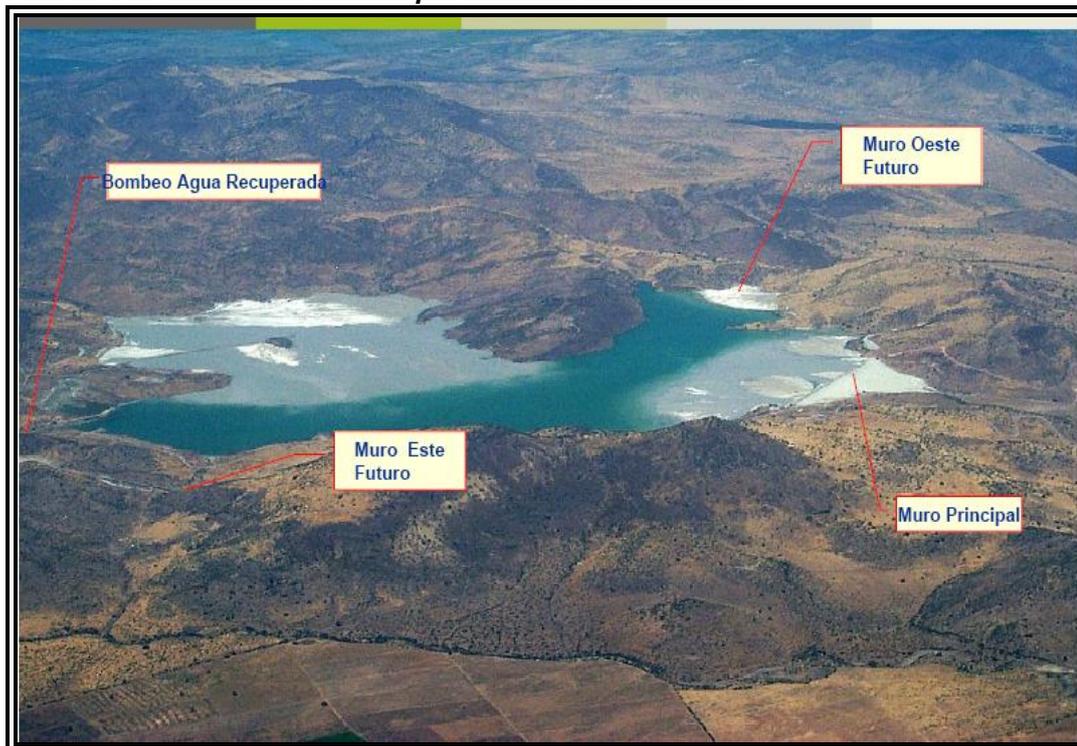
Por lo tanto, según los datos presentados en el Estudio de Impacto Ambiental, el agua subterránea excede los estándares de contaminantes permitidos dentro de la NCH 1.333. De acuerdo con estos resultados, a la variable agua subterránea del trayecto de exposición de los contaminantes **se le asigna 11 puntos**.

B. Agua superficial: No existe información suficiente acerca de la calidad del agua superficial. Dada la falta de esta información, se analiza el potencial de contaminación a través de la contención, distancia al curso de agua, topografía, potencial de escorrentía y potencial de inundación.

B.2.- Potencial de contaminación

B.2.i.- *Contención* (Foto N° 14): Los relaves generados en la planta concentradora Las Tórtolas son transportados al tranque de relaves ubicado en el cajón homónimo, inmediatamente al norte de la planta. Este depósito está constituido por un muro principal ubicado en el sector norponiente del cajón, con una cota de coronamiento que alcanza 750 m.s.n.m. y dos muros secundarios al oeste y este, otorgando una capacidad total de almacenamiento de 1.000 millones de toneladas de relaves. Los muros cuentan con drenes basales y sistemas para interceptar filtraciones, consistentes en una batería de pozos de captación aguas abajo del muro principal, y pantallas cortafugas bajo los muros secundarios. Además, las aguas excedentes del tranque de relave Las Tórtolas que no son recirculadas al proceso, se disipan mediante evapotranspiración en una plantación forestal de aproximadamente 450 hectáreas ubicada en el área Las Tórtolas. El pH de las aguas es acondicionado previamente en una planta de acidulación (ARCADIS GEOTECNICA, 2006).

Foto N° 14: Contención del tranque de relave Las Tórtolas



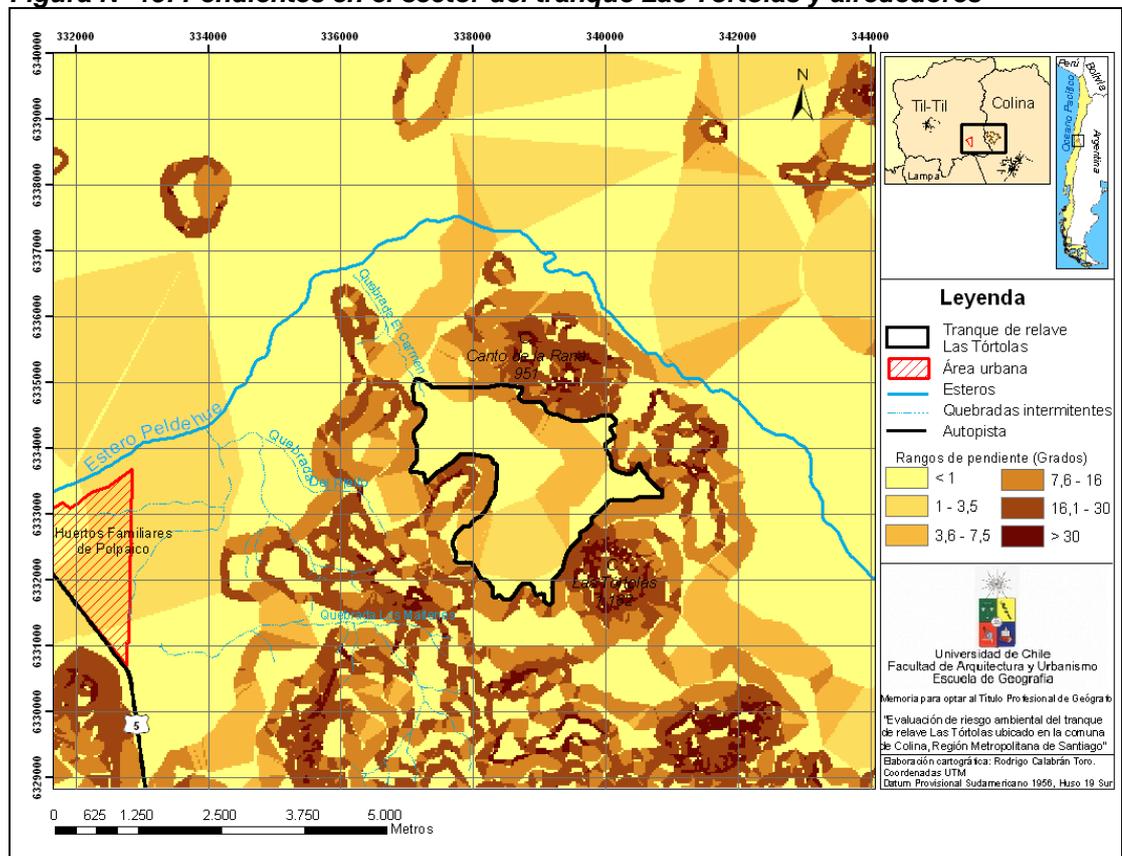
Fuente: ANGLO-AMERICAN CHILE (2007β).

Por lo anteriormente expuesto y conforme a los rangos contemplados por la metodología N.C.S.C.S. se evalúa el tranque como una alta contención, por lo que **se asignan 0,5 puntos para este ítem.**

B.2.ii.- *Distancia al curso de agua principal*: En este caso el curso principal es el estero Peldehue, cuya distancia con el tranque de relave es de aproximadamente 2 Km. Dicha distancia, de acuerdo con la metodología canadiense, **se califica con 0,5 puntos**.

B.2.iii.- *Pendiente*: Para el sector del muro norte la pendiente predominante es mayor a 30°. Además, en este lugar se pueden encontrar cauces preexistentes (quebradas intermitentes) lo que podría ayudar al escurrimiento de fluidos (Figura N° 15). Por otro lado los relaves son depositados sobre tierra. Esto significa que el **puntaje asignado es de 1,5 puntos para este ítem**.

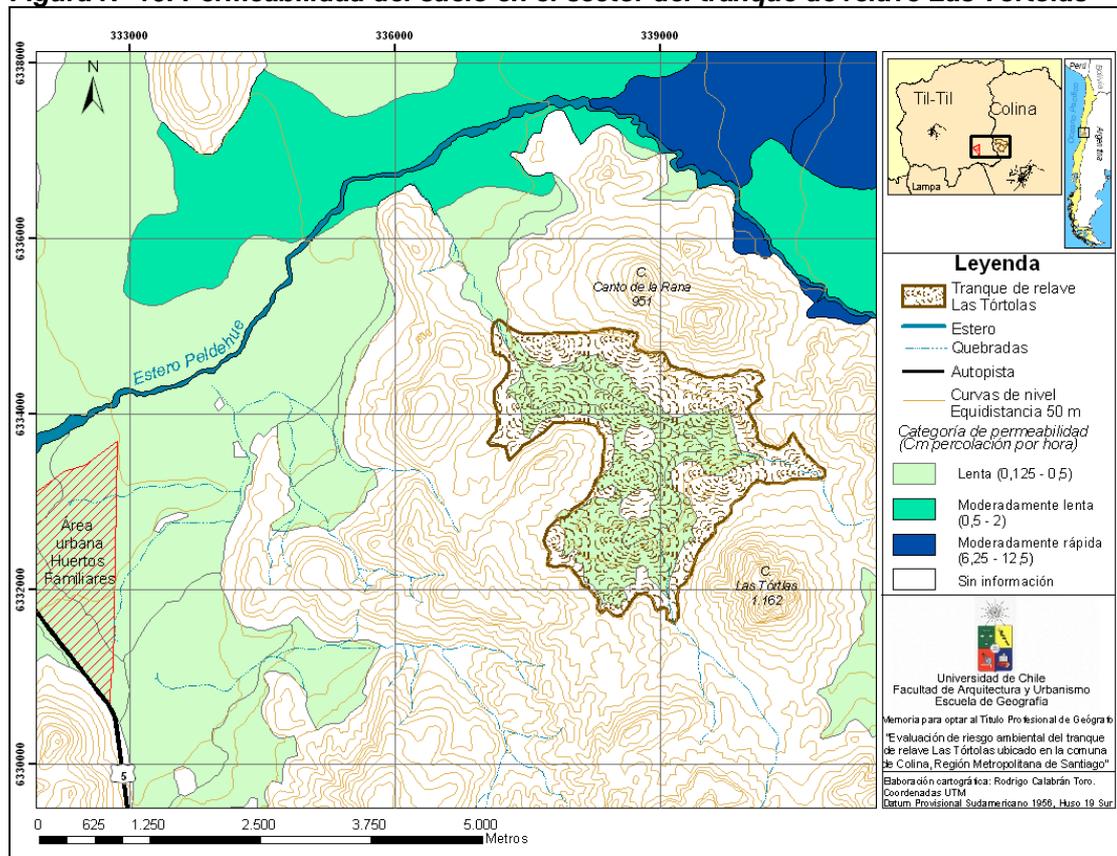
Figura N° 15: Pendientes en el sector del tranque Las Tórtolas y alrededores



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

B.2.iv.- *Potencial de escorrentía*: Se basa en el análisis combinado de la permeabilidad y las precipitaciones. Como se mencionó anteriormente, los suelos ubicados en las planicies son las unidades morfológicas de mayor importancia del área de estudio. Estos suelos son profundos, de texturas arcillosas a franco arcillosa (lo que se traduce en una permeabilidad lenta) y con pedregosidad ligera a nula tanto superficial como en el perfil (Figura N° 16). Los suelos ubicados en los sectores de ladera son de profundidad ligera, poseen una pedregosidad superficial ligera a moderada y presentan zonas con afloramientos rocosos. Las texturas también son arcillosas a franco arcillosas.

Figura N° 16: Permeabilidad del suelo en el sector del tranque de relave Las Tórtolas

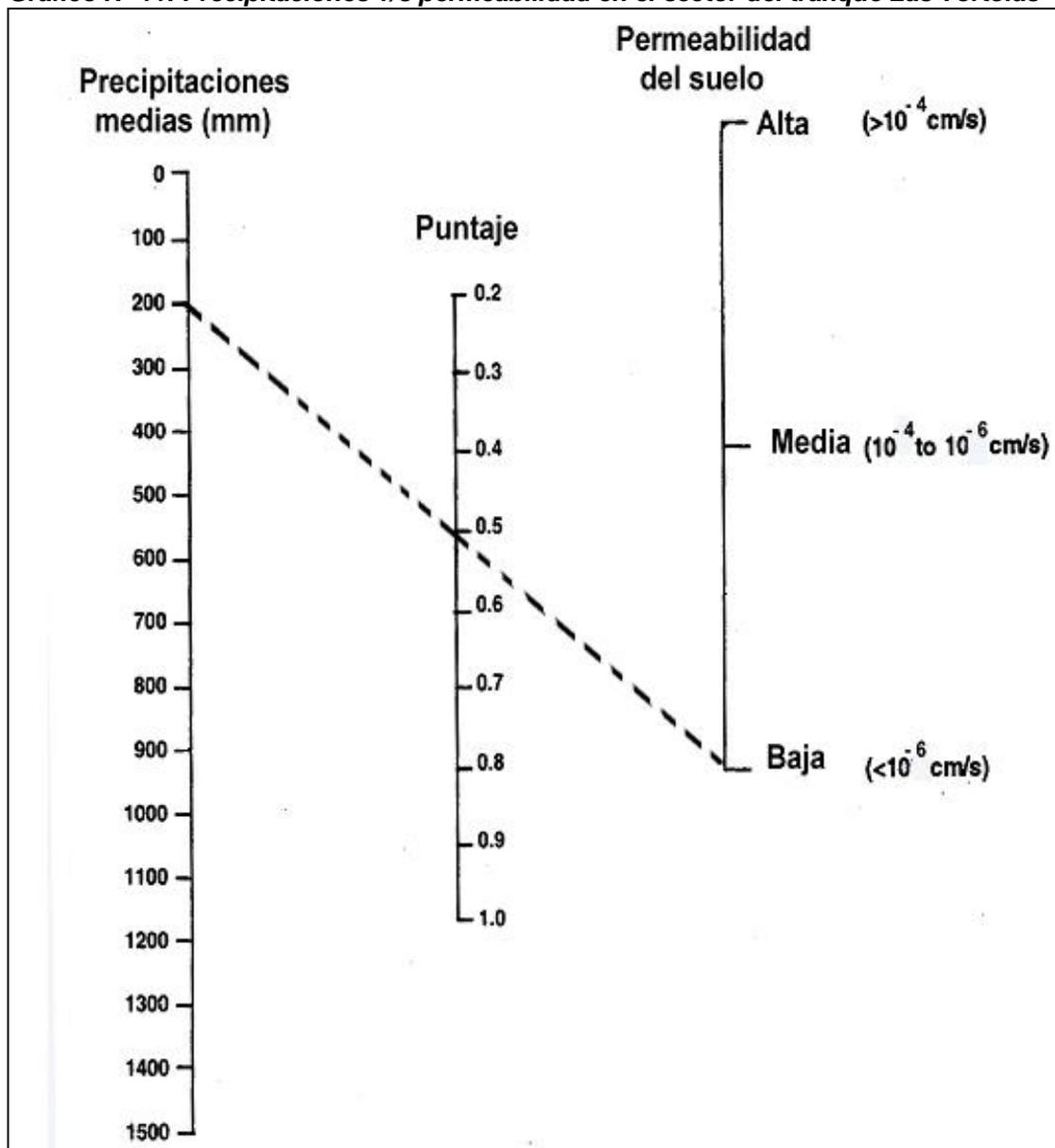


Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

Por su parte, en lo que respecta a las precipitaciones en el área Las Tórtolas, según lo mencionado anteriormente en los registros pluviométricos de la estación del mismo nombre (Tabla N° 41), se presenta una media anual de 204 mm, con una media máxima mensual de 60 mm en junio y una media mínima mensual de 0,2 mm en diciembre.

Las variables anteriormente mencionadas se cruzan, dando como resultado el Gráfico N° 11.

Gráfico N° 11: Precipitaciones v/s permeabilidad en el sector del tranque Las Tórtolas

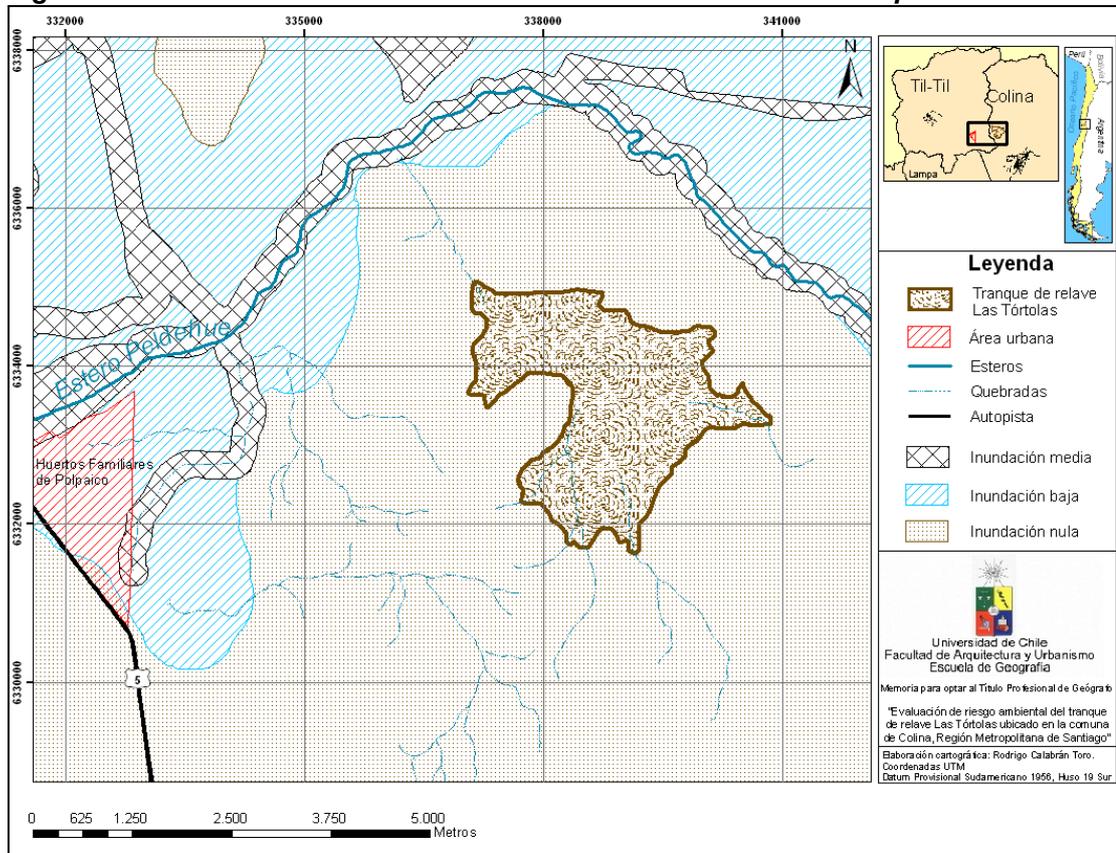


Fuente: CCME (1992).

Por lo tanto, y considerando los datos de las dos variables, **se asignan 0,5 puntos a este ítem.**

B.2.v.- *Potencial de desborde:* El tranque de relave Las Tórtolas no se ubica cerca del plano de inundación del estero Peldehue (Figura N° 17). Por lo tanto, considerando este hecho, **cabe asignar 0 puntos para este ítem.**

Figura N° 17: Plano de inundación del estero Peldehue cerca del tranque Las Tórtolas



Fuente: Elaboración propia en base PROYECTO O.T.A.S. (2002).

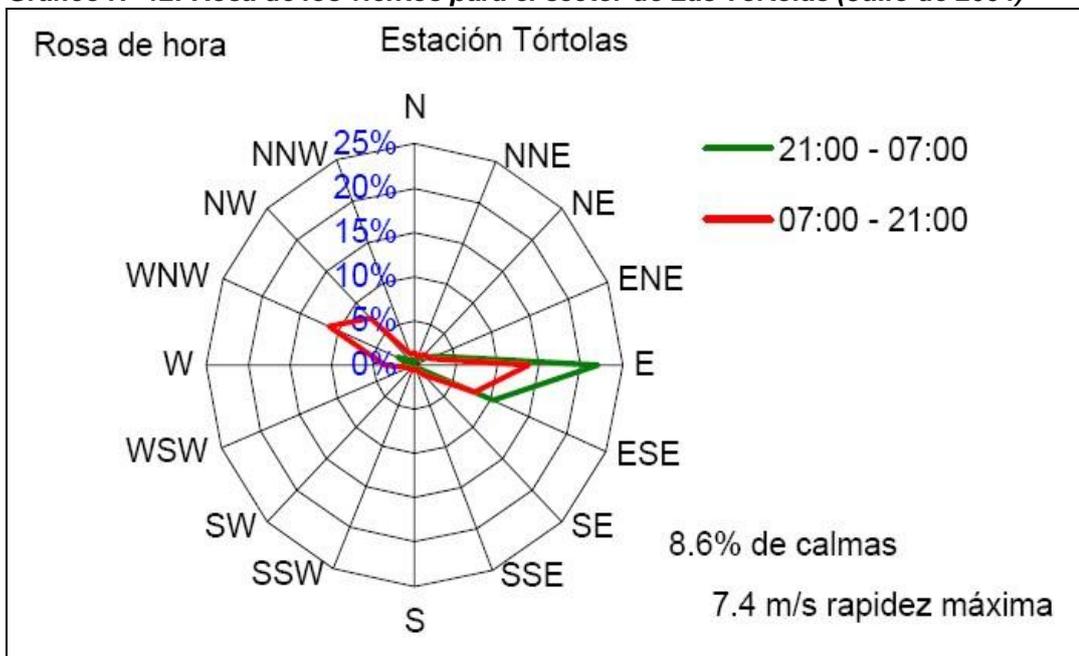
C. Contacto directo: Dentro de la información disponible, la que entrega un conocimiento más detallado acerca de este punto es el tema del aire, pero las mediciones de PM-10 hechas en las estaciones de monitoreo de Anglo-American Chile en puntos cercanos al tranque de relave Las Tórtolas no son estaciones de monitoreo con representatividad poblacional ya que, según el D.S. N° 59 sobre Norma de calidad primaria para material particulado respirable PM-10, estas se ubican a más de 2 Km de distancia de localidades con población residente. Dicha estación de medición de PM-10 se ubica en la parte norte del tranque.

Según la ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE TIL-TIL (2006) "el estudio de vientos derivado de la única estación de monitoreo instalada por la empresa, en el costado norte del relave, debilita la visión del Estudio de Impacto ambiental (Proyecto de Desarrollo Los Bronces) ya que los poblados de Santa Matilde y Huertos Familiares se ubican, respectivamente, al oeste y sur-oeste del relave, en circunstancias que tanto los cabezales de los equipos monitores y la estación meteorológica lo están en dirección norte del estudio principal, por lo que no están en condición de evaluar el impacto del material en las comunidades mismas".

En lo que respecta a la dirección de los vientos propiamente tal, durante la estación de invierno (se escogió esta fecha por la dirección predominante del viento hacia los sectores poblados anteriormente mencionados y cuyas mediciones corresponden a

julio de 2004) el área de Las Tórtolas se caracteriza por presentar un predominio de viento Este (Gráfico N° 12). Este tipo de viento se registra principalmente durante el periodo nocturno (entre 21:00 y 07:00) llegando a más del 20% del total de vientos registrados para la medición durante el mencionado mes.

Gráfico N° 12: Rosa de los vientos para el sector de Las Tórtolas (Julio de 2004)



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Dentro del tema relativo a los PM-10 en el sector de Las Tórtolas, la concentración varió entre 48,5 y 85,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, llegando a una concentración máxima de 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como promedio en 24 horas en la estación de medición ubicada a un costado del pozo PP-1 (Tabla N° 42). Este valor sería el único registro que se encuentra levemente sobre la norma de referencia en esta área, ya que según la norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable PM-10 es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) como concentración de 24 horas.

Tabla N° 42: Concentración de PM-10 para el sector de Las Tórtolas

Fecha	N° datos	Máximo	Mínimo	Promedio
Sep/Oct - 2002	11	109	19	48,5
Nov/Dic - 2003	10	151	40	85,3

Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

En lo referente al Material Particulado Sedimentable, donde se toma como referencia la normativa Suiza (la cual establece un valor de 200 $\text{Mg}/\text{m}^2/\text{día}$ como promedio aritmético anual para este indicador) los resultados registrados en los seis puntos de medición para el período del 23 de Septiembre de 2005 al 24 de Octubre de 2005 son los siguientes (Tabla N° 43):

Tabla N° 43: Concentración de Material Particulado Sedimentable para el sector Las Tórtolas

Periodo de medición	Punto de medición	Masa (Mg)	Concentración MPS (Mg/m ² /día)
23/09/05 - 24/10/05	W 53	274,7	83,5
23/09/05 - 24/10/05	W 54	3.774,6	1.146,7
23/09/05 - 24/10/05	W 55	325,3	98,8
23/09/05 - 24/10/05	W 56	1.810,2	549,9
23/09/05 - 24/10/05	W 57	910,4	276,6
23/09/05 - 24/10/05	W 58	1.905,9	579

Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Se observa que durante el período de monitoreo los puntos W54, W56, W57 y W58 presentan concentraciones de 1.146,7; 549,9; 276,6 y 579 Mg/m²/día respectivamente, niveles que están por sobre el nivel de referencia de la Normativa Suiza. Los puntos ubicados en el muro principal (W54 y W56) y en la planta de concentrado (W58) son los que presentan las mayores concentraciones de MPS (Figura N° 14).

Con respecto a las concentraciones de metales en el Material Particulado Sedimentable (MPS) para el sector Las Tórtolas, estas son señaladas en la Tabla N° 44:

Tabla N° 44: Concentraciones de metales en Material Particulado Sedimentable (MPS) en el sector Las Tórtolas

Punto de medición	Masa total (Mg)	As (Mg/m ² /día)	Cu (Mg/m ² /día)	Fe (Mg/m ² /día)	Mo (Mg/m ² /día)
W 53	274,7	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,02
W 54	3.774,60	0,01	0,25	0,01	< 0,02
W 55	325,3	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,02
W 56	1.810,20	< 0,01	0,12	0,01	< 0,02
W 57	910,4	< 0,01	0,23	< 0,1	< 0,02
W 58	1.905,90	0,06	< 0,1	0,03	0,06

Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Las concentraciones de arsénico solamente se encuentran sobre los límites de detección en los puntos W58 y W54, con valores de 0,06 y 0,01 Mg/m²/día. Estos puntos presentan además las mayores concentraciones de MPS

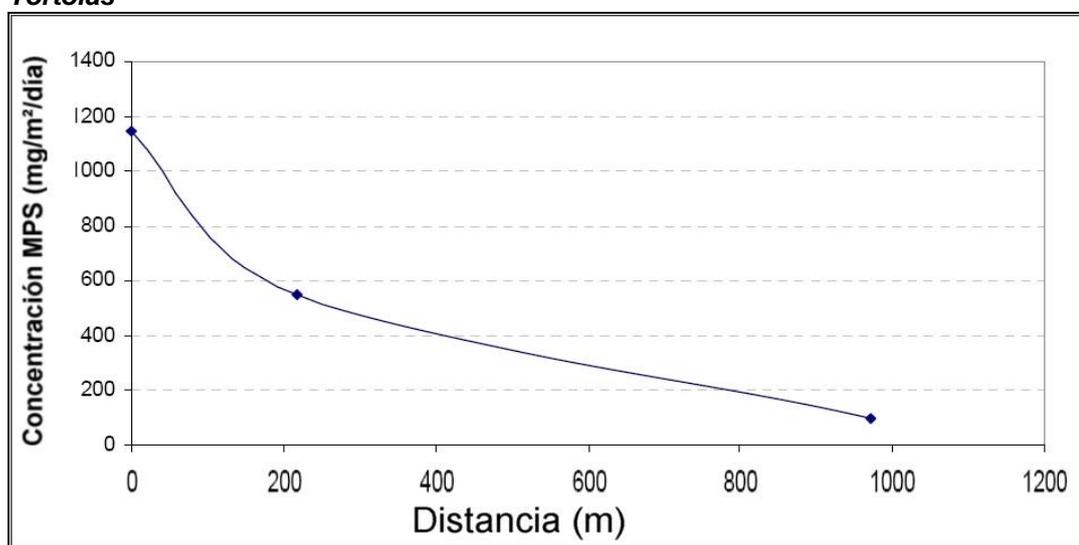
En cuanto al cobre, las concentraciones son de 0,25; 0,23 y 0,12 Mg/m²/día en los puntos W54, W56 y W57 respectivamente. En los puntos de monitoreo restantes las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección (< 0,10 Mg/m²/día).

El hierro presenta una concentración de 0,03 Mg/m²/día en el punto W58, mientras que en los puntos W54 y W56 la concentración es de 0,01 Mg/m²/día. En los puntos restantes la concentración está por debajo de los límites de detección (< 0,01 Mg/m²/día)

El molibdeno presenta una concentración de 0,06 Mg/m²/día en el punto W58, mientras que en los puntos restantes la concentración está por debajo de los límites de detección (< 0,02 Mg/m²/día).

Finalmente, el monitoreo de MPS para el período del 23/09/2005 al 24/10/2005, evidenció que la concentración superó el nivel de referencia (Norma de la Confederación Suiza) utilizado en el Estudio de Impacto Ambiental, en los puntos aledaños al muro principal del tranque y la planta de concentrado. Sin embargo, en la medida que aumenta la distancia con respecto al muro del Tranque Las Tórtolas, el MPS disminuye rápidamente, detectándose valores inferiores al valor umbral de la Norma de la Confederación Suiza utilizada como referencia (Gráfico N° 13). Es así que, a un kilómetro de distancia del tranque de relave Las Tórtolas, aproximadamente, se determinó una concentración de 98,8 Mg/m²/día.

Gráfico N° 13: Concentraciones de MPS según distancias al muro del tranque Las Tórtolas



Fuente: ARCADIS GEOTECNICA (2006).

Por lo tanto, según el D.S. N° 59 sobre norma de calidad primaria para material particulado respirable PM-10 y la Normativa Suiza sobre Material Particulado Sedimentable, si hay conocimiento de contaminación del aire fuera del sitio debido a contacto con sedimentos o material particulado mineral, **por lo cual este ítem se califica con 11 puntos.**

6.1.6.3.- Receptores

A. Usos humanos y animales:

Uso humano: La COMISIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE HUERTOS FAMILIARES (S.A.) señala que “sólo a modo de ejemplo hemos visto como han aumentado las enfermedades respiratorias y digestivas en niños y ancianos, además de un alto índice de abortos espontáneos y embarazos tubarios, hecho que ya ha llamado la atención de algunos facultativos del hospital San José. ¿Será acaso este el resultado de los altos índices de plomo y otros metales pesados existentes en el agua de consumo humano, según últimos estudios realizados?”. Según esta reseña, existe una alta sospecha de efectos adversos en seres humanos provocados por la presencia del tranque de relave Las Tórtolas. Siguiendo la misma línea GONZÁLEZ (1994) señala que no se cuenta con información acerca de los contenidos de molibdeno alcanzados en suelos regados con aguas con alta concentración de este elemento, provenientes de los tranques de relave de Carén (VI Región) y Las Tórtolas (R.M.).

Debido a que la información mencionada anteriormente es bastante ambigua y no da cuenta de la situación real de la zona, se analiza el potencial de contaminación.

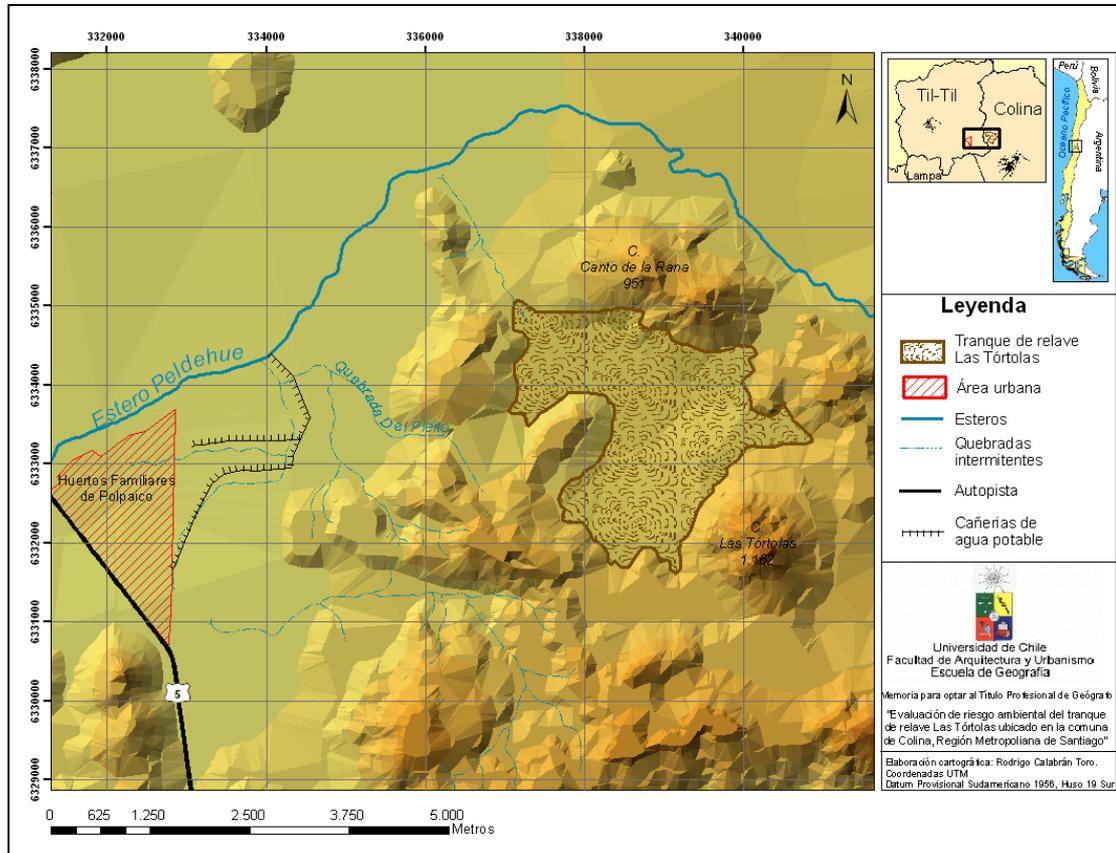
ii. Potencial de impacto en seres humanos y/o animales:

a. Suministro de agua potable: Como no hay información disponible, se analiza el potencial de impacto en suministros de agua potable.

• Potencial de impacto en suministros de agua potable:

✓ Proximidad al suministro de agua potable: Según lo observado en las cartas regulares escala 1:25.000 de Colina, Huechún, Chacabuco y Batuco del Instituto Geográfico Militar de Chile, hay cañerías de agua potable a menos de 100 metros del pueblo de Huertos Familiares, las cuales provienen del estero Peldehue y también de la quebrada Del Pleito (Figura N° 18). Por lo tanto, podría haber una eventual contaminación del suministro de agua potable. Es por esta razón que, de acuerdo con la metodología NC.S.C.S. **se asignan 6 puntos para este ítem.**

Figura N° 18: Proximidad del suministro de agua potable en el pueblo de Huertos Familiares



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002) y cartas regulares escala 1:25.000 de Colina, Huechún, Chacabuco y Batuco del I.G.M.

✓ Disponibilidad de suministros alternativos: Hay varios pozos en la zona, cuya agua es utilizada para el consumo humano directo y también para el riego de los cultivos ubicados al norte del pueblo de Huertos Familiares. Según el PROYECTO O.T.A.S. (2002) la densidad de pozos es un indicador que refleja el N° de pozos por cada 4 Km² de superficie. Este criterio se muestra en Tabla N° 45:

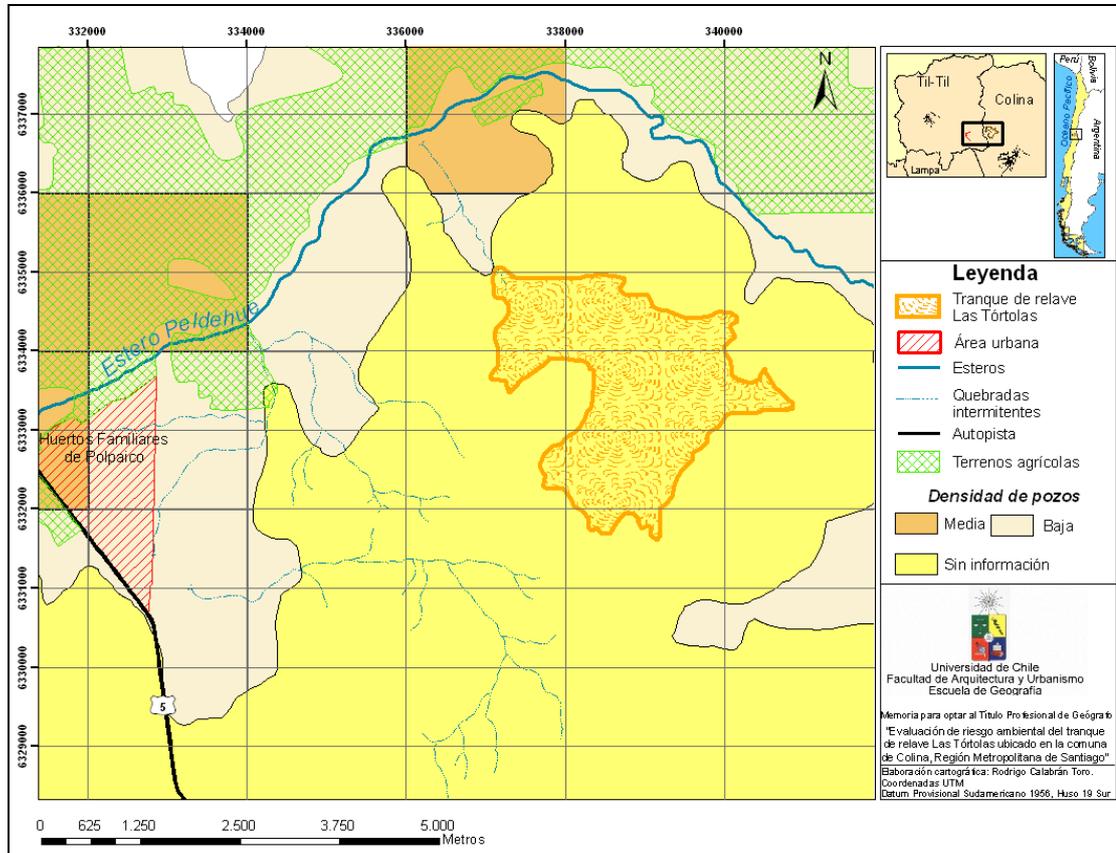
Tabla N° 45: Densidad de pozos para el área de Huertos Familiares

N° de pozos por Km ²	Calificación de densidad
4	Baja
5 a 12	Media
13 a 20	Alta
Más de 20	Muy Alta

Fuente: PROYECTO O.T.A.S. (2002).

De acuerdo con la Figura N° 19, existe una densidad entre baja y media de pozos cercana al pueblo de Huertos Familiares, es decir, hay suministros alternativos de agua potable. **Por lo tanto corresponden 0,5 puntos a este ítem.**

Figura Nº 19: Suministro alternativo de agua potable para el pueblo de Huertos Familiares



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

b. Otros recursos del agua: Como no existe conocimiento de impacto, se analiza el impacto potencial.

- Potencial de impacto en otros recursos del agua

✓ Cercanía a usos del agua en distintas actividades: El estero Peldehue se ubica a menos de 100 metros de los cultivos agrícolas de Huertos Familiares, **por lo tanto se otorgan 2 puntos para este ítem.**

✓ Usos del agua: La actividad que más se da en este sector es el riego para los cultivos agrícolas, los cuales son frecuentemente regados. **Por lo tanto se otorga 1 punto para este ítem.**

c. Exposición humana directa. Como no existe información para este ítem, se evalúa a través del potencial de contaminación.

• Exposición potencial a través del uso del suelo: Como se mencionó anteriormente, la distancia que hay desde el tranque de relave Las Tórtolas hasta el pueblo de Huertos Familiares (zona residencial) es de aproximadamente 4 Km. **Por lo tanto se asignan 3 puntos para este ítem.**

B. Medio ambiente

1. Conocimiento de impactos adversos en ambientes sensitivos como resultado del sitio contaminado.

De acuerdo con el PROYECTO O.T.A.S. (2005) las Áreas de Recuperación de Vegetación Nativa, suelos de valor ambiental, ecosistemas naturales que se asocian al sistema de montaña (Cordillera de la Costa y de Los Andes) son aquellas que presentan diverso grado de deterioro de sus condiciones naturales, por lo que requieren de intervención para su recuperación. Estas zonas se han definido como áreas de recuperación del componente suelo debido a su alta prioridad ambiental (Figura N° 20). Se relacionan directamente con las áreas definidas por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago como de preservación ecológica y de protección ecológica con desarrollo controlado (Res N° 20 - 06.10.1994; Res N° 11 - 02.03.1998). Además tienen ciertas restricciones para la urbanización, debido a sus condiciones topográficas (pendientes sobre 20°) y a la presencia de amenazas por movimientos en masa. Por otro lado, no manifiestan condiciones para el desarrollo agrícola y no poseen interés significativamente prioritario para la actividad minera, exceptuando la explotación de caliza en el sector de San José de Maipo. La recuperación natural de estas permitiría aumentar su rol como vertientes aportantes de aire fresco para la cuenca de Santiago y proteger la biodiversidad regional. Finalmente, un manejo adecuado potenciaría las iniciativas actuales y futuras de desarrollo turístico. Si bien estas áreas se presentan dispersas en gran parte de la superficie regional, se destacan principalmente los siguientes sectores representativos:

- Cerros del Valle del Puangue y San Pedro
- **Cerros de Chacabuco, Peldehue y Chicureo**
- Cordón Los Ratones (Buin y Paine)
- Sector Cajón del Maipo y valle del río Colorado

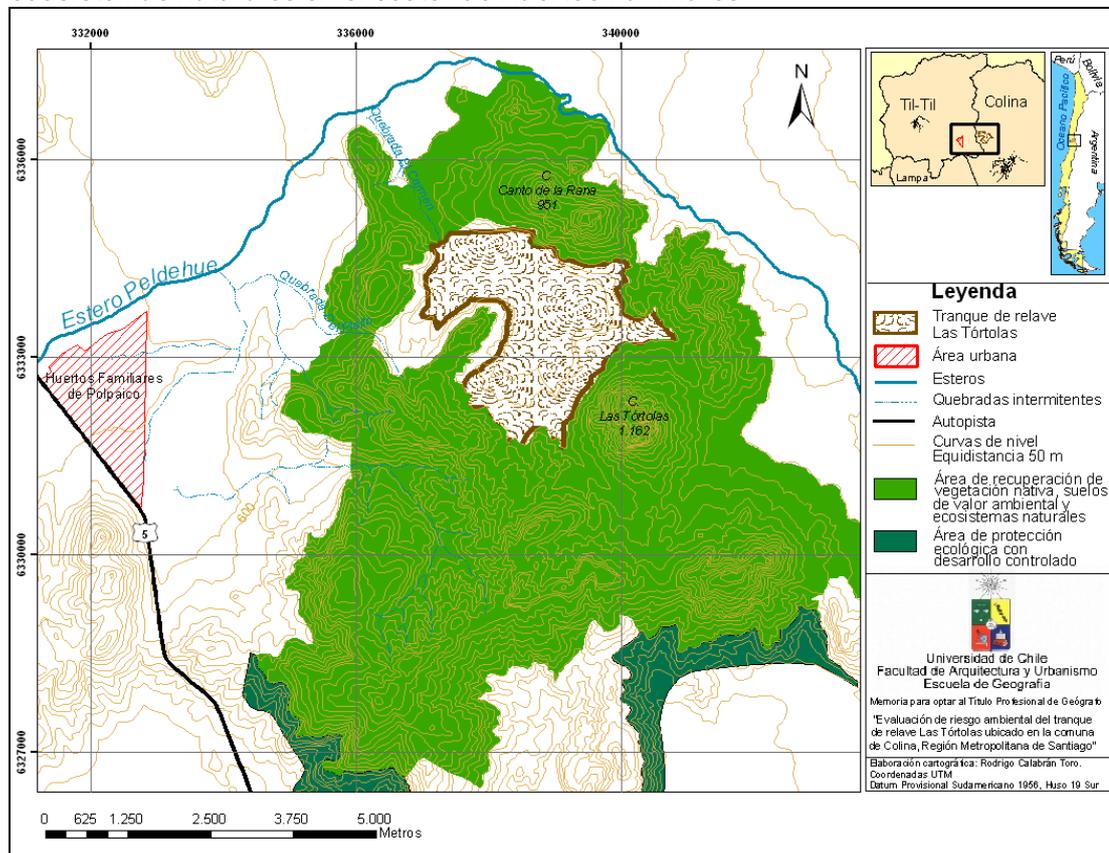
Además, para el sector de Peldehue, este proyecto propone la creación de una Reserva Nacional con una superficie de 31.314 Has.

En lo que se refiere a flora, dentro del estudio de Impacto Ambiental se estableció que sólo dos especies se encuentran en alguna categoría de conservación: *Prosopis chilensis* (algarrobo) y *Porlieria chilensis* (guayacán), ambas consideradas como Vulnerables a nivel nacional. Estas corresponden a 94 algarrobos y 892 guayacanes (ARCADIS GEOTECNICA, 2006)

En cuanto a la fauna, en el área Las Tórtolas se registra la presencia de 9 especies catalogadas con problemas de conservación, correspondiente al 14,5% del total de las especies observadas. El cóndor (*Vultur gryphus*), la lagartija lemniscata (*Liolaemus lemniscatus*), la lagartija de los montes (*Liolaemus monticola*), la iguana chilena (*Callopistes palluma*), la culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*) y el sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*), están catalogados como especies de carácter Vulnerable (según CONAMA, esta categoría se aplica a especies que no pudiendo ser clasificada en la categoría "En Peligro de Extinción", enfrentan un riesgo alto de extinción), mientras que el pato cuchara (*Anas platalea*), el ratón chinchilla común (*Abrocoma benetti*) y el zorro (*Pseudalopex sp.*) están catalogados

como especies “escasamente o inadecuadamente conocidas” (ARCADIS GEOTECNICA, 2006).

Figura Nº 20: Área de recuperación de vegetación nativa, suelos de valor ambiental y ecosistemas naturales en el sector de Huertos Familiares



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

➤ Catastro de aves

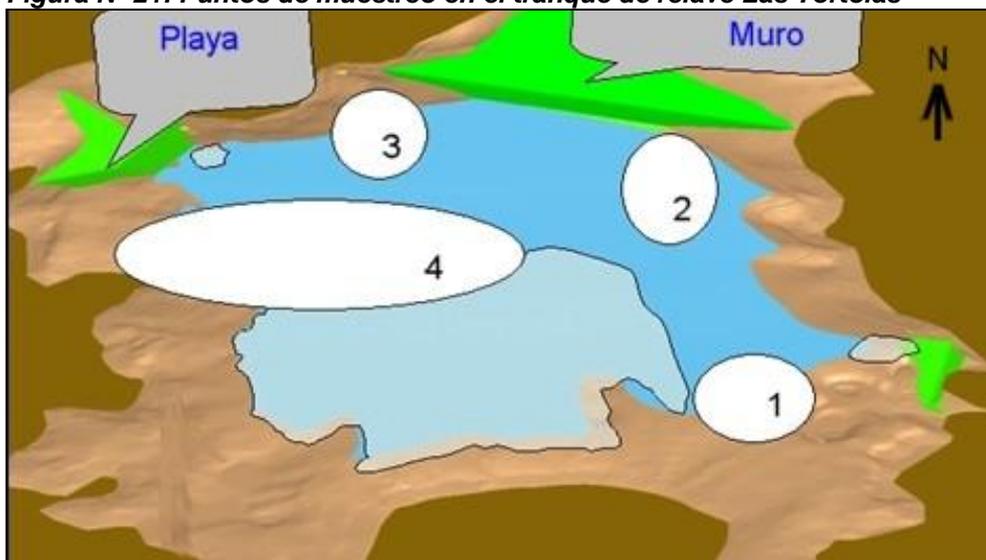
Con respecto a este tema, ANGLO-AMERICAN CHILE (2007 α) señala que “se realizó un estudio para determinar las causas de mortandad de patos detectada en 2005 en la zona del tranque de relave Las Tórtolas y en otros humedales de la zona. En conjunto con CONAMA, el Servicio Agrícola y Ganadero, consultores externos y empresas relacionadas a dichos humedales, se ha estado estudiando el tema y manteniendo un conteo en el número de muertes y un censo de población de estas aves. Los estudios no han determinado aún la causa del problema, sin embargo, la mortandad de aves disminuyó significativamente durante el año 2007, contabilizándose un total de 180 muertas v/s 1.091 del año anterior. Desde abril de 2007 hasta fin de año, sólo se encontraron 3 aves muertas, para un censo de 1.247 patos en noviembre. Adicionalmente, se instalaron emisores en algunos patos, comprobándose que se desplazan entre los distintos humedales de la zona”.

Siguiendo la misma línea, entre los años 2005 y 2006 el S.A.G. efectuó 59 estudios, entre los cuales destacan los censos de aves en los tranques de relave Ovejería y Las Tórtolas, Región Metropolitana de Santiago (SERVICIO AGRÍCOLA Y

GANADERO, 2006). En lo que respecta a este último, se realizaron 3 observaciones, cuya metodología pasa a detallarse a continuación:

✓ La distribución espacial de los puntos de observación se muestran en la Figura N° 21:

Figura N° 21: Puntos de muestreo en el tranque de relave Las Tórtolas



Fuente: SAG (2006).

Cabe señalar que el transecto entre los puntos seleccionados se hizo en un bote dentro del espejo de agua del tranque. Además se señala que dicha observación se hizo a través de un telescopio*.

- Las actividades que se encontraban realizando las aves al momento de la observación se detallan en la Tabla N° 46. También hay que señalar que solamente algunas de las estaciones muestran dichas actividades realizadas por las aves.

Tabla N° 46: Tipo de actividad realizada por las aves al momento del censo

Actividad	(ACT)
Volando	V
Descansando	D
Alimentándose	A
Cortejando	C
Nidificando	N

Fuente: SAG (2006).

Finalmente, hay que añadir que estas observaciones se realizan simultáneamente con las de los otros tranques de la zona (Ovejería y Polpaico) con el fin de no contar el mismo ejemplar dos veces.

* En conversación telefónica con Paola Rossi, S.A.G. Región Metropolitana.

➤ *Observaciones*

1. Observación realizada el 09/07/2005 detallada en la Tabla N° 47:

Tabla N° 47: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas

Observador	Charif Tala
Fecha	09/07/2005
Hora inicio	9:30
Hora término	11:00
Lugar	Las Tórtolas

Fuente: SAG (2006).

Las especies registradas se detallan en Tabla N° 48:

Tabla N° 48: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas

Nombre Común	Estación 1	Estación 2
Blanquillo	165	21
Pato Cuchara	6	
Pato Jergón Grande	75	
Pato Rana	4	3
Pato Real	2	
Tagua	13	147

Fuente: SAG (2006).

2. Observación realizada el 31/01/2006 detallada en la Tabla N° 49:

Tabla N° 49: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas

Observador	Juan Aguirre - Mildred Toro - Paola Rossi
Fecha	31/01/2006
Hora inicio	10:30
Hora término	12:45
Lugar	Tranque Las Tórtolas
Tiempo	Despejado

Fuente: SAG (2006).

Las especies registradas se detallan en la Tabla N° 50:

Tabla N° 50: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas

Nombre Común	Estación 1	Act	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Blanquillo	14		7	15	143
Huala					4
Pato Cuchara	1		1	295	333
Pato Jergón Chico				2	
Pato Jergón Grande	4	A		8	22
Pato Rana					13
Pato Real				2	6
Pimpollo					1

Fuente: SAG (2006).

3. Observación realizada el 22/07/2006 detallada en Tabla N° 51:

Tabla N° 51: Detalles del censo de aves para el área del tranque Las Tórtolas

Observador	Ricardo Undurraga
Fecha	22/07/2006
Hora inicio	08:45
Hora término	11:50
Lugar	Tranque Las Tórtolas

Fuente: SAG (2006).

Las especies registradas se detallan en la Tabla N° 52:

Tabla N° 52: Especies de aves avistadas para el área del tranque Las Tórtolas

Nombre Común	Estación 1	Act
Blanquillo	39	A-D
Pato Cuchara	67	D
Pato Jergón Grande	105	D
Pato Real	1	D
Pimpollo	12	A-D
Queltehue	12	A-D
Tagua	419	D-A
Tagua Chica	170	D-A

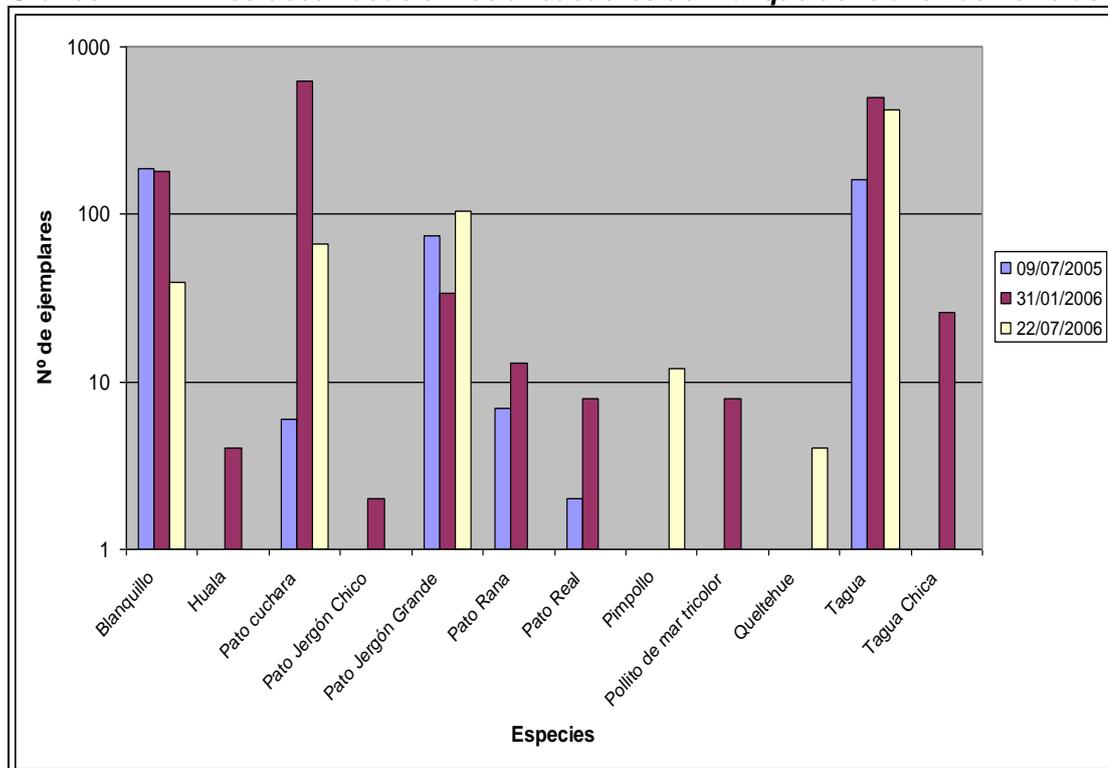
Fuente: SAG (2006).

También hay que señalar que en este durante esta observación se avistaron 2 águilas volando y 85 golondrinas alimentándose.

➤ *Análisis comparativo de aves en el tranque de relave Las Tórtolas*

Luego de enumerar las observaciones realizadas, se procede a comparar la evolución en el número de especies (Gráfico N° 14):

Gráfico N° 14: Aves observadas en los alrededores del tranque de relave Las Tórtolas



Fuente: SAG (2006).

Del análisis comparativo de especies en el gráfico anterior se pueden desprender algunas cosas tales como:

- El blanquillo es la única especie que ha mostrado un decrecimiento entre la primera y la tercera observación.
- El pato cuchara (especie que se encuentra dentro de la categoría Inadecuadamente Conocida según CONAMA) es la especie que presenta las mayores variaciones, ya que durante la primera observación se encontraron 6 ejemplares, luego subió considerablemente a 630 individuos durante la segunda observación y finalmente desciende a 67 ejemplares durante la última observación.
- El pimpollo y el pato rana son las especies que mostraron una variación positiva en la cantidad de ejemplares que se observaron. Si bien ambas se encontraron en tan sólo dos de tres observaciones, aumentaron en el caso de la primera especie de 1 a 12 individuos y, en el caso del pato rana, este aumentó de 7 a 13 casos. Esto quizás podría estar influenciado por la estación del año, ya que el aumento en el número del pimpollo se da desde el verano hacia el invierno, caso inverso para el pato rana.

Por lo tanto, haciendo mención a los sitios prioritarios y a los censos de aves, se puede decir que existe una alta sospecha de impactos adversos sobre medios sensibles, por lo cual, conforme a lo establecido para este ítem por la metodología N.C.S.C.S. **se asignan 12 puntos.**

6.1.6.4.- Determinación del riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas

El puntaje final para la determinación del riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas (etapa de gabinete) se obtiene mediante la aplicación de la metodología N.C.S.C.S. y la posterior tabulación de los puntajes de las variables relacionadas con la caracterización de los contaminantes, el potencial de migración de los contaminantes y los posibles receptores de estos. La Tabla N° 53 muestra la asignación del puntaje final para dicho tranque de relave.

Tabla N° 53: Caracterización de riesgo ambiental del tranque Las Tórtolas

Categoría	Rango de valores	Variable	Puntaje asignado
I. Características de los contaminantes	0 - 33 puntos	A. Grado de peligrosidad	8
		B. Cantidad de los contaminantes	10
		C. Estado físico	7
II. Potencial de migración	0 - 33 puntos	A. Trayecto de agua subterránea	11
		B.2.i. Contención	0,5
		B.2.ii. Distancia al curso de agua principal	0,5
		B.2.iii. Pendiente	1,5
		B.2.iv. Potencial de escorrentía	0,5
		B.2.v. Potencial de desbordes	0
		C. Contacto directo	11
III. Receptores	0 - 34 puntos	A.2.i.b. Proximidad a suministros alternativos	6
		A.2.i.b. Disponibilidad de suministros alternativos	0,5
		A.2.ii.b. Cercanía al uso de agua en distintas actividades	2
		A.2.ii.b. Usos del agua	1
		A.2.iii.b. Uso del suelo	3
		B. Medio ambiente	12
IV. Puntaje final del sitio			74,5

Fuente: Elaboración propia en base a GUEVARA (1999).

Según la Tabla N° 53 el tranque de relave Las Tórtolas, mediante la aplicación de la metodología N.C.S.C.S. (National Classification System for Contaminated Sites) ha obtenido un resultado final de 74,5 puntos, lo cual significa que este sitio tiene un alto riesgo ambiental y que es necesario tomar medidas, tanto para el control de riesgos como para la mitigación de estos.

En forma más detallada se puede decir que:

En lo que respecta a las características de los contaminantes, se han asignado 25 puntos de un total de 33. Dentro de este tema, la variable que toma mayor fuerza es aquella relacionada con la cantidad de contaminantes, ya que actualmente dicho tranque tiene una capacidad de almacenamiento de mil millones de toneladas de relaves.

Con respecto a los potenciales trayectos de migración de los contaminantes, donde se han asignado 25 puntos, hay dos variables que tienen una gran asignación de puntaje. La primera se relaciona con el trayecto del agua subterránea, ya que, de acuerdo con la metodología, si existe conocimiento de contacto de los contaminantes con el agua subterránea. En lo que respecta a la segunda variable de importancia para este ítem, aquella que se relaciona con el contacto directo, también se le asigna 11 puntos debido a que si existe conocimiento de contaminación del aire fuera del sitio debido a contacto con polvo y/o sedimentos provenientes del tranque de relave Las Tórtolas, pues, según las mediciones de la propia empresa, estas superan las normas permitidas para las concentraciones de PM-10.

Finalmente, con respecto a los posibles receptores, donde se han asignado 24,5 puntos, la variable que más puntaje recibe es aquella relacionada con el medio ambiente, ya que de acuerdo a la metodología, existe una alta sospecha que el tranque de relave Las Tórtolas provoca impactos adversos tanto en flora como en fauna catalogada como vulnerable por la CONAMA.

6.2.- Investigación en terreno

La investigación empírica tiene como finalidad la corroboración de los antecedentes, en la medida de lo posible, recopilados en la etapa de gabinete. También sirve para detectar y levantar información que no haya sido mencionada anteriormente o bien haya sido citada de manera superflua.

La investigación en terreno se separa en 2 partes: la primera es la visita al tranque de relave Las Tórtolas y sus instalaciones y la segunda se realiza en el pueblo de Huertos Familiares y sus alrededores.

La visita al tranque se efectúa el día 18 de Julio de 2008, en compañía de don Christian Walker (Geólogo de Anglo- American Chile) y don Luís Púa, habitante de Huertos Familiares y Presidente de la Comisión del Medio Ambiente de Huertos Familiares.

La visita al pueblo de Huertos familiares y sus alrededores se lleva a cabo el día 29 de Julio de 2008.

6.2.1.- Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo para la visita al tranque de relave son determinados con anterioridad y también durante el mismo día, ya que por motivos de tiempo no se alcanza a visitar los lugares predestinados, pero son reemplazados por otros puntos.

Los puntos de muestreo en la visita a Huertos Familiares son determinados con anterioridad por ser considerados como los más importantes en la etapa de gabinete.

La totalidad de los puntos de muestreo se señalan en la Foto N° 15, los cuales pasan a detallarse a continuación.

Foto Nº 15: Puntos de muestreo del tranque de relave Las Tórtolas y el pueblo de Huertos Familiares y sus alrededores



Fuente: Software Google Earth.

6.2.2.- Tranque de relave Las Tórtolas

La visita a terreno se realiza el día 18 de Julio de 2008, dentro de la cual se pudo constatar gran parte de los antecedentes recolectados en el trabajo de gabinete. Por motivos de tiempo, sólo se visitaron los lugares más importantes o de mayor trascendencia, tales como parte de las instalaciones y los muros (tanto Norte como Oeste).

La Foto N° 16 muestra las instalaciones existentes en las cercanías del tranque de relave Las Tórtolas. En esta área se ubican las plantas de flotación, las instalaciones de filtración, secado y almacenamiento de concentrado de cobre y molibdeno y la plantación forestal utilizada para disipar las aguas claras de relave. El acceso es a través de la Ruta 57 (Autopista Los Libertadores), donde en el kilómetro 35,5 comienza un camino interno.

Foto N° 16 (Punto A): Panorámica de las instalaciones



Fuente: Colección personal del autor.

En la Foto N° 17 se puede observar la disposición de los relaves en el tranque, la cual se produce en forma de pulpa, conducida desde la planta de tratamiento. También en la esquina superior izquierda se puede observar la caída de los relaves hacia dicho tranque.

Foto N° 17 (Punto B): Vista panorámica desde el muro norte hacia el Sureste



Fuente: Colección personal del autor.

Los muros del tranque de relave Las Tórtolas están hechos con la fracción más gruesa con el fin de arrojar la parte más fina (lamas) a la mencionada estructura. Este muro constantemente se va comprimiendo con maquinas (lo que se puede observar con las líneas casi paralelas que se denotan), haciendo que también vaya variando su altura. Dentro de las medidas de mitigación para la deflación de partículas se pudo constatar que hay una malla tipo Raschel, la cual cuenta con una altura promedio de 1,5 metros (Foto N° 18).

Foto N° 18 (Punto C): Vista panorámica desde la cima del muro norte hacia el Noroeste



Fuente: Colección personal del autor.

La Foto N° 19 muestra la base del muro norte, donde se captan las aguas que infiltran a través de dicho muro, las cuales posteriormente son recirculadas hacia otras zonas de las instalaciones de Anglo-American Chile.

Foto N° 19 (Punto D): Vista desde la base del muro norte hacia el Sureste



Fuente: Colección personal del autor.

Finalmente, la Foto N° 20 muestra una parte del muro Oeste, el cual tiene una menor longitud que el muro Norte.

Foto N° 20 (Punto E): Vista desde el muro oeste hacia el Noreste



Fuente: Colección personal del autor.

6.2.3.- Pueblo de Huertos Familiares y sus alrededores

La Foto N° 21 da cuenta de algunas plantaciones de tipo permanente que se encuentran en las cercanías de Huertos Familiares. Detrás de los cerros que se pueden observar se encuentra el tranque de relave Las Tórtolas.

Foto N° 21 (Punto F): Vista hacia el Sureste



Fuente: Colección personal del autor.

La Foto N° 22 muestra otro tipo de cultivos que hay en las cercanías de Huertos Familiares, las cuales cuentan con métodos de riego a través de mangueras.

Foto N° 22 (Punto G): Vista panorámica hacia el Noroeste



Fuente: Colección personal del autor.

La foto N° 23 da cuenta del lecho del estero Peldehue, el cual no muestra señal alguna de escorrentía. Además se puede apreciar vegetación de tipo espinal (*Acacia caven*), la cual se muestra bastante consolidada.

Foto N° 23 (Punto H): Lecho del estero Peldehue



Fuente: Colección personal del autor.

En la Foto N° 24 se muestra el puente Peldehue donde, en su parte baja, se pueden observar estructuras de tipo gavionadas con el fin de protegerlo de posibles crecidas. También se puede notar que no hay presencia de escorrentía superficial pero si de vegetación consolidada.

Foto N° 24 (Punto I): Puente Peldehue



Fuente: Colección personal del autor.

La Foto N° 25 muestra los pozos de agua que se encuentran en Huertos Familiares: El pozo N° 6 es utilizado para consumo humano y cuya agua se transporta por tuberías hacia la Cooperativa de Huertos Familiares, ubicada en el otro extremo del pueblo, donde se almacena en 2 copas de agua para luego ser distribuida en los hogares de Huertos Familiares. Los pozos N° 3 y 4 son utilizados para el riego.

Foto N° 25 (Puntos J6-J3-J4): Pozos de extracción de agua en Huertos Familiares



Fuente: Colección personal del autor.

La Foto N° 26 muestra la sede de la Cooperativa de Huertos Familiares, la que se encarga de distribuir el agua sacada de los pozos anteriormente mencionados. El agua se almacena en 2 copas de agua, cuya capacidad es de 300 m³ cada una.

Foto N° 26 (K): Cooperativa de Huertos Familiares y copas de almacenamiento de agua



Fuente: Colección personal del autor.

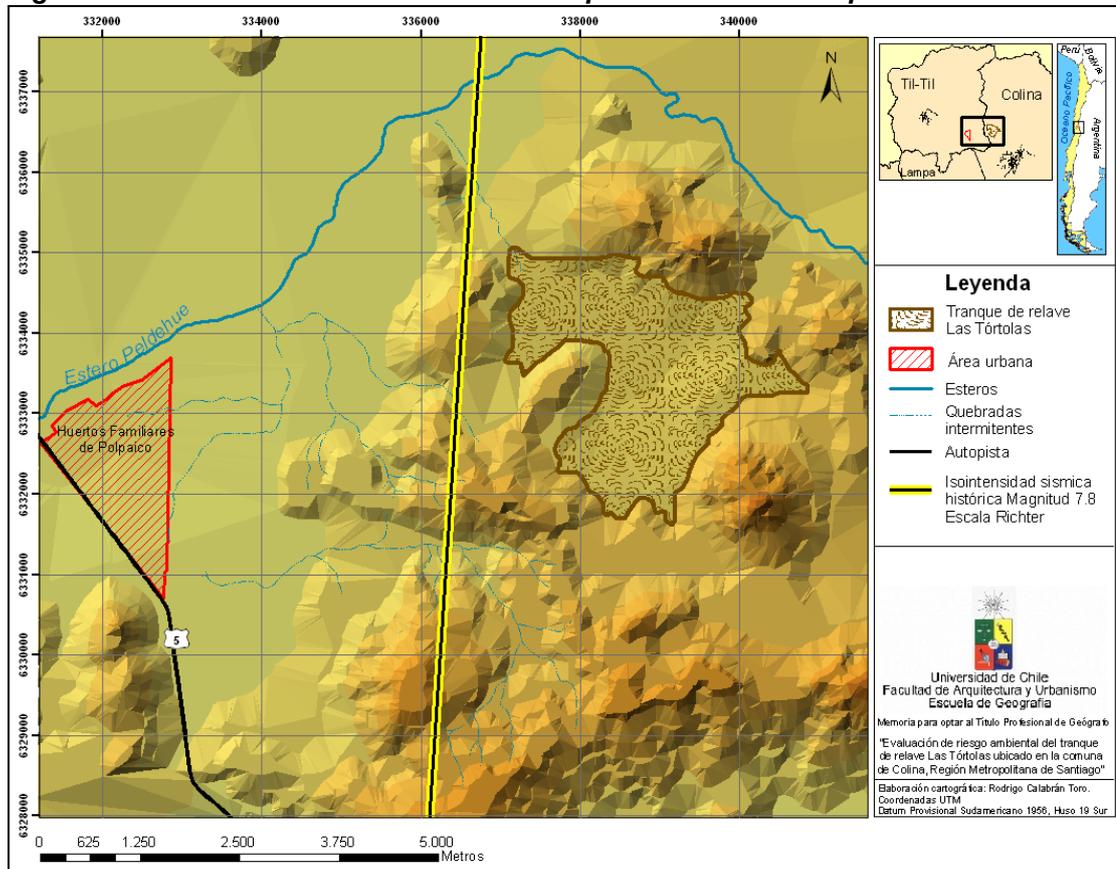
6.3.- Discusión de prioridades

En esta etapa se busca determinar aquellas zonas que puedan presentarse como las más vulnerables frente a la amenaza del tranque de relave Las Tórtolas. En este sentido, según el Fallo de la Corte de Apelaciones de Santiago “Comité de Agua Potable Rural de Caimanes y Otros / Dirección General de Aguas, Causa N° 12004-2005, Folio: 134031” en BUSTAMANTE (2007) “todos los tranques de relave producen contaminación por material particulado. Es imposible mantener la humedad requerida para evitarlo, sobre toda la superficie del relave y durante todo el tiempo requerido. De esta forma, el polvo tóxico es elevado por el viento y depositado en las campos cercanos que no son propiedad de la empresa”. Esto hace referencia a que el viento es un factor importante a tomar en cuenta, sobre todo en invierno, ya que es en este período cuando tiene una dirección predominante Este (E) y que puede incidir en el traslado por deflación de material particulado peligroso para los habitantes del sector de Huertos Familiares, lo que podría alterar su salud a largo plazo. GINOCCHIO (2007) señala que “la depositación de partículas ricas en metales pesados se traduce en un aumento progresivo de estos en el suelo, ya que su tiempo de residencia es generalmente alto, aunque esto depende de diversas condiciones del suelo. Esta acumulación gradual generaría problemas de toxicidad en la vegetación, ya que la mayoría de los metales pesados son requeridos sólo en cantidades traza por las plantas o son directamente muy tóxicos para ellas”.

Por otra parte, en lo que se refiere a los aspectos hídricos y considerando “el reconocimiento universal del derecho humano al agua en adecuada cantidad y calidad como un derecho humano fundamental cuyo ejercicio pleno debe ser protegido por los Estados” (TRIBUNAL LATINOAMERICANO DEL AGUA, 2007), las quebradas que comunican el tranque de relave Las Tórtolas con el estero Peldehue pueden, eventualmente, resultar contaminadas y, de esta forma, alterar la salud de las personas que viven más abajo, tanto por contacto directo como indirecto. Lo que se pudo constatar en terreno es que no existe la presencia propiamente tal de escorrentía superficial de dichas quebradas, con lo cual este punto pasa a disminuir el puntaje inicialmente asignado. En lo referente a los recursos hídricos subterráneos, se ha demostrado que los contenidos de sulfatos y molibdeno han sobrepasado las normas existentes y, por lo tanto, en uno de los elementos más importantes a tener en cuenta.

En lo que respecta a los muros del tranque Las Tórtolas, siempre existe la posibilidad de que puedan colapsar con algún movimiento sísmico de gran envergadura. Si bien se menciona que hay una baja a muy baja probabilidad de falla, nunca esta demás tomar las medidas correspondientes, siempre poniéndose en el peor de los escenarios. Esto se puede reflejar en la Figura N° 22 que muestra la isolínea de sismicidad histórica para el área del tranque Las Tórtolas, basada en el listado de eventos sísmicos proporcionado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y utilizado en la carta de isointensidad sísmica histórica en el PROYECTO O.T.A.S. (2002). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, estos muros contienen no más de un 10% de finos, donde VERDUGO (1983) citado en VIERTTEL (2003) señala que “se demostró que el incremento del contenido de finos en arenas de relave produce un decremento de la resistencia a la licuefacción”. Esto significa que sería una revisión periódica del estado de los muros y del contenido y composición de estos se hace sumamente necesario con el fin de evitar algún accidente.

Figura Nº 22: Isointensidad sísmica histórica para el área del tranque Las Tórtolas



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002).

Siguiendo la línea de la discusión de prioridades, en lo referente al *Contacto directo*, dentro de los posibles trayectos de exposición y de acuerdo a la información disponible, se estableció que sí hay conocimiento de contaminación del aire fuera del tranque de relave Las Tórtolas. Tal como señala BRUNO (1992) “el ingreso de una sola sustancia extraña a un ecosistema, ya sea por causas naturales y/o humanas, provoca una serie de cambios en su ambiente biótico y abiótico, por lo que puede llegar a transformarlo completamente”. En este sentido GINOCCHIO (2007B) señala con respecto a los relaves que por las condiciones climáticas de nuestro país, lo que queda es un material muy fino expuesto a viento y lluvia, lo que hace fácil su dispersión hacia los alrededores. Al dispersarse, no sólo produce más polvo en el aire sino que arrastra algunos metales al entorno, y que se van depositando en suelos que pueden tener otros usos, lo cual puede producir un efecto riesgoso. “No es como estar al lado de una fundición con material particulado y acidificación del aire, como cuando no había regulación ambiental, aquí el problema es que puede depositarse, por ejemplo, sobre vegetación. Esto hace que no tenga tanta captación de luz, por lo tanto disminuye su productividad. Si hay un poblado cerca, el mayor riesgo es que los niños que circulan por el lugar se exponen al desecho, más si el relave está abandonado o abierto”.

Con respecto a lo anteriormente mencionado surge el tema relacionado con la erosión eólica. De acuerdo con ESPINACE *et al.* (2006) este tipo de erosión se va a

producir dependiendo de las condiciones que presenta el viento como agente erosivo, de las características del suelo y susceptibilidad de éste a erosionarse, siendo también un factor importante la vegetación existente.

ESPINACE *et al.* (Op. Cit.) menciona que la erosión eólica en tranques de relave es un proceso complejo controlado por diversos factores climáticos y ambientales, que ocasiona movimiento de partículas de diferentes tamaños. Las dos variables fundamentales del fenómeno son el viento y el suelo, pero enfocando la erosión eólica en los tranques de arenas de relave aparece una tercera variable a considerar, que es la altura. A medida que el tranque va creciendo en la etapa de operación, la altura de muro resistente aumenta al igual que la acción del viento sobre éste, llegando a un instante en que se generan problemas de enorme importancia enfocados en 3 ámbitos: estabilidad mecánica, ambiente y operación.

Dentro de los factores que afectan la magnitud de la erosión eólica se cuentan la aridez del clima, la velocidad del viento, la estructura y textura del suelo, rugosidad de la superficie del suelo y la vegetación.

Con respecto a la estructura y textura del suelo, se tiene que la arena arcillosa, rica en partículas de tamaño entre 10 y 100 micras, es el suelo más vulnerable, mientras más arcilloso es el suelo es mucho más cohesivo, de buena estructura y por lo tanto más resistente. Las rocas, arenas o areniscas también son más resistentes, puesto que las partículas son demasiado pesadas para ser arrastradas por el viento. La erosionabilidad del suelo por causa de los vientos está relacionada con la textura y su estabilidad estructural, los suelos de textura gruesa son más susceptibles a erosionarse y menos propensos a formar estructuras estables. La velocidad del viento se reduce al aumentar la rugosidad de la superficie del suelo, disminuyendo la posibilidad de traslación de las partículas. La Tabla N° 54 muestra la relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad necesaria para lograr su movimiento.

Tabla N° 54: relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad del viento necesaria para lograr su movimiento.

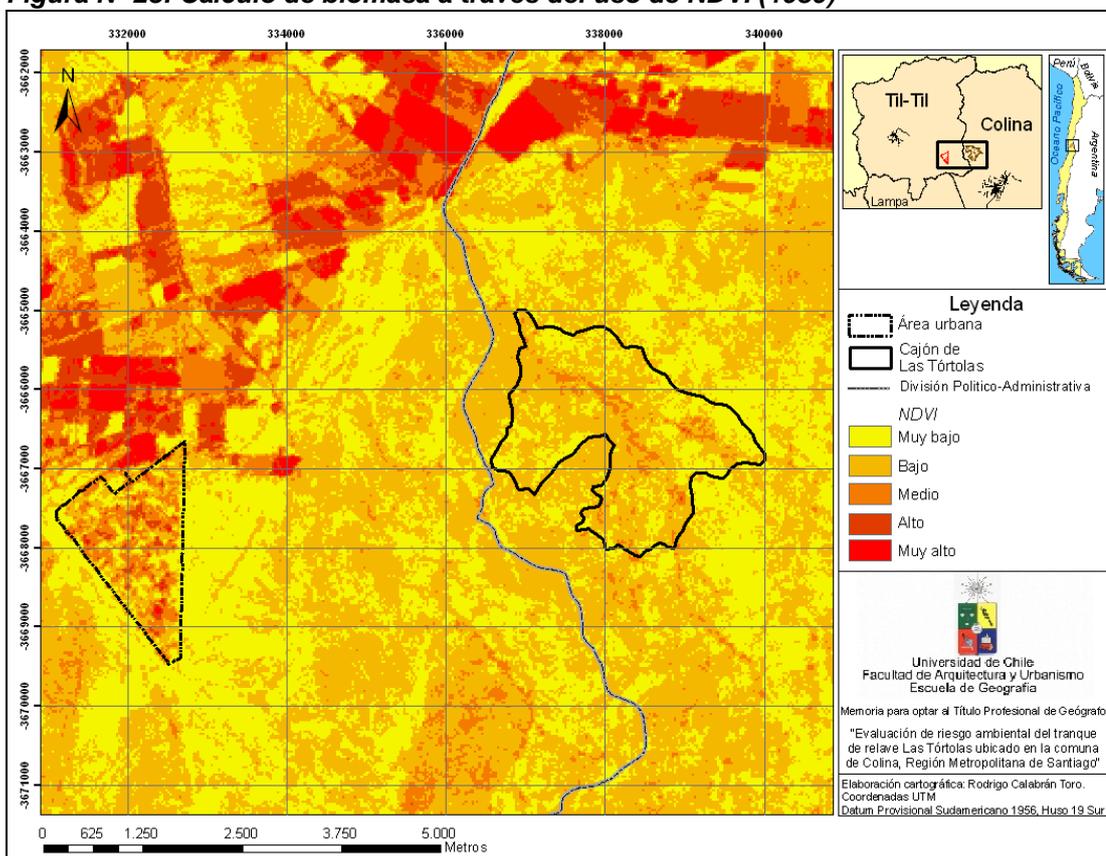
Partículas	Diámetro (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad del viento (Km/h)
Limo	0,05 - 0,01	0,1 - 0,05	0,36 - 0,18
Arena fina	0,1	1 - 1,5	3,6 - 5,4
Arena mediana	0,5	5 - 6	16,5 - 21,6
Arena gruesa	1	10 - 12	36 - 43,2

Fuente: UNIVERSIDAD DE ATACAMA (2006) citado en ESPINACE *et al.* (2006).

Según lo señalado anteriormente con respecto al viento, la velocidad media anual es de 27 Km/h, con variaciones entre 17,28 Km/h y 35,28 Km/h. Con respecto a la dirección se señala que hay un predominio del viento Este durante la estación invernal (con dirección hacia el pueblo de Huertos Familiares), registrándose principalmente durante el periodo nocturno (entre 21:00 y 07:00) y llegando este tipo de viento a más del 20% del total de vientos registrados para dicha medición. En lo que se refiere a la estación de verano, hay un predominio de los vientos SSE, los cuales son alrededor del 15% del total de los vientos medidos para esta estación y se caracterizan por presentarse principalmente en el periodo diurno (entre 07:00 y 21:00 horas)

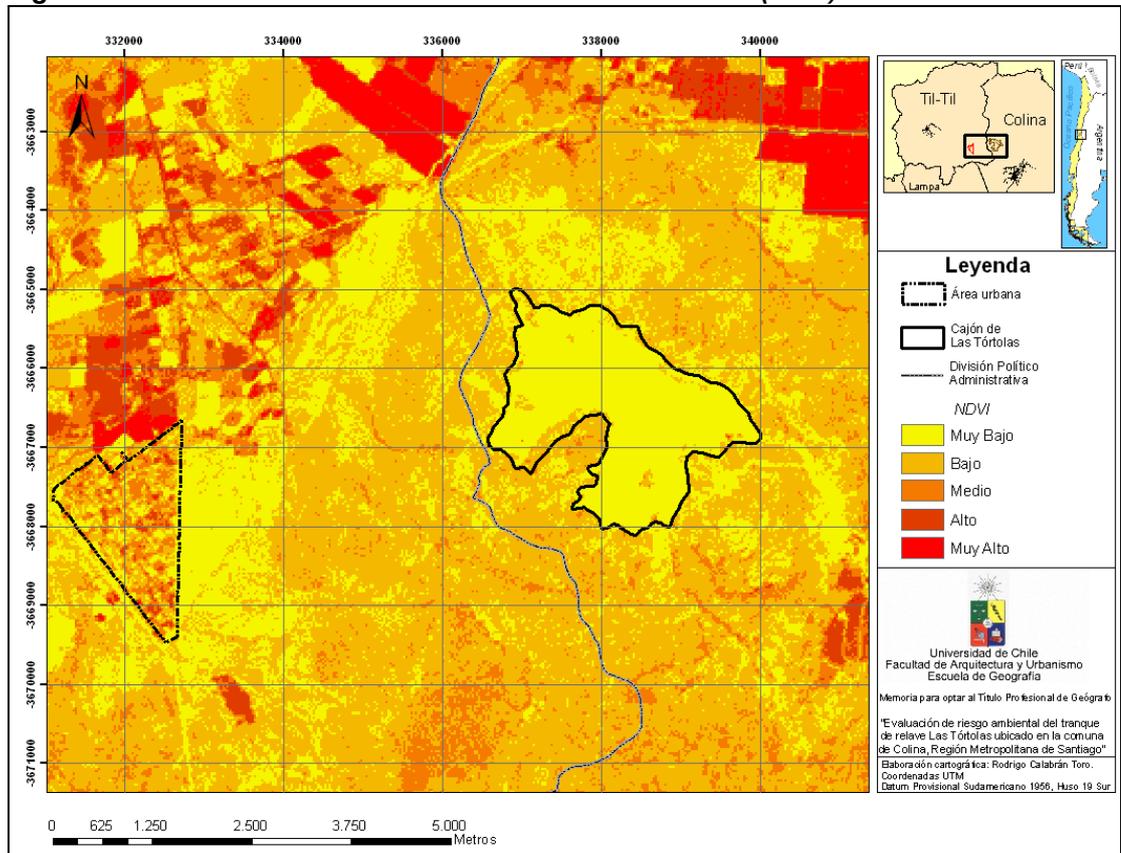
Por otro lado y haciendo alusión al factor de la vegetación, para la estimación de la productividad vegetal se utiliza el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI), el cual, según ROMERO *et al.* (2007) es un indicador derivado de la reflectividad medida en las regiones roja e infrarroja cercana del espectro electromagnético, con el fin de describir la cantidad relativa de biomasa verde. Siguiendo la misma línea y complementando lo anterior, VASQUEZ y FUENTES (2008) señalan que este índice tiene una alta correlación con la productividad vegetal y actividad clorofílica, y permite identificar bastante bien los espacios con vegetación, entregando valores posibles que van desde 1 en los espacios de mayor productividad vegetal, hasta -1 en los espacios donde la presencia de vegetación es escasa o nula. Las Figuras N° 23 y N° 24 presentan cálculos de biomasa a través del uso del *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*, el cual ha sido reclasificado en 5 categorías para una mejor interpretación de los datos obtenidos.

Figura N° 23: Cálculo de biomasa a través del uso de NDVI (1989)



Fuente: Elaboración propia en base a imagen Landsat TM (1989).

Figura N° 24: Calculo de biomasa a través del uso de NDVI (1999)



Fuente: Elaboración propia en base a imagen Landsat ETM+ (1999).

Con respecto a las cinco categorías mencionadas anteriormente (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) se puede decir que:

- El cajón de Las Tórtolas y su entorno más cercano presenta, en 1989, un NDVI entre las categorías Muy bajo, Bajo y Medio, lo que significa que existe un poco de vegetación, la cual está asociada a los cursos de agua existentes para ese período. Para el año 1999 cambia casi totalmente, ya que lo que se refleja en una isla amarilla que se ubica casi al centro de la figura. Es decir, la vegetación para este sector sería prácticamente nula.
- Con respecto al pueblo de Huertos Familiares, para ambos períodos, este presenta un poco más de heterogeneidad en su composición, presentándose valores que van principalmente entre la categoría Baja y la Alta. Además, inmediatamente al norte de esta localidad, hay islas que van entre las categorías Alta a Muy alta, las cuales están asociadas a los cultivos que en ese lugar se producen.
- Finalmente, con respecto a las islas de color rojo que se pueden apreciar en la parte superior de la figura, las cuales están catalogada como Muy alta, se puede decir que están asociadas a cultivos de tipo permanente que se producen en dicha zona, tales como parronales.

Haciendo mención a las dos variables anteriormente mencionadas (viento y vegetación) se puede concluir que el viento, debido a las velocidades medidas, puede ser capaz de arrastrar en este sector hasta arenas gruesas, y dependiendo de la estación climática, pueden ser llevadas hasta las cercanías de Huertos Familiares principalmente en invierno y hacia los cultivos durante la estación de verano, cuyas partículas pueden ir depositándose en el suelo y después ser asimiladas por los cultivos, siendo traspasadas tanto a animales como a humanos.

6.3.1.- Reestructuración del puntaje final

Vistos los antecedentes recopilados en la etapa de gabinete y, posteriormente en la etapa de investigación en terreno, se ha llegado a una reestructuración de los puntajes asignados a algunas variables, las cuales pasarán a detallarse a continuación:

- En el punto III.A.2.i.b, el cual hace mención a la proximidad al suministro de agua potable, antes se asignaban 6 puntos a este ítem porque las cañerías provenían del estero Peldehue. En terreno se pudo constatar que esto no es así, ya que el agua destinada tanto para riesgo como para consumo humano proviene de napas subterráneas, cuyos pozos se ubican a menos de 100 metros de la población. Es por este motivo que se siguen manteniendo los 6 puntos asignados originalmente.
- En el punto III.A.2.ii.b, el cual hace alusión a la cercanía a usos del agua en distintas actividades, anteriormente se asignaban 2 puntos porque el estero Peldehue se ubica a menos de 100 metros de los cultivos agrícolas de Huertos Familiares. Según lo visto y consultado en terreno, el agua para regadío proviene de pozos ubicados en Huertos Familiares, ubicándose a menos de 100 metros de lugares de cultivo y preparación de comida, por lo tanto se siguen manteniendo los 2 puntos asignados originalmente.

6.4.- Elaboración de cartografía

EL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION DE COLOMBIA (2007) señala que un mapa de riesgos es una herramienta metodológica que permite hacer un inventario de los riesgos ordenada y sistemáticamente, definiéndolos, haciendo la descripción de cada uno de ellos y las posibles consecuencias.

De acuerdo con la caracterización de riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas, dentro de los posibles trayectos de exposición de los contaminantes, la variable referida al *Agua subterránea* y al *Contacto directo* fueron las que obtuvieron mayores puntajes.

En lo que respecta a la primera variable mencionada, ESPINOZA (2002) señala que en Chile las aguas subterráneas representan una importante fuente de suministro de agua potable para las diversas localidades tanto urbanas como rurales. En efecto, aproximadamente el 77% del agua utilizada por los servicios de agua potable rural proviene de esta fuente, mientras que para el caso del abastecimiento urbano esta cifra alcanza un 40% a nivel nacional.

PORRAS (1978) señala que la contaminación del agua se puede definir como “la alteración de su calidad natural por la acción humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para la aplicación útil a que se destina. Haciendo alusión directamente al agua subterránea, se dice que una vez incorporado el agente contaminante al flujo subterráneo, resulta muy difícil y costoso conocer tanto su movimiento y evolución como detenerlo para evitar que llegue a los pozos y sondeos de explotación. Además, en muchos casos, es prácticamente imposible eliminar o extraer tal agente de la formación permeable que puede permanecer durante años contaminando el agua”.

Esto es reafirmado por CUSTODIO y LAMAS (1976) citado en ARCE (2001) donde se señala que los acuíferos subterráneos, por la lenta circulación de las aguas de absorción de los terrenos y pequeño tamaño de los canículos, pueden demorar mucho en mostrar la contaminación. Estos presentan un notable poder depurador frente a muchos agentes contaminantes, aunque aquel tiene un límite, que varía según sea el agente que se considere. Además, el gran volumen de agua que contienen hace que las contaminaciones extensas se manifiesten muy lentamente y que las contaminaciones localizadas no aparezcan hasta después de un tiempo, generalmente muy largo, en que se hayan desplazado hasta captaciones de explotación.

Esto puede ser resumido por CARBONELL *et al.* (1993) citado por ARCE (Op. Cit.) a través de tres leyes:

- I. Toda agua subterránea es vulnerable.
- II. Toda evaluación de vulnerabilidad es inherentemente incierta.
- III. Lo que es obvio puede quedar enmascarado y lo que es sutil resulta indistinguible.

Con el fin de evaluar la vulnerabilidad de un acuífero donde los datos son escasos, cubren mal el territorio o son inciertos, la aplicación del método GOD (FOSTER,

1987; FOSTER & HIRATA, 1991) resulta una estructura simple y que requiere de disponer de los siguientes parámetros:

G (*Groundwater occurrence*): Se refiere a la forma de presentarse el agua subterránea (acuífero libre, semiconfinado, cautivo, no hay acuífero).

O (*Overall*): Caracterización global del acuífero en cuanto a grado de consolidación y naturaleza litológica.

D (*Depth*): Profundidad de la napa freática o techo del acuífero confinado.

- El primer parámetro (**G**) corresponde a la identificación del tipo de ocurrencia de las aguas subterráneas y su clasificación dentro de un rango entre 0 y 1. El tipo de ocurrencia varía desde la inexistencia de acuíferos (evaluado con valor 0) en un extremo, y la presencia de un acuífero libre (evaluado con valor 1) en el otro extremo, pasando por acuíferos surgentes, confinados y semiconfinados (Tabla N° 55).

Tabla N° 55: Asignación de puntaje para el tipo de acuífero

Tipo de acuífero	Índice
Zona impermeable	0
Confinado artesiano	0,1
Confinado artesiano	0,2
Semiconfinado	0,4
Libre cubierto	0,6
Libre	0,7 - 1

Fuente: FOSTER (1987); FOSTER & HIRATA (1991) citado en ARCE (2001).

- El segundo parámetro (**O**) corresponde a la caracterización de los estratos de suelo ubicados encima de la zona saturada del acuífero. Este se evalúa considerando dos características: el grado de consolidación y, de esta forma, la presencia o ausencia de permeabilidad por fisuración y el carácter litológico, e indirectamente de esta forma, la porosidad relativa, permeabilidad y contenido de humedad o retención específica de la zona no saturada (FOSTER & HIRATA, Op. Cit) citado en ARCE (Op. Cit.). Esta información se usa para obtener un índice que puede variar en un rango entre 0,4 y 1.

Para esto se utilizarán los rangos de permeabilidad contenidos en el informe de suelos de la Etapa 1 del PROYECTO O.T.A.S. (2002) cuyos rangos pasan a detallarse en la Tabla N° 56.

Tabla N° 56: Asignación de puntaje para el tipo de permeabilidad

Permeabilidad relativa	Índice Proyecto O.T.A.S.	Índice asignado
Muy rápida	> 25	0,9
Rápida	12,5 - 25	0,75
Moderadamente rápida	6,25 - 12,5	0,6
Moderada	2 - 6,25	0,45
Moderadamente lenta	0,5 - 2	0,3
Lenta	0,125 - 0,5	0,15

Fuente: Mod. de FOSTER (1987); FOSTER & HIRATA (1991) citado en ARCE (2001).

- El tercer parámetro (**D**) consiste en determinar la profundidad del nivel freático en caso de acuíferos freáticos, o la profundidad al techo del acuífero en casos de acuíferos confinados. De acuerdo a la profundidad observada, este tercer componente puede tomar un valor entre 0,4 y 1 (Tabla N° 57).

Tabla N° 57: Valores de índices de profundidad

N°	Rango de profundidad (m)	Vulnerabilidad relativa
1	0 - 5	0,9
2	5 - 15	0,8
3	15 - 30	0,7
4	30 - 50	0,6
5	50 - 70	0,5
6	70 - 90	0,4
7	90 - 110	0,3
8	110 - 130	0,2
9	> 130	0,1

Fuente: FOSTER (1987); FOSTER & HIRATA (1991) citado en ARCE (2001).

De esta manera, a través del Método GOD se calcula el *Índice de Vulnerabilidad* multiplicando los tres valores:

$$IV = IV_G * IV_O * IV_D$$

Donde **IV_G** representa el efecto del tipo de acuífero, **IV_O** describe el efecto de los estratos situados sobre el nivel freático e **IV_D** muestra la influencia de la profundidad del nivel freático sobre la vulnerabilidad del sistema acuífero. Se obtienen, de esta forma, un índice que va desde 0 (no hay acuífero) ó 0.016 (hay acuífero pero es poco vulnerable) hasta 1 (alta vulnerabilidad).

De acuerdo a lo señalado por DONADO (1999), las categorías de vulnerabilidad se pueden clasificar de la siguiente forma:

A. *Vulnerabilidad extrema*: Acuífero vulnerable a la mayoría de los contaminantes de agua, con un impacto relativamente rápido en muchos escenarios de contaminación.
 $IV = [0,7 - 1.0]$

B. *Vulnerabilidad alta*: Acuífero vulnerable a muchos contaminantes excepto a aquellos que son muy absorbibles y/o fácilmente transformables. IV = [0,5 - 0,7).

C. *Vulnerabilidad media*: Acuífero vulnerable a algunos contaminantes pero sólo cuando son descargados o infiltrados en forma continua. IV = [0,3 - 0,5).

D. *Vulnerabilidad baja*: Acuífero vulnerable sólo a contaminantes conservativos, en el largo plazo si son descargados en forma continua. [0,1 - 0,3).

E. *Vulnerabilidad despreciable*: Las capas confinantes no permiten un flujo significativo al acuífero. IV = [0,01 - 0,1)

F. *Vulnerabilidad nula*: No existe peligro alguno de contaminación. IV = 0.

Lo anterior puede ser detallado en la Tabla N° 58 donde se describen los tipos de vulnerabilidad y el color con que serán representadas en la cartografía.

Tabla N° 58: Rangos de vulnerabilidad del agua subterránea

Índice	Vulnerabilidad	Color
0 - 0,07	Baja	Verde
0,07 - 0,18	Media	Amarillo
0,18 - 0,27	Alta	Naranja
0,27 - 0,38	Extrema	Rojo

Fuente: Mod. de FOSTER (1987); FOSTER & HIRATA (1991) citado en ARCE (2001).

6.4.1.- Aplicación del método GOD para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación en el área del tranque de relave Las Tórtolas

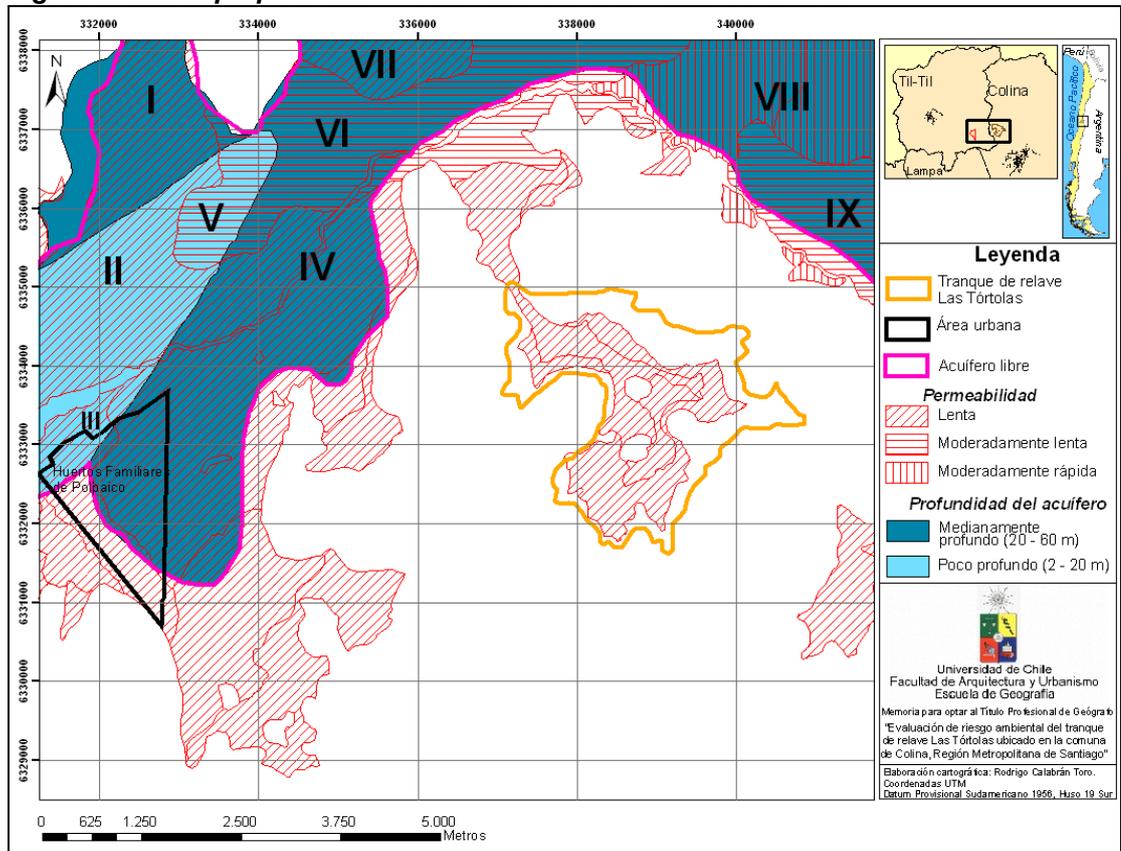
Según se indicó en la Metodología GOD para el análisis de vulnerabilidad de aguas subterráneas y de acuerdo a los índices que se señalan en la misma, a continuación se pasa a detallar los puntajes asignados para el área del tranque de relave Las Tórtolas y alrededores :

- **Tipo de acuífero (G):** Como se mencionó anteriormente en la descripción hidrogeológica del sector del tranque de relave Las Tórtolas, el acuífero se encuentra en forma libre. Hilando un poco más fino, en el Cajón Las Tórtolas el acuífero se comportaría como semiconfinado (lo que le otorga un índice de 0,4) y en el valle del estero Peldehue sería de tipo fluvial libre (obteniendo un índice de 0,7). Tal como señala CONAMA (1999) citado en ARCE (2001), en el caso de un acuífero libre, las características de un medio no saturado, con un mayor porcentaje de poros y compuestos de tipo granular, permiten la fácil penetración de los agentes contaminantes por medio de una rápida percolación hacia zonas más profundas.
- **Permeabilidad (O):** Según lo que se puede apreciar en la Figura N° 16, dentro del área de estudio predomina la permeabilidad Lenta, por lo tanto el índice de vulnerabilidad asignado para este caso es de 0,15. También hay de tipo Moderadamente lenta (0,3) y Rápida (0,6).

- **Profundidad (D):** Tal como se puede observar en la Figura N° 16, generada a partir de datos contenidos en el PROYECTO O.T.A.S. (2002), la profundidad de la napa para este sector varía entre Poco profundo (2 - 20 m) y Moderadamente profundo (20 - 60 m), por lo que se asignan índices de vulnerabilidad relativa entre 0,8 y 0,6.

A continuación pasan a detallarse en la Figura N° 25 las 3 variables anteriormente mencionadas de vulnerabilidad del acuífero en el tranque de relave Las Tórtolas y sus alrededores, con lo cual, y de acuerdo con la información disponible, se podría hacer una jerarquización de áreas.

Figura N° 25: Superposición de variables a través del Método GOD



Fuente: Elaboración propia en base a PROYECTO O.T.A.S. (2002) y ARCE (2001).

6.4.2.- Resultados obtenidos a partir de la aplicación del Método GOD

A partir de la superposición de las 3 variables mencionadas en el Método GOD y de acuerdo a la información disponible, se ha podido clasificar el área de estudio en nueve sectores diferentes, los cuales pasan a detallarse en la tabla N° 59:

Tabla N° 59: Vulnerabilidad del agua subterránea dentro del área de estudio

Sector	G	O	D	Resultado	Tipo de vulnerabilidad
I	0,7	0,15	0,8	0,08	Media
II	0,7	0,15	0,6	0,06	Baja
III	0,7	0,15	0,6	0,06	Baja
IV	0,7	0,15	0,8	0,08	Media
V	0,7	0,3	0,6	0,13	Media
VI	0,7	0,3	0,8	0,17	Media
VII	0,7	0,15	0,8	0,08	Media
VIII	0,7	0,6	0,8	0,34	Extrema
IX	0,7	0,3	0,8	0,17	Media

Fuente: Elaboración propia en base a ARCE (2001).

Primero que todo, con respecto al *Índice G* (Tipo de acuífero) se asume la constante 0,7 debido a que el acuífero es de tipo Libre en todo el sector, excepto para el tranque propiamente tal, pero este último sector no es considerado por falta de datos.

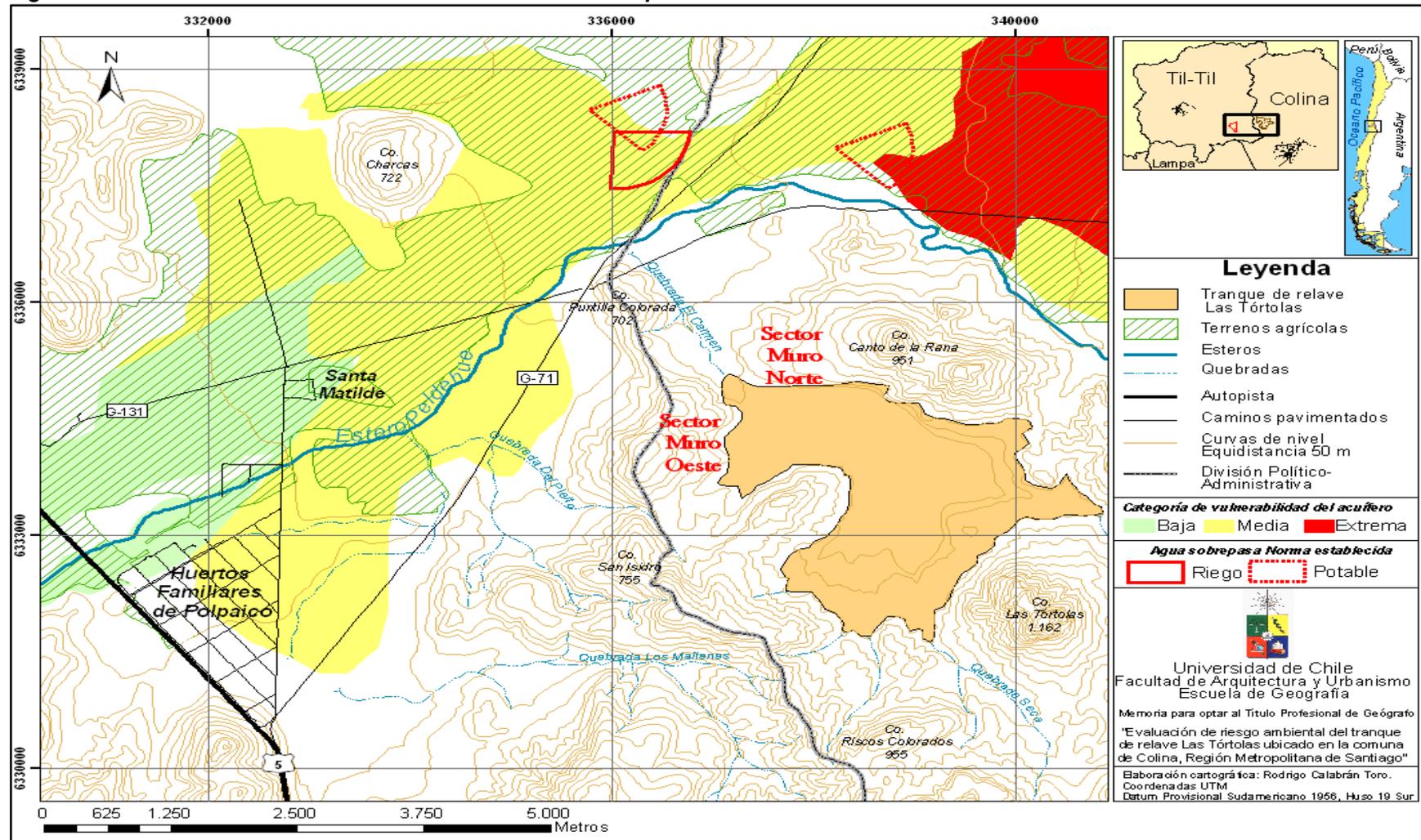
En lo que se refiere a una posible jerarquización de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, los sectores II y III son los que presentan la vulnerabilidad más baja debido a que el acuífero es medianamente profundo en estos sectores y la permeabilidad es lenta.

Los sectores I, IV, V, VI, VII y IX son aquellos que presentan una vulnerabilidad media debido a que la profundidad del acuífero varía entre 2 y 20 m. Dentro de los 6 sectores mencionados, aquel designado con el número I es el que tiene el menor Índice de Vulnerabilidad, caso opuesto al sector IX, el cual presenta un Índice de Vulnerabilidad de 0,17 y se encuentra casi en el límite con la categoría Alta de vulnerabilidad.

Finalmente, con respecto al último sector (VIII) se puede decir que es aquel que presenta la mayor vulnerabilidad, catalogándose de extrema, ya que la permeabilidad es *Extremadamente rápida*, lo que sumado a una poca profundidad, hacen de este sector el más vulnerable según los datos disponibles.

Lo anteriormente mencionado puede ser corroborado en la Figura N° 26 de Vulnerabilidad del acuífero en el sector del tranque de relave Las Tórtolas.

Figura N° 26: Vulnerabilidad del acuífero en el sector del tranque de relave Las Tórtolas



Fuente: Elaboración propia en base a ARCE (2001).

6.5.- Conclusiones

El estudio de “*Evaluación de riesgo ambiental del tranque de relave Las Tórtolas ubicado en la comuna de Colina, Región Metropolitana de Santiago*” permite, a través de la aplicación de las metodologías AIDEP (ONEMI) y N.C.S.C.S. (National Classification System for Contaminated Sites) tener una visión un poco más amplia y en profundidad debido a la severidad de la legislación canadiense, que de acuerdo con HERRERA (S.A.) “tiene un principio precautorio, el cual está contenido en acuerdos internacionales y legislaciones ambientales de varios Estados. Este principio tiene el potencial de coadyuvar en la impartición de justicia ambiental, protegiendo no sólo la salud y bienestar de minorías si no del ser humano en general mediante acciones anticipatorias al daño ambiental”.

A partir de la revisión bibliográfica realizada en la etapa de análisis, sumado a la posterior corroboración en la etapa de investigación empírica, se puede decir que, de acuerdo a la hipótesis planteada en un principio, sin duda que el traque de relave Las Tórtolas es una potencial amenaza para la población de Huertos Familiares, ya que, según los resultados, este tiene un gran riesgo ambiental, tanto para la población como para el medio ambiente, debido a que obtuvo la cifra de 74,5 puntos, lo que lo hace ubicarse en la categoría 1 de alto riesgo ambiental.

Con respecto a esto, RUGIERO (2004) señala que “la necesidad de anticiparse a la catástrofe debe ser el objetivo principal que se debe potenciar, por lo tanto, es menester reconocer la amenaza en todo su ámbito de acción, es decir, desde el tipo y cantidad de productos que se almacenan hasta los residuos y cantidad que se genera al finalizar un proceso productivo. Sólo de esta manera se podrá realizar correcta gestión que aminore el impacto o efecto en el medio ambiente y en la población”. Esto quiere decir que se necesita saber ciertas cosas o, tal vez, dar un poco más de transparencia a todo el proceso para que la seguridad de los habitantes del pueblo de Huertos Familiares esté resguardada, y, de esta forma, evitar ciertos problemas mayores que pudiesen ocurrir a futuro. También se puede señalar, con respecto a lo anterior, que hay que tomar algunas medidas de mitigación por parte de Anglo-American con el fin de disminuir el puntaje obtenido.

Con respecto a las variables que resultaron con los puntajes más altos, sin duda que una de las más importantes es aquella que se relaciona con el agua subterránea, la cual da cuenta de la gran cantidad de molibdeno que contiene en las cercanías del tranque, sobrepasando ampliamente los límites establecidos por la Norma Chilena (0,01 Mg/L) llegando a casi los 4,5 Mg/L para el año 2003 para posteriormente disminuir hacia el año 2005. Con respecto a los sulfatos, se tiene que las concentraciones varían en un rango de 800 a 1.400 Mg/L entre los años 1997 y 2003 (250 Mg/L en la Norma Chilena) para posteriormente disminuir alrededor de los 400 Mg/L.

Continuando con la idea anterior, otro punto importante a tomar en cuenta es acerca de la presencia del viento, principalmente en la estación invernal. Esto hace mención a que el polvo derivado del tranque de relave, eventualmente, puede ser trasladado hacia las cercanías y depositarse en el suelo y podría afectar tanto cultivos como animales, los cuales sirven de alimento a las personas que habitan en las cercanías, lo cual podría generar algunas alteraciones en la salud a largo plazo al consumir dichos productos.

Un punto que también es necesario señalar es el que se relaciona con el medio ambiente, donde la muerte de algunos ejemplares es un punto de suspicacia para algunos de los habitantes de Huertos Familiares. De acuerdo con los resultados obtenidos por el S.A.G. se ha evidenciado grandes variaciones en el número de algunas especies de aves que fueron avistadas en las cercanías del tranque, tales como el pato rana y el blanquillo, siendo este último el que mostró una disminución entre la primera y la tercera observación. Dichas especies son representativas de hábitats tales como lagos, lagunas y embalses.

Finalmente, y a modo de anticipación con respecto a la ampliación de este tranque, se podría decir que las externalidades, tanto positivas como negativas, aumentarán considerablemente. Es por eso que es necesario tomar algunas medidas para reducir, mitigar o compensar dichas externalidades negativas. Algunas de estas medidas son nombradas a continuación.

6.6.- Planificación: Recomendaciones y medidas de mitigación

Según TCHERNITCHIN y HERRERA (2006) “la existencia de relaves mineros en zonas con actividad agrícola y áreas residenciales traen como consecuencia efectos adversos sobre el medio ambiente, el desarrollo agrícola y la salud, tanto de los habitantes de la zona como de los consumidores de productos agrícolas cultivados en las áreas de impacto de relaves”. Es por esto que se proponen una serie de alternativas de mitigación que disminuyen en grado importante dichos efectos adversos:

6.6.1.- Contaminación de aguas dulces superficiales y de acuíferos freáticos por descargas de aguas de relaves, normalmente con alta carga residual química y de elementos disueltos: La composición de las aguas de relaves que se descargan en los tranques de relaves no es informada en forma regular y oportuna a la comunidad, y por ende puede contener compuestos no advertidos (por ejemplo arsénico, vanadio, cromo, níquel, etc.) los que pueden ser bioacumulados por masas vegetales. Estos, si son descargados a cursos cercanos, contaminarán estas aguas superficiales y a continuación las napas freáticas. Si se descargan en el período en el cual el cauce del estero está sin agua, contaminarán directamente los acuíferos freáticos. De esta manera, contribuyen a aumentar la concentración de iones tóxicos en las aguas de regadío y en aguas de pozos potables, afectando tanto la salud de los residentes de la zona como la actividad agrícola.

.- Proposiciones de mitigación

1. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero más sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia.
2. En forma provisoria, mientras se de cumplimiento a lo propuesto en el punto anterior, construcción de ducto de evacuación para descargas de emergencia

cuando estas no cumplan con la norma, donde esas aguas deben ser posteriormente tratadas a cabalidad.

6.6.2.- Riesgo de vertidos accidentales de reactivos tóxicos a las aguas de cauces cercanos: Este evento causa contaminación de napas freáticas afectando la calidad de productos hortofrutícolas regados con estas aguas.

.- Propositiones de mitigación

1. Para mitigar estos efectos se propone: construir un reservorio de gran capacidad e impermeabilizado para dirigir hacia ese reservorio las aguas contaminadas accidentalmente, para que puedan ser tratadas adecuadamente.
2. Monitorear permanentemente, tanto el estero Peldehue como las quebradas que comunican el tranque con dicho estero, antes y después que dichas aguas pudiesen tener contacto con los residuos de los relaves. Es decir, tomar muestras tanto aguas arriba como aguas abajo del tranque de relave Las Tórtolas.

6.6.3.- Riesgo de avalancha por ruptura de la pared de contención del tranque durante movimientos telúricos de gran intensidad: Chile presenta el riesgo de movimientos telúricos de gran intensidad, con lo cual pueden ocurrir rupturas de las paredes de contención del tranque de relaves y escurrimientos masivos de su contenido que no sólo ponen en riesgo vidas humanas, sino que también presentan el riesgo de contaminar los suelos de valles agrícolas y sus acuíferos freáticos, afectando en forma irreversible las actividades hortofrutícolas de la zona afectada. El riesgo de un movimiento de Magnitud 7 o mayor no es tan frecuente, pero la persistencia del daño producido va a exceder con creces la frecuencia de eventos telúricos de gran magnitud.

.- Propositiones de mitigación

1. Verificación por la Autoridad de las normas antisísmicas de ingeniería del muro de contención del tranque de relaves e información a la comunidad. Lo mismo, verificación de su resistencia ante la eventualidad de rebalse por inundación.
2. En caso que el muro no cumpla las normas de construcción antisísmica y presente riesgos, se debe contemplar la construcción de múltiples muros de contención de avalancha.

6.6.4.- Con respecto al viento, MARÍN (1990) propone algunas alternativas tales como:

A. Cortinas cortavientos: Como primera prioridad se establecen cortinas cortavientos en la periferia del tranque de relave, específicamente en aquellos sectores que enfrentan al viento. Para tal efecto se consideran las siguientes especies:

- Especie principal: *Eucalyptus globulus* (Eucalipto)
- Especie intermedia: *Ricinus communis* (Ricino)

En lo que respecta a la especie principal, DONOSO y PEÑA-ROJAS (2006) señalan que “el *Eucalyptus globulus* es una de las especies más utilizadas en la zona central de Chile para la forestación y recuperación de sectores afectados por el uso de aguas residuales de tranques de relave, ya que presenta un rápido crecimiento y elevado requerimiento hídrico, lo que favorece la reincorporación del agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración de sus hojas”.

Dentro de este punto, y haciendo mención a las especies arbóreas, VILLALÓN (2006) dice que el Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon*) y el Granado (*Punica granatus*) muestran un comportamiento de crecimiento similar al de sus testigos, siendo estas especies las que presentan una mejor adaptabilidad a las condiciones del tranque de relave. Por lo tanto, habría otras alternativas en cuanto al estrato arbóreo.

B. Ensayos experimentales con especies herbáceas: En concordancia con lo anterior, GINOCCHIO y LEÓN-LOBOS (2007) señalan que una cubierta vegetal metalófito (especies vegetales tolerantes a metales pesados y que tienen la capacidad de crecer en suelos con alta concentración de metales) mejora la estabilidad física y previene la dispersión por el viento y el agua del material hacia zonas aledañas.

MARÍN (1990) plantea que la utilización de estas especies está dirigida principalmente para generar una cubierta vegetal que impida el arrastre de material fino provocado por el viento (cubrepisos). Dichas especies corresponden a:

- *Amophyla arenaria* (Barrón)
- *Festuca sp.* (Pasto ovillo)
- *Gramma sp.*
- *Cynodon dactylon* (Chépica)
- *Paspalum otatum* (Pasto bahía)

En este mismo punto también se plantea el uso de *Vetiver Grass* para la rehabilitación de sitios mineros. FONSECA (2006) señala que este es un sistema que ha emergido como el más innovador, bajo costo y ambientalmente amigable de los métodos de fitorremediación de residuos de la actividad minera. Esta tecnología ha sido empleada con éxito para rehabilitar este tipo de residuos en Australia, China, Sudáfrica, Tailandia y Venezuela. En el caso de las pilas de lixiviación de la mina Lo Aguirre, el *Vetiver grass* se establece y crece satisfactoriamente sobre estas con un nivel de cobre total muy alto (2.369 Mg/Kg) y un pH ácido de 3,6.

- Ensayos experimentales con especies arbóreas - arbustivas: Hay 2 especies seleccionadas y que muestran buenos resultados: el espino (*Acacia caven*) y el “chocho” (*Lupinus arboreus*). La utilización del chocho se basa en que es una especie que cumple funciones de protección, ayuda a formar bastante vegetación en el suelo, es fijadora de nitrógeno e incorpora anualmente una gran cantidad de materia orgánica, permitiendo condiciones para que otras especies se puedan establecer sin problemas. Ambas especies se caracterizan por ser muy rústicas y de gran tolerancia a condiciones adversas del suelo.

C. Actividades complementarias: También se proponen algunas alternativas tales como:

- Mallas cortaviento tipo Raschel: La confección de mallas cortavientos con el objeto de aminorar la acción del viento, evitar el arrastre de partículas finas y proteger las plantaciones jóvenes ha mostrado ser bastante eficaz, pero hay que tener en cuenta que una vez que la cubierta vegetal se haya establecido a través de toda la superficie a proteger, no será necesaria. Con respecto a este tema, POLITEX (S.A.) señala que “la trama de la malla con una densidad óptica del 65% es aconsejable para zonas muy ventiladas y donde resulta necesario filtrar arenas u otras partículas similares en suspensión ya que disminuye la velocidad del viento en un 60%. Tejidos más cerrados pueden crear turbulencias antes y después de la barrera”.
- Fertilización: Esta técnica de apoyo a las plantaciones forestales es una práctica que se viene ocupando cada vez con mayor intensidad. Dada la presencia de nutrientes en el relave, se hace imperioso aplicar fertilizante anualmente para lograr un adecuado establecimiento y altas tasas de sobrevivencia de las plantas. Los elementos más utilizados son los nitrogenados (Urea o Salitre potásico), Superfosfato triple y Sulfato de potasio (MARÍN, 1990).
- Manejo de *Acacia cyanophylla*: Este tratamiento silvicultural se aplica a esta especie principalmente para lograr un diámetro de copa mayor y oponer una mayor resistencia al viento. La biomasa extraída es depositada sobre el relave a modo de protección y como generadora de materia orgánica (MARÍN, 1990).

- Algunas actividades anuales

- Mantención de mallas cortaviento.
- Mantención de cortinas cortavientos vegetales periféricas e intermedias.
- Fertilización de acuerdo a los requerimientos nutricionales de plantaciones establecidas.
- Aumento de la densidad de plantas en aquellos sectores más afectados por el viento con baja sobrevivencia de plantas.
- Producción y control de calidad de plantas en viveros.
- Instalación de empalizadas (elementos mecánicos) en los taludes para evitar el descalce de las plantas por efectos del viento.
- Vigilancia para evitar el destrozo o hurto de las mallas y extracción de la leña para combustible.
- Se propone el monitoreo de la calidad del aire con estaciones de monitoreo de material particulado respirable PM-10 con representatividad poblacional para una mayor transparencia en el proceso.

7. Referencias

7.1- Bibliografía

1. **AGACINO, Rafael et al.** (1998). Capital transnacional y trabajo: El desarrollo minero en Chile. Universidad ARCIS. Santiago, Chile. LOM Ediciones. pp. 3-4.
2. **ANDÍA, M. y LAGOS, G.** (1996). En la cuerda floja: Un análisis crítico y necesario de las principales legislaciones ambientales chilenas que rigen el funcionamiento de los tranques de relave. INDUAMBIENTE (Nº 20): pp. 22-25.
3. **ANGLO-AMERICAN CHILE** (2007 α). Reporte de desarrollo sustentable resumido. Santiago, Chile. 24p.
4. **ARCE, Sebastián** (2001). Evaluación cualitativa del riesgo de contaminación del agua subterránea del Área Metropolitana de Santiago utilizada para agua potable. Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. pp. 37-42.
5. **AVELLANEDA, Alfonso** (2000). Manejo integral de residuos sólidos integrales. En su: Gestión ambiental y planificación del desarrollo. Bogotá, Colombia. Ecoe Ediciones. pp. 109-110.
6. **ARAYA VERGARA, José F.** (1985). Análisis de la Carta Geomorfológica de la Cuenca del Mapocho. REVISTA INFORMACIONES GEOGRÁFICAS DE CHILE Nº 32. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 36p.
7. **BLIGHT, G. E. y FOURIE, A. B.** (2005). Catastrophe revisited - disastrous flow failures of mine and municipal solid waste. Department of civil engineering, University of the Witwatersrand. Johannesburg, South Africa. 236p.
8. **BOETTIGER, H.** (1987). Evaluación del impacto de la inundación de julio de 1984 en la cuenca del estero Lampa. Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 50p.
9. **BRUNO, Claudia** (1992). La importancia del viento y el relieve en la dispersión de contaminantes: El caso de la comuna de Puchuncaví en la V Región. REVISTA GEOGRÁFICA DE VALPARAÍSO (1994). Valparaíso, Chile. (Nº 23-23): pp. 21-42.
10. **CABELLO, Juan C.** (1985). Tranques de relave y su impacto ambiental. Taller para especialistas sobre tranques de relave. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Santiago, Chile. 1p.
11. **CARRASCO, María Adriana** (1994). Química de metales pesados en suelos de Chile. En: INIA (1994). VI Simposio sobre contaminación ambiental: Impacto ambiental de metales pesados en Chile. Santiago, Chile. 19 - 20 Abril de 1994. 140p.

12. **CEPAL** (2005). Integración sectorial: minería, silvicultura, acuicultura. En su: Evaluaciones del desempeño ambiental, Chile. Naciones Unidas, CEPAL. pp. 160-171.
13. **CIMM** (2005). Caracterización y determinación de los requerimientos de desarrollo tecnológico e innovación tecnológica para la mediana y pequeña minería de la III, IV y V Región. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, Ministerio de Minería. Santiago, Chile. 98p.
14. **CORVALÁN, Marcela P.** (1999). Pilas de discordia: Proyecto Andacollo Cobre. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. Santiago, Chile. 6p.
15. **CORVALÁN, Marcela P.** (2000). Los riesgos de los tranques de relave minero: El caso de Peñablanca. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. Santiago, Chile. pp. 19-23.
16. **DINTRANS, Gastón y BASTIDAS, María Elena** (1991). Estudio del impacto ambiental en tranques de relaves "El Chinche". En: Comité Regional de Seguridad Minera IV Región-Coquimbo (1991). Compendio de Exposiciones del Seminario Minería y Medio Ambiente. Coquimbo, Chile. pp. 47-53.
17. **FERNÁNDEZ, Carlos** (2005). Vivieron el fin del mundo. Diario El Observador, Quillota, Chile. 30 de Septiembre, 2005. pp. 6-7.
18. **FERRANDO, Francisco** (1998). Carta de riesgos naturales: Remoción en masa. En: PROYECTO O.T.A.S. (2002). [CD de datos]. Santiago, Chile.
19. **GARCÍA, Manuel A.** (1987). Análisis del proceso de desertificación de la cuenca de Til-Til. Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. pp. 48-49.
20. **GINOCCHIO, Rosario y LEÓN-LOBOS, Pedro** (2007). Recursos genéticos para fitoestabilización: Plantas que reducen la contaminación por desechos mineros. INIA TIERRA ADENTRO: Especial recursos genéticos (2007). Santiago, Chile. (Nº 75) pp. 20-23.
21. **GONZÁLEZ, Sergio** (1994). Geoquímica de metales pesados en Chile. En: INIA (1994). VI Simposio sobre contaminación ambiental: Impacto ambiental de metales pesados en Chile. Santiago, Chile. 19 - 20 Abril de 1994. 12p.
22. **GUEVARA, Mario** (1999). Jerarquización de tranques de relave según riesgo ambiental. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. pp. 25-30; 75-98.
23. **HAUSER, Arturo** (2000). Remociones en masa en Chile (Versión actualizada). Boletín Nº 59, SERNAGEOMIN. Santiago, Chile. pp. 42-44.

24. **ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE TIL-TIL** (2006). Observaciones al Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Desarrollo Los Bronces". Unidad de Medio Ambiente, SECPLAC. Til-Til, Chile.
25. **LAGOS, Gustavo** (1989). Sector minero: El desarrollo sustentable y la contaminación ambiental en la explotación de recursos mineros. AMBIENTE Y DESARROLLO. Volumen V (Nº 3). Santiago, Chile. pp. 54-64.
26. **LIRA, Luís Enrique** (1994). Evolución de la gestión ambiental en la minería: La experiencia del proyecto "La Candelaria". Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. pp 25-26.
27. **MAGALLANES, Vanessa** (2008). Limitantes e impactos físico naturales para la expansión de centros urbanos: Caso Copiapó, Región de Atacama. Memoria para optar al Título Profesional de Geógrafo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 19p.
28. **MARÍN, Jorge** (1990). Tranques de relave - un proyecto diferente: Proyecto de descontaminación de tranques de relaves de la Sociedad Legal Minera Las Cenizas. Seminario tecnología aplicada en el desarrollo actual de la minería en Chile. Viña del Mar, Chile. pp. 6-11.
29. **MARINKOVIC, Felipe Antonio** (2002). Transporte de contaminantes en depósitos de relave de flotación. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil de minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2p.
30. **MINISTERIO DE MINERÍA** (1970). Decreto Supremo Nº 86 sobre Reglamento de construcción y operación de tranques de relave. Diario Oficial de La República de Chile. Santiago, Chile. 13 de Agosto de 1970. 3p.
31. **OLCA** (1997). Cartilla educativa: Impactos ambientales de la minería metálica en Chile. Corporación Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. pp. 2-9.
32. **OLIVERA, Manuel F.** (S.A.) Articulación de la gestión del riesgo y la gestión ambiental. En: INTERNACIONAL RESOURCES GROUP IRG (2007). Tiempo para entregar el relevo: Reducción del riesgo de desastre desde la perspectiva de gestión ambiental, ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública. San José, Costa Rica. pp. 32-34.
33. **ONEMI** (2000). Marco conceptual en protección civil. Plan nacional de capacitación: Bases para la acción integral en protección civil. Nivel 1, módulo básico. Centro Nacional de Documentación, ONEMI. Santiago, Chile.
34. **PORRAS, Juan** (1978). Identificación de los problemas de la contaminación. En: PORRAS y THAUVIN (1978). Aguas subterráneas: Problemas generales de la contaminación. Editado por el Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales. Madrid, España. pp. 15-16.

35. **PROYECTO O.T.A.S.** (2005). Base para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana de Santiago. Informe Final Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. Santiago, Chile. pp. 38-41.
36. **PRUDENCIO, Lorena** (2002). Metodología para la estimación de riesgos ambientales y sociales asociados a los tranques de relave y su área de influencia. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Geografía. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geográfica. pp. 17-37.
37. **PUY, Ana** (1995). Percepción social de los riesgos. Editorial MAPFRE, S.A. Madrid, España. pp. XIX-XX.
38. **RAMÍREZ, Nelson** (2000). Aspectos técnicos de depósitos de relaves y consideraciones básicas de la ley 19.300 del medio ambiente. En: Curso nacional para peritos mensuradores: Aspectos técnicos y jurídicos presentes en la Constitución de Concesiones Mineras = Propiedad Minera amparando el Siglo XXI. La Serena, Chile. 8-10 Noviembre de 2000. SERNAGEOMIN. 3p.
39. **RENNER, Sven y PONCE, Roberto** (2004). Proyecto “Bases para la remediación de pasivos ambientales mineros”: Conceptos y avances del proyecto. SERNAGEOMIN. Año 1, N° 2. Santiago, Chile. pp 95-99.
40. **RUGIERO, Vanesa** (2004). Estudio de riesgo de contaminación por residuos industriales en la comuna de La Pintana. Informe de práctica profesional de la carrera de Geografía, Universidad de Chile. Centro Nacional de Documentación, ONEMI. Santiago, Chile. 69p.
41. **SARMIENTO, Juan Pablo** (S.A.). El desafío de la gestión de riesgos como estrategia de intervención multisectorial y participativa al servicio del desarrollo. En: INTERNATIONAL RESOURCES GROUP IRG (2007). Tiempo para entregar el relevo: Reducción del riesgo de desastre desde la perspectiva de gestión ambiental, ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública. San José, Costa Rica. pp. 7-20.
42. **SERNAGEOMIN** (1990). Levantamiento catastral de los tranques de relaves en Chile: Etapa A, regiones V y XIII. pp. 47-54.
43. **SHAKESBY, Richard A. y WHITLOW, J. Richard** (1991). Failure of a mine waste dump in Zimbabwe: Causes and consequences. En: SPRINGER BERLÍN (1991). Environmental Geology, volumen 18, N° 2. pp. 143-144.
44. **URRUTIA, Rosa y LANZA, Carlos** (1993). Catástrofes en Chile: 1541-1992. Santiago, Chile. Editorial La Noria. pp. 321-323.
45. **VALENCIA, Luís Rodrigo** (1992). Análisis sísmico de presas de relave. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 14p.

46. **VIERTEL, Paula Carolina** (2003). Efecto del contenido de finos y de la densidad relativa en la resistencia cíclica de arenas de relave. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil mención estructuras y construcción. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. pp. 1-3.
47. **VILLALÓN, Claudio Francisco** (2006). Evaluación del comportamiento en el crecimiento de cuatro especies: Albizia (*Albizia lophanta*), Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon*), Aromo Azul (*Acacia saligna*) y Granado (*Punica granatus*) establecidas sobre material de relave minero. Taller de licenciatura, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, Área de Fruticultura. Quillota, Chile. 63p.
48. **YOUNG, Anthony** (1972). Slopes. Lowe & Brydone printers Limited, Thetford. New York, Estados Unidos. 173p.

7.2.- Recursos bibliográficos en línea

1. **ALCAYAGA, Julián** (2005). Manual del defensor del cobre. [En línea] <http://www.cronicadigital.cl/doc/Manual_del_Defensor_del_Cobre.pdf> [Consulta: 10 Enero, 2008].
2. **ANDÍA, M. y LAGOS, G.** (2001). Costo de cierre de tranques de relave en Chile. [En línea] Centro de minería, Pontificia Universidad Católica de Chile. <<http://www.ing.puc.cl/imm/AndiaLagos01.html>> 14 p. [Consulta: 14 Junio, 2007].
3. **ANGLO-AMERICAN CHILE** (2004). Construyendo un futuro sustentable. [En línea] Santiago, Chile. <<http://www.angloamerican.co.uk/static/uploads/Anglo%20Chile%20SD%202004%20Report%20Spanish.pdf>> [Consulta: 22 octubre, 2007].
4. **ANGLO-AMERICAN CHILE** (2007β). Tranque de relave “Las Tórtolas”. [En línea] Seminario Modificaciones al Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves. Superintendencia de recursos hídricos y tranques, División Los Bronces, Anglo-American Chile. <http://www.sernageomin.cl/sitio_web/SitioCapacitacion/Santiago/Angloamericana.n.pdf> [Consulta: 15 octubre, 2007].
5. **ARCADIS GEOTECNICA** (2006). Estudio de impacto ambiental “Proyecto de desarrollo Los Bronces”. [En línea]. <http://www.e-seia.cl/externos/admin_seia_web/archivos/6481_2006_10_5_PE.zip> [Consulta: 18 Julio, 2007].
6. **BONACIN, André** (S.A.). Fotografías aéreas panorámicas. [En línea] <<http://www.panoramio.com/photo/563904>> [Consulta: 25 octubre, 2007].
7. **BORREGAARD, Nicola** (2001). Análisis de cuatro aspectos ligados al desarrollo de la actividad: Valorización económica de los impactos ambientales en la minería chilena. [En línea] <http://www.cipma.cl/RAD/2001/1_Borregaard.pdf> [Consulta: 28 Enero, 2008].
8. **BOSTON GEOMÁTICA** (S.A.). Ficha técnica resumida - LANDSAT 7 ETM+ [En línea] <<http://personales.conexion.com.py/tato/boston/landsat7.html>> [Consulta: 22 Mayo, 2009].
9. **BRAVO, Patricia** (2000). Chañaral, la vergüenza de CODELCO. [En línea]. Revista Punto Final. Publicado 15 de Diciembre de 1999. Edición N° 486 <<http://www.puntofinal.cl/001215/nactxt2.html>> [Consulta: 10 Septiembre, 2007].
10. **BUSTAMANTE, Patricio** (2007). Consecuencias de la ampliación de un tranque con relaves tóxicos en Colina. [En línea] <<http://www.defendamoslaciudad.cl/modulos.php?mod=noticias&fn=94e679ab46d568928ad91afb91a749bb&id=609&PHPSESSID=b7e78f83cf97a35396d5863cb6a4308d>> [Consulta: 07 Julio, 2007].

11. **CÁMARA DE DIPUTADOS** (2007). Apoyan protestas de vecinos de Til-Til por perjuicios medioambientales. [En línea] <<http://www.camara.cl/diario/noticia.asp?vid=23152>> [Consulta: 10 Julio, 2007].
12. **CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT** (1992). National Classification System for Contaminated Sites. [En línea] <http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1403_ncscs_guidance_e.pdf> [Consulta: 10 Agosto, 2007].
13. **COMISIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE HUERTOS FAMILIARES** (S.A.). Carta abierta a vecinos de Huertos Familiares. [En línea] <<http://comisiondemedioambientehuertosfam.blogspot.com/>> [Consulta: 29 Noviembre, 2007].
14. **CONAMA** (1994). Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. [En línea]. <http://www.sinia.cl/1292/articles-26087_ley_bases.pdf> [Consulta: 06 Julio, 2007].
15. **CONAMA** (1996). Resumen ejecutivo “Proyecto de expansión-2 mina Los Bronces”. [En línea]. <http://www.e-seia.cl/externos/admin_seia_web/archivos/127_19961028_PE.doc> [Consulta: 18 Julio, 2007].
16. **CONAMA** (1997). Resolución exenta N° 012/97 “Proyecto de expansión-2 mina Los Bronces”. [En línea]. <http://www.e-seia.cl/externos/admin_seia_web/archivos/127_19970627_RE.doc> [Consulta: 18 Julio, 2007].
17. **CONAMA** (1998). Acumulamos, desgarramos y contaminamos la tierra. [En línea] <<http://www.conama.cl/rm/568/article-1202.html>> [Consulta: 05 Junio, 2007].
18. **CONAMA** (1999). El enemigo que respiramos: Material particulado respirable (PM-10). [En línea]. <http://www.conama.cl/rm/568/article-1162.html#h2_1> [Consulta: 11 Septiembre, 2007].
19. **DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION DE COLOMBIA** (2007). Guía metodológica para la elaboración del mapa de riesgos del DPN. [En línea] <www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/GP/SGC/Guia%20metodologica%20para%20la%20elaboracion%20del%20mapa%20de%20riesgos.pdf> [Consulta: 31 Octubre, 2008].
20. **DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS** (2002). Informe de zonificación hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y V. [En línea]. <<http://www.dga.cl/otros/informestecnicos/informestecnicos/SDT133/SDT133.pdf>> [Consulta: 2 Septiembre, 2007].
21. **DONADO, Leonardo** (1999). Riesgo de contaminación. [En línea]. <http://www.docentes.unal.edu.co/lldonadog/docs/Presentations/Donado_1999c.pdf> [Consulta: 2 Noviembre, 2008].

22. **DONOSO, Sergio y PEÑA-ROJAS, Karen** (2006). Plantaciones de *Eucalyptus globulus* ¿una solución para mitigar la contaminación del suelo con molibdeno?. En: FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, UNIVERSIDAD DE CHILE (2006). Ambiente forestal. Revista de extensión. Volumen I, N° 1. pp 39-42. [En línea]. <http://www.forestal.uchile.cl/ambiente_forestal/ambiente_forestal_1.pdf> [Consulta: 12 Febrero, 2008].
23. **ENGELS, J. y DIXON-HARDY, D.** (2002). Mufulira mine disaster of 1970, Zambia. [En línea]. <<http://tailings.info/mufulira.htm>> [Consulta: 2 Agosto, 2007].
24. **ESPINACE, Raúl et al.** (2006). Evaluación del efecto eólico en tranques de relave. [En línea]. <http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/public_prop/evaluacion_del_efecto_eolico_en_tr_argentina_2006.pdf> [Consulta: 23 Marzo, 2008].
25. **ESPINOZA, Carlos** (2002). Análisis comparativo de técnicas de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos: Aplicación a la zona norte de la ciudad de Santiago. [En línea]. <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/C.Espinoza.html>> [Consulta: 01 Noviembre, 2008].
26. **EXPOMIN (2004)**. Innovación en el control de operación y abandono de tranques de relaves: Metodología integrada para rehabilitar rellenos sanitarios y tranque de relaves. [En línea]. Valparaíso, Chile. <http://icc.ucv.cl/geotecnia/18_ciclo_conferencias/04_expomin/ensayos_de_penetracion_para_el_control_de_operacion_de_tranques_tranques_de_relave_panda.pdf> [Consulta: 28 Junio, 2007].
27. **FERRANDO, Francisco** (2003). En torno a los desastres “naturales”: Tipología, conceptos y reflexiones. Boletín del Instituto de la Vivienda, Vol. 18, N° 047. [En línea]. Universidad de Chile. Santiago, Chile. <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/258/25804703.pdf>> [Consulta: 15 Octubre, 2007].
28. **FOLCHI, Mauricio** (2004). La insustentabilidad del boom minero chileno: Política y medio ambiente, 1983-2003. [En línea]. <<http://www.historiaecologica.cl/Boom%20Minero%20Chile.pdf>> [Consulta: 25 Marzo, 2007].
29. **FONDAZIONE STAVA 1985 (S.A.)**. Immagini la catastrofe. [En línea] <http://www.stava1985.it/intranet/stava1985_it/www/wo_albums/Index/20050718_152745/20050718_201143/PhotoFolder?display=medium> [Consulta: 28 Julio, 2007].
30. **FONSECA, Rocío et al.** (2006). Uso de *Vetiver grass* para la rehabilitación de sitios mineros en Chile: Resultados preliminares. [En línea]. Fundación Chile. Santiago, Chile. <<http://www.vetiver.org/ICV4-Roc%92o%20Fonseca.pdf>> [Consulta: 18 Noviembre, 2007].

31. **GALAZ, Juana** (2007). Operación y manejo ambiental en depósitos de relave. [En línea].
<http://www.sernageomin.cl/sitio_web/SitioCapacitacion/Santiago/JGalaz.pdf>
[Consulta: 28 Agosto, 2007].
32. **GHEZZER, Alessandro** (2003). La tragedia di Stava. [En línea].
<<http://www.girovagandointrentino.it/puntate/2003/estate/fiemme2/fiemme2.htm>>
[Consulta: 28 Julio, 2007].
33. **GINOCCHIO, Rosanna et al.** (2007). Biodisponibilidad de metales y efectos ambientales del cobre en suelos agrícolas. En: TORRES, Juan Carlos (2005). Cobre, medio ambiente y salud: Aportes de la ciencia. [En línea].
<<http://www.mch.cl/documentos/pdf/cobre.pdf>> [Consulta: 15 Enero, 2008].
34. **GINOCCHIO, Rosanna** (2007B). Fitoestabilización de relaves: Metales atrapados en una raíz. [En línea].
<http://www.ecoamerica.cl/pdf_notas/67/eco67_24-29.pdf> [Consulta: 02 Noviembre, 2008].
35. **GINOCCHIO, Rosanna** (2007). Los problemas ambientales derivados de la actividad industrial: El caso de la minería metálica. [En línea].
<<http://www.bio.puc.cl/cursos/bio229p/mineria.doc>> [Consulta: 22 Abril, 2007].
36. **GREEN, Daniel** (2006). Recuperación de relaves abandonados. En: FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES, UNIVERSIDAD DE CHILE (2006). Ambiente forestal. Revista de extensión. Volumen I, Nº 1. pp 42-46. [En línea].
<http://www.forestal.uchile.cl/ambiente_forestal/ambiente_forestal_1.pdf>
[Consulta: 12 Febrero, 2008].
37. **HERRERA, Juan** (S.A.). Desarrollo y justicia ambiental en Canadá. [En línea].
<http://www.cica.es/aliens/gimadus/14-15/09_justicia_ambiental_canada.htm>
[Consulta: 20 Julio, 2008].
38. **I.N.E.** (S.A.). Producción de cobre en Chile periodo 1997-2006. [En línea].
<http://www.minmineria.cl/574/articles-5878_recurso_1.xls> [Consulta: 15 Enero, 2008].
39. **I.N.E.** (1992). Censo 1992: Ciudades, pueblos y aldeas. [En línea].
<http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/demografia/pdf/censo1992.pdf> [Consulta: 7 Abril, 2007].
40. **I.N.E.** (2002). XVII Censo de población y VI de vivienda de Chile. [En línea].
<<http://www.ine.cl/cd2002/index.php>> [Consulta: 7 Abril, 2007].
41. **I.N.E.** (2005). Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos. [En línea].
<http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/demografia/pdf/cdpubaldcasjunio2005.zip> [Consulta: 7 Abril, 2007].

42. **INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS** (2005). Informe País: Estado del medio ambiente en Chile, 2005. [En línea]. <<http://www.inap.uchile.cl/politicaspUBLICAS/informepais2006.pdf>> [Consulta: 23 Mayo, 2009].
43. **LAGOS, Gustavo** (1997). Impactos ambientales de la minería en Chile. [En línea]. <http://www.cipma.cl/RAD/1997/4_Lagos.pdf> [Consulta: 16 Abril, 2007]. 13p.
44. **LA PRENSA** (2006). Puno contaminado. [En línea]. La Prensa Digital. 22 de Octubre, 2006. <<http://www.laprensa.com.bo/domingo/20061022/domingo02.html>> [Consulta: 29 Julio, 2007].
45. **LAVELL, Allan** (S.A.). Sobre la gestión del riesgo: Apuntes hacia una definición. [En línea]. <<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>> [Consulta: 8 Abril, 2008].
46. **LENNTECH** (2007). Molibdeno: Propiedades químicas y efectos sobre la salud. [En línea]. <<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mo.htm>> [Consulta: 17 Mayo, 2007].
47. **LÓPEZ, Patricio et al.** (2003). La minería y su pasivo ambiental. [En línea]. Serie APP N° 24. Fundación Terram. Santiago, Chile. <<http://www.navarro.cl/defensa/Royalty/APP24%20relaves.pdf>> [Consulta: 17 Abril, 2007].
48. **MINISTERIO DE MINERÍA** (1991). Decreto Supremo N° 185: Emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico en Chile. [En línea]. <<http://www.sinia.cl/1292/fo-article-26285.pdf>> [Consulta: 6 Agosto, 2007].
49. **MINISTERIO DE MINERÍA** (2007). Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. [En línea]. <http://www.sernageomin.cl/pdf/reglamentos_seguridad_minera/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf> [Consulta: 30 Julio, 2007].
50. **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS** (1978). Norma Chilena oficial N° 1.333 sobre calidad para el recurso agua. [En línea]. <<http://www.lagovillarrica.com/dv/Textos/Nch1333%20Calidad%20Agua%20diferentes%20usos.pdf>> [Consulta: 27 Noviembre, 2007].
51. **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS** (1990). Ley de superintendencia de servicios sanitarios. [En línea]. <<http://www.normativaconstruccion.cl/Instrumentos/Ley-18902-Sep2007.pdf>> [Consulta: 28 Noviembre, 2007].

52. **MINISTERIO DE SALUD** (1980). Decreto Ley N° 3.557 que establece disposiciones sobre protección agrícola. [En línea]. <http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/PAGE/PG_SAG_BIBLIOTECA/BIBL_SANIDAD/BIBLIO_SANAGRI/BIBLIO_SANAGRI_NORMATIVAS/AREA_VEGETAL_SANIDAD_DECRETOLEY_3557.PDF> [Consulta: 29 Noviembre, 2007].
53. **MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA** (1998). Norma de calidad primaria para material particulado respirable PM-10. D.S. N° 59 de 16 de marzo de 1998. [En línea]. <http://www.sinia.cl/1292/articles-26290_pdf_mp10.pdf> [Consulta: 15 Mayo, 2007].
54. **ONEMI** (S.A.). AIDEP: Metodología para la gestión integral y participativa de prevención, preparación, respuesta y recuperación frente a emergencias y desastres, de acuerdo a las específicas realidades locales de riesgos y de recursos. [En línea]. <<http://www.onemi.cl/images/onemi/archivos/aidep.pdf>> [Consulta: 10 Julio, 2007].
55. **ONEMI** (1994). Plan básico de coordinación para enfrentar emergencias y desastres por sustancias o materiales peligrosos (ACCEQUIM). [En línea]. Santiago, Chile. <<http://www.onemi.cl/images/onemi/archivos/accequim.pdf>> [Consulta: 20 Junio, 2007].
56. **ONEMI** (2002). Plan nacional de protección civil. [En línea]. Santiago, Chile. <www.onemi.cl/images/onemi/archivos/decretoplannacionalprotcivil.pdf> [Consulta: 22 Junio, 2007].
57. **ORREGO, Juan Pablo** (2003). El estado de las aguas terrestres en Chile: Cursos y aguas subterráneas. [En línea]. Fundación Terram. Santiago, Chile. <http://www.ecosistemas.cl/1776/articles-71690_documento_pdf.pdf> [Consulta: 8 Abril, 2007].
58. **PALMA, Juan et al.** (2007). Estabilización de taludes de tranques de relave afectados por la erosión eólica. [En línea]. <http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/public_prop/21_estabilizacion_de_taludes_erosion_eolica.pdf> [Consulta: 15 Marzo, 2008].
59. **POLITEX** (S.A.). Usos de la malla Raschel. [En línea]. <<http://www.polytex.cl/es/miner/raschel.htm>> [Consulta: 15 Septiembre, 2008].
60. **ROMERO et al.** (2007). Evaluación ambiental de las cuencas urbanas del piedemonte andino de Santiago de Chile. [En línea]. <<http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/interfacultades/r20044301559eure2.doc>> [Consulta: 8 Noviembre, 2008].
61. **SEID-KARBASI, M. y BYRNE, P.M.** (2004). Enbankment dams and earthquakes. [En línea]. University of British Columbia, Canada. <<http://www.civil.ubc.ca/liquefaction/Publications/Hyropower&Dams.pdf>> [Consulta: 9 Septiembre, 2007].

62. **SERNAGEOMIN** (2003). Guía de buenas prácticas ambientales para la pequeña minería. [En línea]. <http://www.sernageomin.cl/pdf/medio_ambiente/construccion_operacion_tranques.pdf> [Consulta: 25 Enero, 2008].
63. **SERNAGEOMIN** (2006). Anuario de la minería de Chile. [En línea]. <<http://www.sernageomin.cl/pdf/publicaciones/anuario2006.pdf>> [Consulta: 26 Octubre, 2007].
64. **SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO** (2004). Medidas de mitigación de impactos ambientales en fauna silvestre. [En línea]. <http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/PAGE/PG_SAG_BIBLIOTECA/BIBL_MEDAMB/BIBLIO_MA_GAMB/BIBLIO_MA_GAMB_DOCS/MITIGACION_IMPACTOS_AMBIENTALES_FAUNA_SILVESTRE.PDF> [Consulta: 13 Diciembre, 2007]. 102 p.
65. **SEW, Gue** (2005). Earthquake engineering. [En línea]. <http://www.gnpgeo.com.my/download/publication/L_12.pdf> [Consulta: 8 Septiembre, 2007]. 24p.
66. **SONAMI** (2001). El proyecto de expansión Los Bronces de Disputada. Boletín N° 1.140 [En línea]. Santiago, Chile. LOM Ediciones. <http://www.sonami.cl/cgi-bin/procesa.pl?plantilla=/boletinmensual_detalle.html&id_art=257> [Consulta: 20 Junio, 2007].
67. **TCHERNITCHIN, Andrei y HERRERA, Leandro** (2006). Relaves mineros y sus efectos en salud, medio ambiente y desarrollo económico. Ejemplo de relave en el valle de Chacabuco-Polpaico. Volumen 46, N° 1. [En línea]. Cuadernos Médicos Sociales, pp. 22-43 Santiago, Chile. <www.colegiomedico.cl/Portals/0/files/biblioteca/publicaciones/cuadernos/46_1.pdf> [Consulta: 30 Junio, 2007].
68. **TRIBUNAL LATINOAMERICANO DEL AGUA** (2007). Amenaza a los recursos hídricos y comunidades del valle del Pupío por la construcción del tranque “El Mauro” para relaves mineros. Comuna de Los Vilos, Provincia del Choapa, IV Región de Coquimbo, República de Chile. [En línea]. Guadalajara, México. <<http://www.tragua.com/archivos-tla/audiencia2006guadalajara/veredictos/caso-chile.pdf>> [Consulta: 20 Octubre, 2007].
69. **UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN** (S.A.). Curso manejo seguro de productos químicos y de residuos tóxicos. [En línea]. <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsarp/e/fulltext/curso/curso.pdf>> [Consulta: 11 Junio, 2007].
70. **VASQUEZ, Alexis y FUENTES, Claudio** (2008). Tutorial N° 1 del curso de curso de análisis y evaluación ambiental: Calculo de índices y reclasificación a partir de imagen satelital. [En línea]. <https://www.u-cursos.cl/fau/2008/2/GEO-803/1/material_docente/objeto/3027> [Consulta: 15 Noviembre, 2008].
71. **VILLAVICENCIO, Aldo** (S.A.). Terremotos en Chile: Otros terremotos notables. [En línea]. <<http://www.angelfire.com/nt/otrosterremotosChile/>> [Consulta: 2 Junio, 2007].

72. **WISE URANIUM** (2004). Safety of tailings dams. [En línea]. <<http://www.wise-uranium.org/mdas.html>> [Consulta: 10 Abril, 2007].

7.3.- Otros materiales utilizados

7.3.1.- CD de datos

1. **PROYECTO O.T.A.S.** (2002). [CD de datos]. Santiago, Chile.
2. **SERNAGEOMIN** (S.A.). Base cartográfica Mapa Geológico de Chile [CD de datos]. Santiago, Chile.
3. **SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO** (2006). Censo de aves para el tranque de relave Las Tórtolas. [CD de datos]. Santiago, Chile.

7.3.2.- Mapas

1. **BATUCO** (1979). Carta topográfica regular. Instituto Geográfico Militar. Escala 1:25.000. Santiago, Chile.
2. **COLINA** (1979). Carta topográfica regular. Instituto Geográfico Militar. Escala 1:25.000. Santiago, Chile.
3. **CHACABUCO** (1988). Carta topográfica regular. Instituto Geográfico Militar. Escala 1:25.000. Santiago, Chile.
4. **HUECHÚN** (1979). Carta topográfica regular. Instituto Geográfico Militar. Escala 1:25.000. Santiago, Chile.
5. **MAPA HIDROGEOLÓGICO DE CHILE** (1989). Dirección General de Aguas Escala 1:1.000.000. Santiago, Chile.

7.3.3.- Imágenes satelitales

1. IMAGEN LANDSAT TM con fecha 17-03-1989. Disponible en <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/ftp?id=13386>
2. IMAGEN LANDSAT ETM+ con fecha 26-12-1999. Disponible en <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/ftp?id=35214>

