

Informe
Proyecto
ARCLIM

Minería

ARCLIM
Atlas de Riesgo Climático
Chile



Equipo realizador:

Diego Rivera

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), Universidad del Desarrollo.

Liliana Pagliero

Centre for Water in the Minerals Industry, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland.

Gabriel Pérez Murillo

Centre for Water in the Minerals Industry, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland.

Neil McIntyre

Centre for Water in the Minerals Industry, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland.

Douglas Aitken

Sustainable Minerals Institute - Chile.

Alex Godoy

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM), Universidad del Desarrollo.
Centro de Investigación en Sustentabilidad y Gestión Estratégica de Recursos, CiSGER.



Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Rivera, D.; Pagliero, L.; McIntyre, N.; Aitken, D. & Godoy, A., 2020. Informe Proyecto ARClím: Minería. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería de la Universidad del Desarrollo, Centre for Water in the Minerals Industry, Sustainable Minerals Institute de la University of Queensland, Sustainable Minerals Institute- Chile y Centro de Investigación en Sustentabilidad y Gestión Estratégica de Recursos de la Universidad del Desarrollo coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago de Chile, 2020.

Preparado para:



ARClím es un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, financiado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Coordinado por:



Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2
ANID/FONDAP/15110009



Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC
de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Desarrollado por:



Informe
Proyecto
ARCLIM

Minería

ARCLIM
Atlas de Riesgo Climático
Chile



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.	
1	1. Introducción
3	2. Metodología
4	2.1 Condición de alta pluviometría.
4	2.1.1 Amenaza.
5	2.1.2 Vulnerabilidad.
5	2.1.3 Exposición.
6	2.2 Condición de baja pluviometría.
6	2.2.1 Amenaza.
6	2.2.2 Vulnerabilidad.
7	2.2.3 Exposición.
9	3. Resultados
9	3.1 Condición de alta pluviometría.
12	3.2 Condición de baja pluviometría.
13	3.3 Mapas de Riesgo.
16	4. Conclusiones

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.	
6	Figura 1. Suma focal de píxeles vecinos para estimar la Exposición de la mina.
10	Figura 2. Ráster del percentil 95 para la serie anual de valores máximos de precipitación diaria.
10	Figura 3. Componentes de Vulnerabilidad ante condiciones de alta pluviometría para sitios mineros.
11	Figura 4. Componentes de Vulnerabilidad ante condiciones de alta pluviometría para depósitos de relave.
11	Figura 5. Mapas de Exposición.
12	Figura 6. Ráster del percentil 5 para la serie de precipitación anual.
13	Figura 7. Componentes de Vulnerabilidad ante condiciones de baja pluviometría para sitios mineros.
13	Figura 8. Riesgo baja pluviometría en minas..
14	Figura 9. Riesgo alta pluviometría en minas y relaves.

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

- 1** **Tabla 1.**
Resumen de cadena de impacto para subsistema de operaciones mineras.

- 21** **Tabla 2.**
Definición de índices para la estimación de Riesgos mineros por cambio climático en Chile.







1

INTRO- DUCCIÓN

La industria minera es una actividad económica importante en todo el mundo. En Chile, en el año 2018, la minería aportó el 9,8% del PIB (SERNAEOMIN, 2019). A nivel mundial, Chile es el primer productor de cobre y el segundo de molibdeno. El país también produce oro, plata, plomo, zinc, hierro y manganeso; y se extraen una serie de no metales, incluidas las arcillas, el carbonato de calcio y el litio (SERNAEOMIN, 2019). En términos de territorio, la minería en Chile se concentra en las regiones del norte y centro, con un mayor número de minas en las regiones de Antofagasta, de Atacama y de Coquimbo.

El cambio climático presenta nuevas dinámicas de Riesgo para muchos sectores industriales, en particular para la industria minera, donde las tendencias climáticas sugieren que las regiones del norte y del centro de Chile están expuestas a sequías e inundaciones más frecuentes e intensas.

Este capítulo presenta la metodología para la evaluación del impacto del cambio climático en la industria minera en Chile, mediante un análisis a nivel nacional que generaliza las características de la industria minera chilena, sin

considerar condiciones particulares. Por esta razón, no se cuantifica este impacto en términos de operación minera específica, como pudieran ser pérdidas en producción.

Se han analizado dos Amenazas climáticas para la industria minera en Chile.

La primera se refiere a las condiciones de alta pluviometría o precipitación extrema. Existen diferentes Amenazas naturales asociadas con la precipitación extrema, incluyendo contaminación ambiental aguda e interrupción de la producción de minerales, debido a inundaciones y deslizamientos de tierra. Las Amenazas de inundación local y de deslizamiento de tierra son seleccionadas, ya que puede provocar daños a la infraestructura y a las redes de suministro, causando paralización de las faenas y representan un Riesgo para la salud y la seguridad de los trabajadores.

La segunda considera las condiciones de baja pluviometría o sequías, que pueden provocar escasez de suministro de agua, lo que —a su vez— resulta en pérdida de productividad.





2 METO- DOLOGÍA

La metodología propuesta proporcionará mapas de Riesgo frente al cambio climático para la industria minera en Chile, a partir de datos climáticos grillados proporcionados por ARCLIM (2019), de la base de datos de infraestructura minera del “Atlas de faenas mineras” (SERNAGEOMIN, 2011a, b, c; 2012a, b) y del “Catastro de depósitos de relave en Chile” (SERNAGEOMIN, 2018). Este análisis no considera las operaciones mineras en detalle, con el objetivo de producir mapas generalizados de Amenaza, Vulnerabilidad y Exposición. La selección de la resolución espacial y temporal del estudio se basó en tres elementos: 1) las diferencias en resolución espacial y temporal de la información disponible, 2) la necesidad de equilibrar el análisis espacial respecto de la identificación de operaciones mineras particular y 3) la reserva de las compañías respecto de aspectos específicos de operación.

Sin embargo, se hace una diferenciación entre sitios mineros, que corresponden a minas a rajo abierto, a minas subterráneas, a faenas, a plantas, a campamentos y a oficinas, según la clasificación del “Atlas de faenas mine-

ras” y depósitos de relave. La distinción corresponde a las diferencias en Vulnerabilidad identificadas.

La metodología propuesta establece definiciones simples para los índices de Amenaza y Vulnerabilidad, basados en percentiles extremos de precipitación. Algunos índices convencionales de precipitación por cambio climático fueron problemáticos cuando se aplicaron en condiciones extremadamente secas del desierto de Atacama (por ejemplo, valores cero del percentil 95 de precipitación para la cuenca del río Copiapó). Por lo tanto, fueron necesarias modificaciones a estos índices. Esta metodología se usa para evaluar la diferencia entre los valores de Riesgo para las condiciones climáticas históricas (1980 - 2010) y las condiciones climáticas futuras (2035 - 2065), bajo el escenario RCP8.5. Se consideran escenarios de precipitación extrema y de sequía.

La **tabla 1** resume la cadena de impacto.



Dimensión	Descripción	Fuente de datos y referencias
Amenaza ambiental asociada a cambio climático.	Aumento de eventos extremos:(1) Mayor intensidad de precipitaciones (2) Disminución de precipitaciones.	Datos de precipitación diaria generados por el proyecto.
Impacto/Riesgo	Precipitación extrema: inundación local y deslizamientos. Sequía: disminución de suministro.	Índices climáticos generados a partir de los datos climáticos generados por el proyecto.
Unidad territorial	Se consideran núcleos (<i>clusters</i>) de operaciones mineras y de depósitos de relave por separado a lo largo de Chile, considerando unidades espaciales con coherencia espacial mediante la aplicación de un filtro espacial que agrega las operaciones en el espacio. Se utiliza el filtro espacial para evitar agregar a nivel comunal. La resolución es 5x5 km ² .	Shape con operaciones mineras generado a partir de la información del "Atlas de faenas mineras" y del "Catastro de depósitos de relave en Chile" (Ministerio de Minería, SERNAGEOMIN).
Exposición	Localización de los sitios mineros y de los depósitos de relave, por separado.	Shape con operaciones mineras generado a partir de la información del "Atlas de faenas mineras" y del "Catastro de depósitos de relave en Chile" (Ministerio de Minería, SERNAGEOMIN).
Vulnerabilidad	Disponibilidad de infraestructura en las operaciones, desagregado por tamaño y por tipo de operación para el caso de los sitios mineros, y al estatus para los depósitos de relave. Preparación de las operaciones frente a extremos climáticos. Pendiente del terreno. Disponibilidad de fuente de agua alternativa.	Shapes con operaciones mineras generado a partir de información del "Atlas de faenas mineras" y del "Catastro de depósitos de relave en Chile" (Ministerio de Minería, SERNAGEOMIN). Índices de precipitación. Modelos digitales de terreno (INE, 2019).

Tabla 1. Índices climáticos de los modelos generales de circulación (GCM). Fuente: Meteodata, 2019.

2.1 CONDICIÓN DE ALTA PLUVIOMETRÍA

2.1.1 AMENAZA

Los Riesgos de deslizamientos de tierra e de inundaciones locales pueden estar directamente relacionados con eventos de precipitación extrema. Por lo tanto, los valores diarios de precipitación en los percentiles extremos pueden usarse como índices de Amenaza, es decir, valores precipitación diaria para el 95º decil corresponden a eventos de alta pluviometría relativa a las condiciones climáticas de la localización espacial. Los deslizamientos de tierra y las

inundaciones locales, además, están más relacionados con la precipitación a escala local que con la escala de cuencas, por lo que es adecuado un análisis de precipitación píxel por píxel. Es necesario indicar que este análisis no incluye las diferencias en los tipos de suelos ni en las condiciones de humedad previa. En cuanto a la pendiente, se trabaja con la pendiente media en celdas de aprox. 5 x 5 km. (resolución de datos climáticos), lo que suaviza la topografía local (a escalas menores de 5 km²).

La Amenaza de condiciones de alta pluviometría está representada por el percentil 95 de los máximos diarios anuales (95 *amp*). Este índice es calculado para la situación futura y para la condición actual, con lo cual la Amenaza



corresponde a la diferencia entre estos valores: diferencias más altas implican mayor precipitación futura y mayor Amenaza.

2.1.2 VULNERABILIDAD

La Vulnerabilidad a condiciones de precipitación extrema para sitios mineros se estima como una combinación de:

1. Entorno de instalación, obtenida a partir de modelos digitales de terreno y pendiente, considerando que cuanto más empinado sea el terreno circundante, la mina podría ser más vulnerable a deslizamientos de terreno.

2. Preparación o adecuación de la infraestructura, que se calcula como la diferencia relativa entre los eventos extremos de precipitación, representados por el percentil 95 de los máximos diarios (95amp-a), y las condiciones de precipitación esperadas, tomadas en este trabajo como el percentil 50 de los máximos diarios (50amp-a), tal como se describe en la **Tabla 2**. Los valores de 95amp-a y de 50amp-a se calculan utilizando la serie de máximos diarios anuales para el período actual. Esto se basa en la lógica de que si los eventos extremos están cerca de los eventos frecuentes (50amp-a), los diseños y las operaciones de la mina deberían estar mejor preparados para los eventos extremos.

3. Tipo de mina, las minas se clasifican como:

- **Categoría A:** Cantidad total de horas de trabajo equivalentes $\geq 1.000.000$.
- **Categoría B:** Cantidad total de horas de trabajo equivalentes entre 200.000 y 1.000.000.
- **Categoría C:** Cantidad total de horas de trabajo equivalentes entre 30.000 y 200.000.
- **Categoría D:** Cantidad total de horas de trabajo equivalentes < 30.000 .

Se considera que las minas más grandes están mejor preparadas para inundaciones y deslizamientos de tierra locales que las minas más pequeñas, porque tienen una mejor infraestructura para enfrentar estos escenarios.

Por lo tanto, se aplican factores de ponderación para cada tipo de mina en la suma que define el índice, de modo de reflejar esta condición (**Tabla 2**).

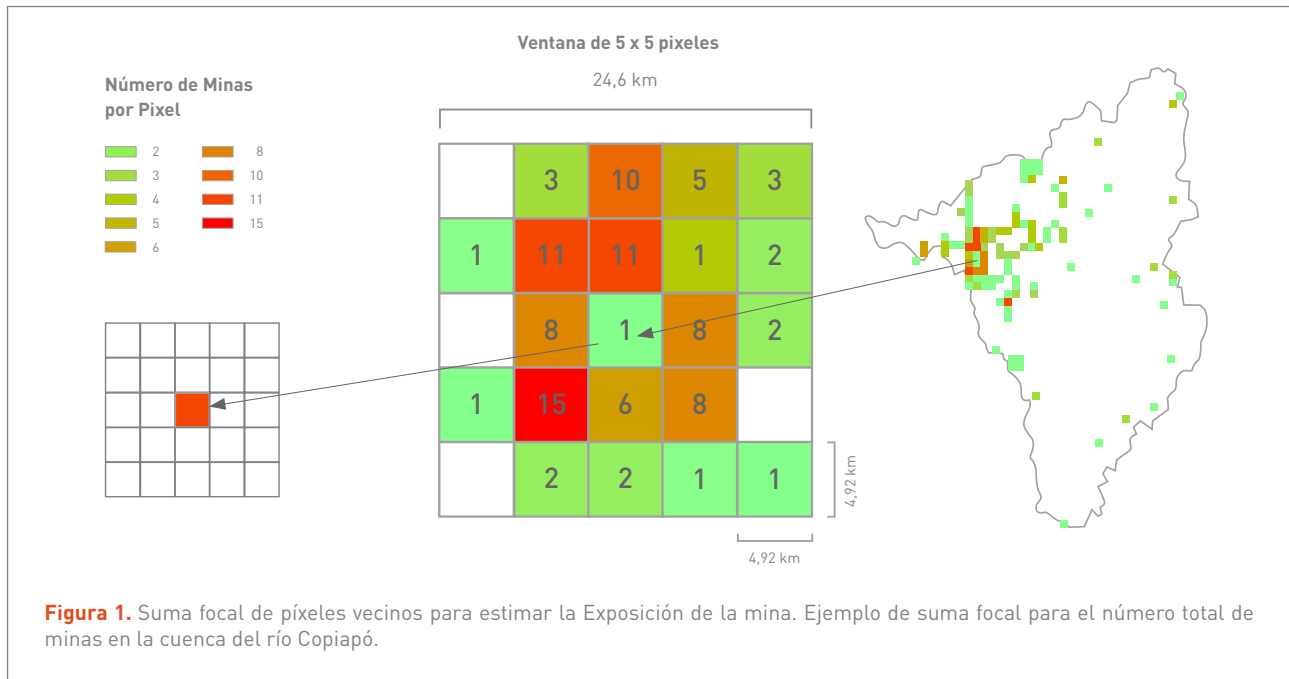
El mapa de Vulnerabilidad de los sitios mineros es el promedio de los valores de cada índice, para cada píxel, previamente normalizados, y varía de 0 a 1. Es importante indicar que, además de la pendiente del terreno, existen otras variables, como el tipo de suelo, las características de la roca, la topografía del terreno, la mineralización, el curso de la ladera, que corresponden a especificidades de la faena.

Para los depósitos de relave, la Vulnerabilidad es la combinación de pendiente de terreno circundante, preparación o adecuación y el estado del depósito. Las dos primeras fueron explicadas previamente. El *estado del depósito de relave* corresponde a la clasificación de su estado de operación según el “Catastro de depósitos de relave en Chile”: activo, inactivo o abandonado. De acuerdo a la definición del SERNAGEOMIN, los depósitos de relave inactivos corresponden a aquellos que han completado su vida útil, se conoce el titular de la instalación, pero no han tenido un plan de cierre.

Se considera que los depósitos de relave abandonados son más vulnerables, ya que la capacidad de control y monitoreo es menor. Más aún, por lo general, no existe un responsable que garantice que se hayan tomado y aplicado medidas de control durante la operación; tampoco hay certeza de que se hayan adoptado medidas adecuadas para el cierre, que aseguren la estabilidad física y química de la instalación. Esto último se suma a la Vulnerabilidad propia que tiene el depósito por el lugar donde está emplazado. Otros factores, como el tipo de relave acumulado con respecto a su contenido de agua y la cercanía de poblados o tierras agrícolas, no fueron considerados en este análisis, pero son importantes en un análisis más detallado.

2.1.3 EXPOSICIÓN

La Exposición es una función del número de sitios mineros o número de depósitos de relave en un área específica y se calcula utilizando una zona de suma focal de 5 x 5



píxeles (aproximadamente 25 km²) alrededor de cada píxel. Esto suaviza el mapa de Exposición y crea una mejor representación a escala regional que el uso de píxeles individuales sin suavizar (**Figura 1**). En la figura, para el píxel central, se suman los valores de cada uno de los píxeles que lo rodean y, luego, se considera el valor de suma (102 en el ejemplo) en los cálculos de Exposición. Lo anterior es equivalente a aplicar un filtro espacial móvil, con lo cual, además de suavizar la visualización, no establece la ubicación precisa de las faenas consideradas.

Se generan dos mapas de Exposición, uno para sitios mineros y otro para depósitos de relave. Ambos mapas son normalizados por el número máximo de puntos en una celda.

2.2 CONDICIÓN DE BAJA PLUVIOMETRÍA

2.2.1 AMENAZA

La Amenaza supone baja precipitación anual, medida por el 5º percentil de la precipitación anual total para el período

en estudio (5app). Este índice es calculado para la situación futura y para la condición actual, con lo cual la Amenaza corresponde a la diferencia entre ambos valores. En el caso de la zona norte, donde la actividad minera se ha desarrollado en condiciones de escasez y baja precipitación, la Amenaza es menor. Al contrario, en la zona central, la disminución de precipitaciones constituye una Amenaza mayor.

Esta Amenaza no es considerada relevante para los depósitos de relave, por lo que sólo se consideran los sitios mineros.

2.2.2.VULNERABILIDAD

La Vulnerabilidad de los sitios mineros es una combinación de:

a) No preparación o adecuación de la infraestructura, calculada como la diferencia relativa normalizada entre los años secos extremos para la condición actual (5app-a) y un año representativo de las condiciones de precipitación actual totales promedio (50app-a), según lo indicado por la ecuación en la **Tabla 2**. La razón detrás de este cálculo es la misma que para condiciones húmedas extremas: si las condiciones extremadamente secas no son tan diferentes a las condiciones promedio, las minas deberían estar mejor preparadas, por lo tanto, menos vulnerables. Los valores



de 5app-a y 50 app-f se calculan utilizando la serie de precipitaciones anuales para el período actual. Un valor de 1 indica no preparación, es decir, más Vulnerabilidad.

b) Viabilidad de suministro de agua de mar, expresada en función de la energía necesaria para bombear agua desalinizada desde la costa, dada por la distancia y la diferencia de elevación. Es importante notar que este componente no tiene en cuenta el tamaño de la mina.

El mapa de Vulnerabilidad de los sitios mineros ante la sequía corresponde a la suma ponderada de los valores normalizados de cada componente. En este caso, cada componente tiene igual ponderación, por lo que el valor final es equivalente al promedio de los índices.

2.2.3 EXPOSICIÓN

Igual que para condiciones de precipitación extrema. La **Tabla 2** a continuación resume la metodología propuesta.

Componente	Descripción	Índice
Alta pluviometría (ap)	Amenaza (Aap)	$Hap = 95_{amp-f} - 95_{amp-a}$ 95 _{amp} = 95th percentil calculado para la serie temporal de valores máximos anuales de precipitación diaria, f para el período actual 1980 - 2010 y a para período futuro 2035 -2065.
	Vulnerabilidad (Vap)	1. Pendiente normalizada 2. No preparación $(95_{amp-a} - 50_{amp-a}) / 95_{amp-a}$ 95 _{amp-a} = percentil 50, calculado para la serie temporal actual de valores máximos de precipitación diaria. 95 _{amp-a} = 95th percentil, calculado para la serie temporal actual de valores máximos de precipitación diaria. 3. Tipo, para sitios mineros: 0.25 · Nr(A) + 0.50 · Nr(B) + 0.75 · Nr(C) + 1 · Nr(D), donde Nr es el número de operaciones de cada tipo. Para depósitos de relave: 0.33 · Nr(Activa) + 0.66 · Nr(Inactiva) + 1 · Nr(Abandonada)
	Exposición (Eap)	Número de sitios mineros en una zona de 25 km ² . Número de depósitos de relave en una zona de 25 km ² .
Baja pluviometría (bp)	Amenaza (Abp)	$Hbp = 5_{app-f} - 5_{app-a}$ 5 _{app} = 5th percentil, calculado para la serie temporal de precipitación anual total, f para el período actual 1980 - 2010 y a para período futuro 2035 - 2065.
	Vulnerabilidad (Vbp)	1.Preparación: $(50_{app-a} - 5_{app-a}) / \max(50_{app-a} - 5_{app-a})$ 50 _{app-a} = percentil 50, calculado para la serie temporal de valores de precipitación anual total para cada año para las condiciones actuales, 5 _{app-a} = percentil 5, calculado para la serie temporal de valores de precipitación anual total para cada año para las condiciones futuras, 2. Viabilidad fuente de agua alternativa: Energía necesaria para el punto de suministro de agua más cercano (agua desalinizada), hf + hd
	Exposición (Ebp)	Número de sitios mineros en una zona de 25 km ² .

Tabla 2. Definición de índices para la estimación de Riesgos mineros por cambio climático en Chile.



3

RESULTADOS

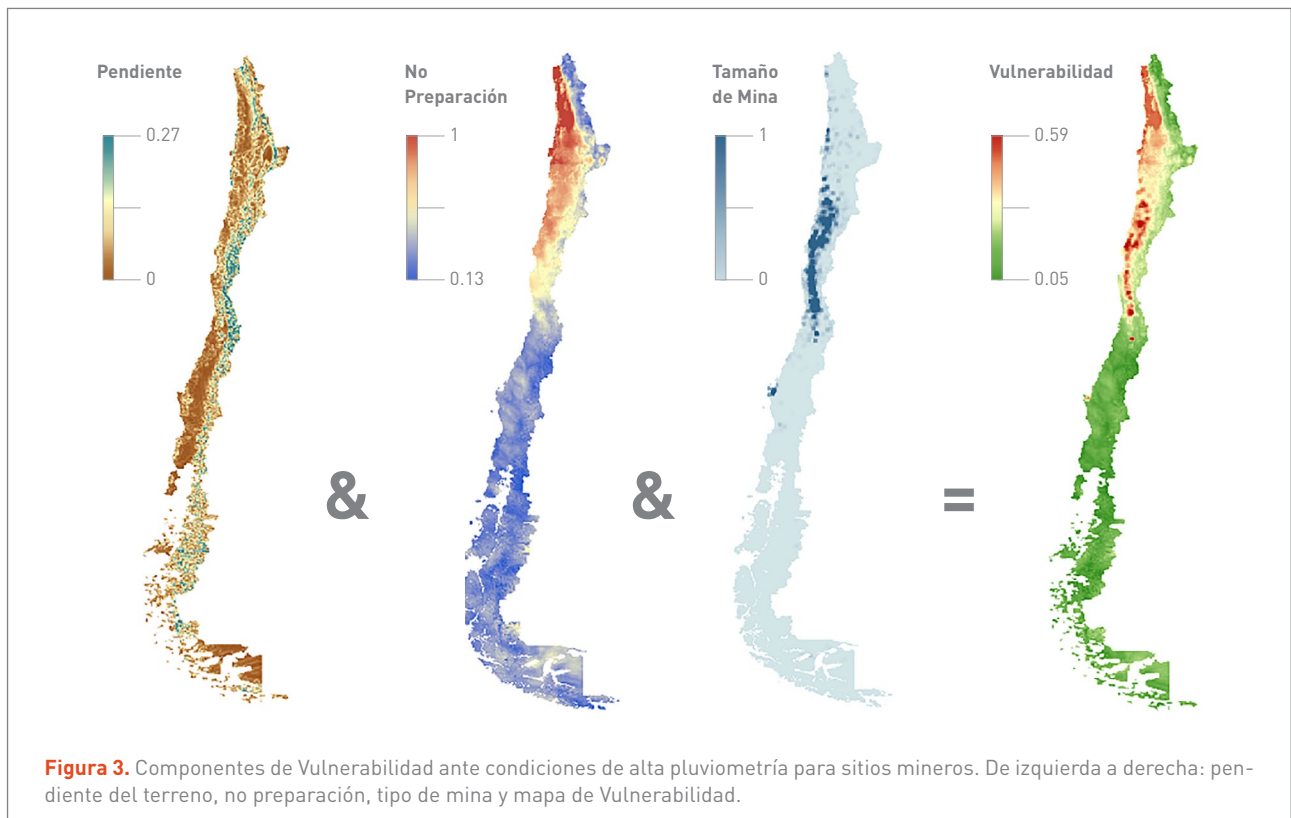
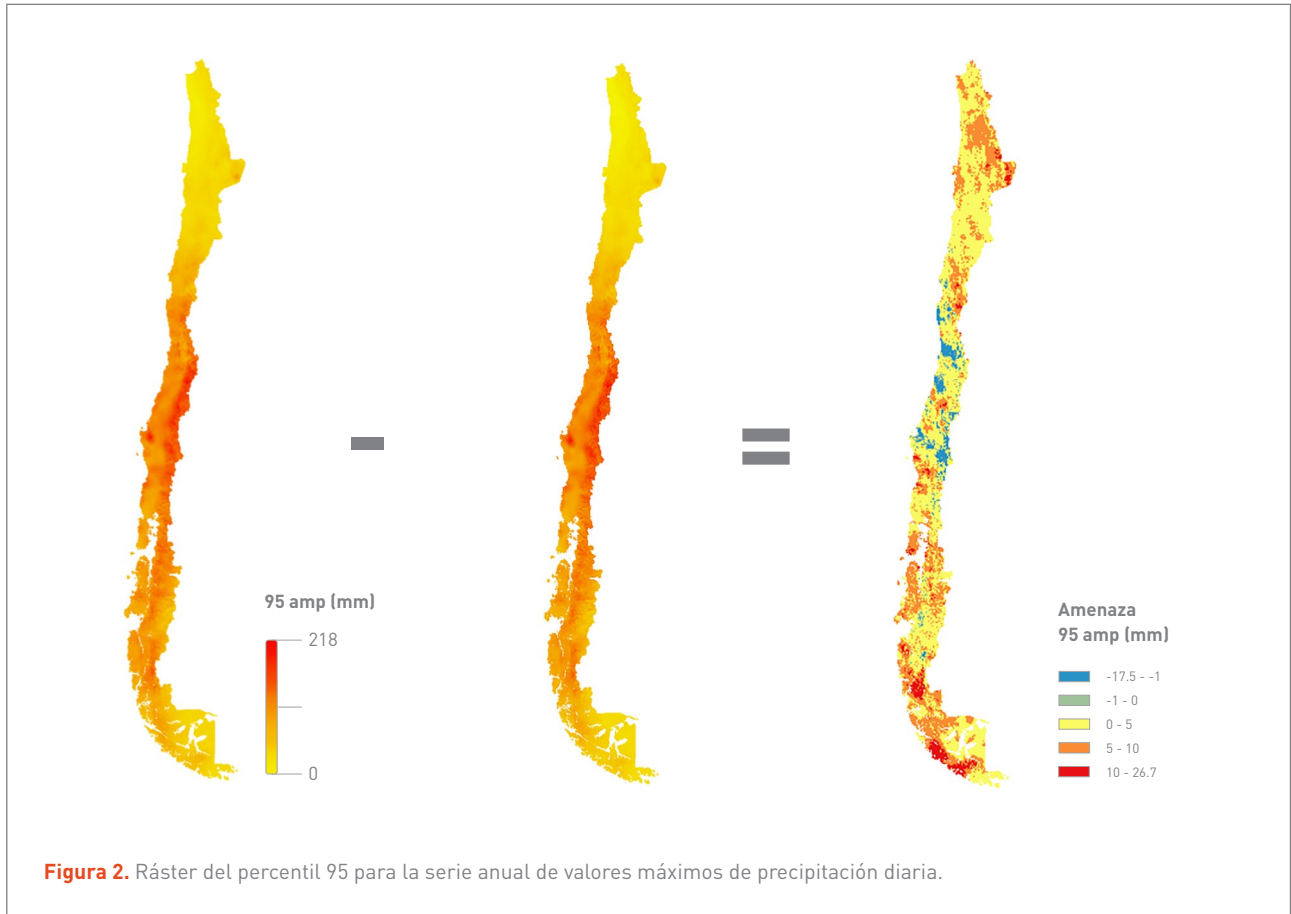
Se presentan los resultados para Chile continental. Mayores detalles, en cuanto a aspectos cuantitativos, pueden encontrarse en la plataforma ARCLIM. No obstante, en este informe se presentan las figuras agrupadas por impacto.

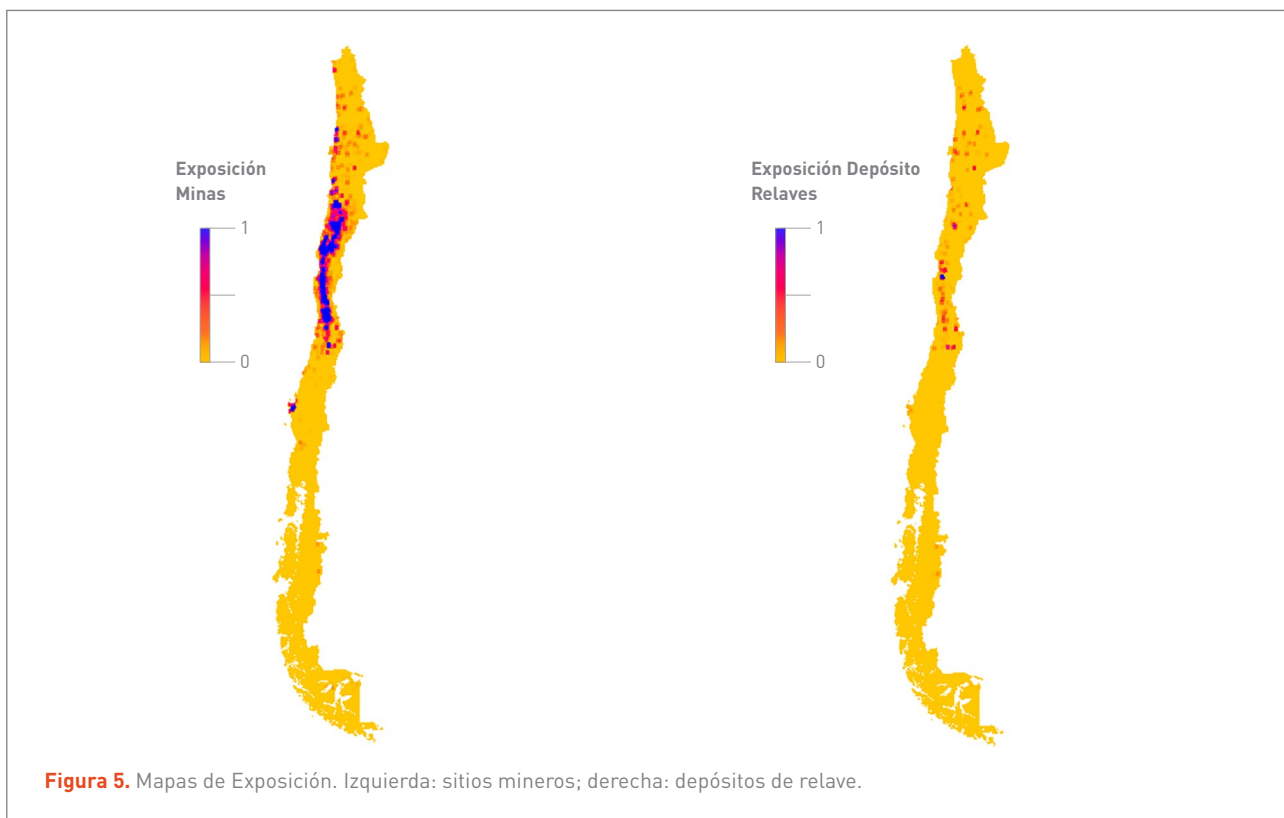
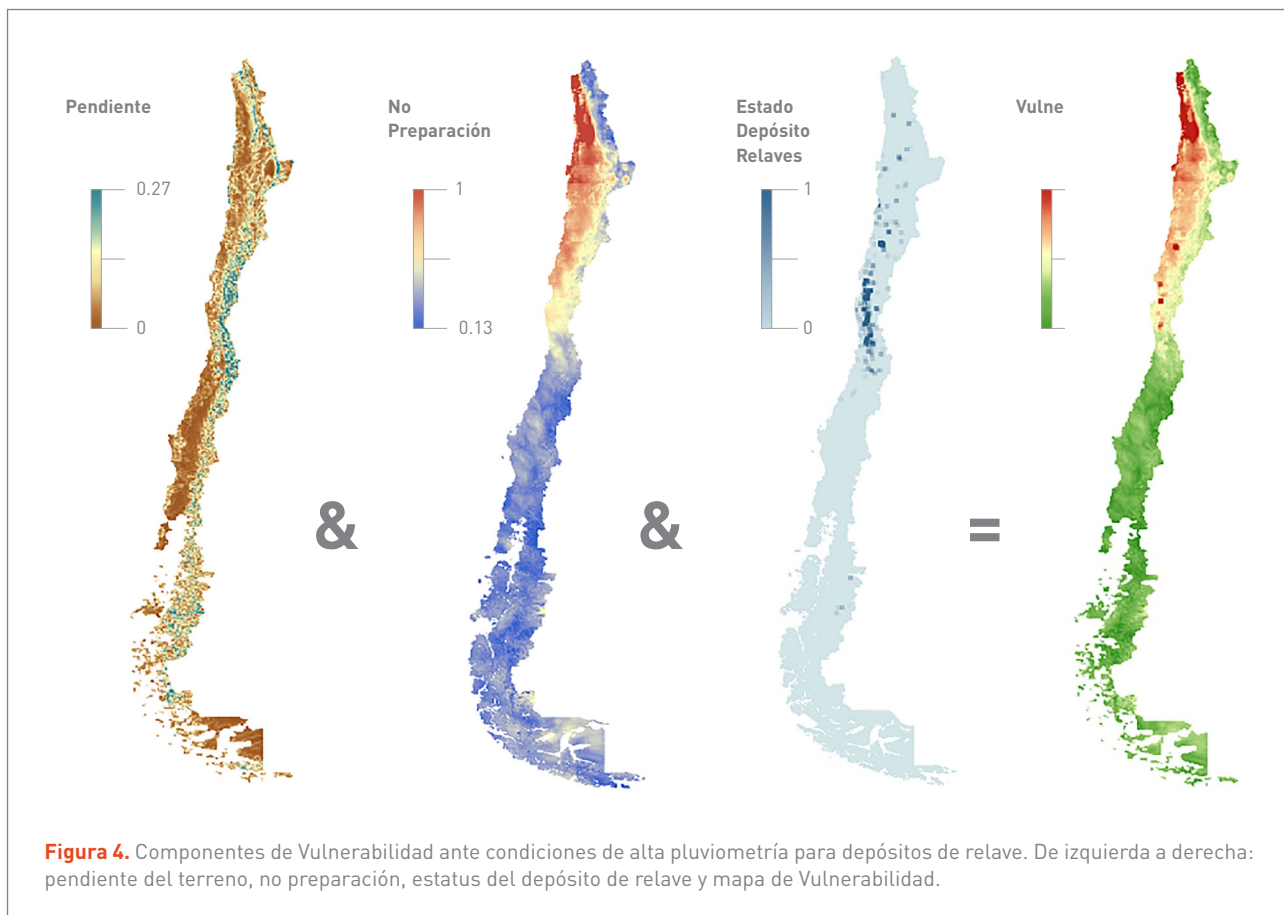
3.1 CONDICIÓN DE ALTA PLUVIOMETRÍA

La **figura 2** muestra la Amenaza (Aap) para condiciones de alta pluviometría, que se corresponde con el gradiente latitudinal de precipitaciones; los valores negativos en el mapa de Amenaza resultante indican una disminución de las precipitaciones extremas en el escenario de cambio climático. En general se observa que los extremos del país se verán más afectados por precipitaciones extremas en el futuro. La **Figura 3** y la **Figura 4** presentan la Vulnerabilidad

a condiciones de alta precipitación para los sitios mineros y para los depósitos de relave, respectivamente. Se observa que la Vulnerabilidad en la zona de alta montaña, aun cuando la pendiente es mayor, es menor respecto de la zona de la depresión intermedia, principalmente, por una mayor preparación de las minas. Respecto de los deslizamientos, estos se producen por una combinación de capacidad de infiltración del suelo (suelos con mayor contenido de arcilla o suelos delgados poseen mayores coeficientes de escorrentía), estado de saturación del suelo (suelos secos pueden presentar hidrofobicidad y suelos saturados presentan menor capacidad de infiltración) y de intensidad-duración de los eventos. Un análisis detallado de cada sitio debe considerar, al menos, las condiciones descritas, pero debería incluir también otros factores, como el tipo de suelo.

La **Figura 5** presenta los mapas de Exposición de los sitios mineros y depósitos de relave.







3.2 CONDICIÓN DE BAJA PLUVIOMETRÍA

La **Figura 6** muestra la Amenaza (Abp) para condiciones de baja pluviometría; valores negativos en el mapa de Amenaza resultante indican que las condiciones futuras serán más secas que las condiciones actuales. La **Figura 7** presenta la Vulnerabilidad ante condiciones de baja precipitación para los sitios mineros. En general, las condiciones de mayor Riesgo se ubican en la zona centro-norte y en los sectores altos. Lo primero se explica por la disminución de los volúmenes de agua disponibles, mientras que los sectores altos responden al aumento de los costos de bombeo y distribución.

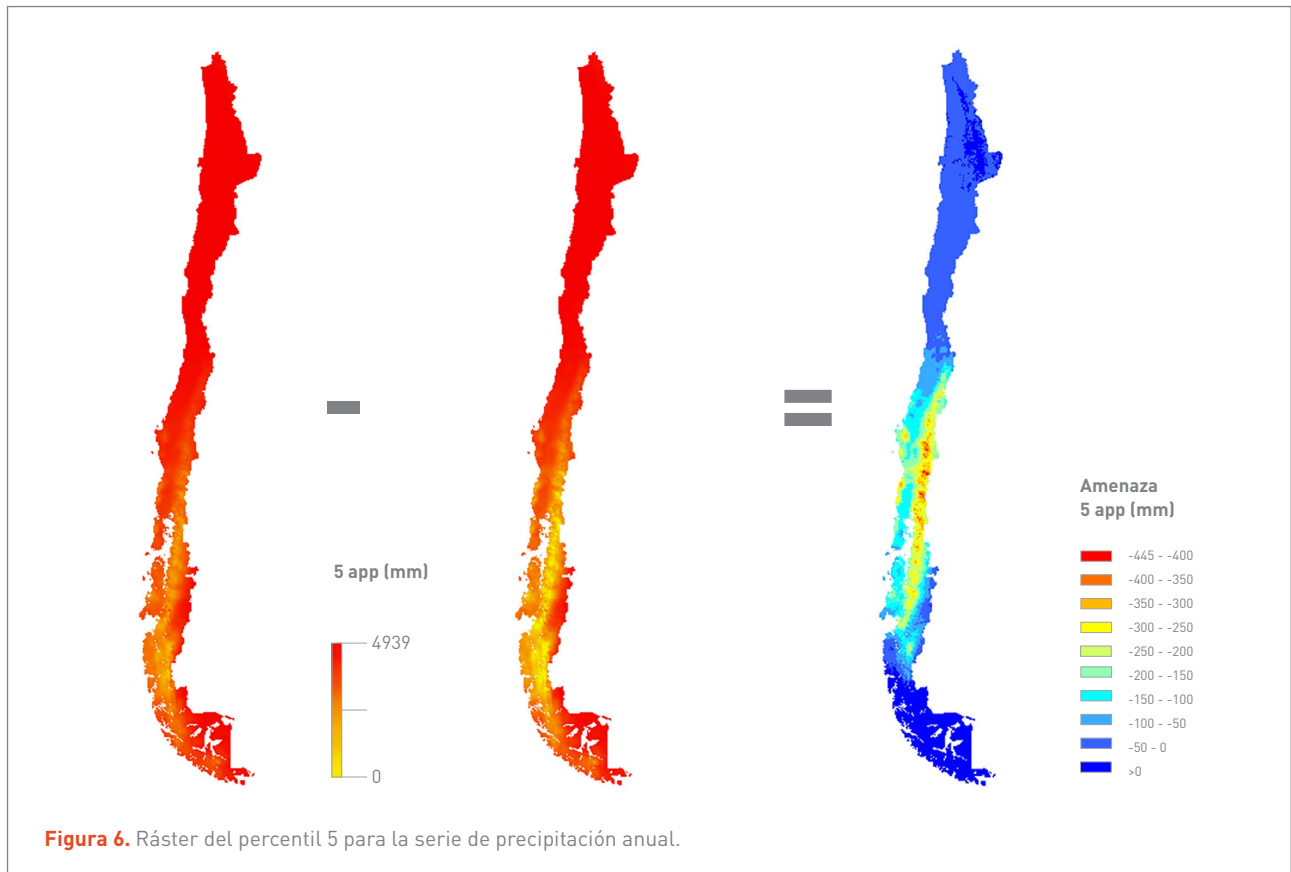
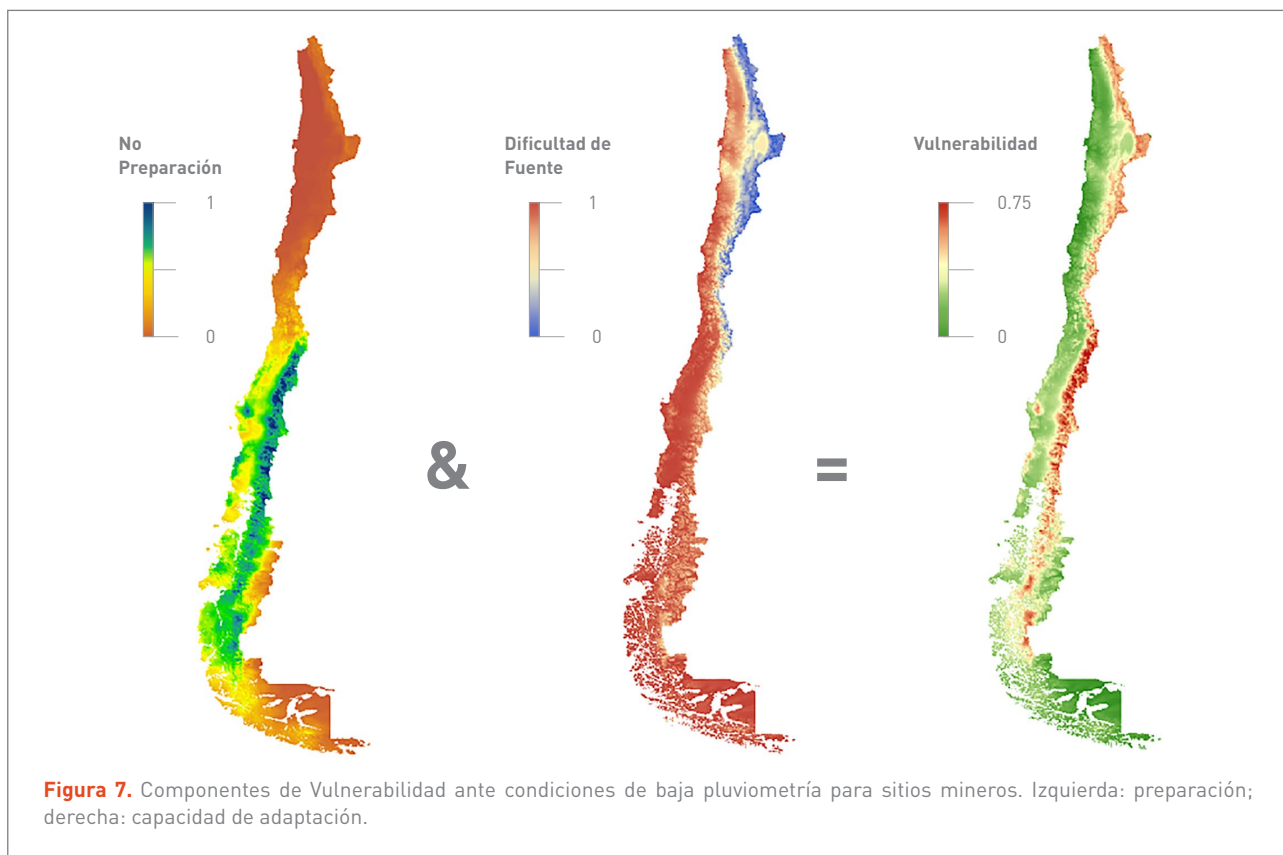
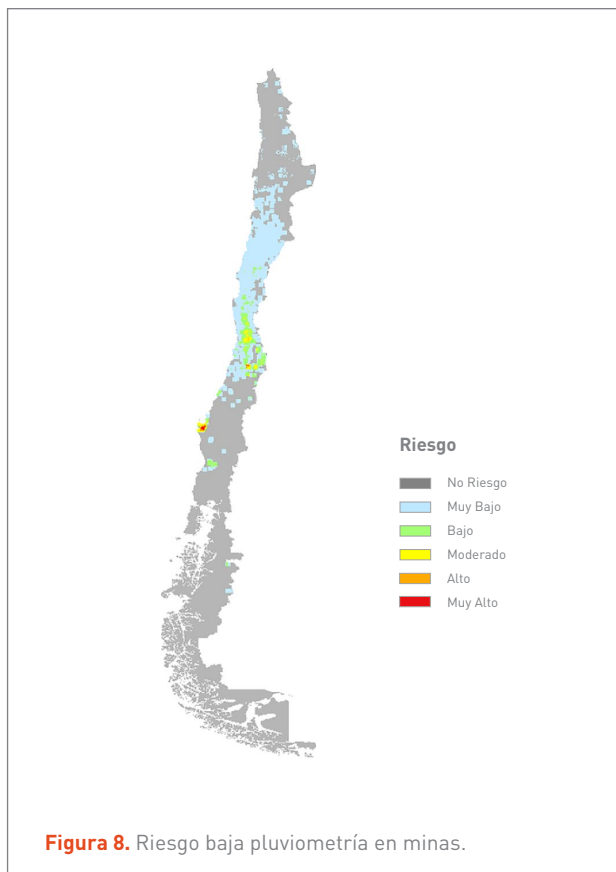


Figura 6. Ráster del percentil 5 para la serie de precipitación anual.



3.3 MAPAS DE RIESGO

Las **Figuras 8 y 9** presentan el Riesgo como la multiplicación de Amenaza, Vulnerabilidad y Exposición para las condiciones de alta pluviometría y para baja pluviometría, respectivamente. Los valores indicados en rojo representan un Riesgo mayor. La escala territorial corresponde a cálculos para cada píxel de 5 km², considerando un filtro de 5 x 5 píxeles.



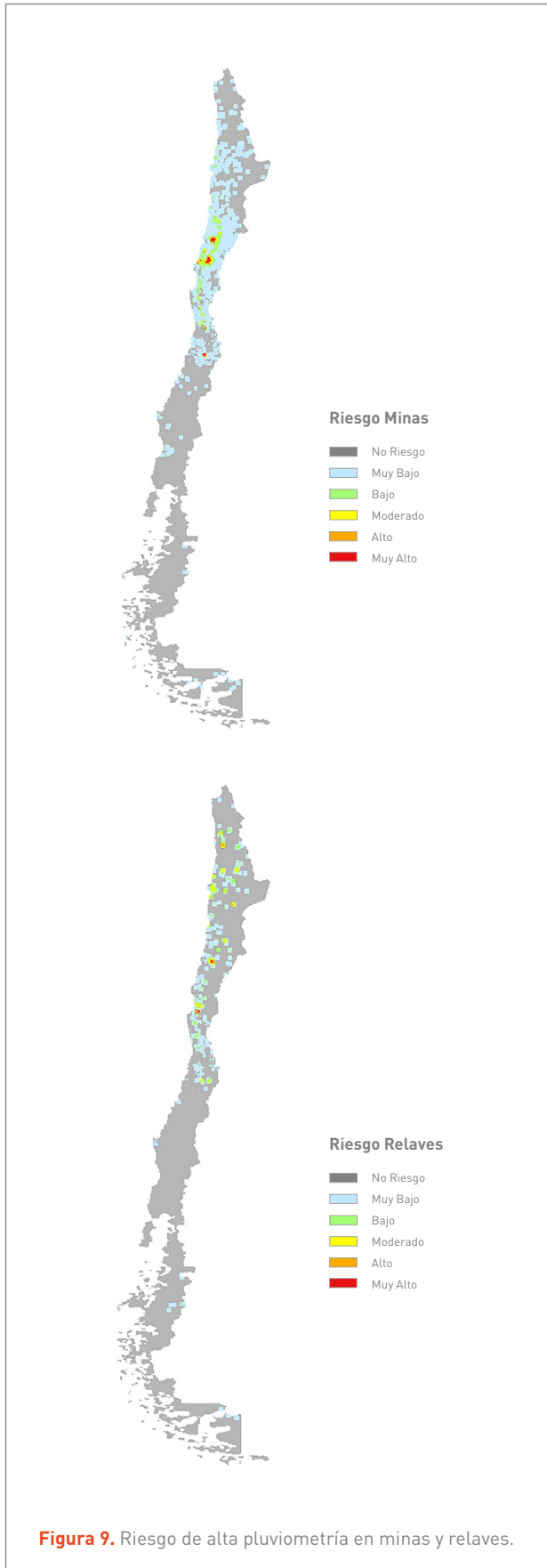


Figura 9. Riesgo de alta pluviometría en minas y relaves.





1012
1004





4

CONCLU- SIONES

La metodología propuesta considera las condiciones actuales y futuras de clima (período 2035 - 2065 en escenario RPC8.5), que permite estimar el cambio de Riesgo de las operaciones mineras frente al cambio climático, considerando datos disponibles. La metodología fue desarrollada en conjunto con investigadores del Sustainable Mineral Institute de la Universidad de Queensland, Australia. Aun cuando se cubre un conjunto acotado de las vulnerabilidades de la industria minera frente al cambio climático, se trata de un análisis a escala nacional que permite identificar elementos para estudios futuros. Entre estos aspectos, se tiene el análisis de la cadena logística y de suministros, para determinar los puntos más vulnerables más allá de los sitios de operación, considerando que los puertos para los embarques de mineral o las rutas terrestres que conforman la red logística pueden enfrentar Riesgos de corte. Además, para efectos de análisis más focalizados, se requiere incluir tipo de suelo y humedad previa a los eventos.

La Exposición de las operaciones depende fuertemente de las condiciones geológicas, por tanto, es una variable que tiene menor control en dónde ubicarse. Por otra parte, la Vulnerabilidad de las operaciones está influenciada fuerte-

mente por las condiciones locales y de operación de cada minera. Así, dos operaciones en el mismo lugar y de similar tamaño tendrán vulnerabilidades diferentes, dependiendo de la infraestructura propia de la operación. No obstante, la metodología aplicada permite una visión territorial del Riesgo y cambio de Riesgo, considerando píxeles de 5 km para los cálculos.

Según los análisis llevados a cabo, y considerando sus limitaciones, se concluye que los Riesgos del cambio climático para la industria minera en Chile están asociados, mayoritariamente, a condiciones de alta pluviometría, que conllevan Riesgos de inundación local y deslizamientos de tierra.

La industria minera, en general, no a nivel de operaciones específicas, no está bien preparada frente al cambio climático. La falta de preparación puede resultar en disminución de productividad y riesgos para la salud. Por lo anterior, se requiere mayor investigación, de modo de entender con más precisión la dinámica a escalas espaciales menores, de preferencia menores a 5 km², además de un esfuerzo concertado y colaborativo entre la industria, las comunidades aledañas y otros sectores productivos.

Respecto de la precipitación extrema e inundaciones locales/deslizamientos de tierra, las zonas norte y austral muestran alta probabilidad de incremento en la intensidad de eventos extremos de precipitación. Las minas en el Norte Grande y en Norte Chico, probablemente, están menos preparadas debido a una Exposición histórica menor, lo que resultan en Riesgo de inundaciones locales y deslizamientos de tierra. Por las mismas razones, los tranques de relaves presentan también un Riesgo considerable.

Respecto de baja precipitación y sequías, las zonas centro y centro-sur experimentarán la mayor reducción en precipitaciones. Frente a esto, las minas en el Norte Grande están más preparadas, pues se han desarrollado en una condición de clima de muy baja pluviometría. Por lo tanto, la industria se vería más afectada en la zona central. En todos los casos, se requiere además que las faenas ajusten a la baja las proyecciones futuras de uso de agua, ya sea por un mejor

uso del agua o por el uso de fuentes alternativas, como el agua de mar.

Es necesario indicar algunas limitaciones de este trabajo. En primer término, sólo se considera la Exposición de infraestructura local del sitio minero. Luego, la resolución de la pendiente es gruesa, por lo que condiciones muy locales no están consideradas. Hay más factores locales que no están considerados, como protección contra inundaciones y/o el mantenimiento de la infraestructura. En cuanto a la resolución del relieve, las condiciones son locales y definidas por la faena. En caso de análisis más precisos es posible usar modelos de resolución a escala de metros para cada faena, además de modelamiento hidrológico de crecidas. Respecto de las condiciones de infraestructura, se recomienda recolectar información a nivel de faenas respecto de planes de contingencia frente a Amenazas climáticas.



