



**Escuela de Postgrado
Magíster en Geografía**

Amenaza debido a eventos de precipitación máxima entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental: Análisis de umbrales hidrometeorológicos, gatillantes de remoción en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó.

**Pablo Sarricolea Espinoza
Director**

**Max Eduardo Elmes Angulo
Geógrafo**

Marzo 2015

*Dedico esta memoria a mí
esposa Carla y mis hijas
Violeta y Rosario:
Mi familia.*

AGRADECIMIENTOS

A mi hermosa esposa y amiga Carla Hernández por su amor, alegría y paciencia

A mis hijas Violeta y Rosario por su amor y preocupación.

A mis padres, Luis Elmes y Ayeda Angulo por su apoyo, enseñanza, amor y entrega.

A mi profesor guía y colega Pablo Sarricolea, por su confianza, respeto y correcciones que llevaron a cabo esta investigación.

A FONDECYT N° 11130629 y la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo (VID) de la Universidad de Chile (U-APOYA código CSSOC-2012-292), ambas por financiar el desarrollo de la tesis.

A mi profesor Alberto Gurovic por su apoyo y palabras.

A mis profesores del Instituto Nacional por su enseñanza y labor, gracias...
"LABOR OMNIA VINCIT".

A mis sobrinos Nicolás y Joaquín, por su sonrisa, alegría y preguntas.

A mi amiga y madrina Marta, por su apoyo y cariño.

A mi tía Lidia, que sus recuerdos perduren por siempre.

A mi hermana Ayeda Antonieta por su cariño y apoyo.

A mis amigos y compañeros de trabajo María Pilar Vergara, María Elena Opazo, David Traslaviña, Pablo Gutiérrez, Javier Wood, Claudia Campodónico, Cesar Rivas, Gerardo Ubilla y Cecilia Miño por su apoyo.

A ti Dios, por tu amor.

Tabla de contenido

Resumen.....	6
1.-Introducción.....	7
2.-Planteamiento del problema.....	8
3.- Pregunta de Investigación.....	12
4.- Hipótesis.....	12
5.-Área de Estudio.....	13
6.- Objetivos de la investigación.....	13
7.- Marco Conceptual.....	15
7.1.- Evento de precipitación máxima.....	15
7.2.- Remoción en masa.....	16
8.- Metodología.....	35
8.1.- Evento de Precipitación Máxima:.....	35
8.1.1.- Recopilación de la información pluviométrica.....	35
8.1.2.- Selección de estaciones pluviométricas.....	35
8.1.3.- Tratamiento de la información.....	42
8.2.- Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa por flujos.....	46
8.2.1.- Definición del Área de Estudio.....	46
8.2.2.- Elaboración de los factores condicionantes de remociones en masa por flujos.....	46
8.2.3.- Evaluación de la susceptibilidad.....	49
8.3.- Materiales.....	51
9.- Resultados.....	52
9.1.- Evento de Precipitación máxima.....	52
9.2.- Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó.....	105
9.2.1.- Introducción.....	105
9.2.2.- Descripción del área de estudio.....	105
9.2.3.- Aplicación de metodología de susceptibilidad de remoción en masa por flujos.....	145
9.3.- Umbrales de activación de los procesos de remoción en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó.....	153
10.- Discusión.....	165

11.- Conclusiones	169
12.-Bibliografías.....	173
ANEXOS	180
1. Catastro histórico de remociones en masa por flujos en Chile entre 1980 - 2015 180	
2. Wolfgang Griem. Museo Virtual Atacama. 2015.	185
3. Mapa de Remoción en masa: según Hauser (2000).	188

Resumen

En esta investigación se estudia la distribución espacial de la amenaza hidrometeorológica, debido a eventos de precipitación máxima entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental y su implicancia en los procesos de remoción en masa por flujos en el caso de estudio de las unidades de respuesta de la Cuenca del río Copiapó. Para ello se calcularon los valores máximos probables de precipitación en 24, 48 y 72 horas, analizando las cantidades máximas de precipitación en estaciones pluviométricas con registros desde 1940 hasta el 2015. Se empleó el procedimiento objetivo de análisis estadístico, basado en el ajuste de los datos a leyes de probabilidad, en particular Gumbel Max, y el posterior cálculo de valores máximos para distintos períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Además, se aplicó la metodología de LARA (2007) para determinar la susceptibilidad de remoción por flujos. Los resultados distinguen tres macrozonas, la primera llamada desértica con un umbral de precipitación máxima menor a 30 mm., la segunda llamada desértica intermedia con un umbral de precipitación máxima menor a 60 mm., y una tercera correspondiente al semiárido y mediterráneo con precipitación máxima con un umbral sobre los 60 mm. Teóricamente, se cumple la hipótesis: que las lluvias generadas en períodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, su umbral es de 60 mm., no solamente en 24 horas, sino también en 48 y 72 horas; mientras que en los distintos sectores de la ciudad de Antofagasta, su umbral máximo es de 30 mm., en 24 horas, al igual que en 48 y 72 horas. Para el caso de estudio de la Cuenca del río Copiapó, se cumple la hipótesis que el desarrollo de flujos o aluviones se generan con pendientes mayores al rango entre 15° y 25° y se gatilla con un umbral mínimo de precipitación máxima de 22 mm., en 24, 48 y 72 horas.

Palabras clave: Precipitación máxima, Período de retorno, Remoción en masa, Susceptibilidad, Umbral, Chile, Cuenca del río Copiapó.

1.-Introducción.

Se estudió la distribución espacial de la amenaza hidrometeorológica debido a eventos de precipitación máximas entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental y su implicancia en los procesos de remoción en masa por flujos. Para ello se calcularon los valores máximos probables de precipitación en 24, 48 y 72 horas para diferentes períodos de retorno, analizando las cantidades máximas de precipitación en estaciones pluviométricas con registros desde 1940 hasta el 2015. Se empleó el procedimiento objetivo de análisis estadístico basado en el ajuste de los datos a leyes de probabilidad, en particular Gumbel Max, y el posterior cálculo de valores máximos para distintos períodos de retorno.

El presente estudio pretende favorecer el conocimiento sobre la recurrencia, peligrosidad y exposición a eventos de precipitación máxima, de gran intensidad, baja frecuencia temporal y distribución espacial irregular, que provoca o genera peligros naturales de remoción en masa que desencadenan desastres, afectando a las poblaciones, viviendas e infraestructuras. Se calcularon, analizaron y espacializaron las precipitaciones máximas y el desencadenamiento que provocan en la activación de los umbrales de los procesos de remoción en masa.

Se aplicaron diversas técnicas: estadísticas, geoestadísticas y de modelación, mediante las herramientas de cálculos de distribuciones (programa Easy Fit) y Sistemas de Información Geográfica (ArcGis). Además de la metodología de LARA (2007) en el cálculo de índice de susceptibilidad, que corresponde a una sumatoria ponderada, en este caso, de la remoción en masa por flujos, la que tiene en cuenta la pendiente de laderas, características geológicas y geotécnicas de los materiales, clima y vegetación, entre otros.

2.-Planteamiento del problema.

De acuerdo a CEPAL & PNUMA (2010), el cambio climático es uno de los grandes desafíos de este siglo. Si tenemos en cuenta sus causas y consecuencias globales y la magnitud de los impactos esperados tanto en los ecosistemas como en las actividades humanas, se puede manifestar fundamentalmente en:

- a).- Aumento paulatino, pero continuo de la temperatura.
- b).- **Modificaciones en los patrones de precipitación.**
- c).- Alza del nivel del mar.
- d).- Reducción de la criósfera.
- e).- **Modificación de los eventos extremos.**

Las proyecciones de modificaciones de los patrones de precipitación son en extremo complejas, con un alto nivel de incertidumbre y fuerte heterogeneidad regional. Así, las proyecciones presentadas, con base en múltiples modelos de circulación general y los principales escenarios de emisiones, muestran también que los cambios en el régimen de lluvias serán diferenciados en el mundo. En el caso de Chile, perteneciente a la región sur de Sudamérica se proyecta reducción en la precipitación del 5% al 40% en verano, a un aumento en invierno en el Antiplano entre 5% y 20% para 2080. El escenario equilibrado de todo tipo de fuente de energía proyecta una reducción en las precipitaciones entre el 10% y 20% en gran parte del sur de Chile 2090–2099 (IPCC, 2007a).

En particular, en América Latina y el Caribe se observa un aumento reciente de los eventos climáticos extremos y con ello también en el número de personas afectadas. Así, el número de tormentas ocurridas entre los años 2000 y 2009 se multiplicó por 12 en relación a las que se presentaron entre 1970 y 1979 (IPCC, 2007a). El número de personas afectadas por las temperaturas extremas, incendios forestales, sequías, tormentas e inundaciones pasó de 5 millones en la década del 70 a más de 40 millones en la última década, como consecuencia tanto del crecimiento de los asentamientos humanos en la región, en zonas marginales urbanas, como a la mayor vulnerabilidad de las zonas costeras frente a estos eventos. Los costos estimados de los daños ocasionados por estos eventos climáticos extremos en los últimos diez años superan los 40 mil millones de dólares (CEPAL & PNUMA, 2010).

Las investigaciones de las precipitaciones en Chile han determinado en general, una tendencia a la disminución durante el siglo XX, sin embargo, se reconocen importantes anomalías pluviométricas anuales atribuidas al ENOS (CECS, 2009). No obstante, existe una tendencia positiva en varias estaciones al norte de los 34° Latitud Sur, de un aumento de las precipitaciones del orden de los 30 mm., lo cual

no es significativo dentro del contexto de la disminución de las precipitaciones en Chile (QUINTANA, 2004).

Según JULIÁ et al, (2008), no se espera un cambio significativo en las precipitaciones en la Región de Atacama durante la primera mitad del siglo XXI, salvo en invierno donde se proyecta un aumento de las precipitaciones en el sector andino sur de 155 mm/año en un escenario de protección y sostenibilidad ambiental. En el verano se espera una disminución de precipitación de un 50% bajo un escenario en un mundo heterogéneo en la sustentabilidad ambiental. En el resto del año las precipitaciones en el sector cordillerano aumentarían en un 150% a 200%, alcanzando el sector climático de tundra de alta montaña.

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (HAUSER, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (CRUDEN, 1991). No obstante, si bien es cierto que existe una serie de factores condicionantes para el desarrollo de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es asimismo de crucial importancia identificar el factor que se encarga de desencadenarlo. Entre los principales factores desencadenantes de estos fenómenos se encuentran los sismos, responsables principalmente de deslizamientos y caídas, **y lluvias intensas, que generan en su mayoría flujos y deslizamientos**, si bien ambos factores son capaces de desencadenar todos los tipos de remociones en masa. (HAUSER, 1993). Los factores condicionantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (SEPÚLVEDA, 1998).

Las precipitaciones, además de ser consideradas uno de los factores desencadenantes de remociones en masa más importantes, condicionan la estabilidad del macizo, al disminuir la resistencia de las estructuras al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. En Chile, los procesos de remoción en masa son fenómenos comunes, dado el relieve montañoso andino y el desarrollo de cuencas costeras. Durante décadas, han provocado cuantiosos daños y pérdidas de vidas humanas (HAUSER, 1985). **Estos procesos son usualmente generados por precipitaciones asociadas a anomalías climáticas de diferentes umbrales, que varían según el régimen climático** (SEPÚLVEDA et al, 2006).

En los valles centrales andinos de Chile, existe una condición de intenso fracturamiento superficial, lo cual es propicio para la generación flujos por mecanismos gravitacionales por medio de la incorporación de lluvias (HAUSER, 1995). A esto se suma la orientación de las laderas ante la exposición al sol, lo cual influirá, junto con acciones de deshielos, a efectos erosivos y de meteorización del material, además de disminuir la presencia de vegetación producto de la sequedad de la zona.

Los procesos de remoción en masa desencadenados por precipitaciones se han incrementado en las últimas décadas, debido a la expansión urbana y a la localización de actividades económicas en áreas susceptibles de deslizamientos, aumentando la recurrencia y los daños. Además, la variabilidad climática y el cambio ambiental global han provocado variaciones en los patrones climáticos conocidos, generando situaciones de desastres por amenazas hidrometeorológicas, especialmente deslizamientos (CROZIER 2010; GLADE & CROZIER 2005; IPPC 2007).

En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración que superen un umbral característico para generar remociones en masa. *El conflicto radica en la estimación de estos umbrales, para lo cual se requiere de datos idealmente continuos de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio* (SEPÚLVEDA, 2006).

Sin embargo, se ha encontrado en algunos casos que las precipitaciones no actuarían por sí solas en la generación de remociones, puntualmente estableciendo el caso de los aluviones de mayo de 1993 en Chile Central donde, producto de la anormal altitud de la isoterma 0°C en esos días (PADILLA, 2006), se habrían generado precipitaciones líquidas intensas en zonas donde usualmente se presentan precipitaciones del tipo nieve. Las tendencias de la altura de la línea de nieve, en general, muestra cambios de la isoterma 0°C, indicando un aumento altitudinal entre los años 1958 - 2006 (CARRASCO et al. 2008). Por ejemplo, la línea de equilibrio entre los 21° y 34° Latitud Sur se estima entre los 7.000 y 3.500 m.s.n.m (CONDOM et al. 2007)

Además, es necesario recalcar la importancia que presenta la ocurrencia de fenómenos climáticos como el fenómeno de El Niño (GARCÍA, 2000), en el cual se presenta una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía. Particularmente en Chile Central, se ha establecido a través de estudios que recopilan los eventos de remociones en masa de aproximadamente los últimos 50 años, que existe una clara correlación entre la presencia del fenómeno El Niño y el desarrollo de tormentas gatillantes de eventos como flujos de barro y detritos en la zona (GARCÍA, 2000; SEPÚLVEDA et al., 2006).

Según NARANJO, J. Y J. VARELA (1996), los eventos de remoción en masa de mayor envergadura no necesariamente se producen en invierno, y están asociadas a precipitación en condiciones de temperaturas altas e isoterma 0°C a mayor altitud.

Por su parte, HAUSER (1985 y 1997) establece que las lluvias con un umbral de 60 mm/día, generadas en períodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, y las lluvias entre 10 mm y 30 mm en la ciudad de Antofagasta, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos como de las rocas que experimentan resecaamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas.

Se prevé que las variaciones de frecuencia e intensidad de las precipitaciones intensas en 24 horas favorecerán un incremento de los procesos geomorfológicos dinámicos, como remociones en masa, que provocarán un aumento de las pérdidas humanas y materiales (ARISTIZ ÁBAL et al, 2006 & SÁNCHEZ, 2011). Sin embargo, el umbral para la ocurrencia de procesos de remoción en masa, basado en la lluvia acumulada antecedente de 3 días y precedente de 15 días a esta última (tormentas de alta intensidad, en intervalos de 72 horas o menores, y la lluvia acumulada de los 15 días anteriores). Por consiguiente, la condición de superación del umbral de lluvia no implica un proceso de remoción en masa, pero se dan las condiciones de humedad para que ocurra, teniendo en cuenta el estado del talud o la ladera en cuestión y factores geológicos y antrópicos que condicionen la ocurrencia de estos (WIECZOREK, 2001 & MORENO, 2006).

Las primeros acercamientos para cálculos de umbrales críticos de lluvia como detonantes de movimientos en masa fueron presentadas por CAMPBELL (1975) y STARKEL, (1979) pero fue CAINE (1980) el primero en utilizar relaciones empíricas entre la ocurrencia de movimientos en masa y las características de precipitaciones (intensidad y duración de lluvia), proponiendo umbrales de intensidad y duración a nivel mundial, GUZZETTI et al., (2008).

El 24 y 25 de marzo de 2015, fuertes lluvias afectaron el norte del país, generando 17 aluviones en diversas localidades. Las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo tuvieron las lluvias más intensas de los últimos 80 años. En un solo día, la región de Atacama recibió casi 30 milímetros de agua, **80%** de todo lo que llueve en un año normal. Atacama fue la zona más afectada, con un aluvión que arrasó con las localidades de Diego de Almagro, El Salado y Chañaral, Paipote, Taltal, Tierra Amarilla y Alto del Carmen (SERNAGEOMIN, 2015). Y Según datos recopilados por GRIEM, W (2015), se registró para Copiapó 25 mm; Tierra Amarilla 31,4 mm; Caldera 18,5 mm y Altos del Carmen 24 mm. Estos fueron

producto de una masa de aire frío proveniente de la Antártica (llamada Baja Segregada) se desplazó más al norte que lo usual, y al encontrarse con una masa de aire tropical (cálida y húmeda), desató intensas lluvias. Las que a su vez, provocaron las crecidas de los ríos Salado y Copiapó (SARRICOLEA, 2015). CASTRO et al., 2006, caracteriza a la Cuenca del río Copiapó por sus numerosas evidencias de ocurrencias recientes y frecuentes de remociones en masa y flujos aluvionales en las áreas de protección y en los geositos de interés patrimonial existentes entre Flamenco y el río Copiapó, gatillados por sismos y lluvias intensas asociadas a eventos El Niño.

3.- Pregunta de Investigación.

¿Cuáles son las zonas más susceptibles a causar flujos y cuáles son sus umbrales pluviales gatilladores?

4.- Hipótesis.

El área de estudio corresponde a una zona altamente dinámica, en la cual se presentan grados diferenciales de variabilidad espacial de las precipitaciones máximas, localizándose las más alta en la precordillera andina, disminuyendo progresivamente al pasar por la depresión intermedia y volviendo aumentar en la Cordillera de la Costa. Por consiguiente, los procesos de remoción en masa por flujos no son ajenos al incremento de ocurrencia e intensidad de la amenaza hidrometeorológica:

1.- ¿Dónde?, los territorios con pendientes mayores a 25° y preferentemente de las cabeceras de las hoyas hidrográficas, son favorables para el desarrollo de flujos o 'aluviones' (HAUSER, 1993), aunque algunos podrían generarse en pendientes menores que no sobrepasan los 15° (SAURET, 1987 EN SEPÚLVEDA, 1998).

2.- ¿Cuánto?, por su parte, HAUSER (1985 y 1997) establece que las lluvias generadas en períodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, su umbral es de 60 mm/día, mientras que en los distintos sectores de la ciudad de Antofagasta, su umbral es entre 10 y 30 mm/día (período de retorno de 10 y 50 años), por ende, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos como de las rocas que experimentan resacamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas.

5.-Área de Estudio.

El área de estudio es entre los 21°S y los 34°S latitud Sur de Chile Continental, considerando más de un centenar de estaciones meteorológicas, las cuales dependen de la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección Meteorológica de Chile. En el área de estudio hay presencia de los dominios morfoestructurales correspondientes (de Oeste a Este) a la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera de Los Andes (SERNAGEOMIN, 2002).

El régimen de precipitación en el área de estudio se asocia principalmente con el paso sucesivo de sistemas frontales que penetran con periodicidad semanal desde el Océano Pacífico, y que con el forzamiento orográfico que ejerce la cordillera de los Andes sobre el flujo zonal, modifica localmente los montos de precipitación registrados. Como consecuencia de su extensión territorial y del contraste altitudinal, se manifiesta marcadas diferencias en la humedad, las precipitaciones, la temperatura y los vientos (ÁVILA & MARTÍN VIDE. 2013).

Mientras, la Cuenca del Río Copiapó se ubica (ver Mapa N°1a) entre la zona hiper-árida de la región de Antofagasta y la zona mediterránea semiárida de la región de Coquimbo, abarcando una superficie de 18.400 km².

6.- Objetivos de la investigación.

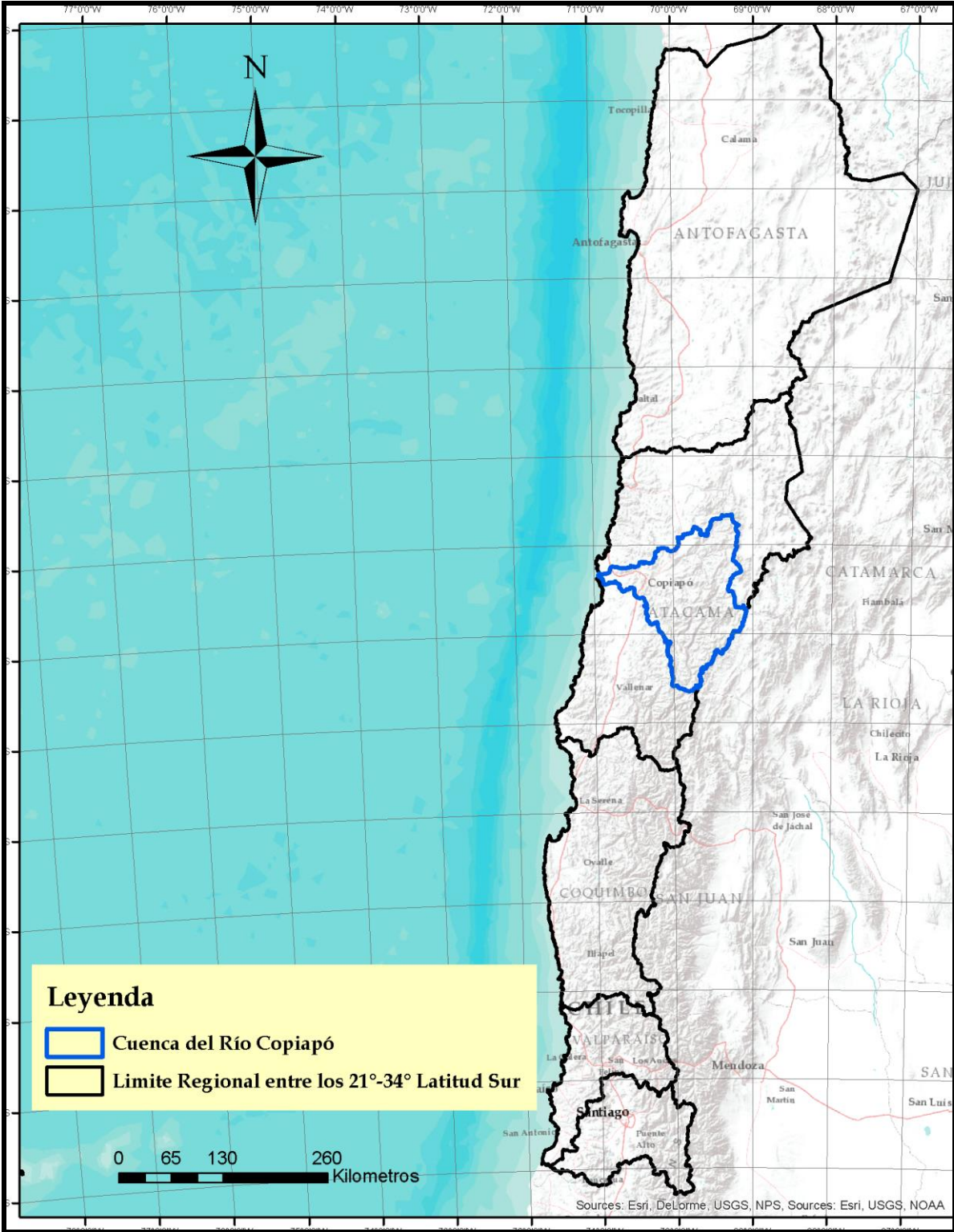
Objetivo general

- Conocer espacial y temporalmente la amenaza hidrometeorológica de las precipitaciones máximas entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile continental y sus implicancias en la susceptibilidad en los procesos de remoción en masa por flujos en una cuenca de estudio de caso: Río Copiapó.

Objetivos específicos

- Estimar los valores probables de precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas para diferentes períodos de retorno y espacializar sus valores entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.
- Analizar la Susceptibilidad a procesos de remoción en masa por flujos de las unidades de respuesta de la Cuenca del Copiapó.
- Establecer los umbrales de activación de los procesos de remoción en masa por flujos de las unidades de respuesta de la Cuenca del Río Copiapó, elaborando una cartografía de amenaza.

Mapa N°1a: Área de Estudio.



Fuente; Elaboración propia

7.- Marco Conceptual

7.1.- Evento de precipitación máxima.

El objetivo de este capítulo es hacer una recopilación de los principales conceptos involucrados en los eventos extremos de precipitación que se basa en APARICIO (1997) y ÁVILA (2012).

Precipitación máxima.

La precipitación es una de las variables meteorológicas que presenta mayor oscilación o variabilidad en el transcurso del tiempo (a veces se presenta en forma de chubascos cortos, pero intensos y otras veces se extiende en una racha de varios días), por lo que el análisis de su variabilidad temporal es de gran importancia en la caracterización del fenómeno. En particular, los valores más elevados en un determinado intervalo temporal, sea minutil, horario, diario, etc., resultan decisivos para la planificación territorial y el diseño adecuado de infraestructuras.

Períodos de retorno.

Cada espacio muestral tiene su propia función de distribución o de densidad de probabilidad, que normalmente no se conoce a priori. Cuando de ese espacio se extrae un grupo de datos (muestra) al azar, es razonable esperar que su función de distribución de probabilidad sea similar a la del espacio completo, en particular si la muestra es grande. Además, lo más razonable que se puede suponer en cuanto a la frecuencia de cada dato del grupo es que ésta sea dentro del espacio muestral igual a la observada.

Distribución estadística de Gumbel Max.

En probabilidad y estadística esta es utilizada para modelar la distribución del máximo, por lo que se usa para calcular valores extremos de precipitación, siempre y cuando, los valores se ajusten a ella.

7.2.- Remoción en masa.

El objetivo de este capítulo es hacer una recopilación de los principales conceptos involucrados en los procesos de remociones en masa que se basa en CAMPOS (2014), FRANCISCO AYALA CARCEDO (2002 y 2003), y UNISDR (2005).

Amenaza Natural

Es un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Catástrofe

Es una repentina y violenta perturbación de la naturaleza, atribuida a causas naturales excepcionales, que afecta las condiciones físicas de la superficie terrestre.

Peligro geológico

Probabilidad de ocurrencia de un proceso geológico, dentro de un período de tiempo dado y dentro de un área específica.

Riesgo geológico

Pérdidas potenciales debidas a un fenómeno geológico determinado. Incorpora consideraciones socio-económicas y puede ser medido por unidades monetarias o Índices similares, a diferencia del peligro geológico.

Vulnerabilidad

Son las características y las circunstancias de una comunidad, sistemas o bienes que lo hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

Susceptibilidad

Responden a una necesidad, la de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas. Esto es justamente lo que les diferencia de los mapas geomorfológicos, que representan básicamente las zonas movidas con todos sus atributos.

Factores condicionantes

Son aquellos que pueden generar una situación potencialmente peligrosa y que además controlan la susceptibilidad de generar un proceso de remoción en masa. Los factores determinantes según CAMPOS (2014), SARRICOLEA (2004) y ELMES (2006):

- a) **Geomorfología:** los principales parámetros de determinación y estudio son sus vertientes, posición geomorfológica, pendiente, orientación de la ladera, humedad, vegetación y otros.
- b) **Geología y geotecnia:** los principales parámetros de determinación y estudio son el tipo de depósito y el material que la componen, la densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad, litología, alteración y meteorización
- c) **Intervención antrópica:** los principales parámetros de determinación y estudio son el cambio de límite urbano (proceso de urbanización), actividades económicas y desarrollo de Infraestructura.
- d) **Clima:** los principales parámetros de determinación y estudio son la precipitación, viento, cambio de temperatura y radiación solar.
- e) **Vegetación:** los principales parámetros de determinación y estudio son la humedad y sequedad vinculadas al aumento o reducción de la erosión.
- f) **Hidrología e hidrogeología:** los principales parámetros de determinación y estudio son los caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, permeabilidad y porosidad.

Factores Gatillantes: son aquellos que modifican la estabilidad preexistente del terreno y gatillan los procesos de remoción en masa

- a) **Lluvia:** los principales parámetros son la intensidad, duración y distribución espacial.
- b) **Sismos:** el principal parámetro es la aceleración sísmica, magnitud, largo de la zona de ruptura, período de retorno e intensidad.

7.2.3.- Remoción en masa.

7.2.3.1.- Dinámica de Vertientes

Existen tres teorías principales de la evolución de vertientes, a saber: a) declinación de la vertiente (W.M. Davis), b) reemplazo de la vertiente (W. Penck), y c) retroceso paralelo (L.C. King). (YOUNG, 1972), según lo que indica la Figura N°1.

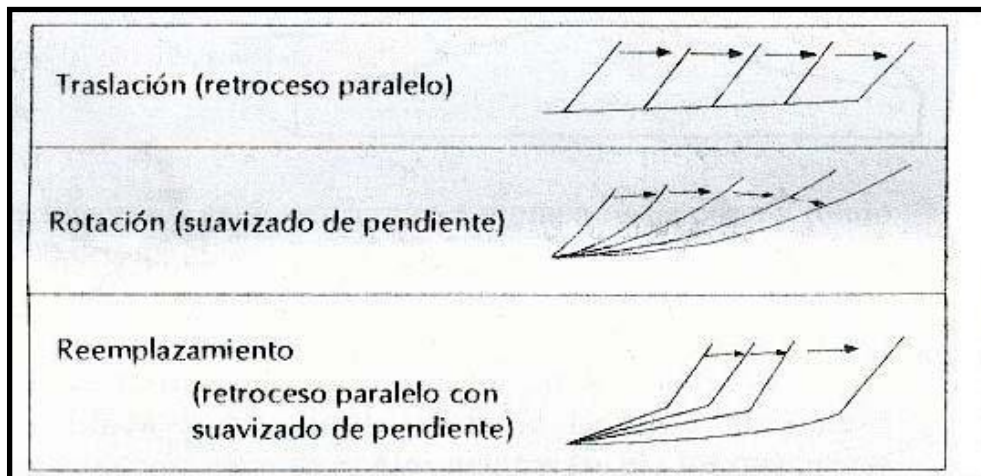


Figura N°1: Modelos sobre la evolución de las vertientes

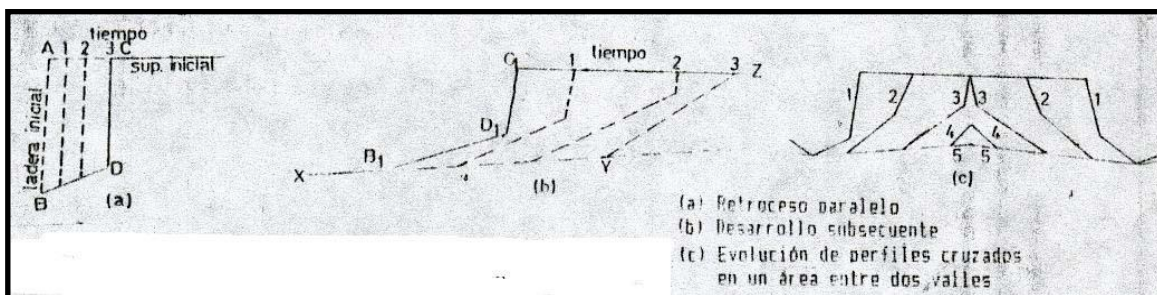


Figura N°2: La idea de Penck (1924) de cómo se desarrollarían las vertientes en material homogéneo.

En el modelo de evolución vertientes de *Davis*, se asume una progresión continua de diferentes etapas, de una juventud a una vejez, con interrupciones permitidas por los cambios en el nivel de base, durante el ciclo. (Mc. CULLAGH, 1983). Es decir, a medida que el ciclo avanza, las convexidades y concavidades llegan a ser más largas y adquieren un radio de curvatura mayor (YOUNG, 1972). Penck relaciona los procesos y las geoformas a los procesos endógenos, por consiguiente, las geoformas dependerán del ritmo relativo del ascenso de la corteza terrestre y la

eficiencia de las fuerzas de remoción que actuaban sobre éstas. (McCULLAGH, 1983). Durante los períodos de ascenso, los talwegs erosionan, y así las vertientes de los valles tienen a la convexidad.

Si el ritmo de erosión declina los talwegs no son capaces de transportar el material proporcionado por las vertientes. Así, las vertientes de los valles tenderían primero a ser rectas y después desarrollarían formas cóncavas. Si la erosión por los talwegs fuera constante existiría equilibrio y las vertientes de los valles serían rectilíneas. De aquí que la idea de *Penck*, acerca de la evolución de las geoformas fuera independiente de un ciclo erosivo, pero más relacionado a la energía de los ríos en relación al ascenso del paisaje, según lo que indica la Figura N°2 (YOUNG, 1972).

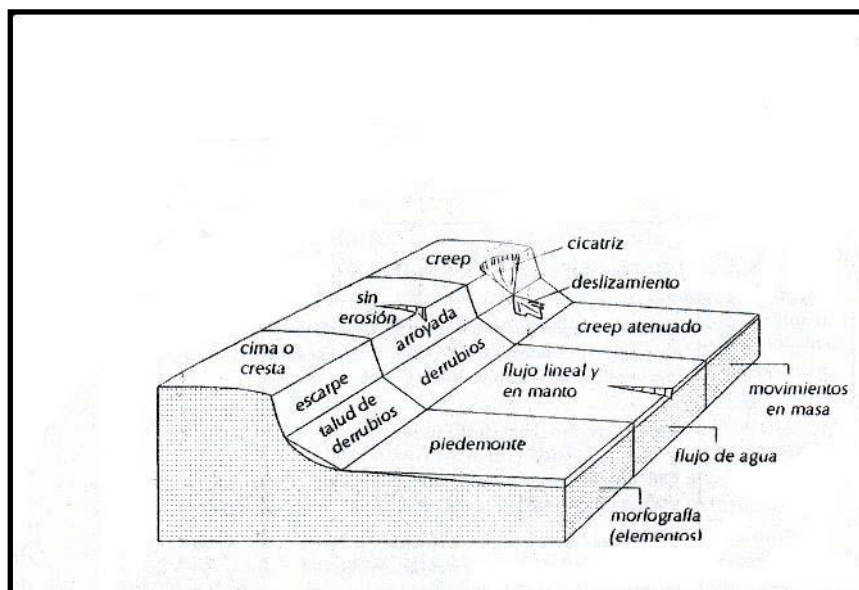


Figura N°3: Clasificación Funcional de vertiente de King (1962).

King (1962) por su parte, establece una vertiente estándar en la cual hay cuatro elementos presentes (crestas, escarpe, talud de detritos y pedimento). Argumenta que ellos son el producto natural de la evolución de las vertientes, y ya sea por escurrimiento, remoción en masa o ambos. La presencia de estos elementos depende de las condiciones locales, principalmente la dureza de la roca madre y el relieve. La evolución sería por un retroceso paralelo o por reducción de la pendiente de esta, ligera pero continuamente. De esto se puede decir que la vertiente estándar de King es una de tipo convexo - cóncava, según la Figura N°3 (YOUNG, 1972).

Equilibrio y normalidad en los ambientes naturales.

La noción de equilibrio es una de las más antiguas en el ámbito de la geomorfología. (CHRISTOFELETTI, 1981). Los ambientes naturales parecieran funcionar de acuerdo a una serie de estímulos que además de provocar las variaciones continuas en el corto plazo, suelen ocurrir tanto en forma rápida – un fenómeno de movimiento en ladera, por ejemplo – como en períodos más prolongados. Debe considerarse, además, que esta variación natural de ciertos sistemas puede generar reacciones que los hagan volver a las condiciones iniciales, pero, dependiendo de la magnitud del estímulo, es posible que puedan pasar a nuevos estados de equilibrio. En este sentido, el concepto de equilibrio o normalidad se ha asimilado más bien a los procesos de enmascaramiento que se desarrollan con posterioridad al estímulo y que tienden a disfrazar sus efectos iniciales. No obstante, la actividad humana se ha acomodado a estos efectos de enmascaramiento, porque significan una cierta constancia a través del tiempo, y ha desconocido la presencia de estímulos, probablemente porque ocurren espacialmente – les ha llamado anormales. Sin embargo, los estímulos no ocurren en forma aislada. Se sabe que los ambientes naturales son producto de la interacción de un conjunto de diversos elementos y/o factores sujetos a múltiples combinaciones. Es muy probable entonces, descubrir la presencia de estímulos asociados, así el hombre es considerado como un estímulo importante en los procesos de remoción en masa, por deforestación y destrucción de laderas (ESPINOZA, 1985).

Concepto de Sistema de Vertientes

Se considera a las vertientes como sistemas. En otras palabras, se refiere a una combinación de varios tipos de vertientes individuales que conforman el sistema o la gran vertiente, y a las formas deposicionales correlativas a éstas. *“De la clasificación estructural de los sistemas de vertientes queda implícita la acción de la geodinámica externa frente a cada morfoestructura. Por esta razón, ella es resaltada más especialmente en cuanto a la tendencia erosiva de las vertientes de media montaña y de relieves bajos, en los cuales la estructura no es tan definitiva en la explicación de los fenómenos externos como en la alta montaña”*. Esto se debe principalmente a razones morfoclimáticas, pues en los ambientes de media montaña existe poca influencia del frío y las formaciones superficiales cubren de mejor manera las morfoestructuras (ARAYA – VERGARA, 1985). Según lo que indica la Tabla N°1 donde se destaca la doble base de clasificación, estructural y exógena.

Tabla N°1: Sistemas de Vertientes.

1. Influencias Estructurales	2. Influencias Exógenas
<p><u>1.1 Estructura concordante</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cara libre y talud • Cara libre rugosa y talud • Cara libre rugosa • Vertiente de Richter • Residual de plateau <p><u>1.2 Estructura monoclinal</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiente conforme • Vertiente inversa • Discordante indefinida y Hog - back 	<p><u>2.1 Según tendencia erosiva</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De flanco activo • De flanco pasivo • Residual • De excavación <p><u>2.2 Según grado de desgaste de las divisorias</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Interfluvios ferales • Interfluvios suavizados

Fuente: Araya - Vergara, 1985

La máxima influencia estructural se da en el ambiente periglacial de altura (> 3.000 m.s.n.m.), en tanto que la máxima expresión del modelado exógeno es frecuente en el templado seco de baja montaña (< 1.400 m.s.n.m.); encontrándose entre ambos el ambiente templado seco de media montaña, intercalándose la influencia endógena y exógena (3.000 - 1.400 m.s.n.m.) (ARAYA - VERGARA, 1985).

La meteorización es la acción combinada de cada uno de los procesos, a través de la cual la roca es atacada y fragmentada por la exposición prolongada de los agentes atmosféricos; luego los materiales rocosos pueden ser transportados por agentes erosivos como el agua, el hielo, el viento, etc. Por la inclinación de la pendiente y la fuerza de gravedad, los materiales sueltos y fragmentados tienden a rodar hacia el pie de las laderas, originando una acumulación de materiales.

La fuerza de gravedad encuentra una fuerza opuesta, la cual impide la movilización de los materiales sueltos. *Si la fuerza de gravedad excede la segunda, la ladera se moverá y buscará una nueva posición de equilibrio.* Si se reconoce que la ladera se mueve, entonces su geometría y forma será más o menos inestable, y por ende, existirá una mayor o menor predisposición a la ocurrencia de fenómenos que implique peligro (BRUNSDEN, 1979).

Los procesos de transporte aseguran la evacuación de los materiales proporcionados por las vertientes. "Sin su intervención, la fosilización de los

afloramientos rocosos bajo los derrubios acabaría por detener los ataques de la meteorización y de la vegetación (COQUE, 1984).

La remoción en masa juega un papel significativo en el ciclo erosión - sedimentación. Por consiguiente, los movimientos en masa con lleva fenómenos de deposición y no solo de remoción (ARAYA - VERGARA, 2002).

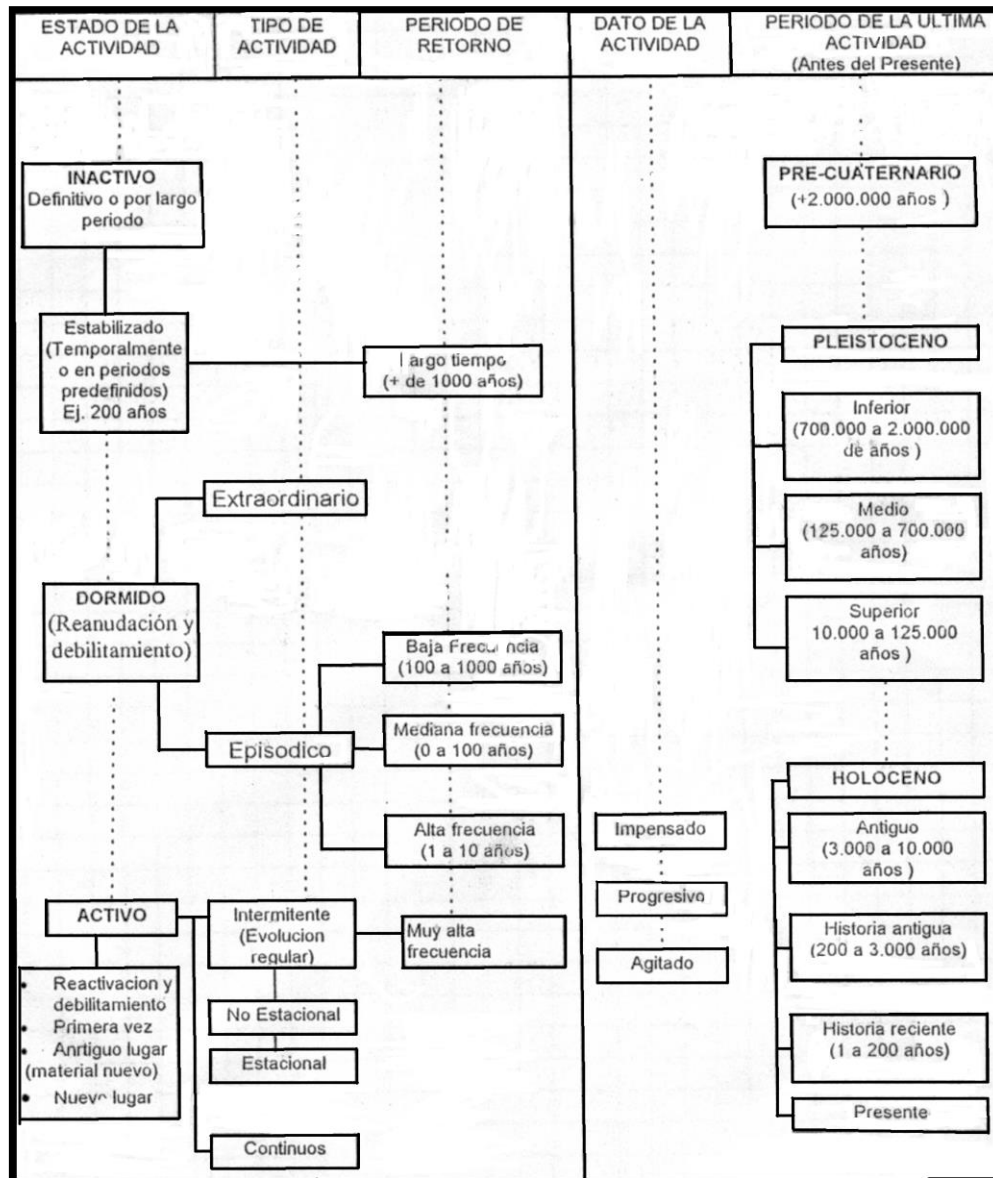
La remoción en masa se refiere intrínsecamente a procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambas, en diversas proporciones, generadas por una serie de factores. Corresponden a procesos gravitacionales, en los que una porción del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original (ARAYA - VERGARA, 2002). Pueden ocurrir a mayor velocidad (flujos detríticos o de barro, deslizamientos, desprendimientos), debido a rupturas o fallas, cuando se excede la resistencia al corte del material, o a menor velocidad, como simples deformaciones superficiales (reptación, Soliflucción), vinculadas a mecanismos climáticos como insolación, congelación y deshielo (HAUSER, 1993).

Cruden (1991 en AYALA - CARCEDO, 2002) define movimiento en ladera como movimiento de una masa de roca, tierra o derrubios hacia abajo de una ladera. Se agrupan bajo el nombre de movimientos en masa todos los procesos de transporte que movilizan en conjunto un volumen más o menos grande de materiales (COQUE, 1984). Los fenómenos de remoción en masa están condicionados por factores geológicos, morfológicos, físicos y humanos, pero son gatillados por un estímulo externo, tales como lluvias intensas, derretimiento rápido de nieves, cambios niveles del agua, erupciones volcánicas, terremotos, rápida erosión de corrientes, etc., que causa una respuesta inmediata en la forma de estos fenómenos, por el rápido incremento de los estrés o por la disminución de la resistencia de los materiales expuestos en las laderas (WIECZOREK, 1996; Y CARRASCO, 2000). Los estudios de movimientos en masa se pueden realizar de dos maneras: **Primero**, considerando la existencia del movimiento - término que da el nombre de actividad (actividad) - y si estos son inactivos, dormidos o activos. **La segunda** forma es incluir el tiempo, a través del período de retorno, el cual define, que tan activo, dormido o inactivo es el fenómeno, permitiendo conocer los fenómenos activos y diferenciarlos por mediciones del material desprendidos e incluso el comienzo y el término de éste, según lo que indica la Figura N°4 (FLAGEOLLET , 1996).

El criterio usado para la clasificación de remoción en masa presentado aquí, impone énfasis en *el tipo de movimiento y en el tipo de material*, de acuerdo a la clasificación de SHARPE, 1938; VARNES, 1978; EPOCH, 1993; DIKAU et al, 1996; EN ARAYA - VERGARA, 2002 Y CRUDEN & VARNES, 1996), según la Tabla N°2. La naturaleza del movimiento se clasifica en: flujos y deslizamientos, no obstante, el volumen de suelo, roca o ambas se mide a través de la textura.

Es un movimiento espacialmente continuo, en el cual las superficies de cizalle son de corta vida, cercanamente espaciadas y usualmente no preservadas. La distribución de velocidades en el desplazamiento de la masa es semejante a la de un líquido viscoso. El límite inferior de la masa desplazada puede ser una superficie a lo largo de la cual ocurren movimientos diferenciales apreciables o una zona gruesa con cizalles distribuidos. Existe una gradación desde deslizamientos a flujos dependiendo del contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento (ARAYA VERGARA, 2002).

Figura N°4: Ocurrencia Temporal de movimientos en masa.



Fuente: Flageollet, 1996.

Flujos de Velocidad o Tasa de Movimiento Imperceptible o Extremadamente Bajo.

Aquellos que la presencia humana no puede percibir (1 año, etc.) si son movimientos actuales.

Soliflucción

Este tipo de estructura es muy importante y está referida a que los horizontes del suelo pueden deformarse (en climas húmedos), formado por cantos de rodados en guirnaldas (ARAYA - VERGARA, 2002). Es un desplazamiento que afecta a una masa de fango despegada de un basamento estable que afecta únicamente a los materiales arcillosos susceptibles de transformarse en fango, por aumento de su contenido en agua líquida (COQUE, 1984). En pendientes fuertes el movimiento se descompone en pequeños deslizamientos escalonados, expresados en peldaños discontinuos de altitud y de anchura deciméticas.

Reptación

Aparentemente es parecida a la Soliflucción, pero tiene un significado distinto. La reptación solo afecta un área pequeña (2mm a 20 cm). Según Young (1972), observa la reptación en terreno, insertando cuerpos en el suelo, ocupando instrumentos de alta precisión. En un determinado tiempo un cuerpo presenta una trayectoria en zigzag, entonces, sube y baja (pero baja más debido a la pendiente), quiere decir que hay un momento en que una fuerza hace subir ese cuerpo, y hay otro momento en que otra fuerza la hace bajar. En la estación húmeda, se tiene una hinchazón del suelo que contiene agua y el suelo se expande; y en la estación seca el suelo se contrae, y por lo tanto, la resultante significa una bajada del material (ARAYA - VERGARA, 2002). Este movimiento se pone en evidencia por la inclinación de los cercos, abombamiento de los muros y encurvamiento hacia fuera de los troncos de los árboles en las proximidades del suelos (HOLMES, 1966).

Flujos de Velocidad o Tasa de Movimiento Extremadamente Bajo a Bajo.

Flujos de detritos y de tierra

Son generalmente mejor conocidos y estudiados, pues los desplazamientos relativos en la masa son comúnmente mayores y más próximos entre sí. La morfología del depósito es bien definida y el efecto del agua como agente fluidizante es parte esencial en la formación de estos procesos.

Flujos de detritos

Existe una gradación completa desde deslizamiento de detritos a flujo de detritos, dependiendo del contenido de agua, movilidad y carácter del movimiento; y una gradación completa desde deslizamiento de detritos a avalanchas de detritos, a medida que el movimiento se vuelve más o menos rápido, debido a la baja cohesión o alto contenido de agua, generalmente en pendientes inclinadas.

Los flujos de detritos es un proceso de remoción en masa del tipo flujo y que afecta a una masa de suelo, en el que el material está saturado en agua, y tiene una concentración de material sólido tal que se comporta mecánicamente como un fluido no newtoniano. Se produce en talwegs poco incididos entre las vertientes. Se caracteriza además por el tamaño de sus partículas; en el que dominan los fragmentos de grano grueso, según la Figura N°5. El movimiento de flujos se ve favorecido por la presencia de suelo en laderas inclinadas, donde la cubierta vegetal ha ido removida. Generalmente siguen drenajes preexistentes y tienen a menudo alta densidad (60 - 70% de sólidos en peso) arrastrando grandes bloques y objetos. Pueden extenderse por muchos kilómetros hasta dejar su carga en un valle de baja gradiente o en la base de un frente de montaña.

Flujos de tierra

Los flujos subaéreos en materiales de grano fino, tales como arenas, limos o arcillas se clasifican como flujos de tierra. Toman una infinidad de formas y varían en su contenido de agua desde sobresaturados a secos.

Flujos de barro

Se entenderá por flujo de barro a un caso particular dentro de los flujos de detritos, en que el porcentaje de material detrítico es menor al 50% en volumen del total de la carga sólida. Encauzado en un talweg que se abre hacia abajo como un cono de deyección, se presentan en morfologías empinadas, integradas por rocas superficialmente tectonizadas (fallas o fracturas) con una gruesa cubierta de suelos residuales y materiales transportados, desprovistos de cobertura vegetal, en ambientes bajo condiciones climáticas propicias a abundantes e intensas lluvias, resultan muy favorables para el desarrollo de flujos de barro. Una vez desencadenados, escurren con velocidad variable (en respuesta a su contenido de agua y pendiente local), en términos volumétricos y energía de avance, es función de la intensidad de las precipitaciones y de la disponibilidad de material fragmentario en el lecho de las estructuras de porteo (Figura N°5).

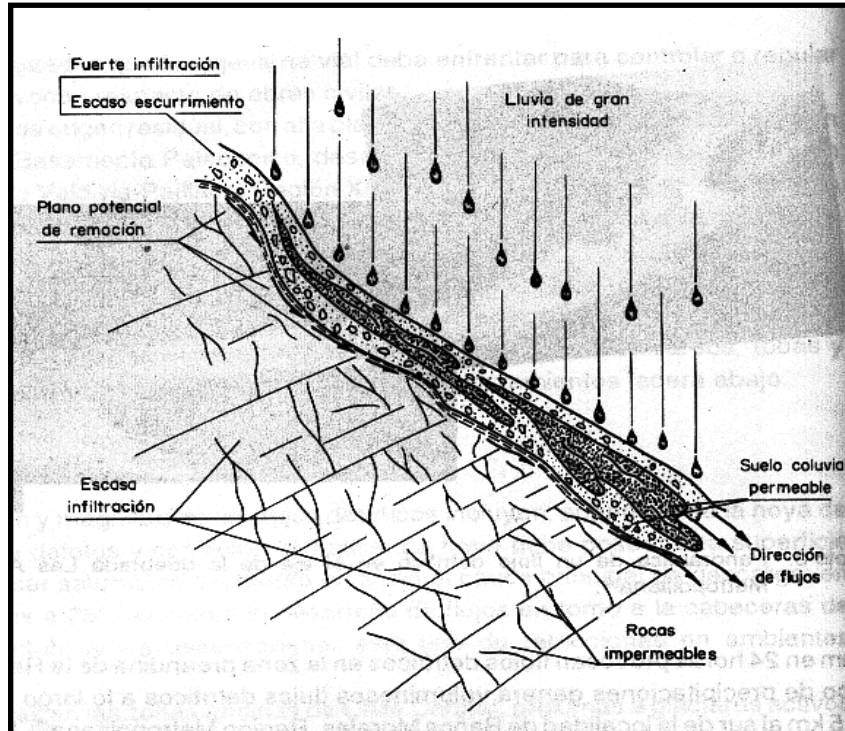


Figura N°5: Esquema desencadenante de flujos de detritos y de barro, según Hauser (1993).

Flujos de Velocidad o Tasa de Movimiento Extremadamente Rápido

Caída o desprendimiento (*Fall*)

La caída de piedras o desprendimiento resulta de la disyunción de fragmentos o de bloques de pequeño tamaño de una pared rocosa. Tras una caída libre, descienden por la pendiente hasta estabilizarse en posición de equilibrio al término de una trayectoria, cuya longitud depende de la inclinación y de la rugosidad de la vertiente, así como de la masa y de la forma de los elementos movilizados. Por etapas o directamente, convergen en conos de derrubios al final de los pasillos que a veces canalizan estas caídas o en taludes de derrubios al pie de los escarpes. Conos y taludes constituyen acumulaciones estables hasta una pendiente límite entre 30 y 35 grados. Los conos de derrubios son alimentados por la crioclastia y retocados por el escurrimiento difuso (fusión nival).

Una caída comienza con el despegue de suelo o roca desde una ladera con pendiente abrupta, a lo largo de una superficie en la cual pueden o no existir pequeños desplazamientos de cizalle. El material desciende principalmente a través del aire por caída libre (pendiente >76 grados), saltación (pendiente <76 grados) o rodando (pendiente < o = 45 grados). El movimiento es muy rápido a

extremadamente rápido y pueden o no ser precedidos por movimientos menores, que permiten una progresiva separación de la masa de su fuente.

Flujo de Velocidad o Tasa de Movimiento Muy Rápido.

Desplome (*Topple*)

Consiste en la rotación de una o varias unidades de material con respecto a un punto o eje bajo el centro de masa del cuerpo desplazado (pivote). Ocurre por acción de la fuerza de gravedad, ejercida por el material que está sobre la superficie de deslizamiento y a veces por la presión de agua o hielo presentes en las fracturas. Se forman bloques inclinados que pueden colapsar y culminar en caídas o deslizamientos, dependiendo de la geometría de la masa en movimiento, la geometría de la superficie de separación y de la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas, según la Figura N°6.

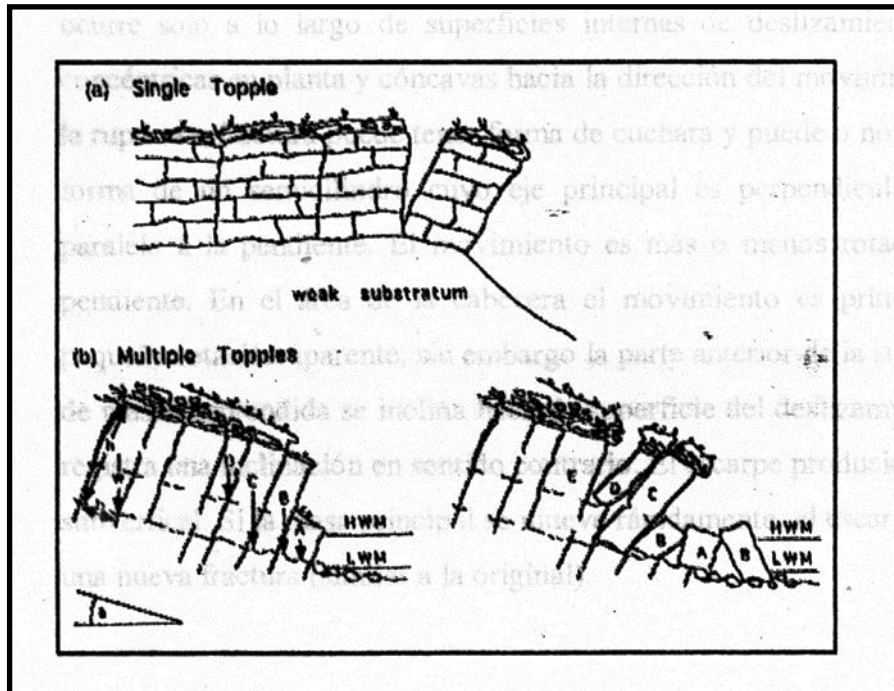


Figura N°6: Esquema de un Desplome (*Topple*).

Flujo de Velocidad o Tasa de Movimiento Rápido.

Deslizamientos de Terreno (*Landslide*)

Consiste en un movimiento pendiente abajo de una masa de suelo o roca que ocurre predominantemente sobre superficies de ruptura o en zonas relativamente

estrechas con intenso *strain de cizalle*. El movimiento es progresivo, es decir se propaga desde un área de debilidad local de cizalle, sin necesitar de un plano o superficie de ruptura previa. A menudo los primeros signos de movimientos son las grietas en la superficie original, a lo largo de las cuales se formara el escarpe original de ruptura. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes. En zonas montañosas y tectónicamente activas es frecuente que el incremento paulatino de las pendientes gatille deslizamientos de gran magnitud. El agua actúa en el mismo sentido, es considerado el agente gatillador más importante.

Los deslizamientos se pueden clasificar:

Deslizamientos Rotacionales

Se mueven a lo largo de superficies de ruptura que son curvas y cóncavas y el movimiento ocurre solo a lo largo de superficies internas de deslizamiento. La superficie que subyace a la ruptura o fractura puede tener forma de cuchara y puede o no ser escarpada, o bien puede tener forma de un cilindro cuyo eje principal es perpendicular al sentido del movimiento y paralelo a la pendiente. En el área de la cabecera el movimiento es principalmente descendente con una pequeña rotación aparente, sin embargo la parte anterior de la superficie del techo de cada unidad de masa desprendida se inclina hacia la superficie del deslizamiento, aunque en algunos casos se registra una inclinación en sentido contrario. El escarpe producido en esta misma área tiende a ser subvertical. Si la masa principal se mueve rápidamente, el escarpe se vuelve inestable y se genera una nueva fractura (similar a la original).

Deslizamientos Traslacional

En este caso la masa en movimiento se desliza por una superficie prácticamente plana o ligeramente ondulada con muy poco movimiento rotacional. Son relativamente más superficiales que los deslizamientos rotacionales. Generalmente la masa se desliza sobre una paleosuperficie y su movimiento es controlado comúnmente por planos de debilidad tales como fallas, diaclasas, superficies entre estratos o por contactos entre la roca y suelos transportados o residuales.

Si bien, en los deslizamientos rotacionales su propia geometría es capaz de estabilizarlo, esto no ocurre en los traslacionales, en los cuales el movimiento puede ser indefinido si la superficie de deslizamiento es lo suficientemente inclinada y posee una baja resistencia al cizalle, según la Figura N°7.

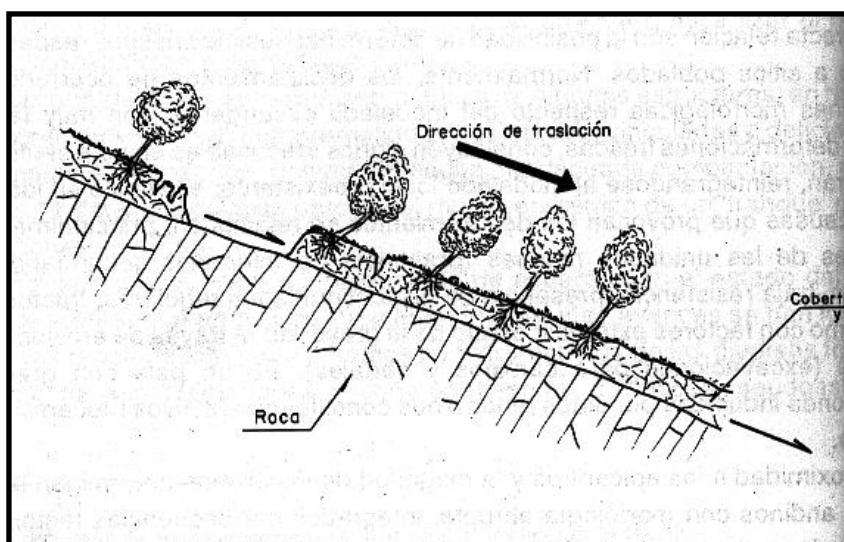


Figura N°7: Esquema de deslizamiento Traslacional.

Tabla N°2: Clasificación de remoción en masa en las vertientes

NATURALEZA DEL MOVIMIENTO	TEXTURA DEL MATERIAL	VELOCIDAD RELATIVA O TASA DE MOVIMIENTO	CRECIENTE CONTENIDO DE HIELO	Categoría TERMINO MEDIO	CRECIENTE CONTENIDO DE AGUA
Flujos	Fina	Extremadamente bajo.	Soliflucción	Reptación	Soliflucción en países húmedos
	Fina	Extremadamente bajo a bajo		↓	Flujos de tierra Flujos de barro
	Gruesa	Extremadamente bajo a bajo		Continuum	Flujos de detritos
	Heterogénea y gruesa	Extremadamente rápido. Muy rápido			Desprendimiento (fall) Desplome (topple)
Deslizamientos	Fina	Rápido		Deslizamiento de terreno: rotacional - traslacional	

Fuente: Esquema fundamental de Sharpe (1938), con modificaciones usando la clasificación EPOCH (European Community Programme, (1993), comparaciones de Dikau et al. (1996) y anotaciones complementarias de Araya - Vergara (2002) y Cruden y Varnes (1996).

La arroyada o escurrimiento.

Consiste en el flujo de aguas de lluvia o de fusión nivales o glaciales, más o menos duradero y rápido en la superficie de las vertientes.

Escurrecimiento concentrado: se caracteriza por un flujo lineal de agua, favorecido por la verticalidad de la pendiente. La concentración se produce por la reunión de un volumen de agua determinada. Con el escurrimiento concentrado la ablación se ejerce linealmente de forma que crea cárcavas, abarrancamientos y barrancos, según la profundidad de la entalladura. El desarrollo de sus agudas vertientes, da lugar a un modelo de disección de crestas agudas regularmente espaciadas, conocidas como tierras malas (*badlands*). Las partículas finas como limos y arcillas se desplazan en suspensión mientras que las arenas y gravas son arrastradas por la corriente, depositándose al pie de las vertientes en construcciones caracterizadas por una estratificación lenticular. (COQUE, 1984).

Escurrecimiento difuso: El flujo de agua se divide en una multitud de hilos sinuosos, anastomosados y cambiantes durante su actividad y de un período de actividad a otro. Cuando estos hilos se extienden hasta el punto de fusionarse, el flujo adquiere la forma de una delgada película de agua en movimiento. Este flujo se ve favorecido por los obstáculos debidos a fragmentos rocosos abundantes y a la vegetación. La carga transportada se extiende así en glaciares de coluviones arcillosos, limosos y arenosos, quedando a veces subrayada su estructura por delgados lechos de gravillas. Tales construcciones determinarían concavidad basal de ciertas pendientes (COQUE, 1984).

Tasa de Movimiento en los procesos de remoción en Masa (CRUDEN Y VARNES, 1996)

La Tabla N°3, muestra una escala de clases de velocidades para remoción en masa. La velocidad para los movimientos en masa es un parámetro cuya importancia destructiva requiere de una definición independiente como la Tabla N°4.

Tabla N°3: Escala de clases de velocidades para remoción en masa.

CLASES DE VELOCIDAD	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (mm/seg)	VELOCIDAD TÍPICA
7	Extremadamente rápido	$5 \cdot 10^3$	5 m/seg
6	Muy rápido	$5 \cdot 10^1$	3 m/min
5	Rápido	$5 \cdot 10^{-1}$	1,8 m/hr
4	Moderado	$5 \cdot 10^{-3}$	13 m/mes
3	Lento	$5 \cdot 10^{-5}$	1,6 m/año
2	Muy Lento	$5 \cdot 10^{-7}$	16 mm/año
1	Extremadamente lento	$5 \cdot 10^{-7}$	16 mm/año

Fuente: Cruden y Varnes, 1996.

Tabla N°4: Importancia destructiva probable de los procesos de remoción en masa.

CLASE DE VELOCIDAD	IMPORTANCIA DESTRUCTIVA PROBABLE
7	Catástrofe de gran violencia; construcciones destruidas por el impacto del material desplazado; muchos muertos
6	Algunas vidas perdidas; velocidad muy grande para permitir que todos escapen.
5	Evacuación de escape posible; estructuras, posesiones y equipos destrozados.
4	Algunas estructuras resistentes pueden mantenerse temporalmente.
3	Pueden realizarse estructuras preventivas durante el movimiento; estructuras resistentes pueden ser mantenidas con trabajo frecuente si el movimiento no es tan grande durante fases de aceleración particulares.
2	Algunas estructuras no son dañadas por el movimiento.
1	El movimiento es imperceptible sin instrumentos; las construcciones son posibles con precaución.

Fuente: Cruden & Varnes, 1996.

**Actividades de los procesos de remoción en masa (CRUDEN & VARNES, 1996).
(Tabla N°5)**

1.- Estado de Actividad

- Remoción en masa activas: Aquellas que están actualmente moviéndose.
- Remoción en masa reactivada: Aquellas que son nuevamente activas después de permanecer inactivas.
- Remoción en masa suspendida: Aquellas que se han movido durante el último ciclo anual de la estación del año, pero que actualmente no lo hacen.
- Remoción en masa inactivas: Aquellas cuyo último movimiento fue hace más de un ciclo anual de la estación. Se subdividen en:
 - a) Latentes: cuando las causas del movimiento permanecen aparentes.
 - b) Abandonadas: Si el río que erosiona el dedo de la ladera que se mueve cambia de rumbo.
 - c) Estables: Si el dedo de la ladera ha estado protegido de la erosión.
 - d) Relictas: Son aquellas que han desarrollado claramente bajo diferentes condiciones geomorfológicas o climáticas, quizás hace miles de años.

2.- Distribución de la actividad

- Remoción en masa avanzante: cuando la superficie de ruptura se extiende en la dirección del movimiento.
- Remoción en masa retrogradadas: si la superficie de ruptura se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado.
- Remoción en masa widening: si la superficie de ruptura se extiende en uno o ambos márgenes laterales.
- Remoción en masa enlarging (crecientes): cuando el movimiento del material desplazado es escaso o cuando la superficie de ruptura está creciendo, añadiendo continuamente material al volumen de material desplazado.
- Remoción en masa decreciente: cuando el volumen del material que está siendo desplazado en un movimiento en masa activa, disminuye con el tiempo.
- Remoción en masa moving (en movimiento): el material desplazado continúa en movimiento, pero la superficie de ruptura no muestra cambios visibles.

3.- Se refiere a la forma en que los diferentes movimientos contribuyen a los movimientos en masa

- Remoción en masa compleja: Son aquellas que tienen un mínimo de dos tipos de movimiento, sin embargo, se sugiere que este término se limite a casos en que los distintos movimientos ocurran en secuencia.
- Remoción en masa compuesta: Se utilizan para describir movimientos en masa en que los diferentes tipos de movimientos ocurren en diferentes áreas de la masa desplazada, a veces en forma simultánea. Sin embargo las diferentes áreas de la masa desplazada muestran diferentes secuencias de movimientos.

- Remoción en masa múltiple: Son aquellos que muestran movimientos repetidos del mismo tipo, por lo general siguiendo un agrandamiento de la superficie de ruptura. La masa recién desplazada está en contacto con la masa que se desplazó previamente, compartiendo muchas veces una superficie de ruptura.
- Remoción en masa sucesiva: Cuando el movimiento es idéntico en tipo al movimiento precedente, pero en contraste con movimientos múltiples, no comparte el material desplazado ni la superficie de ruptura.
- Remoción en masa única: Consisten de un único tipo de movimiento de material, a menudo como un bloque intacto. Este tipo de movimientos difiere de los otros estilos en que estos últimos requieren de una interrupción de la masa desplazada o de movimientos independientes de porciones de masa.

Tabla N°5: Términos descriptivos de su actividad.

MOVIMIENTO EN MASA	ESTADO	DISTRIBUCIÓN	ESTILO
Desprendimiento	Activo	Avanzante	Complejo
Desplome	Reactivado	Retrógrado	Compuesto
Deslizamiento	Suspendido	Widening	Múltiple
Flujo	Latente Abandonado Estable Relicto	Confinado Decreciente En movimiento	Único

Fuente: Varnes & Cruden, 1996

La Pendiente.

Todos los movimientos que se efectúan sobre una vertiente son más o menos función de su inclinación, según Tabla N°6. Para saber a qué niveles de pendiente se pueden producir fenómenos, es necesario hablar de una pendiente crítica o umbral de pendiente (JAQUE, 1995 & ARAYA VERGARA, 2002).

Tabla N°6: Clasificación de Pendiente.

Pendiente en Grados	Pendiente en Porcentajes	Concepto	Umbral Geomorfológico
0 - 2	0 - 4,5	Horizontal	Erosión nula a leve
2 - 5	4,5 - 11	Suave	Erosión débil, difusa. Sheet wash. Inicio de regueras. Soliflucción fría
5 - 10	11,0 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal. Rill wash o desarrollo de regueras. Presencia de Flujo atenuado. Deslizamientos (7° en Margas)
10 - 20	22,0 - 44	Fuerte	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes. Deslizamientos (15° en arcillas)
20 - 30	44,5 - 67	Muy Fuerte a moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación. > 25° Flujos Deslizamientos (20° en arenas)
30 - 45	67 - 100	Escarpada	Coluvionamiento. Soliflucción intensa. Inicio de derrubación.
+ de 45	+ de 100	Muy escarpada a acantilada	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Araya Vergara & Börgel (1972), Joung (1975), Pedraza (1996) y Jaque (1995).

8.- Metodología

8.1.- Evento de Precipitación Máxima:

8.1.1.- Recopilación de la información pluviométrica

Se empleó las series de datos pluviométricos que posee CR(2). Center for climate and Resilience Research, consolidados para fines de investigación y docencia. Obtenidos de las plataformas informáticas de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile, la cual mantiene una red de cobertura nacional con respaldo de la información en el Banco Nacional de Aguas. Esta información contiene la ubicación de las estaciones y los datos históricos registrados.

Cuatro criterios a considerar:

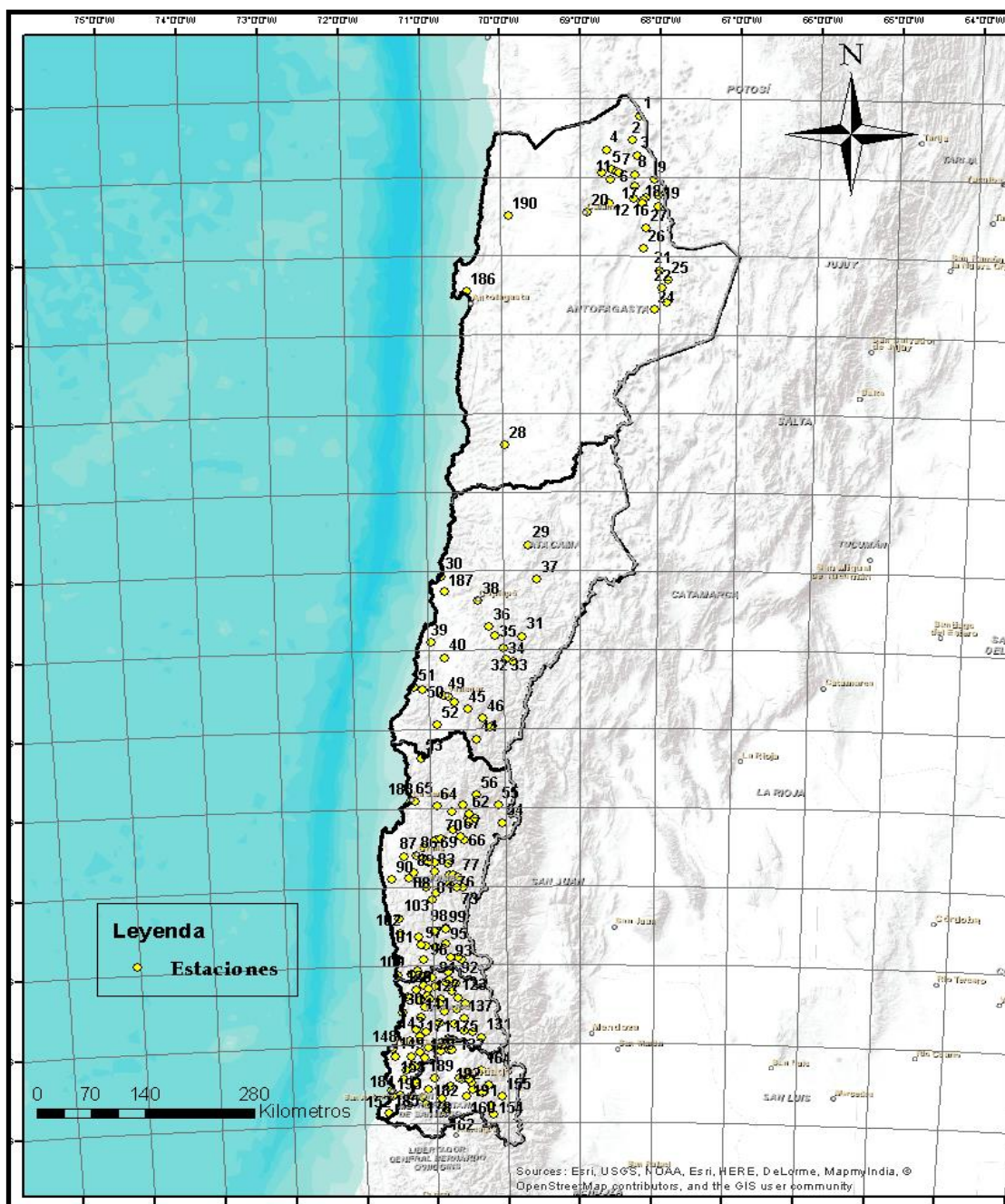
- El total diario de precipitación, de acuerdo a lo establecido internacionalmente, corresponde al agua caída en 24 horas, entre las 12 horas de un día y las 12 horas GMT del día siguiente. De ese mismo modo la máxima en 24 horas corresponde a la producida dentro de ese intervalo de horas.
- El total en dos días de precipitación, corresponde al agua caída máxima en 48 horas.
- El total en tres días de precipitación, corresponde al agua caída máxima en 72 horas.
- La unidad de medida de las precipitaciones es en milímetros.

8.1.2.- Selección de estaciones pluviométricas.

Mediante la elaboración de una serie de tiempo se visualizó una alta irregularidad de los períodos de registro de precipitación. Debido a esto, se implantó un primer criterio de selección que permitiera escoger las estaciones más representativas entre los 21° y 34° Latitud Sur. Este se basó en la cantidad de años de información que posee cada estación, 297 estaciones inicialmente, aunque no todas suministran una continuidad temporal. Por consiguiente, se estableció un criterio de selección que determinó considerar solo las estaciones que contasen con períodos continuos de igual o superior a 18 años, A continuación, con esta selección se trató de optimizar la mayor cobertura espacial de las

estaciones, junto a la máxima extensión temporal. El período de estudio óptimo resultó ser 1940 - 2015. De este modo, fueron seleccionadas 193 estaciones pluviométricas, lo que supone un 65% del total de estaciones para este período. En el Mapa N°1b., se puede apreciar la localización de las estaciones ubicadas entre los 21° y 34° Latitud Sur de Chile continental.

Mapa N°1b: Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas (puntos en amarillo) para el período 1940 -2015.



Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

En la Tabla N°6, se presenta la numeración y la estación correspondiente, así como la latitud, longitud y elevación de la misma.

Tabla N°6: Ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas, con numeración de estación, latitud, longitud y elevación.

Región	Estación	N°	Latitud	Longitud	Altitud
Antofagasta (II)	Ollague	1	-21,22	-68,25	3700
	Cebollar	2	-21,53	-68,34	3730
	Ascotán	3	-21,73	-68,28	3970
	Lequena	4	-21,66	-68,66	3320
	Quinchamale	5	-21,91	-68,60	3080
	San Pedro De Chonchi	6	-21,93	-68,54	3217
	Parshall	7	-21,94	-68,52	3318
	Ojos San Pedro	8	-21,97	-68,31	3800
	Inacalari	9	-22,03	-68,07	4040
	Chonchi Viejo	10	-21,95	-68,72	3491
	Chonchi Embalse	11	-22,03	-68,62	3010
	Chiu-Chiu	12	-22,34	-68,64	2524
	Cupo	13	-22,11	-68,32	3370
	Linzor	14	-22,23	-68,02	4100
	Toconce	15	-22,26	-68,17	3310
	Ayquina	16	-22,28	-68,32	3031
	Salado Embalse	17	-22,29	-68,20	3200
	Caspana	18	-22,34	-68,21	3260
	El Tatio	19	-22,37	-68,01	4370
	Calama	20	-22,45	-68,90	2300
	Toconao	21	-23,19	-68,00	2500
	Camar	22	-23,41	-67,96	2700
	Socaire	23	-23,59	-67,89	3251
	Peine	24	-23,68	-68,06	2460
	Talabre	25	-23,31	-67,89	3300
	San Pedro De Atacama	26	-22,91	-68,20	2450
	Rio Grande	27	-22,65	-68,17	3250
	Aguas Verdes	28	-25,40	-69,96	1560
Atacama (III)	Las Vegas	29	-26,68	-69,67	2250
	Caldera	30	-27,07	-70,82	15
	Jorquera En La Guardia	31	-27,84	-69,76	2000
	Iglesia Colorada	32	-28,16	-69,88	1550
	Manflas	33	-28,13	-69,98	1410
	Lautaro Embalse	34	-27,98	-70,00	1110
	Los Loros	35	-27,83	-70,11	940
	Elibar Campamento	36	-27,72	-70,20	750

Atacama (III)	Pastos Grandes	37	-27,11	-69,56	2260
	Copiapó	38	-27,38	-70,33	385
	El Totoral	39	-27,90	-70,96	150
	Canto De Agua	40	-28,10	-70,78	330
	Los Tambos	41	-28,98	-70,19	1400
	Conay	42	-28,98	-70,15	1450
	El Parral	43	-28,98	-70,20	1400
	El Corral	44	-29,14	-70,38	1820
	Junta Del Carmen	45	-28,75	-70,48	770
	El Tránsito	46	-28,87	-70,28	1100
	Santa Juana	47	-28,67	-70,66	560
	Vallenar Dga	48	-28,59	-70,74	420
	La Compañía (Vallenar)	49	-28,58	-70,81	430
	Freirina	50	-28,51	-71,08	100
	Huasco Bajo	51	-28,47	-71,19	50
	Domeiko	52	-28,95	-70,89	780
Coquimbo (IV)	El Trapiche	53	-29,37	-71,12	300
	La Laguna Embalse	54	-30,20	-70,04	3160
	Juntas	55	-29,98	-70,09	2150
	Huanta	56	-29,85	-70,38	1240
	Rivadavia	57	-29,98	-70,56	820
	Pisco Elqui Dmc	58	-30,12	-70,49	1250
	Los Nichos	59	-30,15	-70,50	1330
	La Ortiga	60	-30,19	-70,48	1560
	Cochiguaz	61	-30,14	-70,40	1560
	Monte Grande	62	-30,09	-70,49	1120
	Vicuña (Inia)	63	-30,06	-70,72	730
	Almendral	64	-29,98	-70,92	370
	La Serena (Escuela Agrícola)	65	-29,91	-71,26	15
	Pabellón	66	-30,41	-70,55	1920
	Las Breas	67	-30,37	-70,61	1600
	Hurtado	68	-30,29	-70,70	1100
	Samo Alto	69	-30,41	-70,94	600
	Pichasca	70	-30,39	-70,87	725
	Recoleta Embalse	71	-30,51	-71,10	350
	Las Ramadas	72	-31,02	-70,59	1380
Tascadero	73	-31,02	-70,67	1230	
Tulahuen	74	-30,97	-70,76	1020	
Caren	75	-30,85	-70,77	740	
Pedregal	76	-30,85	-70,71	880	
Ramadilla	77	-30,89	-70,65	1250	

Coquimbo (IV)	Rapel	78	-30,72	-70,78	870
	Monte Patria	79	-30,69	-70,96	445
	Cogoti 18	80	-31,08	-70,95	840
	Combarbalá	81	-31,17	-71,00	870
	Cogoti Embalse	82	-31,01	-71,09	740
	El Tome	83	-30,82	-70,97	420
	Sotaqui	84	-30,63	-71,12	280
	Paloma Embalse	85	-30,70	-71,04	320
	Ovalle Dga	86	-30,60	-71,20	220
	La Torre	87	-30,62	-71,37	120
	La Placilla	88	-30,89	-71,31	600
	Punitaqui	89	-30,83	-71,25	280
	Pea Blanca	90	-30,90	-71,55	360
	Cuncumén	91	-31,93	-70,61	1100
	La Tranquilla	92	-31,90	-70,67	1000
	Coirón	93	-31,90	-70,77	840
	Salamanca	94	-31,78	-70,97	510
	San Agustín	95	-31,73	-70,83	1050
	Mal Paso	96	-31,75	-71,10	375
	Limahuida	97	-31,75	-71,16	300
	Las Burras	98	-31,53	-70,82	1150
	Santa Virginia	99	-31,55	-70,84	980
	Huintil	100	-31,57	-70,98	650
	Illapel Dga	101	-31,65	-71,19	290
	Mincha Norte	102	-31,59	-71,45	50
	La Canela Dmc	103	-31,40	-71,46	290
	Caimanes	104	-31,93	-71,14	450
	Los Vilos Dmc	105	-31,91	-71,51	10
	Culimo Embalse	106	-32,07	-71,22	380
	Quelón	107	-32,14	-71,16	890
Los Cóndores	108	-32,11	-71,31	190	
Quilimarí	109	-32,12	-71,50	25	
El Trapiche	110	-32,23	-70,71	1180	
Valparaíso (V)	El Sobrante Hacienda	111	-32,23	-70,78	810
	Chincolco	112	-32,22	-70,84	650
	Pedernal Hacienda	113	-32,08	-70,80	1100
	Chalaco	114	-32,18	-70,78	880
	Hierro Viejo	115	-32,28	-71,00	440
	Palquico	116	-32,25	-71,14	450
	Frutillar Alto	117	-32,16	-71,03	780
	El Salvador	118	-32,31	-71,08	340

Valparaíso (V)	Artificio	119	-32,39	-71,09	250
	Las Colmenas	120	-32,31	-71,24	80
	Longotoma	121	-32,39	-71,38	20
	Alicahue	122	-32,34	-70,75	750
	La Mostaza	123	-32,42	-70,68	1200
	La Via	124	-32,43	-70,92	370
	Mina Cerro Negro	125	-32,59	-70,87	650
	Las Puertas	126	-32,49	-70,93	350
	Chacrilla	127	-32,43	-71,06	290
	Las Pataguas	128	-32,53	-71,13	350
	Valle Hermoso	129	-32,44	-71,21	80
	Laguna De Zapallar	130	-32,59	-71,43	50
	Riecillos	131	-32,92	-70,36	1290
	Vilcuya	132	-32,86	-70,47	1100
	Los Andes	133	-32,83	-70,60	820
	San Felipe	134	-32,75	-70,72	640
	Resguardo Los Patos	135	-32,50	-70,58	1220
	El Tártaro	136	-32,57	-70,70	950
	Jahuel	137	-32,68	-70,60	1020
	Catemu	138	-32,73	-70,93	440
	Las Chilcas	139	-32,93	-70,82	850
	Estero Rabuco	140	-32,85	-71,12	300
	El Cobre	141	-32,65	-71,20	280
	Lo Rojas	142	-32,81	-71,27	190
	Quillota	143	-32,90	-71,21	130
	Lliu-Lliu Embalse	144	-33,10	-71,21	260
	Los Aromos	145	-32,96	-71,35	100
	Quebrada Alvarado	146	-33,05	-71,10	290
	Las Piedras	147	-33,15	-71,34	225
	Rodelillo	148	-33,05	-71,58	110
	Lago Peñuelas	149	-33,15	-71,56	360
	Casablanca	150	-33,33	-71,41	290
Tapihue	151	-33,29	-71,29	310	
San Antonio (Pta, Panul)	152	-33,57	-71,63	80	
Metropolitana (13)	Lagunillas	153	-33,44	-71,45	200
	Las Melosas	154	-33,90	-70,20	1527
	El Yeso Embalse	155	-33,68	-70,09	2475
	San Gabriel	156	-33,78	-70,24	1266
	San José De Maipo Reten	157	-33,64	-70,35	943
	Maitenes Bocatoma	158	-33,53	-70,26	1143
	La Obra Recinto Emos	159	-33,59	-70,49	796

Metropolitana (13)	Pirque	160	-33,67	-70,59	659
	Angostura En Valdivia De Paine	161	-33,80	-70,88	350
	Laguna Aculeo	162	-33,89	-70,88	360
	El Vergel	163	-33,70	-70,92	340
	La Ermita Central En Bocatoma	164	-33,34	-70,36	1350
	Cerro Calan	165	-33,40	-70,54	848
	Antupirén	166	-33,50	-70,52	904
	Quebrada Ramon	167	-33,43	-70,53	730
	Terraza Oficinas Centrales Dga	168	-33,45	-70,64	560
	Huechún Embalse	169	-33,09	-70,80	556
	Huechún Andina	170	-33,08	-70,77	590
	Rincón De Los Valles	171	-32,95	-70,75	955
	Caleu	172	-33,01	-70,99	1120
	Rungue Embalse	173	-33,02	-70,91	700
	Til-Til	174	-33,09	-70,93	580
	Fundo Las Bateas	175	-32,95	-70,81	810
	Fundo Marruecos	176	-33,55	-70,82	430
	Carmen De Las Rosas	177	-33,76	-71,15	165
	Melipilla	178	-33,68	-71,20	168
	Colliguay	179	-33,17	-71,15	490
	Los Panguiles	180	-33,44	-71,03	190
	Ibacache Alto	181	-33,48	-71,28	169
	Mallarauco	182	-33,57	-71,11	176
Estero Puangue En Ruta 78	183	-33,66	-71,34	93	
5	Cerrillos De Leyda	184	-33,63	-71,51	182
5	Fundo Las Dos Puertas	185	-33,86	-71,66	24
2	Cerro Moreno Antofagasta Ap,	186	-23,45	-70,44	113
3	Desierto De Atacama; Caldera Ap,	187	-27,26	-70,77	204
4	La Florida; La Serena Ad,	188	-29,92	-71,20	142
13	Quinta Normal; Santiago	189	-33,45	-70,68	527
2	El Loa; Calama Ad,	190	-22,50	-69,90	2293
13	Eulogio Sánchez; Tobalaba Ad,	191	-33,45	-70,55	650
13	Pudahuel Santiago	192	-33,54	-70,79	480
5	Santo Domingo; Ad,	193	-33,66	-71,61	75

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

8.1.3.- Tratamiento de la información.

8.1.3.1.- Regionalización

La elaboración mediante representación espacial. Las estaciones deben estar bajo un mismo sistema de referencia y se homogeneizó en WGS84.

8.1.3.2.-Ajustes a una función de distribución de probabilidad y cálculo de precipitaciones máximas diarias para distintos períodos de retorno

En el presente trabajo se ha realizado un análisis probabilístico de las lluvias diarias extremas a partir de las series de máximos anuales de precipitación en 24, 48 y 72 horas registradas en las estaciones pluviométricas. Se ensayaron diferentes métodos de ajuste a funciones teóricas de distribución mediante el programa EasyFit v.5.6. En concreto, se realizaron ajustes mediante las funciones de distribución estadística de Gumbel Max, ampliamente utilizada para cuantificar el riesgo asociado a valores extremos de precipitación. La ecuación de las funciones de distribución Gumbel Max se expresa a continuación. La distribución de valores extremos tipo 1 de Fisher y Tippett, también conocida como distribución Gumbel Max, es una distribución de asimetría constante e igual a 1,139547, con función de distribución de probabilidad:

$$P = (X \leq x) = e^{-e^{-\frac{(x-b)}{a}}}$$

Está definida para $-\infty < x < \infty$, donde la constante a es un parámetros de escala y b es la moda de la distribución. La estimación de los parámetros por el método de los momentos resulta de las siguientes expresiones:

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad b = \mu - k \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma$$

donde:

μ : media de la población.

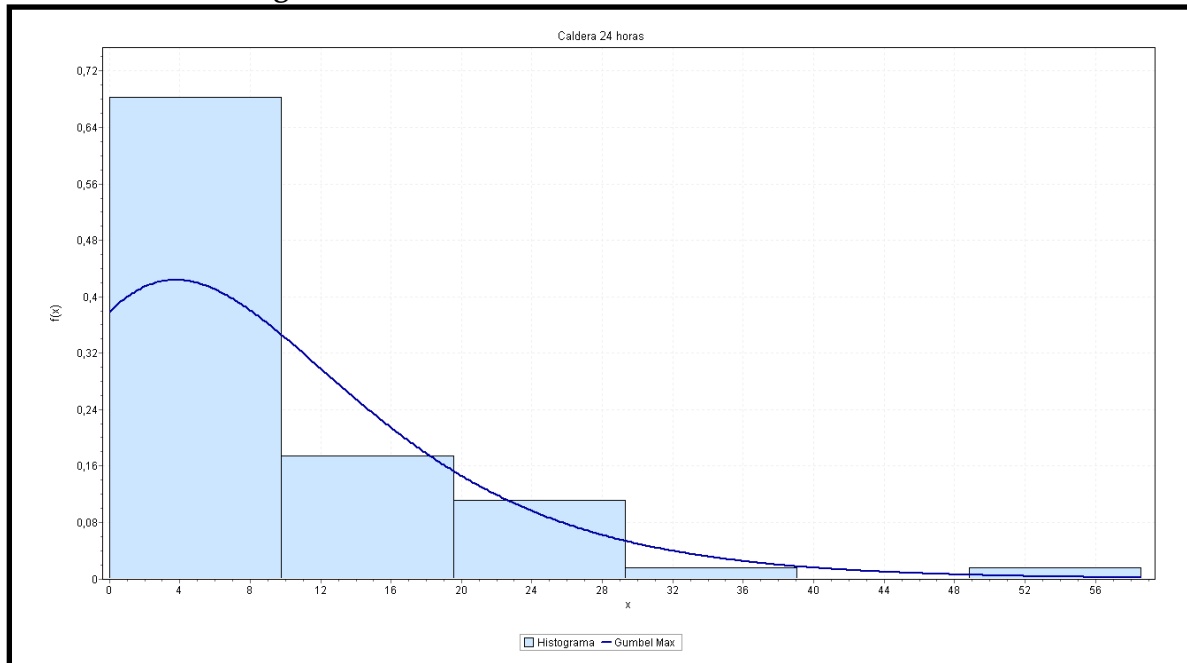
σ : desviación estándar de la población, y

κ : constante de Euler.

8.1.3.3.- Representación gráfica y espacial de precipitaciones máximas para distintos períodos de retorno.

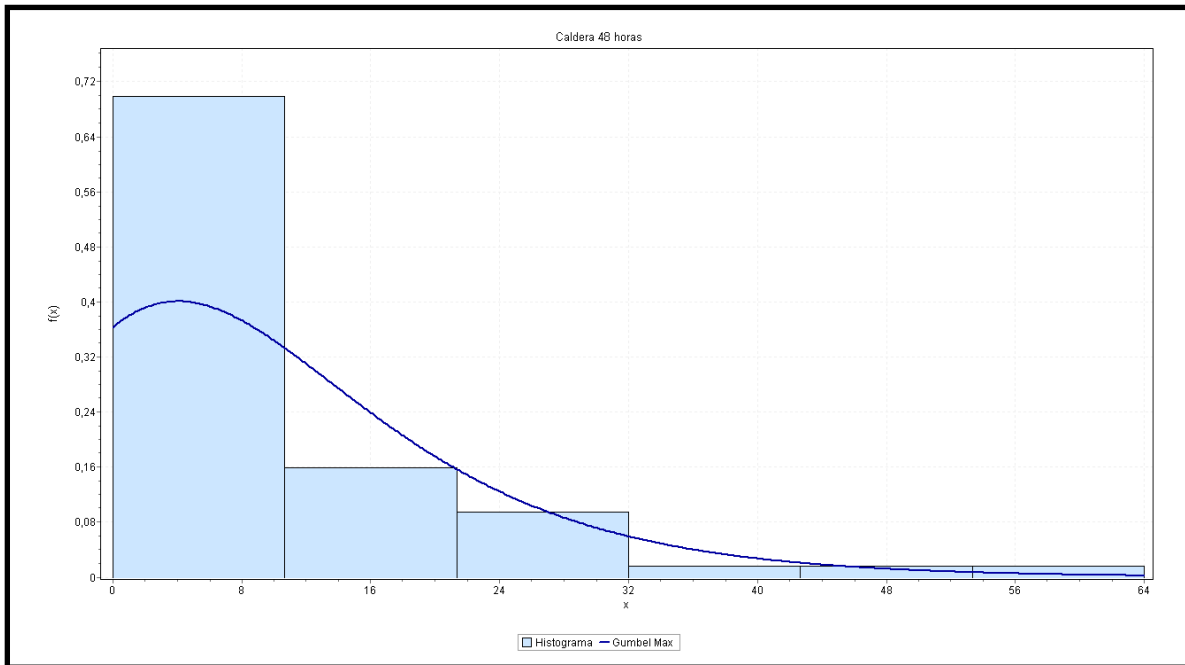
En los Gráfico N°1,2 y 3 se muestran 3 ejemplos de histogramas de frecuencias de las cantidades máximas en 24, 48 y 72 horas y la distribución de ajuste, las cuales tienen sesgo positivo (cola a la derecha), tal como corresponde a valores de extremos máximos.

Gráfico N°1: Histograma de las cantidades máximas en 24 horas. Estación Caldera.



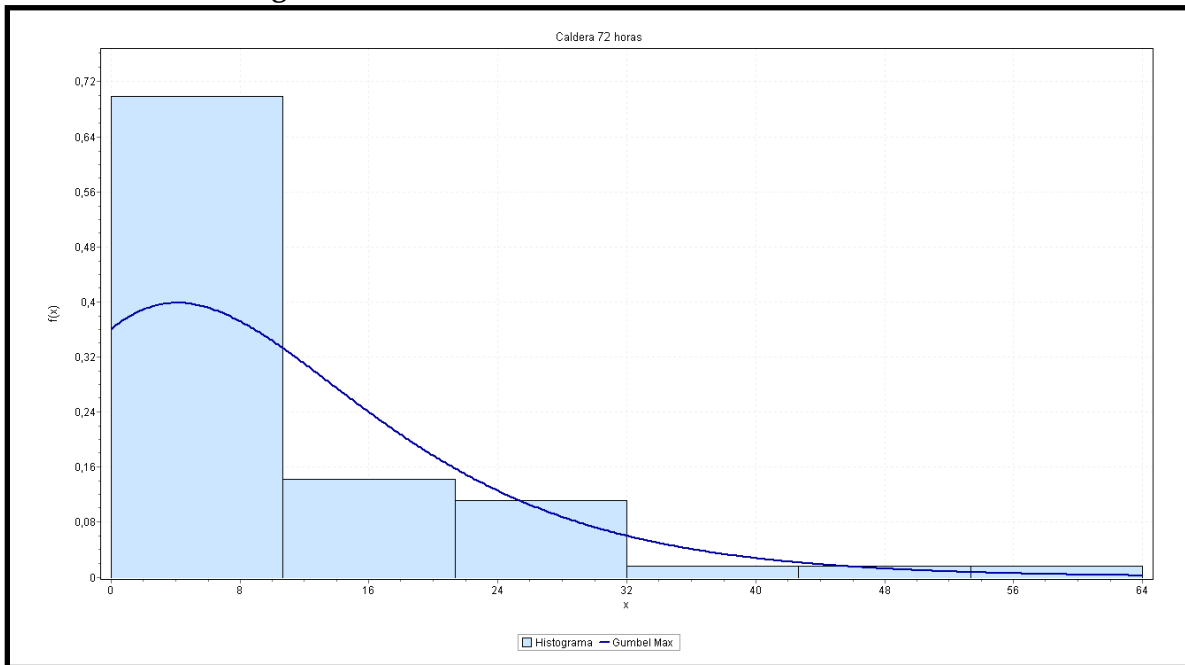
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Easy Fit. 2015.

Gráfico N°2: Histograma de las cantidades máximas en 48 horas. Estación Caldera.



Fuente: Elaboración propia a partir del programa Easy Fit. 2015.

Gráfico N°3: Histograma de las cantidades máximas en 72 horas. Estación Caldera.



Fuente: Elaboración propia a partir del programa Easy Fit. 2015.

A partir de los datos de cada una de las estaciones seleccionadas, se realiza el cálculo de las cantidades diarias máximas esperadas en 24, 48 y 72 horas para períodos de retorno de 10, 50, 100, años mediante la siguiente relación:

$$T(X) = \frac{1}{1-F(X)}$$

siendo:

T(x): tiempo de retorno de una precipitación de x mm, en años;

F(x): probabilidad de ocurrencia anual de un evento inferior a x mm.

Mediante el software ArcGis v.10, se procedió a realizar un análisis geoestadístico, a través del método de SPLINE, que permite crear una superficie interpolada a partir de los datos de precipitaciones y obtener un modelo espacial de distribución de las precipitaciones máximas diarias, a partir de los datos del período 1940-2015.

Hay que advertir, por último, que todas las técnicas de inferencia estadística son sensibles a la información de partida, más aun en el caso de los datos extremos de una muestra, como sucede con las precipitaciones máximas.

8.2.- Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa por flujos.

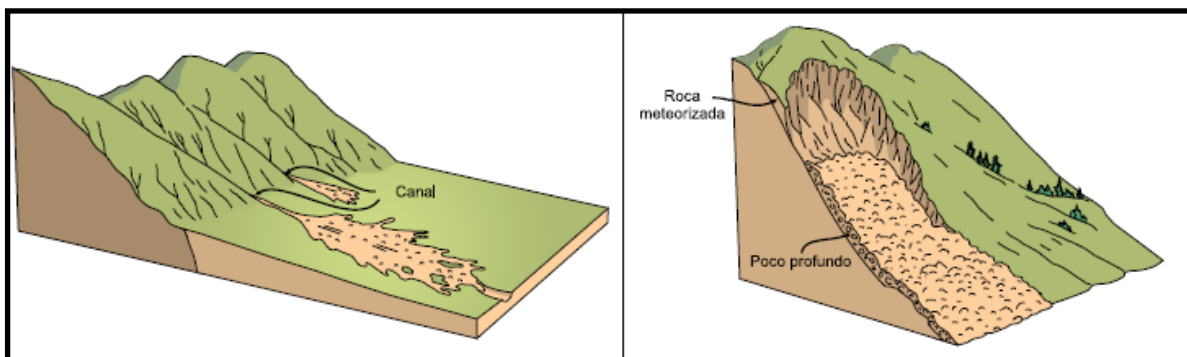
8.2.1.- Definición del Área de Estudio.

El área de estudio es la cuenca del río Copiapó, abarca una superficie de 18.400 km². De esta Cuenca fueron seleccionadas en tres subsubcuencas de un total de 27 de la DGA. A partir de estos se definen las distintas Unidades de Respuesta.

8.2.2.- Elaboración de los factores condicionantes de remociones en masa por flujos.

Corresponden a movimientos continuos en el espacio, de masas de suelo (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, el material está disgregado y se comporta como un fluido, donde las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, sin presentar superficies de rotura definidas. El agua es el principal agente desencadenante, por la pérdida de resistencia a que da lugar en materiales poco cohesivos (VARNES, 1978; GONZÁLEZ DE VALLEJO ET AL., 2002; Y CAMPOS, 2014). Ver Figura N°8 y Cuadro N°1.

Figura N°8: Esquema de flujo canalizado (izq.) y no canalizado (der.)



Cuadro N°1: Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa. Lara (2007).

FACTORES CONDICIONANTES	TIPO DE REMOCION EN MASA	CAIDA	DESIZAMIENTO	TOPPLING	FLUJOS	EXT. ATERALES
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA						
GEOMORFOLOGIA						
HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA						
VEGETACION Y CLIMA						
ACTIVIDAD ANTROPICA						

Se considerarán principalmente: la geomorfología de la zona a evaluar, rasgos como la topografía, pendiente y extensión de laderas entre otros; la geología y geotecnia de la zona de estudio, características como el tipo de material involucrado y las estructuras presentes; una posible intervención antrópica que genere modificaciones en el medio; clima y vegetación que abarca factores como la lluvia y humedad del área, entre otros; y por último la hidrología e hidrogeología. Los sismos y lluvias intensas son considerados como los principales factores desencadenantes de remociones en masa por flujos. Utilizando las siguientes fuentes de información (ver Cuadro N°2):

Cuadro N°2: Estudio preliminar para el estudio de remoción en masa por flujos. Lara (2007)

Factor de estudio		Tópicos a considerar	Herramientas
Determinación área y escala de estudio		<ul style="list-style-type: none"> • Delimitación Geográfica. • Definición escala. • Descarte de zonas de baja pendiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartografía • Cartas Geológicas. • Fotos aéreas.
Factores Condicionantes	Antecedentes Históricos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de eventos ocurridos. • Distribución espacial. • Volumen de material involucrado. • Agente gatillante del evento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía. • Prensa.
	Geología	<ul style="list-style-type: none"> • Roca: litología y delimitación de unidades, alteración, meteorización y estructuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartas geológicas.

		<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: tipo y delimitación de unidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos aéreas. • Bibliografía.
	Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> • Roca: tipos de estructuras, datos de resistencia de macizo y roca intacta. • Suelo: datos de granulometría, resistencia, permeabilidad. 	
	Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de unidades. • Topografía: mapa de pendientes. • Identificación de escarpes de remoción en masa antigua. • Red de drenaje. • Orientación de laderas. • Delimitación y superficie de hoya hidrográfica. 	
	Hidrología e hidrogeología	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de cruces principales y secundarios. • Datos de caudales, escorrentía, infiltración, posiciones y variaciones del nivel freático. 	
	Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo, distribución y densidad. • Variación estacional. 	
	Actividad Antrópica	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de suelo. • Urbanización. • Identificación de obras: rellenos, excavaciones, taludes. Estado de la obra. • Actividad minera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de uso de suelo y urbanización. • Prensa.
Factores Gatillantes	Precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de precipitaciones: tipos, distribución, datos de precipitación acumulada, precipitaciones máximas. • Ubicación isoterma 0°, variaciones estacionales. • Temperaturas: distribución y datos de máximas y mínimas, variaciones en torno al punto de fusión de nieve. • Curvas de frecuencia (T° v/s precipitación). • Eventos generadores de cada tipo de remoción, intensidades asociadas, época del año. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía. • Prensa.
	Sismos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de sismos. • Catastro de sismos, registro de magnitud, intensidad, aceleración. • Recopilación de estudios de peligro sísmico. • Eventos generadores de cada tipo de remoción, magnitudes, intensidades asociadas, aceleraciones asociadas. 	

	Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución. • Catastro. • Tipo de evento generador de remociones. 	
--	-------	---	--

1. Recopilación bibliográfica.
2. Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
3. Mapas, cartas geológicas
4. Antecedentes del área de estudio.
5. Con respecto a los factores gatillantes o desencadenantes, se catastrarán los registros sísmicos y de precipitación disponibles que se han reportado históricamente en el área de estudio.

8.2.3.- Evaluación de la susceptibilidad.

1. Se procederá a evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa por flujos mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS). Se calcula el índice para cada unidad definida previamente, basado en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa en flujos.
2. Para cada factor condicionante de remociones en masa por flujos se establece un peso en porcentaje, que define su grado de importancia en la generación del evento. Este porcentaje se definirá basado en la metodología de LARA (2007), revisión bibliográfica.
3. Basado en la metodología elaborada por LARA (2007), y en la calibración con las observaciones en la zona piloto de la zona central de Chile, hechas paralelamente al desarrollo de la metodología, se utilizan los valores propuestos para el cálculo del IS. Se determina un valor crítico de IS=50 para considerar una unidad susceptible, definido arbitrariamente mediante la calibración con las remociones en masa observadas en la quebrada San Ramón.

4. Evaluación de susceptibilidad a flujos

El Cuadro N°3 muestra la ponderación máxima de factores condicionantes de flujos de Lara (2007):

Factor	Descripción	Porcentaje
Geomorfología	Pendientes de laderas (f1) Pendiente canal de drenaje (f2) Encajamiento canal de drenaje (f3) Exposición al sol (f4)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas del material (f5) Condiciones de humedad y saturación (f6)	35%
Clima-Vegetación	Acumulación de nieve (f7) Cobertura vegetal (f8)	10%
Antrópico	Obstrucción de canal de drenaje(f9) Desestabilización artificial de laderas (f10)	10%
Antecedentes	Aluviones declarados en la hoya (f11)	10%

Fuente: Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos de Lara (2007).

- Para la zonificación de los fenómenos de remoción en masa por flujos se seguirán las recomendaciones de la *International Association of Engineering Geology* (IAEG) y CAMPOS (2014). Estas metodologías han sido realizadas con el objetivo de zonificar la amenaza de fenómenos de remoción en masa por flujos (AYALA - CARCEDO. 2003).

8.3.- Materiales

Para el logro de los objetivos propuestos, se encuentra estructurado de la siguiente forma:

a) **Selección del área de estudio**

Se efectuará con apoyo cartográfico la selección del área de estudio propuesta que comprende Chile Continental entre los 21° y 34° latitud Sur.

- Recopilación de antecedentes básicos.

b) **Información bibliográfica**

c) **Información estadística y cartográfica**

Se trabajará información: base de datos:

- Datos de estaciones pluviométricas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (Banco Nacional de Aguas). Datos históricos y ubicación de las estaciones.
- Datos de las estaciones meteorológicas de la Dirección Meteorológica de Chile. Boletines Meteorológicos de Chile.
- Datos de las estaciones meteorológicas de CR(2). Center for climate and Resilience Research.

Se utilizará la siguiente cartografía:

- Las cartas Topográficas IGM. Escala: 1:50.000. Cuenca del Río Copiapó: Desde la C62 a C64; C72 a C75; C79 A C86; C90 a C96; C102 a C107; C111 a C116; D005 a D008; D013 a D015 y D021 a D023.
- Cartas de Balance Hídrico. DGA.
- SERNAGEOMIN. Mapa Geológico de Chile. 2002. Escala 1:1.000.000. Con sus respectivas fuente de información (ejemplo: escala de detalle 1:100.000)
- SERNAGEOMIN. Cuenca del Río Copiapó: Iriarte, Gardeweg, Godoy, Blanco y Segerstrom: Escala 1:100.000.

9.- Resultados

9.1.- Evento de Precipitación máxima

Como lo señala ÁVILA & MARTÍN VIDE (2013), *“La precipitación es una de las variables meteorológicas que presenta mayor oscilación o variabilidad en el transcurso del tiempo (a veces se presenta en forma de chubascos cortos, pero intensos y otras veces se extiende en una racha de varios días), por lo que el análisis de su variabilidad temporal es de gran importancia en la caracterización del fenómeno”*. En particular, los valores más elevados en un determinado intervalo temporal, sea minutil, horario, diario, etc., resultan decisivos para la planificación territorial y el diseño adecuado de infraestructuras”. En las siguientes tablas se presentan las precipitaciones en 24, 48 y 72 horas, con sus diferentes períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. En resumen las tablas de datos N°7,8 y 9 sus eventos extremos estimados se sitúan: entre 7 y 175 mm para 10 años de recurrencia en 24 horas; entre 12 y 237 para 50 años de recurrencia en 24 horas; y entre 14-266 mm para 100 años de recurrencia en 24 horas; entre 7 y 237 mm para 10 años de recurrencia en 48 horas; entre 12 y 323 para 50 años de recurrencia en 48 horas; y entre 15-323 mm para 100 años de recurrencia en 48 horas; y finalmente entre 7 y 261 mm para 10 años de recurrencia en 72 horas; entre 13 y 359 para 50 años de recurrencia en 72 horas; y entre 15-407 mm para 100 años de recurrencia en 72 horas. Un estimador del riesgo de precipitación máxima y considerada como umbral de los procesos de remoción en masa por flujos *es entre 10 y 30 mm/día en los distintos sectores de la ciudad de Antofagasta, mientras que, 60 mm/día en la zona preandina de la Región Metropolitana, según Hausser (1985 y 1997)*.

Tabla N°7: Valores estimados de la cantidad máxima anual en 24 horas, calculada para diferentes períodos de retorno. 193 estaciones pluviométricas (mm).

Región	Estación	+T10	T50	T100
Antofagasta (II)	Ollague	19,4	30,7	35,5
	Cebollar	16,7	25,7	29,5
	Ascotán	18,8	27,2	30,7
	Lequena	31,9	46,8	53,2
	Quinchamale	16,4	24,3	27,6
	San Pedro De Chonchi	18,3	30,1	35,1
	Parshall	21,0	31,6	36,0
	Ojos San Pedro	21,4	32,3	36,9
	Inacalari	32,5	46,6	52,6
	Chonchi Viejo	25,7	40,3	46,4
	Chonchi Embalse	15,3	23,6	27,1
	Chiu-Chiu	8,2	13,1	15,1
	Cupo	35,9	54,0	61,7
	Linzor	39,7	56,1	63,0

	Toconce	39,9	58,3	66,1
	Ayquina	27,8	42,4	48,6
	Salado Embalse	32,8	48,7	55,3
	Caspana	39,0	60,9	70,1
	El Tatio	36,6	53,0	59,9
	Calama	6,6	10,6	12,3
	Toconao	23,1	36,7	42,4
	Camar	30,4	46,7	53,6
	Socaire	24,7	37,5	42,9
	Peine	20,0	31,0	35,6
	Talabre	33,3	49,9	57,0
	San Pedro De Atacama	16,4	26,6	30,9
	Rio Grande	39,8	59,5	67,9
	Aguas Verdes	25,2	42,3	49,6
Atacama (III)	Las Vegas	66,9	109,4	127,4
	Caldera	30,2	51,3	60,2
	Jorquera En La Guardia	36,9	55,0	62,6
	Iglesia Colorada	44,8	69,8	80,4
	Manflas	41,7	63,2	72,3
	Lautaro Embalse	38,9	60,9	70,2
	Los Loros	42,5	67,5	78,1
	Elibar Campamento	40,7	65,7	76,2
	Pastos Grandes	31,7	48,7	55,9
	Copiapó	27,1	44,2	51,4
	El Totoral	40,3	66,2	77,2
	Canto De Agua	41,3	67,7	78,8
	Los Tambos	54,3	81,9	93,6
	Conay	61,6	94,7	108,7
	El Parral	43,8	67,1	76,9
	El Corral	40,0	57,6	65,0
Atacama (III)	Junta Del Carmen	45,3	69,2	79,3
	El Tránsito	38,2	59,1	67,9
	Santa Juana	43,2	66,7	76,7
	Vallenar Dga	35,2	54,6	62,8
	La Compañía (Vallenar)	31,9	49,9	57,6
	Freirina	36,3	57,4	66,4
	Huasco Bajo	35,5	57,3	66,5
	Domeiko	40,5	64,7	74,9
	El Trapiche	36,3	54,6	62,3
	La Laguna Embalse	61,9	90,0	101,8
	Juntas	45,7	67,3	76,4

Coquimbo (IV)	Huanta	36,3	52,6	59,5
	Rivadavia	52,9	79,5	90,8
	Pisco Elqui Dmc	66,8	100,2	114,4
	Los Nichos	77,0	115,1	131,3
	La Ortiga	71,1	103,0	116,4
	Cochiguaz	49,9	71,1	80,0
	Monte Grande	48,7	73,2	83,5
	Vicuña (Inia)	53,6	77,1	87,0
	Almendral	54,3	78,0	88,0
	La Serena (Escuela Agrícola)	63,3	94,6	107,9
	Pabellón	71,7	101,6	114,2
	Las Breas	60,4	92,0	105,3
	Hurtado	63,2	89,9	101,2
	Samo Alto	59,5	86,3	97,6
	Pichasca	63,0	90,7	102,5
	Recoleta Embalse	58,8	86,2	97,8
	Las Ramadas	58,8	86,2	97,8
	Tascadero	95,2	133,0	148,9
	Tulahuen	98,7	139,3	156,5
	Caren	80,9	112,8	126,3
	Pedregal	106,6	157,4	178,9
	Ramadilla	133,7	195,5	221,6
	Rapel	67,5	94,2	105,5
	Monte Patria	71,2	108,3	124,0
	Cogoti 18	80,3	112,9	126,7
	Combarbalá	92,0	132,3	149,3
	Cogoti Embalse	78,8	113,9	128,7
El Tome	75,5	109,7	124,1	
Sotaqui	63,4	90,5	102,0	
Paloma Embalse	67,7	97,2	109,7	
Ovalle Dga	56,4	80,6	90,8	
La Torre	64,5	95,3	108,4	
La Placilla	97,0	139,2	157,1	
Punitaqui	82,9	120,9	137,0	
Pea Blanca	82,5	121,2	137,6	
Coquimbo (IV)	Cuncumén	85,1	123,1	139,2
	La Tranquilla	85,2	120,1	134,9
	Coirón	103,9	148,2	167,0
	Salamanca	81,8	117,2	132,2
	San Agustín	81,0	112,9	126,3
	Mal Paso	70,6	95,8	106,5

	Limahuida	60,0	81,5	90,6
	Las Burras	100,2	153,3	175,7
	Santa Virginia	64,5	101,4	117,0
	Huintil	68,7	105,6	121,2
	Illapel Dga	60,7	84,8	95,0
	Mincha Norte	64,5	88,9	99,2
	La Canela Dmc	62,2	88,3	99,4
	Caimanes	89,4	127,2	143,2
	Los Vilos Dmc	89,0	127,2	143,3
	Culimo Embalse	86,3	122,7	138,1
	Quelón	87,2	122,4	137,3
	Los Cóndores	81,9	115,8	130,2
	Quilimarí	88,4	123,4	138,2
	El Trapiche	66,2	93,7	105,4
Valparaíso (V)	El Sobrante Hacienda	56,3	76,4	84,9
	Chincolco	69,9	99,6	112,2
	Pedernal Hacienda	83,5	120,4	136,0
	Chalaco	61,3	83,6	93,0
	Hierro Viejo	73,5	106,4	120,3
	Palquico	73,3	101,9	114,0
	Frutillar Alto	79,1	116,7	132,6
	El Salvador	67,3	93,3	104,3
	Artificio	79,4	111,3	124,9
	Las Colmenas	79,9	119,4	136,2
	Longotoma	80,1	112,1	125,7
	Alicahue	69,6	94,0	104,3
	La Mostaza	77,3	104,9	116,6
	La Via	72,4	99,2	110,6
	Mina Cerro Negro	92,1	131,0	147,5
	Las Puertas	77,5	108,4	121,4
	Chacrilla	77,8	111,7	126,0
	Las Pataguas	92,3	129,4	145,0
	Valle Hermoso	79,3	110,6	123,8
	Valparaíso (V)	Laguna De Zapallar	85,5	120,7
Riecillos		109,8	150,1	167,2
Vilcuya		73,3	98,6	109,4
Los Andes		59,6	80,6	89,5
San Felipe		61,6	85,3	95,3
Resguardo Los Patos		76,8	104,8	116,7
El Tártaro		62,0	83,9	93,1
	Jahuel	60,9	81,4	90,1

	Catemu	66,7	93,9	105,5
	Las Chilcas	65,1	89,0	99,0
	Estero Rabuco	98,7	136,8	153,0
	El Cobre	72,4	95,8	105,7
	Lo Rojas	108,2	147,4	164,0
	Quillota	81,8	112,3	125,2
	Lliu-Lliu Embalse	137,8	192,9	216,2
	Los Aromos	105,4	144,4	160,9
	Quebrada Alvarado	116,3	163,1	182,9
	Las Piedras	107,0	160,6	183,3
	Rodillo	118,3	168,2	189,3
	Lago Peñuelas	174,5	239,2	266,5
	Casablanca	104,6	144,0	160,7
	Tapihue	105,6	151,3	170,7
	San Antonio (Pta, Panul)	89,5	123,6	138,0
Metropolitana (13)	Lagunillas	101,4	140,8	157,5
	Las Melosas	138,0	192,2	215,1
	El Yeso Embalse	130,3	188,9	213,7
	San Gabriel	95,1	126,8	140,2
	San José De Maipo Reten	96,4	129,3	143,2
	Maitenes Bocatoma	72,0	97,6	108,5
	La Obra Recinto Emos	135,3	185,7	207,0
	Pirque	83,8	114,4	127,3
	Angostura En Valdivia De Paine	101,8	141,4	158,1
	Laguna Aculeo	127,4	187,0	212,2
	El Vergel	89,6	122,8	136,9
	La Ermita Central En Bocatoma	91,8	129,5	145,4
	Cerro Calan	94,3	131,1	146,6
Metropolitana (13)	Antupirén	81,1	107,9	119,2
	Quebrada Ramón	76,5	106,9	119,7
	Terraza Oficinas Centrales Dga	72,0	99,1	110,5
	Huechún Embalse	68,6	100,1	113,5
	Huechún Andina	69,1	105,1	120,2
	Rincón De Los Valles	79,2	111,2	124,8
	Caleu	139,8	193,8	216,6
	Rungue Embalse	101,8	148,3	168,0
	Til-Til	84,1	122,1	138,1
	Fundo Las Bateas	85,0	119,3	133,7
Fundo Marruecos	71,8	100,3	112,3	

	Carmen De Las Rosas	118,9	169,9	191,5
	Melipilla	80,4	112,4	126,0
	Colliguay	147,4	198,5	220,1
	Los Panguiles	83,1	115,6	129,4
	Ibacache Alto	104,4	144,7	161,8
	Mallarauco	78,0	108,0	120,7
	Estero Puangue En Ruta 78	72,8	101,8	114,0
5	Cerrillos De Leyda	88,5	120,7	134,3
5	Fundo Las Dos Puertas	83,4	114,7	127,9
2	Cerro Moreno Antofagasta Ap,	7,4	12,4	14,6
3	Desierto De Atacama; Caldera Ap,	22,8	36,8	42,7
4	La Florida; La Serena Ad,	55,9	81,5	92,3
13	Quinta Normal; Santiago	70,9	96,4	107,2
2	El Loa; Calama Ad,	11,4	18,9	22,0
13	Eulogio Sánchez; Tobalaba Ad,	73,0	97,9	108,4
13	Pudahuel Santiago	67,4	94,9	106,6
5	Santo Domingo; Ad,	111,4	156,3	175,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°8: Valores estimados de la cantidad máxima anual en 48 horas, calculada para diferentes períodos de retorno. 193 estaciones pluviométricas (mm).

Región	Estación	+T10	T50	T100
Antofagasta (II)	Ollague	27,8	44,2	51,2
	Cebollar	23,7	34,5	39,0
	Ascotán	27,8	40,9	46,5
	Lequena	46,7	70,2	80,1
	Quinchamale	21,3	32,5	37,3
	San Pedro De Chonchi	27,6	41,4	47,2
	Parshall	25,7	38,6	44,1
	Ojos San Pedro	31,7	48,0	54,8
	Inacalari	49,8	72,3	81,7
	Chonchi Viejo	30,9	48,2	55,6
	Chonchi Embalse	17,7	27,3	31,3
	Chiu-Chiu	8,7	13,8	15,9
	Cupo	52,1	78,8	90,1
	Linzor	58,7	83,4	93,9
	Toconce	58,7	86,2	97,8
	Ayquina	38,9	59,9	68,7
	Salado Embalse	47,0	70,4	80,4

	Caspana	54,8	85,5	98,4
	El Tatio	53,5	77,7	87,9
	Calama	7,3	11,8	13,7
	Toconao	32,9	52,6	61,0
	Camar	38,3	59,0	67,7
	Socaire	35,9	55,3	63,4
	Peine	27,4	43,1	49,8
	Talabre	44,8	66,8	76,0
	San Pedro De Atacama	21,6	35,4	41,3
	Rio Grande	52,5	78,1	88,9
	Aguas Verdes	34,3	58,5	68,8
Atacama (III)	Las Vegas	75,1	124,9	146,0
	Caldera	32,3	55,2	64,8
	Jorquera En La Guardia	47,8	71,5	81,5
	Iglesia Colorada	57,2	89,2	102,7
	Manflas	49,9	76,5	87,8
	Lautaro Embalse	45,8	72,0	83,1
	Los Loros	49,7	79,7	92,4
	Elibar Campamento	44,1	71,2	82,7
	Pastos Grandes	36,2	55,5	63,6
	Copiapó	30,8	50,2	58,4
	El Totoral	46,0	76,1	88,9
	Canto De Agua	50,6	83,9	98,0
	Los Tambos	74,3	114,5	131,5
	Conay	81,2	125,5	144,2
	El Parral	55,4	85,3	97,9
	El Corral	47,6	70,0	79,5
Atacama (III)	Junta Del Carmen	58,2	90,8	104,6
	El Tránsito	51,9	82,8	95,8
	Santa Juana	56,5	89,1	102,9
	Vallenar Dga	47,3	75,4	87,2
	La Compañía (Vallenar)	42,2	67,8	78,6
	Freirina	48,7	78,8	91,6
	Huasco Bajo	42,5	70,1	81,8
	Domeiko	57,4	95,1	111,1
	El Trapiche	48,5	74,8	85,9
	La Laguna Embalse	94,6	141,3	161,1
	Juntas	67,9	102,1	116,5
	Huanta	54,0	81,7	93,4
	Rivadavia	69,6	106,3	121,9
	Pisco Elqui Dmc	88,3	134,2	153,6

Coquimbo (IV)	Los Nichos	101,3	152,2	173,7
	La Ortiga	106,9	159,3	181,5
	Cochiguaz	67,3	96,6	108,9
	Monte Grande	68,3	104,3	119,5
	Vicuña (Inia)	47,3	75,4	87,2
	Almendral	67,7	101,2	115,4
	La Serena (Escuela Agrícola)	76,3	113,8	129,7
	Pabellón	97,9	141,6	160,2
	Las Breas	68,6	104,4	119,6
	Hurtado	83,2	120,6	136,3
	Samo Alto	74,7	109,9	124,7
	Pichasca	83,0	121,5	137,8
	Recoleta Embalse	84,6	128,6	147,2
	Las Ramadas	136,1	192,3	216,1
	Tascadero	145,4	208,1	234,6
	Tulahuen	138,1	201,4	228,1
	Caren	119,2	171,7	193,9
	Pedregal	146,1	216,5	246,3
	Ramadilla	134,4	191,5	215,6
	Rapel	94,3	134,3	151,2
	Monte Patria	102,7	159,2	183,1
	Cogoti 18	105,3	151,2	170,5
	Combarbalá	128,5	187,4	212,3
	Cogoti Embalse	114,0	169,5	192,9
El Tome	105,0	155,7	177,2	
Sotaqui	84,8	124,0	140,5	
Paloma Embalse	92,0	134,6	152,6	
Ovalle Dga	76,1	110,6	125,2	
La Torre	81,3	121,3	138,2	
La Placilla	139,8	204,0	231,1	
Punitaqui	112,5	167,5	190,8	
Pea Blanca	111,6	166,5	189,7	
Cuncumén	127,5	188,6	214,5	
La Tranquilla	123,3	176,4	198,9	
Coirón	163,8	240,0	272,2	
Salamanca	122,6	180,0	204,3	
San Agustín	112,3	158,5	178,1	
Mal Paso	110,1	157,1	176,9	
Limahuida	85,0	119,3	133,8	
Las Burras	124,3	187,3	213,9	
Santa Virginia	82,7	130,4	150,6	

	Huintil	95,1	147,3	169,3
	Illapel Dga	87,6	125,4	141,4
	Mincha Norte	84,1	117,8	132,0
	La Canela Dmc	83,3	120,3	135,9
	Caimanes	123,2	179,0	202,6
	Los Vilos Dmc	135,3	198,8	225,7
	Culimo Embalse	115,3	164,9	185,9
	Quelón	119,4	169,7	190,9
	Los Cóndores	116,8	168,9	190,9
	Quilimarí	137,7	199,1	225,0
	El Trapiche	92,4	133,6	151,0
Valparaíso (V)	El Sobrante Hacienda	82,6	117,0	131,6
	Chincolco	89,5	128,8	145,5
	Pedernal Hacienda	122,0	178,9	203,0
	Chalaco	95,1	134,9	151,6
	Hierro Viejo	102,1	149,3	169,2
	Palquico	109,5	156,0	175,7
	Frutillar Alto	117,7	175,6	200,1
	El Salvador	97,2	138,3	155,6
	Artificio	113,3	162,1	182,7
	Las Colmenas	108,5	163,4	186,7
	Longotoma	111,9	159,9	180,1
	Alicahue	110,0	155,8	175,2
	La Mostaza	122,0	172,4	193,7
	La Via	108,0	152,2	170,9
	Mina Cerro Negro	143,2	208,9	236,6
	Las Puertas	137,7	190,8	213,3
	Chacrilla	112,8	164,3	186,1
	Las Pataguas	133,5	188,7	212,1
	Valle Hermoso	121,3	174,7	197,2
	Valparaíso (V)	Laguna De Zapallar	128,0	184,3
Riecillos		172,5	242,1	271,5
Vilcuya		113,1	157,8	176,7
Los Andes		163,8	240,0	272,2
San Felipe		91,9	132,0	149,0
Resguardo Los Patos		115,6	161,8	181,3
El Tártaro		93,9	130,6	146,1
Jahuel		89,8	124,5	139,2
Catemu		101,5	145,8	164,5
Las Chilcas		100,3	141,9	159,4
	Estero Rabuco	142,2	199,4	223,6

	El Cobre	101,3	136,6	151,5
	Lo Rojas	157,4	219,5	245,7
	Quillota	121,2	171,9	193,3
	Lliu-Lliu Embalse	207,9	298,7	337,1
	Los Aromos	141,7	196,5	219,7
	Quebrada Alvarado	181,5	260,6	294,0
	Las Piedras	147,8	220,4	251,1
	Rodelillo	154,7	217,3	243,8
	Lago Peñuelas	238,7	325,5	362,2
	Casablanca	135,3	187,7	209,8
	Tapihue	156,3	228,2	258,6
	San Antonio (Pta, Panul)	112,5	155,7	173,9
Metropolitana (13)	Lagunillas	123,7	168,9	188,1
	Las Melosas	217,4	304,2	340,9
	El Yeso Embalse	201,0	296,8	337,3
	San Gabriel	155,8	214,0	238,6
	San José De Maipo Reten	149,8	204,3	227,3
	Maitenes Bocatoma	108,9	150,8	168,6
	La Obra Recinto Emos	199,9	282,3	317,2
	Pirque	120,0	165,9	185,4
	Angostura En Valdivia De Paine	149,0	211,6	238,0
	Laguna Aculeo	194,8	292,7	334,0
	El Vergel	134,9	193,5	218,3
	La Ermita Central En Bocatoma	140,9	202,3	228,3
	Cerro Calan	124,9	174,2	195,0
Metropolitana (13)	Antupirén	116,7	158,3	175,8
	Quebrada Ramon	111,7	160,3	180,8
	Terraza Oficinas Centrales Dga	97,2	133,9	149,5
	Huechún Embalse	96,6	141,9	161,1
	Huechún Andina	96,5	147,4	169,0
	Rincón De Los Valles	121,7	174,9	197,4
	Caleu	219,6	314,6	354,7
	Rungue Embalse	156,1	231,8	263,8
	Til-Til	140,9	202,3	228,3
	Fundo Las Bateas	132,2	188,6	212,4
	Fundo Marruecos	102,5	145,3	163,4
	Carmen De Las Rosas	140,9	197,0	220,8
	Melipilla	116,6	166,4	187,4
Colliguay	220,5	303,7	338,9	

	Los Panguiles	113,7	160,9	180,9
	Ibacache Alto	140,8	198,4	222,7
	Mallarauco	119,4	171,6	193,6
	Estero Puangue En Ruta 78	96,2	134,5	150,7
5	Cerrillos De Leyda	120,4	166,4	185,8
5	Fundo Las Dos Puertas	119,8	167,2	187,3
2	Cerro Moreno Antofagasta Ap,	7,6	12,8	15,0
3	Desierto De Atacama; Caldera Ap,	26,1	42,2	49,1
4	La Florida; La Serena Ad,	68,6	100,5	114,1
13	Quinta Normal; Santiago	99,6	137,4	153,4
2	El Loa; Calama Ad,	12,7	20,9	24,4
13	Eulogio Sánchez; Tobalaba Ad,	100,2	136,6	152,0
13	Pudahuel Santiago	89,3	126,4	142,1
5	Santo Domingo; Ad,	137,7	190,8	213,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°9: Valores estimados de la cantidad máxima anual en 72 horas, calculada para diferentes períodos de retorno. 193 estaciones pluviométricas (mm).

Región	Estación	+T10	T50	T100
Antofagasta (II)	Ollague	59,3	92,4	106,3
	Cebollar	28,2	41,3	46,9
	Ascotán	34,0	50,5	57,5
	Lequena	59,8	91,9	105,4
	Quinchamale	23,4	35,6	40,8
	San Pedro De Chonchi	59,3	92,4	106,3
	Parshall	28,5	42,8	48,8
	Ojos San Pedro	40,3	61,6	70,6
	Inacalari	63,4	93,1	105,7
	Chonchi Viejo	35,2	55,3	63,8
	Chonchi Embalse	18,3	28,1	32,2
	Chiu-Chiu	8,9	13,9	16,1
	Cupo	61,8	93,5	106,9
	Linzor	72,8	104,0	117,1
	Toconce	73,9	110,1	125,4
	Ayquina	44,8	69,1	79,3
	Salado Embalse	58,4	88,5	101,2
	Caspana	67,7	106,7	123,1
El Tatio	66,7	97,1	109,9	

	Calama	7,5	12,2	14,1
	Toconao	39,5	63,2	73,3
	Camar	41,9	64,4	73,9
	Socaire	42,4	65,4	75,1
	Peine	30,3	47,8	55,3
	Talabre	56,7	85,7	97,9
	San Pedro De Atacama	26,9	44,7	52,3
	Rio Grande	61,5	91,7	104,5
	Aguas Verdes	34,3	58,5	68,8
Atacama (III)	Las Vegas	84,4	141,4	165,5
	Caldera	32,3	55,2	64,8
	Jorquera En La Guardia	51,1	76,8	87,6
	Iglesia Colorada	59,3	92,4	106,3
	Manflas	53,8	83,2	95,6
	Lautaro Embalse	48,9	77,3	89,2
	Los Loros	51,3	82,3	95,4
	Elibar Campamento	44,9	72,4	84,0
	Pastos Grandes	37,8	58,2	66,9
	Copiapó	31,5	51,3	59,7
	El Totoral	47,6	78,9	92,1
	Canto De Agua	54,5	90,9	106,4
	Los Tambos	81,7	126,6	145,6
	Conay	87,9	136,3	156,8
Atacama (III)	El Parral	60,5	94,0	108,1
	El Corral	50,7	75,5	86,0
	Junta Del Carmen	61,8	97,0	111,9
	El Tránsito	58,1	93,7	108,7
	Santa Juana	61,1	97,3	112,6
	Vallenar Dga	53,7	86,5	100,4
	La Compañía (Vallenar)	47,3	76,9	89,4
	Freirina	54,5	89,2	103,9
	Huasco Bajo	48,8	81,7	95,6
	Domeiko	57,5	95,4	111,4
	El Trapiche	51,3	79,4	91,3
	La Laguna Embalse	117,6	179,2	205,2
	Juntas	78,0	118,6	135,7
	Huanta	56,4	85,5	97,8
	Rivadavia	79,7	123,9	142,6
	Pisco Elqui Dmc	105,2	162,6	186,9
	Los Nichos	117,8	179,4	205,4
	La Ortiga	126,1	191,6	219,2

Coquimbo (IV)	Cochiguaz	74,4	108,1	122,3
	Monte Grande	78,1	120,8	138,9
	Vicuña (Inia)	75,1	110,9	126,0
	Almendral	73,0	109,9	125,5
	La Serena (Escuela Agrícola)	84,0	127,2	145,4
	Pabellón	111,0	162,7	184,6
	Las Breas	71,8	109,6	125,6
	Hurtado	94,2	138,6	157,4
	Samo Alto	77,0	113,6	129,0
	Pichasca	91,6	136,0	154,8
	Recoleta Embalse	92,3	141,1	161,8
	Las Ramadas	141,7	213,8	244,2
	Tascadero	169,0	246,1	278,7
	Tulahuen	158,8	235,5	267,9
	Caren	136,9	200,6	227,6
	Pedregal	176,9	268,4	307,1
	Ramadilla	144,4	206,7	233,1
	Rapel	107,7	155,6	175,8
	Monte Patria	110,1	171,3	197,2
	Cogoti 18	120,0	174,1	197,0
	Combarbalá	142,9	209,6	237,8
	Cogoti Embalse	126,5	189,3	215,8
	El Tome	114,8	171,2	195,0
	Sotaqui	91,8	135,3	153,7
	Paloma Embalse	105,6	157,1	178,9
	Ovalle Dga	85,6	126,0	143,1
	La Torre	88,7	133,4	152,3
La Placilla	155,0	228,3	259,3	
Punitaqui	120,2	178,7	203,4	
Pea Blanca	122,8	185,3	211,7	
Coquimbo (IV)	Cuncumén	147,1	219,2	249,8
	La Tranquilla	135,2	194,6	219,7
	Coirón	182,6	269,5	306,2
	Salamanca	137,4	203,4	231,3
	San Agustín	127,8	183,0	206,3
	Mal Paso	121,7	175,2	197,9
	Limahuida	95,7	135,8	152,8
	Las Burras	128,5	192,9	220,1
	Santa Virginia	88,8	140,7	162,6
	Huintil	102,4	159,0	182,9
	Illapel Dga	96,4	139,0	157,0

	Mincha Norte	91,4	129,5	145,6
	La Canela Dmc	95,6	140,5	159,4
	Caimanes	136,0	199,1	225,7
	Los Vilos Dmc	148,8	218,7	248,3
	Culimo Embalse	130,8	190,1	215,2
	Quelón	140,5	203,5	230,1
	Los Cóndores	130,1	190,0	215,3
	Quilimarí	150,6	218,4	247,1
	El Trapiche	101,9	148,0	167,5
Valparaíso (V)	El Sobrante Hacienda	95,2	136,9	154,6
	Chincolco	95,0	135,8	153,0
	Pedernal Hacienda	139,9	207,1	235,5
	Chalaco	105,0	149,8	168,7
	Hierro Viejo	111,9	164,4	186,6
	Palquico	119,4	171,0	192,8
	Frutillar Alto	128,8	193,5	220,8
	El Salvador	109,6	157,3	177,5
	Artificio	128,4	186,1	210,5
	Las Colmenas	127,8	194,7	223,0
	Longotoma	134,0	195,4	221,3
	Alicahue	122,2	174,8	197,1
	La Mostaza	135,0	191,9	215,9
	La Via	118,2	168,6	189,9
	Mina Cerro Negro	163,2	242,1	275,5
	Las Puertas	129,9	189,1	214,1
	Chacrilla	122,5	179,4	203,5
	Las Pataguas	156,0	225,6	255,0
	Valle Hermoso	139,4	203,3	230,4
	Laguna De Zapallar	154,6	228,5	259,7
	Riecillos	207,7	295,3	332,3
	Vilcuya	129,5	182,9	205,5
	Valparaíso (V)	Los Andes	102,0	144,8
San Felipe		102,1	147,7	167,0
Resguardo Los Patos		134,9	190,8	214,5
El Tártaro		101,9	142,3	159,4
Jahuel		95,6	133,0	148,8
Catemu		117,7	171,0	193,6
Las Chilcas		121,7	178,1	202,0
Estero Rabuco		168,5	240,3	270,7
El Cobre		108,9	145,8	161,4
Lo Rojas		189,1	270,3	304,6

	Quillota	146,5	212,1	239,8
	Lliu-Lliu Embalse	254,0	373,2	423,6
	Los Aromos	172,5	245,1	275,8
	Quebrada Alvarado	218,2	319,5	362,4
	Las Piedras	173,1	259,7	296,2
	Rodelillo	171,0	240,0	269,2
	Lago Peñuelas	263,2	359,0	399,5
	Casablanca	151,4	212,2	237,9
	Tapihue	176,1	258,7	293,7
	San Antonio (Pta, Panul)	129,4	179,7	201,0
Metropolitana (13)	Lagunillas	138,6	191,8	214,2
	Las Melosas	264,8	375,0	421,5
	El Yeso Embalse	243,6	362,9	413,4
	San Gabriel	197,2	276,3	309,7
	San José De Maipo Reten	184,9	257,3	287,9
	Maitenes Bocatoma	129,7	183,7	206,6
	La Obra Recinto Emos	240,4	346,8	391,8
	Pirque	145,1	204,5	229,6
	Angostura En Valdivia De Paine	159,9	227,6	256,3
	Laguna Aculeo	217,3	328,4	375,5
	El Vergel	159,7	234,5	266,1
	La Ermita Central En Bocatoma	170,0	248,7	281,9
	Cerro Calan	153,3	219,5	247,5
Metropolitana (13)	Antupirén	144,7	202,1	226,4
	Quebrada Ramon	141,6	207,6	235,5
	Terraza Oficinas Centrales Dga	119,9	169,5	190,4
	Huechún Embalse	113,7	170,9	195,1
	Huechún Andina	111,4	172,0	197,7
	Rincón De Los Valles	142,5	208,0	235,7
	Caleu	265,2	389,2	441,6
	Rungue Embalse	185,1	278,0	317,3
	Til-Til	142,0	210,5	239,4
	Fundo Las Bateas	156,8	228,9	259,4
	Fundo Marruecos	125,5	182,1	206,0
	Carmen De Las Rosas	155,5	218,1	244,6
	Melipilla	136,5	198,4	224,5
Colliguay	260,7	366,3	410,9	
Los Panguiles	139,2	202,5	229,3	
Ibacache Alto	160,7	231,0	260,7	

	Mallarauco	141,5	208,7	237,1
	Estero Puangue En Ruta 78	108,5	152,7	171,4
5	Cerrillos De Leyda	138,1	190,7	212,9
5	Fundo Las Dos Puertas	135,0	187,5	209,7
2	Cerro Moreno Antofagasta Ap,	7,6	12,8	15,0
3	Desierto De Atacama; Caldera Ap,	26,3	42,5	49,4
4	La Florida; La Serena Ad,	73,0	108,2	123,0
13	Quinta Normal; Santiago	121,0	171,4	192,8
2	El Loa; Calama Ad,	13,0	21,5	25,1
13	Eulogio Sánchez; Tobalaba Ad,	119,8	166,6	186,5
13	Pudahuel Santiago	105,6	152,7	172,7
5	Santo Domingo; Ad,	151,4	210,2	235,0

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente en el cuadro resumen N°4; N°5 y N°6, presentan características similares:

- 1.- La región de Antofagasta no supera el umbral de los 30 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años.
- 2.- La región de Antofagasta y Atacama no supera el umbral de los 60 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años.
- 3.- La región Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana supera el umbral de los 60 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Cuadro resumen N°4

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS						
Período de Retorno	% estaciones >30 mm	% estaciones <30 mm	Regiones Representativas <30 mm	% estaciones >60 mm	% estaciones <60 mm	Regiones Representativas <60 mm
10	89	11	II	65	35	II-III
50	95	5	II	78	22	II-III
100	96	4	II	85	15	II-III

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro resumen N°5

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 48 HORAS						
Período de Retorno	% estaciones >30 mm	% estaciones <30 mm	Regiones Representativas <30 mm	% estaciones >60 mm	% estaciones <60 mm	Regiones Representativas <60 mm
10	93	7	II	72	28	II-III
50	98	2	II	88	12	II-III
100	98	2	II	91	9	II-III

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro resumen N°6

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 72 HORAS						
Período de Retorno	% estaciones >30 mm	% estaciones <30 mm	Regiones Representativas <30 mm	% estaciones >60 mm	% estaciones <60 mm	Regiones Representativas <60 mm
10	95	5	II	77	23	II-III
50	98	2	II	91	9	II-III
100	98	2	II	93	7	II-III

Fuente: Elaboración propia.

La distribución espacial de la precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas para los diferentes períodos de retorno de 10, 50 y 100 años, presentan un conjunto de patrones que son representados en sus respectivos mapas y cuadro resumen N°7.

En el **Mapa N°2**, se identifican los siguientes patrones espaciales de poniente a Oriente:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 23 y 26 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 25 y 14 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 14 y 36 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 8 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 34 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 23 y 34 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 34 y 31 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 40 y 68 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 68 y 40 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 27 y 23 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 22 y 34 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 33 y 29 mm (disminuye).
- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 29 y 33 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 35 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 70 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Molle: rango de precipitación máxima entre 65 y 51 mm (disminuye).
- Entre el Molle y el poblado de Chapilca rango de precipitación máxima entre 51 y 53 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Chapilca y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 53 y 33 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 33 y 59 mm (aumenta).

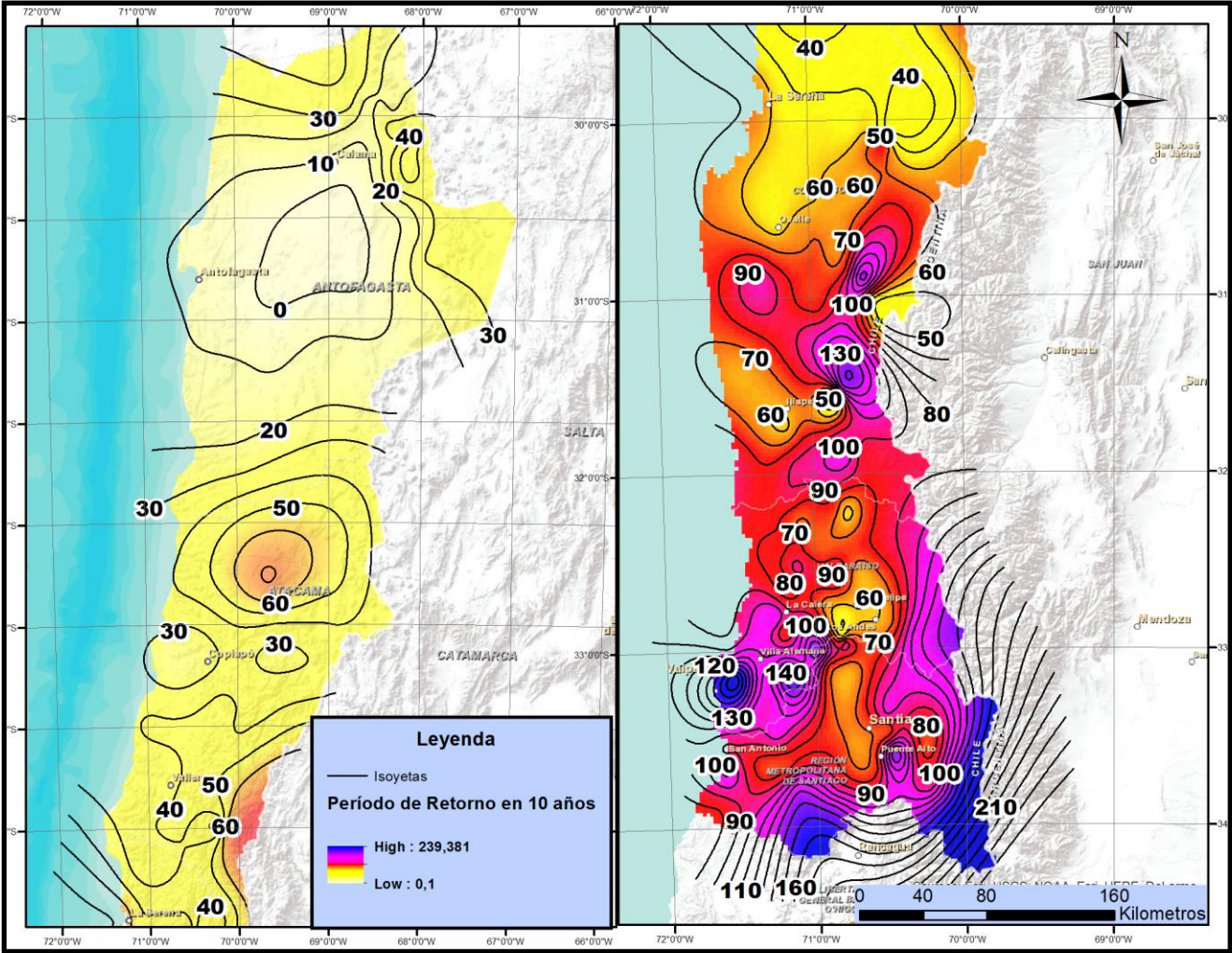
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 92 y 60 mm (disminuye).
- Entre Quilpué y Juncal rango de precipitación máxima entre 60 y 130 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 113 y 62 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 62 y 87 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 87 y 79 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 79 y 165 mm (Aumenta).

Mapa N°2: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 24 horas para períodos de retorno de 10 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°3**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 37 y 41 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 41 y 23 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 23 y 48 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 13 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 2 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 2 y 47 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 40 y 57 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 57 y 51 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 70 y 115 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 115 y 65 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 44 y 36 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 36 y 52 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 52 y 42 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 42 y 48 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 58 y 50 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 50 y 112 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 97 y 73 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 73 y 77 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 77 y 50 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 50 y 93 mm (aumenta).

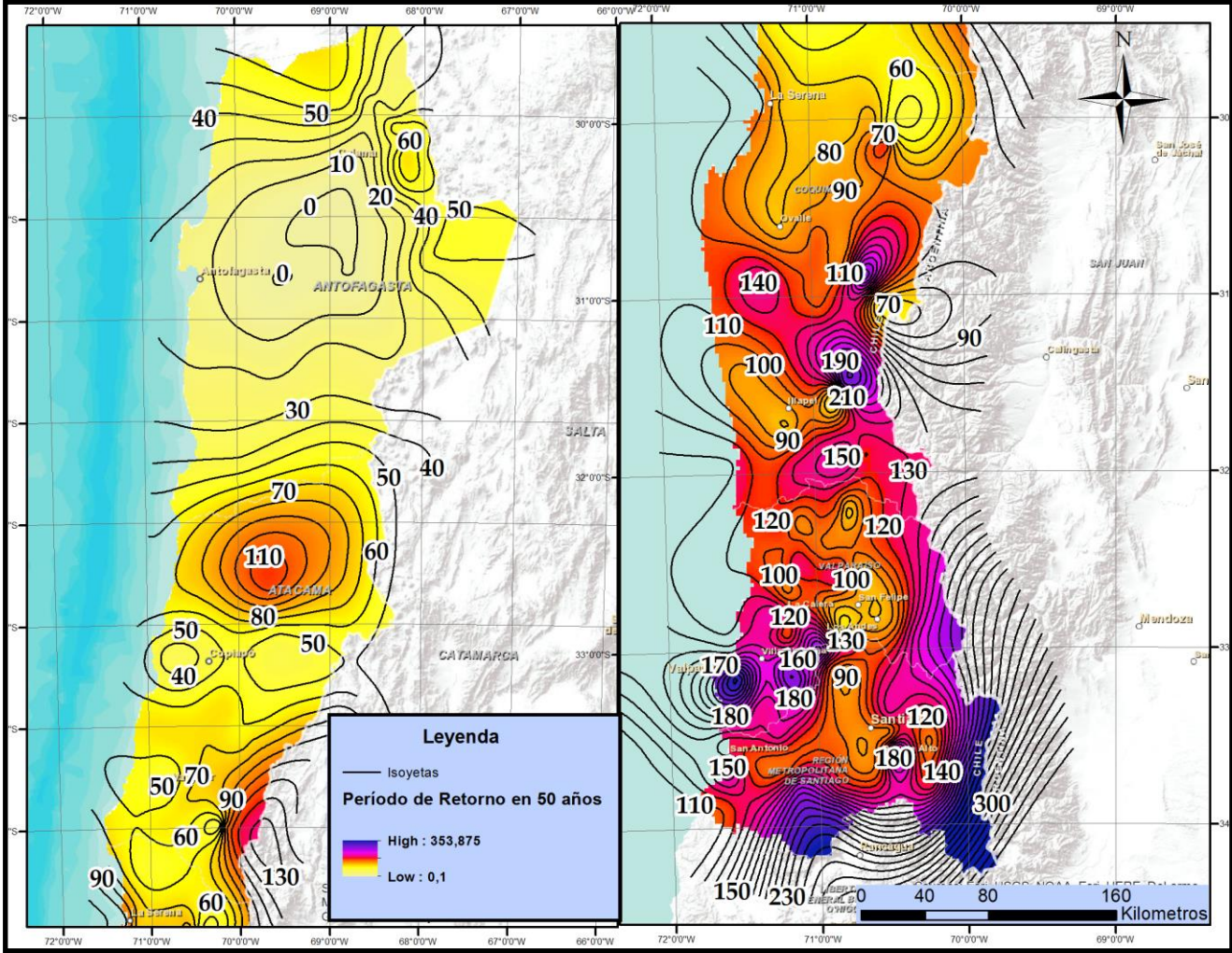
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 180 y 222 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 222 y 162 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Omué: rango de precipitación máxima entre 162 y 200 mm (aumenta).
- Entre Omué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 200 y 90 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 90 y 145 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 145 y 137 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 137 y 250 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 135 y 92 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 92 y 125 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 125 y 105 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 105 y 250 mm (Aumenta).

Mapa N°3: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 24 horas para períodos de retorno de 50 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°4**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2.7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 42 y 51 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2.7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 51 y 26 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 26 y 52 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 15 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 2 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 2 y 53 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 46 y 67 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 67 y 59 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 85 y 130 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 130 y 70 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 53 y 41 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 41 y 60 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 60 y

47 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 47 y 56 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 112 y 82 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 55 y 128 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 95 y 75 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 82 y 88 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 88 y 55 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 55 y 105 mm (aumenta).

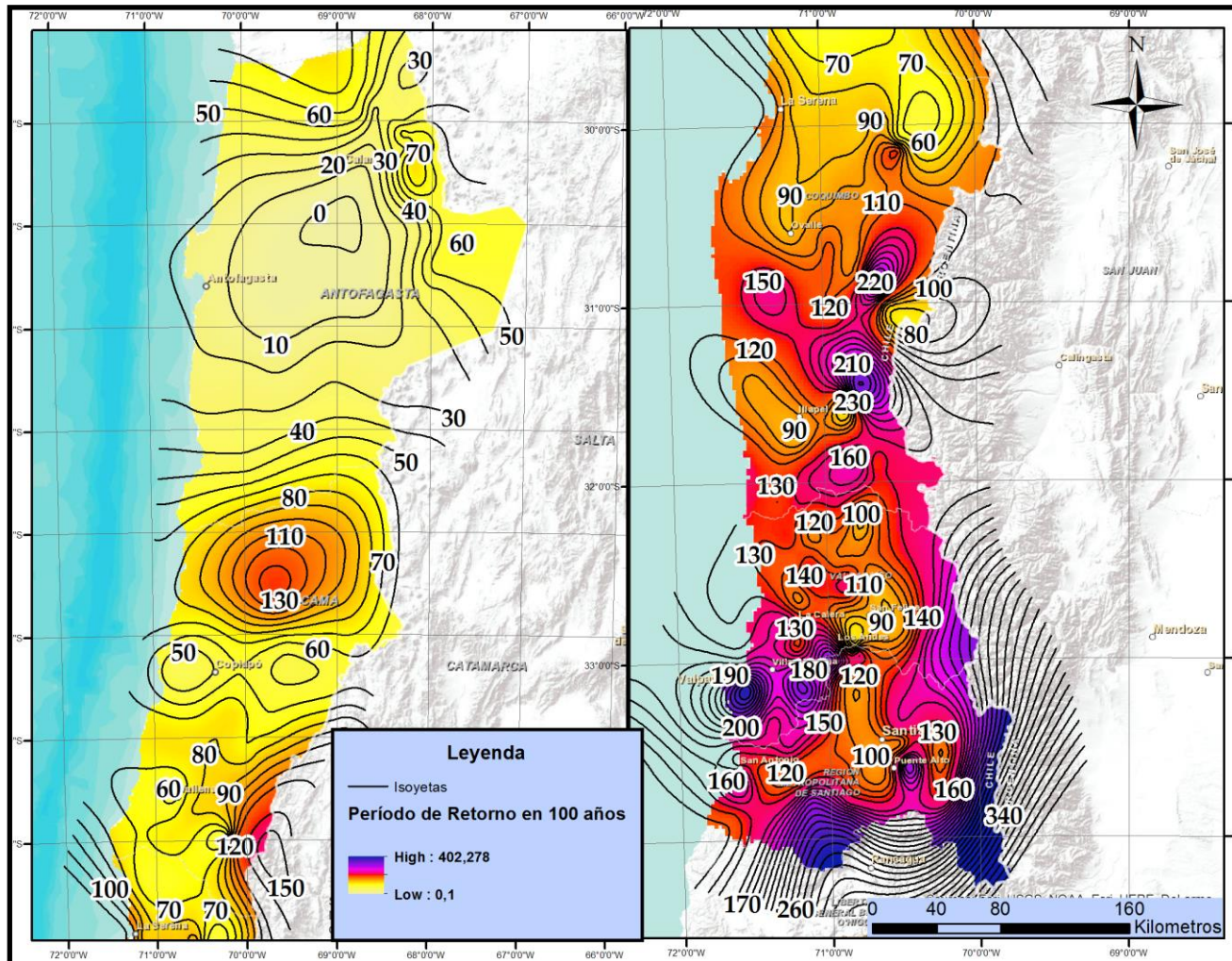
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 202 y 250 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 250 y 184 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Olmué: rango de precipitación máxima entre 184 y 220 mm (aumenta).
- Entre Olmué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 220 y 102 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 102 y 161 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 161 y 156 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 156 y 285 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 155 y 100 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 100 y 145 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 145 y 115 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 115 y 280 mm (Aumenta).

Mapa N°4. Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 24 horas para períodos de retorno de 100 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°5**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 29 y 35 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 35 y 16 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 16 y 55 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 9 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 2 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 2 y 55 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 29 y 44 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 44 y 41 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 45 y 78 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 78 y 51 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 30 y 26 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 26 y 37 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 37 y 35 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 35 y 46 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 48 y 42 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 42 y 95 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 80 y 52 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 52 y 69 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 69 y 45 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 45 y 90 mm (aumenta).

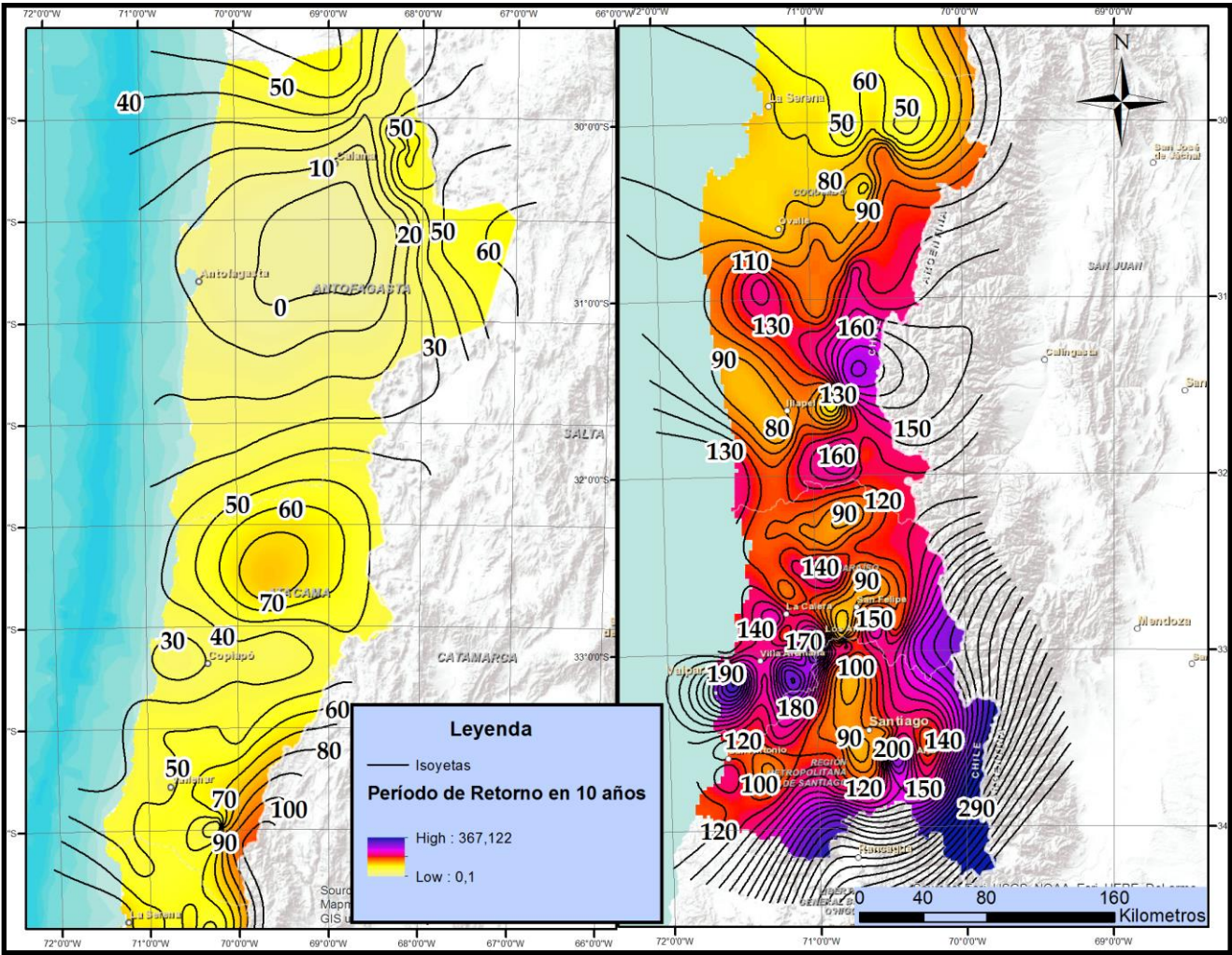
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 170 y 225 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 225 y 150 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Omué: rango de precipitación máxima entre 150 y 220 mm (aumenta).
- Entre Omué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 220 y 85 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 85 y 149 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 149 y 151 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 151 y 260 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 130 y 110 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 110 y 140 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 140 y 118 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 118 y 260 mm (Aumenta).

Mapa N°5: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 48 horas para períodos de retorno de 10 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°6**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 46 y 52 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 52 y 25 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 25 y 85 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 14 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 4 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 4 y 80 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 50 y 72 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 72 y 65 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 77 y 130 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 130 y 80 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 49 y 42 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 42 y 59 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 59 y 52 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 52 y 68 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 80 y 65 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 65 y 144 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 115 y 80 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 80 y 105 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 105 y 70 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 70 y 140 mm (aumenta).

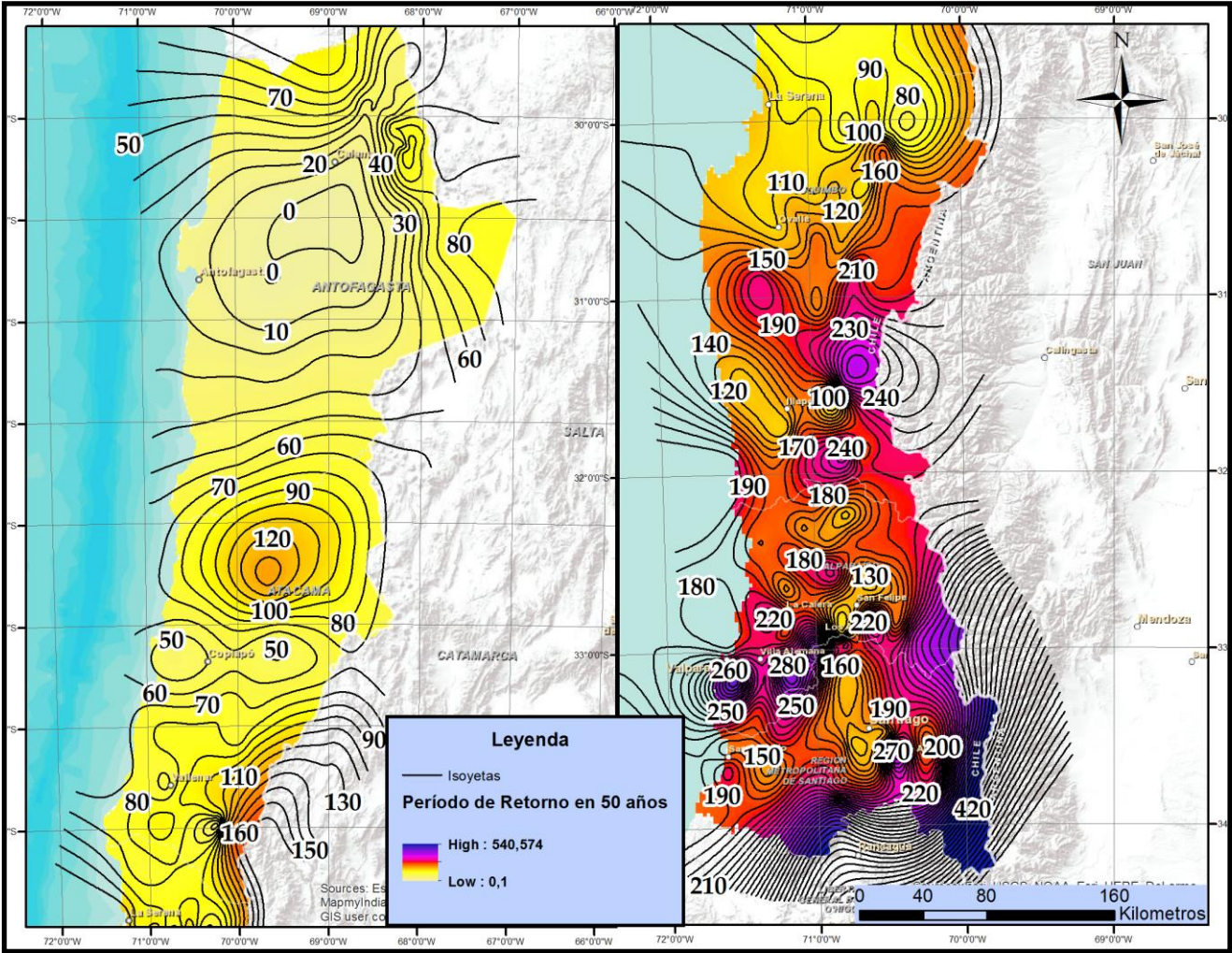
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 238 y 300 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 300 y 220 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Omué: rango de precipitación máxima entre 220 y 305 mm (aumenta).
- Entre Omué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 305 y 122 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 122 y 215 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 215 y 218 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 218 y 385 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 190 y 120 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 120 y 190 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 190 y 170 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 170 y 380 mm (Aumenta).

Mapa N°6: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 48 horas para períodos de retorno de 50 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°7**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 55 y 62 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 62 y 30 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 30 y 92 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 17 y 1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 1 y 8 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 80 y 90 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 60 y 88 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 88 y 80 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 91 y 154 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 151 y 91 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 58 y 48 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 48 y 68 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 68 y

59 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 59 y 76 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 92 y 78 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 78 y 167 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 131 y 98 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 98 y 115 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 115 y 85 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 85 y 165 mm (aumenta).

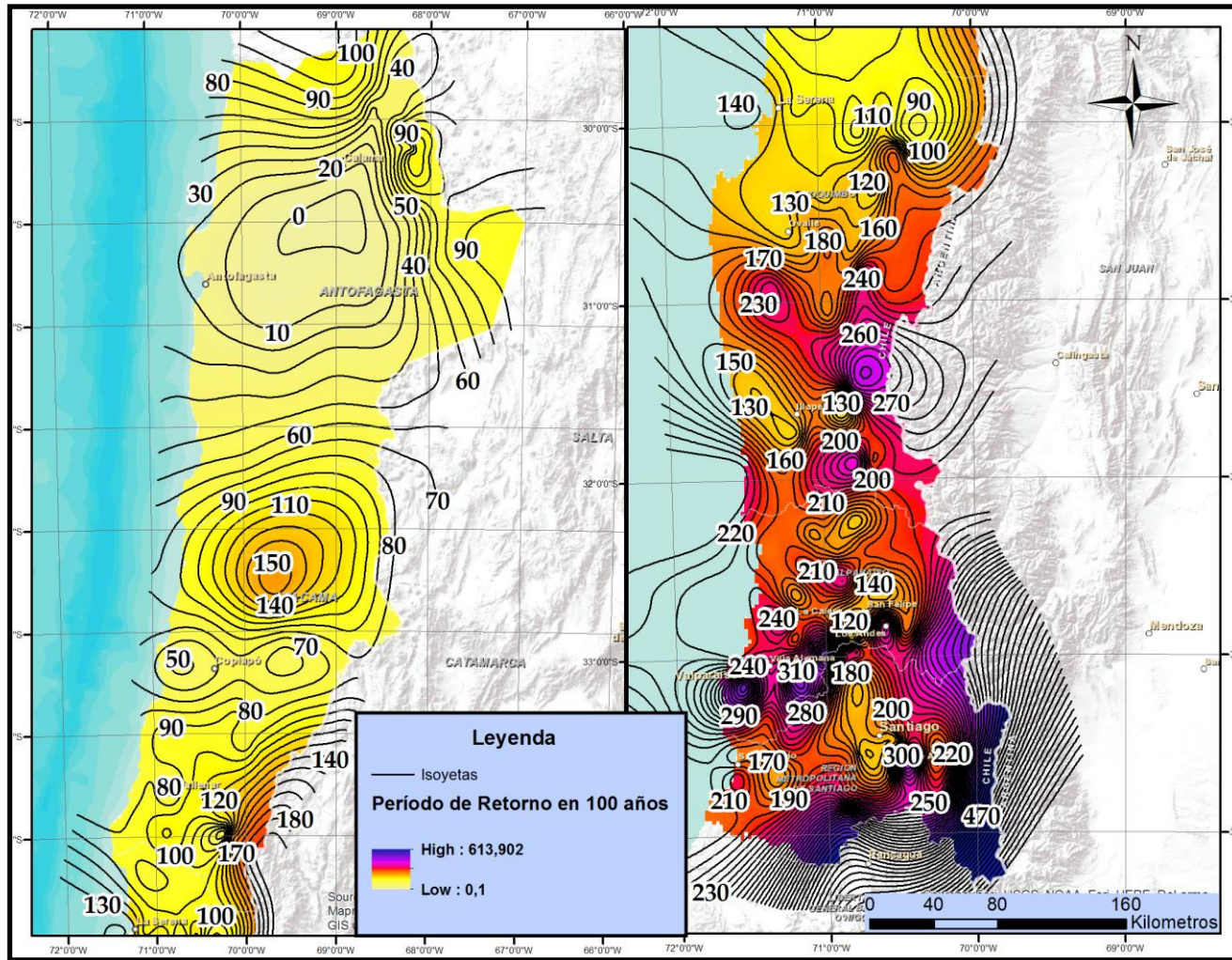
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 260 y 340 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 340 y 250 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Olmué: rango de precipitación máxima entre 250 y 340 mm (aumenta).
- Entre Olmué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 340 y 140 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 140 y 240 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 240 y 245 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 245 y 440 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 200 y 142 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 142 y 220 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 220 y 182 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 182 y 440 mm (Aumenta).

Mapa N°7: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 48 horas para períodos de retorno de 100 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°8**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 34 y 47 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 47 y 12 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 12 y 65 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 9 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 1 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 1 y 80 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 28 y 46 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 46 y 45 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 51 y 90 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 90 y 57 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 30 y 26 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 26 y 39 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 39 y

37 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 37 y 47 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 54 y 48 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 48 y 98 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 79 y 68 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 68 y 77 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 77 y 51 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 51 y 110 mm (aumenta).

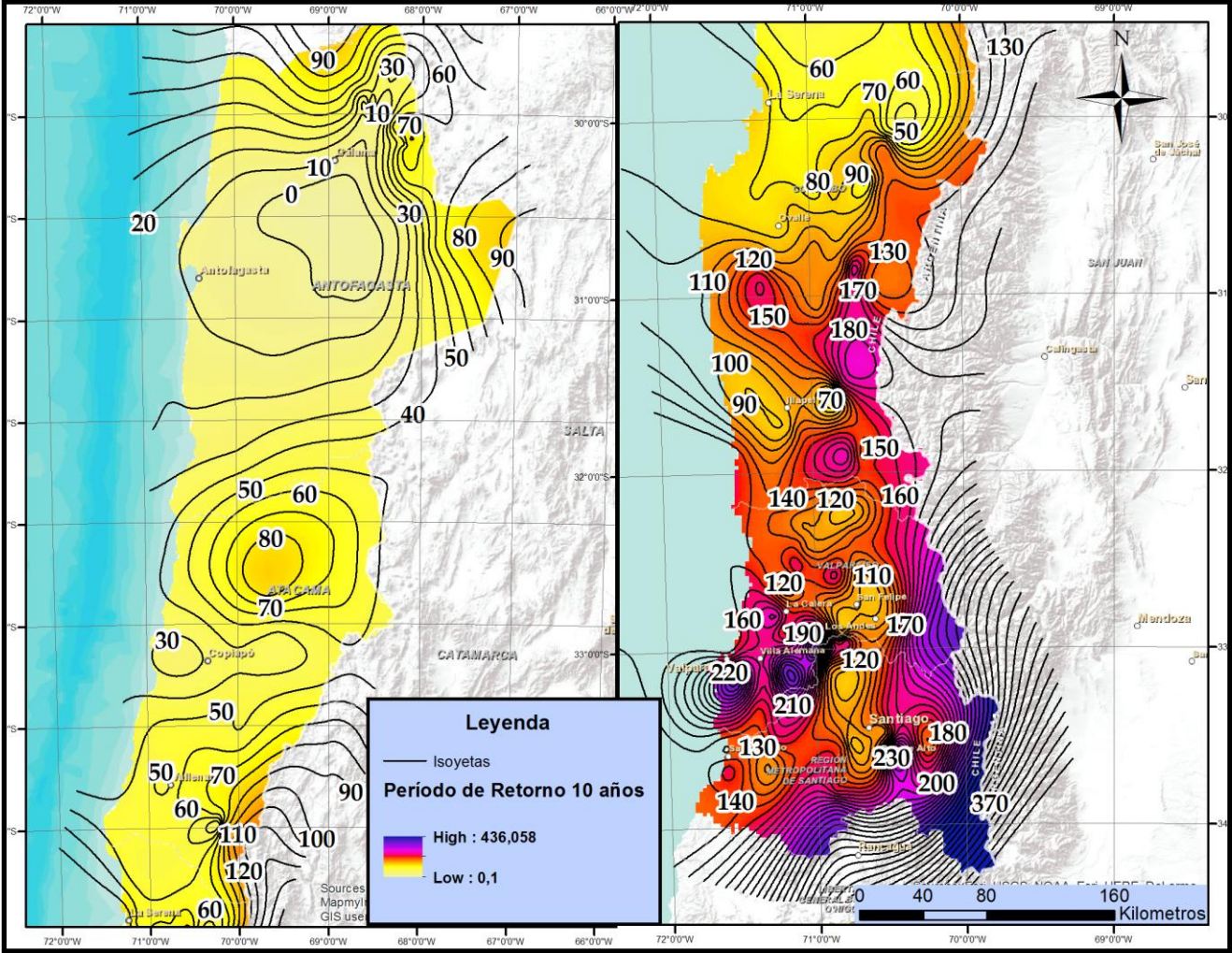
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 185 y 250 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 250 y 175 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Olmué: rango de precipitación máxima entre 175 y 259 mm (aumenta).
- Entre Olmué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 259 y 95 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 95 y 177 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 177 y 180 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 180 y 310 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 150 y 100 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 100 y 175 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 175 y 135 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 135 y 310 mm (Aumenta).

Mapa N°8: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 72 horas para períodos de retorno de 10 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración Propia.

En el **Mapa N°9**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 53 y 70 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 70 y 21 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 21 y 108 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 13 y 0,1 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 0,1 y 2 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 2 y 120 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 48 y 76 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 76 y 74 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 91 y 175 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 175 y 102 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 49 y 42 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 42 y 61 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 61 y

55 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 55 y 68 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 89 y 78 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 78 y 150 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 128 y 98 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 98 y 116 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 116 y 82 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 82 y 170 mm (aumenta).

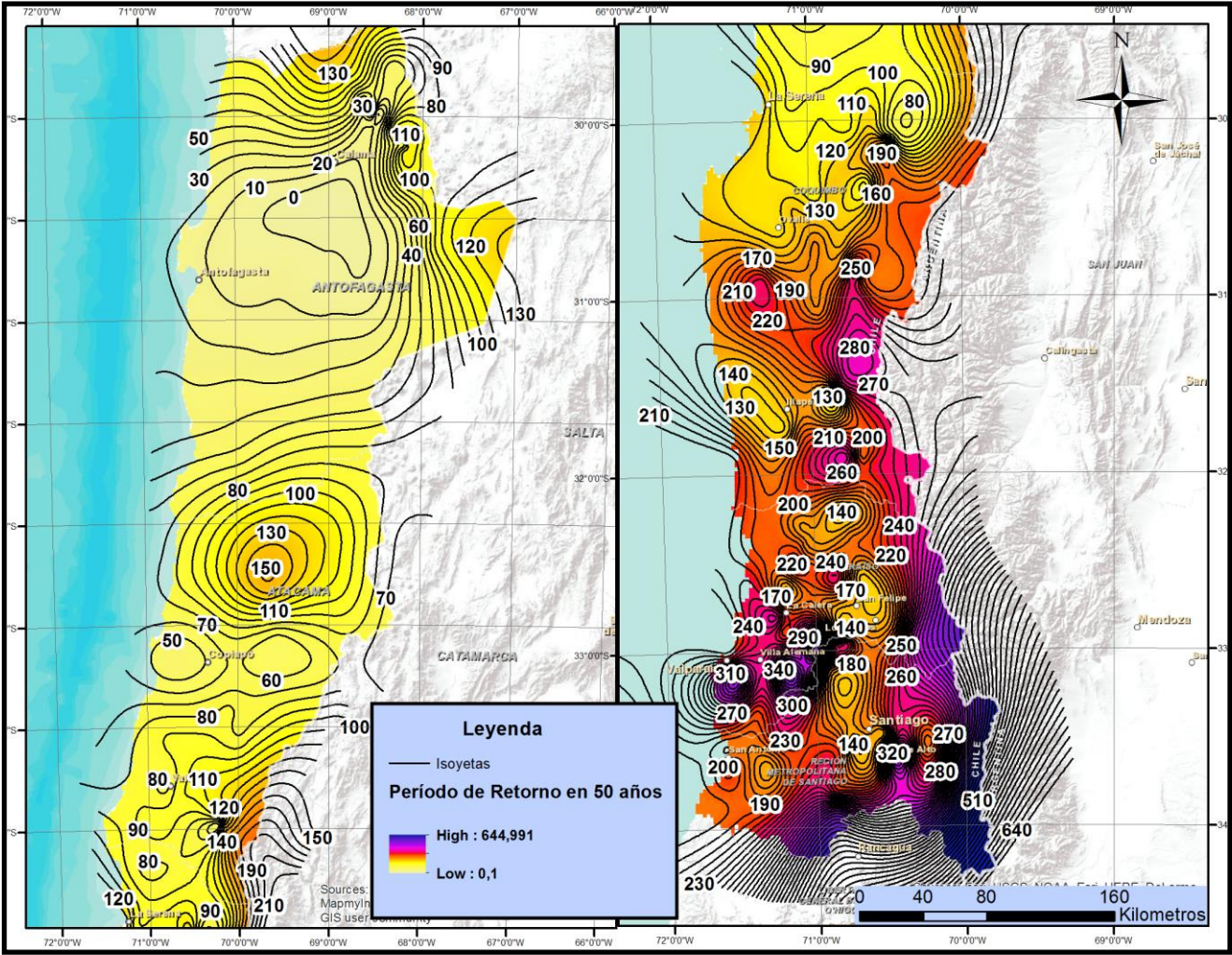
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 259 y 335 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 335 y 260 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Olmué: rango de precipitación máxima entre 260 y 367 mm (aumenta).
- Entre Olmué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 367 y 140 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 140 y 258 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 258 y 260 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 260 y 480 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 218 y 160 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 160 y 250 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 250 y 200 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 200 y 460 mm (Aumenta).

Mapa N°9: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 72 horas para períodos de retorno de 50 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

En el **Mapa N°10**, se identifican los siguientes patrones espaciales:

1. Latitud de Tocopilla :

- Entre Tocopilla (Farellón Costero) y Chuquicamata (2,7 km al norte, Pampa del Tamarugal): rango de precipitación máxima entre 60 y 80 mm (Aumenta).
- Entre Chuquicamata (2,7 km al norte) y Conchi Viejo: rango de precipitación máxima entre 80 y 23 mm (disminuye).
- Entre Conchi Viejo y Cuenca Superior del Río Loa (Cordillera Preantiplanica): rango de precipitación máxima entre 23 y 120 mm (Aumenta).

2. Latitud de Antofagasta:

- Entre Antofagasta y El Desierto: rango de precipitación máxima entre 15 y 2 mm (disminuye).
- Entre El Desierto y el Salar de Atacama: rango de precipitación máxima entre 2 y 3.5 mm (Aumenta).
- Entre el Salar Atacama y Antiplano: rango de precipitación máxima entre 3.5 y 140 mm (Aumenta).

3. Latitud de Tal - Tal:

- Entre Tal - Tal y Salar de Pajonales: rango de precipitación máxima entre 58 y 95 mm (Aumenta).
- Entre Salar de Pajonales y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 95 y 90 mm (disminuye).

4. Latitud de Chañaral:

- Entre Chañaral y el Salvador: rango de precipitación máxima entre 95 y 175 mm (Aumenta).
- Entre el Salvador y el Preantiplanica: rango de precipitación máxima entre 175 y 105 mm (disminuye).

5. Latitud de Copiapó:

- Entre la Desembocadura del Río Copiapó y Caserón: rango de precipitación máxima entre 58 y 48 mm (disminuye).
- Entre Caserón y Paipote: rango de precipitación máxima entre 48 y 71 mm (Aumenta).
- Entre Paipote y San Lorenzo: rango de precipitación máxima entre 71 y

61 mm (disminuye).

- Entre San Lorenzo y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 61 y 77 mm (Aumenta).

6. Latitud de Vallenar:

- Entre la desembocadura del río Huasco y Loncomilla: rango de precipitación máxima entre 102 y 90 mm (disminuye).
- Entre San Loncomilla y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 90 y 175 mm (Aumenta).

7. Latitud de la Serena:

- Entre la Serena y el Islón: rango de precipitación máxima entre 149 y 112 mm (disminuye).
- Entre el Islón y el poblado de Cabrito: rango de precipitación máxima entre 112 y 134 mm (Aumenta).
- Entre el poblado de Cabrito y el poblado de Guanta: rango de precipitación máxima entre 134 y 90 mm (disminuye).
- Entre el poblado de Guanta y Sierras Transversales: rango de precipitación máxima entre 90 y 196 mm (aumenta).

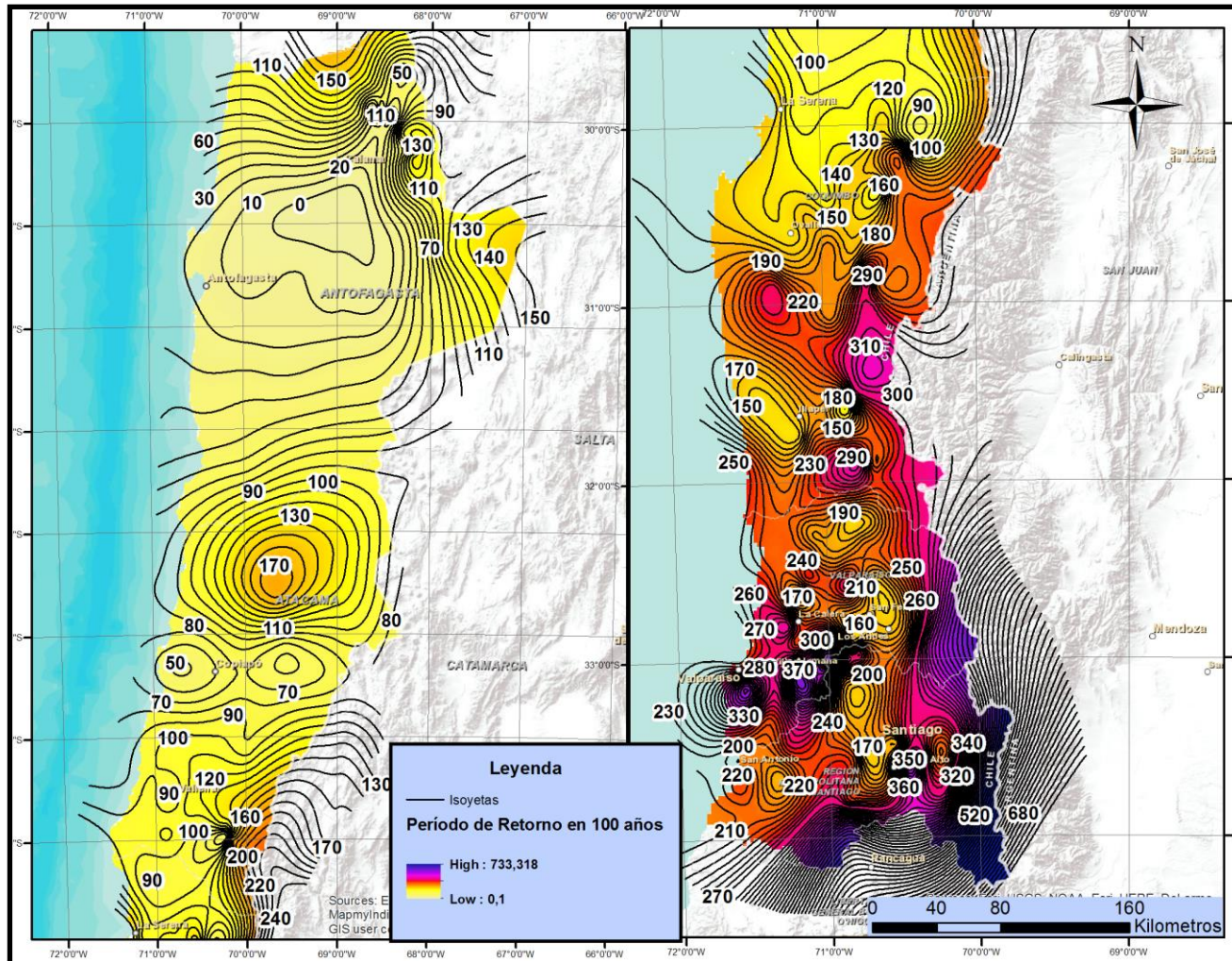
8. Latitud del Juncal Norte:

- Entre Valparaíso y Quilpué: rango de precipitación máxima entre 290 y 378 mm (aumenta).
- Entre Quilpué y Villa Alemana: rango de precipitación máxima entre 378 y 295 mm (disminuye).
- Entre Villa Alemana y Olmué: rango de precipitación máxima entre 295 y 418 mm (aumenta).
- Entre Olmué y El Roble: rango de precipitación máxima entre 418 y 160 mm (disminuye).
- Entre El Roble y Rungue: rango de precipitación máxima entre 160 y 290 mm (aumenta).
- Entre Rungue y Til Til: rango de precipitación máxima entre 290 y 300 mm (disminuye).
- Entre Til Til y Juncal rango de precipitación máxima entre 300 y 540 mm (Aumenta).

9. Latitud de Santiago:

- Entre el Quisco y Pudahuel: rango de precipitación máxima entre 230 y 170 mm (disminuye).
- Entre Pudahuel y Tobalaba rango de precipitación máxima entre 170 y 280 mm (Aumenta).
- Entre el Tobalaba y Los Maitenes: rango de precipitación máxima entre 280 y 230 mm (disminuye).
- Entre Los Maitenes y el Tupungato rango de precipitación máxima entre 230 y 530 mm (Aumenta).

Mapa N°10: Distribución espacial de las precipitaciones máximas estimadas en 72 horas para períodos de retorno de 100 años entre los 21° y 34° latitud Sur de Chile Continental.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro resumen N°7: Latitud, Rango de precipitación máxima y período de retorno.

Latitud/ Periodo de Retorno	Rango de precipitación máxima 24 hrs	Rango de precipitación máxima 48 hrs	Rango de precipitación máxima 72 hrs
Tocopilla - 10 años	14 - 36	16 - 55	12 - 65
Tocopilla - 50 años	23 - 48	25 - 85	21 - 108
Tocopilla - 100 años	26 - 52	30 - 92	23 - 120
Antofagasta - 10 años	0,1 - 34	0,1 - 55	0,1 - 80
Antofagasta - 50 años	0,1 - 47	0,1 - 80	0,1 - 128
Antofagasta - 100 años	0,1 - 53	0,1 - 90	0,1 - 140
Tal-Tal - 10 años	23 - 34	29 - 44	28 - 46
Tal-Tal - 50 años	40 - 57	50 - 72	48 - 76
Tal-Tal - 100 años	46 - 67	60 - 88	58 - 95
Chañaral - 10 años	40 - 68	45 - 78	51 - 90
Chañaral - 50 años	65 - 115	70 - 130	91 - 175
Chañaral - 100 años	85 - 130	91 - 154	95 - 175
Copiapó -10 años	23 - 34	26 - 46	26 - 47
Copiapó - 50 años	36 - 52	42 - 68	42 - 68
Copiapó - 100 años	41 - 60	48 - 76	48 - 77
Vallenar - 10 años	0,1 - 70	42 - 95	48 - 98
Vallenar - 50 años	50 - 112	65 - 144	78 - 150
Vallenar - 100 años	55 - 128	78 - 167	90 - 175
La Serena - 10 años	33 - 65	45 - 90	51 - 110
La Serena - 50 años	50 - 97	70 - 140	82 - 170
La Serena - 100 años	55 - 105	85 - 165	90 - 196
Juncal Norte - 10 años	60 - 130	85 - 260	95 - 310
Juncal Norte - 50 años	90 - 250	122 - 385	140 - 480
Juncal Norte - 100 años	102 - 285	140 - 440	160 - 540
Santiago - 10 años	62 - 165	110 - 260	100 - 310
Santiago - 50 años	95 - 250	120 - 380	160 - 460
Santiago - 100 años	100 - 280	142 - 440	170 - 530

Fuente: Elaboración propia.

9.2.- Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó.

9.2.1.- Introducción.

A continuación se realiza la evaluación de susceptibilidad de remoción en masa por flujos en la cuenca del río Copiapó. En el capítulo se realiza: descripción de general del área de estudio; la caracterización y análisis de los factores condicionantes y gatillantes: geología, geomorfología, vegetación y clima.

La representación cartográfica de la evaluación de susceptibilidad será a nivel de hoyas hidrográficas, según la metodología de LARA (2007). Luego de caracterizada y analizada cada factor condicionante y gatillante, se procederá en el próximo subtítulo a la determinación de las Unidades de Respuesta y el cálculo de los índices de susceptibilidad.

9.2.2.- Descripción del área de estudio.

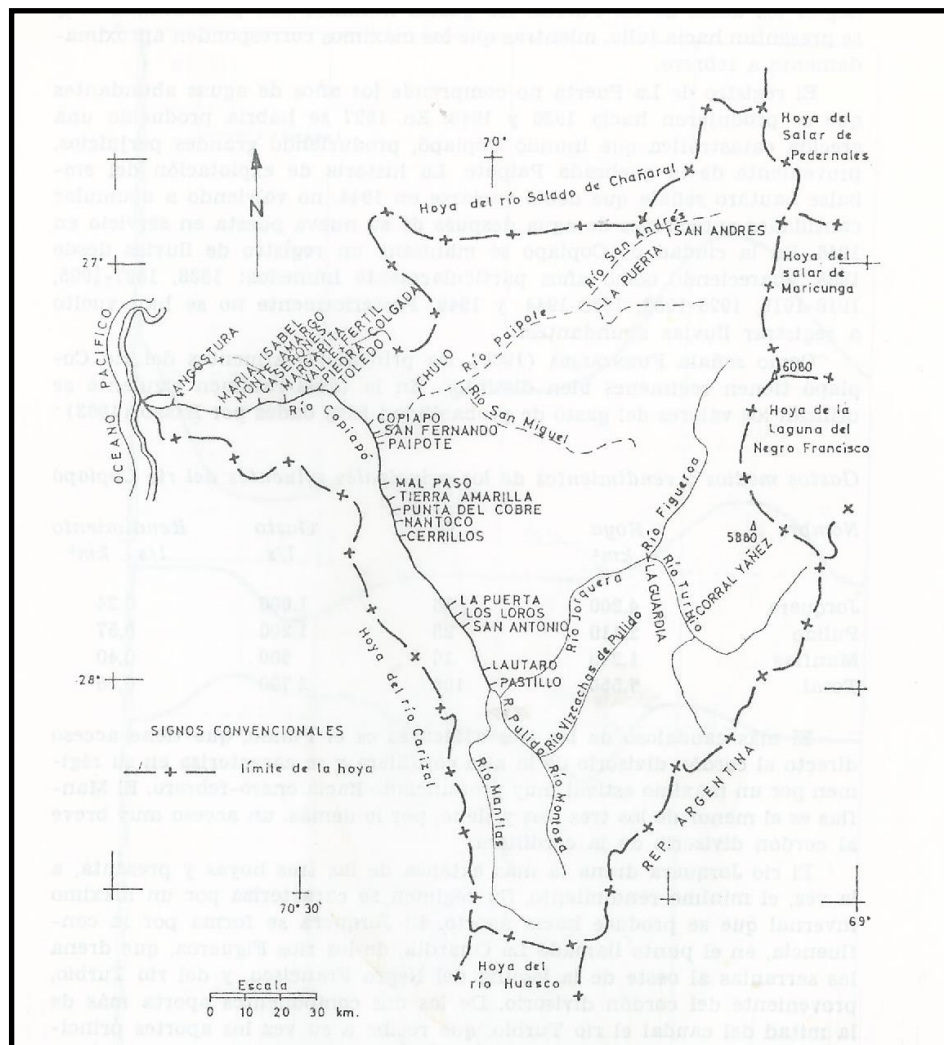
La cuenca del río Copiapó, que pertenece a la III Región de Atacama, se extiende entre los paralelos 26°38' y 28°38' de latitud sur, abarcando una superficie total de aproximadamente 18.400 km², (ver Figura N°9), situándose entre los sistemas hidrográficos más extensos de Chile. El río propiamente tal se forma en Juntas, donde en pocos kilómetros concurren los ríos Jorquera, Pulido y Manflas. En conjunto, la cuenca de estos tres ríos suma un 40% del total. Del resto de la cuenca del río Copiapó, un 38% corresponde a la quebrada de Paipote, que se une al río Copiapó 8 kilómetros aguas arriba de la ciudad de este nombre. Según Almeyda, la precipitación media anual sobre la Cuenca del río Copiapó equivale a un gasto continuo de 104 m³/s. El caudal del Copiapó es bastante constante a lo largo del año.

Como señala FUENZALIDA (1965), las principales afluentes del río Copiapó tiene regímenes bien distintos. El más caudaloso de los tres afluentes es el **Pulido**, que tiene acceso directo al cordón divisorio de la alta cordillera y se caracteriza en su régimen por un máximo estival muy pronunciado hacia enero - febrero. El **Manflas** es el menor de los tres ríos y tiene, por lo demás, un acceso muy breve al cordón divisorio de la Cordillera. El río **Jorquera** drena la más extensa de las tres hoyas y presenta, a la vez, el mínimo rendimiento. Su régimen se caracteriza por un máximo invernal que se produce hacia agosto. El Jorquera se forma por la confluencia, en el punto llamado La Guardia, de los Ríos Figueroa, que drena las serranías al oeste de la laguna del Negro Francisco, y del río Turbio proveniente del cordón divisorio. De los dos componentes aporta más de la mitad del caudal el

río Turbio, que recibe a su vez los aportes principales de los ríos Gallina, Nevado, Cuevitas y Cachitos.

El sistema de la quebrada de Paipote, que cubre 7.190 km², cuenta en general con precipitaciones muy escasas y es de régimen enteramente efímero. En sus nacientes comprende alturas de cerca de 5.000 metros, infiltrándose las aguas de fusión de nieves en el relleno aluvial. Después de la reunión de la quebrada de Paipote con la de San Andrés, el relleno aluvial es abundante, de manera que la napa freática es profunda.

Figura N°9: Área de Estudio de la Cuenca del río Copiapó.



Fuente: Hidrografía de las zonas desérticas de Chile. Wulf Klohn. 1972.

9.2.2.1.- Geomorfología.

La cuenca presenta un relieve muy irregular y accidentado, predominando la alternancia de los valles en sentido transversal con interfluvios montañosos denominados serranías. Existe una serie de elementos fisiográficos que se pueden identificar claramente como: Cordillera de los Andes, Valles Transversales, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales, como lo muestra las Figuras N°9 y 10. Según BÖRGEL (1983):

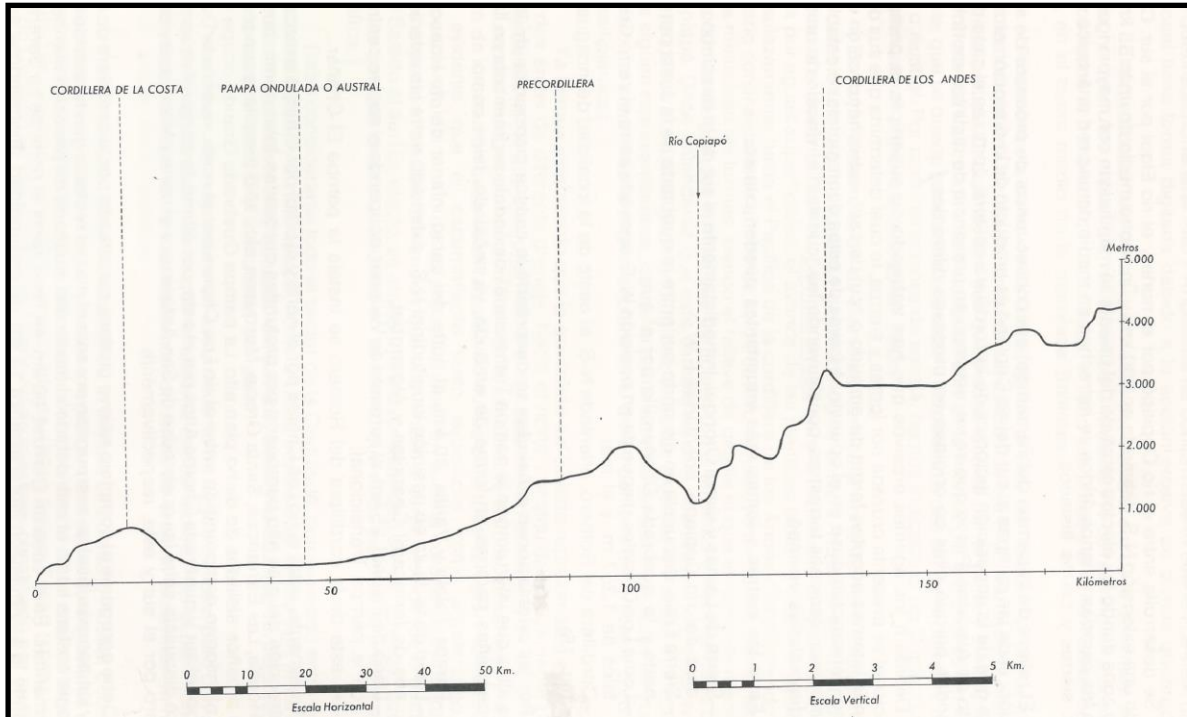
1.- La Cordillera de los Andes se presenta la zona de las sierras transversales del tronco maestro andino, que se extienden en forma oblicua, caracterizadas por un franco drenaje exorreico. Estas son parte de un tronco alto y tabuliforme. Existen grandes alturas, destacando el Cerro Copiapó con 6.052 m.s.n.m., y el Cerro Piuquenes 5.591 m.s.n.m. en el sector alto de la subcuenca del río Manflas.

2.- En la Precordillera se presenta la zona Precordillera de Domeyko que se caracteriza por ser una serranía baja, pero su altura y embargadura actuales corresponden a las dislocaciones tectónicas pliocénicas, luego de las grandes efusiones de liparitas que sepultan la cordillera altiplánica. La falla del Bordo, en el flanco oriental, indica la línea sobre la cual subió esta precordillera empinándose sobre una flexura de gran curvatura que mantea hacia el poniente. Con alturas comprendidas entre 3.000 y 4.500 metros, destacando el Cerro Cárdenas (4.280 m. s.n.m.) sector alto de la subcuenca del río Jorquera y cerro Estancilla (3.556 m.s.n.m.) perteneciente a la subcuenca del río Pulido. En sus primeros kilómetros del río Copiapó hasta el sector de la localidad de Lautaro, la precordillera Andina en este sector presenta alturas comprendidas entre los 2.500 por el poniente a 2.700 m.s.n.m. por el sector oriente, destacando el cerro Vizcacha con una altura de 2.744 m.s.n.m.

3.- En la Depresión Intermedia, se presenta la zona Pampa Ondulada o Austral que se caracteriza corresponde a la porción de la Depresión Intermedia instalada al sur del río Copiapó que se manifiesta el desarrollo de las pampas áridas, pero la intensidad de la erosión de las aguas superficiales, el avance de las planicies litorales y un desplazamiento de la Cordillera de los Andes, lo que minimiza las formas. Además esta se define como un oasis de exorreísmo en una región endémica en recursos hídricos. Desde la localidad de Lautaro hasta el sector de Paipote el río recorre el valle central, con terrazas fluviales de mayor amplitud. Las elevaciones (cerros y lomajes) que se presentan en este sector del valle central, están comprendidas entre los 1.200 y 2.700 m s.n.m. por el oriente y entre los 900 y 2.300 ms.n.m. en el sector poniente. El tramo final del río Copiapó desde el sector de Paipote hasta la desembocadura, las alturas más significativas del relieve en esta zona, corresponden a las del cerro Chancoquín (1.020 m s.n.m.) y Tía Ramos (1.076 m s.n.m.) en el sector norte del río Copiapó y los cerros Bramador (1.172 m

s.n.m.), Pata de Gallina (732 m s.n.m.) y Totoralillo (397 ms.n.m.) en el sector sur del cauce.

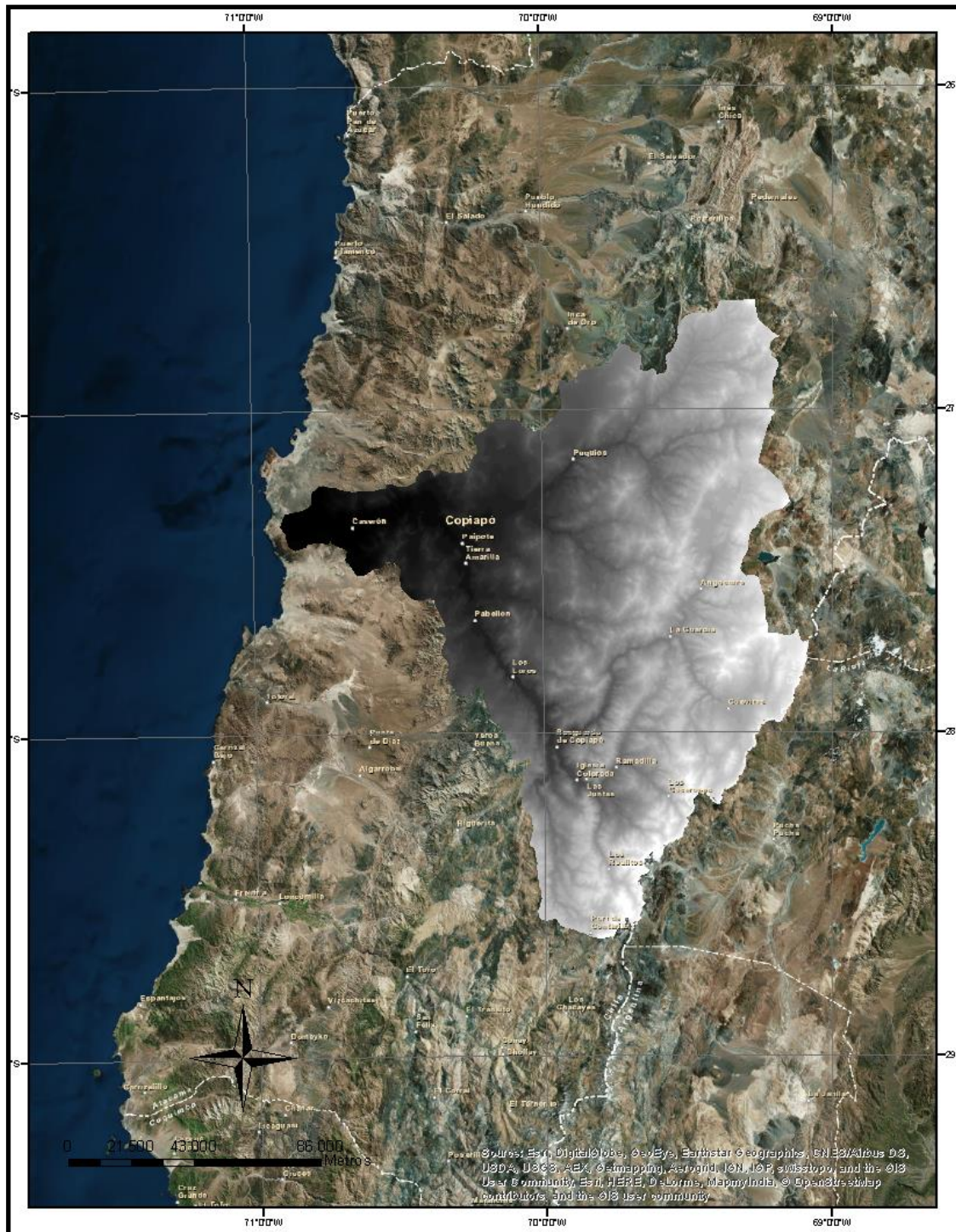
Figura N°9: Perfil W-E a los 28° Latitud Sur.



Fuente: Tomo II. Geomorfología. IGM. 1983.

3.- Las planicies litorales en la desembocadura del río Copiapó, son bastante extensas y se genera una zona de sedimentación marina, el cual, ha estado sometida a un efecto de una tectónica litoral.

Figura N°10: Modelo Digital de Elevación de la Cuenca del Río Copiapó.

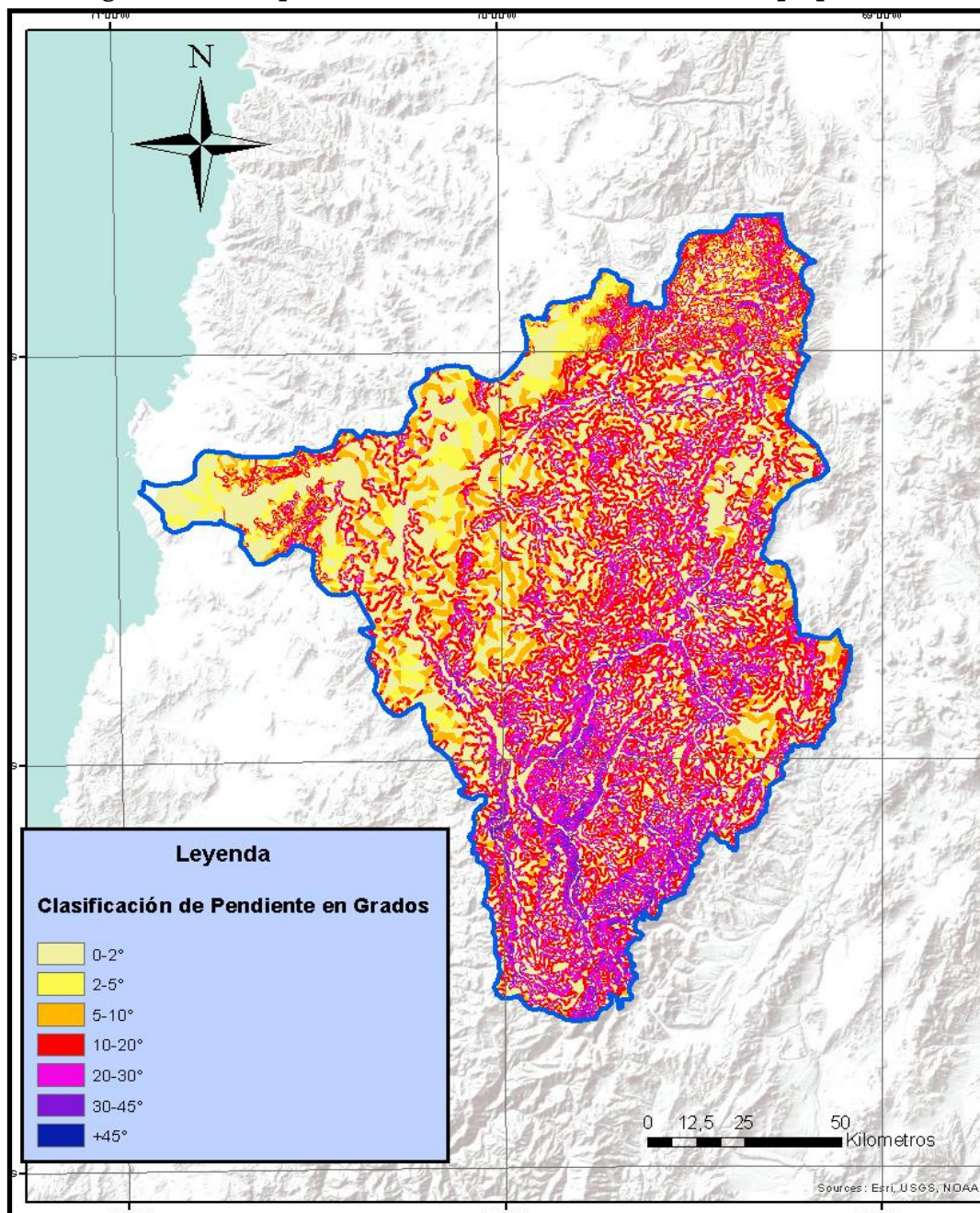


Fuente: Elaboración propia. 2015

La Pendiente

Todos los movimientos que se efectúan sobre una vertiente son más o menos función de su inclinación, según Tabla N°10 y Figura N°11. Para saber a qué niveles de pendiente se pueden producir fenómenos, es necesario hablar de una pendiente crítica o umbral de pendiente (JAQUE, 1995 & ARAYA VERGARA, 2002)

Figura N°11: Mapa de Pendiente de la Cuenca del Río Copiapó. 2015.



Fuente: Elaboración propia a partir de MDE. 2015.

Tabla N°10: Superficie y porcentaje de Umbrales de Pendiente.

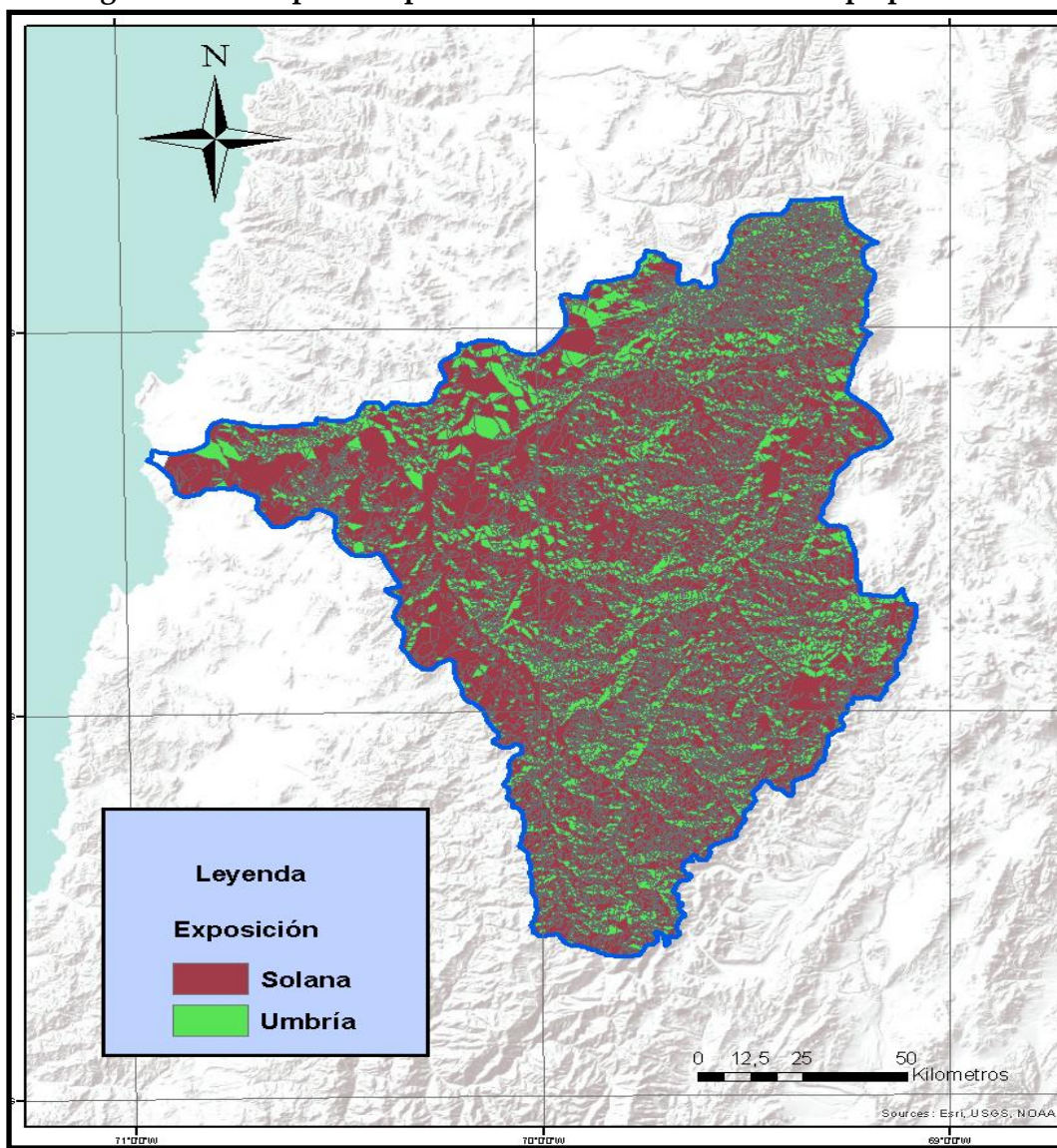
Pendiente en Grados	Umbral Geomorfológico	Superficie en Km2	Porcentaje
0 - 2	Erosión nula a leve	6.348	34.0
2 - 5	Erosión débil, difusa. Sheet wash. Inicio de regueras. Soliflucción fría	1.111	6.0
5 - 10	Erosión moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal. Rill wash o desarrollo de regueras. Presencia de Flujo atenuado. Deslizamientos (7° en Margas)	2.188	11.7
10 - 20	Erosión intensa. Erosión líneal frecuente. Cárcavas incipientes. Deslizamientos (15° en arcillas)	5.068	27.1
20 - 30	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación. > 25° Flujos Deslizamientos (20° en arenas)	3.044	16.2
30 - 45	Coluvionamiento. Soliflucción intensa. Inicio de derrubación.	896	4.0
+ de 45	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.	30	1

Fuente: Elaboración propia a partir de Araya Vergara et al, (2006).

La Exposición

La exposición de las laderas del área de estudio es un factor condicionante para los procesos naturales, especialmente los movimientos en masa. Se observa que los talweg orientados según eje este - oeste presentan perfiles asimétricos, de modo que los flancos sur poseen comparativamente pendientes menores y mayor desarrollo de la cobertura de suelos y vegetación. En cambio las laderas norte presentan fuertes pendientes y escaso desarrollo de suelos y vegetación, lo que se observa en la Figura N°12. La superficie en km² de exposición de solana es de 12.428, representando un 67%. Mientras que la exposición de umbría es de 6.255, representando un 33%.

Figura N°12: Mapa de Exposición de la Cuenca del Río Copiapó. 2015.



Fuente: Elaboración propia a partir de MDE. 2015.

9.2.2.2.- Geología.

En el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 de SERNAGEOMIN (2002), se describen 55 secuencias, de ahí que, **W. GRIEM (1999 - 2015)**, lo sistematiza en las 12 secuencias más importantes de Atacama (información recopiladas por diferentes autores) que a continuación se describen (ver Figura N°13):

1. Sistemas pérmicos - pre-pérmicos: Granitos, filitas y liditas

El sistema pre-pérmico incluye un conjunto de unidades aflorando en la cordillera de la costa y en la zona de los salares, entre precordillera y cordillera principal. Especialmente las Formaciones Chinche y La Tabla en la Precordillera - Cordillera, por ejemplo en las cercanías de "La Ola" muestra un ambiente oceánico de profundidad con filitas y liditas. Muy parecido afloran en la cordillera de la Costa esquistos y filitas del "Complejo Epimetamórfico Chañaral". Además existe un gran número de plutones que generalmente destaca por su acidez: Los granitos de grano grande son el ejemplo posiblemente más llamativo. Los últimos afloran solamente en el sector de la alta Cordillera.

2. Rocas clásticas del triásico o pre- triásico del tipo para-conglomerado rojo.

El triásico se representa en la Región con una facies clástica - terrestre, hay que nombrar las formaciones "La Ternera", "Agua Chica" y "Cifuncho" entre otras. En la gran mayoría son conglomerados o brechas rojas. La escasa evidencia de una actividad volcánica es cierta, pero existen lavas andesíticas. Se conoce algunas rocas plutónicas en el sector costero.

3. Sedimentos del back arc con intercalaciones volcánicas

Principalmente en la precordillera afloran varias unidades con una facies predominante marina. Carbonatos ricas en fósiles. El Lías tiene la mayor presencia. Especialmente las Formaciones Montandon, Asientos y Lautaro en el jurásico pero también las formaciones Pedernales y el grupo Chañarcillo en el cretácico destacan por su fuerte presencia en calizas marinas. Las calizas muestran una cierta cercanía hacia el continente y tienen algunas intercalaciones de rocas volcánicas y rocas clásticas. Algunas secuencias apuntan a un ambiente de "back arc". Los estratos más jóvenes de este sistema se extienden hasta el aptiense (alrededor 113 m.a.) - la Formación Pabellón.

En gran rasgo se puede definir dos sistemas del tipo "back arc". Sistema 1, durante del jurásico: Las formaciones Montandon (Lias - Dogger) PÉREZ d'A., (1982), Lautaro (Lías - Dogger), Asientos (Dogger) y por parte Formación Sierra Fraga (Dogger) apuntan a una ingresión marina con un vulcanismo básico. La Formación

La Negra (Lías - Malm) y más tarde Formación Quebrada del Desierto (Malm-Neocomiano) y Punta de Cobre (Malm-Neocomiano) muestran una facies terrígena volcánica que corresponde al arco magmático correspondiente. Indudablemente la gran presencia de Lías marino en grandes partes de la precordillera apunta a un cierto máximo en el desarrollo marino que sigue hasta el Dogger. La facies marina de este sector sigue hasta el Neocomian (Especialmente las formaciones Pedernales (Titon - Valangium) y base de la Formación Monardes). Las formaciones Agua Helada y Quebrada Monardes muestran paulatinamente un cambio hasta un ambiente terrígeno con rocas sedimentarias clásticas.

El otro sistema tiene sus raíces cretácico inferior (Valangium) con una secuencia marina hasta el aptian. Principalmente las Formaciones Abundancia, Nantoco, Totoralillo y Pabellón del "Grupo Chañarcillo" muestran un ambiente netamente marino. La Formación Bandurrias representa el arco magmático correspondiente.

4. Rocas volcánicas del arco magmático jurásico y cretácico

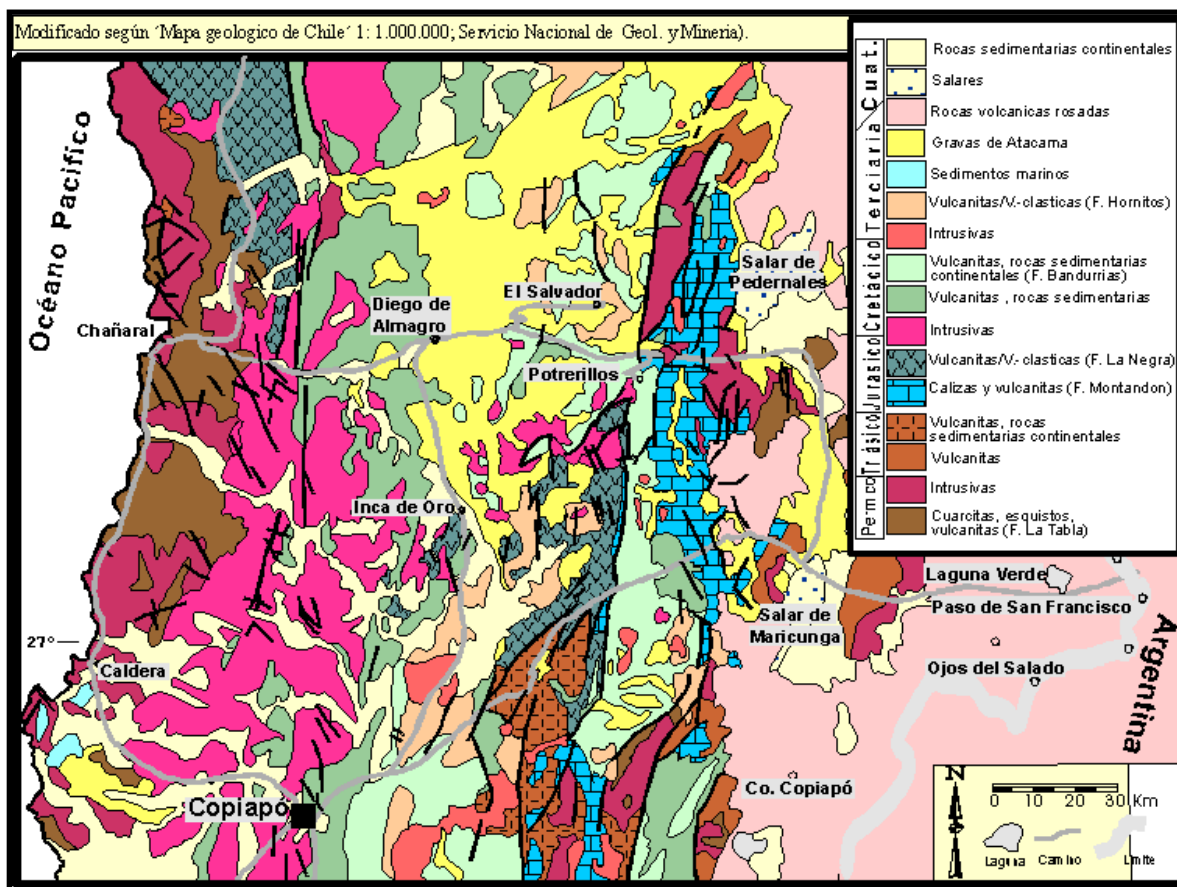
Los dos sistemas del desarrollo "back arc", el primero en el jurásico, el segundo en el cretácico tenían sus arcos magmáticos correspondientes. Desde del punto de la vista magmática existe un desarrollo entre jurásico hasta al cretácico superior. Desde la Formación La Negra (Lías, Dogger), Formación Qda. del Desierto y Punta de Cobre (Malm-Cretácico inferior) hasta las Formaciones Bandurrias y Cerrillos (Cretácico superior) se manifiesta una larga trayectoria volcánica en el sector precordillerano. Las secuencias están marcadas por una predominancia magmática.

5. "El batolito andino": Dioritas en la cordillera de la costa

Desde hace mucho tiempo las inmensas cantidades de rocas intrusivas - plutónicas llamaban atención a los científicos. Como Representan una actividad magmática realmente gigantesca. Hoy día se sabe que el batolito andino se compone de muchos intrusivos de diferentes épocas pero con una petrografía parecida. Solamente se formaban y su desarrollo tomo lugar en el mismo sector. Generalmente afloran en la cordillera de la costa o en el (accidentado) valle central. La actividad plutónica diorítica en este sector se extiende a un amplio lapso: Desde del lías especialmente el Plutón Flamenco y otros (202 ,+/-4 m.a. DALLMEYER, et al.) hasta el plutón Merceditas y Remolino de 90 m.a. (cenomanian/ turonian) según LARA & GODOY (1998). Pero las principales actividades se puede determinar en a) Lías Dogger con los plutones Relincho y Flamenco, b) Jurásico superior y cretácico inferior con plutón Moradito y Las Animas c) cretácico entre valangian y berremian probablemente el evento más significativo con los plutones Dieciocho, Las Tazas etc., y d) aptian cenomanian con los plutones Merceditas y Sierra Atacama entre otros.

Lo general de estos eventos intrusivos es su relativamente homogeneidad petrográfica: Son dioritas, granodioritas, dioritas cuarcíferas, rara vez otros. Estas rocas como antes ya mencionado cubren amplios sectores en la cordillera de la costa.

Figura N°13: Secuencias Geológicas.



Fuente: W. Griem. Modificado de Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000. 2015

6. Rocas extrusivas cretácicos tardíos o terciarios tempranos frecuentemente vulcanoclasticos del arco magmático

Un ambiente terrestre - magmático bien característico forman las unidades entre el aptian hasta el terciario inferior. Generalmente vulcanoclásticas andesíticas, andesitas pero también conglomerados y algunos estratos de areniscas. Pero lo característico es la gran influencia vulcanoclastica - especialmente el conjunto con mineralizaciones secundarios (epidota) es muy típica. Las secuencias se ubican entre el arco volcanico pre-aptian y el antiguo back - arc entonces principalmente en la precordillera. Especialmente las formaciones Cerrillos, Qda. Paipote

(Carneros), Hornitos, Venado, Estratos Cerro Valiente y finalmente estratos cerro Puquios (entre otros) forman esta unidad.

7. Cuerpos intrusivos (cretácico sup. - Paleogeno) de la precordillera.

Existe una cantidad considerable de cuerpos intrusivos "independientes" del batolito de la cordillera de la costa. Generalmente se trata de granodioritas o monzodioritas más jóvenes. Los cuerpos más grandes (Plutón El Gato, Cabeza de Vaca, La Ternera etc) marcan edades entre 68 m.a. (Plutón El Sauce) y 40 m.a. (Plutón El Gato; 39 m.a. Stocks Vizcacachas) (ZENTILLI, 1974, ARÉVALO 1994; IRIARTE et al., 1996). En general la predominancia en plagioclasa en estas intrusivas no es tan drástica que en los batolitos jurásicos-cretácicos de la costa.

8. Gravas de un sistema fluvial / aluvial del mioceno (Gravas de Atacama)

Las gravas de Atacama forman secuencias de grandes potencias especialmente en el sector precordillerano. Son clásticas polímixtas, subangulares, tal vez redondeados de mala clasificación. El ambiente apunta a un sistema aluvial - fluvial. Las gravas muestran algunas intercalaciones de ignimbritas. Época principal de los depósitos era el mioceno y cubrieron grandes **partes de la Región Atacama**. Los sistemas fluviales actuales y algunas quebradas se erosionaron profundamente a esta secuencia.

9. Ignimbritas y piroclásticas del volcanismo mioceno hasta la actualidad.

Una facies muy particular se encuentra en la precordillera y cordillera principal: Tobas, ignimbritas y liparitas de la actividad volcánica desde el mioceno hasta la actualidad. Grandes secuencias de piroclásticas blancas hasta rosadas cubren grandes partes del sector. Generalmente tienen una composición dacítica - riolítica. Las edades más antiguas apuntan a una fase de alta actividad entre 25,1 m.a.-20,4m.a (SINDERN et al. 1994) en el sector del Cerro Bravo. En cantidades disminuidos llegaron estos eventos piroclásticos por lo menos hasta los sectores occidentales de la precordillera. Trozos aislados se puede encontrar hasta en la cordillera de la costa. Después destacan las secuencias de del Volcán Maricunga y La Coipa (14-16m.a. SINDERN et al. (1994), ignimbritas San Andrés (CLARK, 1967), Volcán Copiapó (MPODOZIS et al. 1994) y como último el complejo Tres Cruces. Se puede observar un cierto desplazamiento de la actividad volcánica hacia al este durante este periodo.

Las rocas de estas unidades generalmente muestran una baja dureza, tienen una alta porosidad y una cantidad enorme en piroclastos. Como ya mencionado el color es rosado, blanco.

10. Evaporitas de los salares

Entre precordillera y cordillera principal se encuentra la depresión de los salares. En la Región Atacama solamente en el área norte se formaban o forman salares. Desde el volcán Copiapó hacia al sur solamente existen lagunas de agua salubre (Negro Francisco). La transición se ve muy bien en el Salar de Maricunga - Laguna Santa Rosa. La formación de salares depende de un clima árido en conjunto con una morfología de cuencas sin afluente natural, cuencas cerradas. En Atacama la formación de los salares tiene su inicio en el mioceno tardío y sigue hasta la actualidad.

11. Depósitos litorales de gravas, coquinas y la fosforita

En todo el sector costero de la Región Atacama se acumularon secuencias de una facies litoral. Generalmente arenas y gravas con cantidades considerables en fósiles marinas o litorales. Especialmente dientes de tiburones, huesos de ballenas, aves etc., moluscos llaman atención a esta unidad. Los estratos cubren un tiempo entre terciario superior hasta la actualidad. Existen niveles de diatomitas y fosforitas últimas con una cantidad de fósiles impresionantes. La facies litoral muestra una transición lateral a facies fluviales (valle Copiapó) y depósitos aluviales.

9.2.2.3.- Vegetación.

Presenta una variación longitudinal en concordancia con las grandes Unidades de Respuesta y ombroclimáticas. La zona costera, expuesta a la influencia de neblinas y lluvias orográficas, la pampa desértica transicional con muy escasas precipitaciones, y la zona andina donde la precipitación vuelve a incrementarse (ver Figura N°14 y Tabla N°11).

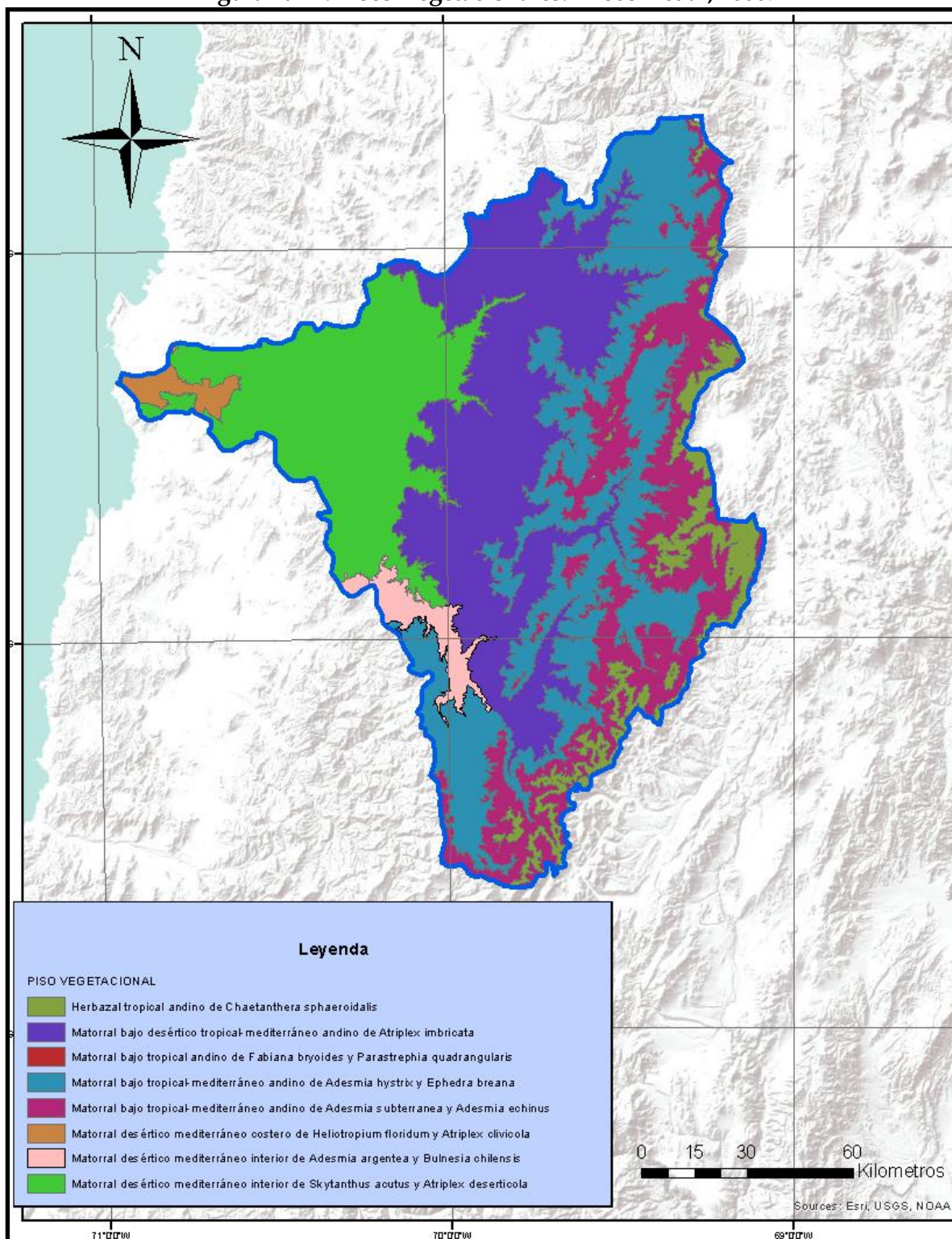
La vegetación costera, llamada desierto costero, que se caracteriza por la presencia de Cactáceas columnares, que se ven asociadas a una gran diversidad de arbustos del género *Heliotropium*. Representa un 1.3% del área de estudio.

La vegetación de la Cordillera de los Andes presenta una zonación altitudinal, producto de la influencia combinada del descenso de la temperatura y el aumento de las precipitaciones (PLISCOFF ET AL, 2006). Las zonas andinas bajas se desarrolla un matorral bajo abierto dominada *Atriplex imbricata*, representando un 28% del área de estudio. Mientras que el Matorral desértico mediterráneo interior de *Atriplex deserticola*, representa un 20% del área de estudio.

En los sectores de mayor elevación, sobre los 4.700 metros, que están fuertemente sometidos a procesos de gelifracción producto del congelamiento permanente del sustrato, la vegetación *Chaetanthera Sphaeroidalis*, muy abierta y dominada por plantas en cojín o hierbas perennes en roseta. Representa el 6% del área de estudio. Y finalmente el Matorral espinoso, xeromórfico, que alcanzan coberturas mayores 40%, representa un 26% del área de estudio.

El patrón espacial del NDVI (ver Figura N°15) presenta una superficie de suelos desnudos y heterogéneos en el área de estudio, caracterizado con un grado de dispersión negativo bajo en relación a su promedio. Representando casi 81%.

Figura N°14: Pisos Vegetacionales. Pliscoff et al, 2006.



Fuente: Elaboración propia a partir de Pliscoff et al, 2006.

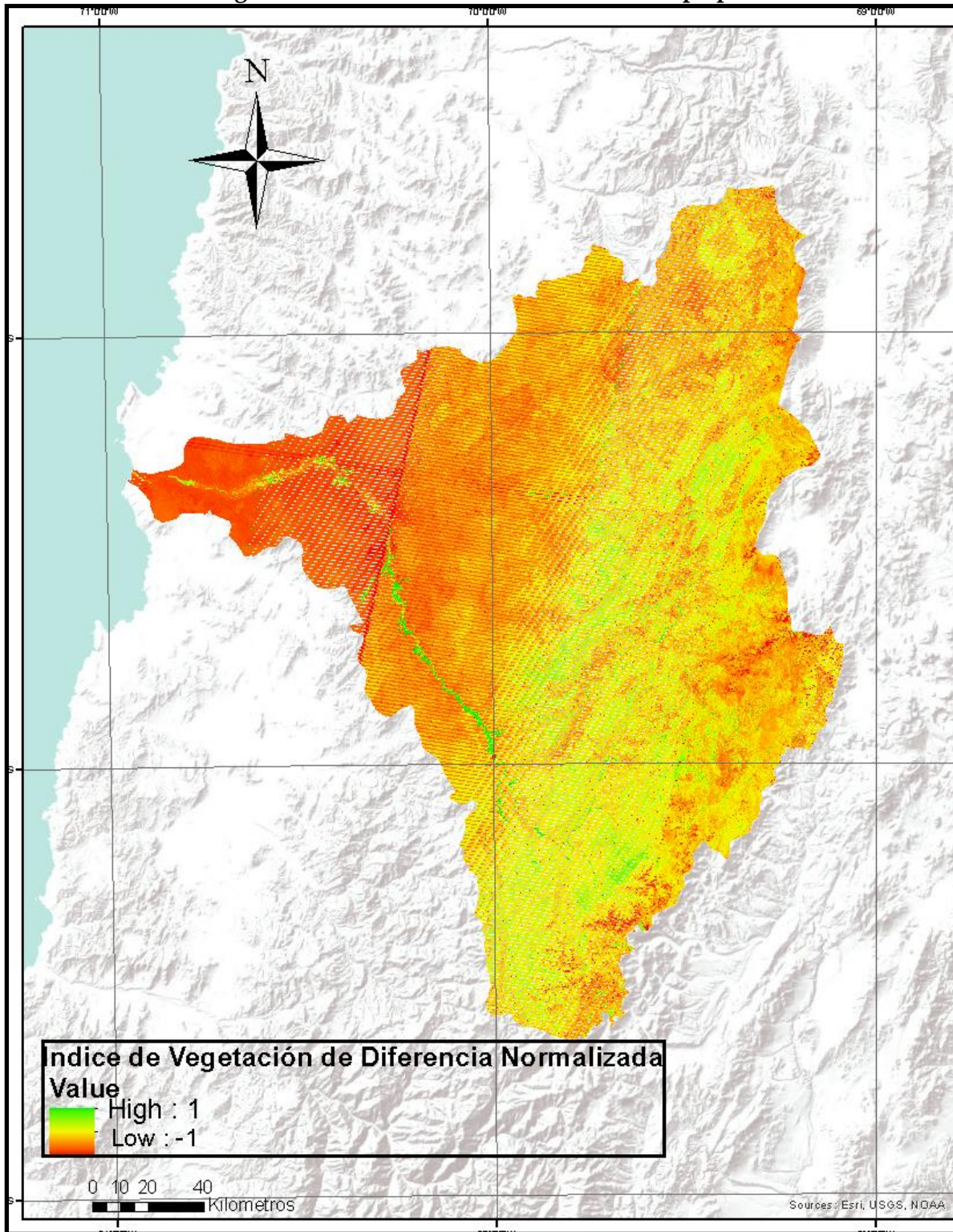
Tabla N°11: Descripción de Pisos Vegetacionales, según Pliscoff. 2006.

Piso vegetacional	Descripción	Dinámica	Distribución	Superficie km2
1.- Herbazal tropical andino de Chaetanthera Sphaeroidalis	Desierto de Altura muy abierto. Plantas herbáceas generalmente en roseta, que crecen entre las rocas, donde las condiciones de humedad y temperatura son más favorables que en los sectores expuestos al efecto desecante del viento y la baja temperatura	Suelos sometidos a procesos permanentes de gelifracción.	Partes Altas de la cordillera de los Andes, Sobre 4500 metros.	1.136.
2.- Matorral bajo desértico tropical-mediterráneo andino de Atriplex imbricata	Matorral abierto, pobre en especies. Presencia de fuertes influencias desérticas.	No existen datos, pero es posible suponer que la ocurrencia marginal de precipitaciones estivales permite la regeneración de las especies dominantes y la renovación del banco de semillas de las especies herbáceas.	Zona precordillerana andina del centro - norte de la región de Atacama. 1500 y 3500 metros	5.128
3.- Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de Adesmia hystrix y Ephedra breana	Matorral espinoso, xeromórfico, que alcanzan coberturas mayores 40%	No existen antecedentes sobre la dinámica, pero su posición ecológica y fisionomía es probable que tenga algunos rasgos comunes con el resto de los matorrales	Laderas medias andinas. 2700 - 4.000 metros.	4.830

		bajos supramediterraneos.		
4.- Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterranea</i> y <i>Adesmia echinus</i>	Matorral bajo, abierto, xeromorfo dominado por los subarbustos espinosos. También son importantes las hierbas rosuladas.	Prácticamente no se tienen antecedentes sobre la dinámica de este piso de vegetación. Plantas en cojín y subarbustos como plantas pioneras.	Laderas altas de la cordillera andina 3.500-4.500 metros.	3.217
5.- Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana bryoides</i> y <i>Parastrephia quadrangularis</i>	Matorral bajo, pobre en especies.	No existen datos sobre la dinámica natural de este piso de vegetación.	Norte de Atacama. 3800 – 4200 metros.	0.0
6.- Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium floridum</i> y <i>Atriplex clivicola</i>	Matorral abierto. Durante años lluviosos llegan a ser muy abundantes.	Fuertemente determinada por la variabilidad interanual de las precipitaciones.	Zona costera baja del centro de la región de Atacama. Entre 0-200 metros.	236
7.- Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea</i> y <i>Bulnesia chilensis</i>	Matorral muy abierto dominado por arbustos altos. Abundantes durante la primavera de los años lluviosos	No existen antecedentes. Fuertes presiones antrópicas, Explotación de los recursos dendroenergético, que ha producido degradación severa.	Sector interior del sur de la región de Atacama. 300-1.800 metros.	430
8.- Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> y <i>Atriplex deserticola</i>	Matorral muy abierto dominado por arbustos	Las especies dominantes tienden a mantener estructuras vegetativas y generativas incluso durante los años secos	Llano interior de Atacama. 200-1.500 metros	3717

Fuente: Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Pliscoff et al. 2006. Elaboración propia.

Figura N°15: NDVI de la Cuenca del Río Copiapó.



Fuente: Elaboración propia a partir de imagen Landsat TM. Noviembre 2015.

9.2.2.4.- Clima.

El área de estudio se ubica entre la zona hiper-árida de la Región de Antofagasta y la zona mediterránea semiárida de la Región de Coquimbo. El norte de la cuenca se caracteriza por la formación de neblinas costeras que sustentan la vegetación de lomas y el límite sur del altiplano en la zona cordillerana, con la presencia más austral de sus pisos de vegetación y grandes salares, que caracterizan al norte Grande de Chile.

Según JULIA et al., (2008) se presentan cuatro climas (KÖPPEN. 1948) para el área estudio:

1.- Desierto Costero con nubosidad abundante:

- Las precipitaciones son extremadamente variables. Se presentan en los meses de junio, julio y agosto, y son excepcionales en los meses de primavera. En promedio, los días que anualmente registran lluvias varían de 1 a 4, y disminuyen de sur a norte. La suma media anual 12 mm en Chañaral y 24 mm en Caldera.
- Las Temperaturas, se clasifica como templada y tiene un promedio entre 10 y 20°C, a excepción de enero que supera en 0,5°C. Oscilación media es de 7,5°C.

La precipitación máxima 24, 48 y 72 horas es registrada por la Estación Desierto de Atacama, para el año 1997 con 58,6, 64 y 64 mm (ver Tabla N°12 y Gráfico N°4). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

Tabla N°12: Estación Desierto de Atacama, Caldera (1953-2015).

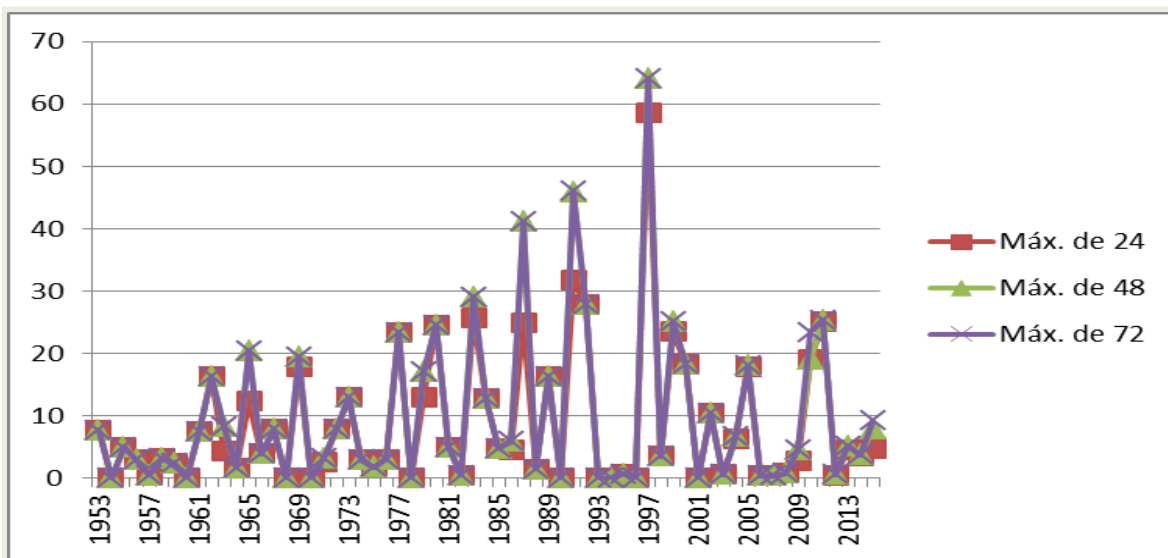
Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1953	7,7	7,7	7,7
1954	0	0	0
1955	5	5	5
1956	3	3	3
1957	0,5	0,5	0,5
1958	3,2	3,2	3,2
1959	2,5	2,5	2,5
1960	0	0	0
1961	7,5	7,5	7,5
1962	16,3	16,3	16,3
1963	4,4	8,4	8,4
1964	1,7	1,7	1,7

1965	12,4	20,4	20,4
1966	4	4	4
1967	7,9	7,9	7,9
1968	0	0	0
1969	17,8	19,4	19,4
1970	0	0	0
1971	2,7	3,3	3,3
1972	7,9	7,9	7,9
1973	13	13	13
1974	3	3	3
1975	1,8	1,8	1,8
1976	3,1	3,1	3,1
1977	23,4	23,4	23,4
1978	0	0	0
1979	13,1	17,1	17,1
1980	24,6	24,6	24,6
1981	5	5	5
1982	0,5	0,5	0,5
1983	25,8	29,1	29,1
1984	12,8	12,8	12,8
1985	4,8	4,8	4,8
1986	4,5	5,9	5,9
1987	25	41,1	41,1
1988	1,5	1,5	1,5
1989	16,4	16,4	16,4
1990	0	0	0
1991	31,7	45,8	46
1992	27,9	27,9	27,9
1993	0	0	0
1994	0	0	0
1995	0,7	0,7	0,7
1996	0	0	0
1997	58,6	64	64
1998	3,6	3,6	3,6
1999	23,5	25,1	25,1
2000	18,3	18,3	18,3
2001	0	0	0
2002	10,4	10,4	10,4
2003	0,6	0,6	0,6
2004	6,4	6,7	6,7
2005	17,8	18	18

2006	0,4	0,4	0,4
2007	0,4	0,4	0,4
2008	0,8	0,8	0,8
2009	2,8	4,6	4,6
2010	19	19	23,4
2011	25,2	25,4	25,4
2012	0,4	0,6	0,6
2013	4,6	5,2	5,2
2014	3,6	3,8	3,8
2015	4,8	8	9,2
Total	58,6	64	64

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°4: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas. Estación Desierto de Atacama, Caldera (1953-2015).



Fuente: Elaboración propia.

2.- Desértico Transicional:

- Las precipitaciones invernales son escasas y variables.
- Los días con precipitación son notoriamente inferiores a los promediados para la costa, con una frecuencia media a un día.
- Temperatura media anual es de 15,7°C, con un promedio mensual que varía entre los 18° y 20,5° durante el verano y el resto del año entre 11° y 17°C.

La precipitación máxima 24, 48 y 72 horas es registrada por:

La Estación Copiapó, para el año 1997 con 68,3, 72,5 y 72,5 mm (ver tabla N°13 y gráfico N°5). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

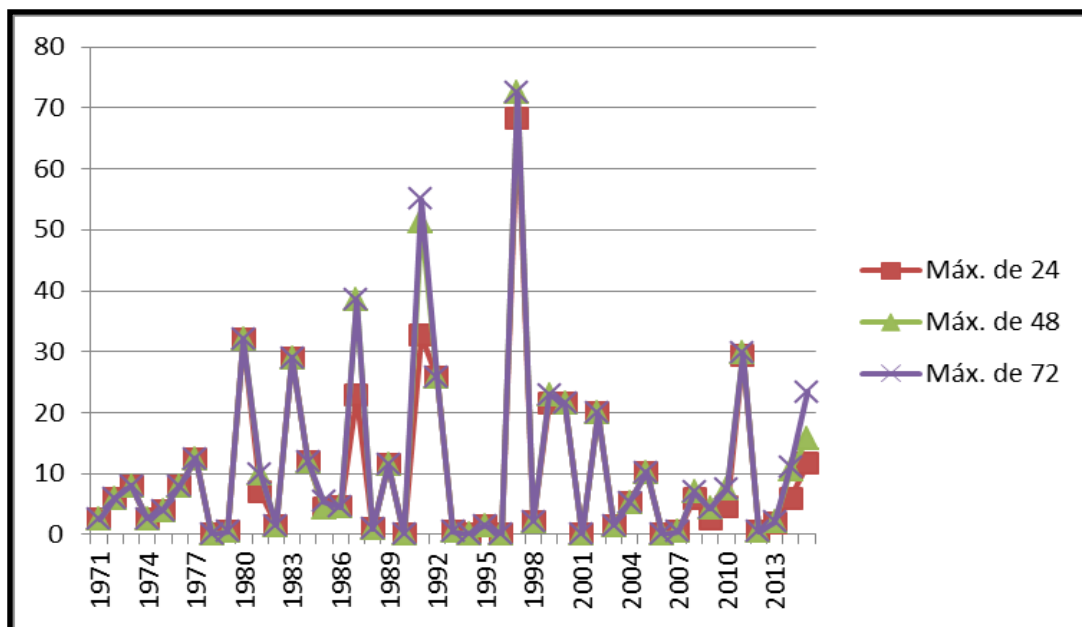
Tabla N°13: Estación Copiapó (1971-2015).

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1971	2,5	2,5	2,5
1972	6	6	6
1973	8	8	8
1974	2,6	2,6	2,6
1975	4	4	4
1976	8	8	8
1977	12,5	12,5	12,5
1978	0	0	0
1979	0,5	0,5	0,5
1980	32	32	32
1981	7	10	10
1982	1,5	1,5	1,5
1983	29	29	29
1984	12	12	12
1985	4,4	4,4	5,4
1986	4,5	4,5	4,5
1987	22,8	38,5	38,5
1988	1	1	1
1989	11,4	11,4	11,4
1990	0	0	0
1991	32,7	51,4	55,1
1992	25,8	25,8	25,8
1993	0,5	0,5	0,5
1994	0	0	0
1995	1,5	1,5	1,5
1996	0	0	0
1997	68,3	72,5	72,5
1998	2,2	2,2	2,2
1999	21,6	23	23
2000	21,5	21,5	21,5
2001	0	0	0
2002	20	20	20
2003	1,5	1,5	1,5
2004	5,3	5,3	5,3

2005	10,2	10,2	10,2
2006	0	0	0
2007	0,5	0,5	0,5
2008	6	7	7
2009	2,5	4,3	4,3
2010	4,5	7,5	7,5
2011	29,5	29,8	29,8
2012	0,5	0,5	0,5
2013	1,8	2,1	2,1
2014	6	10,6	11,1
2015	11,7	15,8	23,4
Total	68,3	72,5	72,5

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°5: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas. Estación Copiapó (1971-2015).



Fuente: Elaboración propia.

La Estación Elibor Campamento, para el año 1997 con 92,3, 98 y 98 mm (ver Tabla N°14 y gráfico N°6). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

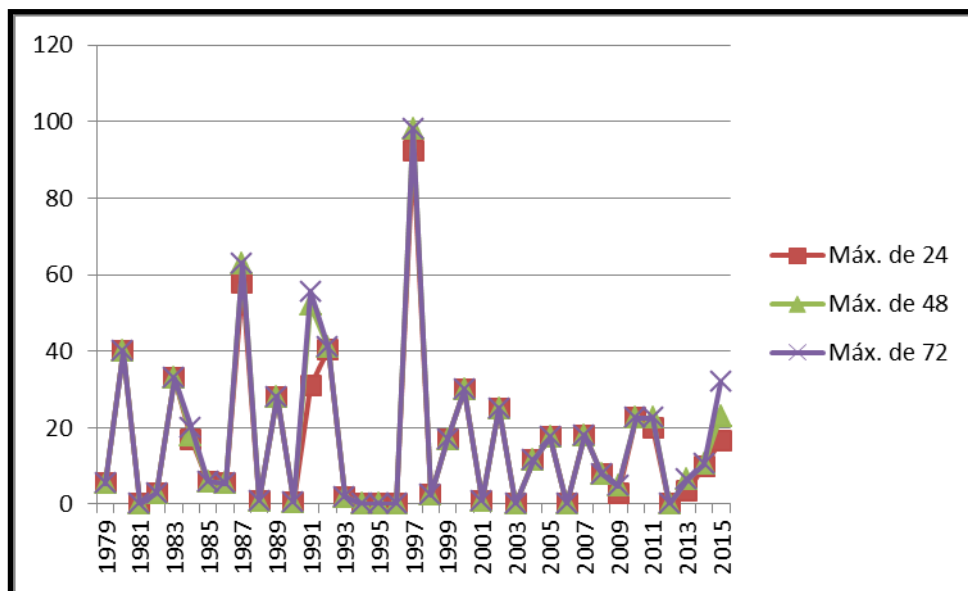
Tabla N°14: Estación Elibor Campamento (1979-2015)

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1979	5,5	5,5	5,5
1980	40	40	40
1981	0	0	0
1982	3	3	3
1983	33	33	33
1984	17	18	20
1985	6	6	6
1986	5,5	5,5	5,5
1987	58	63	63
1988	1	1	1
1989	28	28	28
1990	0,5	0,5	0,5
1991	31	52	55,5
1992	40,5	41	41
1993	2	2	2
1994	0	0	0
1995	0	0	0
1996	0	0	0
1997	92,3	98	98
1998	2,5	2,5	2,5
1999	17	17	17
2000	30	30	30
2001	1	1	1
2002	25	25	25
2003	0	0	0
2004	11,5	11,5	11,5
2005	17,5	17,5	17,5
2006	0	0	0
2007	18	18	18
2008	8	8	8
2009	2,7	4,7	4,7
2010	22,5	22,5	22,5
2011	20	22,5	22,5
2012	0	0	0
2013	3,5	6,5	6,5
2014	10	10,5	10,5

2015	16,5	23	32
Total	92,3	98	98

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°6: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas. Estación Elibor Campamento (1979-2015).



Fuente: Elaboración propia.

La Estación Los Loros, para el año 1997 con 101, 118 y 118 mm (ver Tabla N°15 y gráfico N°7). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

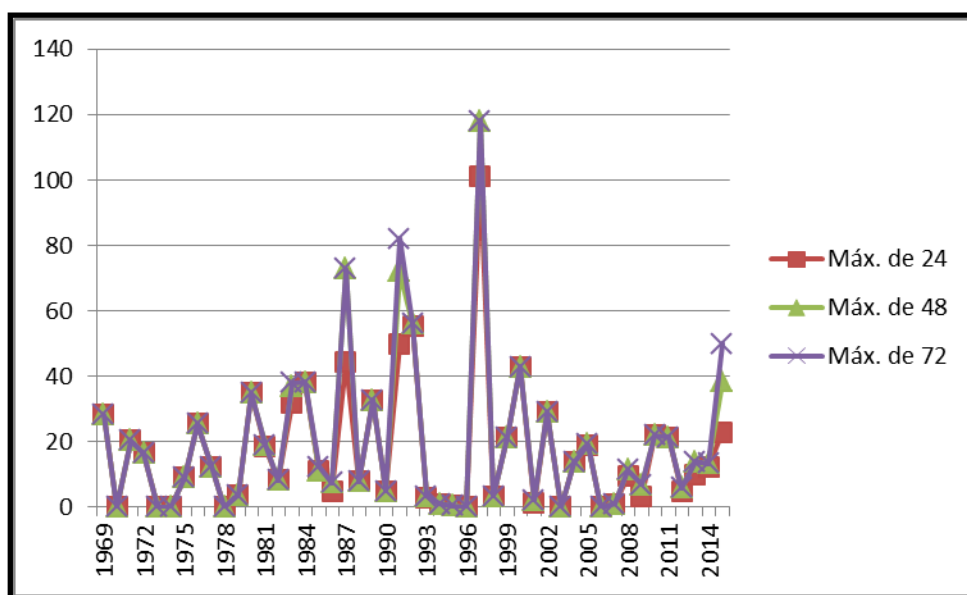
Tabla N°15: Estación Los Loros (1969-2015).

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1969	28,2	28,2	28,2
1970	0	0	0
1971	20,5	20,5	20,5
1972	16,5	16,5	16,5
1973	0	0	0
1974	0	0	0
1975	9	9	9
1976	25,5	25,5	25,5
1977	12,5	12,5	12,5
1978	0	0	0

1979	3,9	3,9	3,9
1980	35	35	35
1981	18,5	19	19
1982	8,3	8,3	8,3
1983	32	37	38
1984	38	38,2	38,2
1985	11	11	12,5
1986	5	7,5	7,5
1987	44,4	72,9	72,9
1988	8	8	8
1989	32,7	32,7	32,7
1990	5	5	5
1991	50	72	82
1992	55,5	56	56
1993	3	3,5	3,5
1994	1	1	1
1995	0,5	0,5	0,5
1996	0	0	0
1997	101	118	118
1998	3,5	3,5	3,5
1999	21,5	21,5	21,5
2000	43	43	43
2001	1,2	2,2	2,2
2002	29	29	29
2003	0	0	0
2004	13,8	13,8	13,8
2005	19	19,2	19,2
2006	0	0	0
2007	1	1	1
2008	9,5	11,5	11,5
2009	3,5	7	7
2010	22	22	22
2011	21,5	21,5	21,5
2012	5	6	6
2013	10	14	14
2014	12,4	13,4	13,4
2015	23	38,5	50
Total	101	118	118

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°7: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Los Loros (1969-2015).



Fuente: Elaboración propia.

La Estación Lautaro Embalse, para el año 1997 con 86, 98 y 98 mm (ver Tabla N°16 y Gráfico N°8). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

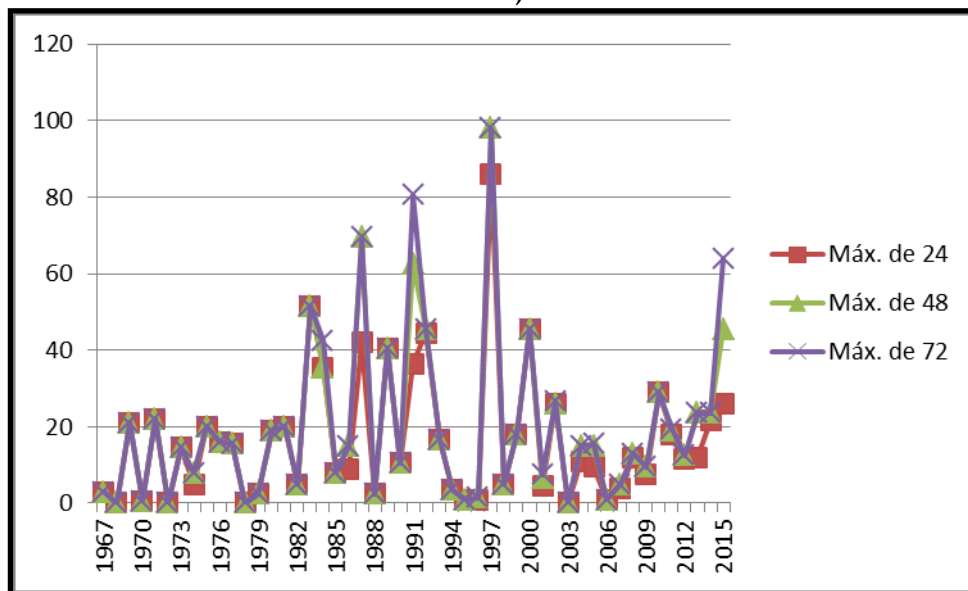
Tabla N°16: Estación Lautaro Embalse (1967-2015),

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1967	3	3	3
1968	0	0	0
1969	20,8	21	21
1970	0,5	0,5	0,5
1971	22	22	22
1972	0	0	0
1973	14,5	14,5	14,5
1974	5	8	8
1975	20	20	20
1976	16	16	16
1977	15,5	15,5	15,5
1978	0	0	0
1979	2,5	2,5	2,5
1980	19	19	19
1981	20	20	20
1982	5	5	5

1983	51,5	51,5	51,5
1984	35,5	35,5	42,5
1985	8	8	8
1986	9	15	15
1987	42	69,5	69,5
1988	2,5	2,5	2,5
1989	40,5	40,5	40,5
1990	10,5	10,5	10,5
1991	36,5	62,5	80,5
1992	44,5	45,5	45,5
1993	16,5	16,5	16,5
1994	3,5	3,5	3,5
1995	1	1	1
1996	1	1,5	1,5
1997	86	98	98
1998	5	5	5
1999	18	18	18
2000	45,5	45,5	45,5
2001	4,5	6,5	7,5
2002	26	26	26,5
2003	0	0	0
2004	11	15	15
2005	9,5	15	15,5
2006	1	1	1
2007	4	5	5
2008	12	13	13
2009	7,5	9,5	9,5
2010	29	29	29
2011	18	19	19,3
2012	11,5	12,5	12,5
2013	12	23,5	23,5
2014	21,5	23,5	23,5
2015	26	45,5	64
Total	86	98	98

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°8: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Lautaro Embalse (1967-2015).



Fuente: Elaboración propia.

La Estación Manflas, para el año 1997 con 75, 95 y 95 mm (ver Tabla N°17 y Gráfico N°9). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 40 mm.

Tabla N°17: Estación Manflas (1966-2015).

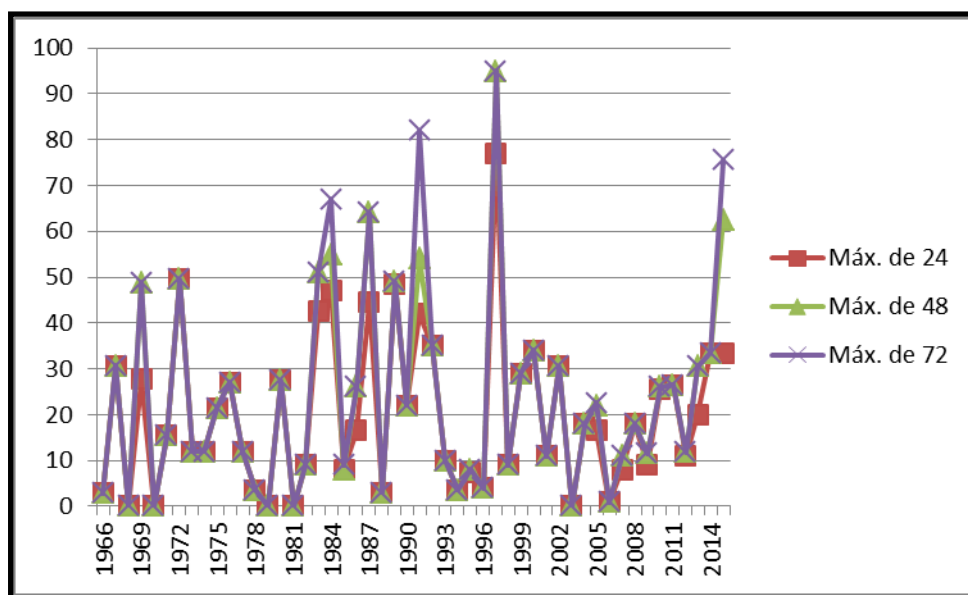
Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1966	2,8	2,8	2,8
1967	30,6	30,6	30,6
1968	0	0	0
1969	27,8	48,8	48,8
1970	0	0	0
1971	15,5	15,5	15,5
1972	49,5	49,5	49,5
1973	12	12	12
1974	12	12	12
1975	21,5	21,5	21,5
1976	27	27	27
1977	12	12	12
1978	3,5	3,5	3,5
1979	0	0	0
1980	27,5	27,5	27,5

1981	0	0	0
1982	9	9	9
1983	42,5	51	51
1984	47	55	67
1985	8	8	9
1986	16,5	26	26
1987	44,5	64	64
1988	3	3	3
1989	48,5	49	49
1990	22	22	22
1991	42	54	82
1992	35	35	35
1993	10	10	10
1994	3,5	3,5	3,5
1995	7,5	8	8
1996	4	4	4
1997	77	95	95
1998	9	9	9
1999	29	29	29
2000	34	34	34
2001	11	11	11
2002	30,5	30,5	30,5
2003	0	0	0
2004	18	18	18
2005	16,5	22	22,5
2006	0,9	0,9	0,9
2007	8	11	11
2008	18	18	18
2009	9,1	11,5	11,5
2010	25,5	26	26
2011	26,5	26,5	26,5
2012	10,9	11,8	11,8
2013	20	30,5	30,5
2014	33,5	33,5	33,5
2015	33,5	62,5	75,5
Total	77	95	95

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

:

Gráfica N°9: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Manflas (1966-2015).



Fuente: Elaboración propia.

La Estación Iglesia Colorada, para el año 1997 con 90.8, 103.5 y 103.5 mm (ver Tabla N°18 y Gráfico N°10). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 37 mm.

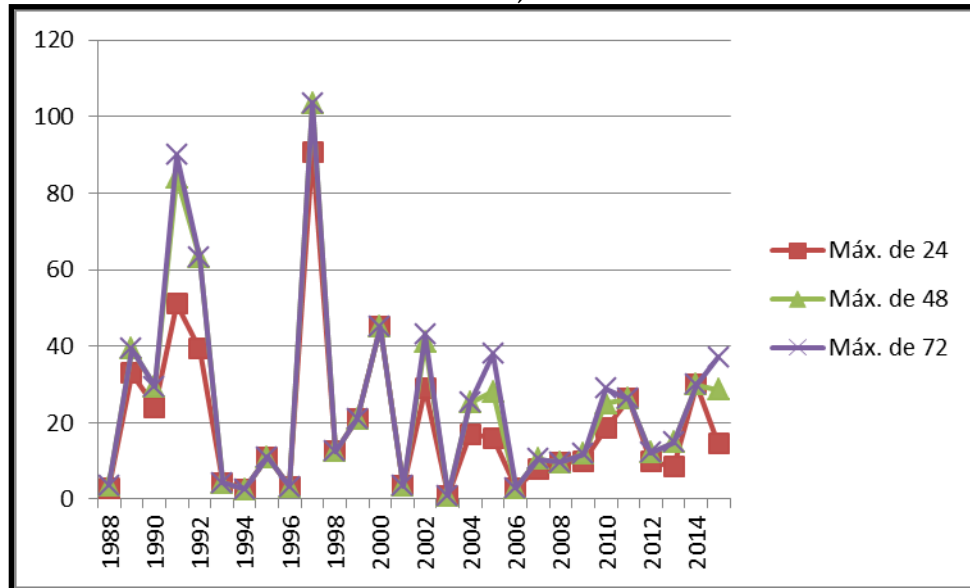
Tabla N°18: Estación Iglesia Colorada (1988-2015).

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1988	3	3,6	3,6
1989	33	39,3	39,3
1990	24	29,5	29,5
1991	51	84	90
1992	39,3	63,1	63,1
1993	4,3	4,3	4,3
1994	2,6	2,6	2,6
1995	11	11	11
1996	3,2	3,2	3,2
1997	90,8	103,5	103,5
1998	12,5	12,5	12,5
1999	21	21	21
2000	45	45	45
2001	3,5	3,5	3,5
2002	29	41	43
2003	1	1	1

2004	17	25,3	25,3
2005	16	28	38
2006	3	3	3
2007	8	10,5	10,5
2008	9,6	9,6	9,6
2009	10	11,8	11,8
2010	18,5	25	29
2011	26,2	26,2	26,2
2012	10	12,2	12,2
2013	8,5	14,9	14,9
2014	30	30	30
2015	14,5	28,5	37,2
Total	90,8	103,5	103,5

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015).
Elaboración propia.

Gráfica N°10: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Iglesia Colorada (1953-2015).



Fuente: Elaboración propia.

3.- Desértico Frío de Montaña:

- Por sobre los 1.200 a 1.500 m.s.n.m y hasta los 4.000 m.s.n.m se identifica un clima de desierto frío, donde el ritmo de las temperaturas es regulado por la altitud.
- Temperatura media anual de 11,2°C con una diferencia entre el mes más frío y el mes más cálido es de 5,7°C. Enero registra un promedio mensual de 13,7°C y de 18,4°C para las máximas medias. Y el mes más frío con un promedio de 8°C, con una mínima media de 8°C, y mínimas absolutas de los -10°C.

La Estación Jorquera de la Guardia, para el año 1997 con 72,5, 84,3 y 84,3 mm (ver Tabla N°19 y Gráfico N°11). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 35 mm.

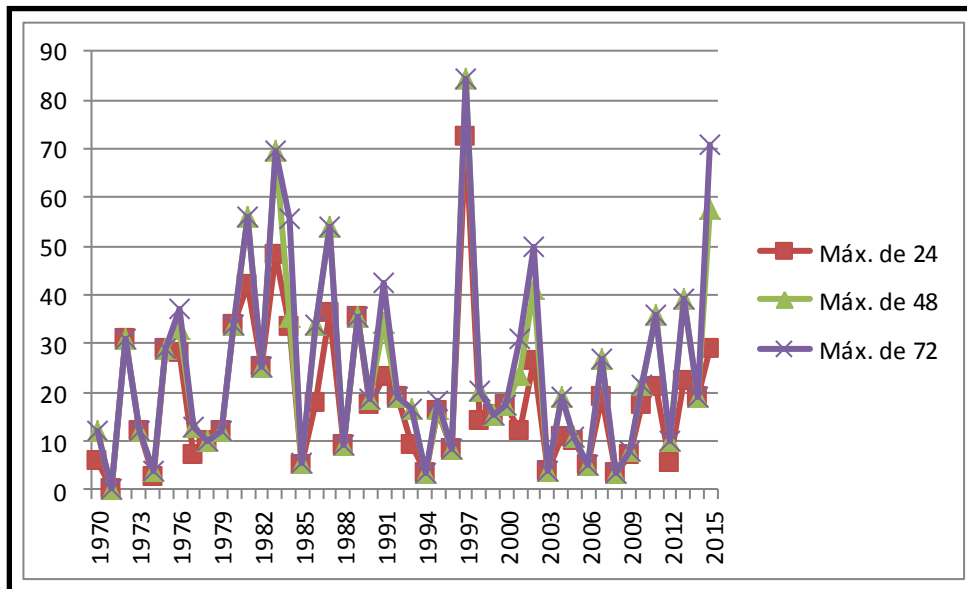
Tabla N°19: Estación Jorquera de la Guardia (1970-2015).

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1970	6	12	12
1971	0	0	0
1972	31	31	31
1973	12	12	12
1974	2,5	4	4
1975	29	29	29
1976	28	33	37
1977	7	13	13
1978	10	10	10
1979	12	12	12
1980	34	34	34
1981	42	56	56
1982	25	25	25
1983	48,3	69,5	69,5
1984	33,5	35,5	55,5
1985	5,2	5,5	5,5
1986	18	34	34
1987	36,3	54	54
1988	9,2	9,2	9,2
1989	35,3	35,3	35,3
1990	17,2	18,5	18,5
1991	23,1	34,3	42,5
1992	19,2	19,2	19,2
1993	9,2	16,5	16,5

1994	3,5	3,5	3,5
1995	16,2	16,7	18,2
1996	8,3	8,3	8,3
1997	72,5	84,3	84,3
1998	14,2	20,2	20,2
1999	15,4	15,4	15,4
2000	17,4	17,4	17,4
2001	12	23,5	30,8
2002	26,5	41,1	49,7
2003	4	4	4
2004	11	19	19
2005	10	10,8	11
2006	5	5	5
2007	19	27	27
2008	3,5	3,5	3,5
2009	7	8	8
2010	17,2	21,3	21,3
2011	21	36	36
2012	5,5	9,9	9,9
2013	22,2	39	39
2014	19	19	19
2015	29	57,5	71
Total	72,5	84,3	84,3

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°11: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Jorquera de la Guardia (1970-2015).



Fuente: Elaboración propia.

4.- Tundra de Alta Montaña:

- Presentan bajas temperaturas durante todo el año, con variaciones por debajo y por sobre los 0°C, pero que ni en el verano alcanzan temperaturas mayores a los 10°C.
- Precipitación se producen por lo general en forma de nieve.

La Estación Pastos Grandes, para el año 1997 con 60, 60 y 65,7 mm para el 2015 (ver Tabla N°20 y Gráfico N°12). La fecha es el 12 de Junio de 1997. También el promedio de la serie de datos no excede los 30 mm.

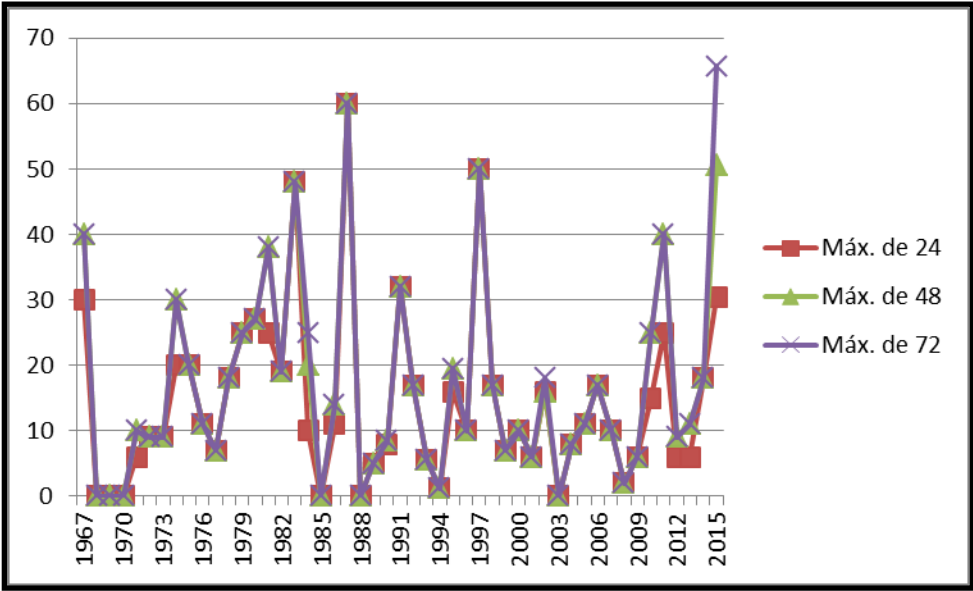
Tabla N°20: Estación Pastos Grandes (1967-2015).

Año	Máx. de 24	Máx. de 48	Máx. de 72
1967	30	40	40
1968	0	0	0
1969	0	0	0
1970	0	0	0
1971	6	10	10
1972	9	9	9
1973	9	9	9
1974	20	30	30
1975	20	20	20
1976	11	11	11

1977	7	7	7
1978	18	18	18
1979	25	25	25
1980	27	27	27
1981	25	38	38
1982	19	19	19
1983	48	48	48
1984	10	20	25
1985	0	0	0
1986	11	14	14
1987	60	60	60
1988	0	0	0
1989	5	5	5
1990	8	8,5	8,5
1991	32	32	32
1992	17	17	17
1993	5,5	5,5	5,5
1994	1,2	1,2	1,2
1995	16	19,5	19,5
1996	10	10	10
1997	50	50	50
1998	17	17	17
1999	7	7	7
2000	10	10	10
2001	6	6	6
2002	16	16	18
2003	0	0	0
2004	8	8	8
2005	11	11	11
2006	17	17	17
2007	10	10	10
2008	2	2	2
2009	6	6	6
2010	15	25	25
2011	25	40	40
2012	6	9	9
2013	6	11	11
2014	18	18	18
2015	30,5	50,5	65,7
Total	60	60	65,7

Fuente: Center for climate and Resilience Research, obtenida desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA) de Chile (2015). Elaboración propia.

Gráfica N°12: Precipitación Máxima 24,48 y 72 horas Estación Pastos Grandes (1967-2015).

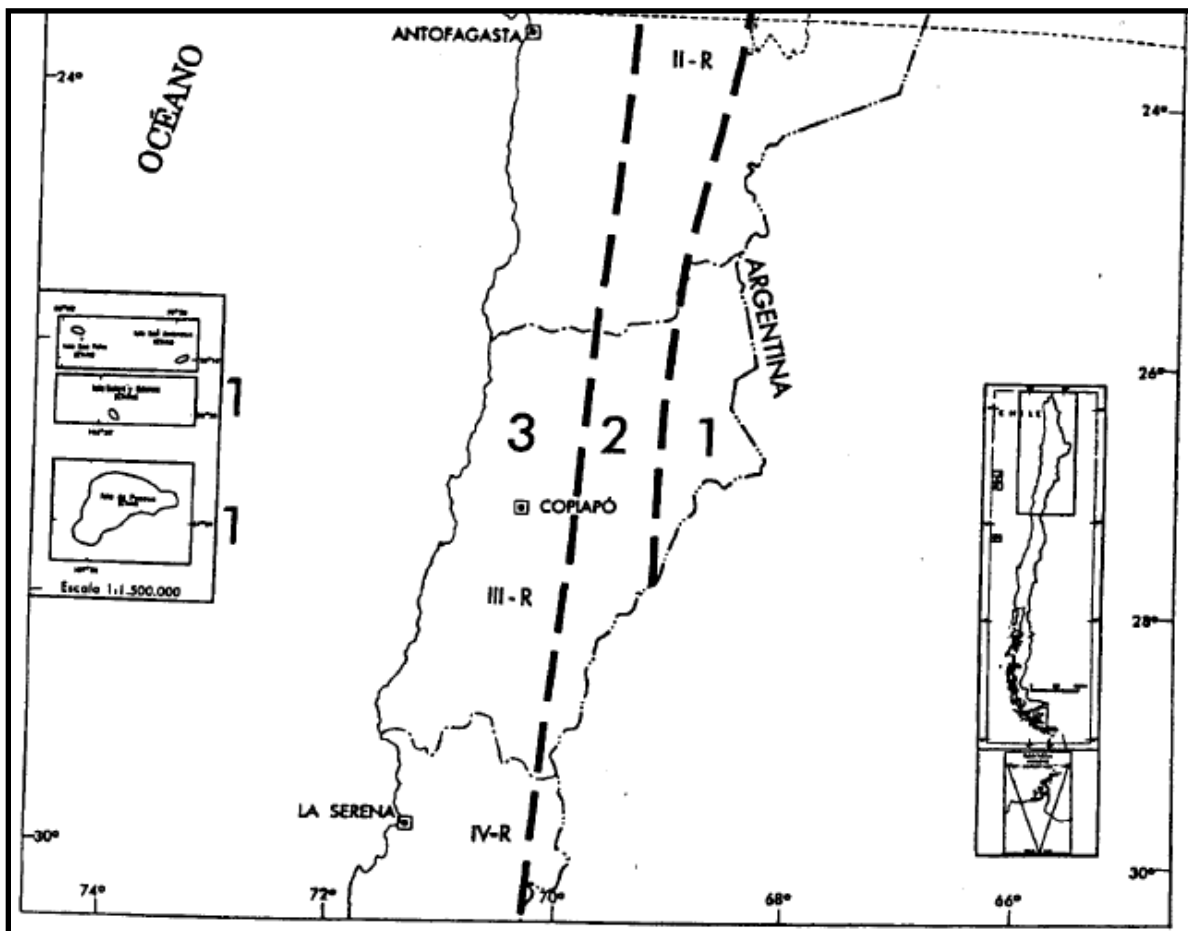


Fuente: Elaboración propia.

9.2.2.5.- Sismicidad.

El Factor detonante por Sismo se califica según las tres zonas sísmicas que se distinguen en el territorio nacional (NCh433), ver Figura N°16 y Tabla N°21. No obstante, en regiones sometidas a terremotos, toda decisión en materias de obras de ingeniería, construcción de industrias o manejo de suelos debe estar apoyada en estudios que permitan conocer las características de los terremotos que con mayor o menor probabilidad pueden producirse. Con este propósito se deben tomar en consideración los antecedentes de la sismicidad histórica y de las características de las fuentes sísmicas de la región.

Figura 16: Zonas Sísmicas a Microescala en que se encuentra el área de estudio, según NCh433.



Fuente: NCh433, 1996.

Tabla N°21: Grado de Amenaza Sísmica, según la NCh433.

ZONA SÍSMICA	ACELERACIÓN EFECTIVA (A_o)
1	0.20
2	0.30
3	0.40

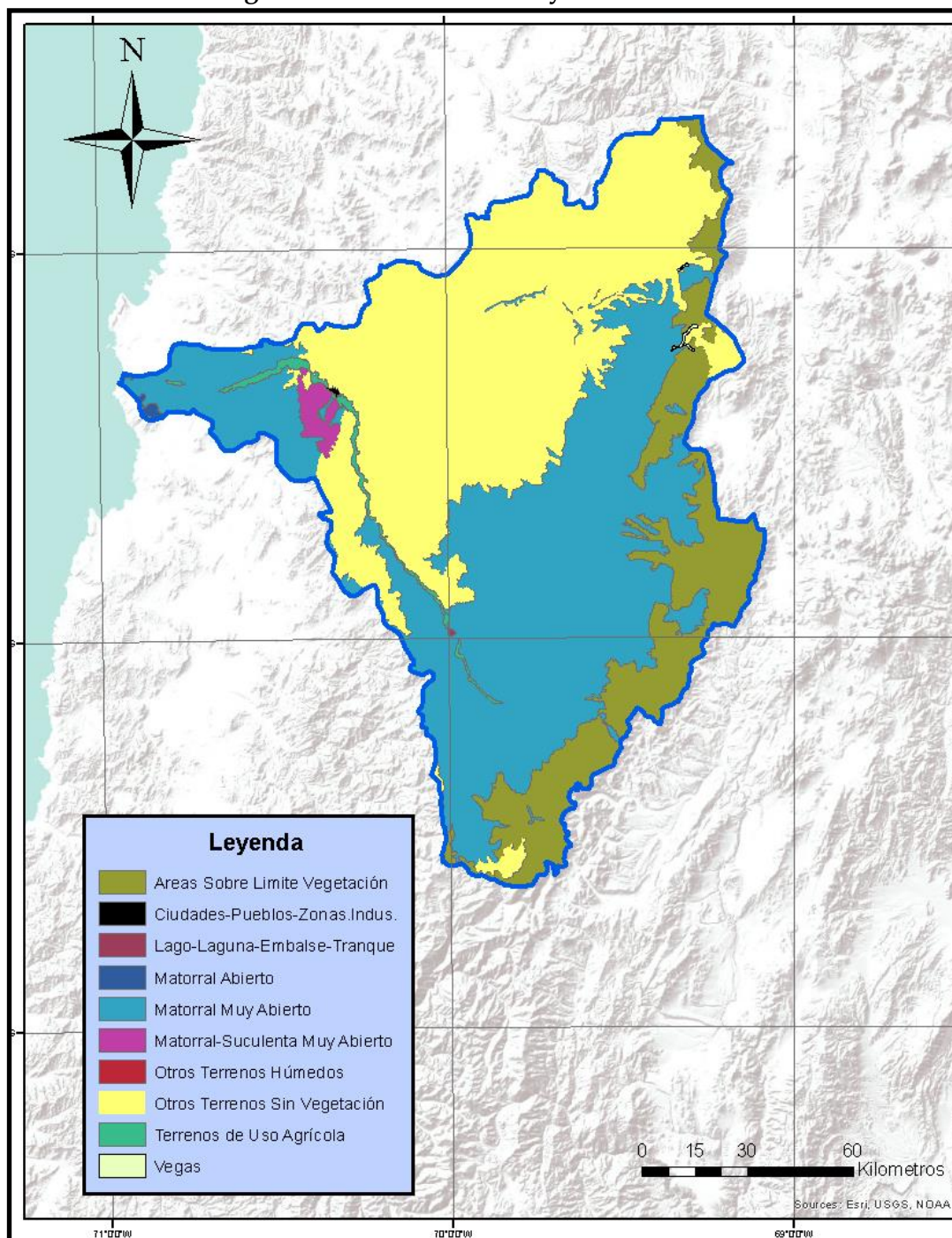
Fuente: NCh433, 1996.

Los últimos dos gran sismos, que han afectado a la ciudad de Copiapó han sido el de Vallenar el 30 de enero 2013 (6.8 Richter); y de Illapel el 16 de setiembre 2015 (8,4 Richter).

9.2.2.6.- Intervención antrópica.

En esta última década la Cuenca de Copiapó ha enfrentado una creciente transformación en el territorio; cambio de uso de suelo y vialidades; y modos de ocupación de la tierra. Ver Figura N°17.

Figura N°17: Usos de Suelo y Límite Urbano.



Fuente: Elaboración Propia a partir de SINIA y Observatorio Urbano.

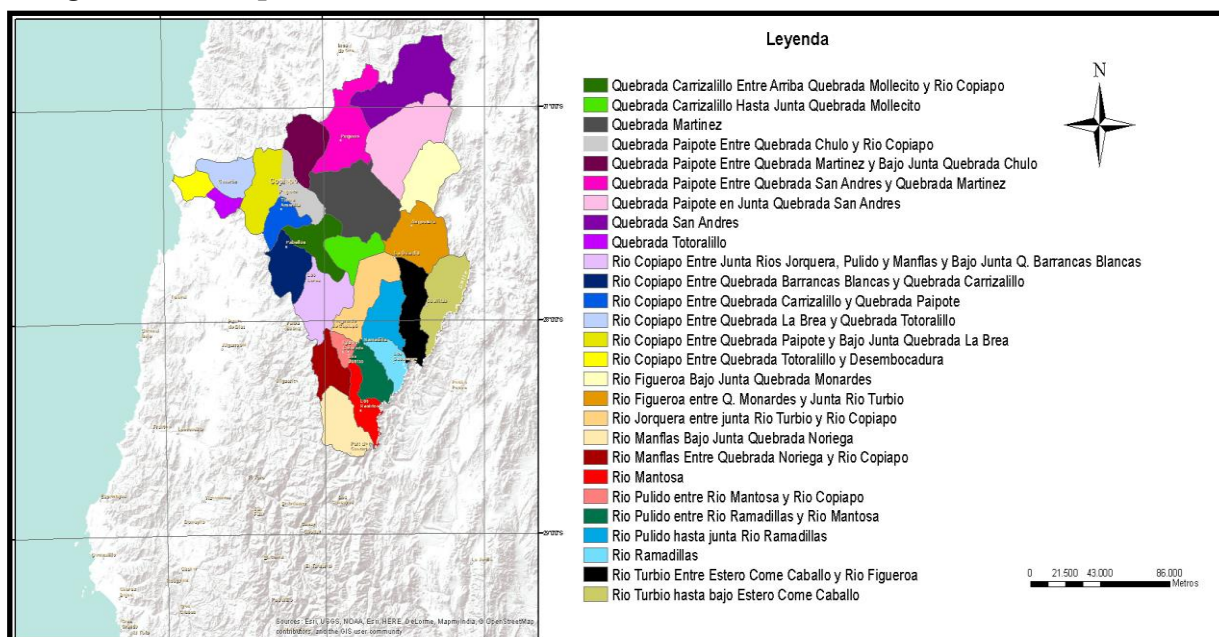
9.2.3.- Aplicación de metodología de susceptibilidad de remoción en masa por flujos.

En el presente capítulo se definen las Unidades de Respuesta de estudio para la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa por flujos, con el propósito de aplicar las tablas de cálculo de índice de susceptibilidad de LARA (2007).

9.2.3.1.- Definición de unidades de estudio a nivel de Cuenca.

Para aplicar la metodología de evaluación de susceptibilidad de remoción en masa por flujos de Lara (2007), se utilizaron 3 subsubcuencas pertenecientes al río Copiapó y Quebrada de Paipote (superficie máxima es de 1.520 kilómetros cuadrados) de un total de 27 (BNA de la DGA. 2006) ver Figura N°18.

Figura N°18: Representación de Subsubcuencas del BNA.



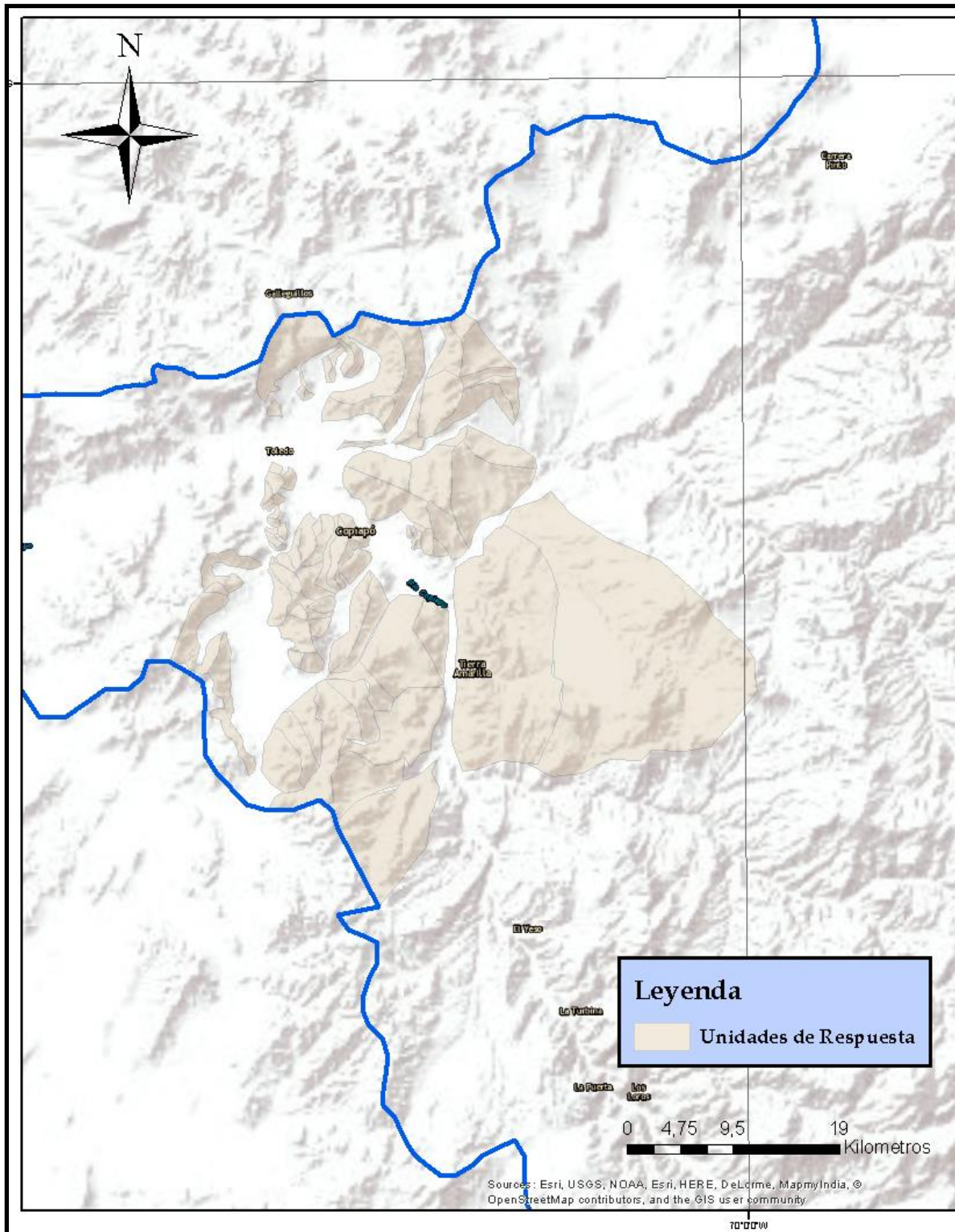
Fuente: Elaboración propia a de la DGA. 2006.

Las Subsubcuencas fueron seleccionadas por los siguientes criterios:

1. Antecedentes Geomorfológicos.
2. Antecedentes Hidrometeorológicos.
3. Antecedentes Históricos y Bibliográficos de procesos de remoción en masa por flujos.

A partir de estas subsubcuencas se definieron un total de 93 Unidades de Respuesta (ver Figura N°19).

Figura N°19: Unidades de Respuesta.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.3.2.- Cálculo de índices de susceptibilidad de remoción en masa por flujos.

En base a las unidades definidas, se aplica la tabla de cálculo de índice de susceptibilidad de LARA (2007), para los procesos de remoción en masa por flujos, ver tabla N°22, solamente se modificaron los rangos de pendiente y valorización en su ponderación. Según CAMPOS (2014), cuando no se logra tener antecedentes, se valora con ponderación intermedia.

Tabla N°22: Ponderadores para factores condicionantes de flujos, metodología Lara (2007).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1. Pendiente de Laderas. (*)	Promedio de ladera.	10° - 15°	3
		15° - 20°	6
		20° - 25 °	9
		25° - 30°	11
		30° - 40°	13
		>40°	15
2. Encajamiento canal de drenaje al pie de la ladera.	Promedio de la unidad. Si la unidad es solo canal de drenaje, el puntaje f2 se asocia a f1, quedando solo como un puntaje otorgado por "pendiente del canal".	<5°	1
		5° - 10°	5
		>10°	10
3. Encajamiento canal de drenaje.	Dado por la geomorfología y la relación profundidad/ancho del canal. Un encajamiento alto puede referirse, entre otros, en un valor alto de esta razón. Puede considerarse un valor mayor a 0.7 como encajamiento alto.	Alto	7
		Medio	4
		Bajo	1
4. Exposición al sol.	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	3
		Parcial	2
		Baja	0
5. Características geológicas-geotécnicas del material.	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por los suelos de baja compacidad, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones.	Muy favorable	25
		Favorable	18
		Medianamente favorable	13
		Poco favorable	8
		Muy poco favorable	3
6. Condiciones de humedad y saturación.	Asociado a: 1. Capacidad de saturación por abajo (capacidad nivel freático <2m es muy favorable para generación de flujos, >2m poco favorable, 2m favorable) y por arriba (infiltración por precipitación). 2. Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo. 3. Variaciones estacionales de humedad.	Muy favorable	10
		Favorable	7
		Poco favorable	3
		Muy poco favorable	2

	Mayor almacenaje y humedad alta favorecen la generación de flujos.		
7. Acumulación de nieve.	Según estacionalidad.	Siempre	5
		Estacional	2
		Esporádica	1
		Nula	0
8. Cobertura vegetal.	Densidad de la ladera.	Nula a baja	5
		Moderada	3
		Alta	0
9. Obstrucción canal drenaje	No considera a estructuras destinadas a contener flujos.	Importante	5
		Moderada	4
		Baja	2
		No observado	0
10. Desestabilización artificial de laderas.	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	5
		Poco importante	3
		No observado	0
11. Aluviones declarados en la hoya hidrográfica.	Información escrita y/o observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes, aquellos con recurrencia <10 años.	Históricos frecuentes	10
		Históricos poco frecuentes	7
		Prehistóricos	4
		Sin antecedentes	1
12. Tipo de material.	En este caso, el material roca no está en estudio por lo tanto pondera 0 al resto de los factores.	Suelo	1
		Roca (cobertura <1m de suelo)	0

En el factor condicionante de la pendiente (*) fue ponderado de la siguiente manera: 0-2°=1; 2-5°=2; 5-10°=3; 10-20°=5; 20-30°=7; 30-45°=8 y 45 y +=9.

A continuación se muestran el mapa de susceptibilidad de remoción por flujos con su respectiva tabla N°23 con cada unidad y su respectivo Índice de Susceptibilidad (IS).

Tabla N°23: Índice de susceptibilidad para procesos de remoción en masa por flujos, aplicación metodología de Lara (2007).

FID	F1FL	F2FL	F3FL	F4FL	F5FL	F6FL	F7FL	F8FL	F9FL	F10FL	F11FL	F12FL	ISFL
0	2	1	4	0	13	7	1	5	4	3	10	1	51
1	3	1	4	0	13	7	1	5	5	3	10	1	53
2	2	1	4	3	13	7	1	5	4	3	7	1	51
3	3	1	3	2	13	3	1	5	2	0	1	1	35
4	3	1	1	0	13	3	1	5	0	0	1	1	29
5	3	5	4	0	13	3	1	5	4	3	7	1	49
6	5	5	4	2	13	3	1	5	4	3	7	1	53
7	5	5	4	2	13	3	1	5	5	3	7	1	54
8	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
9	5	5	1	3	13	3	1	5	0	3	7	1	47
10	5	5	4	2	13	3	1	5	0	3	10	1	52
11	7	5	4	3	13	3	1	5	0	3	1	1	46
12	3	5	4	3	8	3	1	5	0	0	1	0	33
13	5	5	4	2	13	7	1	5	2	3	7	0	54
14	5	1	4	3	13	3	1	5	0	0	1	1	37
15	3	1	1	2	13	3	1	5	0	5	1	1	36
16	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
17	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
18	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
19	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
20	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	7	1	51
21	7	5	4	2	13	3	1	5	2	3	1	1	47
22	5	5	4	2	13	3	1	5	2	3	1	1	45
23	3	5	4	2	13	3	1	5	2	3	1	1	43
24	5	5	4	0	13	3	1	5	2	3	7	1	49
25	3	5	4	0	13	3	1	5	2	3	1	1	41
26	5	5	4	0	18	3	1	5	2	3	7	1	54
27	2	1	4	3	18	3	1	5	2	3	7	1	50
28	2	1	4	2	18	3	1	5	2	3	1	1	43
29	3	1	1	2	13	3	1	5	0	3	7	1	40
30	3	1	1	2	13	3	1	5	0	3	7	1	40
31	3	1	4	2	18	3	1	5	0	3	1	1	42

32	2	1	4	0	18	3	1	5	0	3	1	1	39
33	3	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	49
34	2	5	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	42
35	2	5	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	42
36	1	1	1	3	13	3	1	5	0	0	1	1	30
37	1	1	1	3	13	3	1	5	0	0	1	1	30
38	3	1	1	3	13	3	1	5	0	0	1	1	32
39	7	5	1	3	18	3	1	5	0	0	7	1	51
40	7	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	50
41	7	5	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	44
42	5	5	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	42
43	5	5	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	42
44	7	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	50
45	3	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	46
46	7	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	50
47	7	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	50
48	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
49	2	5	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	45
50	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
51	7	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	53
52	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
53	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
54	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
55	7	5	4	2	13	3	1	5	0	0	7	1	48
56	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
57	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
58	5	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	40
59	5	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	40
60	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
61	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
62	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
63	3	5	4	2	13	3	1	5	0	0	1	1	38
64	5	5	4	2	18	3	1	5	0	3	7	1	54
65	5	5	4	2	18	3	1	5	0	3	7	1	54
66	3	1	1	3	13	3	1	5	0	0	1	1	32
67	3	1	4	3	13	3	1	5	0	0	1	1	35
68	5	5	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	55
69	5	1	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	51
70	5	5	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	55
71	5	5	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	55
72	5	1	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	51

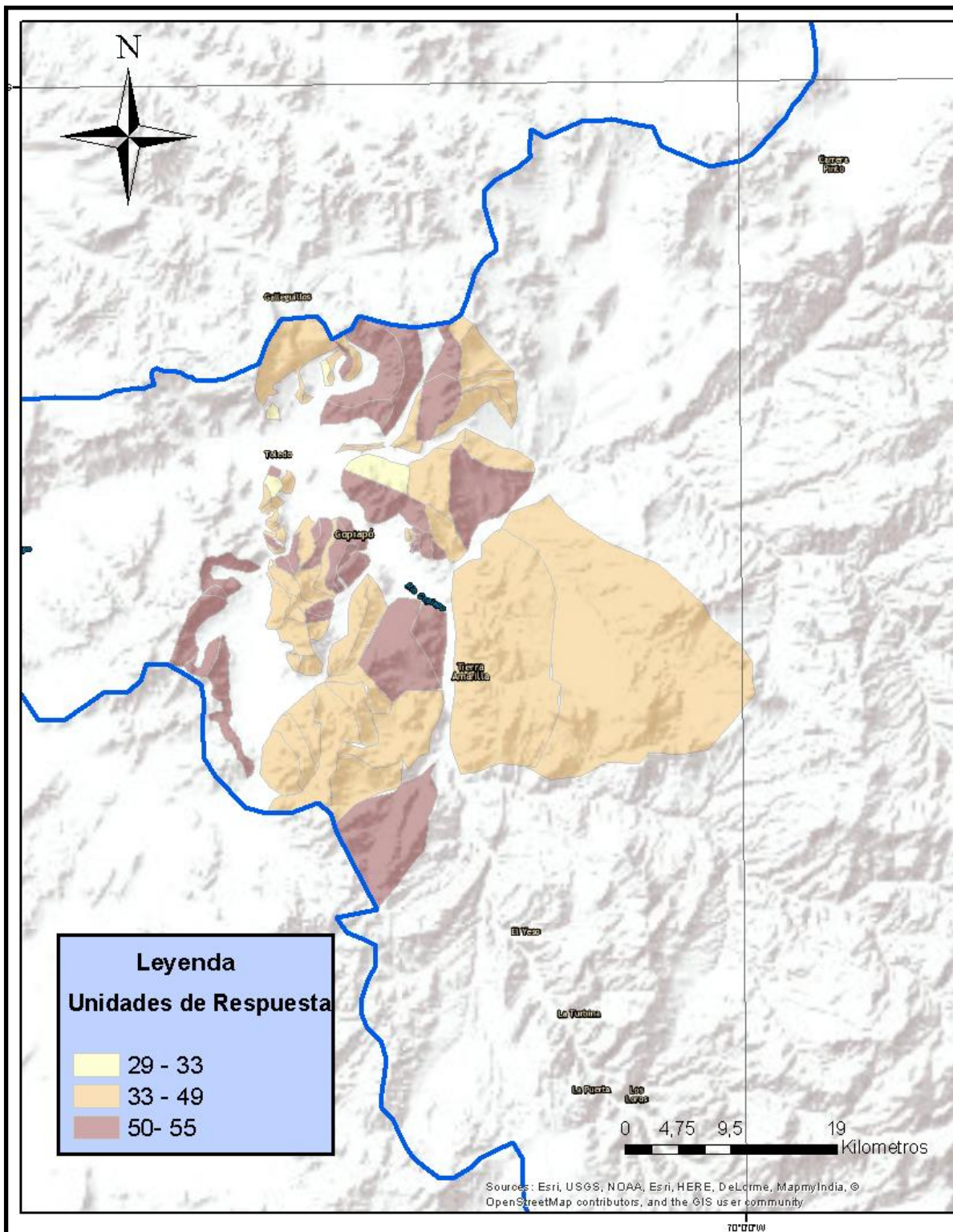
73	5	1	4	3	18	3	1	5	0	3	7	1	51
74	3	1	4	3	13	3	1	5	0	0	1	1	35
75	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	7	1	51
76	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	7	1	52
77	5	1	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	41
78	5	1	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	41
79	5	1	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	41
80	5	1	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	41
81	5	1	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	38
82	5	1	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	38
83	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	45
84	5	5	4	2	18	3	1	5	0	0	1	1	45
85	5	5	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	42
86	5	1	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	38
87	5	1	1	2	18	3	1	5	0	0	1	1	38
88	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	7	1	52
89	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	7	1	52
90	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	7	1	52
91	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	1	1	46
92	5	5	4	3	18	3	1	5	0	0	1	1	46

Fuente: Elaboración propia.

De las **92 unidades** evaluadas, solamente 39 presentan susceptibilidad a la generación de procesos de remoción en masa por flujos (ver Figura N°20). Se ven influenciados principalmente por:

1. Pendiente sobre los 10°- 20°
2. Vegetación de nula a baja en su rango.
3. Suelos de baja capacidad, permeabilidad y espesores críticos de suelo, presencia de estructura y finos, alta meteorización, frecuencia de fracturas, rocas poco resistentes, y alteradas.
4. Tipo de material: suelo de mala calidad. El piso de la mayoría de estas quebradas secas, contienen potentes depósitos granulares: gravas, gravas arenosas y arenas con frecuentes niveles de bloques rocosos de diverso diámetro y forma, producto de numerosos aluviones holocenos y/o prehistóricos.

Figura N°20: Mapa de Susceptibilidad de remoción en masa por flujos, metodología de Lara (2007).



Fuente: Elaboración propia.

9.3.- Umbrales de activación de los procesos de remoción en masa por flujos en la Cuenca del Río Copiapó

Con el fin de definir los umbrales de activación de los procesos de remoción en masa por flujos por eventos de precipitación máxima en 24, 48 y 72, se basará en los siguientes criterios que fueron analizados en los dos objetivos anteriores:

1. Los Períodos de Retorno de la precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas.
2. Evaluación de Susceptibilidad de procesos de remoción en masa por flujos en las Unidades de Respuesta seleccionadas de la Cuenca del Río Copiapó.
3. Aplicación de la superposición booleana de las Cartas de Periodo de Retorno de Precipitación Máxima (PRPM) y Carta de Susceptibilidad de procesos de remoción en masa por flujos (ESRMF).

Ecuación de Final: (PRPM)* (ESRMF)

A continuación se presentan los resultados de estimación de los umbrales de activación de los procesos de remoción en masa del área de estudio:

I. En 24 horas, con un periodo de retorno en 10 años:

Según la representación del Mapa N°11, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta la confluencia de este con la Quebrada de Paipote. Umbral de precipitación entre 22 y 30 mm.
- Desde la confluencia del río Copiapó - Q. Paipote hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 30 y 40 mm.

II. En 24 horas, con un periodo de retorno en 50 años:

Según la representación del Mapa N°12, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde Piedra Colgada hasta la confluencia del río Copiapó - Quebrada de Paipote. Umbral de precipitación entre 40 y 50 mm.
- Desde la confluencia del río Copiapó - Q. Paipote hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.

III. En 24 horas, con un periodo de retorno en 100 años:

Según la representación del Mapa N°13, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 40 y 50 mm.
- Desde la Toledo hasta Tierra Amarilla. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.
- Desde Tierra Amarilla hasta Pabellón. Umbral de precipitación entre 60 y 70 mm.

IV. En 48 horas, con un periodo de retorno en 10 años:

Según la representación del Mapa N°14, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 20 y 30 mm.
- Desde la Toledo hasta Pabellón. Umbral de precipitación entre 30 y 40 mm.

V. En 48 horas, con un periodo de retorno en 50 años:

Según la representación del Mapa N°15, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 40 y 50 mm.
- Desde la Toledo hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.

VI. En 48 horas, con un periodo de retorno en 100 años:

Según la representación del Mapa N°16, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde Caserones hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.
- Desde la Toledo hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 60 y 70 mm.

VII. En 72 horas, con un periodo de retorno en 10 años:

Según la representación del Mapa N°17, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 20 y 30 mm.
- Desde la Toledo hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 30 y 40 mm.

VIII. En 72 horas, con un periodo de retorno en 50 años:

Según la representación del Mapa N°18, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

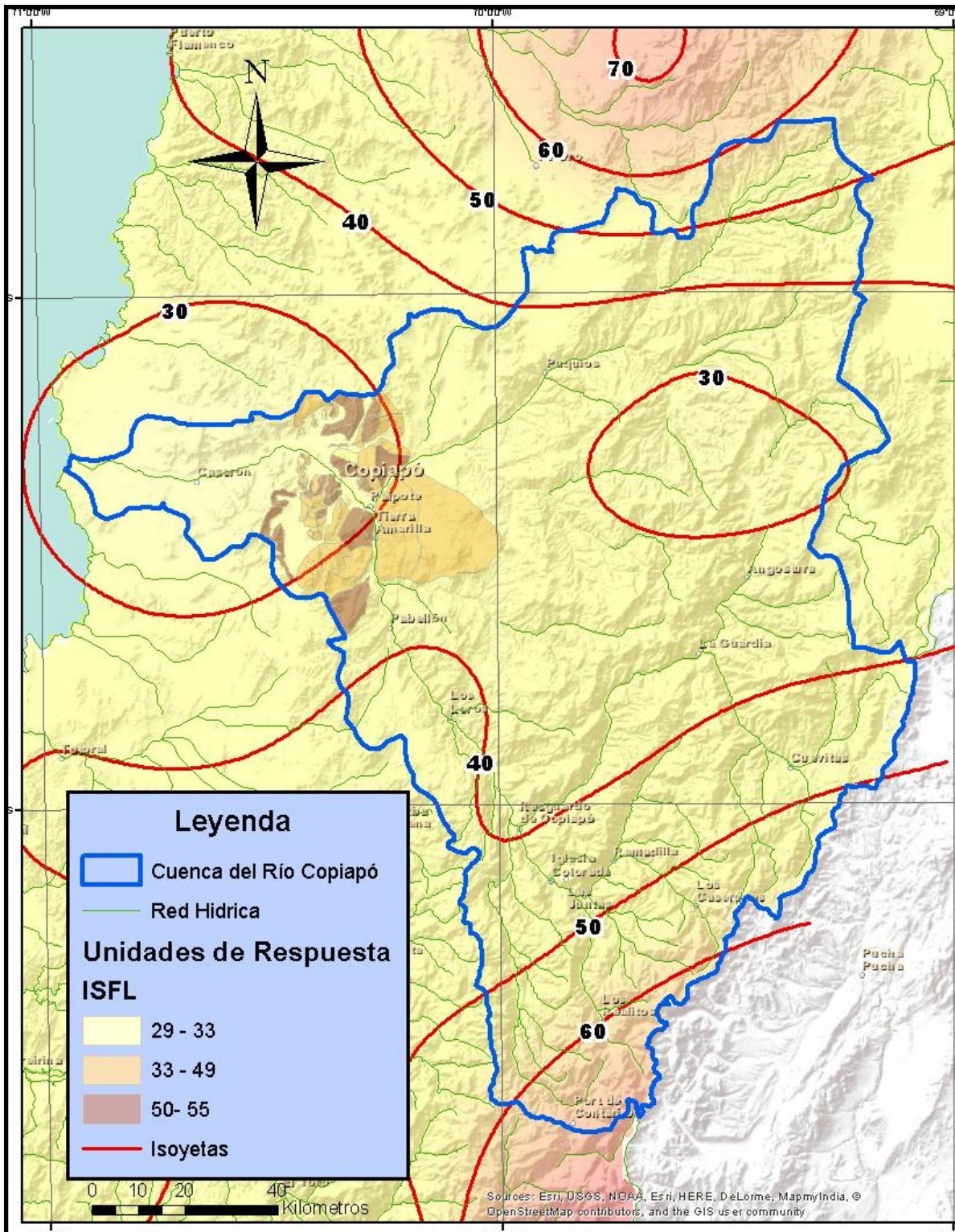
- Desde la desembocadura del río Copiapó hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 40 y 50 mm.
- Desde la Toledo hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.
- Desde la Cerrillos hasta Pabellón. Umbral de precipitación entre 60 y 70 mm.

IX. En 72 horas, con un periodo de retorno en 100 años:

Según la representación del Mapa N°19, se ha obtenido un total de dos Umbrales de Activación en las Unidades de Respuesta analizadas:

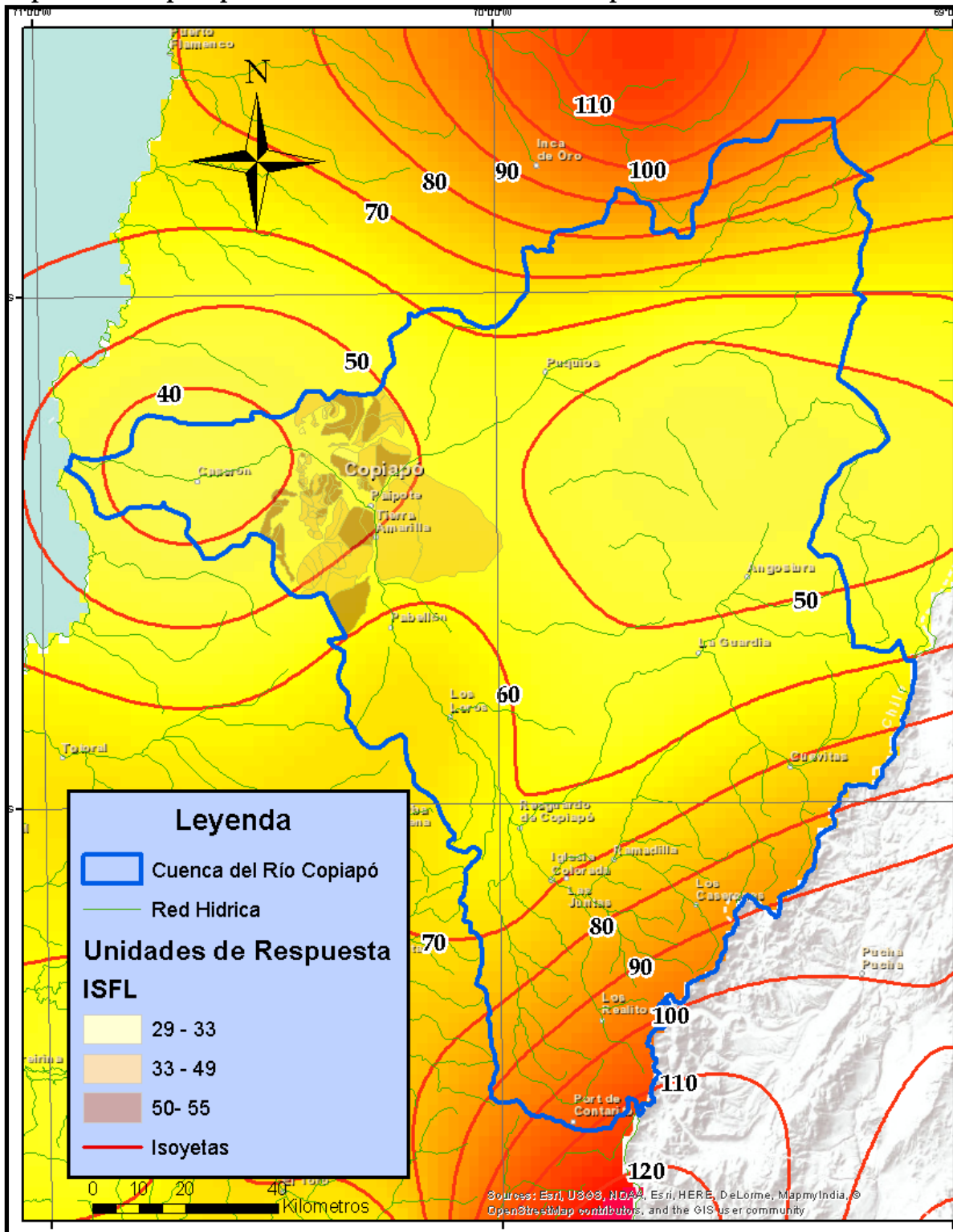
- Desde Caserones hasta Toledo. Umbral de precipitación entre 50 y 60 mm.
- Desde la Toledo hasta Cerrillos. Umbral de precipitación entre 60 y 70 mm.
- Desde la Cerrillos hasta Pabellón. Umbral de precipitación entre 70 y 80 mm.

Mapa N°11: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 10 años.



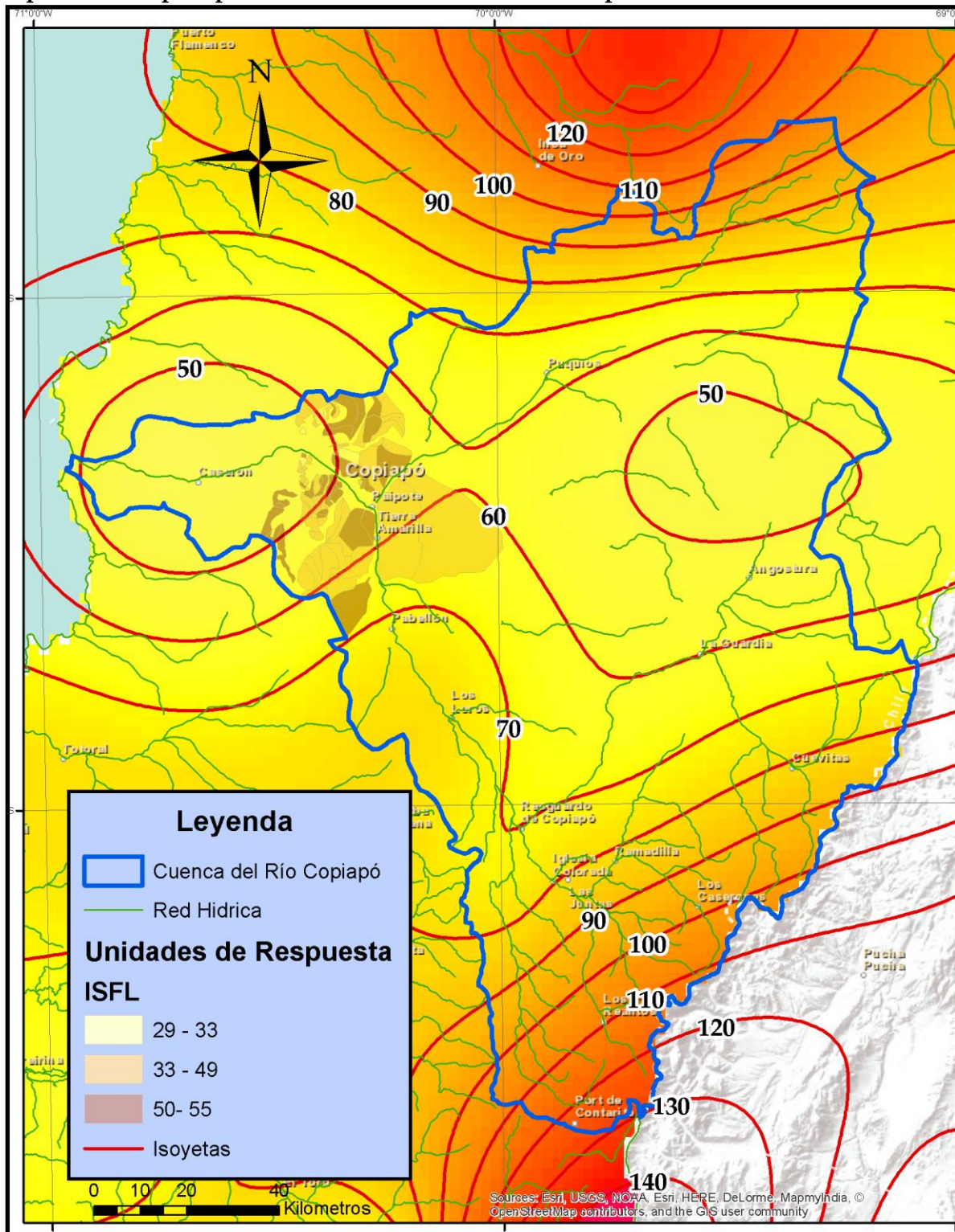
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°12: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 50 años.



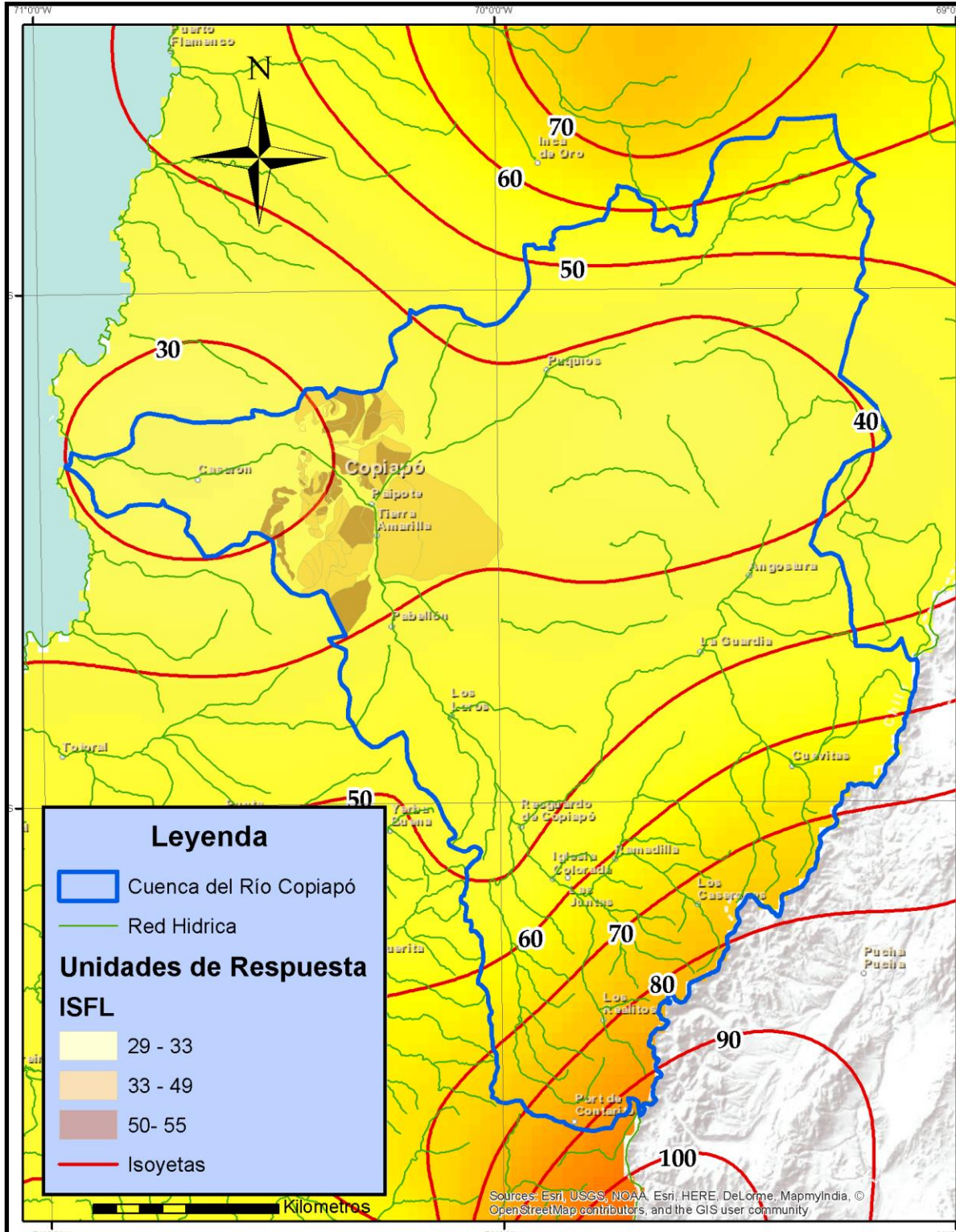
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°13: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años.



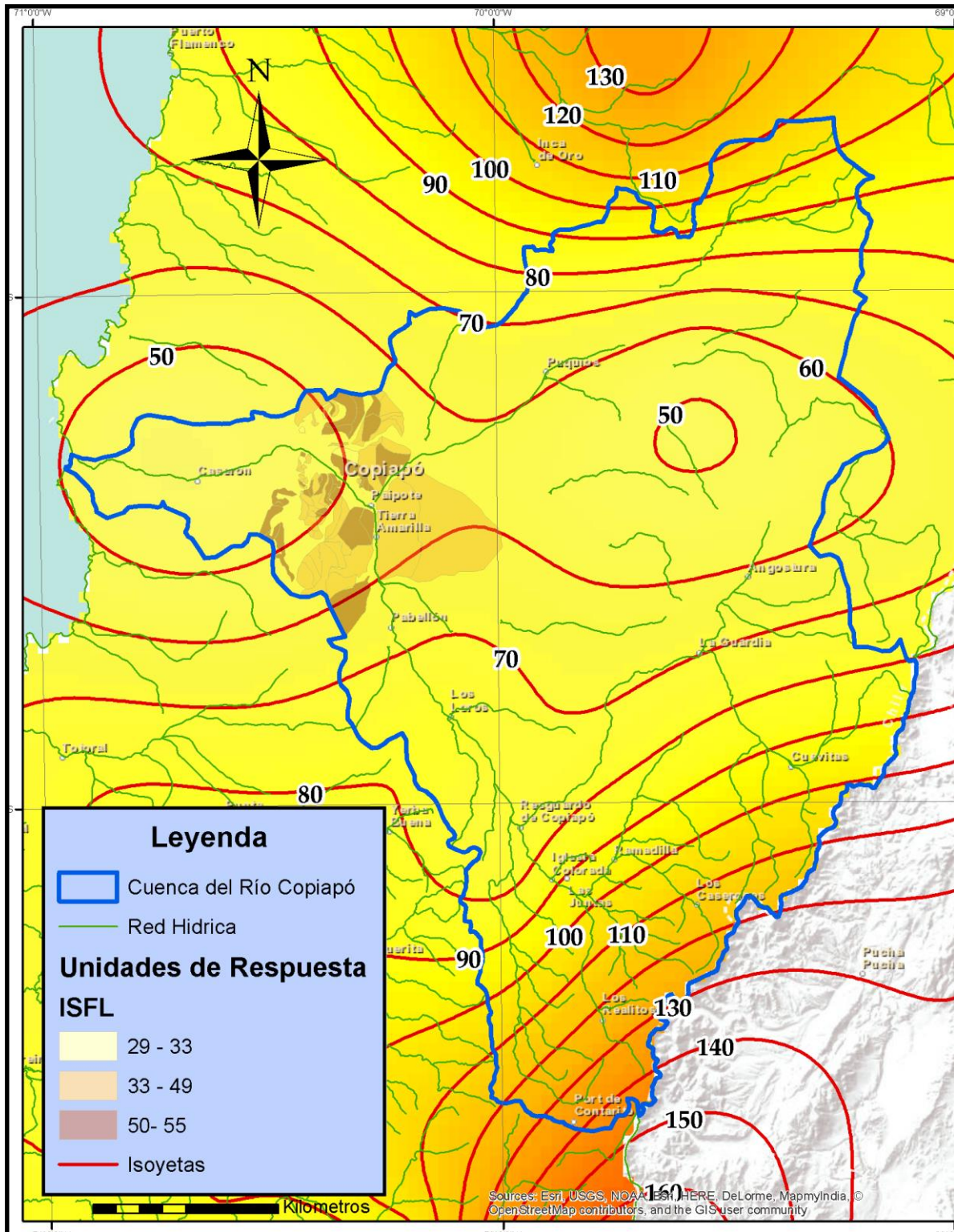
Fuente: Elaboración propia

Mapa N°14: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 48 horas con un período de retorno de 10 años.



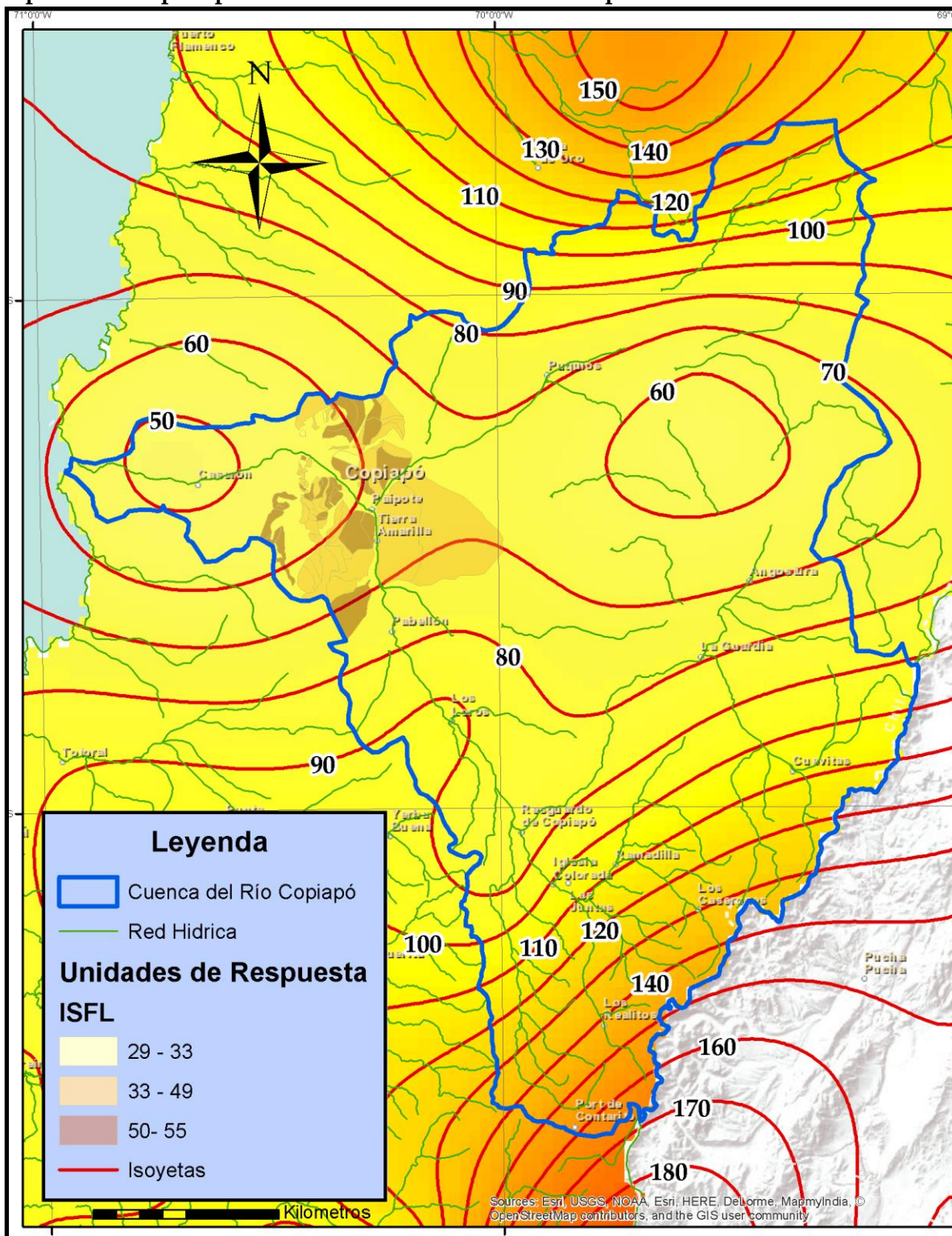
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°15: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 48 horas con un período de retorno de 50 años.



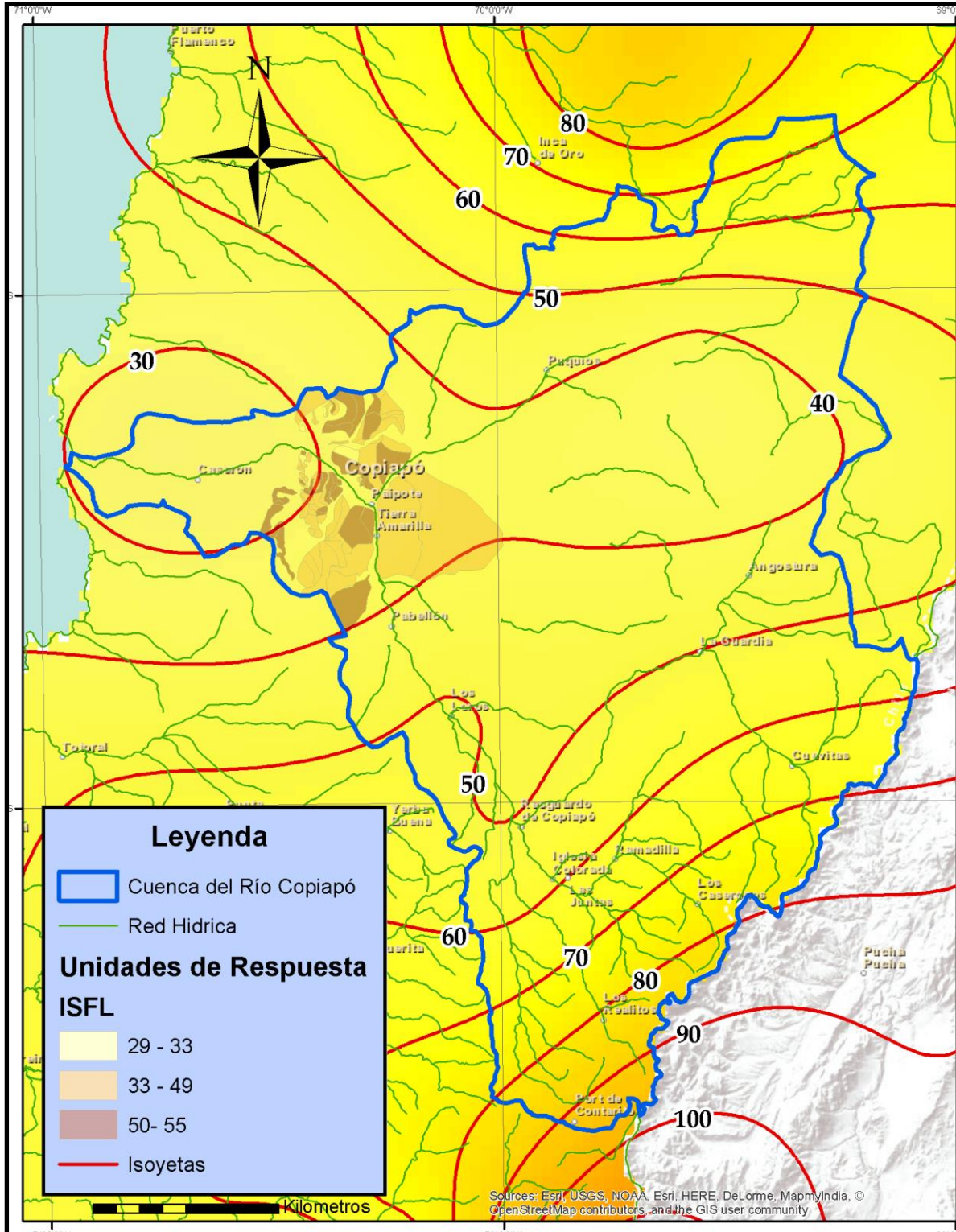
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°16: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 48 horas con un período de retorno de 100 años.



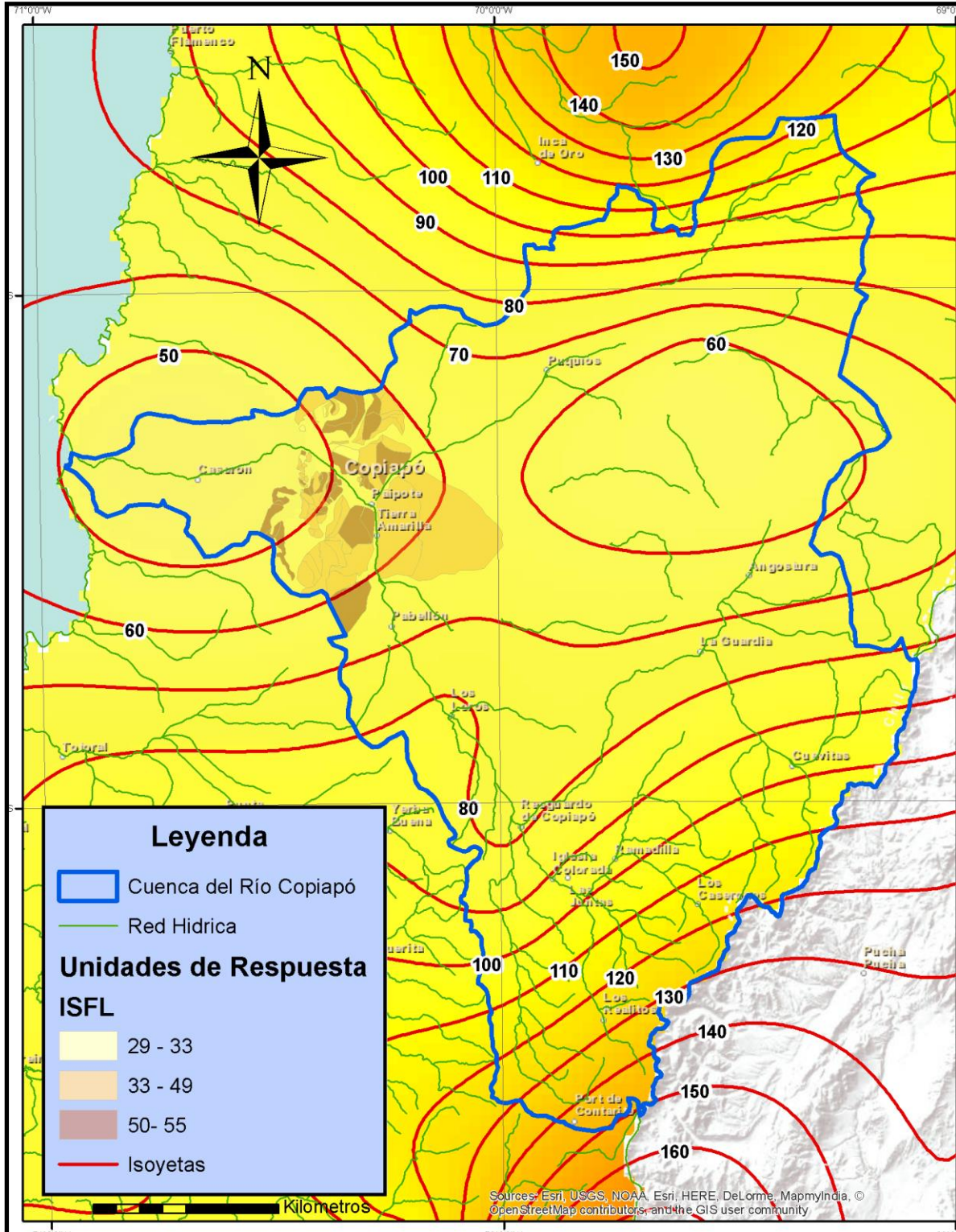
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°17: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 72 horas con un período de retorno de 10 años.



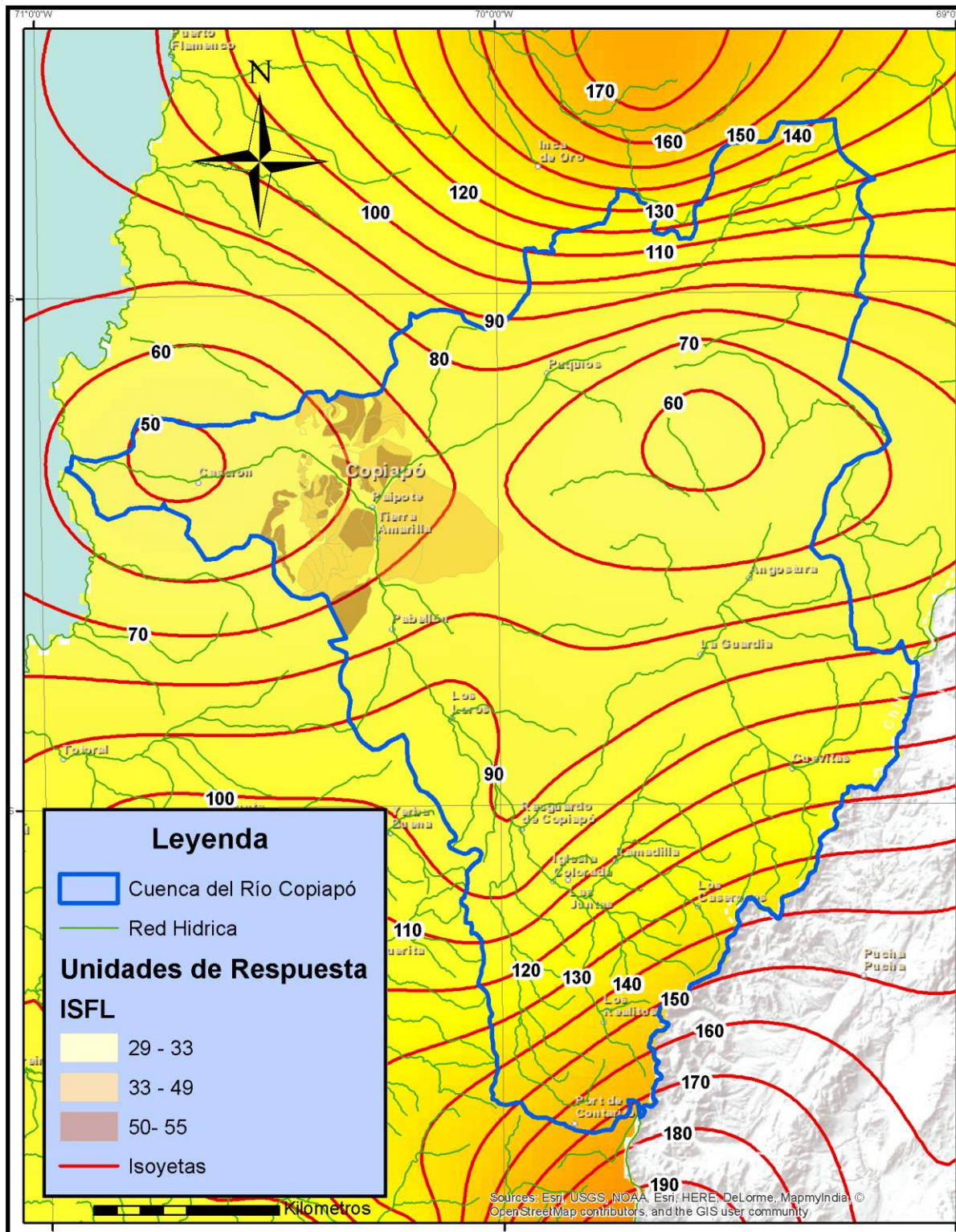
Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°18: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 72 horas con un período de retorno de 50 años.



Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°19: Umbrales de Activación de los procesos de remoción en masa por flujos producto de precipitación máxima en 72 horas con un período de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia.

10.- Discusión.

Se identifican claramente las proyecciones de modificación de los patrones de precipitación, con un alto nivel de incertidumbre y fuerte heterogeneidad (IPCC, 2007a), importantes anomalías pluviométricas anuales atribuidas al ENOS (CECS, 2009), con el forzamiento orográfico de las precipitaciones desde la Depresión Intermedia hasta la Cordillera de los Andes y su extensión latitudinal que modifica localmente los montos aumentando de Norte a Sur (ÁVILA & MARTÍN VIDE, 2013), la evolución de las vertientes, y ya sea por escurrimiento, remoción en masa o ambos, la presencia de estos elementos depende de las condiciones locales, principalmente la dureza de la roca madre y el relieve, se puede decir que la vertiente estándar de King es una de tipo convexo - cóncava (YOUNG, 1972), generando en su mayoría flujos. Según la teoría en un ambiente potencialmente inestable, marcado por diferentes umbrales de activación de 60 mm/día en la zona Preandina de la RM (HAUSER, 1993), y entre 10 y 30 mm/día en la ciudad de Antofagasta (HAUSER, 1985 Y 1997). No obstante, según los resultados obtenidos confirman la teoría antes enunciada y no solamente para precipitaciones máximas en 24 horas, sino para 48 y 72 horas con períodos de retorno de 10, 50 y 100 años incrementando los procesos geomorfológicos dinámicos y en lluvias acumuladas antecedentes de 3 días (SANCHEZ, 2011).

La distribución espacial de las precipitaciones máximas en 24 horas para los períodos de retorno en 10, 50 y 100 años, evidencian el mismo patrón que el estudio de ÁVILA & MARTÍN VIDE (2013), donde se observa como las isoyetas cambian su gradiente de oriente a poniente en Chile Central y una fuerte gradiente de norte a sur alcanzando los mayores montos de precipitación máxima.

Según el catastro histórico de remoción en masa por flujos entre 1980 y 2015 (SERNAGEOMIN, 2015) y Estudio de flujos de barro RM (1985): la región de Antofagasta los años 1987 (21,5 mm), 1991 (17 mm), 2006 (16,1) y 2015 (20 mm) no supera el umbral de los 30 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas; la región de Atacama los años 1997 (58 mm) y 2015 (25 mm); la región de Coquimbo los años 1997 (62 mm) y 2015 (65 mm); Valparaíso los años 1995 (72 mm), 2000 (162 mm) y 2002 (208 mm); y Metropolitana los años 1944 (80 mm), 1950 (80 mm), 1953 (155,5 mm), 1960 (63 mm), 1970 (83 mm), 1993 (62,5 mm), 2004 (70,5 mm) y 2013 (70 mm), por lo que permite confirmar las tres macrozonas generadas del modelo.

En relación al estudio "Eventos meteorológicos severos ocurridos en Chile continental" (DMC, 2006), solamente cumplen dos macrozonas del modelo, las cuales son Antofagasta con un umbral sobre los 4,3 mm., y Copiapó con un umbral de 25,1 mm.

En el caso del estudio “Guía de Diseño y especificaciones de elementos Urbanos de infraestructuras de aguas lluvias” (MINVU, 2005), indica que la ubicación óptima de una obra de drenaje de una urbanización en la Región Metropolitana no debe sobrepasar los 70 mm., de una precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 10 años; 92 mm., de una precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 50 años, 100 mm., de una precipitación máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años. Sin embargo esta sería sobrepasada con precipitaciones máximas 48 y 72 horas con períodos de retorno de 10, 50 y 100 años de acuerdo a los resultados del modelo.

Los mapas de éste estudio, coinciden espacialmente con los mapas del estudio de “Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días de la DGA” entre los 30° y 34° latitud Sur.

La recopilación de datos históricos y pluviométricos de W. Griem y el Center for Climate and Resilience Research para Copiapó permitieron determinar el umbral pluvial **mínimo de precipitación máxima de 22 mm.**, para generar los procesos de remoción en masa por flujos.

Al aplicar la metodología de LARA (2007) a escala 1:100.000, los valores obtenidos de la aplicación de los factores de estudio, tópicos a considerar y herramientas significo un alto grado de fidelidad en el uso de los diferentes factores condicionantes y gatillantes. No obstante, el principal problema es la calibración de los datos debido a la ausencia de estudios de los procesos de remoción en masa en la Cuenca del Río Copiapó. Para este tipo de remoción en masa por flujos se hace difícil calibrar los valores de ponderación máxima y es preferible no recomendar un cambio. Por consiguiente, la finalidad de los mapas de susceptibilidad responden a una necesidad según AYALA CARCEDO (2003), la de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas llamadas en este estudio “Unidades de Respuesta”. Esto es justamente lo que lo diferencian de loa mapas geomorfológicos que representan las zonas movidas con todo sus atributos. Además se debe tomar en consideración que la información contenida del mapa de susceptibilidad producto del estudio, en la medida que la escala lo permitió, debió conservar la representación cartográfica de los flujos de remoción en masa, información relevante de la cartografía geomorfológica, de la máxima importancia para la toma de decisiones. Para su mejora se requirió de la interpretación de varias series de fotografías aéreas a lo largo del tiempo, base de datos de campo e inventario histórico para sustentarlo a través de modelos basados en el análisis de actividad según AYALA CARCEDO (2003). No obstante, a partir de las limitaciones enunciadas, el método de LARA (2007), se puede aplicar cuando las condiciones geomorfológicas y geológicas son bastantes homogéneas en toda la zona estudiada y el tipo de movimiento es sencillo según TERLIEN (1996).

El mecanismo de evaluación de susceptibilidad de remoción en masa por flujos, el problema que se presentó fue la elección adecuada de los criterios de análisis para evaluar, ya que las variables que influyen dentro de estos procesos son amplias. ¿Cómo conciliar probabilidad y determinismo en el estudio de estos fenómenos?, la respuesta depende de la precisión con la que se preparan las condiciones iniciales. Si se puede efectivamente imponer condiciones iniciales suficientemente exactas para predecir este tipo de fenómenos, es dable concluir que el resultado es determinista, y que el recurso probabilidad tendría su origen en la ignorancia relativa a las condiciones iniciales. ¿Pero es acaso la ignorancia la única fuente de sorpresa y probabilidad? Por eso no existen sistemas dinámicos con conocimiento finito de las condiciones iniciales que permita prever los fenómenos naturales de remoción en masa.

Por eso estos sistemas dinámicos solamente basta que se cambien infinitesimalmente las condiciones iniciales para que se produzca otro resultado, por ejemplo el factor condicionante de la pendiente. Es decir, la inestabilidad dinámica la que estará en el origen de las nociones de probabilidad y de irreversibilidad. Por eso la concepción clásica donde el determinismo era fundamental, y la probabilidad era una aproximación a la descripción determinista, debido a nuestra información imperfecta. Hoy la situación es la inversa, las estructuras de la naturaleza nos constriñen a introducir la probabilidad independientemente de la información que poseemos. La descripción determinista no se aplica de hecho más que a situaciones sencillas, idealizadas, que no son representativas de la realidad física que nos rodea. Las condiciones iniciales que se manifiestan en las Unidades de Respuesta para cada fenómeno, no resultan sencillos, ya que la realidad física es incierta y probabilística por naturaleza. Por eso, un cambio infinitesimalmente trae consigo un grado de incertidumbre, que se representa espacialmente en la representación cartográfica.

Se debe tener en consideración que los resultados obtenidos constituyen una primera aproximación a la problemática, que en un futuro, con series de datos de mejor calidad y continuos de precipitaciones los resultados serán más precisos y válidos.

Lo expuesto pone como prioridad la necesidad de incluir como obligación los estudios de susceptibilidad por amenazas hidrometeorológicas en las Normas e Instrumentos de Planificación Urbana como la Ley General de Urbanismo y Construcción; Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 2.1.17; Plan Regulador Intercomunal y Plan Regulador Comunal.

Finalmente, en artículo de “Análisis Estadístico de Eventos Extremos” ÁVILA & MARTÍN VIDE (2013), indica que este tipo de estudios aporta potencialidad en la

evaluación de los riesgos y la vulnerabilidad de la población ante las amenazas hidrometeorológicas, como la realización de cartografías de precipitación máxima de detalle y resolver problemas de planificación territorial y Gestión.

11.- Conclusiones

La presente investigación ha permitido conocer la ocurrencia y la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias en 24, 48 y 72 horas entre los 21° y 34° Latitud Sur, correspondientes al norte y centro de Chile, los valores extremos de precipitación estimados para diferentes períodos de retorno y los lugares susceptibles a dicha amenaza.

Del análisis del **período de retorno de 10 años con precipitación máxima en 24 horas**: las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-8mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-8mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 23-27mm) y Coquimbo (Ciudad de la Serena: 51-65 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 60-92 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 62-113). **Con precipitación máxima en 48 horas**: las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-9 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-9 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 26-30 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 52 - 80 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 170-225 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 110-130 mm). Finalmente, **con precipitación máxima en 72 horas**: las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-9 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-9 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 26-30 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 68-79 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 185 - 250 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 100-150 mm).

En cambio, **el período de retorno de 50 años con precipitación máxima en 24 horas**: las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-13 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-13 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 36-44 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 73-97), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 180-222) y RM (Ciudad de Santiago: 92-135 mm). **Con precipitación máxima en 48 horas**: las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-14 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de

Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-14 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 42-49 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 80-115 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 238-300) y RM (Ciudad de Santiago: 120-190 mm). Finalmente, **con precipitación máxima en 72 horas:** las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-13 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-13 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 42-49 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 98-128 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 259-335 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 160-218 mm).

De ahí que **el período de retorno de 100 años con precipitación máxima en 24 horas:** las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-15 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 0-15 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 41-53 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 75-95 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 202-250 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 100-155 mm). **Con precipitación máxima en 48 horas:** las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 1-17 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 1-17 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 48-58 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 98-131 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 260-340 mm) y RM Ciudad de Santiago: 142-200 mm). Finalmente, **con precipitación máxima en 72 horas:** las estaciones que no superan los 30 mm., corresponden espacialmente a Región de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 2-15 mm); las estaciones que no superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Regiones de Antofagasta (Ciudad de Antofagasta: 2-15 mm), Atacama (Ciudad de Copiapó: 48-58 mm); mientras que las estaciones que superan los 60 mm., corresponden espacialmente a Región de Coquimbo (Ciudad de la Serena: 112-149 mm), Valparaíso (Ciudad de Valparaíso: 290-378 mm) y RM (Ciudad de Santiago: 170-230 mm).

En relación a los antecedentes expuestos en detalle se infiere que la región de Antofagasta no supera el umbral de los 30 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Mientras la región de Atacama no supera el umbral de los 60 mm., precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Y finalmente la región de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana supera el umbral de los 60 mm.,

precipitación máxima en 24, 48 y 72 horas, con sus períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Marcando tres macrozonas, la primera llamada desértica con un umbral de precipitación máxima menor a 30 mm., la segunda llamada desértica intermedia con un umbral de precipitación máxima menor a 60 mm., y una tercera correspondiente al semiárido y mediterráneo con precipitación máxima con un umbral sobre los 60 mm.

En cuanto a la hipótesis, esto es, *el área de estudio corresponde a una zona altamente dinámica, en la cual se presentan grados diferenciales de variabilidad espacial de las precipitaciones máximas, localizándose las más alta en la precordillera andina, disminuyendo progresivamente al pasar por la depresión intermedia y volviendo aumentar en la Cordillera de la Costa. Por consiguiente, los procesos de remoción en masa por flujos no son ajenos al incremento de ocurrencia e intensidad de amenaza hidrometeorológica:*

1.- *¿Dónde?, en territorios con pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas, son favorables para el desarrollo de flujos o 'aluviones' (HAUSER, 1993), aunque algunos podrían generarse sobre pendientes menores que no sobrepasan los 15° (SAURET, 1987 en SEPÚLVEDA, 1998).*

2.- *¿Cuánto?, por su parte, HAUSER (1985 y 1997) establece que las lluvias generadas en períodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, su umbral es de 60 mm/día, mientras que en los distintos sectores de la ciudad de Antofagasta, su umbral es entre 10 y 30 mm/día (período de retorno de 10 y 50 años), por ende, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos como de las rocas que experimentan resecaamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas.* En el caso de la ciudad de Antofagasta ésta ha sido aceptada para un período de retorno de 10, 50 y 100 años con precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas, con un umbral máximo de precipitación de 30 mm. Mientras que para la Ciudad de Santiago ésta ha sido aceptada con los períodos de retorno de 10, 50 y 100 años y sus precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas, con un umbral sobre los 60 mm., por ejemplo: en un período de retorno de 10 años es de 62mm/24 horas, significa que en un prolongado período de tiempo de 100 años, un promedio de 10 lluvias podrá exceder los 62 mm/24 horas.

La aplicación de la metodología de susceptibilidad de remoción en masa a las 92 Unidades de Respuesta seleccionadas de la Cuenca del río Copiapó, solamente 39 presentan susceptibilidad a la generación de procesos de remoción en masa por flujos que se ven influenciados principalmente por: pendiente sobre los 10°- 20°; vegetación de nula a baja en su rango; suelos de baja capacidad, permeabilidad y espesores críticos de suelo, presencia de estructura y finos, alta meteorización,

frecuencia de fracturas, rocas poco resistentes, y alteradas; y tipo de material con suelo de mala calidad. En respuesta a la **Pregunta de Investigación, ¿Cuáles son las zonas más susceptibles a causar flujos y cuáles son sus umbrales pluviales gatillantes?**, según Griem en 1943 se registró para Copiapó 36 mm., y el 25 de marzo de 2015, se registró 25 mm., marcando este último el umbral gatillante de los procesos remoción en masa por flujos. En el caso de estudio de las unidades de respuestas las precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas y período de retorno de 10, 50 y 100 años se genera o gatilla **con un umbral mínimo de precipitación máxima de 22 mm.**, que a continuación se detalla: 24 horas (PR:10 años), desde la Desembocadura del río Copiapó y Q. de Paipote (22-30 mm); 24 horas (PR:50 años), desde la confluencia del río Copiapó y Q. de Paipote (50-60 mm); 24 horas (PR:100 años), desde Toledo hasta Tierra Amarilla (50-60 mm); 48 horas (PR:10 años), desde Toledo hasta Pabellón (30-40 mm); 48 horas (PR:50 años), desde Toledo hasta Cerrillos (50-60 mm); 48 horas (PR:100 años), desde Toledo Hasta Cerrillos (60-70 mm); finalmente, 72 horas (PR:10 años), desde Toledo hasta Cerrillos (30-40 mm); 72 horas (PR:50 años), desde Toledo hasta Cerrillos (50-60 mm); 72 horas (PR:100 años), desde Toledo Hasta Cerrillos (60-70 mm).

12.-Bibliografías

- APARICIO, J. 1997. Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa. México. 303p.
- ARAYA VERGARA, J. 1985. Análisis de la carta Geomorfológica de la cuenca del Mapocho. *Informaciones Geográficas* N°32. Pág: 31 -47. Santiago de Chile.
- ARAYA VERGARA, J. 2002. Apuntes de Cátedra de Geomorfología. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- ARISTIZÁBAL, E. Y YOKOTA, S. 2006. Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra. *Dyna*, julio, Vol. 73, N°149, págs. 5-16.
- ÁVILA & MARTÍN VIDE. 2013. Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. *Cuadernos Geográficos* 52(1), 69-83.
- AVILA, K. 2012. Análisis del comportamiento de eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile Continental. Tesis. Máster Oficial. Agua. Análisis Interdisciplinarios y Gestión Sostenible. Universidad de Barcelona. España. 71p
- AYALA - CARCEDO, F. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel. 1512p. Barcelona.
- AYALA - CARCEDO, F. 2003. Mapas de Susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España. Editorial Ariel. 133p. Madrid.
- BEGUERÍA, S. Y LORENTE, A. 1999. Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental. *Geographicalia*, N. 37, págs. 17-36.
- BÖRGEL R. 1982. Geomorfología de Chile. Tomo II. Colección Geografía de Chile. 182p. IGM. Santiago.
- BRUNSDEN, D (1979). "Process in geomorphology". Mass Movements. Londres, Inglaterra.

- CAINE, N. (1980). The Rainfall intensity-duration control of shallow slides and debris flow. *Geografiska Annaler*, 62A (1-2), 23-27.
- CAMPBELL, R.H. 1975. Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California, USGS professional Paper 851. 51
- CASCINI, LEONARDO, SABATINO CUOMO Y MARIA DELLA SALA. 2011. "Spatial and Temporal Occurrence of Rainfall-induced Shallow Landslides of Flow Type: A Case of Sarno-Quindici, Italy". *Geomorphology* 126 (1-2): 148-158. DOI: 10.1016/j. geomorph.2010.10.038.
- CASTRO, C. ET AL, 2009. Impacto en la geodinámica actual del Valle de Nantoco, cuenca del río Copiapó asociado a la reconversión productiva. *Revista Geográfica Norte Grande* N°42. 81-99.
- CARRASCO, N. 2000. Peligros de remoción en masa en el sector de San José de Maipo, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Geólogo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- CARRASCO, J., OSORIO, R. AND G. CASASSA. 2008. Secular trend of the equilibrium line altitude in the western side of the southern Andes derived from radiosonde and surface observations. *Journal of Glaciology*, 54(186), 538 - 550.
- CENTRO DE ESTUDIOS CIENTIFICOS - CECS. 2009. Estrategia Nacional de Glaciares. Fundamentos. 280 pág.
- CEPAL & PNUMA. 2010. Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y El Caribe. 40p. México.
- CAMPOS, F. 2014. Evaluación de la susceptibilidad de Remociones en Masa en la quebrada Los Chanchos. RM. Chile. Memoria para optar al título de Geóloga. 133p.
- CHUVIECO, E. 2002. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel. 586 p. Barcelona.
- CHRISTOFOLETTI, A (1981). "La noción de equilibrio en geomorfología fluvial". *Revista Norte Grande* N°8, Pág. 69 - 86. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.
- COQUE, ROGER (1984). *Geomorfología*, París: Editorial Armand Collin.

- CONDOM, T., COUDRAIN, A., SICART, J.E. AND S. THÉRY. 2007. Computation of the space and time evolution of equilibrium-line altitudes on Andean glaciers (10° N–50° S latitude). *Global and Planetary Change*, 59, 189–202.
- CRUDEN, D. 1991. A simple definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. No. 43, p. 27-29.
- CRUDEN, D. 1996. Landslides types and Process. In *Landslides; Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report N°247. Washington, D.C.
- ELMES, M. 2006. Análisis y evaluación de riesgos por movimientos en masa, inundación y sismicidad en el piedmont de la comuna de Puente Alto. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. 260 p.
- ESCOBEDO, C. 2014. Análisis Geográfico y tendencias de la irregularidad temporal y espacial de las precipitaciones diarias en Chile central, entre los 30°S y 35°S de latitud. (Período 1965-2010). Memoria para optar al título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. 96p.
- ESPINOZA, G 1985. “Los desastres naturales y su relación con el manejo de los recursos naturales en Chile”. *Revista Ambiente y Desarrollo* N°3, volumen I, Pág. 159 -172, Cipma. Santiago de Chile.
- FELICÍSIMO, A. 1999. La utilización de los Modelos Digitales de Terreno en los estudios del medio físico. Universidad de Oviedo. España. Documento web: www.uniovi.es.
- FIGUEROA, P. 2014. Variabilidad de las precipitaciones (1965 -2012) en Chile centro - sur mediante índices estadísticos y temporales de la irregularidad. Memoria para optar al título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. 96p.
- FLAGEOLLET, J.C., 1996. The time dimension in the study of mass movements. *Geomorphology*, 15: 185-190.
- GARCÍA, V. 2000. Fenómenos de remociones en masa asociados a la ocurrencia de anomalías atmosféricas, Santiago Oriente. Memoria para

optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

- GLADE, THOMAS Y MICHAEL J. CROZIER. 2005. "The Nature of Landslide Hazard Impact". En *Landslide Hazard and Risk*, editado por Thomas Glade, Malcom Anderson y Michael J. Crozier, 43-74. Chichester: Wiley.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall. 715 p.
- GRIEM, W. Museo Virtual Atacama. 2015.
- GUZZETTI, F., CARRARA, A., CARDINALI, M., & REICHENBACH, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- HAUSER, A. 1985. Flujos de Barro de la Zona Preandina de R.M. Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile*. Boletín N° 24. pág. 75 – 92.
- HAUSER, A. 1991. "Aluviones que afectaron a la ciudad de Antofagasta, II Región, el día 18 de junio de 1991", Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minas, Informe inédito.
- HAUSER, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín No. 45, p. 7-29.
- HAUSER, A. 1995. Estudio de riesgos geológicos en sector de Lo Valdés, comuna de San José de Maipo, Región Metropolitana. SERNAGEOMIN, Santiago.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a), Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, septiembre.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. *Cambio climático 2007: informe de síntesis*. Ginebra: IPCC.
- JULIA, C., ET AL, 2008. Características Climáticas de la Región de Antofagasta. Libro Rojo de la Flora Nativa. Ediciones Universidad de la Serena. Capítulo 3.

- LARA, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.
- LUEBERT, F Y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- LLAMAS, J. 1993. Hidrología general. Principios y aplicaciones. Universidad del País Vasco. Bilbao.
- Mc CULLAGH, P 1983. Modern Concepts in geomorphology. Oxford. Reino Unido. 128p.
- MINVU. 2005. Guía de Diseño y especificaciones de elementos Urbanos de Infraestructura de aguas lluvias. 78p.
- MORENO, HERNAN E., ET AL. 2006. La lluvia y los deslizamientos de tierra en antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria. Revista EIA. 5p.
- NARANJO, J. Y J. VARELA (1996). Flujos de detritos y barro que afectaron al sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993, *Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minas*, 47: 5-42.
- NCh 433. 1996. Instituto Nacional de Normalización.
- OTTMANN, L & TRICART, J. 1964. Application de la cartographie géomorphologique détaillée a l'étude des versants. *Zeitschrift für Geomorphologie. Separata*, Band 5. 16p.
- PADILLA, C. 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- PMA-GCA, 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p..

- PEDRAZA, J. 1996. Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda. 414 p. Madrid.
- QUINTANA, J. 2004. Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias. Departamento de Geofísica. Santiago, Universidad de Chile, 93.
- SÁNCHEZ, D. 2011. Precipitaciones extremas y sus implicancias en procesos de remoción en masa en la Planificación urbana de Tampico, México. Cuadernos Geográficos. N°48. Pág. 135-159.
- SARRICOLEA, P. 2004. Niveles de vulnerabilidad amenazas naturales en una ciudad intermedia y sus áreas de expansión: el caso de La Serena, IV Región de Coquimbo. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Escuela de Geografía. Universidad de Chile. 110 p.
- SARRICOLEA, P. 2015. Catástrofe en el norte: ¿es posible cilpar al cambio climático? Entrevista 24 horas TVN. 27.03.2015.
- SAURET, B. 1987. Coulées de débris canalisées. Compte rendu bibliographique. In Risques Naturels. Bulletin de liason des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No.150-151, p.65-77.
- SEPÚLVEDA, S.A. 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- SEPÚLVEDA, S., REBOLLEDO, S., ET AL., 2006. Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. *Quaternary International* 158: 83-95.
- SEPÚLVEDA, SERGIO A., SOFÍA REBOLLEDO Y GABRIEL VARGAS. 2006. "Recent Catastrophic Debris Flows in Chile: Geological Hazard, Climatic Relationships and Human Response". *Quaternary International* 158 (1): 83-95. DOI: 10.1016/j.quaint.2006.05.031.
- SERNAGEOMIN, 2002. Mapa Geológico de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 75, 1 mapa en 3 hojas, escala 1:1.000.000.

- SERNAGEOMIN, 2015. Registro de los principales Desastres de origen geológico en Chile y efectos sobre población y bienes públicos y privados entre 1980 y 2015. 17 pág.
- TAROLLI, PAOLO, MARCO BORGA, KANG-TSUNG CHANG Y SHOU-HAO CHIANG. 2011. "Modeling Shallow Landsliding Susceptibility by Incorporating Heavy Rainfall Statistical Properties". *Geomorphology* 133 (3-4): 199-211. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.02.033.
- TERLIEN, M.T.J. 1996. Modelling spatial and temporal variations in rainfall - triggered landslides. ITC publication Number 32, 254 pp.
- VARNES, D.J. 1978. Slope movement types and processes. In *Landslides, Analysis and Control*, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., p.11-33.
- UNISDR. 2005. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. ONU.
- WIECZOREK, G. F.; LARSEN, M. C.; EATON, L. S.; MORGAN, B. A. and BLAIR, J. L., (2001), Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation. U.S. Geological Survey Open File Report 01-144, 40p., 3 tables, 2 appendices, 3 plates, 1 CD.
- YOUNG, A. 1972. Slopes. Editorial Longman. New York. 286p.

ANEXOS

1. Catastro histórico de remociones en masa por flujos en Chile entre 1980 - 2015

Año	Fecha	Región	Sector	Tipo	Descripción/Daños	Referencia revisada
1987	29 de Julio	Antofagasta	Comuna de Taltal		Remociones en masa en la comuna de Taltal.	SERNAGEOMIN
1991	18 de junio	Antofagasta	Comuna de Antofagasta	Flujos	Flujo de detrito y de barro voluminosos, de gran poder destructivo y de hasta 15 km/hora, en torno a la ciudad de Antofagasta, que ocasionaron la muerte de 91 personas y 19 desaparecidos , 70 mil damnificados y 6 mil casas destruidas. La pérdida material en propiedad pública y privada se estima en US\$ 80.000.000 .	SERNAGEOMIN
2006	30 de agosto	Antofagasta	Comuna de Taltal		Remociones en masa en la comuna de Taltal.	SERNAGEOMIN
2006	13 al 15 de febrero	Antofagasta		Flujos	Flujo de barro por lluvias del “Invierno Altiplánico” en Sierra Gorda y María Elena, Ruta CH 5 y Ruta 25.	SERNAGEOMIN
2010	16 de Mayo	Antofagasta	Comuna de Taltal		Remociones en masa en la comuna de Taltal.	SERNAGEOMIN
2015	9 de Agosto	Antofagasta	Comuna de Tocopilla		Remociones en masa en la comuna de Taltal.	SERNAGEOMIN
1997	12 de junio	Atacama	Ciudad de Copiapó	Flujos	Flujo de detrito ocurrido en la ciudad de Copiapó provocaron la muerte de 7 personas y severos daños en la zona urbana, en sectores donde las quebradas de descarga estaban ocupadas por viviendas.	SERNAGEOMIN

Año	Fecha	Región	Sector	Tipo	Descripción/Daños	Referencia revisada
2015	25 de marzo	Atacama	Ciudad de Copiapó y Chañaral	Flujos	Flujo de barro y detrito afectaron las ciudades de Copiapó y Chañaral y numerosas otras localidades de Atacama, ocasionando la muerte de 28 personas y 59 desaparecidos, y causando una importante destrucción en viviendas e instalaciones públicas, así como cortes de camino entre estas localidades, evaluadas en US\$ 1.500.000.000.	SERNAGEOMIN
1992	24 de marzo	Coquimbo			Flujo de barro y detrito de volumen y poder destructivo comprometieron viviendas del poblado Los Maitenes, Quebrada El Llano, afluente río Hurtado.	SERNAGEOMIN
1997	Invierno	Coquimbo			Flujo de barro y detritos hiperconcentrados afectaron extensos tramos de la carretera Panamericana Norte, CH5, entre la Serena y Vallenar, ocasionando la interrupción del tráfico por esa vía importante.	SERNAGEOMIN
1997	18 de junio	Coquimbo			Un aluvión en la comuna de Vicuña, sector el Almendral, en la región de Coquimbo. Causa la muerte de 2 personas, 2 lesionados y 140 albergados.	SERNAGEOMIN
2015	11-13 de julio	Coquimbo			Remociones en masa a causa de lluvias en la Serena y Elqui.	SERNAGEOMIN
1980	21 y 22 de febrero	Valparaíso			Flujo de detrito en sectores Puntilla del Viento y los Azules valle del río Aconcagua	SERNAGEOMIN
1987	18 de agosto	Valparaíso			Remociones en masa en el río Juncal, cercano a Guardia Vieja, comuna de Los Andes.	SERNAGEOMIN

Año	Fecha	Región	Sector	Tipo	Descripción/Daños	Referencia revisada
1995	27 de diciembre	Valparaíso			Flujo de barro y detrito en el valle del río Blanco, que produjeron cuantiosos daños materiales en caminos de acceso a las faenas mineras, el colapso del ducto de transporte de concentrado y relaves, y problemas operacionales en el tranque de relaves Los Leones de la División Andina de Codelco.	SERNAGEOMIN
2000	18 de noviembre	Valparaíso			Flujo de detrito en el sector Juncal-Paso Los Libertadores, Camino Internacional	SERNAGEOMIN
2002	24 de agosto	Valparaíso			Remociones en masa en el camino Troncal, Viña del Mar.	SERNAGEOMIN
2002	Septiembre	Valparaíso			Flujo de barro en la población El Bosque, Quilpué.	SERNAGEOMIN
2002	agosto	Valparaíso			Deslizamientos, desprendimientos, caída de bloques y flujos de detritos en flanco poniente del Cerro Barón, ruta Viña del Mar-Valparaíso.	SERNAGEOMIN
2011	11 de febrero	Valparaíso			Flujo de detrito en el sector la Bocatoma, Ruta Internacional Ch-60, comuna de los Andes.	SERNAGEOMIN
1980	21 y 22 Febrero	RM			Flujo de detritos (aluvión) en el río San Francisco, afluente del río Mapocho, causaron la muerte de 3 personas, 4 desapariciones y 580 damnificados , así como pérdidas por US\$ 500.000 .	SERNAGEOMIN
1980	Marzo	RM			Flujo de detrito en los ríos Mapocho, Maipo, Yeso y Colorado, cortes en camino y daños en diversas estructuras.	SERNAGEOMIN
1981	Julio	RM			Flujo de detrito en la bocatoma de la planta Queltehues, de Chilectra, causaron la muerte de 2 personas y graves daños en la estructura de captación.	SERNAGEOMIN
1982	27 de junio	RM			Desborde del río Mapocho y del Zanjón de la Aguada, ocasionando inundaciones en el sector oriente de Santiago, además de 6 rodados de nieve y tierra en Las Vizcachas y Romeral, Cajón del Maipo.	SERNAGEOMIN

Año	Fecha	Región	Sector	Tipo	Descripción/Daños	Referencia revisada
1986	15 – 17 junio	RM			Desborde de los ríos Maipo y Mapocho, del canal San Carlos y el Zanjón de la Aguada, además de las quebradas San Ramón y Macul; 18 comunas de Santiago declaradas zonas de catástrofe a causa de las inundaciones	SERNAGEOMIN
1987	14 de julio	RM			Desborde de quebradas del sector oriente de Santiago, y especialmente del Zanjón de la Aguada, que ocasiona la inundación de las comunas del sector, especialmente Peñalolén.	SERNAGEOMIN
1987	29 de noviembre	RM			Deslizamiento de rocas y flujo de detrito (aluvión) en el río Colorado, que arrasó con 4 campamentos del proyecto Central Hidroeléctrica Alfalfal, de Chilectra, dejando 41 muertos y/o desaparecidos y pérdidas materiales por US\$ 12.000.000 , considerando la Central Maitenes, 18 puentes sobre el río Colorado y caminos de acceso al proyecto Alfalfal.	SERNAGEOMIN
1991	Septiembre	RM			Aluvión en la quebrada Las Amarillas, en el Cajón del río Maipo, causa el bloqueo del camino.	SERNAGEOMIN
1991	25 de diciembre	RM			Aluvión en la quebrada Lo Cañas.	SERNAGEOMIN
1993	3 de mayo	RM			Flujo de detrito y de barro (aluvión) en las quebradas Macul y San Ramón, debido a las intensas lluvias de verano, lo que provoca la muerte de 26 personas, 9 desaparecidos , 307 casas destruidas, 5.000 dañadas, y US\$ 5.000.000 en pérdidas materiales.	SERNAGEOMIN
1997	23 y 24 de abril	RM			Flujo de detrito y barro en la quebrada Las Amarillas, al norte Baños Morales, ocasionó un grave déficit de agua potable en un extenso sector de la región Metropolitana, debido a la colmatación de sedimentos en la respectiva planta de tratamiento.	SERNAGEOMIN
2004	12 de noviembre	RM			Aluvión en la quebrada Lo Cañas.	SERNAGEOMIN

Año	Fecha	Región	Sector	Tipo	Descripción/Daños	Referencia revisada
2005	26 y 27 de agosto	RM			Desborde de cauces e inundaciones en el sector oriente de la Región Metropolitana, e sectores bajos de las quebradas Lo Cañas, Macul y San Ramón, y curso medio del río Mapocho.	SERNAGEOMIN
2009	6 de septiembre	RM			Flujo de detrito en la quebrada Ñilhue, ruta G-21, al oriente de la región Metropolitana. 2 personas muertas, 1 bebé desaparecido , y más de 1.300 turistas quedaron aislados en el centro de esquí de Farellones.	SERNAGEOMIN
2012	15 de enero	RM			Aluviones en el Parque Cordillera Yerba Loca, causaron el aislamiento de 104 turistas al interior del parque	SERNAGEOMIN
2012	17 de junio	RM			Aluvión en la quebrada Cañaverel, ruta G-21, al oriente de la región Metropolitana. Se cortó la ruta por varias horas, interrumpiendo el tráfico a los centros de esquí y a la mina Los Bronces, y dejando incomunicadas a 27 habitantes del sector y un camión atrapado.	SERNAGEOMIN
2013	21 de enero y 8 de febrero	RM			Flujo de detrito en el Cajón del río Maipo, que en 2 oportunidades por 2 días cada vez, bloquearon varios caminos y afectaron el suministro de agua potable al Gran Santiago, a causa del alto contenido de sedimentos.	SERNAGEOMIN

Fuente: Elaboración propia a partir de registro de SENAGEOMIN, 2015

2. Wolfgang Griem. Museo Virtual Atacama. 2015.

Fecha	Evento, descripción
1655	Fuertes temporales y aluviones después de una gran sequía. El sector de Nantoco se queda estéril. Después solo plantaciones de alfalfa.
1746	Una extensa sequía provoco un déficit de trigo en el valle Copiapó.
1792	El río Copiapó se sequió, gran época de sequía en la Región Atacama.
1821 - 1834	Fuertes precipitaciones.
1827	Fuertes precipitaciones, antes gran sequía. Se reporta lluvias torrenciales, con fuertes inundaciones de las calles de Copiapó. Especialmente el agua bajó por la Quebrada Paipote y el valle Copiapó. (Revista Copiapó Extraordinaria, 1932).
1833	Lluvias (16,8 mm).
1848	R.A. Philippi habla de fuerte lluvias en el desierto Atacama.
1850 - 1855	Fuertes precipitaciones (promedio 40,5 mm anuales).
1856 - 1858	Sequía: 3 años sin precipitaciones en Copiapó.
1859 - 1867	Época con precipitaciones 9 años con un promedio de 24,3 mm / anuales.
1868 - 1876	Período seco; 9 años con un promedio de 5mm / anuales (La excepción 1871: 28mm).
1877 - 1891	Periodo lluvioso: 15 años con un promedio de 27,7 mm anuales.
1888	14.8.: Fuertes inundaciones en Copiapó: Probablemente un aluvión destruye los sectores de la ciudad ubicadas en las cercanías de las riberas del río Copiapó. Una gran cantidad de personas no sobrevive este desastre natural. Testigos reportan un gran ruido antes de las inundaciones. Muchas víctimas fueron sorprendidas por la entrada súbita de las aguas en sus casas.
1892 - 1893	Seco (0 mm).
1894	Lluvia (37mm): 20 de Julio y 12 de Agosto aluviones cortan las líneas FFCC a Chañarcillo.
1895 -	seco (0mm)

1896	
1897 - 1905	9 años muy lluviosos (promedio de 42,mm por año)
1904	16. 7. Lluvias en Copiapó 2.8. Nevadas
1905	La crecida del río Copiapó durante el año 1905 <u>destruye gran parte de la línea del ferrocarril</u> entre "Tres Puentes" y San Antonio.
1906	Fuertes inundaciones y aluviones en Vallenar y en el valle del río Huasco. En Copiapó: 6mm. Incluso, Yunge (1907) menciona el corte total de la producción de plata en el sector Río Copiapó por destrucción de la línea férrea en el sector por aluviones.
1907 - 1917	Época de menores precipitaciones: 11 años con un promedio de 6 mm anuales. Acumulado 66 mm en 11 años.
1918 - 1944	27 años de altas precipitaciones: promedio de 37, 8 mm/ anuales; 1020 mm acumulados.
1929	Fuertes lluvias (20.6.) especialmente en Puquios, Carrera Pinto y San Antonio.
1940	Fuertes lluvias (12.6) provocan cortes en el tramo del ferrocarril entre Pueblo Hundido y Chulo.
1943	Fuertes precipitaciones en Atacama: 36 mm; provocan cortes en las líneas del ferrocarril - especialmente en Chimberos, Punta de Cobre, Chulo y Carpa del Cuarto. (14.6.)
1945 - 1954	Precipitaciones normales, con grandes diferencias (promedio 16,6 mm anual).
1953	Nieve paraliza las labores en Potrerillos, Las Vegas y Las Minas (14.6-16.6.) Fuertes temporales provocan cortes en el tránsito ferroviario en Toledo y entre Juan Godoy y Paipote. (14.6-16.6.)
1955 - 1977	Época de pocas precipitaciones, con un promedio de 7,85 mm anual como promedio en 24 años. En total se acumularon en este lapso 188,5 mm.
1969	23.de agosto, fuertes lluvias en Atacama, especialmente Copiapó y Antofagasta (Fuente: La Vanguardia de España).
1972	El invierno altiplánico afecta hasta el valle del río El Salado (12.2.1972). Las precipitaciones en la precordillera provocan un aluvión que llega hasta el pueblo El Salado.
1979 - 1992	Época de precipitaciones (24,3 mm en promedio anual) con algunos años casi secos (1990).
1980	6.4. Aluvión en el Valle Copiapó; evento con truenos y relámpagos.
1985	Aluvión en la Quebrada de Manflas - considerable aumento del nivel del

	Tranque Lautaro.
1993 - 1996	Fuerte sequía: En cuatro años solo 2,2 mm acumulados (promedio de 0,5mm anual).
1997	Las precipitaciones más altas de los últimos tiempos (148,7mm) afectan Copiapó y la Región Atacama.
1999	Para Copiapó un fenómeno bien raro: Relámpagos y truenos afectan 5 horas la ciudad.
2005	En dos ocasiones (Julio y Agosto) las fuertes nevazones llegan casi a la ciudad de Copiapó. El cerro Imán y las dunas en el sector se quedaron con un manto blanco.
2007	Seco (Copiapó)
2010 - 2011	Años lluviosos, 20mm / 30mm
2015	24 y 25. de marzo, fuertes lluvias entre Coquimbo hasta Calama. Grandes partes inundadas, más de 50 víctimas fatales y miles de damnificados, miles de casas dañadas. Una capa de barro de 30 en grandes partes del valle del río Copiapó y en Copiapó. 13.7.: otra lluvia fuerte, 25mm en Copiapó.

Fuente: Wolfgang Griem. Museo Virtual Atacama. 2015.

3. Mapa de Remoción en masa: según Hauser (2000).

