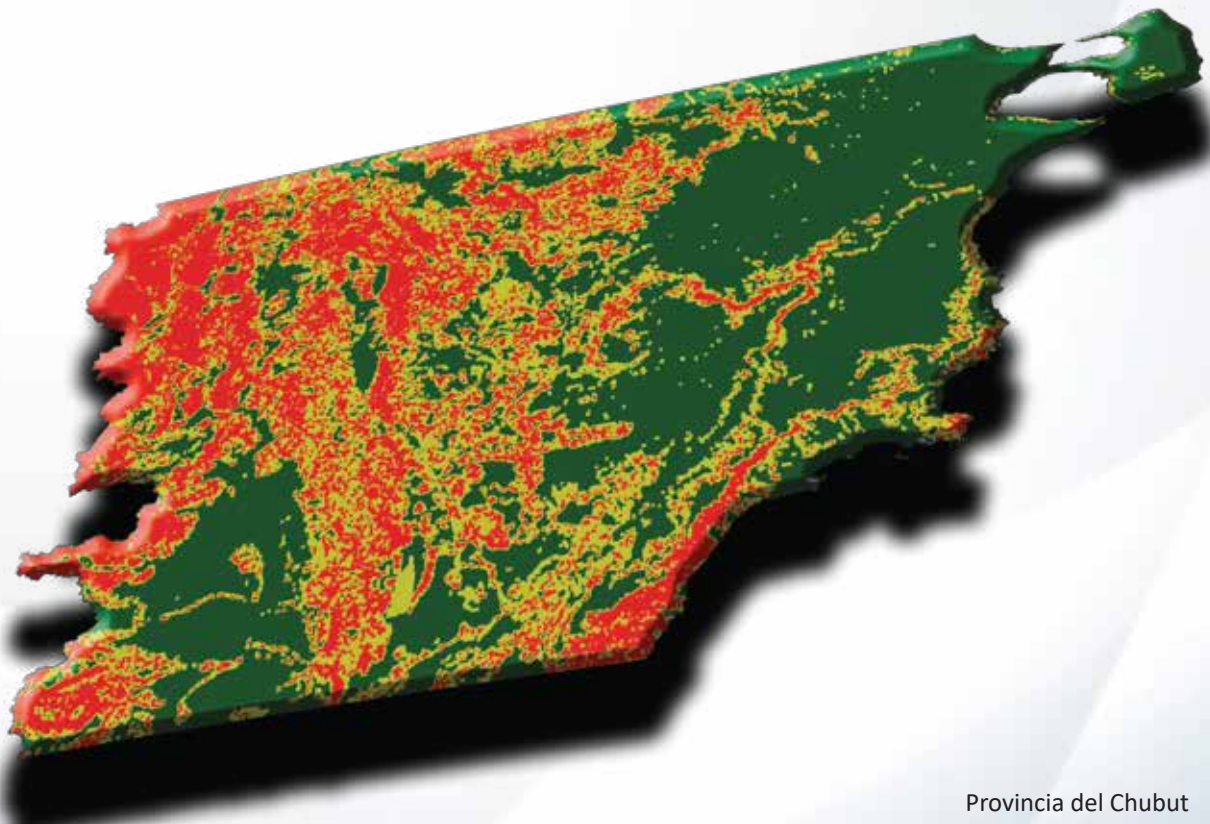


# *ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT*

**Adriana Beatriz Balbi, Diego Azcurra, Federico Daniel Carballo y  
Melisa Soledad Heredia**



Provincia del Chubut

SERIE CONTRIBUCIONES TÉCNICAS - PELIGROSIDAD GEOLÓGICA N° 25

# ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT

Adriana Beatriz Balbi<sup>1</sup>, Diego Azcurra<sup>1</sup>, Federico Daniel Carballo<sup>1</sup> y  
Melisa Soledad Heredia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Servicio Geológico Minero Argentino – Instituto de Geología y Recursos Minerales

<sup>2</sup> Servicio Geológico Minero Argentino - Centro Córdoba

*Supervisión:* Alejandro Emmanuel Celli

*Validación:* Adriana Beatriz Balbi

*Edición:* Marcos Vila

ISSN 2618-5024

BUENOS AIRES 2023

## **SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO**

*Presidente:* Dr. Eduardo Osvaldo Zappettini  
*Secretaria Ejecutiva:* Lic. Silvia Beatriz Chavez

## **INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

*Director:* Dr. Martín Ricardo Gozalvez

## **DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y APLICADA**

*Director:* Lic. Alejandro Emmanuel Celli

### **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

*Esta publicación debe citarse como:*

Balbi A.B., Azcurra, D., Carballo, F.D., Heredia M.S., 2023. Zonificación de la Susceptibilidad a los Procesos de Remoción en Masa de la Provincia del Chubut. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas Peligrosidad Geológica N° 25. 43 pp. Buenos Aires.

ISSN 2618-5024

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES - SEGEMAR  
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia) 1650 - San Martín - Buenos Aires - República Argentina

Edificios 14 y 25 | (11) 5670-0100

[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar)

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	3
1.1. Definiciones .....	3
<b>2. AREA DE ESTUDIO</b> .....	3
2.1. Antecedentes de Procesos de Remoción en Masa .....	8
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	13
3.1. Generación de Mapas de Susceptibilidad.....	14
3.2. Mapas de Factores Pasivos o Condicionantes .....	15
3.3. Mapas de Factores Activos o Desencadenantes .....	26
3.4. Estandarización de Datos .....	31
3.5. Combinación de Factores .....	32
3.6. Validación del Modelo .....	35
<b>4. ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA</b> .....	36
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	39
<b>6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO</b> .....	40
<b>ANEXO I:</b>	
Mapa con zonificación de susceptibilidad a los procesos en remoción en masa en la provincia del Chubut.....	43

## RESUMEN

En el presente trabajo se generó un mapa de susceptibilidad (alta, media y baja) a los procesos de remoción en masa de la provincia del Chubut, a una escala 1:750.000, contribuyendo así a la planificación preventiva y correctiva del riesgo local para el desarrollo sostenible. Para esto se ha adoptado el método de Evaluación Espacial Multicriterio basado en opinión de expertos (Castellanos Abella y Van Westen 2007), que considera las precipitaciones y los sismos como procesos disparadores de estos eventos. Además, se realizó la selección de una serie de factores considerados como condicionantes de la generación de procesos de remoción en masa, como: pendiente, orientación de las laderas, relieve relativo, litología, distancia a fallas, distancia a cuerpos de aguas permanentes y efímeros y uso del suelo.

El mencionado procedimiento permitió la obtención de tres tipos de mapas de susceptibilidad a caídas de rocas, flujos y deslizamientos. Los resultados de cada mapa fueron validados utilizando un inventario de deslizamientos del trabajo de campo llevado a cabo para la Carta de Peligrosidad 4372-IV Trevelin (Chávez *et al.* en edición), obteniéndose un nivel de confianza de 0,8.

Posteriormente, estos tres mapas fueron combinados para alcanzar un único mapa de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, obteniéndose como resultado:

- Susceptibilidad Alta (16,25 % de la provincia), localizada en:
  - Centro-norte de la región Andina y en menor proporción en el sector sur de la misma.
  - Oeste de la Meseta Central, en inmediaciones de las sierras de Traquetrén, Cutancunú y de Lonco Trapial.
  - Sector oeste de la comarca Senguerr-Golfo San Jorge y en el sector oriental de la misma (al este de Pampa del Castillo), hasta el sector costero de la región.
- Susceptibilidad Moderada (29,30 % de la provincia), ubicada en:
  - Zona central de la provincia (Comarca Meseta Central).
  - En cercanías a las zonas de susceptibilidad alta.
- Susceptibilidad Baja (54,45 % de la provincia), emplazada en:
  - El sector este de la Comarca VIRCh-Península Valdés.
  - Centro y occidente de la Comarca Senguerr-Golfo San Jorge. Los mismos, generalmente están localizados sobre las mesetas desarrolladas en esas áreas: Bajo de la Tierra Colorada, del Gualicho, Meseta de Montemayor, pampas del Chalfá, del Castillo, María Santísima, Meseta del Senguer, entre otras.
  - Pequeños sectores en las pampas de Gan Gan, Gastre y Agnia.

Este producto permite a entes gubernamentales y a las comunidades ser utilizado como una herramienta que facilite la toma de decisiones en la gestión de riesgos, pudiendo servir en la primera fase de implementación de un sistema de alerta. También se presenta como una herramienta preliminar para el ordenamiento del territorio, siendo imprescindible la realización de estudios a mayor escala para proyectos ingenieriles.

**Palabras Clave:** Provincia del Chubut, Remoción en masa, Caídas de roca, Flujos, Deslizamientos, Mapa de susceptibilidad, SIG, Método heurístico.

## ABSTRACT

In the present study, a susceptibility map (high, medium and low) was generated to the mass movement processes of the province of Chubut, at a scale of 1:750,000, thus contributing to the preventive and corrective planning of the local risk for the sustainable development. For this, the Multicriteria Spatial Assessment method based on expert opinion has been adopted (Castellanos Abella and Van Westen 2007), which considers precipitation and earthquakes as processes that trigger these events. In addition, the selection of a series of factors considered as conditioning factors for the generation of mass movement processes was carried out, such as: slope, orientation of the slopes, relative relief, lithology, distance to faults, distance to permanent and ephemeral bodies of water and land use.

The mentioned procedure allowed the obtaining of three types of maps of susceptibility to rock falls, flows and landslides. The results of each map were validated using an inventory of landslides from the field work carried out for the Carta de Peligrosidad 4372-IV Trevelin (Chávez *et al.* in edition), obtaining a confidence level of 0.8.

Subsequently, these three maps were combined to obtain a single zoning map of susceptibility to mass removal processes, obtaining as a result:

- High Susceptibility (16,25 % of the province), located in:
  - Center-north of the Andean region and to a lesser extent in the southern sector of the same.
  - West of the Central Plateau, in the vicinity of the Traquetrén, Cutancunú and Lonco Trapial Mountain ranges.
  - Western sector of the Senguerr-Golfo San Jorge region and in its eastern sector (east of Pampa del Castillo), up to the coastal sector of the region.
- Moderate susceptibility (29,30 % of the province), located in:
  - Central zone of the province (Comarca Meseta Central).
  - In the vicinity of areas of high susceptibility.
- Low Susceptibility (54,45 % of the province), located in:
  - The eastern sector of the VIRCh-Península Valdés region.
  - Center and west of the Comarca Senguerr-Gulf San Jorge. They are generally located on the plateaus developed in these areas: Bajo de la Tierra Colorada, Gualicho, Montemayor Plateau, Pampas del Chalia, del Castillo, María Santísima, Meseta del Senguer, among others.
  - Small sectors in the pampas of Gan Gan, Gastre and Agnia.

It allows government agencies and communities to use it as a tool that facilitates decision-making in risk management, and it can be used in the first phase of an alert system. It is also presented as a preliminary tool for land use planning, although it is essential to carry out studies on a larger scale for engineering projects.

**Keywords:** Chubut province, Mass removal, Rock falls, Flows, Landslides, Susceptibility map, GIS, Heuristic method.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La obtención de mapas de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de alta resolución de grandes áreas o provinciales representa una tarea compleja por la disponibilidad de datos y el tamaño de las áreas de estudio. Uno de los intereses principales de los servicios geológicos es encontrar un método alternativo que permita a entes gubernamentales y a las comunidades, utilizarlo como una herramienta que facilite la toma de decisiones en la gestión de riesgos y ordenamientos territoriales, y sea la base de estudio para desarrollos de mayor detalle, a costos reducidos y en corto tiempo, y que pueda ser aplicado en todo el país.

Existen técnicas basadas en las características del material, como ser: rocas y tipos de suelo, profundidad del suelo, parámetros hidrológicos y geotécnicos y en los inventarios de procesos de la zona. La disponibilidad de datos de la Base de Datos de Peligrosidad Geológica de procesos de remoción en masa (SEGEMAR) no es lo suficientemente completa como para aplicar estos métodos estadísticos. Como alternativa se puede aplicar un enfoque heurístico, empleando una “*Evaluación Espacial Multicriterio*” en un sistema de información geográfica, para analizar la importancia relativa de los factores predisponentes, considerando como factores desencadenantes las precipitaciones y la sismicidad de la región.

El objetivo del presente proyecto es generar un modelo para proporcionar una primera visión general de la zonificación y análisis de la distribución espacial relativa de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la provincia del Chubut, creando un procedimiento sistemático y, posteriormente, aplicar éste homogéneamente a todo el país.

### 1.1. DEFINICIONES

Los procesos geológicos naturales representan un riesgo social y económico, que son en gran medida subestimados. Los mapas que consideran estos procesos quedan generalmente englobados impropriamente bajo la denominación común de “mapas de riesgos”. Sin embargo, estos se clasifican en diferentes tipos: mapas de susceptibilidad, de peligrosidad o amenaza y de riesgo.

El concepto de **riesgo** implica la valoración de los daños y pérdidas económicas y/o humanas que un proceso puede causar, mientras que el concepto de **peligrosidad** geológica se describe como la probabi-

lidad de ocurrencia dentro de un período de tiempo determinado y en un área específica de un fenómeno potencialmente perjudicial. Estrechamente relacionada con la peligrosidad se halla la **susceptibilidad** a los movimientos en masa, que expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, con base en las condiciones extrínsecas que los detonan, tales como, precipitaciones y sismos (Siddle *et al.* 1991, Wu y Siddle 1995 y Dai *et al.* 2001).

El término remoción en masa (en adelante RM) o movimiento en masa, incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierra por efectos de la gravedad (Cruden 1991). Los mismos se presentan bajo diferentes condiciones y en distintos materiales, lo que provoca diferentes rasgos y geoformas de erosión y depositación. Por ello se generó la necesidad de denominar a cada tipo de movimiento según clasificaciones diversas que muestran la complejidad del proceso. Existen varios trabajos sobre clasificaciones de tipos de movimientos en los cuales se los tipifica según diferentes aspectos (litología, mecanismo de rotura, etc.), pero en el presente trabajo y a modo de clarificar y unificar la denominación, se tomará la clasificación aportada por Hungr *et al.* (2014). La misma se describe en la tabla 1.

## 2. AREA DE ESTUDIO

La provincia del Chubut está situada en la región patagónica, entre los paralelos 42° y 46° de latitud sur, limita al norte con la provincia de Río Negro; al este con las aguas atlánticas del Mar Argentino; al sur con la provincia de Santa Cruz, y al oeste con la República de Chile (Fig. 1).

Esta provincia con sus 224.686 kilómetros cuadrados (6 % del total nacional), la tercera en superficie del país presenta extensos territorios despoblados. La población y las actividades económicas se concentran principalmente en la franja costera, donde se asientan dos de los vértices de su triángulo de desarrollo: Comodoro Rivadavia, su principal centro urbano, y el conjunto compuesto por las ciudades de Trelew, Puerto Madryn y Rawson.

El tercero de ellos se localiza en el área cordillerana (ciudades de Esquel y Trevelín). Esta configuración espacial, originada por la distribución de los recursos naturales, fue consolidada a través del tiempo por medio de grandes obras de infraestructura (como diques y puertos) y fundamentalmente por las viales y de comunicaciones.

TIPO DE MOVIMIENTOS	MATERIAL	
	ROCA	SUELO
<b>CAÍDAS</b>	Caída de roca/hielo	Caída de bloques, detritos y limo
<b>VUELCOS / VOLCAMIENTOS</b>	Vuelco de roca	Vuelco de grava, arena, limo
	Vuelco flexural de roca	
<b>DESLIZAMIENTOS</b>	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de arcilla, limo
	Deslizamiento planar de rocas	Deslizamiento planar de arcilla, limo
	Deslizamiento de cuña	Deslizamiento de grava, arena y detritos
	Deslizamiento compuesto de rocas	Deslizamiento compuesto de arcilla, limo
	Deslizamiento de rocas irregular	
<b>EXPANSIÓN</b>	Expansión de rocas	Expansión de arcilla, limo y por licuefacción
		Expansión de arcilla tixotrópica
<b>FLUJOS</b>	Avalancha de rocas y hielo	Flujo seco de arena, limo, detritos
		Deslizamiento de arena, limo, detritos
		Deslizamiento de arcilla tixotrópica
		Flujo de detritos
		Flujo de lodo
		Inundación de detritos
		Avalancha de detritos
		Flujo de tierra
		Flujo de turba
<b>DEFORMACIÓN DE PENDIENTES</b>	Deformación de ladera de montaña	Deformación de pendiente de suelo
	Deformación de pendiente rocosa	Reptaje de suelo
		Soliflucción

Tabla 1. Tipos de movimiento en masa (traducido de Hungr *et al.* 2014).

El clima en Chubut presenta ambientes diferenciados, dentro de los cuales, la región de los Andes Patagónicos se caracteriza por la llegada de las masas húmedas del Pacífico que posibilitan la disponibilidad de agua abundante y la fertilidad de los suelos de algunos valles. En tanto, hacia el oriente de la provincia, la escasa altura de las sierras no alcanza para producir precipitaciones; y en el ámbito de las mesetas, las características de aridez se incrementan notablemente (<https://sites.google.com/site/corredorsurpatagonianorte/chubut>).

El relieve de la provincia no es uniforme, con alturas superiores a los 2.000 metros, situadas en el sector occidental y depresiones absolutas de 40 metros bajo el nivel del mar, como la situada en la Península de Valdés y presenta, además, sierras, bajos, mesetas y valles. La Cordillera de los Andes se extiende al oeste del Chubut, a lo largo de la frontera con Chile. El encadenamiento no es uniforme, sino

como bloques dislocados y separados por valles transversales, orientados en dirección este-oeste, ocupados por lagos glaciares y ríos. Son montañas con cumbres agudas y abundancia de nieve, cuya máxima altura provincial es el cerro Dos Picos de 2.515 m s. n. m., al oeste del lago Cholila. A pesar de que la cordillera chubutense no registra grandes alturas, es suficiente para que actúe como divisoria climática, ya que detiene los vientos húmedos del oeste, los que descargan su humedad en este sector, avanzando hacia el resto de la provincia completamente secos. Los Patagónides son el sistema montañoso que se encuentra en contacto con los cordones orientales de la Cordillera de Los Andes, ambos sistemas tienen una morfología similar de elevaciones bajas y cumbres redondeadas. Sin embargo, los Patagónides poseen cumbres más bajas y la erosión hídrica y eólica han dejado profundas huellas. Se desarrollan en sentido norte-sur, separados del sistema



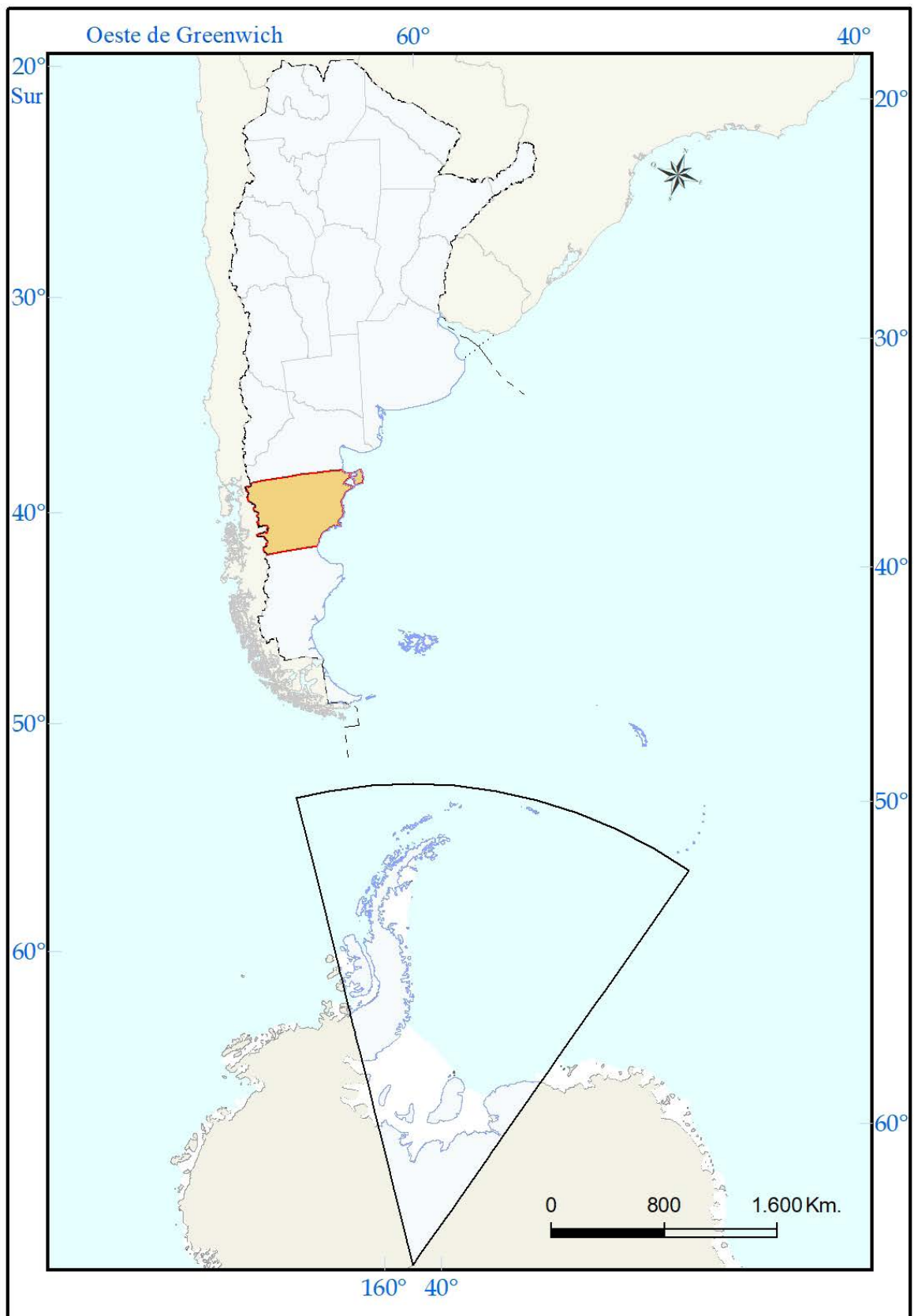


Figura 1. Localización del área de estudio.

cordillerano por los valles de los ríos Chico-Chubut, Languiño, Genoa y Senguer y se confunden incluso con las mesetas por la aridez reinante.

Las mesetas patagónicas presentan gran variedad de geofomas, entre mesetas, terrazas, cañadones, valles, depresiones, bajos, sierras, salinas y lagunas. Descienden escalonadamente desde el oeste hacia la costa atlántica. Son denominadas "pampas" cuando sus cumbres son planas, como las de Salamanca y del Castillo. Suelen estar cubiertas por mantos de basalto o por rodados patagónicos. Los cañadones son valles generalmente secos que corresponden a ríos que existieron en épocas húmedas, y descienden hacia los valles o hacia los bajos. Las áreas deprimidas son numerosas y están ocupadas en su mayoría por salinas o lagunas temporarias. La más extensa de ellas, la de Sarmiento, presenta los mayores lagos de la Patagonia extraandina: el Musters y el Colhué Huapi, ambos alimentados por el río Senguer. Todas las geofomas poseen un declive orientado hacia el este, donde culmina en una costa abrupta sobre el océano Atlántico, debido a las mesetas que forman acantilados que pueden llegar a medir 150 metros de altura, alternando con algunos sectores con playas. La costa presenta el accidente más recortado de todo el litoral marítimo, la Península Valdés ([http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve\\_e.htm](http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve_e.htm)).

La presencia de numerosos ríos que se alimentan del deshielo cordillerano y diversos lagos y lagunas es el rasgo característico de la hidrografía de esta región. En esta provincia muchos ríos nacidos al este de la cordillera la atraviesan para desembocar en el océano Pacífico. La desembocadura de las cuencas se divide en:

- Cuencas que desaguan al océano Pacífico: el grupo del río Puelo, se ubica en primer lugar, éste concentra una serie de lagos y cursos menores. Le sigue la cuenca de Futaleufú, desarrollada de norte a sur a través de una gran cantidad de lagos que van desde el río Cholila en el norte hasta el Rosario en el sur; sobre el río Futaleufú se ha construido el embalse Amutui Quimei para generar energía hidroeléctrica. El sistema del Carrenleufú se extiende de sur a norte, con sus nacientes en el lago General Vintter, recibiendo las aguas del río Pico ([http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve\\_e.htm](http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve_e.htm)).
- Cuencas que desaguan al océano Atlántico: Integrada por el río Chubut y el Senguer-Chico. El río Chubut nace en la provincia de Río Negro, entre los cerros Carrera y Negro, y es formado mediante el aporte de pequeños cauces procedentes de la región cordillerana. En su curso superior recibe

un afluente muy significativo que es el río Tecka, de unos 160 km de recorrido. Cruza la provincia de oeste a este describiendo un arco convexo al noroeste. Atraviesa las mesetas patagónicas y lleva sus cabeceras hasta las fronteras de Río Negro, con el nombre del Alto Chubut. Su cuenca se extiende sobre una franja superior a los 29.000 km<sup>2</sup> y desemboca en la bahía Engaño. En el curso inferior de río Chubut se levanta el dique Florentino Ameghino, que formó un gran lago artificial llamado con el mismo nombre. Las obras de canalización y regadío en el curso inferior han permitido el destacado desarrollo de zonas de cultivos. El principal afluente del Chubut inferior es el río Chico. El río Senguer es emisario de la doble cuenca lacustre La Plata-Fontana, pertenecientes a la zona montañosa del límite de Argentina con Chile. Su curso principal se dirige hacia el lago Musters y otro brazo continúa hacia el este. Sólo en épocas de grandes crecidas sus aguas alcanzan el lago Colhué Huapi ([http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve\\_e.htm](http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve_e.htm)).

Ambas cuencas tienen crecientes invernales, por las abundantes precipitaciones, y primaverales por los deshielos. Las escasas lluvias en las mesetas sólo permiten la presencia de algunos cursos temporarios o lagunas de agua salada.

### **Plan Estratégico de Desarrollo Territorial de la Provincia**

En el año 2006, con el objetivo de establecer un "Plan Estratégico de Desarrollo Territorial de la Provincia" (<https://www.mininterior.gov.ar/planning/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>), la misma fue dividida en comarcas con particularidades geográficas, socioculturales y de recursos económico-productivos afianzados en cada una de ellas, con condiciones y potencialidades para fortalecer su desarrollo (Fig. 2).

### **Comarca VIRCH-PENÍNSULA VALDÉS**

Comprende el territorio centro-norte del litoral marítimo provincial y abarca los departamentos de Rawson, Biedma, Gaiman y zona centro-norte del Florentino Ameghino. La población total al 2015 era de 252.331 habitantes.

Se destacan las ciudades de Rawson (capital de la provincia), Trelew, Puerto Madryn, Gaiman, Dolavon, 28 de Julio, Puerto Pirámides sobre el Área Natural Protegida de Península Valdés y Camarones. Concentra el 44,5 % de la población urbana de la provincia

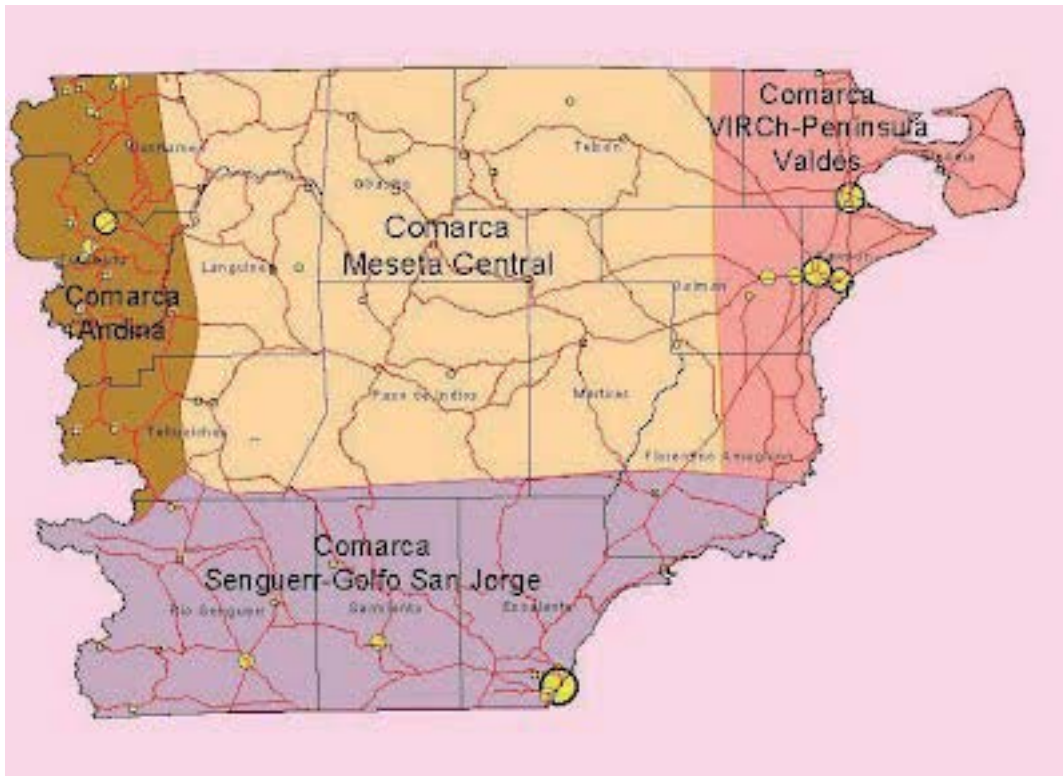


Figura 2. Comarcas de la provincia del Chubut (Fuente: <https://sites.google.com/site/corredorsurpatagonianorte/chubut>).

Presenta como característica destacada el potencial natural ecológico (áreas naturales protegidas de Península Valdés y Punta Tombo) y el Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH). Las principales ramas de la actividad económica en las áreas urbanas en relación a puestos de trabajo son: la administración pública 22 %, comercio, servicios y barracas 15 %, industrias (aluminio, alimentaria y textil) 14 %, servicios y de enseñanza 15 % (<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>).

### Comarca SENGUER-GOLFO SAN JORGE

Comprende el territorio del sur de la provincia, desde del litoral marítimo por el este hasta la cordillera de los Andes por el oeste, abarcando los departamentos Escalante, Sarmiento, Río Senguerr y el sector sur del departamento Florentino Ameghino. Se destacan las ciudades de Comodoro Rivadavia, Rada Tilly, Sarmiento, Río Mayo, Río Senguerr y comunas rurales como Buen Pasto, Aldea Beleiro, Ricardo Rojas, Facundo y Lago Blanco. La población al 2015 era de 230.985 habitantes. Concentra 40,8 % de la población urbana del Chubut.

Las actividades económicas productivas en orden de importancia son la petrolera, comercio y servicios, minas y canteras; empleo público y metalmecánica en el valle de Sarmiento; la agricultura sobre el valle del Senguerr y Lago Musters; en Río

Senguerr la ganadería ovina y el turismo en los lagos Fontana y La Plata. Comodoro Rivadavia concentra el 92 % del total de ocupados de la comarca.

La situación limítrofe de la comarca con el norte de la provincia de Santa Cruz centro-este provoca que las actividades, en particular petroleras y de servicios, se potencien con las localidades santacruceñas de Caleta Olivia, Las Heras y Pico Truncado (<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>).

### Comarca ANDINA

Ocupa la región cordillerana norte y centro de la provincia y abarca los departamentos de Cushamen en su sector centro-oeste, Futaleufú, Languineo en su sector oeste y Tehuelches. En el año 2015 contaba con una población de 76.826 habitantes.

La característica geográfica distintiva de esta comarca es que se encuentran en ella cinco de las siete cuencas hidrográficas de la provincia, dos de cuales dan origen a los parques nacionales Lago Puelo y Los Alerces.

Concentra el 13,53 % de la población urbana de la provincia y las actividades económicas-productivas principales están vinculadas principalmente al turismo, la ganadería, la actividad forestal y la producción de fruta fina (<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>).

## Comarca MESETA CENTRAL

Se ubica en la región de la meseta centro-norte de la provincia, en torno al valle medio del Río Chubut y sus afluentes. Contaba al 2015 con una población aproximada de 6.780 habitantes (1,2 %) y la más baja densidad de población de la provincia. Abarca los departamentos de Cushamen y Languineo en su sector este, Gaiman en su porción oeste y la totalidad de los departamentos de Gastre, Telsen, Paso de Indios y Mártires. Las localidades que la integran son Paso de Indios, Gualjaina, Gan Gan, Gastre, Telsen y las comunas rurales de Cushamen, Lagunita Salada, Colan Conhué, Aldea Epulef, Paso del Sapo, Los Altares, Las Plumas y Dique Florentino Ameghino. Además, incluye los parajes de Blancunre, El Mirasol, Chacay Oeste y Yala Laubat entre otros.

La principal actividad económica es la ganadería ovina y la administración pública provincial, los servicios públicos, escuelas, centros de salud, seguridad, actividad municipal y minería (<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>).

### 2.1. ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los movimientos en masa generan en el territorio pérdidas de vidas humanas, daños a la infraestructura y afectaciones ambientales y económicas, las cuales perjudican el desarrollo de cada región. En Argentina, a partir del año 2007 y ante la necesidad de conservar en forma adecuada los datos de los procesos geológicos recabados en las Cartas de Peligrosidad Geológica y otros estudios llevados a cabo por el SEGEMAR, se diseñó una base de datos denominada Base de Datos de Peligrosidad Geológica. Dicha base es alimentada por las “fichas inventario” de los peligros geológicos que impactan en nuestro territorio, registros actuales y/o históricos, que han causado daños a la población. Las fichas llevan información acerca de la ubicación con coordenadas de los eventos, nombre y número de la Carta de Peligrosidad, provincia, localidad afectada, daños materiales, efectos indirectos, número de muertos y de heridos, pérdidas económicas y superficie afectada. En el caso de daños materiales se incluyen daños en viviendas, infraestructuras, consecuencias en la producción agropecuaria, etc. Cada proceso tiene también datos específicos como, por ejemplo, volumen, extensión, profundidad, desplazamiento

máximo, altura de caída y velocidad, en el caso de movimientos en masa; con lo que se puede calcular su intensidad (Chávez *et al.* 2008). No siempre se cuenta con estos datos, sólo en los casos que se hayan realizado observaciones de campo. Cabe aclarar que la ubicación del movimiento generalmente representa la localidad que fue afectada y no el sector de arranque o inicio del proceso en cuestión.

En la Base de Datos de Peligrosidad Geológica de procesos de remoción en masa (SEGEMAR) en la provincia del Chubut se han registrado sesenta y un movimientos hasta la actualidad (Fig. 3). En la tabla 2 se listan los procesos censados, identificando su localización, fecha, tipo de proceso, los daños materiales causados y los daños a la integridad física.

La distribución de la información responde a los antecedentes disponibles. La ausencia de registros no implica ausencia de eventos.

Entre los sesenta y un movimientos contabilizados, el mayor porcentaje corresponde a las caídas de rocas unidas con los vuelcos (43,55 %), seguidos por un 29,05 % de deslizamientos de los subtipos rotacionales y planares, un 21,00 % de flujos incluyendo las avalanchas, con excepción de las avalanchas de nieve que comprenden el 1,60 % del total, asimismo se han producido 3,20 % de movimientos de reptaje y 1,60 % de movimientos complejos en la provincia del Chubut (Tabla 3 y Fig. 4).

Como antecedentes del área también se pueden citar las Cartas de Peligrosidad Geológica: 4566-III Comodoro Rivadavia (Tejedo *et al.* 2000); 4366-II Puerto Madryn (Ichazo *et al.* 2009), 4566-III Escalante (Tejedo 2004); 4366-IV Rawson (Ichazo 2001), 4372-II Esquel (Tejedo *et al.* 2009) y 4372-IV Trevelin (Chávez *et al.* en edición). Como así también varios informes, entre ellos el Estudio de Peligrosidad Geológica del Área de Playa Belvedere, Comodoro Rivadavia (Tejedo 2003), Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica Comodoro Rivadavia (González *et al.* 2002), Evaluación de Peligrosidad Geológica en el Barrio Divina Providencia, Comodoro Rivadavia (Tchilinguirian 2003); Unidades gravitacionales en los alrededores de Esquel: clasificación, origen y edad (Martínez 2016); Procesos de retracción de los acantilados patagónicos entre la desembocadura de los ríos Negro y Chubut (Schillizzi *et al.* 2004), Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017: visiones múltiples para una ciudad en riesgo (Paredes 2019), etcétera.

#	LAT. S / LONG. O	LOCALIDAD / PARAJE	TIPO DE MOVIMIENTO	D/M/AAAA	FATALIDADES	DAÑOS MATERIALES
1	-42,942	NO Punta Cracker	Caída de rocas	-	Se desconoce	-
2	-64,501		Deslizamiento rotacional			
3	-42,921	Punta Cracker	Caída de rocas	-	Se desconoce	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
4	-64,543		Deslizamiento rotacional			Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
5	-42,883	Punta Conscriptos	Caída de rocas	-	Se desconoce	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
6	-64,702					Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
7	-42,813 -64,900	Reserva Natural Punta Loma	Caída de rocas	-	0	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
8	-42,668 -64,990	Punta Dorado	Caída de rocas	-	Se desconoce	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
9	-42,645 -64,969	Punta Flecha (NO El Doradillo)	Caída de rocas	-	Se desconoce	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
10	-42,616 -64,869	Punta Ameghino	Caída de rocas	-	Se desconoce	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
11	-43,329 -65,812	Entre Dolavon y 28 de Julio	Deslizamiento rotacional	-	Se desconoce	-
12	-43,285 -65,570	Entre Gaiman y Dolavon	Deslizamiento rotacional	-	Se desconoce	-
13	-42,661 -70,393	Ayalef (Sierras de Gualjaina)	Flujo	03/07/2004	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
						Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
						Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
14	-42,901 -71,323	Esquel	Flujo	01/07/2004	0	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
15	-42,859 -71,282	La Hoya	Flujo	-/-/2005	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
16	-42,611 -71,647	Entre los lagos Futalaufquen y Rivadavia	Flujo	-/-/2003	Se desconoce	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
17	-42,922 -71,314	Barrio Ceferino Namuncura	Caída de rocas	-	0	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
18	-42,560 -71,390	Cerro Cocinero	Avalanchas de nieve	27/08/2010	1-10	Daños sobre la población (personas evacuadas, aislamientos de ciudades, enfermedades)
						Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)

Tabla 2. Localización, fecha, tipo de movimiento, existencia de fatalidades y daños materiales causados por cada proceso de remoción en masa.

#	LAT. S / LONG. O	LOCALIDAD / PARAJE	TIPO DE MOVIMIENTO	D/M/AAAA	FATALIDADES	DAÑOS MATERIALES
19	-43,175 -71,725	Entre Los Cipreses y el paso fronterizo	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
20	-43,530 -71,567	Entre Corcovado y Carrenleufú	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
21	-43,527 -71,535	Entre Corcovado y Carrenleufú	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
22	-43,282 -71,341	Margen sur lag. Rosario	Flujo	-	0	-
23	-43,028 -71,466	-	Deslizamiento planar	-	0	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
24	-43,120 -71,632	Entre Aldea Escolar y el Complejo Hidroeléctrico Futaleufú	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
25			Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
26	-43,287 -71,349	Camino hacia lag. Rosario	Deslizamiento rotacional	-	0	-
27	-43,138 -71,168	Huella de los Rifleros	Caída de rocas	-	0	-
28	-43,531 -70,705	Este de Tecka	Caída de rocas	-	0	-
29	-43,108 -71,647	Entre Aldea Escolar y el Complejo Hidroeléctrico Futaleufú	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
30	-43,112 -71,645	Entre Aldea Escolar y el Complejo Hidroeléctrico Futaleufú	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
31	-43,176 -71,697	Entre Los Cipreses y el paso fronterizo	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
32			Flujo			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
33	-43,176 -71,696	Entre Los Cipreses y el paso fronterizo	Caída de rocas	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
34	-43,191 -71,600	Cercanías arroyo Blanco	Avalanchas	-	0	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
35			Deslizamiento planar			Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
36	-43,263 -71,646	Camino al Lago Baggilt	Flujo	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)

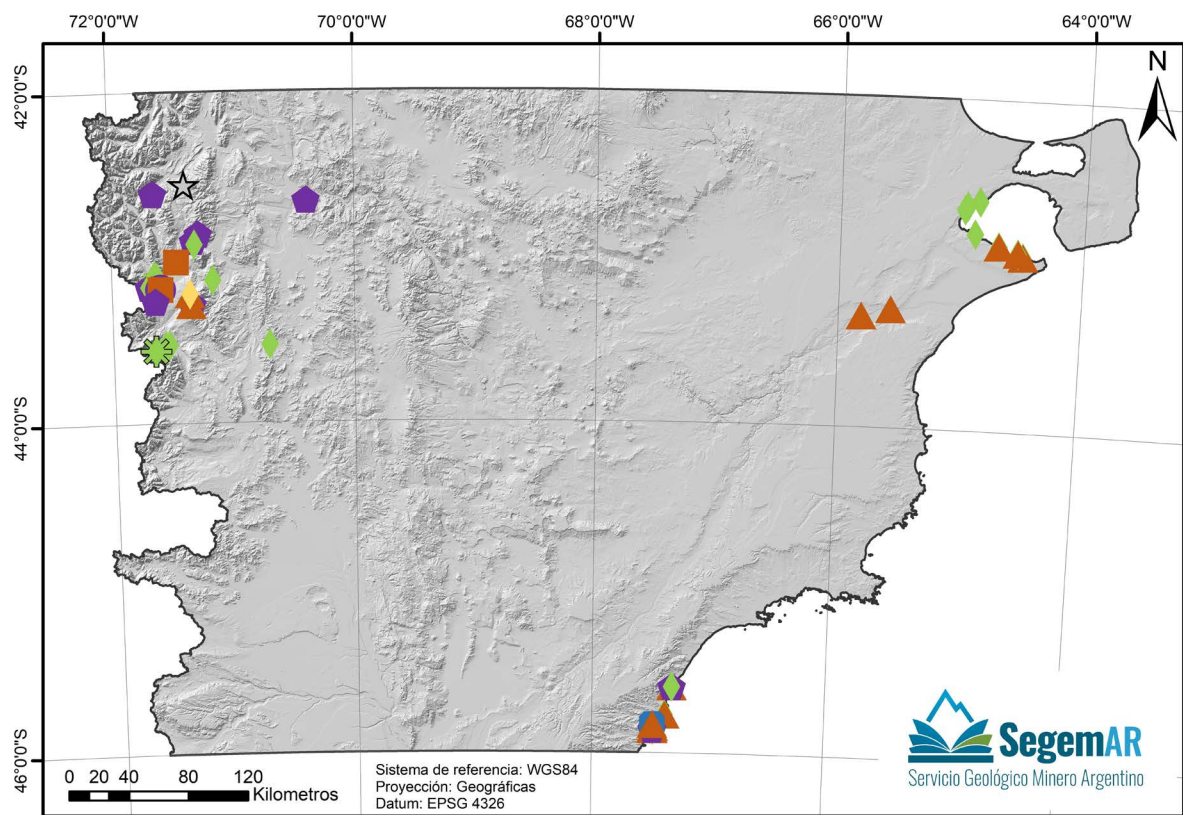
Tabla 2. Localización, fecha, tipo de movimiento, existencia de fatalidades y daños materiales causados por cada proceso de remoción en masa (Cont.).

#	LAT. S / LONG. O	LOCALIDAD / PARAJE	TIPO DE MOVIMIENTO	D/M/AAAA	FATALIDADES	DAÑOS MATERIALES
37	-43,221 -71,358	Comunidad lago Rosario	Deslizamiento rotacional	-	0	Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
38			Reptaje			Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
39	-43,562 -71,650	Entre Carreleufú y Corcovado	Caída de rocas, Vuelcos	-	0	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
40			Reptaje			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
41	-45,600 -67,317	Bahía Solano	Deslizamiento rotacional	-	Se desconoce	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
42			Flujo			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
43	-45,857 -67,493	Bahía Paraíso	Caída de rocas	13/12/1998	Se desconoce	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
44				02/07/1999	0	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
						Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
45	-45,860 -67,475	Cerro Chenque	Caída de rocas	13/06/1969	Se desconoce	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
46			Deslizamiento rotacional	13/09/2002		Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
47			Caída de rocas			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
48			Deslizamiento rotacional			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
49			Caída de rocas			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
50			Deslizamiento rotacional			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
51	-45,848 -67,472	Punta Alta	Deslizamiento rotacional	-/-/1997	Se desconoce	-
52			Flujo	-/-/1998		
53			Deslizamiento rotacional			
54			Flujo			

Tabla 2. Localización, fecha, tipo de movimiento, existencia de fatalidades y daños materiales causados por cada proceso de remoción en masa (Cont.).

#	LAT. S / LONG. O	LOCALIDAD / PARAJE	TIPO DE MOVIMIENTO	D/M/AAAA	FATALIDADES	DAÑOS MATERIALES
55	-45,771 -67,373	Cabo San Jorge	Caída de rocas	.	Se desconoce	-
56			Deslizamiento rotacional			
57	-45,860 -67,480	Centro Urbano Cdo. Rivadavia	Deslizamiento rotacional	-	Se desconoce	Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
58			Flujo			Corte u obstrucción de vías de comunicación (rutas, caminos, puentes, ferrocarriles)
59	-45,829 -67,478	Barrio Sismográfico	Movimientos complejos	-/-/1918	0	Daños sobre tendidos (líneas de alta tensión, ductos, etc.)
						Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
						Degradación de recursos naturales (suelos, vegetación, agua, fauna)
60	-45,829 -67,478	Barrio Sismográfico	Deslizamiento rotacional	-/-/1969	Se desconoce	Daños sobre infraestructura urbana (viviendas, industrias, servicios públicos, etc.)
61	-45,600 -67,317	Bahía Solano	Caída de rocas	-	Se desconoce	-

Tabla 2. Localización, fecha, tipo de movimiento, existencia de fatalidades y daños materiales causados por cada proceso de remoción en masa (Cont.).



**Procesos de Remoción en Masa**

- ◆ Caídas de rocas
- ◆ Flujos
- Deslizamientos planares
- ✱ Vuelcos
- Avalanchas
- ▲ Deslizamientos rotacionales
- ◆ Reptajes
- ★ Avalanchas de nieve
- Movimientos complejos

Figura 3. Procesos de RM registrados en la provincia del Chubut, según la Base de Datos de Peligrosidad Geológica de procesos de remoción en masa (SEGEMAR).



TIPO DE MOVIMIENTO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Caídas de rocas, Vuelcos	27	43,55
Flujos, Avalanchas*	12	21,00
Avalanchas de nieve	1	1,60
Deslizamientos (rotacional y planar)	18	29,05
Reptajes	2	3,20
Movimientos complejos	1	1,60

Tabla 3. Cantidad y porcentajes de cada tipo de movimiento.

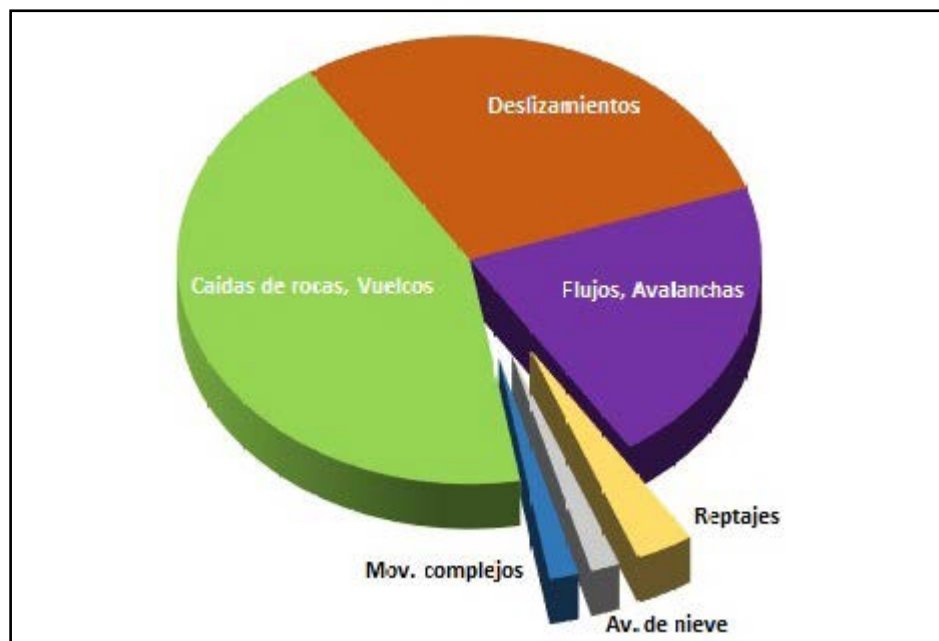


Figura 4. Porcentaje de cada tipo de movimiento registrado en la provincia del Chubut, según la Base de Datos de Peligrosidad Geológica de procesos de remoción en masa (SEGEMAR).

### 3. METODOLOGÍA

Los mapas de susceptibilidad proporcionan una zonificación de áreas con diferente probabilidad relativa de ocurrencia. En general, existen cuatro diferentes enfoques para la evaluación de la susceptibilidad: métodos basados en el inventario de procesos de remoción en masa, heurísticos, estadísticos y físicos (Soeters y Van Westen 1996; Aleotti y Chowdhury 1999; Guzzetti *et al.* 1999; Corominas *et al.* 2014).

La aplicación de métodos que contemplen el inventario de los movimientos, tanto como el método estadístico, son apropiados si se dispone de una base de datos de movimientos suficientemente completa, calidad y precisión en los datos, además de la escala de trabajo (Cascini 2008). La aplicación de métodos basados en parámetros físicos requiere información específica sobre las características del material (rocas y tipos de suelo, profundidad del suelo, parámetros hidrológicos y geotécnicos) (Guzzetti *et al.* 1999).

En el presente estudio se utilizó un enfoque heurístico, ya que es más adecuado para obtener mapas cualitativos de susceptibilidad para grandes áreas que carecen de suficientes inventarios de movimientos. El mismo se basa en la ponderación de la opinión de expertos de conjuntos de datos disponibles, como la pendiente, la orientación, el relieve relativo, la litología, la distancia a fallas, la distancia a cuerpos y cursos de aguas permanentes y efímeros y el uso del suelo. Por otro lado, se consideraron las precipitaciones y la sismicidad para obtener el mapa de susceptibilidad. Como herramienta de apoyo espacial se utilizó el SIG, permitiendo una óptima estructuración de varios componentes, incluidos los aspectos objetivos y subjetivos, y se los compara de manera lógica y exhaustiva (Saaty 1996).

A modo de resumen se presenta la figura 5, que esquematiza el procedimiento detallado en este estudio.

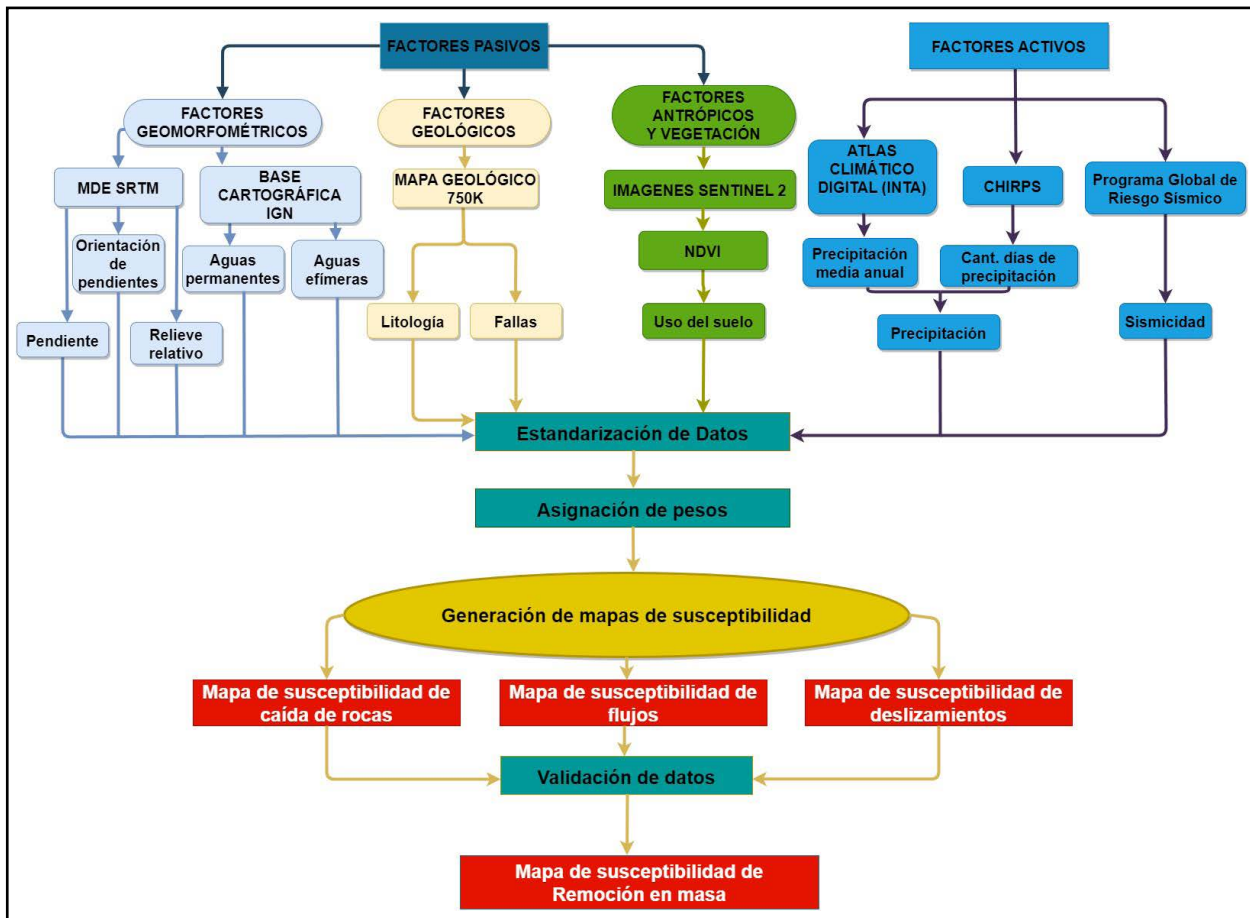


Figura 5: Esquema de trabajo utilizado en el presente estudio.

### 3.1. GENERACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

Los procesos de RM son multicausales, siendo dificultoso poder diferenciar las relaciones entre los diversos factores. Sin embargo, es posible delimitar áreas susceptibles a procesos de RM identificando y analizando los factores que han causado movimientos en el pasado (Aleotti y Chowdhury, 1999).

Recurriendo a una Evaluación Espacial Multicriterio para combinar una serie de datos espaciales, con el objetivo de ubicar las áreas donde se da un conjunto de criterios que favorecen los procesos de remoción en masa (Castellanos Abella y Van Westen 2007), se aplicó el proceso de jerarquía analítica (AHP), desarrollado por Saaty (1996). Esta técnica estructurada trabaja con criterios cuantificables e intangibles que se han utilizado en la selección de sitios, análisis de idoneidad, planificación regional y análisis de susceptibilidad a movimientos de remoción en masa. El proceso incluye: (1) descomponer un problema complejo no estructurado en subcomponentes y factores; (2) organizar estos factores en un orden jerárquico en un denominado árbol de de-

cision; (3) estandarizar los factores y asignar valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada factor; y (4) sintetizar los juicios para determinar las prioridades que se asignarán a estos factores (Saaty y Vargas 2001).

Para generar un “árbol de criterios” se utiliza como entrada un conjunto de datos de factores pasivos (FP), internos o condicionantes y activos (FA), externos o disparadores. Los primeros de ellos son los inherentes al terreno, mientras que los segundos responden a los factores que pueden actuar como desencadenantes de procesos geológicos, ya que modifican las condiciones iniciales de las laderas, provocando las roturas debido a variaciones que ejercen en el estado de equilibrio.

Como se mencionó anteriormente, hay dos tipos de factores causales responsables de los procesos:

- Factores pasivos, internos o condicionantes.
- Factores activos, externos o desencadenantes.

Los FP son inherentes del terreno que hacen que las pendientes sean susceptibles, mientras que la cantidad o geometría de los FA tienen la capacidad de variar, por lo que la interacción entre ellos

produce los movimientos en masa. Los primeros se encuentran en un estado de equilibrio que puede permitir que la fluctuación normal de los FA sea suficiente para provocar un proceso de RM. Sin embargo, los FP pueden cambiar durante un largo período de tiempo para reducir la relación resistencia/esfuerzo cortante. Es por este motivo, que en el presente informe se considera a los factores antrópicos (deforestación, áreas cultivadas, etc.) como FP, asumiendo que los mismos ya se encuentran en un estado de equilibrio.

Como datos de entrada se seleccionaron capas georreferenciadas, que representan los criterios condicionantes que contienen grados de pendiente, entre otros (valores numéricos) o litología, entre otros (categorías). Posteriormente, y de acuerdo con la importancia relativa de cada factor se asignaron pesos, es decir, se les otorgó a los atributos de cada capa un valor numérico entre 1 y 10, donde los valores más altos indican una mayor contribución a la susceptibilidad. Este paso se realizó teniendo en cuenta la importancia de cada factor en el proceso analizado; de acuerdo con referencias bibliográficas para la zona y la opinión experta. Luego, se ponderaron los mismos. Este procedimiento se realizó tanto para los pasivos como los activos.

Por último, se realizaron comparaciones binarias de criterios contra el objetivo, para establecer una matriz de juicio comparativo, ya que constituye una prueba de aprobación de los pesos de los diversos criterios (Saaty 1977). Este paso tiene como objetivo detectar cualquier inconsistencia en la comparación de la importancia de cada par de criterios. El índice de coherencia (CR) es un indicador matemático del juicio sobre una decisión tomada al azar; según Saaty (1977) la relación de coherencia debe ser  $\leq 10\%$  o una imprecisión inferior al 10%, situación que se cumple en los valores otorgados.

En el presente estudio se diferencian los distintos factores para tres tipos de movimientos en masa: caída de rocas, flujos y deslizamientos (en los últimos dos, no se discrimina el tipo de material), por lo tanto, se generaron tres árboles de criterios diferentes, uno para cada tipo.

Los mapas de factores pueden diferenciarse en: geomorfométricos (grado y orientación de las pendientes, relieve relativo, distancias a cuerpos de agua), geológicos (geología y distancia a fallas/discontinuidades), antrópicos y vegetación (uso del suelo), y en FA relacionados con las precipitaciones y los sismos.

### 3.2. MAPAS DE FACTORES PASIVOS O CONDICIONANTES

#### FACTORES GEOMORFOMÉTRICOS

La topografía es uno de los componentes más importantes en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa (Castellanos Abella y Van Westen 2008). Los productos geomorfométricos relacionados a la topografía fueron derivados del modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) SRTM V3 (SRTM Plus), proporcionado por el *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) de la NASA a una resolución de 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m). Este conjunto de datos ha sido sometido a un proceso de llenado de vacíos utilizando datos de fuente abierta (ASTER GDEM2, GMTED2010 y NED), a diferencia de otras versiones que contienen vacíos o han sido llenados con fuentes comerciales. A partir del modelo de elevación digital (DEM) anteriormente mencionado, se generó el mapa de pendiente que fue dividido en seis clases; el mapa de orientación de las mismas, clasificado en ocho clases y el mapa de relieve relativo en m/km<sup>2</sup> dividido en seis clases (Tabla 4).

El parámetro de la pendiente se ha calculado teniendo en cuenta los cuatro píxeles vecinos de cada píxel principal del DEM (Fig. 6). La pendiente es el parámetro morfométrico que más influye en la inestabilidad del terreno, ya que controla directamente el equilibrio entre las fuerzas resistentes y gravitatorias que causan cualquier tipo de deslizamiento de tierra. Con la clasificación de pendiente nula se realizará un mapa binario para señalar las zonas con pendientes menores de 3%, que será usado como máscara para dejar fuera de análisis a todas las áreas que tienen pendientes denominadas nulas (0 a 3%). Esto se realiza bajo el criterio que la iniciación de procesos de remoción en masa en pendientes nulas es muy improbable.

La orientación o aspecto indica la exposición de la superficie de la cara definida por la dirección del máximo de la pendiente y tiene una influencia indirecta en la inestabilidad de la pendiente (Fig. 7). Las zonas expuestas hacia el norte se ven afectadas por un mayor ciclo térmico diurno debido a la exposición a la radiación solar que aumenta la temperatura de la cara de la pendiente. En el hemisferio sur, las zonas expuestas hacia el sur suelen estar a la sombra, mientras que las expuestas hacia el norte reciben más radiación solar para una superficie específica. Esto también puede influir en la cantidad de humedad absorbida por la cara expuesta. Tanto el estrés térmico

como la humedad pueden favorecer la actividad de erosión. Además, las superficies expuestas al norte presentan una mayor cobertura de vegetación en comparación con las superficies expuestas al sur. El crecimiento de las raíces de la vegetación ayuda a mantener el material del terreno en su lugar (Baets *et al.* 2006).

El relieve relativo es un parámetro que cuantifica la energía del relieve e influye fuertemente en el posible desencadenamiento de los deslizamientos de tierra, ya que está vinculado a la actividad de la erosión (Vergari *et al.* 2011) (Fig. 8). El relieve relativo se define como la diferencia vertical en elevación entre el punto más alto y el punto más bajo dentro de una región dada. En este estudio se ha calculado a partir del DEM utilizando una ventana de 1 km<sup>2</sup>.

Las condiciones hidrogeológicas que indican la red de drenaje y la naturaleza de la distribución del agua superficial y subterránea (Fig. 9 y Fig. 10) son relevantes en la ocurrencia de procesos de remoción

en masa, ya que la infiltración de agua en la pendiente aumenta la presión de agua de los poros y disminuye la resistencia al corte, provocando inestabilidad en las pendientes. La escorrentía superficial excesiva a través de los drenajes agrava la actividad erosiva en las laderas. Como información de base se han recurrido a información geoespacial del Catálogo de Objetos Geográficos a escala 1:250.000, del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2021). Por lo tanto, se han considerado dos clases (áreas buffer de 200 metros cada una) para cursos de agua permanentes y otra clase para los cuerpos de agua (lago o lagunas, aguada o manantial y salinas o salitrales), ya que los mismos tienen un comportamiento diferencial frente a los procesos de RM. Asimismo, se creó un buffer de 100 m alrededor de las aguas efímeras considerando no solo los cauces y arroyos, sino también canales, cañadas, cañadones y zanjones y otra clase sin buffer alrededor de los cuerpos de agua efímeros (lagunas, bañados, guadal y salinas o salitrales) (Tabla 4).

FACTORES	CLASE	
PENDIENTE	Nula	0-3 %
	Muy baja	3-10 %
	Baja	10-20 %
	Moderada	20-30 %
	Alta	30-45 %
	Muy alta	>45 %
ORIENTACION	NE	22,5°-67,5°
	Este	67,5°-112,5°
	SE	112,5°-157,5°
	Sur	157,5°-202,5°
	SO	202,5°-247,5°
	Oeste	247,5°-292,5°
	NO	292,5°-337,5°
	Norte	337,5°-22,5°
RELIEVE RELATIVO (m/km <sup>2</sup> )	Muy bajo	0 – 75
	Bajo	76 – 175
	Moderado	176 - 300
	Alto	301 - 500
	Muy alto	501 – 800
	Extremadamente alto	> 800
AGUAS PERMANENTES	Cursos de agua	Buffer 200 m
		Buffer 400 m
	Cuerpos de agua	
AGUAS EFÍMEROS	Cursos de agua	Buffer 100 m
	Cuerpos de agua	

Tabla 4. Clasificación de datos de factores geomorfométricos.

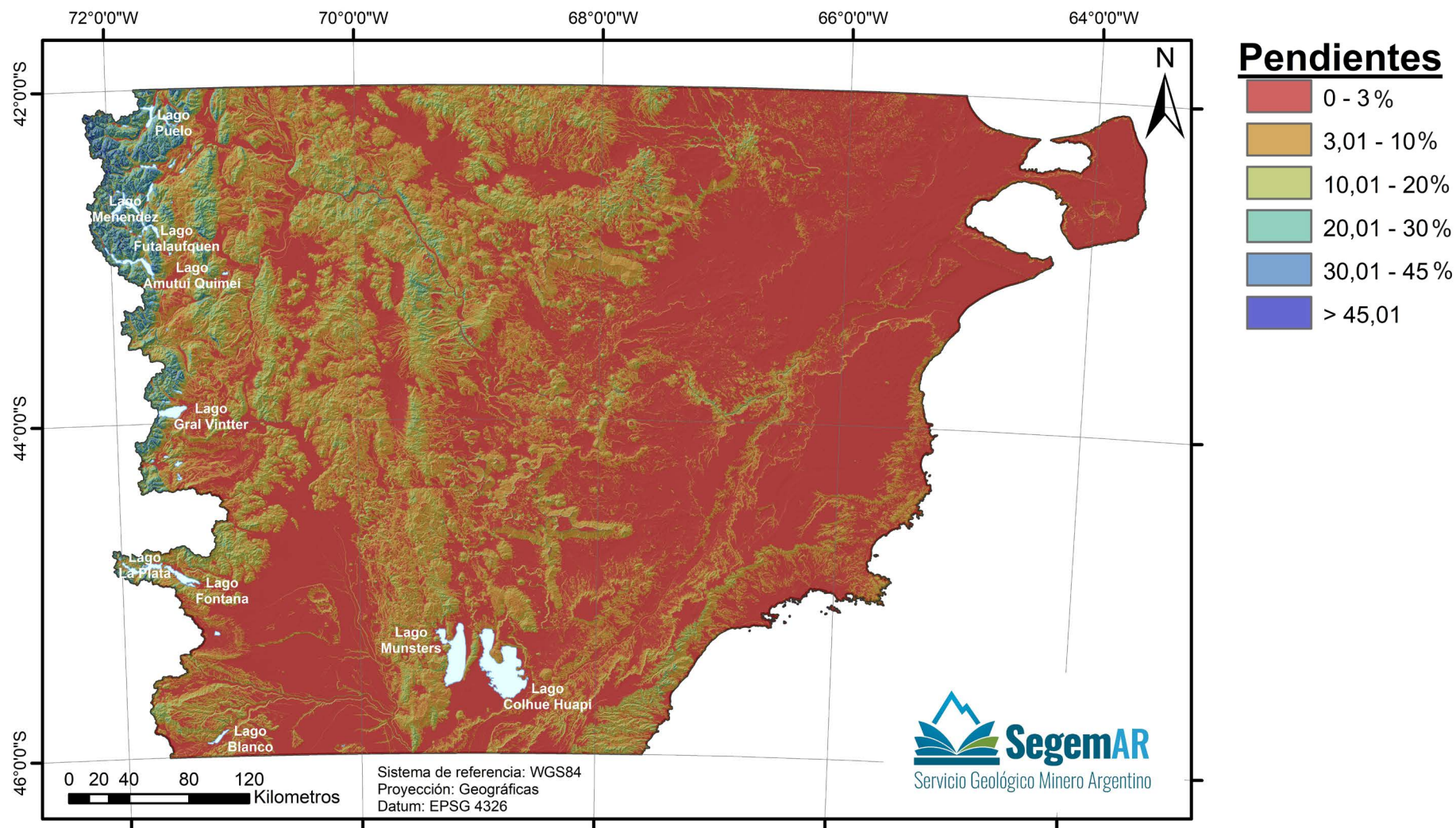
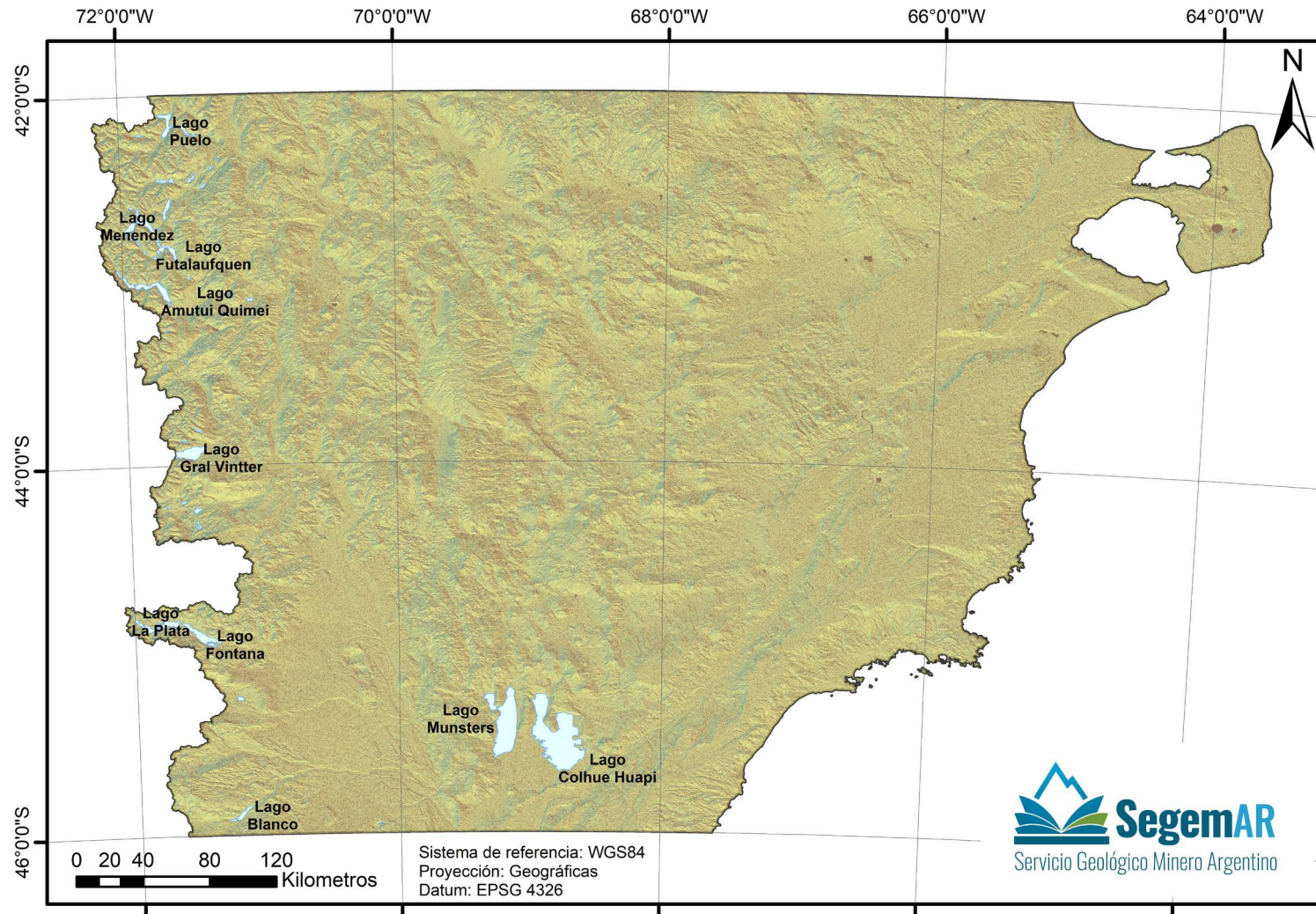


Figura 6. Mapas de pendientes.



## Orientación de Laderas









	Norte		Sur
	Noreste		Suroeste
	Este		Oeste
	Sudeste		Noroeste

Figura 7. Mapas de orientación de las laderas.

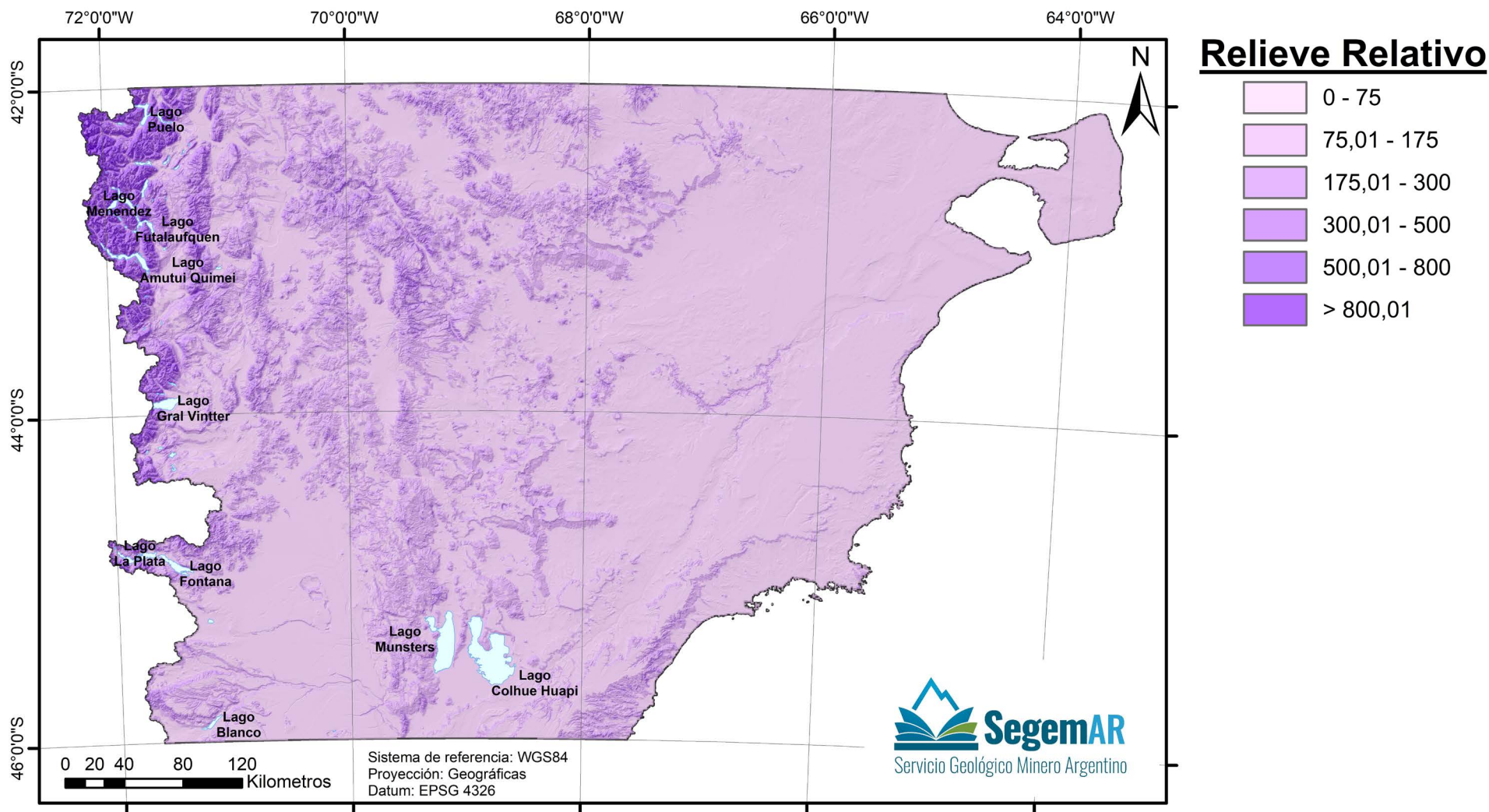
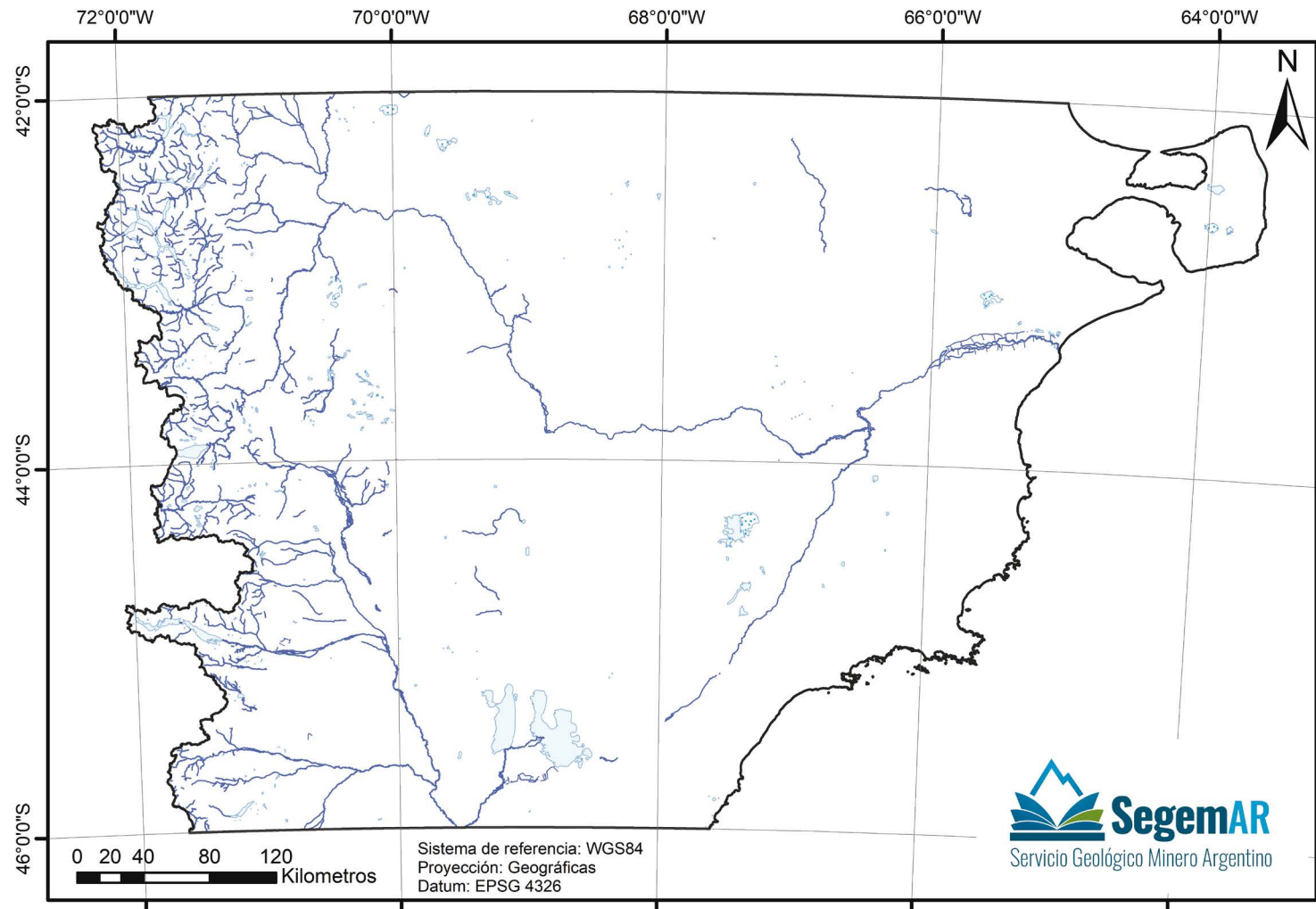


Figura 8. Mapas de relieve relativo.



## Aguas Pemanentes






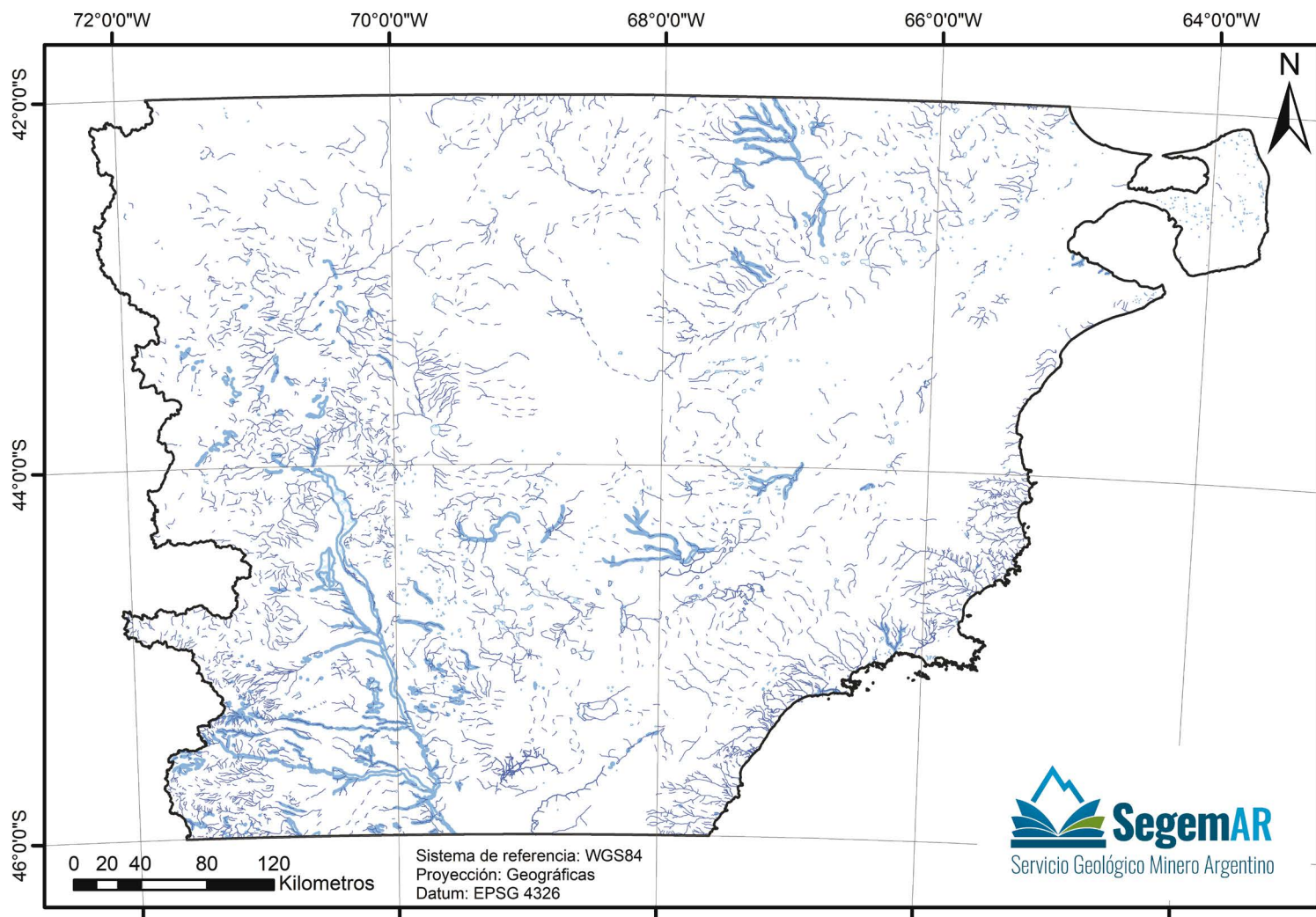
- Cursos de agua
-  Estero, Bañado, Barrial, Planicie de inundación
-  Salina o salitral
-  Lago o laguna
-  Dique o embalse
-  Bahía, Caleta, Ensenada, Golfo, Ría

Figura 9. Mapa de aguas permanentes.





## Aguas Efímeras




- Curso de agua
-  Cuenca, Guadal, Laguna, Vega
-  Estero, Bañado, Barrial
-  Salina o salitral

Figura 10. Mapa de aguas efímeras.

## FACTORES GEOLÓGICOS

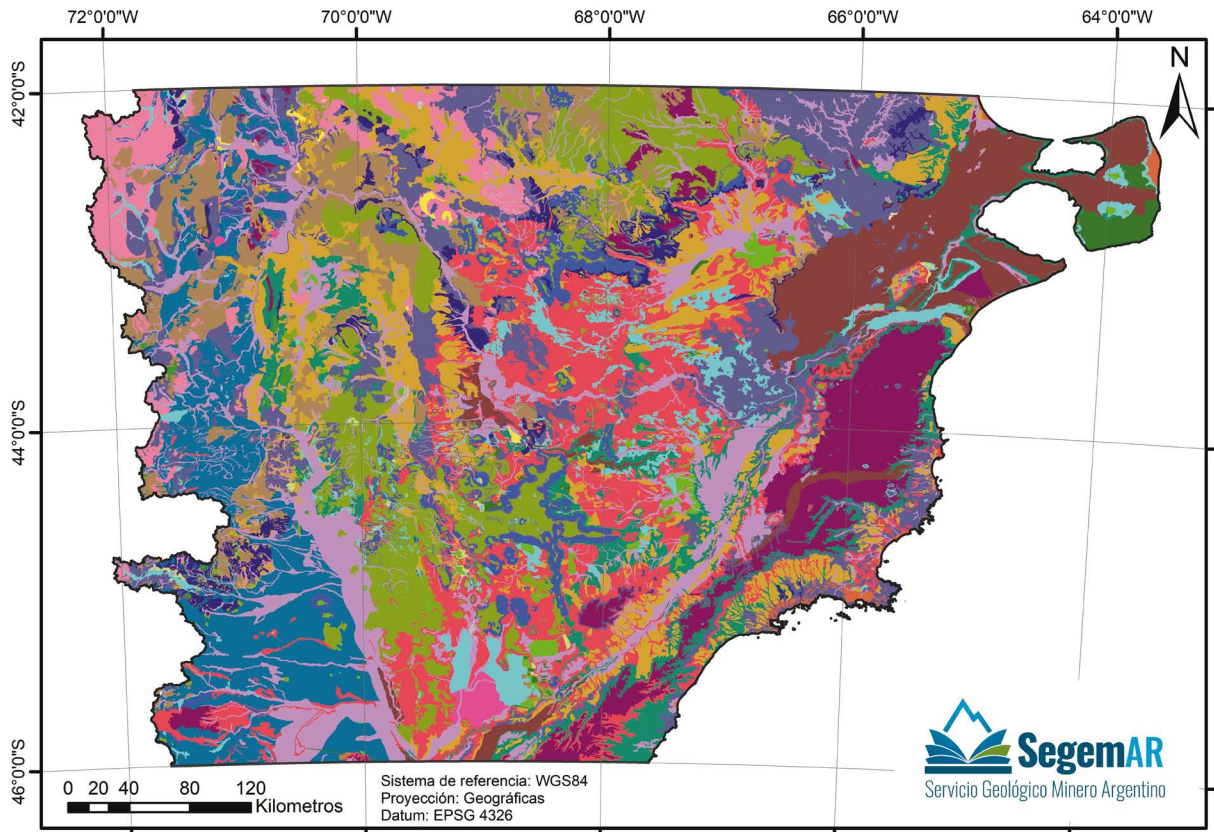
Las características litológicas como ser la composición, textura, grado de meteorización, así como otros detalles que influyen en los comportamientos fisicoquímicos y de ingeniería (permeabilidad, resistencia al corte, etc.) de las rocas, afectan la estabilidad de las pendientes, favoreciendo los procesos de RM. Dada la ausencia de datos geotécnicos cuantitativos, a partir del Mapa Geológico de la provincia del Chubut a escala 1:750.000 (Ardolino *et al.* 2022) (Fig. 11), se ha clasificado las asociaciones litológicas de la provincia en cinco clases, que han sido definidas subjetivamente, y modificadas de la

sistematización realizada de Mora y Varshon (1992) (Tabla 5).

La interrelación entre la pendiente y las discontinuidades litológicas, representadas por fallas, pliegues y zonas de cizalladura en las pendientes, desempeña un papel importante en los procesos de RM, como así también la proximidad a una pendiente y una zona tectónicamente activa. Por lo tanto, se ha tomado en consideración un área buffer de 100 metros alrededor de los distintos tipos de fallas definidas en el Mapa Geológico de la provincia del Chubut a escala 1:750.000 (Ardolino *et al.* 2021) (Fig. 12) (Tabla 5).

FACTORES	CLASES
LITOLOGIA	<p><b>1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calizas duras, permeables.</li> <li>- Rocas intrusivas poco fisuradas, bajo nivel freático.</li> <li>- Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metamórficas poco alteradas y fisuradas.</li> <li>- Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras rocas efusivas, sanas, permeables y poco fisuradas.</li> <li>- Rocas metamórficas, sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.</li> </ul> <p>Características físico-mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.</p>
	<p><b>2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo.</li> <li>- Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas.</li> </ul> <p>Características físico-mecánicas: Resistencia al corte medio a elevada, fracturas cizallables.</p>
	<p><b>3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.</li> </ul> <p>Características físico-mecánicas: Resistencia al corte moderado a media, fracturación importante.</p>
	<p><b>4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.</li> <li>- Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias.</li> </ul> <p>Características físico-mecánicas: Resistencia al corte moderado a baja, con la presencia frecuente de arcillas.</p>
	<p><b>5</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados.</li> </ul> <p>Características físico-mecánicas: Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.</p>

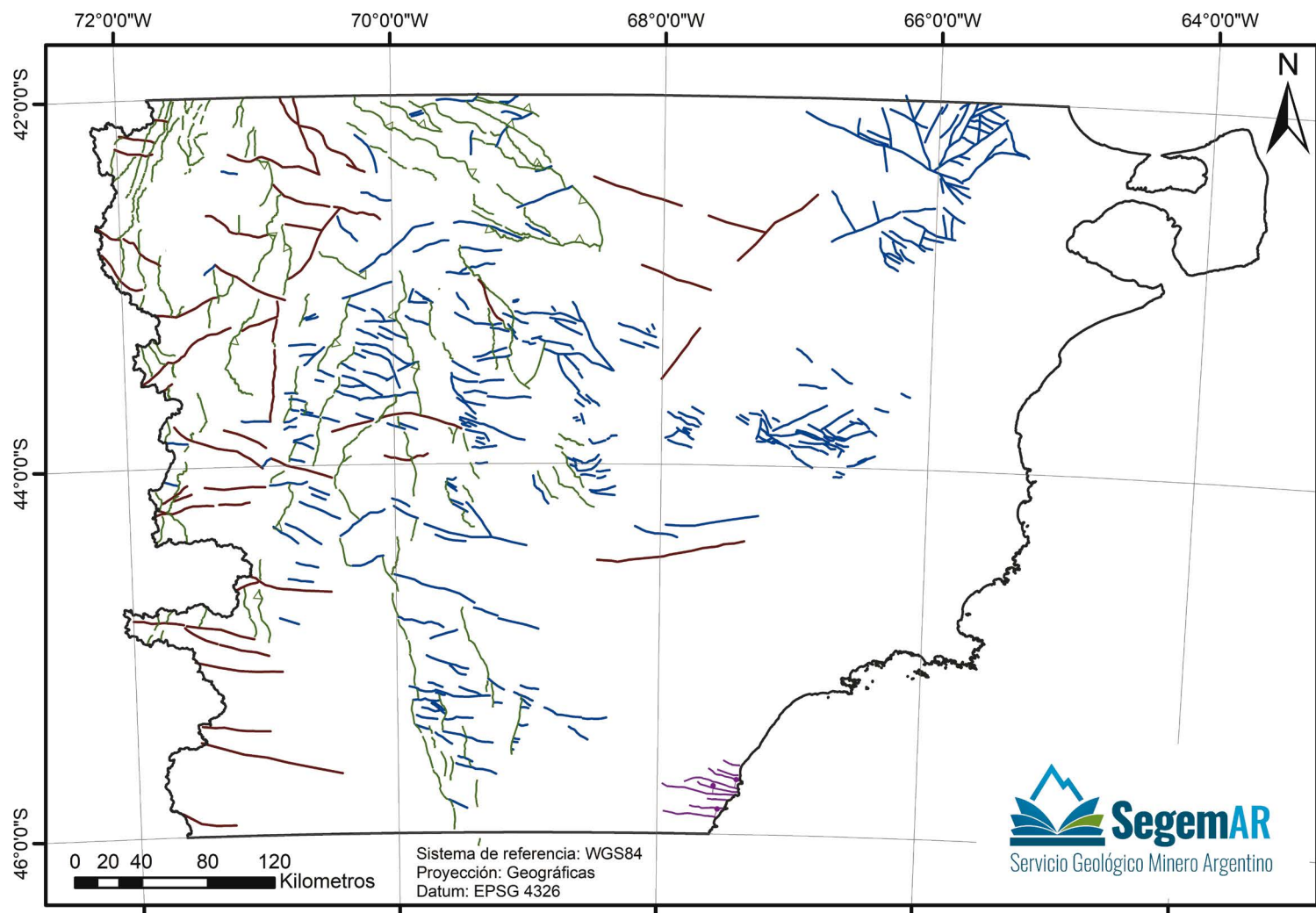
Tabla 5. Clasificación de datos de factores geológicos.



### Litología

	Depósitos aluviales y coluviales indiferenciados		Granitoides y dioritoides
	Depósitos de abanicos aluviales		Gravas continentales de agradación
	Depósitos de bajos, lagunas y evaporitas		Metamorfitas de bajo grado
	Depósitos de cobertura de pedimentos		Metavolcanitas y metasedimentitas
	Depósitos de remoción en masa		Rocas gábricas
	Dep. de valles fluviales y valles fluviales aterrazados		Rocas leptometamórficas
	Depósitos eólicos		Rocas ígneo-metamórficas
	Depósitos fluviales actuales; aterrazados		Sed. epiclásticas continentales y piroclásticas
	Dep. glaciares; fluvio-glaci. y glaci-lac. indiferenciados		Sed. epiclásticas marinas; continentales y litorales
	Dep. lacustres antiguos; de bajos y cordones psefíticos		Sed. epiclásticas, bioclásticas, químicas
	Dep. marinos actuales de playas y planicies de marea		Volc. basálticas; bás. e intermedias y con c. hipabisales
	Depósitos marinos de playa y cordones litorales		Volc. y pirocl. ácidas e int.; básicas a int., facies hipabisales
	Diques aptíticos y cuarzosos y Diques alcalinos		Volcanitas ácidas, intermedias y básicas

Figura 11. Mapa litológico.



## Fallas

- Lineamiento
- Falla sin especificar
- Falla Normal
- Falla Inversa

Figura 12. Mapa de fallas o discontinuidades.

**FACTORES ANTRÓPICOS Y VEGETACIÓN**

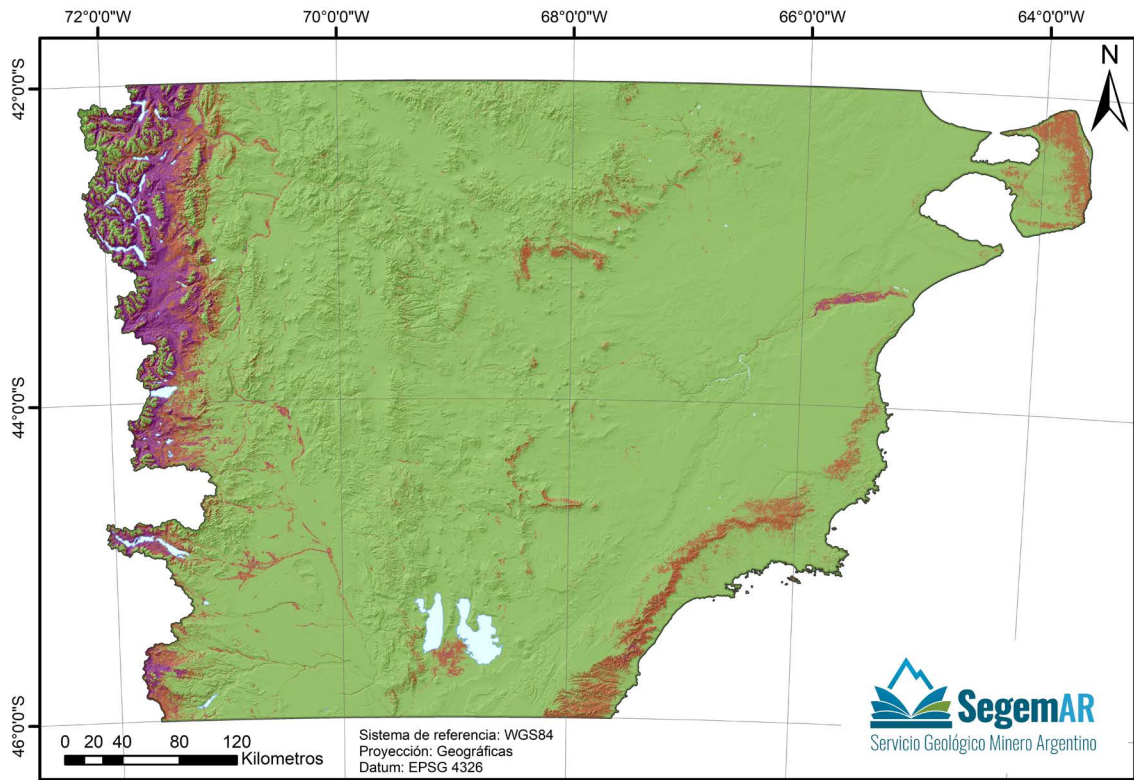
El cambio en el uso de la tierra, como la deforestación, la explotación de los recursos naturales, la conversión de laderas con vegetación en áreas edificadas, etc., puede dar lugar a procesos de RM. Como así también la sobrecarga de las pendientes o la eliminación del soporte lateral por interferencia humana (corte de rutas, instalación de viviendas, canteras, minería, etc.), agravan el problema de la inestabilidad en zonas de altas pendientes. Para analizar este factor se consideró la vegetación, ya que es un factor importante para reducir las actividades erosivas en las laderas. Una pendiente con mayor cobertura de vegetación reduce el efecto de la erosión debido al anclaje natural proporcionado por las raíces de los árboles, arbustos o herbáceas, mientras que las pendientes con baja cobertura de vegetación son generalmente más propensas a la actividad erosiva y, por lo tanto, causan inestabilidades. En el presente estudio este conjunto de factores se lo denominó Usos de Suelo, compuesto con el análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

según las estaciones del año. El mencionado índice de las distintas estaciones del año fue derivado del procesamiento de imágenes ópticas Sentinel 2 del período comprendido entre el 01 de enero de 2017 al 01 de enero de 2020, con la API (*Application Programming Interface*) *Google Earth Engine*®, de uso libre. Se seleccionan las imágenes disponibles obteniéndose de cada imagen el NDVI según la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

Donde *IR* corresponde a la longitud de onda del infrarrojo cercano (siendo la banda 8 del Sentinel 2) y *R* a la longitud de onda del rojo (siendo la banda 4 del Sentinel 2).

Posteriormente, se obtuvo la mediana de NDVI por cada estación del año (verano, primavera, invierno, otoño), generándose cuatro imágenes de NDVI, finalmente se promedian las mismas (Fig. 13) y la imagen resultante es clasificada en cuatro clases (Tabla 6).



**Usos de Suelo**

- Cuerpos de agua
- Suelo desnudo o cobertura < 15% y urbanización
- Vegetación arbustiva y cultivos
- Vegetación arbórea y arbustiva

Figura 13. Mapa de usos de suelo.

FACTORES	CLASES (UMBRAL)	
USO DEL SUELO	Cuerpos de agua – humedales*	≤ -0,23
	Suelo desnudo a cobertura menor al 15 % y urbanización	0,2
	Vegetación arbustiva y cultivos	0,4
	Vegetación arbórea y arbustiva	> 0,4

Tabla 6. Clasificación de datos de factores antrópicos y vegetación.  
(\* los mismos están considerados dentro de los factores geomorfométricos).

### 3.3. MAPAS DE FACTORES ACTIVOS O DESENCADENANTES

#### FACTORES DISPARADORES

El patrón climático debido al cambio en la ubicación geográfica puede influir en los movimientos de masas. Se puede relacionar la ocurrencia histórica de procesos no solamente con la intensidad de las precipitaciones, sino también con la duración de estas, ya que van aumentando la presión de agua de los

poros de los materiales y esto produce inestabilidad al disminuir la resistencia al corte.

En la provincia del Chubut existen datos meteorológicos históricos, de cinco estaciones pertenecientes el Servicio Meteorológico Nacional (SMN 2021), siendo ellas Puerto Madryn Aero, Trelew Aero, Esquel Aero, Paso de Indios y Comodoro Rivadavia Aero, cuyos datos de precipitación y temperatura se muestran en la tabla 7 y figura 14.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	SERIE CLIMATOLÓGICA AÑO	UBICACIÓN	PROMEDIO ANUAL PRECIPITACIONES MEDIAS (mm)	MAYOR PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL (mm Año)	MAYOR PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm Fecha)
Puerto Madryn Aero	1990-2010	43°49'S 68°50'O	18,9	220,5 1998	109,0 07/04/2014
Trelew Aero	1981-2010	43°49'S 68°50'O	18,4	244,8 1998	112,2 23/04/1998
Esquel Aero		43°49'S 68°50'O	38,5	223,5 2004	111,5 20/06/1961
Paso de Indios		43°49'S 68°50'O	16,5	134,9 2002	72,0 22/04/1998
Comodoro Rivadavia Aero		43°49'S 68°50'O	20,6	320,4 2017	232,0 30/03/2017

Tabla 7. Datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas de la prov. del Chubut (SMN, 2021).

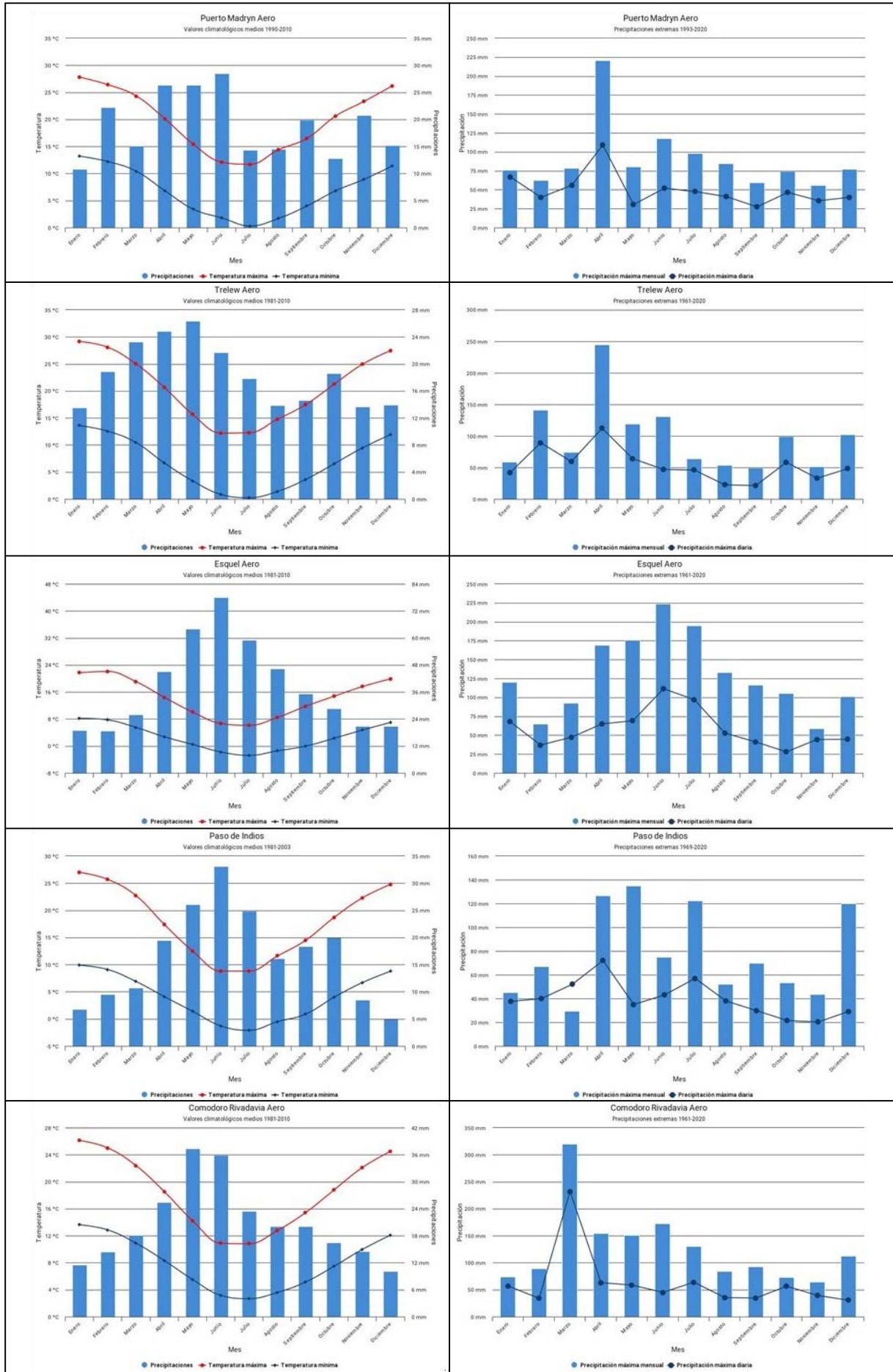


Figura 14. Precipitación media anual, temperaturas máximas y mínimas, precipitación máxima mensual y máxima diaria de las estaciones meteorológicas de la prov. del Chubut (SMN, 2021).

La red de estaciones meteorológico-climáticas no es lo suficientemente densa como para cubrir toda la variedad microclimática en la provincia, por lo que se evaluaron las precipitaciones, con datos en formato raster de precipitación media anual (PMA) para todo el país, obtenidos a partir del Atlas Climático Digital del INTA (Bianchi y Cravero 2010) (Fig. 15), dividiéndolos en seis clases (Tabla 8).

A su vez se tuvo en cuenta los días consecutivos de lluvias, ya que los eventos de precipitaciones extremas e inundaciones repentinas ocurridos en el sudeste de la provincia del Chubut entre el 29 de marzo y el 08 de abril de 2017 y considerando que los procesos de RM se produjeron en una secuencia de días de lluvias con un acumulado superior a 200 mm (alcanzando el 30 de marzo a 232 mm (Paredes *et al.* 2020)). Es por ello que se optó por combinar con la precipitación media anual con la cantidad de días consecutivos con lluvias mayores a 5 mm. Estos últimos se obtuvieron mediante el procesamiento de datos CHIRPS (por sus siglas en inglés de Grupo de datos de Estaciones de Amenazas Climáticas y Precipitaciones Infrarrojas) (Funk *et al.* 2015). Este es un conjunto de datos de precipitaciones cuasi mundiales de más de 30 años. CHIRPS incorpora imágenes satelitales de 0,05° de resolución con datos de estaciones in situ para crear series temporales de precipitaciones cuadriculadas para el análisis de tendencias y la vigilancia de las sequías estacionales. Con la herramienta *Google Earth Engine*® se consiguieron los datos CHIRPS, obteniéndose el promedio de días consecutivos de lluvias mayores a 5 mm (en valores CHIRPS), por cada año. De este modo se analizó el período de 2010 al 2018, luego se

calculó una imagen promedio de días consecutivos de precipitaciones de los 8 años analizados.

Para obtener la capa de precipitaciones para el presente modelo se combinaron los datos de PMA multiplicado por los días consecutivos de precipitaciones mayores a 5 mm de CHIRPS, en una relación de 80 % - 20 % respectivamente.

Los sismos pueden ser responsables de desencadenar nuevos movimientos y reactivar los antiguos, como así también las vibraciones pueden inducir a la inestabilidad, particularmente en altas pendientes con material suelto y no consolidado. Para analizar esta capa se recopilaron datos de aceleración sísmica o *Peak Ground Acceleration* (PGA) con un período de retorno de 475 años (10 por ciento de probabilidad de superación en 50 años) del Programa Global de Riesgo Sísmico (GSHAP). GSHAP fue lanzado en 1992 por el Programa Internacional sobre la Litósfera (ILP por sus siglas en inglés) con el apoyo del Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU) y en el marco del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (ONU / DIRDN). El mapa de amenaza sísmica global ha sido generado de una manera armonizada y coordinada regionalmente, basándose en métodos avanzados en evaluaciones probabilísticas de amenaza sísmica (PSHA). Los PSHA modernos se componen de cuatro elementos básicos: catálogo de terremotos, caracterización de la fuente del terremoto, fuerza del movimiento sísmico del suelo y cálculo de la amenaza sísmica ([http://gmo.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction\\_frame.html](http://gmo.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html)). Los datos del PSHA para la provincia del Chubut (Fig. 16) fueron clasificados según la tabla 8.

FACTORES	CLASE	
PRECIPITACION	Muy leve	< 300 mm
	Leve	300 -600 mm
	Moderada	600 – 1.000 mm
	Fuerte	1.000- 1.500 mm
	Muy fuerte	1.500-2.000 mm
	Extrema	>2.000 mm
SISMICIDAD	No apreciable	< 0,5 m/s <sup>2</sup>
	Muy leve	0,51-1 m/s <sup>2</sup>
	Leve	1,01-1,5 m/s <sup>2</sup>
	Leve a Moderado	1,51-2 m/s <sup>2</sup>
	Moderado	2,01-2,5 m/s <sup>2</sup>
	Fuerte	2,51-3 m/s <sup>2</sup>
	Muy fuerte	3,01-3,5 m/s <sup>2</sup>
	Severo	3,51-4 m/s <sup>2</sup>
	Violento	4,01-4,5 m/s <sup>2</sup>
Extremo	> 4,5 m/s <sup>2</sup>	

Tabla 8. Clasificación de datos de factores activos.



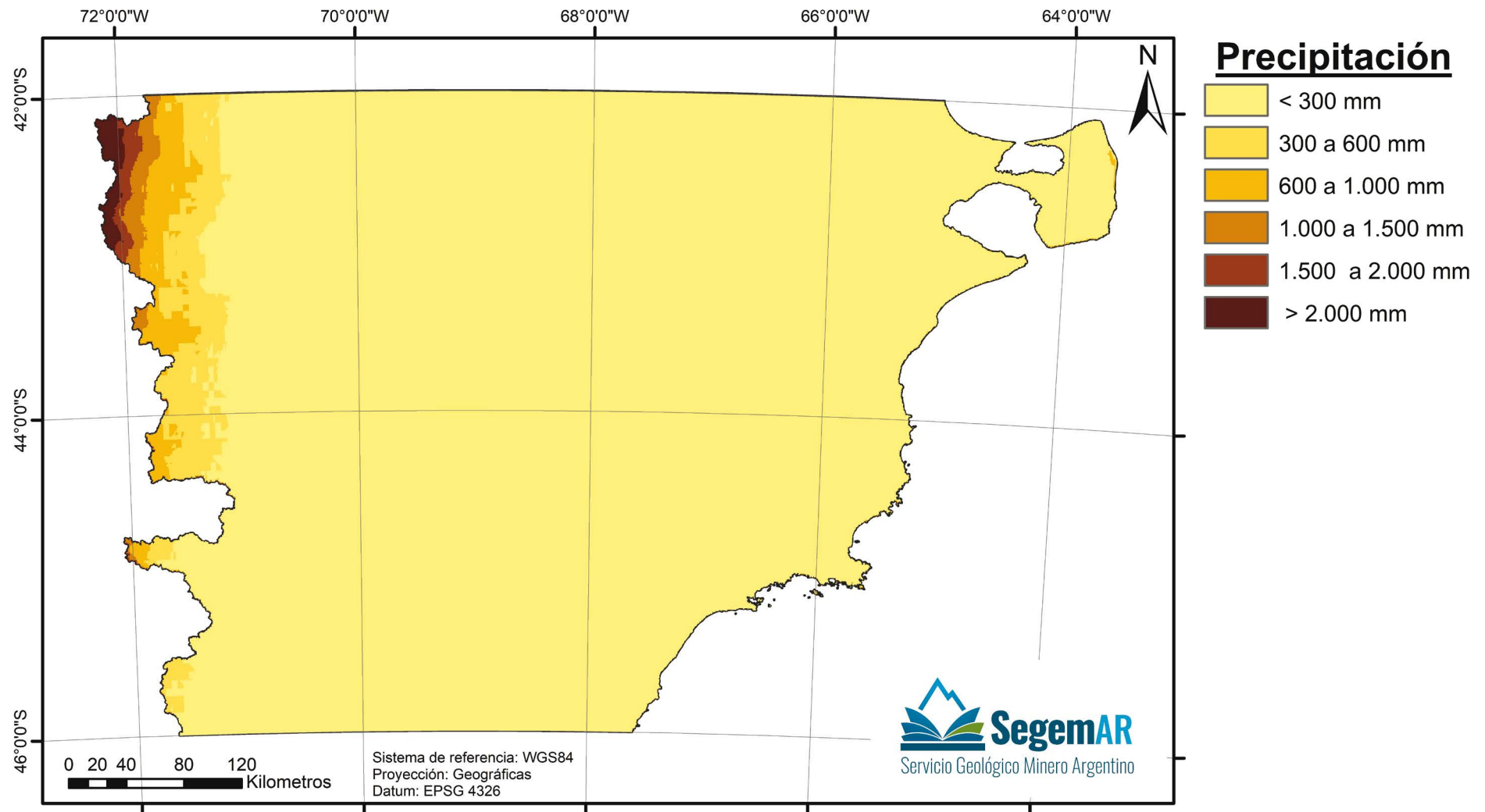


Figura 15. Mapa de precipitaciones (PMA \* días acumulados de precipitaciones mayor a 5 mm).

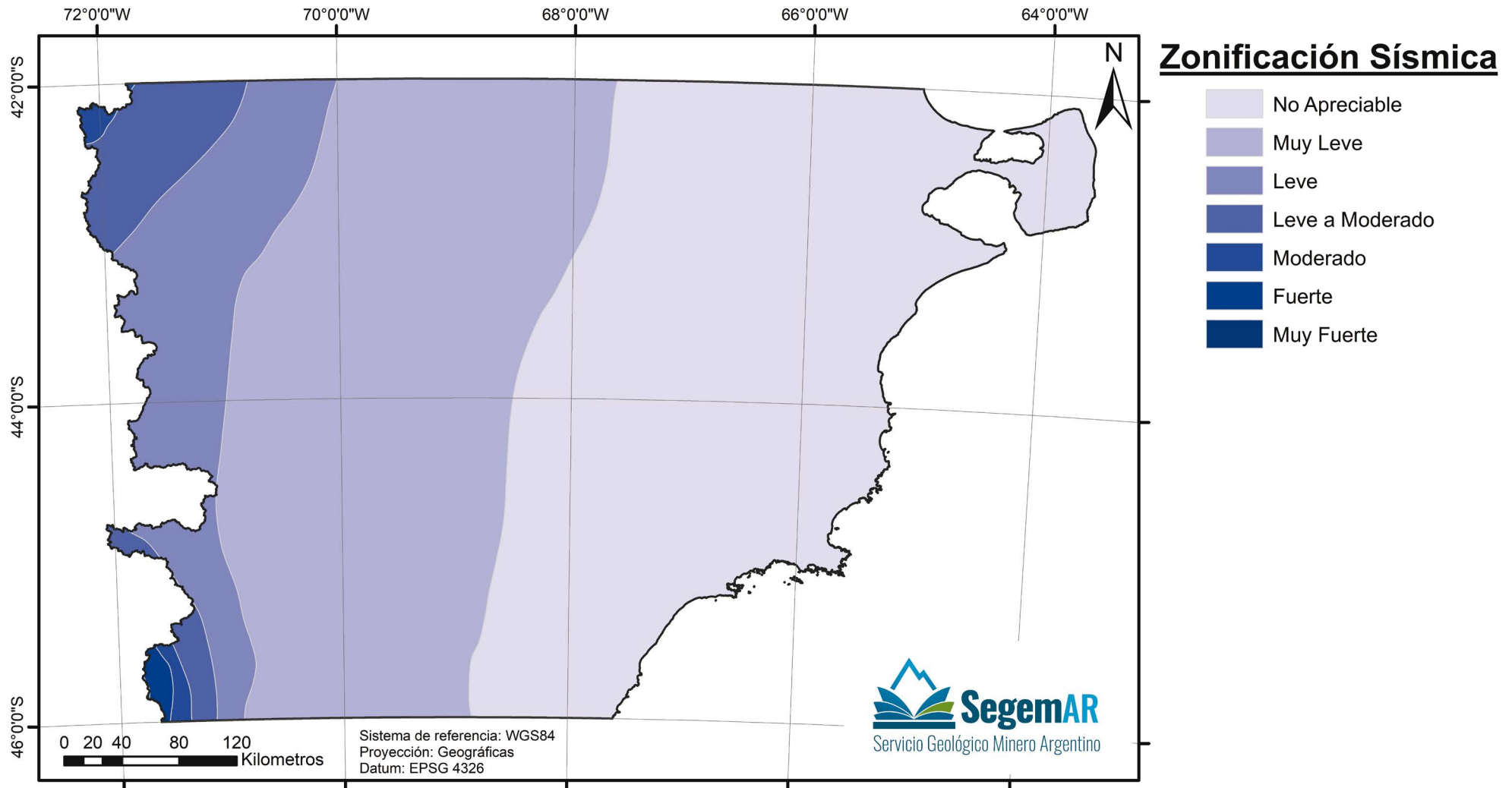


Figura 16. Mapa de zonificación sísmica.

### 3.4. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS

Se les asignaron a los distintos factores descriptores valores numéricos de “rangos” según juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada factor

para cada tipo de movimiento (caídas de rocas, flujos y deslizamientos). A cada clase o rango se le asignó un valor entre 1 y 10, abarcando desde la menor a la mayor susceptibilidad de que se produzcan movimientos (Tabla 9 y Tabla 10).

FACTORES	CLASE	CAÍDAS DE ROCAS	FLUJOS	DESIZAMIENTOS	
PENDIENTE	Nula	-	-	-	
	Baja	1	3	2	
	Muy baja	4	6	4	
	Moderada	6	8	7	
	Alta	9	8	8	
	Muy alta	10	10	8	
ORIENTACION	NE	8	1	3	
	Este	5	1	2	
	SE	3	1	2	
	Sur	2	1	2	
	SO	3	1	2	
	Oeste	5	1	2	
	NO	8	1	3	
	Norte	10	1	3	
RELIEVE RELATIVO (m/Km <sup>2</sup> )	Muy bajo	1	1	3	
	Bajo	1	1	4	
	Moderado	4	4	5	
	Alto	4	6	6	
	Muy alto	5	6	6	
	Extremadamente alto	6	6	6	
AGUAS PERMANENTES	Cauces	Buffer 200 m	1	8	10
		Buffer 400 m	1	2	7
	Cuerpos de agua	1	1	1	
AGUAS EFÍMERAS	Cauces	Buffer 100 m	1	9	3
	Cuerpos de agua		1	1	1
LITOLOGIA	Clase 1		9	1	5
	Clase 2		8	4	9
	Clase 3		8	7	6
	Clase 4		7	8	4
	Clase 5		7	9	2
FALLAS Buffer 100 m	Falla normal		4	4	3
	Falla inversa		4	4	9
	Falla sin especificar		4	4	5
	Lineamientos		3	3	4
USO DEL SUELO	Suelo desnudo a cobertura menor al 15%		10	10	1
	Vegetación arbustiva y cultivos		3	5	3
	Vegetación arbórea y arbustiva		1	1	3
	Cuerpos de agua – Humedales*		1	1	1

Tabla 9. Clasificación y estandarización de datos de factores pasivos.  
\*: Los mismos son considerados en las capas de aguas permanentes y efímeras.

FACTORES	CLASE	CAÍDAS DE ROCAS	FLUJOS	DESLIZAMIENTOS
PRECIPITACION	Muy leve	2	4	3
	Leve	4	6	5
	Moderada	4	7	6
	Fuerte	4	8	6
	Muy fuerte	4	9	6
	Extrema	4	9	6
SISMICIDAD	Muy leve	2	1	1
	Leve	3	1	1
	Leve a Moderado	4	1	2
	Moderado	5	2	4
	Fuerte	6	3	5
	Muy fuerte	7	5	6
	Severo	8	7	8
	Violento	9	8	9
	Extremo	10	8	10

Tabla 10. Clasificación y estandarización de datos de factores activos.

### 3.5. COMBINACIÓN DE FACTORES

El siguiente paso, luego de la estandarización de todas las capas temáticas, ha sido definir la importancia relativa de cada factor en los tres tipos de movimientos estudiados. Para ello, se asignaron pesos sobre la base de la experiencia de los expertos en el tema y sobre el área de estudio; los mismos pueden variar de experto a experto y también de región a región. La subjetividad en la asignación de pesos a cada capa de datos temáticos y a sus categorías es la principal limitación de este enfoque.

Con el objetivo de detectar cualquier inconsistencia en la comparación de la importancia de cada par de criterios y verificar la coherencia del presente enfoque se utilizó la matriz de Saaty, calculando la relación de coherencia, que según Saaty (1977) debe ser  $\leq 10\%$  o una imprecisión inferior al 10%. Este último constituye una prueba de aceptación de los pesos.

Los valores de peso de todos los factores suman uno, como se puede observar en la Tabla 11.

CAPAS TEMÁTICAS	CAÍDAS DE ROCAS	FLUJOS	DESLIZAMIENTOS	FACTORES
Pendiente	0,305	0,269	0,270	PASIVOS
Orientación	0,031	0,018	0,017	
Relieve Relativo	0,051	0,050	0,036	
Litología	0,023	0,076	0,075	
Fallas/discontinuidades	0,022	0,149	0,032	
Aguas permanentes	0,240	0,215	0,270	
Aguas efímeras	0,038	0,021	0,033	
Usos de suelo	0,024	0,017	0,033	
Precipitaciones	0,105	0,146	0,080	ACTIVOS
Sismicidad	0,162	0,039	0,155	

Tabla 11. Peso de cada capa temática para los tres tipos de movimientos de RM.

Una vez asignados los pesos, se generaron los mapas de susceptibilidad mediante ArcMap®, multiplicando los valores estandarizados con pesos por píxel de todas las capas de los factores pasivos y activos y posteriormente se realizó la suma ponderada de todos ellos, para obtener el grado de la susceptibilidad de cada movimiento.

Los pesos finales de los mapas resultantes variaron de 0,65 a 7,28 para caídas de rocas, de 0,63 a 7,42 para flujos y en el caso de deslizamientos, los valores oscilaron entre 1,04 a 6,74.

Los mapas de susceptibilidad se clasificaron en tres categorías según el histograma de los mapas de peso final, en Alto, Moderado y Bajo (Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19). Estas categorías o grados de susceptibilidad fueron determinados mediante el método de quiebres naturales de Jenks (1967) que se basa en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. En este método, los cortes de clase se caracterizan por agrupar mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan

establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

Las áreas clasificadas como susceptibles a los procesos de RM en estos mapas, reflejan la potencialidad de iniciarse un proceso en los sectores evaluados, pero no necesariamente indican la distancia que puede recorrer el material deslizado o donde se transporta y deposita. Se presume que aguas abajo de las áreas clasificadas como de alta susceptibilidad puedan presentar una mayor amenaza que los mostrados en los mapas, pero tal modelamiento no está contenido en la propuesta de este trabajo.

La distribución de los niveles de susceptibilidad en la provincia, se detallan en la tabla 12.

Como se puede apreciar, el porcentaje de la provincia que posee susceptibilidad alta a cualquiera de los procesos de RM es reducida, siendo inferior al 11 %. La susceptibilidad moderada afecta una mayor proporción de la provincia, ente 30 % a 35 % y porcentajes superiores al 50 % se encuentran en la provincia para la susceptibilidad baja (Fig. 20).

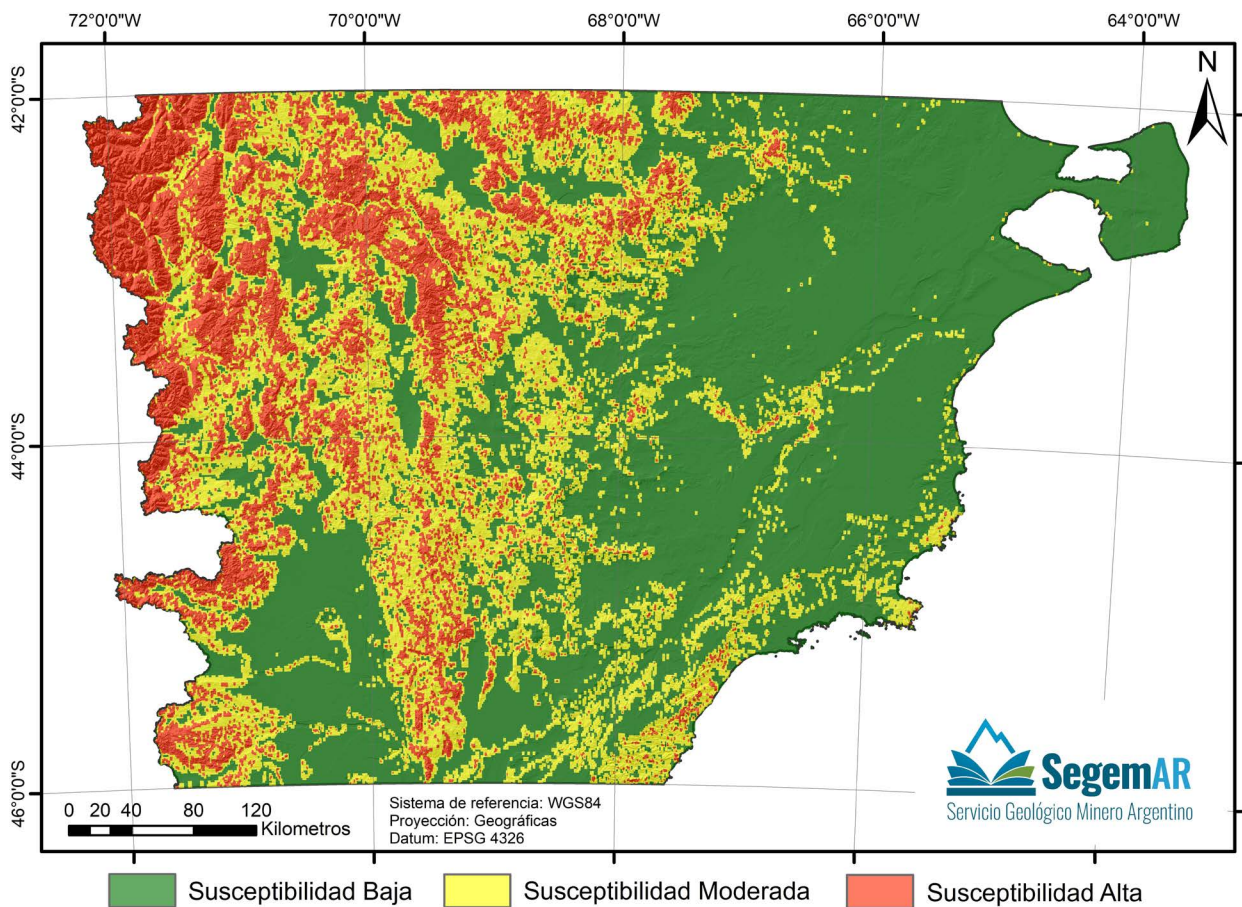


Figura 17. Zonificación de susceptibilidad para los procesos de caídas de rocas.

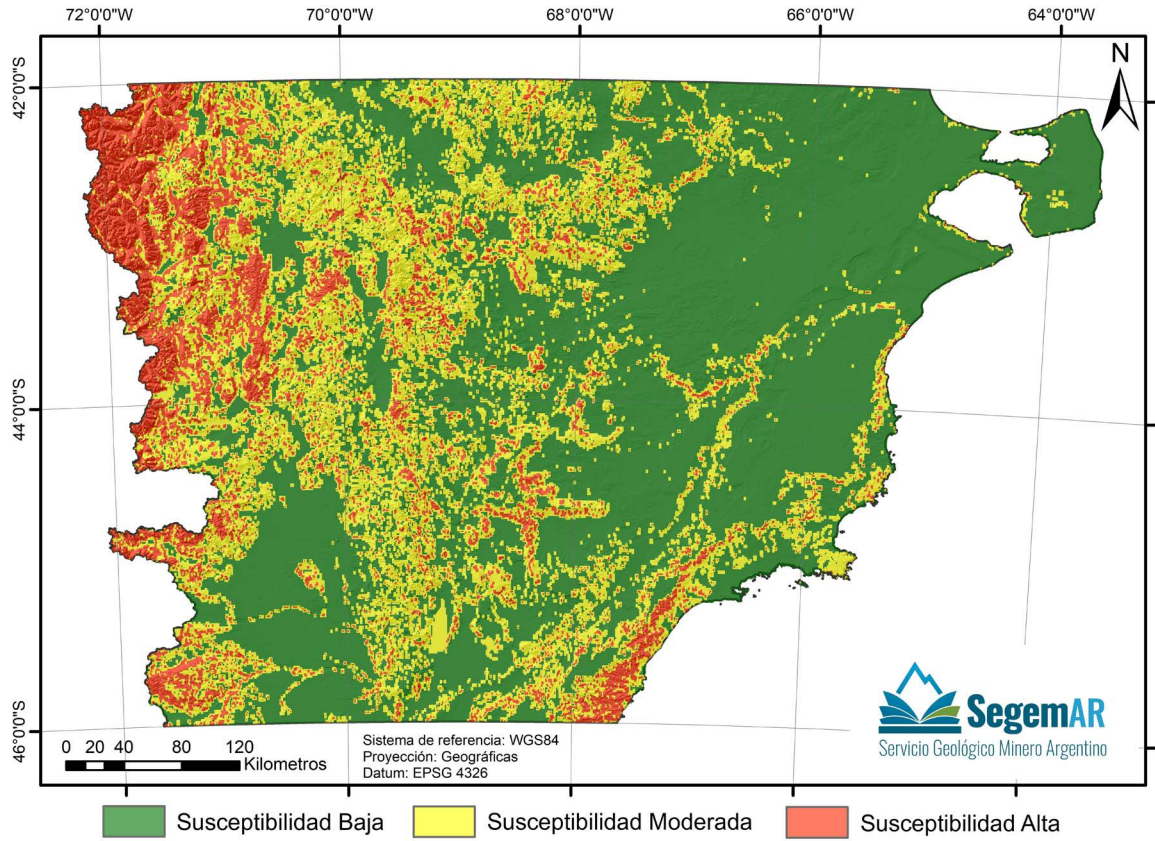


Figura 18. Zonificación de susceptibilidad para los procesos de flujos.

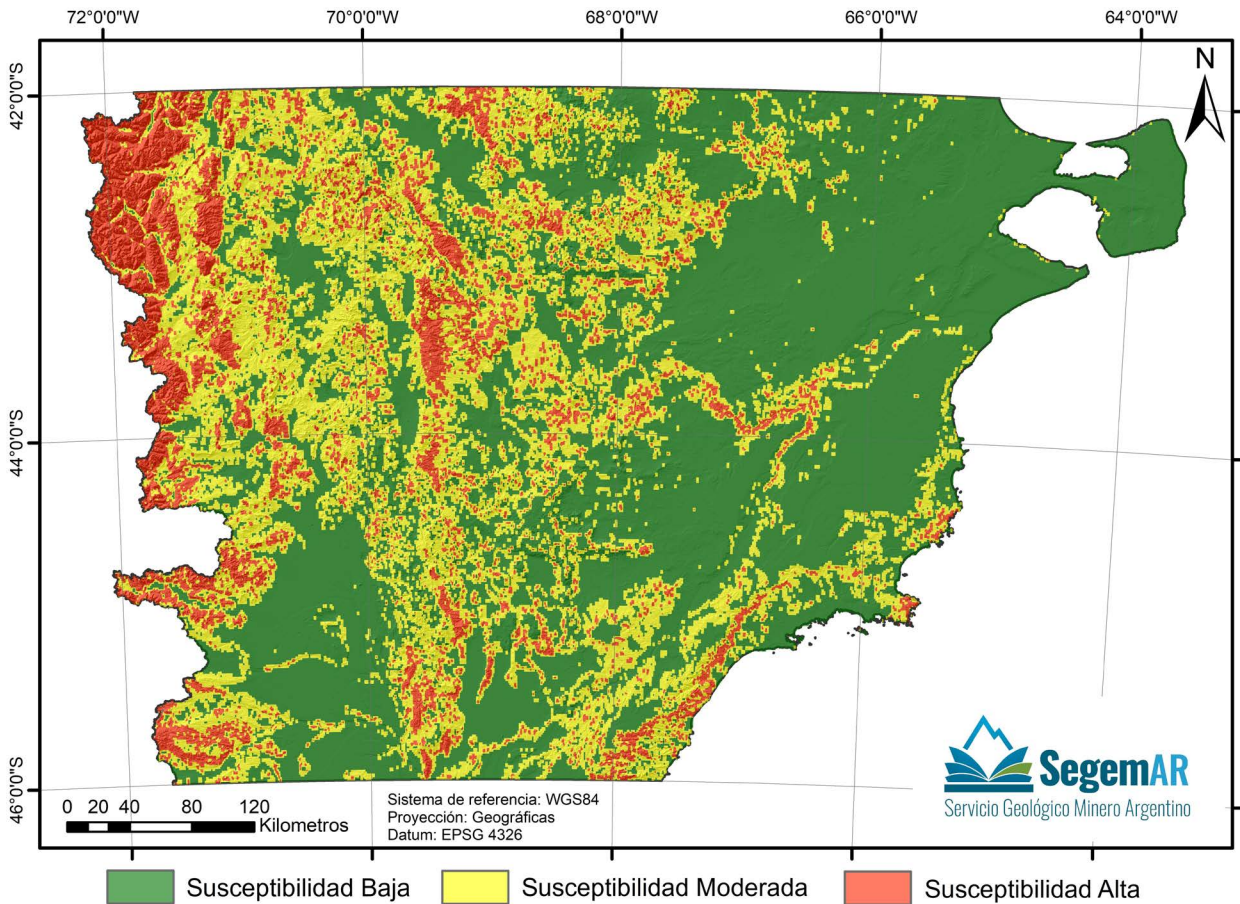


Figura 19. Zonificación de susceptibilidad para los procesos de deslizamientos.

Suscept.	Mov.	CAÍDAS DE ROCAS	FLUJOS	DESLIZAMIENTOS
SUSCEPTIBILIDAD ALTA		10,80 %	10,27 %	7,79 %
SUSCEPTIBILIDAD MODERADA		29,91 %	32,29 %	35,71 %
SUSCEPTIBILIDAD BAJA		59,29 %	57,44 %	56,50 %

Tabla 12. Porcentaje de la provincia del Chubut afectada por los distintos grados de susceptibilidad de cada proceso.

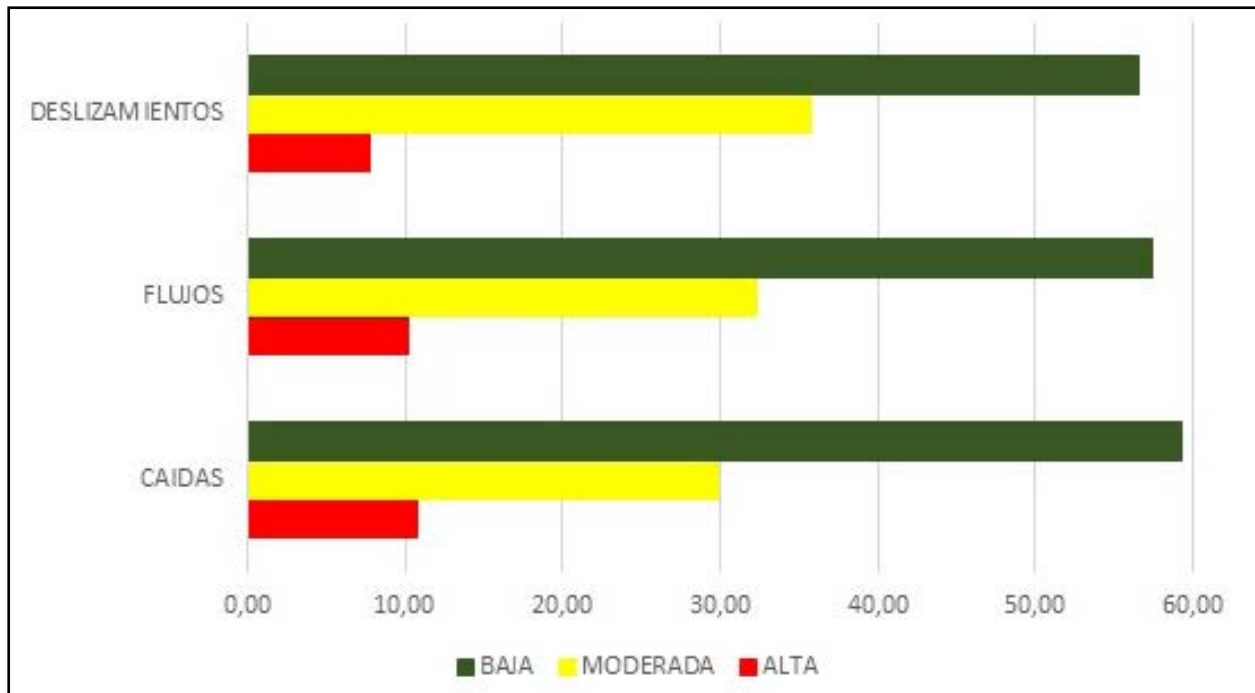


Figura 20. Porcentaje de la provincia del Chubut afectada por las distintas clases de susceptibilidad de cada proceso.

### 3.6. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar los resultados se compararon un conjunto de datos independiente (datos de prueba) con los mapas obtenidos del modelo. La forma óptima de validación es a través del trabajo de campo cartografiando las áreas con presencia de procesos de RM para comparar los resultados con los estimados, pero no fue parte de este estudio la inspección de campo. Sin embargo, la disponibilidad de estudios en la zona y la detección visual de distintos procesos en imágenes satelitales ha permitido evaluar cuantitativamente el rendimiento del modelo.

Para validar los distintos mapas de susceptibilidad, se utilizaron datos de la Base de Datos de Peligrosidad Geológica de procesos de remoción en masa del SEGEMAR, recopilados en campo durante la realización de la Carta de Peligrosidad Geológica 4372-IV Trevelin (Chávez *et al.* en edición).

Con los resultados obtenidos se generó una tabla de frecuencias que indica en términos porcentuales

la distribución de las áreas afectadas entre las tres categorías (Alta, Moderada y Baja) para cada uno de ellos en la provincia del Chubut (Tabla 13).

Se puede observar que los procesos de caídas de rocas y flujos presentan valoraciones superiores al 80 % dentro de la categoría de susceptibilidad alta, mientras que para deslizamientos el valor es mayor al 70 %. Asimismo, vale aclarar que la combinación de resoluciones de las capas utilizadas son un factor condicionante al momento de realizar la validación.

Con este conjunto de datos de prueba se ha realizado la curva de tasa de predicción (Fig. 21), que explica la capacidad del modelo propuesto para predecir la susceptibilidad a procesos de RM. En la mencionada figura, se representa en el eje X la proporción acumulada de la provincia afectada por cada clase de susceptibilidad con valores que van desde el más alto al más bajo y en el eje Y se grafica la proporción acumulada del número de movimientos de cada proceso.

Suscept.	Mov.	CAÍDAS DE ROCAS	FLUJOS	DESIZAMIENTOS
SUSCEPTIBILIDAD ALTA		87,50 %	96,58 %	73,08 %
SUSCEPTIBILIDAD MODERADA		12,50 %	3,42 %	23,08 %
SUSCEPTIBILIDAD BAJA		0 %	0 %	3,84 %

Tabla 13. Porcentaje de distribución de los distintos procesos según los grados de susceptibilidad.

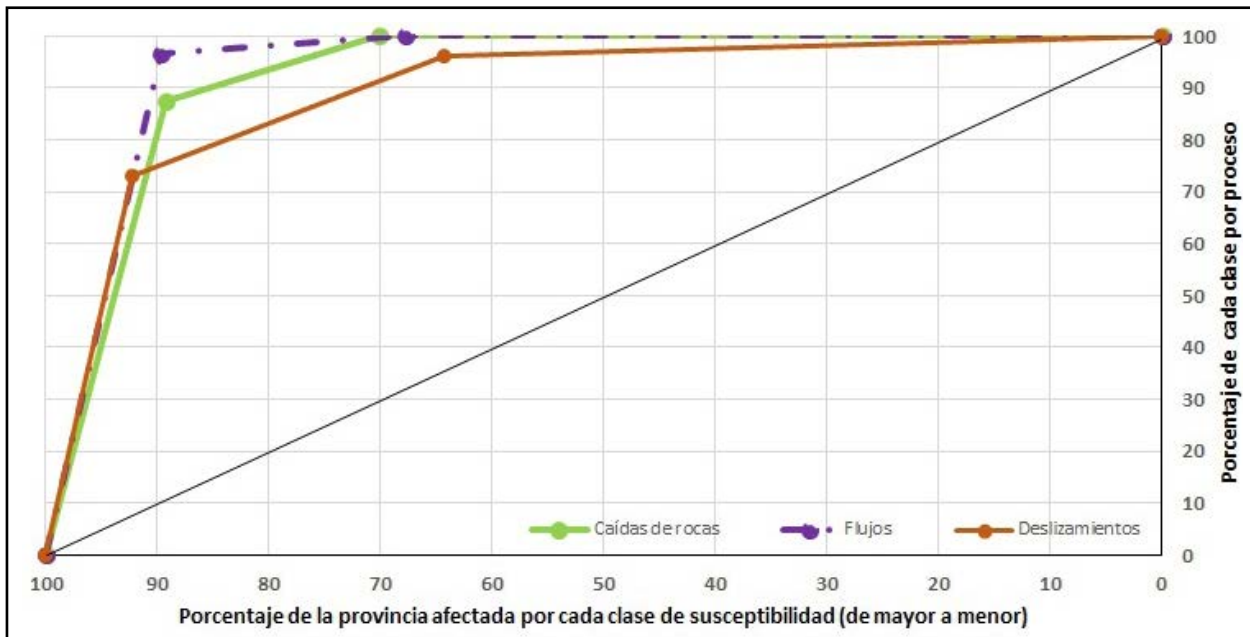


Figura 21. Curva de tasa de predicción de los mapas de susceptibilidad.

Cuanto más empinada es la curva y cuanto más se desvía de la diagonal, mejor es la predicción (Van Westen 2013) y como se puede observar los procesos analizados, están dentro de los valores de susceptibilidad más altos, ya que más del 70 % de todos los nuevos procesos se localizarán dentro del 20 % del mapa con los valores de más alta predicción.

La validación realizada en este estudio, con las restricciones antes mencionadas, sitúa la capacidad predictiva del método de la Evaluación Multicriterio para RM con una condición de alta (0,8).

#### 4. ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Con el fin de facilitar la lectura de los mapas a los tomadores de decisiones y resumir en uno solo todos los procesos analizados, se combinaron los mapas resultantes para los tres tipos de movimientos (caídas de rocas, flujos y deslizamientos) para obtener un mapa único de

zonificación de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de la provincia del Chubut, a escala 1:750.000.

La combinación de los tres mapas de susceptibilidades (Figs. 17, 18 y 19), se realizó otorgando a cada clase de susceptibilidad la mayor valoración obtenida por cualquiera de los tres procesos estudiados, según la tabla 14.

Finalmente, se obtuvo un mapa de susceptibilidad para la provincia del Chubut, categorizado en Alta, Moderada y Baja (Fig. 22). Se debe tener en cuenta que los movimientos de RM provienen de zonas de alta susceptibilidad, pudiendo llegar a zonas de susceptibilidad moderada y baja.

Se considera que las áreas de alta susceptibilidad poseen gran probabilidad de ocurrencia de procesos de RM en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta.

Se deja constancia de que este mapa de zonificación de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa no ha sido corroborado con datos de campo.

Las distintas clases de susceptibilidad se encuentran distribuidas en la totalidad de la provincia, según la tabla 15.



PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 3	SUSCEPTIBILIDAD FINAL
Alta	Alta	Alta	Alta
Alta	Alta	Moderada	Alta
Alta	Moderada	Moderada	Alta
Alta	Moderada	Baja	Alta
Alta	Baja	Baja	Alta
Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Moderada	Moderada	Baja	Moderada
Moderada	Baja	Baja	Moderada
Baja	Baja	Baja	Baja

Tabla 14. Combinación de mapas de los distintos procesos, según la máxima susceptibilidad.

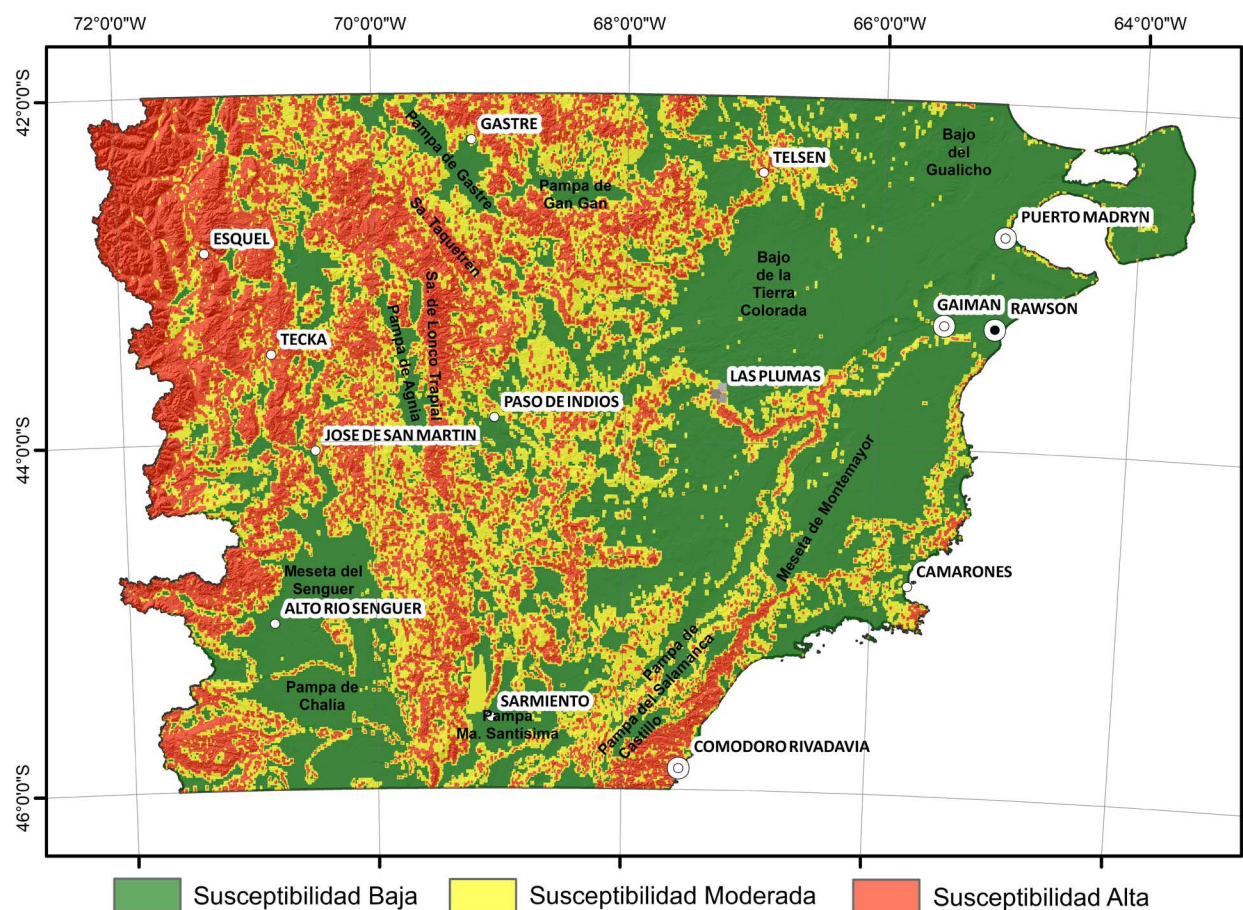


Figura 22. Mapa con zonificación de susceptibilidad a los procesos en remoción en masa en la provincia del Chubut.

	RM
SUSCEPTIBILIDAD ALTA	16,25 %
SUSCEPTIBILIDAD MODERADA	29,30 %
SUSCEPTIBILIDAD BAJA	54,45 %

Tabla 15. Porcentaje de la provincia del Chubut afectada por los distintos grados de susceptibilidad.

En el mapa unificado provincial, como consecuencia de la asociación de clases, se observa que en determinados sectores aumenta la valoración de la susceptibilidad, ya que al aunar las susceptibilidades de los tres procesos prevalece la mayor. A pesar de ello, la susceptibilidad alta sigue afectando una baja proporción de la provincia (16,25 %), se observa un leve incremento de la susceptibilidad moderada (< 30 %) y un aumento de la susceptibilidad baja (> 50 %) (Fig. 23).

### Susceptibilidad Alta

Esta clase constituye el 16,25 % del mapa de susceptibilidad, conteniendo 36.511 km<sup>2</sup> del área del Chubut.

La misma se desarrolla en el sector centro-norte de la región Andina y en menor proporción en el sector sur de la misma, como así también al oriente de Pampa del Castillo hasta el sector costero de la región. También se observa en inmediaciones de las sierras de Traquetrén, Cutancunú y de Lonco Trapial. Estas áreas se corresponderían con la Comarca Andina, y con un sector oeste de la comarca Senguerr-Golfo San Jorge y en el sector oriental de la misma (al este de Pampa del Castillo).

### Susceptibilidad Moderada

La provincia cuenta con el 29,30 % afectada por esta clase de susceptibilidad, que se corresponde con 65.833 km<sup>2</sup> del área del Chubut. Si bien su localización es más dispersa, abarca principalmente la zona central de la provincia y por lo tanto la Comarca Meseta Central, como así también en cercanías a las zonas de susceptibilidad alta.

### Susceptibilidad Baja

Esta categoría representa el 54,45 % del mapa final de susceptibilidad, abarcando 122.342 km<sup>2</sup> de la provincia del Chubut. El sector este de la Comarca VIRCh-Península Valdés, el centro y occidente de la Comarca Senguerr-Golfo San Jorge son las áreas de menor pendiente y por lo tanto menos favorable a que se produzcan los fenómenos de movilización, y es donde predominan los valores bajos de susceptibilidad. Los mismos, generalmente están localizados sobre las mesetas desarrolladas en esas áreas, como ser: Bajo de la Tierra Colorada, del Gualicho, Meseta de Montemayor, pampas del Chalia, del Castillo, María Santísima, Meseta del Senguer, entre otras. Por otra parte, se reconocen pequeños sectores de baja susceptibilidad, en las pampas de Gan Gan, Gastre y Agnia.

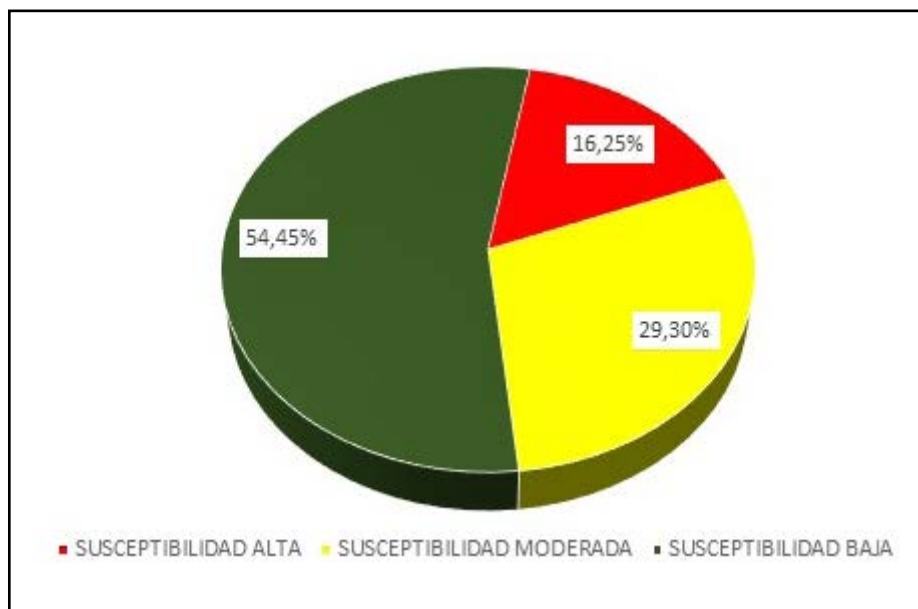


Figura 23. Porcentaje de la provincia del Chubut afectada por los distintos grados de susceptibilidad.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología detallada muestra la propensión que tiene un sector a producir un movimiento de remoción en masa. La misma fue implementada mediante la combinación de la valoración y ponderación relativa de los factores que controlan este tipo de movimientos bajo un entorno SIG, obteniéndose una zonificación del grado de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en la provincia del Chubut, a escala 1:750.000. Debido a la mencionada escala los resultados pueden ser imprecisos, ya que el análisis se basa en la ponderación subjetiva de expertos relacionados con la estimación de las zonas de peligro, la estimación del área afectada y la probabilidad espacial, pero permiten comparar el impacto de los distintos tipos de procesos y el orden de magnitud de los impactos esperados.

Se obtuvieron tres mapas de susceptibilidad para distintos procesos de RM, uno para caídas de rocas, otro para flujos y un tercero para deslizamientos, con un nivel de confianza de 80 %, posteriormente los mismos fueron combinados para obtener el mapa de susceptibilidad unificado de la provincia. Este último, muestra una baja proporción de susceptibilidad alta a nivel provincial (< 20 %), un 30 % de susceptibilidad moderada y alrededor del 55 % de susceptibilidad baja.

En la provincia del Chubut, los niveles de susceptibilidad alta predominan en la Comarca Andina, el oeste de la Comarca Meseta Central y en los sectores occidentales y orientales de la comarca Senguerr-Golfo San Jorge (al este de Pampa del Castillo). La susceptibilidad moderada predomina en la zona central de la provincia, o sea en la Comarca Meseta Central, como así también en cercanías a las zonas de susceptibilidad alta y en la zona este de la Comarca VIRCh-Península Valdés, en el centro y occidente de la Comarca Senguerr-Golfo San Jorge predominan los valores bajos de susceptibilidad.

Las mayores susceptibilidades se relacionan principalmente con el tipo de litología presentes en la región (materiales aluviales, coluviales, regolitos, rocas fuertemente alteradas y fracturadas, entre otros), la presencia de grandes pendientes ( $20^\circ$  a  $> 45^\circ$ ), relieves relativos altos ( $> 500$ ) y el detonante es generalmente la fuerte lluvia con alta intensidad.

Estas evaluaciones ayudan a comprender los peligros de los procesos de RM en sus municipios, localidades, etc. y si bien el mapa de zonificación de susceptibilidad a escala provincial sigue siendo general, se debe considerar como una herramienta fundamental en la elaboración de planes de mitigación, planificación urbana, usos del suelo y ordenamiento territorial, sirviendo como elemento de apoyo en la generación de políticas por parte de organismos nacionales, provinciales y municipales, creando medidas de reducción del riesgo de estos procesos.

Los mapas de susceptibilidad a procesos de RM son dinámicos, ya que varios indicadores tienen una alta variabilidad temporal; por otra parte, los datos de entrada pueden sufrir cambios en posteriores estudios, por lo que el presente mapa de susceptibilidad debe actualizarse periódicamente. Lo mismo resulta para análisis de mayor detalle a escala local.

El modelo generado demuestra ser una herramienta útil para el relevamiento de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en grandes áreas, en un tiempo relativamente corto y a bajo costo, mediante el uso de la información disponible, sin realizar tareas de relevamiento de datos en campo y puede ser replicable el resto de las provincias argentinas.

El presente estudio muestra la propensión de un área a generar potenciales procesos de remoción en masa a escala provincial, por lo cual es pertinente realizar estudios de vulnerabilidad y amenaza en la región, asociados a los resultados obtenidos. A su vez, se recomienda la elaboración de estudios de Ordenamiento Territorial de mayor detalle en las áreas urbanas.

En las zonas identificadas como de alta susceptibilidad, se recomienda llevar a cabo estudios de caracterización y análisis de estabilidad de detalle, previos a cualquier tipo de utilización. Estos sectores presentan una elevada probabilidad de requerir medidas de estabilización de algún tipo.

En zonas de moderada susceptibilidad, se recomienda llevar a cabo estudios de caracterización y análisis de estabilidad de detalle, previos al emplazamiento de infraestructura crítica o viviendas, a fin de establecer la necesidad de implementar medidas de mitigación y/o monitoreo.

Zonas estables, para la actual escala de análisis. Podrían requerir medidas de mitigación puntuales, en función su utilización. Son sectores aptos para usos urbanos de alta densidad.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ALEOTTI P., CHOWDHURY R. 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary, Review and New Perspectives, *Bulletin of Engineering Geology & Environment*, 58, 21-44.
- ARDOLINO A.A., ANSELMI G., GIACOSA R.E., CHAVEZ S.B., ÁLVAREZ M.D., BENÍTEZ J., PUCHETAA. 2022. Mapa Geológico de la Provincia del Chubut, República Argentina. Escala 1:750.000 Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales
- BAETS S., POESEN J., GYSSELS G., KNAPEN A. 2006. Effects of Grass Roots on the Erodibility of Topsoils During Concentrated Flow. *Geomorphology*. 76. 54-67. [10.1016/j.geomorph.2005.10.002](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.10.002).
- BIANCHI A.R. y Cravero S.C. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina. Ediciones INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires
- CASCINI L. 2008. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering geology* 164-177. Italy.
- CASTELLANOS ABELLA E.A., VAN WESTEN C.J. 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides* 4(4):311-325.
- CHÁVEZ R.A.; VILLEGAS D.C.; ELISSONDO M. y COPPOLECCHIA M. (en edición). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4372-IV Trevelin. Provincia de Chubut. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
- CHÁVEZ R., GÜNTHER M., GRECO G., TEJEDO A. 2008. Base de datos de peligros geológicos. XVII Congreso Geológico Argentino, Chubut, Argentina. Actas II, pp. 457-458.
- COROMINAS J., VAN WESTEN C.J., FRATTINI P., CASCINI L., MALET J.P., FOTOPOULOU S., CATTANI F., VAN DEN ECKHAUT M., MAVROULI O., AGLIARDI F., PITILAKIS K., WINTER M.G., PASTOR M., FERLISI S., TOFANI V., HERVAS J., SMITH J.T. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Open access. *Bulletin of engineering geology and the environment* 73(2):209-263.
- CRUDEN D.M. 1991. A Simple definition of a landslide: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 43, p. 27-29.
- DAI F.C., LEE C.F., LI J., XU Z.W. 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40:381-391.
- FUNK C., PETERSON P., LANDSFELD, M. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data* 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
- GONZÁLEZ M.A., ROVERANO D., FAUQUÉ L. 2002. Estudio de Peligrosidad Geológica en el Barrio Sismográfica. Serie Contribuciones Técnicas; Peligrosidad Geológica nro. 4. 64 p. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 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(1-4):181-216. <https://sites.google.com/site/corredorsurpatagonianorte/chubut>.
- [http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve\\_e.htm](http://www.viajoporargentina.com/chubut/relieve_e.htm). <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/CHUBUT/PDF-PEI-CHUBUT.pdf>. <https://sites.google.com/site/corredorsurpatagonianorte/chubut>. <https://lpdaac.usgs.gov/news/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-30-srtm-plus-product-release/>. [http://gmo.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction\\_frame.html](http://gmo.gfz-potsdam.de/pub/introduction/introduction_frame.html).
- HUNGR O., LEROUEIL S., PICARELLI L. 2014. The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides*, 11, 167-194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>.
- ICHAZO G.J. 2001. Rawson. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4366-IV. Provincia de Chubut. Boletín 304. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
- ICHAZO G.J., JONES M., GONZÁLEZ DÍAZ E.F., ALVAREZ P. 2009. Puerto Madryn. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4366-II. Provincia de Chubut. Boletín 372. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.

- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL -IGN- 2021. [www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Informacion-Geoespacial/CapasSIG](http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Informacion-Geoespacial/CapasSIG).
- INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA -INPRES- 2021. Mapa de zonificación sísmica: [contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Reglamentos#Zonificación\\_Sísmica](http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Reglamentos#Zonificación_Sísmica).
- JENKS G.F. 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186–190.
- MARTINEZ O.A. 2016. Unidades gravitacionales en los alrededores de Esquel: clasificación, origen y edad. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(3), 319-329.
- MORA CASTRO S., VAHRSON W. 1992. Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. <https://www.researchgate.net/publication/283730365>.
- PAREDES J.M. 2019. (Compilador) Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017: visiones múltiples para una ciudad en riesgo. Editorial Universitaria de la Patagonia, 307 p., Comodoro Rivadavia.
- PAREDES J.M., OCAMPO S.M., FOIX N., OLAZÁBAL S.X., VALLE M.N., ALLARD J.O. 2020. Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente semiárido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 77(2), 296-318. Recuperado a partir de <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/1>.
- SAATY T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15:59-62.
- SAATY T.L. 1996. *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill, New York.
- SAATY T.L., VARGAS L.G. 2001. Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process. Kluwer, Dordrecht.
- SCHILLIZZI R.; GELOS E.M.; SPAGNUOLO J. 2004. Procesos de retracción de los acantilados patagónicos entre la desembocadura de los ríos Negro y Chubut. Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, vol. 11, núm. 1, julio, 2004, pp. 17-26 Asociación Argentina de Sedimentología Buenos Aires, Argentina.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL -SMN-. 2021. [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar).
- SIDDLE, H.J., JONES, D.B. y PAYNE, H.R. 1991. Development of a methodology for landslip potential mapping in the Rhonda Valley. In *Slope Stability Engineering, Developments and applications*. Proc. Int. Conf. On Slope Stability, Isle of Wight, 15-18 April (Ed. R. J. Chandler), Thomas Telford, p137-148.
- SOETERS R., VAN WESTEN C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner KA, Schuster RL (eds), *Landslides: investigation and mitigation*, Transport Research Board Special Report, vol 247, pp 129–177.
- TCHILINGUIRIAN P. 2003. Evaluación de Peligrosidad Geológica en el Barrio Divina Providencia. Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut. Serie Contribuciones Técnicas; Peligrosidad Geológica nro. 9. 27 p. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- TEJEDO A. 2003. Estudio de Peligrosidad Geológica del Área de Playa Belvedere. Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut. Serie Contribuciones Técnicas; Peligrosidad Geológica nro. 5. 44 p. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- TEJEDO A. 2004. Escalante. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4566-III. Provincias de Chubut. Boletín 331. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
- TEJEDO A., CHÁVEZ R. y TELLO N. 2009. Esquel. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4372-II. Provincia de Chubut. Boletín 389. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
- TEJEDO A., PEREYRA F.X., ANIELLI C. y JONES M. 2000. Comodoro Rivadavia. Provincia de Chubut. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. 1:250.000. Carta de Peligrosidad Geológica 4566-III. Boletín;305. Buenos Aires, Subsecretaría de Minería de la Nación. SEGEMAR. I.G.R.M. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada.
- UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY, 2020. <https://lpdaac.usgs.gov/news/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-30-srtm-plus-product-release/>.
- VAN WESTEN C.J., 2013. Guidelines for the generation of 1:50.000 scale landslide inventory, susceptibility maps, and qualitative risk maps, illustrated with case studies of the provinces Thanh Hoa and Nghe An. 10.13140/RG.2.2.34315.90407.
- VERGARI F., DELLA SETA M., MONTE M., FREDI P., LUPIA PALMIERI E., 2011. Landslide susceptibility assessment in the Upper Orcia Valley (Southern Tuscany, Italy) through conditional analysis: A

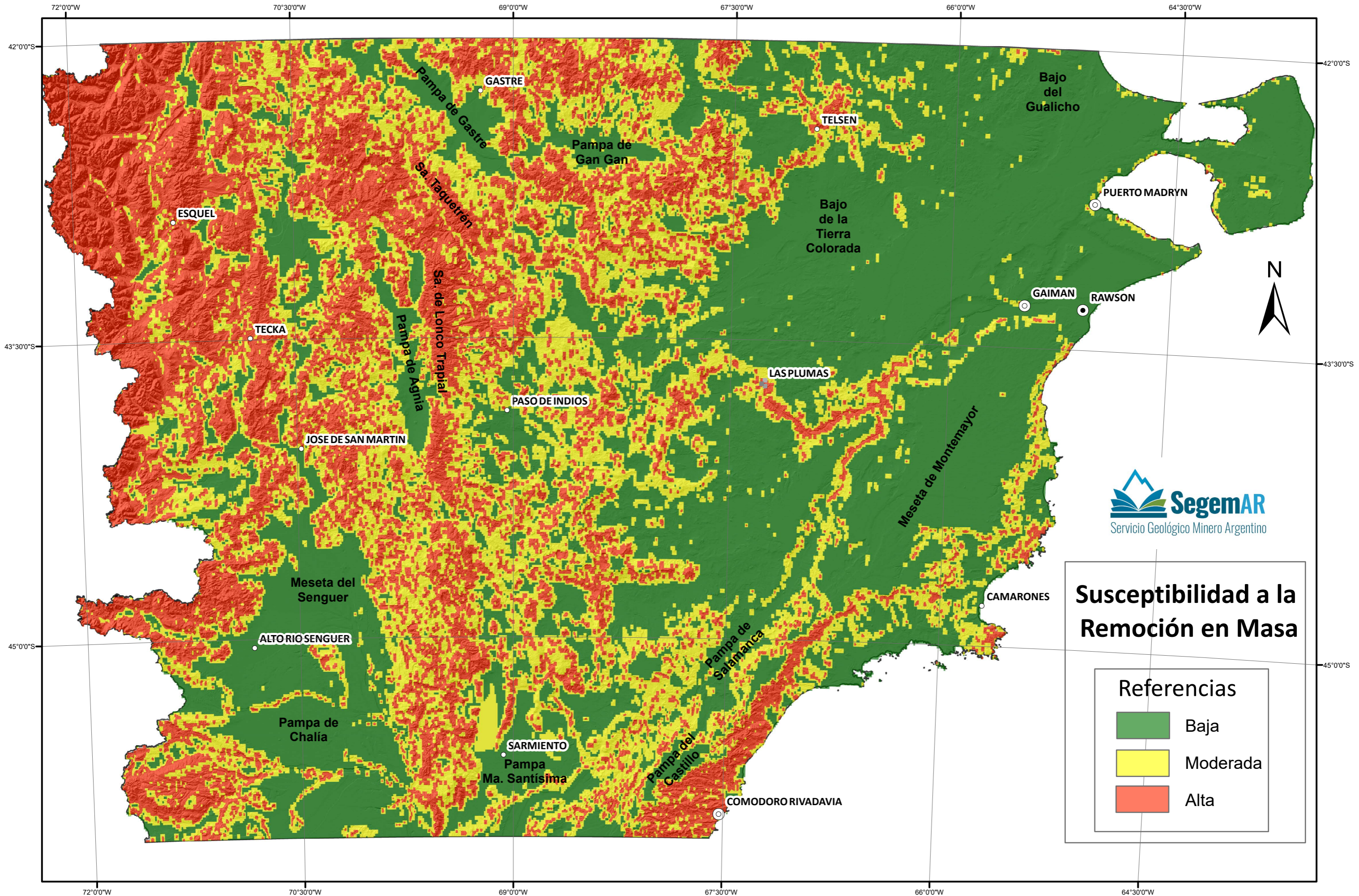
contribution to the unbiased selection of causal factors. *Natural hazards and earth system sciences*. 11. 1475-1897. 10.5194/nhess-11-1475-2011.

WU W., SIDDLE R.C. 1995. A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resour Res* 31:2097–2110.

**Entregado:** 20 de septiembre de 2022

**Validado:** 15 de febrero de 2023

### ANEXO I. MAPA CON ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS EN REMOCIÓN EN MASA EN LA PROVINCIA DEL CHUBUT.



**Susceptibilidad a la Remoción en Masa**

Referencias

- Baja
- Moderada
- Alta

Sistema de referencia: WGS84  
 Proyección: Geográficas  
 Datum: EPSG 4326

