



Zonificación del riesgo sísmico en la urbanización del valle de Andorra, Ushuaia, Tierra del Fuego (Argentina)

Violeta L. COMPAN¹, Marilina L. PEÑALVA², Alejandro MONTES^{2,3}

¹SIT, School for International Training, Vermont Campus, Kipling Road, Brattleboro, VT 05302.

²Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Tierra del Fuego Antártida e Islas del Atlántico Sur, Fuego Basket 251, CP 9410 Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

³Laboratorio de Geología del Cuaternario, CADIC-CONICET, C.C. 92 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

email: violeta.compan@sit.edu; mpenalva@untdf.edu.ar; amontes@untdf.edu.ar

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 18/08/2025

Aceptado: 24/11/2025

RESUMEN

La ciudad de Ushuaia se asienta en valles tectónicos ubicados en el extremo sur de la Cordillera de los Andes, labrados en esquistos, filitas y pizarras cuyas geoformas están asociadas principalmente a procesos glaciales ocurridos durante el Pleistoceno. La zona urbana se encuentra a 30 km al sur del Sistema de Fallas Magallanes-Fagnano, principal fuente sismogénica de Tierra del Fuego. La ciudad presenta un importante crecimiento poblacional y un avance de la urbanización hacia zonas periféricas, frecuentemente mediante edificaciones que no cumplen las normas de sismorresistencia del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES). Este trabajo presenta la zonificación del riesgo sísmico y sus componentes en el barrio Valle de Andorra, al noreste de la ciudad, basada tanto en información geológica, geomorfológica y geofísica, así como en la evaluación de las edificaciones y su distribución, a fin de determinar la exposición y vulnerabilidad de su población. El barrio se asienta principalmente sobre morenas y depósitos glacialacustres, con características geotécnicas propicias para la amplificación de ondas sísmicas. Además, en las áreas periféricas del barrio, las viviendas están expuestas a procesos de remoción en masa. Los resultados muestran que el 89% del barrio se encuentra en zonas con riesgo moderado a alto y las instituciones públicas, como escuelas, policía y centros de salud, están en zonas de riesgo alto y muy alto. Este trabajo expone la importancia de la zonificación de riesgos geológicos en una población.

Palabras clave: riesgos geológicos; sismicidad; crecimiento demográfico.

ABSTRACT

Seismic risk zonation in the urban development of the Andorra Valley, Ushuaia, Tierra del Fuego (Argentina).

The city of Ushuaia is located within tectonic valleys at the southern end of the Andes Mountains, carved into schists, phyllites, and slates, whose landforms are associated with glacial processes that occurred during the Pleistocene. The urban area lies approximately 30 km south of the Magallanes-Fagnano Fault System, the main seismogenic source in Tierra del Fuego. The city has experienced significant population growth, leading to a large number of buildings that do not comply with the seismic resistance standards of the National Institute for Seismic Prevention (INPRES). This study presents the seismic risk zoning and its components for the Valle de Andorra neighborhood, located northeast of the city, based on geological, geomorphological, and geophysical information, as well as, on the assessment of buildings and their distribution, in order to determine the exposure and vulnerability of the population. The neighborhood is mainly built on moraines and glacialacustrine deposits, which have geotechnical characteristics that favor seismic wave amplification. Furthermore, houses in the peripheral areas are exposed to mass-wasting processes. The results show that 89% of the neighborhood falls within moderate to high-risk zones, and public institutions such as schools, police stations, and health centers are located in high and very high-risk areas. This work highlights the importance of geological risk zoning in vulnerable populations and aims to present results that can be applied to local urban planning and methodologically replicated in other regions.

Keywords: geologic risks; seismicity; population growth.

INTRODUCCIÓN

Un proceso natural se convierte en un riesgo cuando interactúa con una población vulnerable. El estudio del riesgo sísmico resulta de la combinación de sus tres componentes: la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, cada uno de los cuales son el resultado de indicadores específicos. La amenaza es el proceso natural, en nuestro caso, el evento sísmico, determinado por la situación geotectónica y el efecto de sitio. La exposición está dada por la densidad de población y el tipo y valor de las construcciones (Abascal y González Bonorino, 2014). La vulnerabilidad comprende características físicas y socioeconómicas de esa población expuesta que la hacen susceptible de sufrir un daño o pérdida grave frente a la amenaza. Es, entonces, la evaluación del riesgo un primer paso para su prevención, mitigación y gestión (Renda et al., 2017).

En Argentina, el abordaje del estudio de la amenaza sísmica tiene sus inicios con la creación del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) en 1973, cuyo propósito principal es implementar políticas nacionales de prevención. Este organismo se dedica a realizar tanto estudios como investigaciones básicas y aplicadas en las áreas de sismología e ingeniería sismorresistente. Desde su creación, el INPRES ha llevado a cabo zonificaciones según los niveles de peligrosidad sísmica y ha elaborado los reglamentos para construcciones sismorresistentes que establecen los requisitos técnicos y constructivos específicos de acuerdo con el nivel de peligrosidad. La Isla Grande de Tierra del Fuego está situada en el extremo austral del continente Sudamericano y se caracteriza por dos grandes dominios estructurales ubicados al norte y al sur del Lago Fagnano, separados por el Sistema de Fallas Magallanes-Fagnano (SFMF; Figura 1). Este sistema de fallas regionales constituye el límite transformante entre las placas de Scotia y Sudamericana, siendo la principal estructura con actividad tectónica cuaternaria de los Andes Australes (Torres-Carbonell et al., 2008). Históricamente, la región ha registrado varios sismos importantes, como los de 1879, 1949 y 1970, con magnitudes mayores a 7 (diferentes autores e.g. Schwartz et al., 2002; Lomnitz, 1970; Pelayo y Wiens, 1989). Debido a la situación geotectónica de la región, INPRES divide a la provincia de Tierra del Fuego en tres categorías de peligrosidad sísmica: reducida, moderada y elevada, a partir de un modelo tectónico basado en la zona de subducción ubicada en Chile. Como resultado, el gobierno de la provincia incorporó esta zonificación sísmica a través del Código de Edificación de TDF en 1981. Asimismo, desde el año 1999, la Estación Astronómica Río Grande monitorea

la sismicidad a nivel provincial. Paralelamente, el incremento demográfico de Tierra del Fuego se vio impulsado en gran parte por el Régimen Promocional de la Ley 19640, sancionada en 1972. Esta ley incentivó la radicación de población en la provincia a través del desarrollo industrial, por medio de incentivos fiscales y otros beneficios económicos. Sin embargo, este crecimiento demográfico careció de políticas urbanas y habitacionales adecuadas (Fank, 2021). En la ciudad de Ushuaia, en este contexto de crecimiento demográfico que se mantiene hasta la actualidad, las urbanizaciones informales avanzaron sobre tierras fiscales no aptas para este fin. A partir del año 2003, un nuevo impulso a la industria y al turismo, sumado a las ya desarticuladas políticas de acceso al suelo y vivienda condujeron al crecimiento de la informalidad hacia el este, en el llamado barrio Valle de Andorra. Este sector destinado a la producción agropecuaria primaria contaba en 2001 con 44 hogares y 115 habitantes (RENABAP, 2022). Según estimaciones de la Municipalidad de Ushuaia, en el año 2020 albergaba unas 1300 personas, siendo uno de los principales receptores de los asentamientos informales (Fank, 2021).

Estudios como los del BID (2016) y de SEGEMAR (2021) destacan la necesidad de estudios de microzonificación en Ushuaia, ya que además del peligro sísmico directo, los sismos pueden desencadenar procesos secundarios como deslizamientos, caídas de rocas y licuefacción. Abascal y González Bonorino (2008, 2012, 2014), propusieron modelos de amenaza y riesgo sísmico utilizando herramientas como RADIIUS y SELENA, señalando una alta vulnerabilidad en ciudades como Tolhuin, asociada a la amplificación sísmica por suelos blandos y posibles deficiencias constructivas. Estos estudios han demostrado que los depósitos cuaternarios de la isla pueden duplicar la intensidad del movimiento sísmico. El efecto de sitio o amplificación sísmica es un factor clave, determinado por las propiedades dinámicas de los suelos. Sobre la vulnerabilidad social, Fank (2021) analizó asentamientos informales en Ushuaia, evidenciando un aumento poblacional acelerado y altos niveles de vulnerabilidad socioeconómica en sectores como Valle de Andorra. La recopilación bibliográfica llevada adelante para este estudio no registró antecedentes de análisis relacionados con la exposición de viviendas, infraestructura esencial y/o vidas humanas al peligro sísmico. En la ciudad de Ushuaia, Varela (2001) llevó a cabo un estudio destinado a la reducción de la vulnerabilidad sísmica. El trabajo se centró en la generación de cartografías de peligros múltiples como estrategia para disminuir la vulnerabilidad urbana.

Ushuaia, se ubica al pie de los Andes Fueguinos y a orillas del canal Beagle (Onashaga), sobre una topografía irregular caracterizada por valles glaciares en forma de U, con fre-

cuenta presencia de escarpadas pendientes, con una proximidad de 30 km al SFMF. Particularmente, el barrio valle de Andorra se asienta sobre depósitos glaciogénicos del Pleistoceno Tardío-Holoceno no consolidados (Coronato, 1990a). Estudios realizados por Abascal et al., (2012) en la ciudad de Tolhuin, ubicada a 80 km al noreste, sugieren que estos espesos depósitos cuaternarios podrían amplificar a más del doble la vibración sísmica debido a su comportamiento geotécnico, lo que se conoce como efecto local o de sitio.

La elección del área de estudio se debe a la creciente expansión demográfica de la zona, la aparente falta de cumplimiento de la norma de construcción sismorresistente de las edificaciones existentes, las particularidades geológicas del sustrato, la actividad sísmica de la región y la ausencia de estudios de riesgo sísmico previos. El presente trabajo busca generar información de base geológica y geomorfológica, incorporar información geotécnica y edilicia, y realizar un aná-

lisis y zonificación preliminar del riesgo sísmico para el barrio Valle de Andorra.

MARCO GEOLÓGICO

El sistema de fallas Magallanes – Fagnano (SFMF) es un sistema de fallas regionales, de orientación aproximadamente latitudinal y cinemática principalmente sinistral, ubicado en el límite entre las placas Sudamericana al norte y Scotia al sur. Se calcula una edad máxima de inicio de la transcurrencia para el sector este del Lago Fagnano entre ca. 7 y 11 Ma, según los estudios geodinámicos y tasas de desplazamiento relativo determinadas a partir de datos geodésicos (Torres Carbonell et al., 2008).

El SFMF constituye la principal estructura con actividad tectónica cuaternaria de los Andes Fueguinos (Costa et al.,

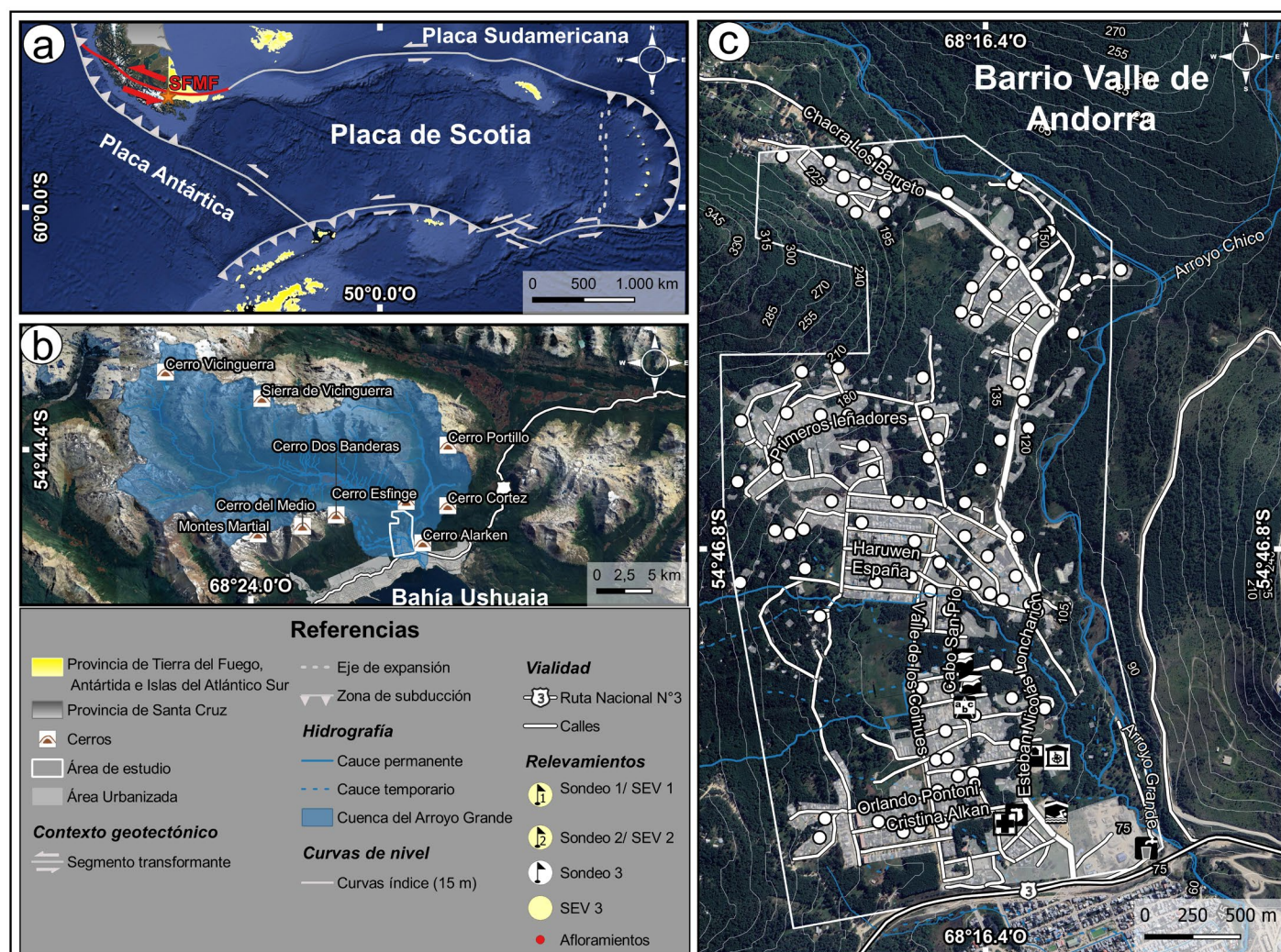


Figura 1. a) Marco geotectónico de Tierra del Fuego. b) Ubicación del Barrio Valle de Andorra, ubicado en el sector noreste del ejido urbano de la ciudad de Ushuaia. Con color azul se señala el área de la cuenca del arroyo Grande con nivel de base en el canal Beagle. c) Detalle de la zona de estudio (Modificado de Compan, 2024).

2006; Onorato et al., 2016). El plano de falla principal es vertical y se cierra a unos 15 km de profundidad; los focos hipocentrales son intracorticales y ocurren principalmente entre los 5 y 10 km de profundidad (Smalley et al., 2003; Buffoni et al., 2009). Las mediciones en estaciones de GPS (Global Positioning System) ubicadas a ambos lados de las principales fallas muestran una tasa de desplazamiento de alrededor de 5 mm/año (Del Cogliano et al., 2000). Posteriormente, Smalley et al., (2007) obtienen una tasa de desplazamiento de 8.0 ± 2.1 mm/año, considerando deformaciones regionales entre un punto estable en la placa Sudamericana y el sector inmediato al sistema de fallas Fagnano. En territorio argentino, el SFMF afecta al lago Fagnano a lo largo de casi 87 km en sentido oeste-este, y puede reconocerse, a lo largo de aproximadamente 68 km desde la costa oriental del lago hasta la costa atlántica, por elementos morfotectónicos como escarpes de falla, cauces desplazados y/o controlados tectónicamente y lagunas (Onorato et al., 2020).

Bran et al., (2023) realizaron un estudio sobre el sistema de fallas del Canal Beagle (SFCB) y la zona de falla Lapataia (ZFL), interpretando perfiles de sismica de reflexión y afloramientos. Los autores sugieren que este sistema es participe en el acomodamiento de la deformación junto con el SFMF. Encontraron evidencias de fallas que afectan sedimentos marinos que indicarían actividad post glacial y sugieren una zona de deformación más amplia (~75 km) para el límite de placas, Sudamericana y Scotia, de lo que postulan trabajos previos (30 a 50 km; Mendoza et al., 2015; Sandoval y De Pascale, 2020).

En cuanto al área de estudio, el valle de Andorra se ubica entre los montes Martial y las Sierras del Vinciguerra, de origen tectónico, labrado sobre las formaciones Lemaire y Yahgán. Forma parte, junto con el Valle Chico, de la cuenca del Arroyo Grande (Caminos, 1980; Coronato, 1990a) (figura 1). La formación Yahgán fue definida por Krank (1932), se ubica en la región cordillerana de la Isla Grande de Tierra del Fuego y el Archipiélago Fueguino al Sur del Canal Beagle (Suárez et al., 1985; Olivero et al., 2007). Esta unidad con metamorfismo de bajo grado está compuesta por una espesa sucesión de rocas epiclásticas y volcánicas marinas, que incluyen conglomerados re trabajados, areniscas masivas, turbiditas arenosas y fangosas, fangolitas, cherts y tobas (Olivero y Martinioni, 1996). Estratigráficamente se posiciona en discordancia sobre la Formación Lemaire (Jurásico Superior). Estas rocas, están cubiertas por depósitos glaciales, glaciafluviales y glacialacustres, como resultado de la acción glacial durante el Pleistoceno Tardío (Coronato, 1990a, 1990b, 1995a y 1995b). Torres Carbonell et al., (2013) y Cao (2019) representan a las Formaciones Yahgán y Lemaire en contacto tectónico en

el sector del valle de Andorra, a través de una superficie de despegue, siendo la Formación Yahgán la única aflorante en el área de estudio.

La configuración actual del paisaje en el sector sur de la Isla Grande de Tierra del Fuego es el resultado de diversos procesos exógenos vinculados a diferentes avances glaciales sobre las estructuras tectónicas que conforman la faja plegada y corrida de la Cordillera Fueguina. El relieve escarpado de los Andes Fueguinos se caracteriza por cordones montañosos dispuestos casi paralelamente de oeste a este, con alturas que decrecen en ese sentido, desde la margen norte del lago Fagnano hasta las costas del canal Beagle (Onashaga), con alturas máximas que no sobrepasan los 1400 m s.n.m. en el sector argentino (Coronato et al., 2014).

El englazamiento de la isla Grande de Tierra del Fuego se produjo durante el Pleistoceno, en reiteradas oportunidades, con al menos 6 avances glaciares reconocidos durante el último millón de años (Coronato et al., 2004). El último evento frío de gran magnitud corresponde al Último Máximo Glacial (UMG ca. 24000 años AP; Rabassa, 2008), durante el cual se formó un extenso manto de hielo centrado sobre la Cordillera Darwin (2000 m s.n.m., 55°S-69°O) desde donde se originaron numerosos glaciares de descarga que se desplazaron radialmente y cubrieron amplios sectores del archipiélago (Coronato et al., 2004). Estas lenguas glaciares fluyeron siguiendo los valles o las depresiones preexistentes alcanzando en algunos casos la plataforma atlántica, colaborando a su vez con la profundización y modelado de los mismos (Rabassa et al., 2000; Bujalesky e Isla, 2006; entre otros). Durante este evento, el glaciar Beagle alcanzó su máximo espesor recibiendo aportes de un gran número de glaciares tributarios como el del Pipo, Andorra y Carvajal, entre otros, con sus cabeceras en las altas cumbres de los Andes Fueguinos (Coronato, 1995a, b; Coronato and Roig, 1999). Los glaciares comenzaron a retroceder hace 19.000 años A.P. producto del calentamiento climático global, marcando el fin de la última glaciación (Blunier y Brook, 2001). El hielo se retiró del canal Beagle (Onashaga) hace 15000 años A.P., mientras que los glaciares tributarios quedaron relegados a las zonas más elevadas y a los valles de la Cordillera Fueguina. Estos sufrieron dos momentos de estabilización y avance durante su retroceso producto de enfriamientos climáticos globales ocurridos hace 14500 y 13000 años A.P. (Ponce et al., 2017).

La presencia de cubetas o depresiones cerradas labradas por los glaciares, sumada a la abundancia de agua de fusión proveniente de los glaciares en retroceso, generó ambientes lacustres someros en los fondos de valle, que posteriormente permitieron el desarrollo de turbales. En estas lagunas permanentes se depositaron arcillas que fueron cubiertas pro-

gresivamente por plantas acuáticas que, una vez muertas, comenzaron a formar turba, disminuyendo la profundidad de estos cuerpos de agua y ocupando las depresiones (Ponce et al., 2014).

En la zona alta del valle de Andorra y para la cuenca inferior del Arroyo Grande, Coronato (1990a, 1990b, 1991, 1993, 1995) propone un modelo de englazamiento, en cuatro fases desarrolladas entre el Pleistoceno tardío y el Holoceno temprano. El área de estudio se sitúa en la cuenca inferior del Arroyo Grande, en lo que Coronato (1990a) identificó como un sector de glaciación múltiple, como resultado de la interacción de tres cuerpos de hielo distintos: el glaciar Andorra y el glaciar Arroyo Chico, provenientes de la montaña, y el glaciar Beagle, que se extiende desde el canal.

METODOLOGÍAS

Inicialmente se realizó una recopilación bibliográfica de antecedentes. Posteriormente se generaron los insumos necesarios para elaborar la zonificación de la amenaza, exposición y vulnerabilidad en la zona de estudio. Esto implicó: i) La identificación y caracterización de la fuente sísmica. ii) La identificación y caracterización de las unidades geológicas y geomorfológicas. iii) La categorización del comportamiento geotécnico de las unidades geológicas. iv) Relevamiento de información edilicia.

La etapa siguiente consistió en la confección cartográfica de la zonificación de la amenaza, exposición y vulnerabilidad, a partir de los cuales se elaboró el mapa de riesgo sísmico del área de estudio.

Identificación y caracterización de la fuente sísmica

La actividad sísmica se analizó en función del contexto geotectónico regional y mediante un inventario de registros paleo sísmicos, históricos y recientes, recopilados de fuentes bibliográficas y catálogos de la Estación Astronómica de Río Grande (EARG), con un total de 2062 eventos desde el año 1879 – 2023. Se priorizaron los eventos de mayor magnitud o percibidos por la población. El inventario fue analizado en *QGIS 3.18.1 Zürich*, generando mapas regionales y locales de distribución de sismos, mapas de calor mediante estimación de densidad «kernel», y normalización de datos raster.

Con el software *QGIS 3.18.1 Zürich* se analizó el inventario sísmico en cuanto a ubicación, cantidad, magnitud y profundidad de los eventos. Se realizaron salidas cartográficas a escala regional y local. También se realizó un “mapa de calor” con la herramienta de estimación de densidad «kernel», la

cual transforma la capa vectorial de puntos en un dato de tipo matricial (raster). Esta herramienta utiliza una función que cuenta todos los puntos dentro de una región de influencia determinada. La región de influencia se determinó mediante la herramienta “Estadística básica” del software *QGIS 3.18.1 Zürich* (Estadística básica) que calcula, a través del método del vecino más próximo, la distancia media esperada entre cada punto (sismo). Posteriormente se utilizó la herramienta “calculadora raster” para normalizar el raster y obtener valores entre 0 y 1, siendo 1 donde se ubica la mayor concentración de eventos y 0 donde la concentración es menor.

Además, se construyó un mapa con los sismos ubicados a lo largo del SFMF con alcance de 75 km a ambos lados de la falla, teniendo en cuenta lo sugerido en el trabajo de Bran et al., (2023), quienes consideran pertinente esa distancia de influencia. Utilizando una escala de mayor detalle, se representan los sismos registrados en un radio de 30 km del área de estudio. Este valor se definió a partir de la distancia que separa el barrio Valle de Andorra de la fuente sismogénica.

Se identificaron procesos de remoción en masa mediante imágenes satelitales de Google Earth™. Se realizaron descripciones de las rocas y sedimentos involucrados con apoyo de fotografías aéreas obtenidas con VANT (vehículo aéreo no tripulado) MAVIC Air2. Se realizó un mapa de pendientes a partir del modelo de elevación digital ALOS PALSAR 2011, de 12.5 m de resolución espacial.

Información geológica y geomorfológica del área de estudio

La caracterización geológica y geomorfológica del área de estudio se realizó con el fin de proporcionar una línea de base para la zonificación preliminar de riesgo sísmico, así como determinar propiedades que permitan categorizar geotécnicamente el sustrato como insumo para la zonificación de amenaza. Se realizaron relevamientos en el área de estudio, identificando y georreferenciando 40 sitios con descripciones de pendientes, litologías, texturas y estructuras. Se utilizaron GPS, pala, piqueta, fotografía terrestre y aérea con VANT (vehículo aéreo no tripulado). Además, se ejecutaron tres sondeos de subsuelo con muestreador a percusión (Eijkelkamp) para analizar sedimentos, alcanzando profundidades de hasta 3.5 m, y se determinaron las distribuciones granulométricas en laboratorio (CADIC-CONICET) mediante difracción láser Malvern 2000. Complementariamente se utilizaron descripciones de suelos y datos geotécnicos de estudios realizados en el barrio Valle de Andorra por empresas privadas (BASSA constructora, 2022; Czelada, 2021) (Fig. 1).

Con el objetivo de complementar la información geológica superficial y comprender la distribución de las unidades geo-

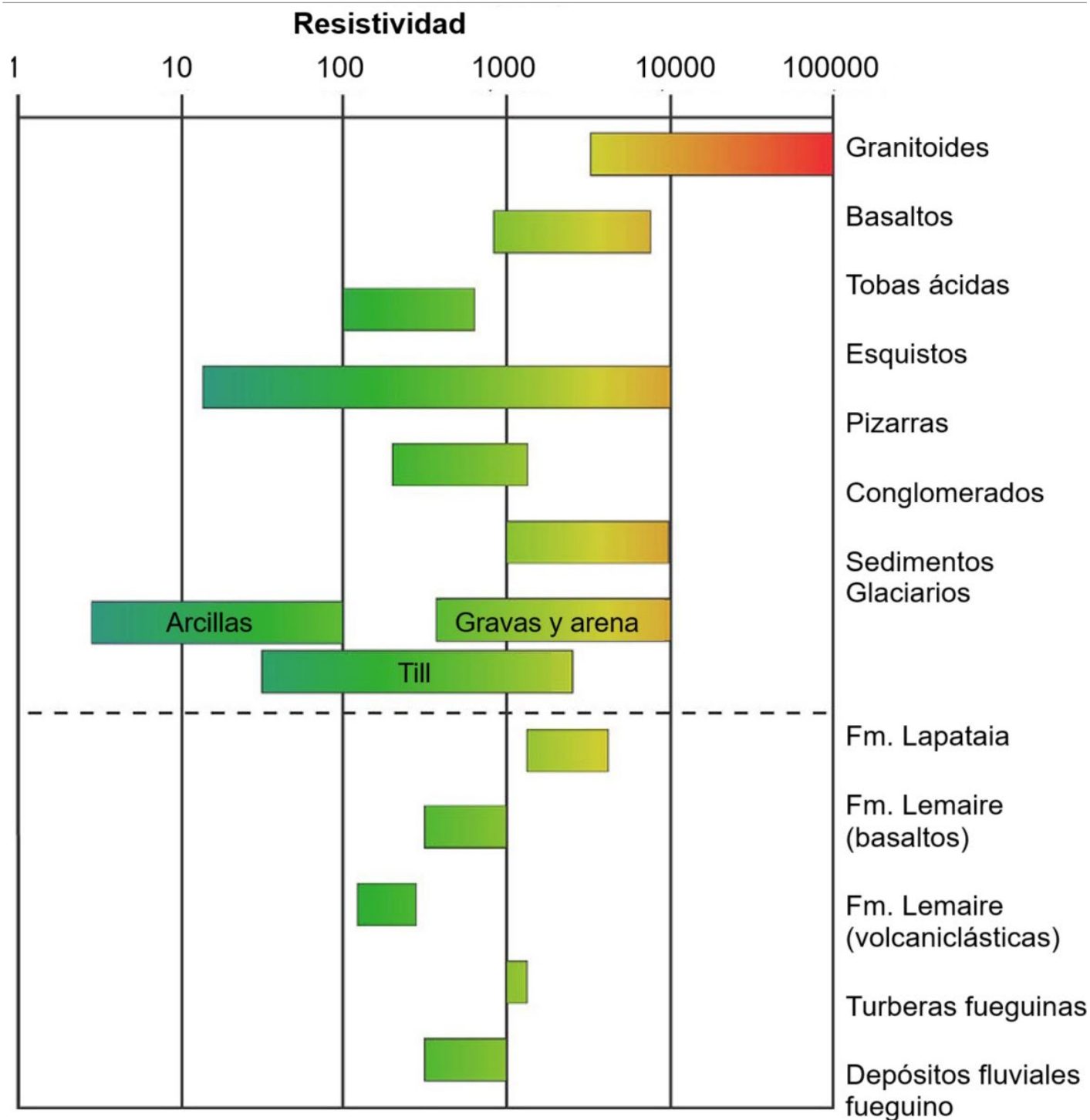


Figura 2. Rangos de resistividad eléctrica para rocas y sedimentos, modificados de Palacky (1988) y Bran et al. (2018). Los rangos enumerados debajo de la línea discontinua corresponden a los valores de resistividad atribuidos a unidades geológicas y depósitos de los Andes Fueguinos (Tassone et al., 2005, 2010).

lógicas en subsuelo, se realizaron tres Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) (Ver ubicación en figura 1) con resistímetro Digital Geometer MPX-400 del Laboratorio de Geomorfología y Cuaternario del CADIC-CONICET. Se utilizó una configuración Schlumberger (Orellana, 1972). Los resultados se procesaron con el software *IPI2win v.2.1*, utilizando como re-

ferencia resistividades obtenidas en diferentes rocas por Palacky (1988) y por Bran et al. (2018) en unidades geológicas semejantes y cercanas al área de estudio (Fig. 2).

Con la información de campo y bibliográfica recabada se definieron las unidades geológicas presentes en el área de estudio. Luego, se utilizó la información geológica y el

análisis de la topografía y pendientes mediante el software *QGIS 3.18.1 Zürich* con imágenes satelitales *Google Earth™*, *LANDSAT 8* y modelo de elevación digital (ALOS PALSAR 2011, de 12.5 m de resolución espacial) para la definición de las unidades geomorfológicas.

Tabla 1. Clasificación de Sitio INPRES CIRSOC. Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes - Parte IV. Clasificación de sitios según propiedades del suelo promedio. N es el número de golpes para penetrar 30 cm, el rechazo está dado por más de 50 golpes.

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio de ensayo de penetración normalizado N_m	Resistencia media al corte no drenado S_{um} (kPa)
Tipo 1	S_A	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización	>1500	-	-
	S_B	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
		Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S_A y S_B			
	S_C	Gravas y/o arenas muy densas. Suelos cohesivos pre-consolidados, muy duros. Gravass y/o arenas de densidad media	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	S_D	Suelos cohesivos consistentes, de baja plasticidad. Gravass y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	S_E	Suelos cohesivos blandos de baja plasticidad.	<180	<15	<50
	S_F	Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales			

Comportamiento geotécnico

La categorización de las unidades geológicas se realizó de acuerdo con lo establecido por el reglamento argentino para construcciones sismorresistentes (Normas CIRSOC 103, INPRES 2018). Se clasificaron seis categorías según las características de los suelos comprendidos en una profundidad hasta 30 m desde la superficie de terreno natural (Tabla 1). Para lo cual se utilizaron estudios de suelo realizados por empresas del sector privado para el barrio Valle de Andorra y Ushuaia, incorporando datos de SPT, velocidades de ondas de corte, descripción de 17 calicatas, ensayos in situ, de labo-

ratorio y método MASW (BASSA 2022). También se consideró la clasificación del estudio de Czelada (2021) y valores de SPT bibliográficos de Tolhuin (Abascal et al., 2012; Abascal y González Bonorino, 2014).

Información edilicia

Se realizó un relevamiento aleatorio de 100 construcciones, distribuyendo los puntos mediante una capa vectorial y la herramienta de investigación de *QGIS 3.18.1 Zürich*, sobre la zona urbanizada (Fig. 3).

Los parámetros edilicios relevados (tabla 2 y fig.4) se definieron siguiendo la metodología de Abascal y González Bonorino (2014), empleada en la ciudad de Tolhuin (Tierra del Fuego).

Tabla 2. Parámetros edilicios relevados.

Parámetros	Opciones
Cantidad de pisos	1 / 2 o más
Tipo de fundación	a) Losa (base de hormigón sobre terreno) b) Pilote (columna vertical) c) Indiferenciado
Material del pilote (si corresponde)	a) Hierro b) Hormigón y hierro c) Hierro y madera d) Madera
Uso de la edificación	a) Residencial b) Comercial c) Público

El relevamiento edilicio se realizó con la aplicación "Ko-BoCollect", recolectando datos y fotografías mediante formularios de KoboToolBox. A cada parámetro se le asignó valores numéricos categóricos que permitieron realizar los procesos de interpolación. Con *QGIS 3.18.1 Zürich* se aplicó la técnica de interpolación IDW (distancia inversa ponderada), usando un tamaño de píxel de 0.1 m x 0.1 m, generando archivos raster por parámetro. Finalmente, se sumaron los *raster* para obtener un único archivo con valores asignados por píxel.

Amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo sísmico

Para la zonificación de la amenaza se utilizó el mapa geológico, los datos geotécnicos (Tipo de sitio) y la clasificación de pendientes. Se caracterizaron las unidades del mapa geológico según el tipo de sitio y se le asignó a cada variable un valor en porcentaje, ponderando el tipo de sitio (60%) y las pendientes (40%). Abascal y González Bonorino (2014) realizaron una evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Tolhuin, en la que agregan el factor de amplificación de la onda sísmica y obtienen datos de aceleraciones del sustrato con simulaciones realizadas con el software *EERA*. Los

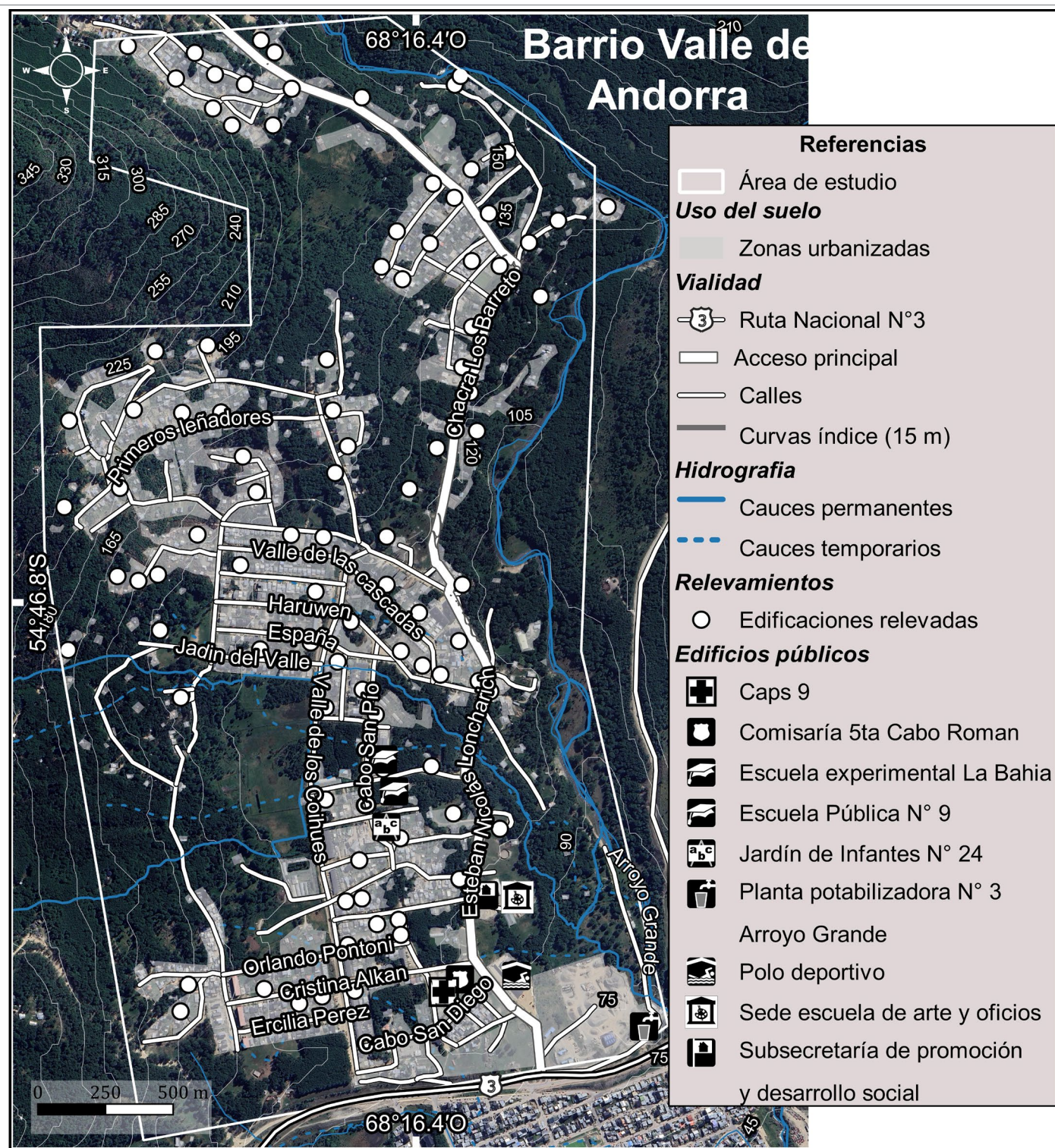


Figura 3. Mapa del área de estudio con el muestreo edilicio. En el mapa se muestra la distribución aleatoria de las 100 construcciones relevadas (Modificado de Compan, 2024).

resultados señalan que los depósitos glaciogénicos del Cuaternario, poseen un potencial duplicador de la vibración sísmica (Abascal et al., 2012). Esto se traduce en sacudidas y ruptura de suelos con el doble de intensidad, mayor duración del tiempo de la sacudida y menor capacidad de resistir a la deformación (Tsige y García 2006). Teniendo en cuenta esto

último, se realizó una valoración de menor a mayor en base a la respuesta de diferentes sustratos frente al fenómeno de amplificación de la onda sísmica durante la eventual ocurrencia de un sismo. En el caso de las pendientes se ponderaron de menor a mayor considerando que los sectores con alto gradiente aumentan la probabilidad de ocurrencia de proce-

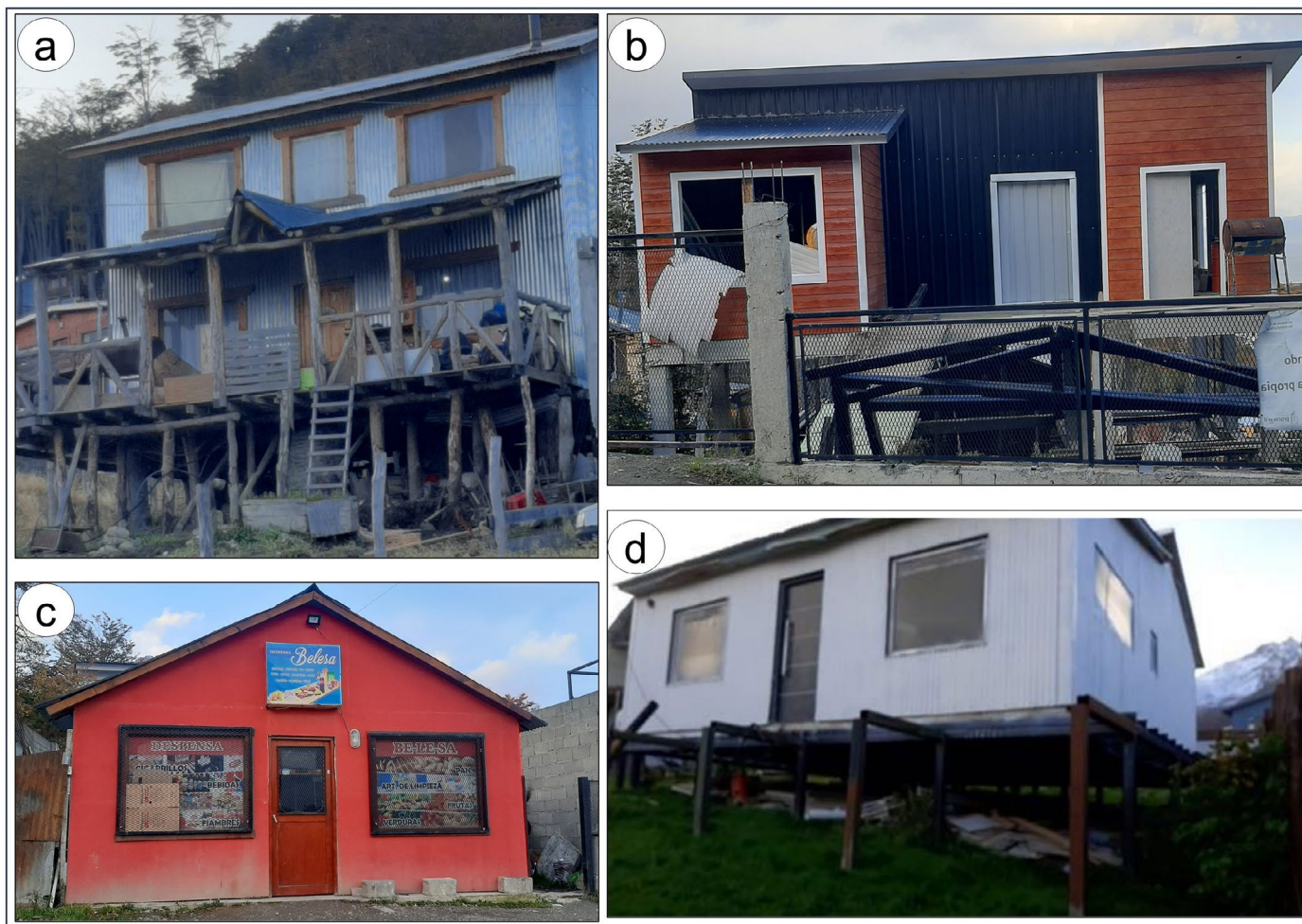


Figura 4. Distintos tipos de edificaciones. a) dos pisos sobre pilotes de madera, b) un piso sobre pilotes de hierro, c) un piso sobre base de platea de hormigón, d) un piso sobre pilotes de hormigón y hierro.

sos de remoción en masa. Luego de una suma matricial se definieron las categorías de la amenaza.

El concepto de exposición en el contexto del riesgo sísmico se refiere a la cantidad de personas y bienes susceptibles de sufrir daños y pérdidas potenciales durante un evento sísmico. Para la zonificación de la exposición se unieron los rasters “uso de la edificación” y “cantidad de pisos”, ponderando el primero sobre el segundo. Se asignó un valor en porcentaje a los inmuebles considerando como críticos aquellos que, en caso de un sismo, albergarían a una cantidad mayor de personas como las escuelas o aquellos necesarios para mitigar las acciones del mismo, como los Centros de Atención Primaria de Salud (CAPS). El segundo índice utilizado para el cálculo de la exposición, con menor peso, es la cantidad de pisos, asumiendo que a mayor tamaño de la edificación existe una mayor cantidad de personas expuestas. También se tuvo en cuenta el camino principal (Avenida E.N. Loncharich), que es la única vía de acceso al barrio como un sector crítico para la evacuación y para el ingreso de los sistemas de emergencia. Luego de una suma matricial se definieron las categorías

de la exposición.

Para el análisis de esta variable, en el área de interés se empleó el estudio de vulnerabilidad urbana realizado por Fank (2021) que se enfoca en los factores socioeconómicos. De manera complementaria se utilizaron los indicadores edilicios “tipo de fundación”, “materialidad el pilote” y “uso de la edificación” para proporcionar información sobre el tipo de vivienda y variación en la calidad de las estructuras, los cuales se representaron en archivos raster para confeccionar la zonificación de la vulnerabilidad. En el caso del índice “uso de la edificación” se realizó una nueva valoración con respecto a la utilizada en la estimación de la exposición, ya que se asume que las construcciones gubernamentales responden a los códigos de edificación y que tienen mayor capacidad para reponer el daño. También, se unificó el uso residencial y comercial, ya que en el barrio los comercios son las propias casas. Luego se realizó una suma matricial de acuerdo con la ponderación y valoración dada y, posteriormente, se definieron las categorías de vulnerabilidad.

Finalmente, la estimación del riesgo sísmico surge de la

interacción entre los tres factores previamente analizados: amenaza, exposición y vulnerabilidad a partir de los cuales definimos cuatro categorías en función de los valores obtenidos.

RESULTADOS

Caracterización de la amenaza sísmica

Actividad sísmica reciente: El compendio de la actividad sísmica registrada en el período 1999-2020 por la EARG, los sismos históricos (1879-1999) y los eventos recientes de mayor magnitud (2020-2023) en el extremo sur de Sudamérica, el pasaje de Drake (Mar de Hoces) y el océano Atlántico Sur,

suman un total de 1979 sismos (Fig. 5). En la figura 5a se muestran los sismos de acuerdo con su magnitud y profundidad evidenciando una distribución asociada con los límites de placas tectónicas, lo cual es aún más evidente en el mapa de calor construido a partir de la distancia media esperada entre cada sismo (Fig. 5b). Se analizaron los eventos sísmicos producidos en el límite de placas convergentes que se proyecta hacia el pasaje de Drake (Mar de Hoces), 75 km a ambos lados de la zona de subducción. En esta región, se registraron 292 sismos, con una magnitud media de 3.1 y una profundidad promedio de 18 km.

Sistema de fallas y actividad sísmica: Contemplando una franja de 75 km a cada lado del sistema de fallas Magallanes-Fagnano, con continuidad hacia el este en la dorsal

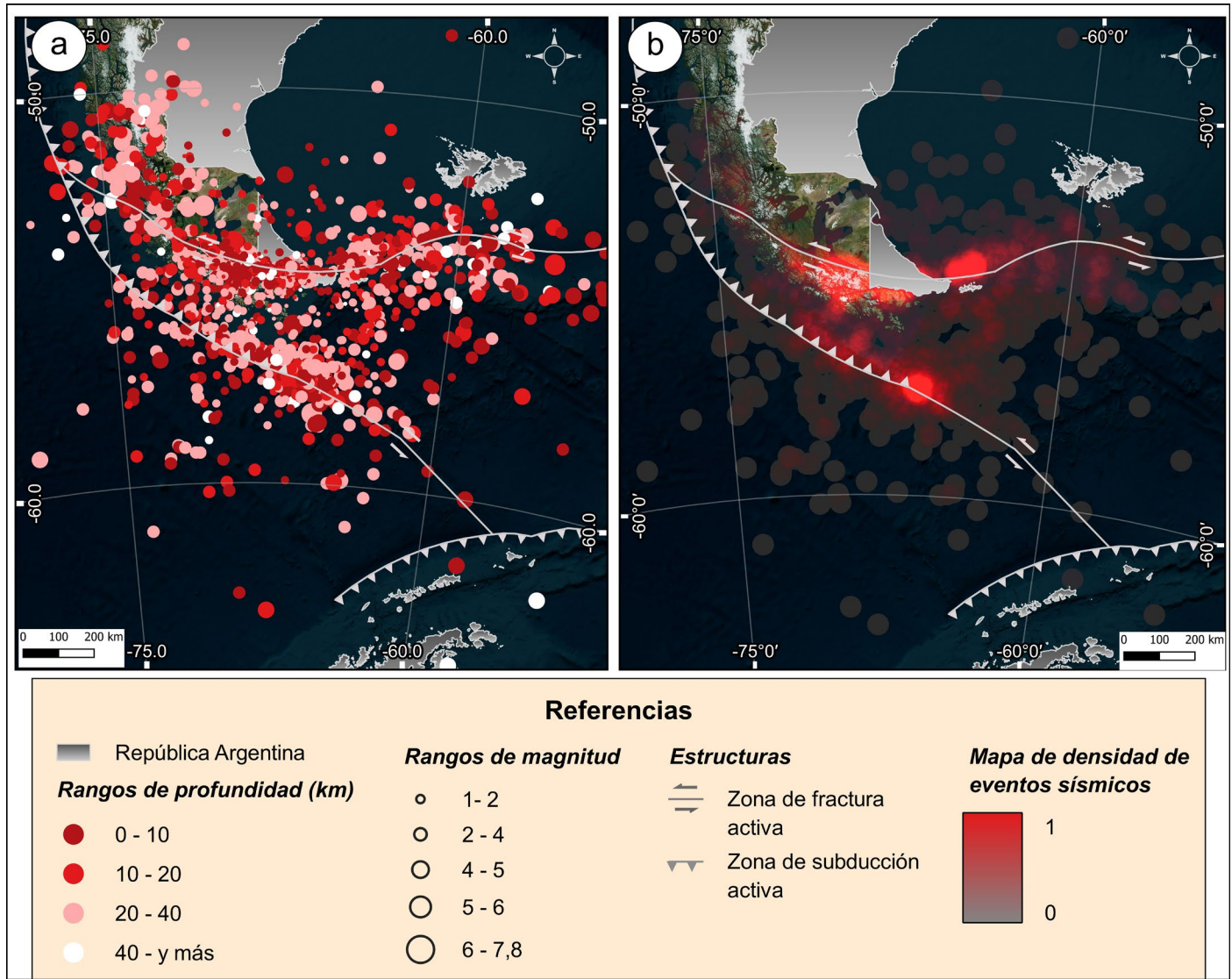


Figura 5. Compendio de la actividad sísmica. a. Registro de sismos realizado a partir de los datos de los catálogos sismológicos publicados por Sabbione et al., 2007, Sabbione et al., 2017, Connon et al., 2021. Estos catálogos compilan sismos registrados por la red sismológica de Tierra del Fuego operada por la Estación Astronómica Río Grande y la Red Sismológica Nacional de Chile durante el período 1999 -2020 así como sismos históricos reportados. b. Mapa de calor, se construyó a partir de la distancia media esperada entre cada punto (sismo), que resultó en 30 km. Se observa la mayor densidad de sismos asociados a los límites de placa.

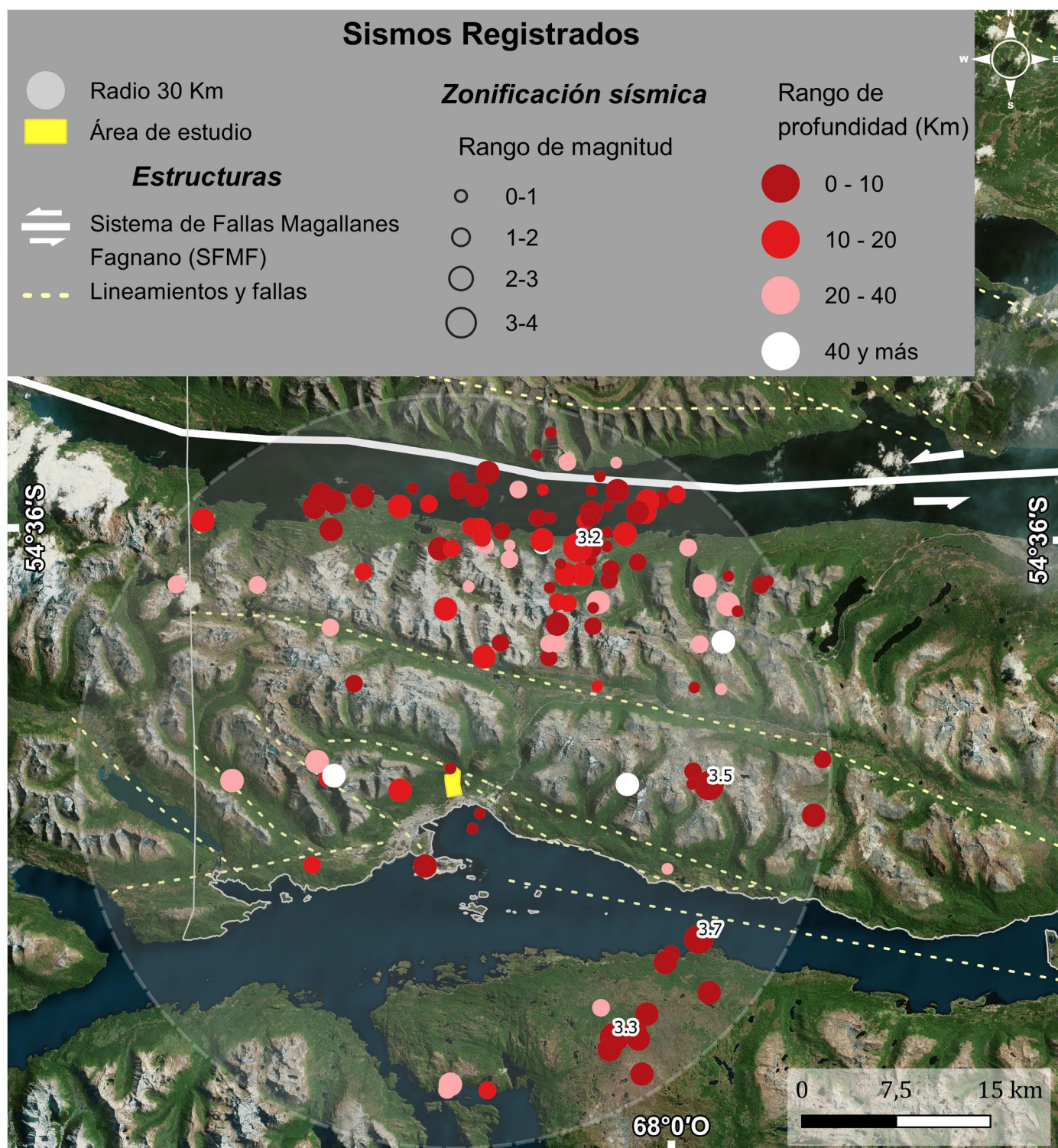


Figura 6. Mapa de sismos registrados a 30 km de radio desde el área de estudio. El mapa se construyó a partir del catálogo de sismos registrados por la red sismológica de Tierra del Fuego operada por la Estación Astronómica Río Grande y la Red Sismológica Nacional de Chile durante el período 1999 -2020 y sismos históricos reportados (Sabbione et al., 2007; Sabbione et al., 2017; Connon et al., 2021). Las estructuras se tomaron de Bran et al., (2018) y Cao (2019). Se indica magnitud (tamaño) y profundidad (color).

norte del Scotia, se han registrado un total de 1131 sismos, con un promedio de magnitud $M=2.2$ y profundidad media de 15 km. Los eventos sísmicos con magnitud mayor o igual a 4, suman un total de 94, incluyendo los terremotos históricos

más intensos conocidos en la zona, como el del año 1949 con magnitud de 7.8.

En un análisis más detallado y considerando que a distancias cortas la atenuación de ondas es menor, se creó una

circunferencia con un radio de 30 km con el área de estudio como centro (Fig. 6). Dentro de este radio se registraron 121 sismos, con una magnitud promedio de 1.7 y una profundidad media de 9 km. El evento de mayor magnitud ($M=3.7$) ocurrió el 13 de febrero de 1999, a 20 km de Ushuaia, sobre la costa sur del canal Beagle (Onashaga). En 2007 en el área de estudio se detectó un evento con magnitud de 0.6 y profundidad de 9 km. La figura muestra que la mayoría de los eventos se concentran al norte, cerca del SFMF, con magnitudes entre 0.2 y 3.7, y profundidades generalmente someras (77% menores a 20 km).

La comparación entre los sismos generados en el límite de placas convergente del pasaje de Drake (Mar de Hoces) y los registrados en el SFMF indica que, si bien los primeros alcanzan en promedio magnitudes mayores (media de 3.1), su lejanía respecto al área de estudio (160 a 300 km) atenúa su intensidad (Abascal et al., 2012). Un claro ejemplo de esto fue lo sucedido en relación con el sismo de magnitud 7.4 ocurrido el 2 de mayo de 2025 a una profundidad de 10 km (USGS, 2025) que, si bien fue percibido por mucha gente, no generó daños materiales en Ushuaia. Los eventos vinculados al SFMF son más frecuentes y de menor magnitud (media de 2.2), con cinco sismos superiores a magnitud 6 en tiempos históricos, a distancias menores (70 a 120 km). Estas características hacen que el SFMF sea la principal fuente de ondas sísmicas con mayor potencialidad de afectar a la ciudad de Ushuaia y, por lo tanto, al área de estudio.

Unidades geológicas

En el mapa geológico del área de estudio se representa la distribución de las unidades geológicas definidas a partir de antecedentes bibliográficos y observaciones de campo (Fig. 7). En el mismo puede observarse que las unidades cuaternarias predominan en el área de estudio y las rocas cretácicas están mayormente representadas en las laderas, donde las pendientes son mayores. A continuación, se describen las unidades geológicas identificadas.

Formación Yahgán (Cretácico Inferior): en el barrio Valle de Andorra y alrededores aflora en los cerros Dos Banderas, Alarkén, Esfinge y Cortéz (ver figura 1). A pesar de su amplia distribución, los afloramientos rocosos son relativamente escasos (Fig. 8a), ya que esta unidad geológica se encuentra predominantemente cubierta por sedimentos cuaternarios. En los afloramientos identificados las rocas se encuentran muy alteradas, siendo incluso deleznable en algunos casos. Se observan principalmente pizarras de color oscuro, que en ocasiones presentan un bandeamiento de origen sedimentario.

Till (Pleistoceno Tardío): se identificaron depósitos de

sedimentos gravosos matriz sostenidos, cuyos clastos son polimícticos, conformados por las litologías circundantes (rocas metamórficas, volcánicas y volcanoclásticas). Estos clastos, pobremente seleccionados, son subangulosos a subredondeados y presentan tamaños variables entre 2 y 50 cm, con una matriz arcillolimosa. La estructura interna de los conglomerados es predominantemente maciza. Los afloramientos identificados presentan características similares con una potencia generalmente no mayor a los 2 metros. En algunos de los afloramientos se distingue un estrato superior de entre 0.5 y 1 m de potencia, conformado por depósitos gravoarenosos, con moderada selección en contacto sobre el till mediante una base erosiva o neta y cubiertos por suelo y vegetación. Su origen se asocia a procesos coluviales generados por el retransporte predominantemente gravitacional de till y rocas (Fig. 8b).

En afloramientos ubicados en el sector sur oeste del área de estudio, se identificaron conglomerados clasto sostén, con una mayor proporción relativa de clastos respecto a la proporción de matriz, estratificación difusa y estructuras deformacionales. Estos sedimentos se asocian a depósitos de contacto con el hielo (kames) ligados espacialmente al till, aunque no se distinguen como una unidad diferenciable en el mapa geológico por su limitada distribución areal.

Depósitos glaciáluviales (Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano): consiste en un depósito de 4 m de potencia, con base cubierta, compuesto por sedimentos gravo-arenosos con estratificación planar, subhorizontal y difusa. Presenta clastos subredondeados de hasta 35 cm de diámetro con su eje mayor dispuesto en forma subhorizontal. Se identificaron clastos imbricados producto de su depositación en un medio acuoso presentando una distribución alineada con el valle e inferida a partir de su morfología planar (Fig. 8c). Se exponen en un afloramiento generado por extracción de áridos.

Depósitos glacialacustres (Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano): son sedimentos fangosos y laminados que se exponen parcialmente en zanjas, cortes y canaletas del barrio Valle de Andorra. Mediante 3 sondeos de hasta 3,5 m de profundidad (Fig. 8d) se reconocieron predominantemente sedimentos limoarcillosos de color gris azulado, de textura fangosa y laminada, con alta saturación hídrica y evidencias de procesos hidromórficos como motas oscuras asociadas a óxidos de manganeso y gleyzación. Presentan intercalaciones rítmicas de arena fina, indicativas de variaciones en la dinámica de sedimentación. En superficie, los primeros centímetros están constituidos por suelo orgánico oscuro, compacto y con abundantes raíces. La zona se caracteriza por una topografía plana con pendiente suave, y nivel freático próximo a la superficie.

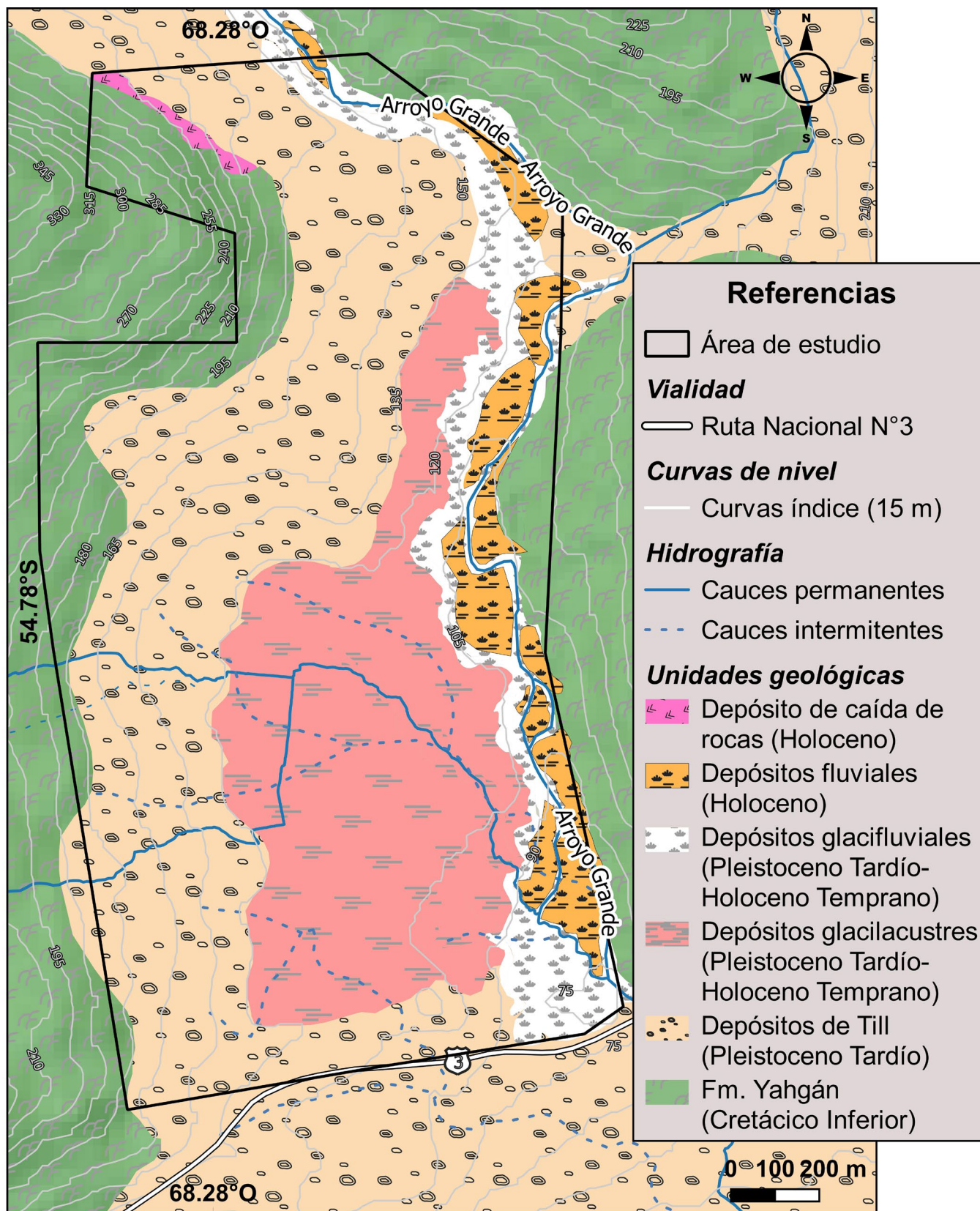


Figura 7. Mapa geológico del área de estudio (modificado de Compan, 2024).

Depósito de rocas caídas (Holoceno): son depósitos producidos por procesos de remoción en masa donde se observan bloques de hasta 6 metros de diámetro, caídos al pie de una escarpa rocosa subvertical (90° aproximadamente) de la Fm. Yahgán. El talud conformado por los bloques caídos presenta una pendiente mayor a 15°. Se observa vegetación

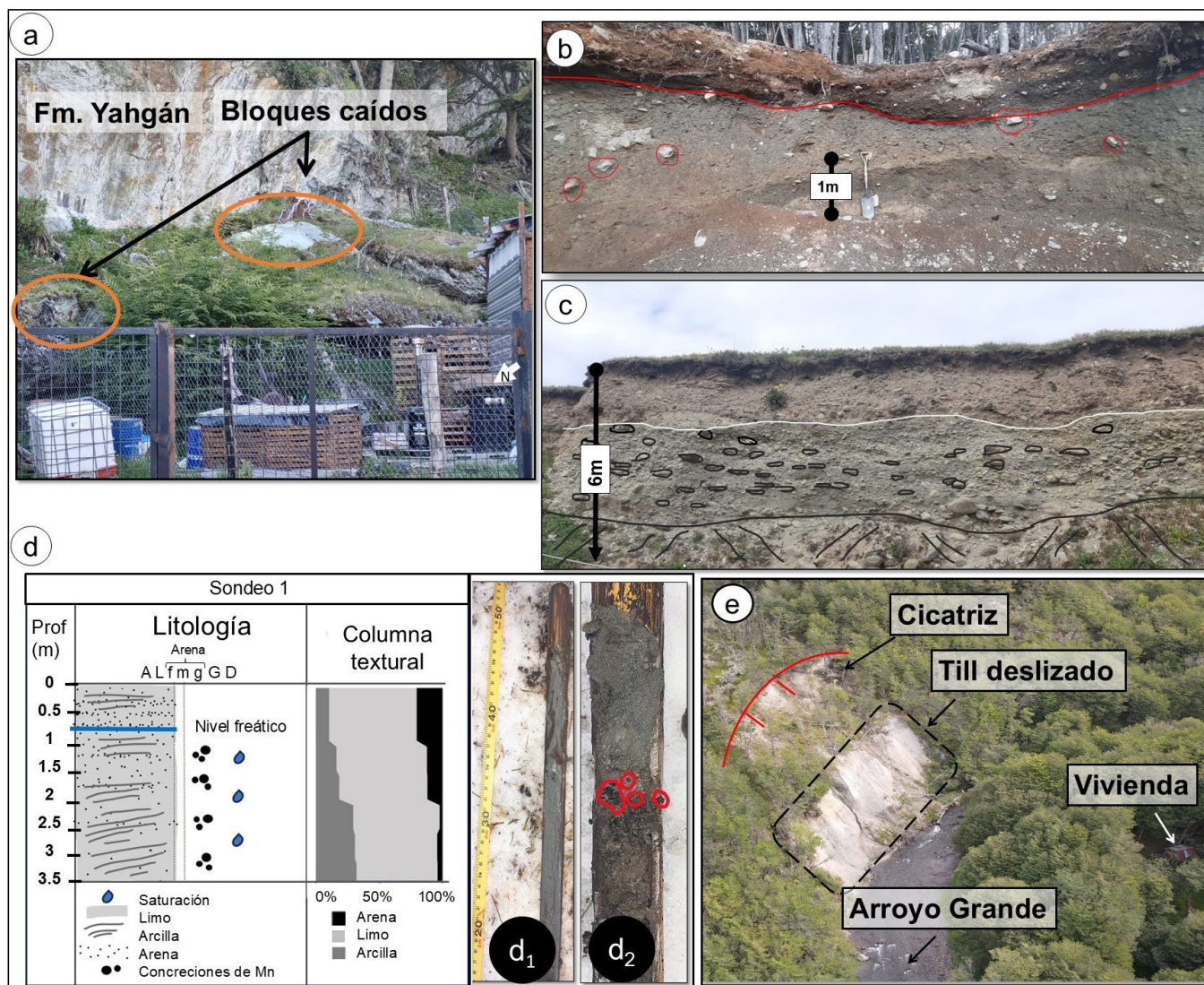


Figura 8. a. Bloques caídos de la Fm. Yahgán ubicados en proximidad de viviendas. Se observa la pendiente subvertical de la ladera rocosa y el desarrollo de vegetación. b. Afloramiento con depósitos de till, cubierto en contacto neto por depósitos coluviales. c. Afloramiento en la cantera de áridos ubicado en la entrada del barrio Valle de Andorra donde se observan sedimentos gravo-arenosos con estratificación planar, subhorizontal y difusa de origen glacifluvial cubiertos por relleno antrópico asociado a la ruta nacional N°3. La base se encuentra cubierta por derrubios y vegetación. d. Perfil litológico y textural obtenidos en el Sondeo 1 (Ver ubicación en la figura 1). A la derecha se muestran fotografías de los sedimentos extraídos: d1. limoarcillosos. d2. limoarenosos con nódulos de Mn. e. Escarpas sedimentarias en los márgenes del arroyo Grande con procesos de remoción en masa.

en la zona de arranque, cubriendo la cicatriz lo que sugiere que las caídas habrían ocurrido años antes del relevamiento de campo (Fig. 8a).

Depósitos fluviales (Holoceno): corresponden a los depósitos del arroyo Grande y a otros cursos de agua secundarios, conformados por gravas y arenas de origen fluvial, y a sedimentos limosos de planicie de inundación. Los clastos se caracterizan por tener morfología redondeada, con imbricaciones. Constituyen depósitos modernos (Holoceno) no consolidados.

Sondeos eléctricos verticales

A continuación, se expone un modelo geoelectrico bidi-

mensional del subsuelo realizado a partir de las observaciones geológicas de campo y los valores de resistividad aparente correspondientes a distintos tipos de rocas y sedimentos. La figura 9a presenta un perfil de resistividades aparentes (pa) que incluye información sobre la profundidad, espesor de las capas y valores de resistividad obtenidos. La Figura 9b exhibe la interpretación estratigráfica derivada de estos perfiles y de la información geológica de campo.

Mapa de Pendientes

La mayor parte del área de estudio (centro y noreste) presentan pendientes menores a 10°. Hacia el este en las zonas centro y sur las pendientes tienen valores entre 10° y 20°. Las

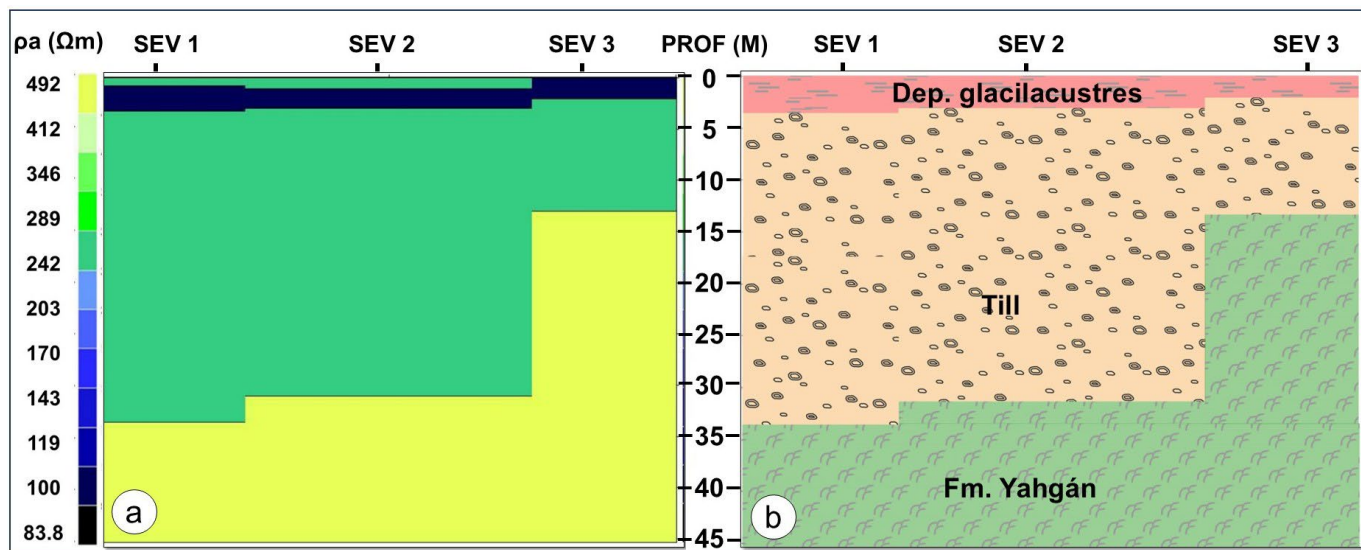


Figura 9. Correlación de los SEVs (ver su ubicación en Figura 1). a. Perfil elaborado con la correlación de los tres SEVs realizados. b. Interpretación estratigráfica.

mayores pendientes se ubican en el sector noroeste y oeste correspondientes a las laderas del Cerro dos banderas con valores entre 20° y 35°.

Unidades geomorfológicas

Las unidades geológicas descritas anteriormente y la morfología del relieve analizada mediante imágenes satelitales, modelos digitales de elevación del terreno y el mapa de pendientes permiten caracterizar las geoformas representadas en el siguiente mapa geomorfológico (Fig.11).

Planicie glacilacustre: esta planicie ocupa parte del fondo del valle labrado por acción glacial y se caracteriza por tener una topografía prácticamente plana (Fig. 10 y 11). Se produce debido a la decantación de sedimentos limo-arcillosos en una cuenca lacustre cercana al frente glacial y contenida por morenas.

Planicie glacialfluvial: constituye una planicie conformada por acumulación de depósitos provenientes del transporte hídrico del agua de fusión glacial (Fig. 11). Estos sistemas se caracterizan por ser sistemas fluviales entrelazados, multicanalizados y de gran energía, que se distribuyen al frente del glaciar y cubriendo la parte baja del valle glacial. Se identificaron depósitos de hasta 4 m de potencia compuestos por sedimentos gravo-arenosos con estratificación planar, subhorizontal y difusa (ver capítulo de Unidades geológicas).

Morenas indiferenciadas: se trata de colinas irregulares de varias decenas de metros distribuidas principalmente en el lateral oeste y al sur del valle glacial en estudio. Están conformadas por sedimentos glaciales, compuestos por bloques de tamaños variables, dispersos en una matriz limo-arcillosa. Están asociadas a relictos de morenas laterales y frontales

originadas tanto por los glaciares que drenaron por los valles de Andorra y del río Chico como por el glaciar Beagle (Coronato, 1990a). En ocasiones se encuentran parcialmente cubiertas por sedimentos coluviales o vinculadas espacial y estratigráficamente con depósitos de contacto con el hielo.

Ladera con reptación de suelos: superficies inclinadas, con pendientes entre 10° y 35°, que conectan sectores altos de las montañas circundantes con las unidades identificadas en la zona baja del valle. Están conformadas por detritos coluviales y presentan evidencias de reptación de suelos. Este proceso de remoción en masa lento queda evidenciado por la curvatura de los troncos de los árboles presentes en el lugar y un microrelieve en forma de montículos redondeados.

Escarpa rocosa: superficie con pendientes abruptas, subverticales (90° aproximadamente) con alturas que varían de los 8 a 10 metros asociadas con afloramientos rocosos. Al pie de estas laderas se observan rocas caídas de hasta 6 m de diámetro, lo que sugiere que la ladera ha sufrido procesos de remoción en masa (caída de rocas, ver fig. 7 y 8a).

Cárcavas: canales estrechos de 2 m hasta 3 m de ancho y poco profundos (de 1 a 2 m) labrados por acción erosiva del agua. La erosión en la base se produce debido a la presencia de canales fluviales que escurren en forma de arroyos estacionales tributarios del arroyo Grande. La erosión expone parcialmente los sedimentos subyacentes y genera un proceso de erosión retrocedente o retrogradante que amplía su red hidrográfica. El escurrimiento se encuentra activo durante las precipitaciones y durante el deshielo estacional.

Escarpa sedimentaria: laderas con pendientes abruptas que afectan sedimentos poco consolidados de origen glacial-fluvial y glacial. Están originadas por la combinación de pro-

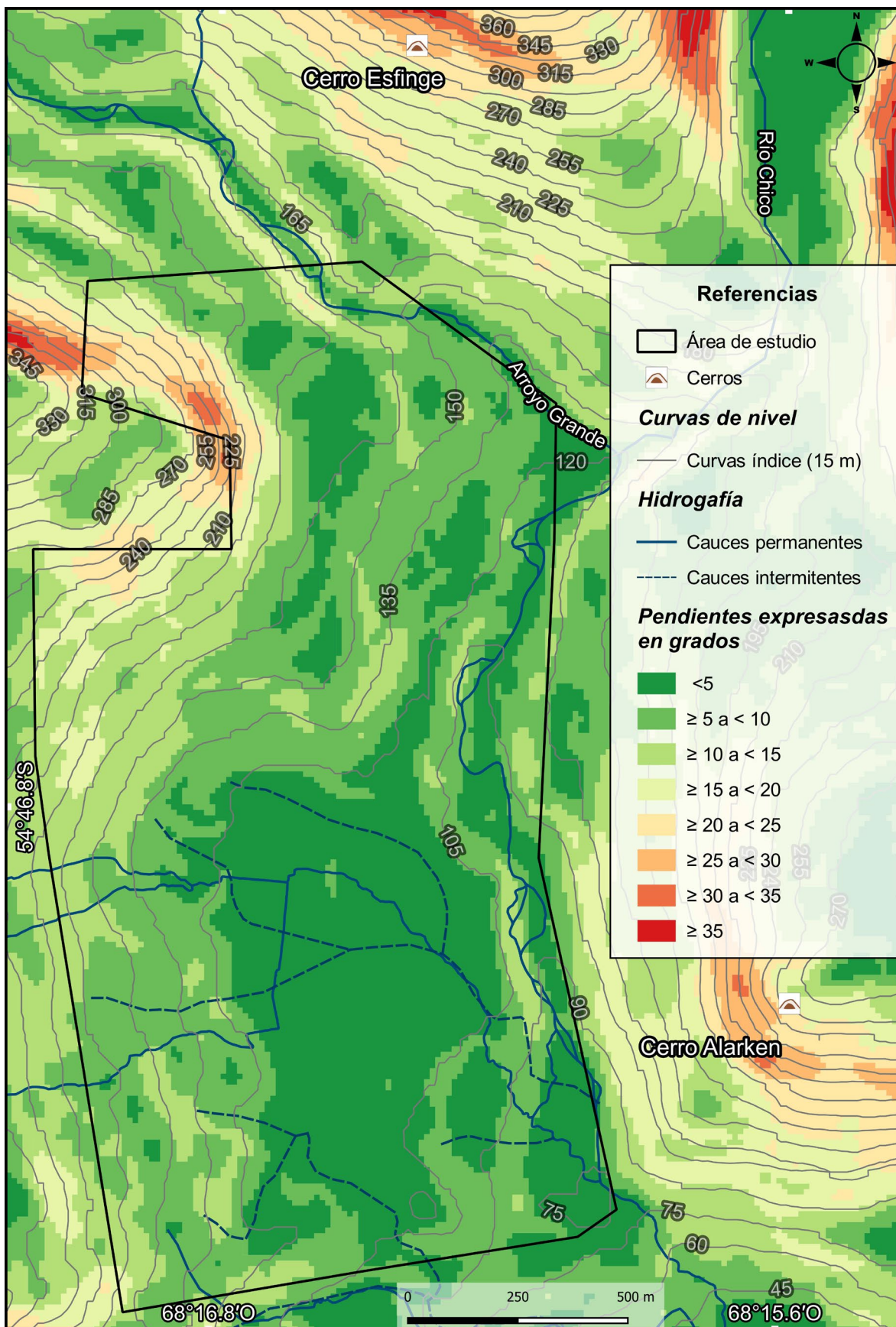


Figura 10. Mapa de pendientes del área de estudio y alrededores.

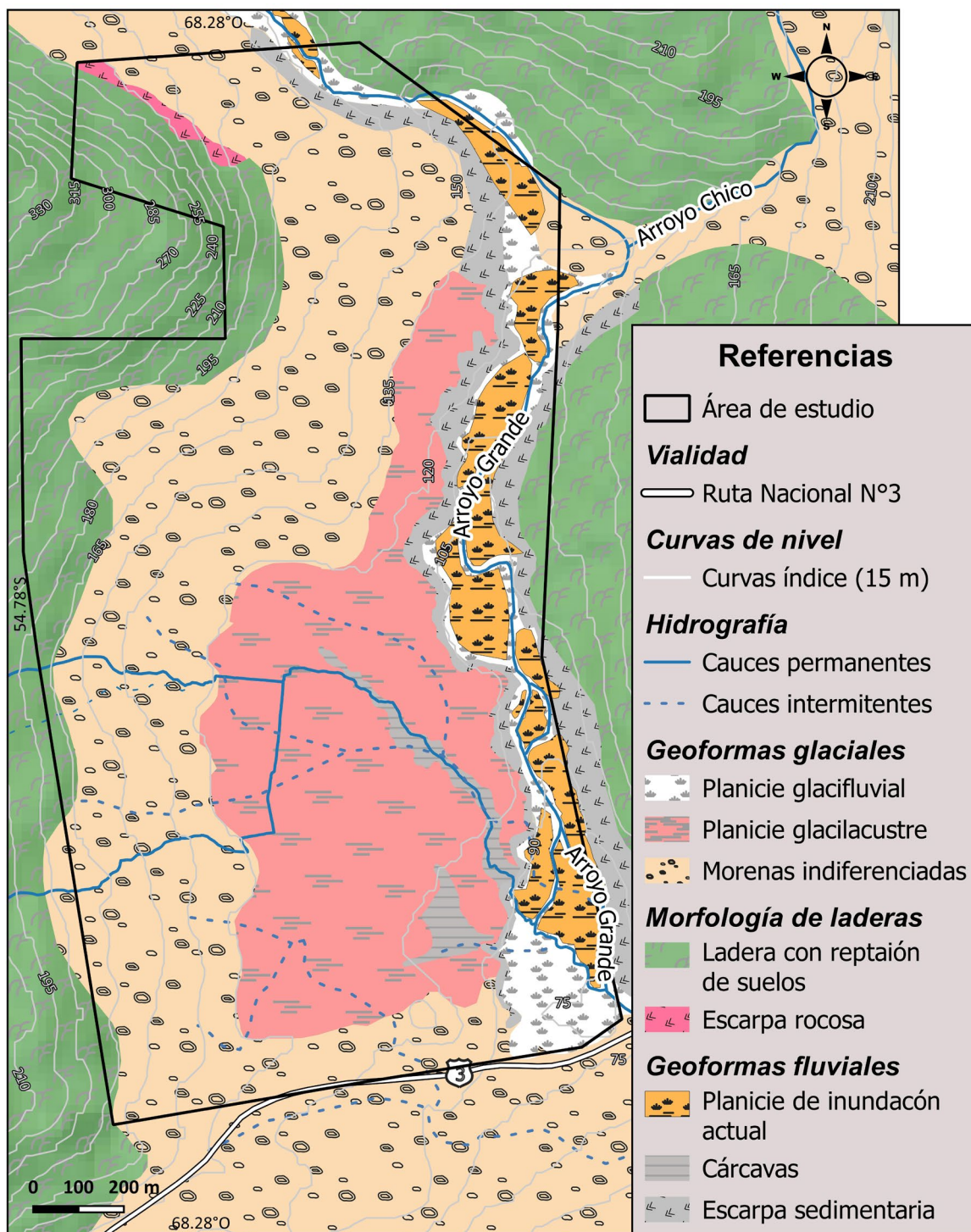


Figura 11. Mapa Geomorfológico del área de estudio.

cesos de erosión ﬂuvial generados por el cauce del arroyo Grande y de remoción en masa. Las pendientes identiﬁcadas se encuentran principalmente entre 15° y 30°, con desniveles de hasta 25 m (Fig. 8e y 11).

Planicie de inundación actual: zonas adyacentes al cauce del arroyo Grande inundables por desborde de los canales ﬂuviales. Los depósitos no consolidados de estas planicies de

inundación se encuentran asociados lateralmente a depósitos glaciales (ver ﬁgura 11). Se observaron morfologías asociadas a antiguas barras ﬂuviales vegetadas con pastizales.

Información edilicia

Se creó un inventario edilicio en el área de estudio representado en capas raster para cada categoría identiﬁcada

Tabla 3. Categorías edilicias relevadas.

Categorías	Valor	
Altura	Un piso	1
	2 pisos	2
	Más de 2 pisos	3
Tipo de fundación	Indiferenciado	0
	Losa	1
	Pilote	3
Materialidad del pilote	Hierro	1
	Hierro y madera	2.5
	Madera	3
Uso	Residencial	1
	Comercial	2
	Público	3

utilizando una valoración numérica (Tabla 3). Esto permite conocer la distribución espacial y, a su vez, las características principales de las construcciones.

La combinación de dicha valoración se emplea como insumo para la estimación de la exposición y vulnerabilidad. Se realizaron dos combinaciones de las capas de estas categorías mediante la herramienta “*calculadora raster*” de software *QGIS 3.18.1 Zürich* obteniendo como resultado, en cada caso, una única capa que contiene la suma correspondiente para cada píxel (Fig. 12). La sumatoria de las variables “uso” y “altura” edilicia muestra la existencia de una zona con valores máximos hacia el sureste, asociada principalmente a los edificios de uso público, y algunos sectores más aislados en la zona central y norte del área de estudio, con valores moderados y altos. En el caso de la segunda sumatoria, que incluye “tipo de fundación”, “materialidad el pilote” y “uso” la distribución es inversa. Los valores máximos se concentran en el sector noroeste, con la mayor densidad de casas construidas sobre pilotes, y al sureste con las construcciones fundadas en losa.

Categorización geotécnica de unidades geológicas

Se clasificaron las unidades geológicas del área de estudio según los datos de velocidades de onda de corte y valores de golpes de ensayos SPT tomados de BASSA (2022), así como de los criterios geológicos a partir de las observaciones de campo. Se definieron 4 categorías:

- Tipo 1 SB/Roca: Velocidad de ondas de corte de 793.8

(m/s), dato tomado del estudio de suelos para la construcción del acueducto, trazado Andorra por BASSA constructora (2022), a pedido de la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios (D.P.O.S.S). También, se tuvo en cuenta la clasificación de sitio (Tipo 1 SB) realizada por estudio privado de ingeniería Czelada (2021) en la urbanización del Monte Susana donde aflora la Fm. Yahgán (Cao, 2019).

- Tipo 2a SD/Till: Ensayos SPT en till sumergido en la bahía Ushuaia dieron valores de N entre 20 y el rechazo (más de 50 golpes para penetrar 30 cm; Instituto Superior de Recursos Hídricos 1998; FUNCOR 1997). Dato tomado de Abascal y González Bonorino (2014).

- Tipo 2b SD/Glaciálfluvial: ensayos CBR (California Bearing Ratio) relevados por la Dirección Nacional de Vialidad durante la construcción de la ruta nacional N° 3 (Dirección Nacional de Vialidad, 2004), en pozos de hasta 7 m de profundidad, dieron un valor medio CBR = 20 %, correspondiendo a una velocidad de corte $V_s = 200$ m/s, aproximadamente. Dato tomado de Abascal y González Bonorino (2014).

- Tipo 3 SE/Glaciálacustre: Ensayos SPT, dieron una media de $N=20$ para el suelo somero. Tomado del estudio de suelos para la construcción del acueducto, (sector Andorra) por BASSA constructora (2022). Se realizaron 17 calicatas en las que clasifica al suelo como arcillas de baja plasticidad.

Se decidió la subdivisión del sitio tipo 2 en a y b debido a las diferentes texturas entre los depósitos glaciálfluviales y el till.

Zonificación de la amenaza

En la tabla 4 se indica la clasificación de sitio y los valores asignados. La tabla 5 indica los valores en porcentajes de la suma matricial entre el tipo de sustrato y las pendientes.

Los valores presentados en la Tabla 6 se agrupan según

Tabla 4. Clasificación de sitio y pendientes.

	Unidad geológica	Tipo de sitio	Valor
Sustrato (60%)	Fm. Yahgán	Tipo 1/ SB Roca	15%
	Till	Tipo 2a /SD Suelo firme	25%
	Glaciálfluvial	Tipo 2b/ SD Suelo transición	30%
	Glaciálacustre	Tipo 3 SE/ Suelo Blando	60%
Pendientes (40%)	<5°		5%
	≥ 5° a <10°		10%
	≥10° a <15°		20%
	≥15° a <20°		25%
	≥20° a <25°		30%
	≥25° a <30°		35%
	≥30°		40%

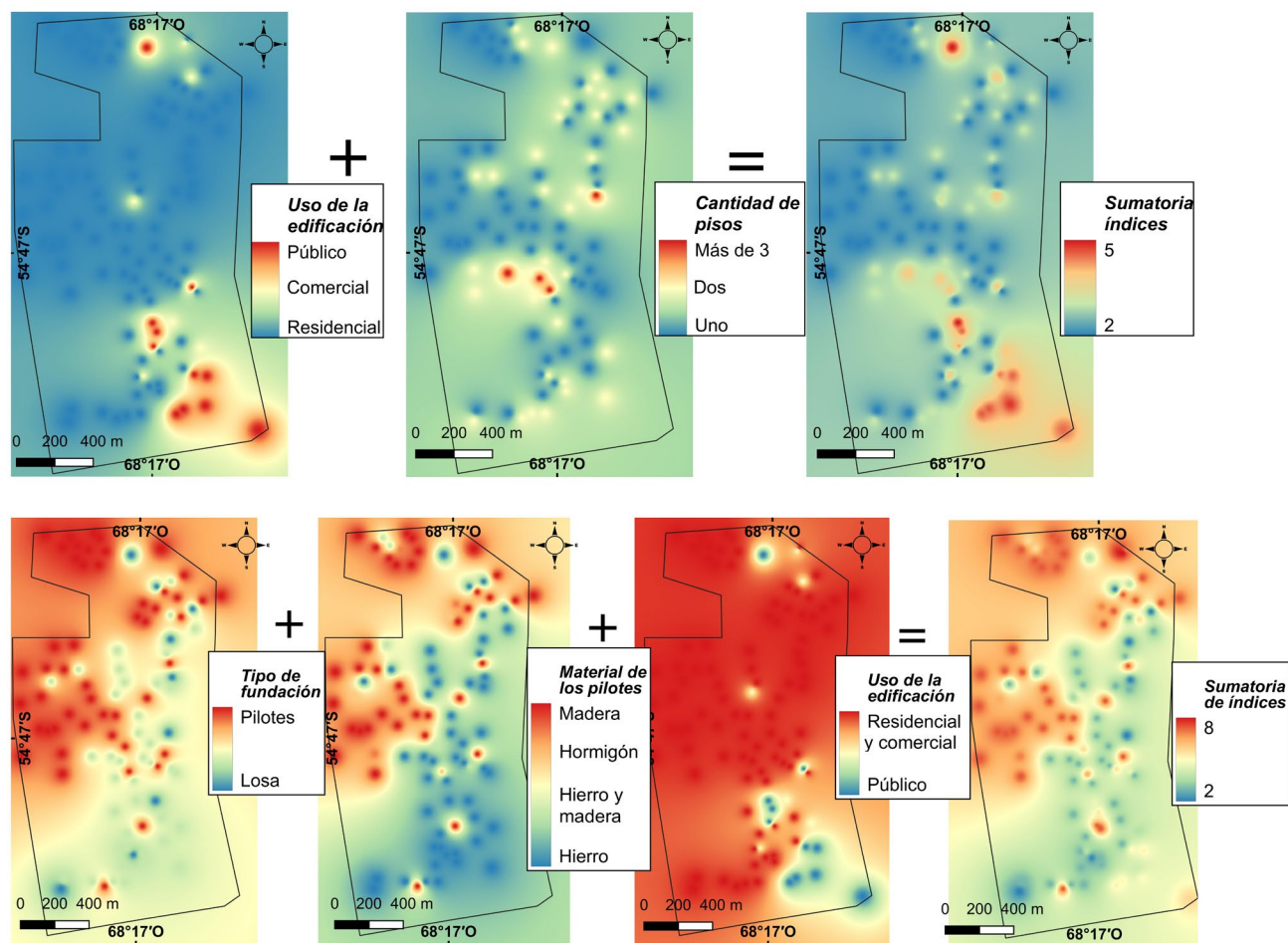


Figura 12. Distribución espacial de los Índices edilicios. Se realizaron dos combinaciones de distintas características edilicias del área de estudio mostrando en ambos casos una tendencia en la distribución espacial de los valores, los cuales constituyen un insumo importante para cartografiar la exposición y la vulnerabilidad. (Valores más altos, en color rojo indican mayor exposición/vulnerabilidad).

el grado de amenaza sísmica. El mapa de amenaza sísmica resulta entonces de la interacción entre estos dos índices (Fig. 13). En primer lugar, el tipo de sustrato desempeña un papel crucial, ya que su comportamiento geotécnico frente a un sismo puede duplicar la intensidad del evento sísmico, generando zonas de amenaza sísmica alta y muy alta en sectores con sedimentos glacialacustres. Por otro lado, las pendientes son un factor de importancia debido a la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa (caída de rocas, avalanchas, deslizamientos, etc.) desencadenados durante un evento sísmico, lo que queda representado en las escarpas circundantes al cauce del Arroyo Grande donde existe la posibilidad de generar el bloqueo del curso de agua que origine inundaciones, como efectos secundarios.

Zonificación de la exposición

La tabla 7 indica los valores y porcentajes de ponderación utilizados para cada categoría. Luego de una suma matricial (tabla 8) se definieron las categorías de la exposición (tabla 9).

La información queda representada en el mapa de exposición de la figura 14, donde se observa que los sectores con mayor exposición están concentrados en la zona de ingreso al barrio, ya que allí se encuentra el centro de salud (CAPS 9), el Polideportivo Municipal Héroes de Malvinas, la dependencia policial (Comisaría 5ta Cabo Román) y la sede barrial del Centro de Oficios de Andorra Pequeños Pasos. Además, la avenida E.N. Locharich también constituye una zona de muy alta exposición debido a que es la vía principal de acceso al barrio Valle de Andorra.

En los sectores con valores de exposición alto y moderado predominan las viviendas particulares. Gran parte del área de estudio queda categorizada como de baja exposición, esto son los espacios cubiertos por bosque, pastizales y turberas, circundantes a las viviendas. Si bien presentan tránsito ocasional de personas, su exposición es significativamente más baja debido a que no permanecen por tiempos prolongados ni pernoctan en el lugar.

Por otra parte, el costo monetario por daños edilicios se es-

Tabla 5. Valores obtenidos a partir de la intersección entre tipo de sustrato y pendientes.

Pendientes/ sustrato	Roca	Suelo firme	Suelo transición	Suelo Blando
≤5	20%	30%	35%	65%
≥ 5 a <10	25%	35%	40%	70%
≥10 a <15	35%	45%	50%	80%
≥15 a <20	40%	50%	55%	85%
≥20 a <25	45%	55%	60%	90%
≥25 a <30	50%	60%	65%	95%
≥30	55%	65%	70%	100 %

Tabla 6. Estimación de la amenaza.

Grado	Categorías de amenaza	Características
Bajo	≤ 35%	Son los sectores correspondientes a sitios Tipo 1SB /Roca y pendientes <15°; Tipo 2a SD/ Till con pendientes <10°; Tipo 2b SD/ Glacifluvial con pendientes <5°
Moderado	>35% a ≤50%	Se incluyen sitios Tipo 1/ SB Roca y pendientes ≥15° a <20°; Tipo 2a SD/ Till con pendientes entre ≥10° a <15°; Tipo 2b SD/ Glacifluvial con pendientes ≥20° a <25°.
Alto	>50% a ≤70%	Sectores correspondientes al sitio Tipo 3 SE/ Glacilacustres con velocidades de corte bajas ≤ 180 m/s que interceptan pendientes <5°. También una pequeña área en el sector norte, donde el sitio Tipo 2b SD/Glacifluvial intercepta pendientes ≥20° a <25°
Muy alto	>70%	Sectores correspondientes al sitio Tipo 3 SE/Glacilacustres con velocidades de corte bajas ≤ 180 m/s que interceptan pendientes ≥5° a <10°.

timó en base a la superficie cubierta. La valoración monetaria se basó en el índice UVI (Unidades de Vivienda), obtenido del sitio web del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos (Familia y Vivienda). Este índice se utiliza a nivel gubernamental para estimar el metro cuadrado construido. Al 23/11/2023, el precio del UVI es de 370.22 pesos. La provincia de Tierra del Fuego utiliza este índice en sus licitaciones. Se tomó como referencia el precio del metro cuadrado en UVIs, publicado por el IPV en marzo de 2023 para la obra 'PROGRAMA CASA PROPIA - 32 VIVIENDAS', que asciende a 1806.68 UVIs. El cálculo del área de la superficie urbanizada corresponde a 0.629 km² con una población de 1300 personas (Fank, 2021). Los costos expuestos ascienden por m² a 668869.07 pesos, con una estimación para la superficie construida de 4.2 X 10¹¹ pesos argentinos.

Zonificación de la vulnerabilidad

Se realizó una suma matricial de acuerdo con la ponderación y valoración dada (tabla 10), posteriormente, se definieron las categorías de vulnerabilidad (tabla 11).

Tabla 7. Clasificación de uso y altura.

		Valor
Uso (70%)	Residencial	40%
	Comercial	60%
	Público / Vía de acceso	70%
Cantidad de pisos (30%)	1	20%
	2	25%
	3 o más	30%

Tabla 8. Valores obtenidos a partir de la intersección entre tipo de uso y altura.

Cantidad de pisos/Uso	Residencial	Comercial	Público
1	60%	80%	90%
2	65%	85%	95%
3 o más	70%	90%	100%

Tabla 9. Estimación de la exposición.

Grado	Categorías	Características
Bajo	0 %	Son las áreas con coberturas boscosas, pastizales y turberas que no presentan edificaciones.
Moderado	≤ 65%	Son los inmuebles residenciales que no superan los 2 pisos.
Alto	>65% a ≤85%	Son las residencias que superan los 3 pisos y comercios. También, incluye el tramo de la vía de acceso principal salida del barrio.
Muy alto	>85%	Son las construcciones públicas destinadas a albergar mayor cantidad de población. También, incluye el tramo de la vía de acceso principal más alejada a la salida del barrio.

La información queda representada en el mapa de vulnerabilidad de la figura 15. Los resultados obtenidos muestran que los sectores más vulnerables del barrio valle de Andorra se encuentran al norte y noroeste, en zonas donde se concentran los asentamientos informales en las márgenes periféricas del barrio.

Zonificación del riesgo

El mapa de riesgo sísmico del barrio Valle de Andorra surge de la interacción entre los tres factores previamente analizados: amenaza, exposición y vulnerabilidad (Fig. 16) a partir de los cuales se definen cuatro categorías en función de los porcentajes que se muestran en la tabla 12.

Se definieron 4 categorías de riesgo sísmico: bajo, moderado, alto y muy alto grado. Los resultados indican que el 5.53% de la superficie total del barrio Valle de Andorra se clasifica como de bajo grado, mientras que el 89% se distribuye entre las categorías de grado moderado y alto (47.5% y 41.5% respectivamente). La mayor concentración de hogares se en-

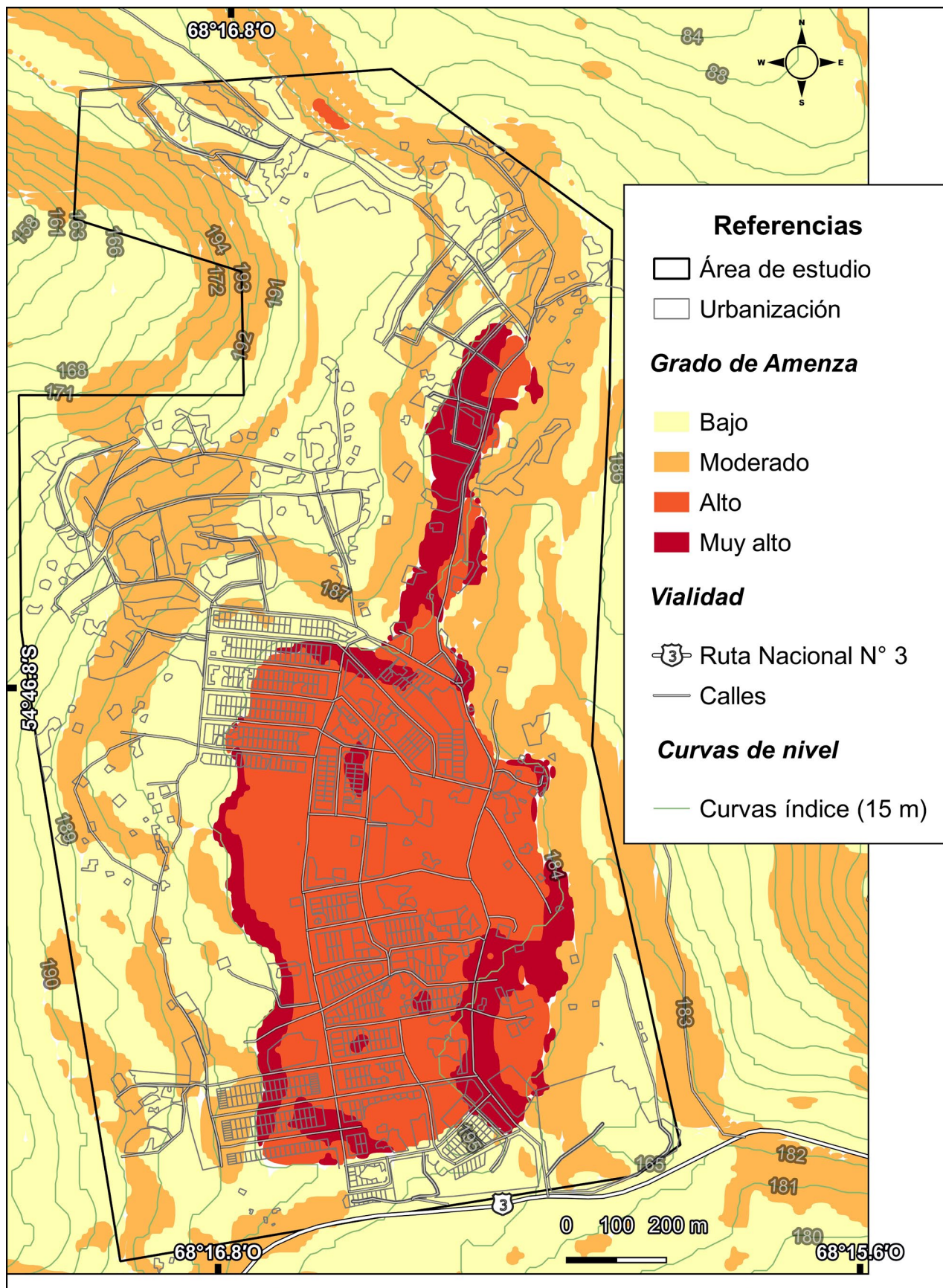


Figura 13. Mapa de amenaza sísmica del barrio Valle de Andorra.

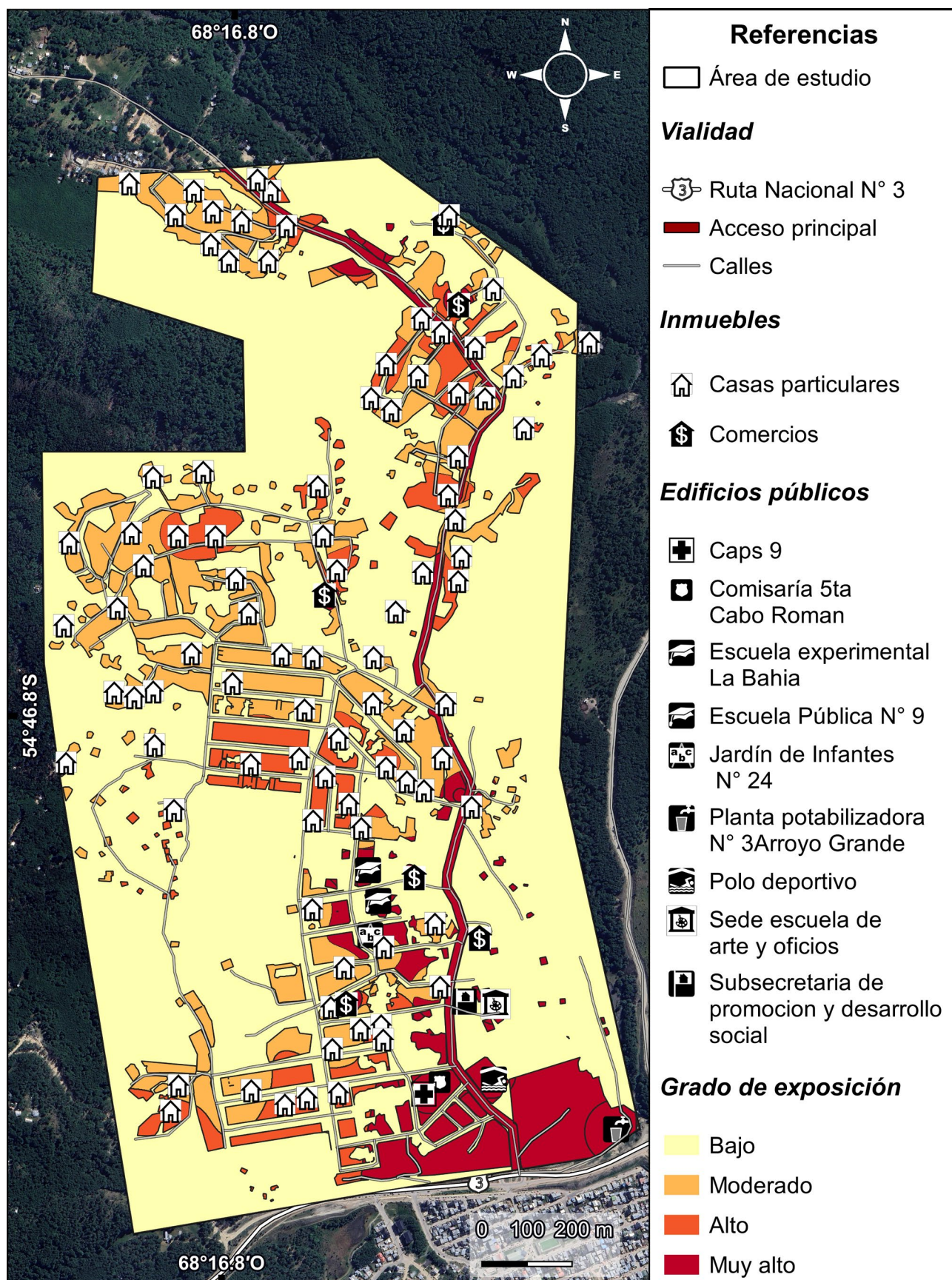


Figura 14. Mapa de exposición sísmica del barrio Valle de Andorra.

Tabla 10. Clasificación de indicadores edificios y ponderación porcentual para obtener valores de vulnerabilidad urbana.

			Valor	
33.33%	Tipo de fundación		Indiferenciado	0
			Losa	25%
			Pilote	50%
50%	33.33%	Material del pilote	Hierro	10%
			Hormigón	15%
			Hierro y madera	25%
			Madera	50%
33.33%	Uso		Residencial	50%
			Público	20%
50%	Fank, 2021		Medio Bajo	25%
			Medio Alto	35%
			Alto	50%

Tabla 11. Estimación de la vulnerabilidad.

Grado	Categorías	Características
Bajo	≤45%	Se reduce a pequeñas áreas que involucran edificios públicos
Moderado	> 45% a ≤ 65%	Son áreas de interacción de vulnerabilidad urbana media baja en áreas con edificios públicos y casas con fundaciones de losa o pilotes de hormigón
Alto	> 65 % a < 85%	Son áreas de interacción entre la vulnerabilidad urbana alta y viviendas residenciales construidas sobre losa, pilotes de hierro u hormigón, o hierro y madera.
Muy alto	≥85%	Son áreas con registro de condiciones socioeconómicas desfavorables y edificaciones residenciales construidas sobre pilotes de madera

cuentra en la categoría de grado moderado, mientras que los edificios públicos como las dos escuelas y el Centro de Atención Primaria de la Salud (CAPS) están ubicados en la categoría de grado alto. Además, el polideportivo, la comisaría, el jardín de infantes, la subsecretaría de promoción y desarrollo, y el centro de oficios, se encuentran restringidos al área de grado muy alto que representa el 5.39% del barrio.

DISCUSIÓN

En la Isla Grande de Tierra del Fuego y asociado al borde entre las Placas Sudamericana y Scotia se estima que hay un 30% de probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud mayor a 6 en los próximos 50 años y la probabilidad de que no ocurra ningún terremoto en este período es menor al 10% (Abascal y González Bonorino, 2014). Esta problemática reviste un interés significativo considerando el creci-

Tabla 12. Categorías del riesgo sísmico generadas para el barrio Valle de Andorra.

Grado	Categorías	Características
Bajo	≤50%	Áreas con depósitos de till y baja pendiente (<10°), donde los niveles de exposición y vulnerabilidad son bajos a moderados.
Moderado	> 50% a ≤ 60%	Áreas con depósitos glaciocastres, glaciifluvial y till con pendientes menores a <15°, donde los niveles de exposición y vulnerabilidad son bajos a moderados.
Alto	> 60% a < 70%	Áreas con depósitos glaciocastres con pendientes bajas a escarpadas, donde los niveles de exposición son altos y la vulnerabilidad varía de moderada a alta.
Muy alto	≥70%	Áreas con suelos blandos con potencial amplificación de ondas sísmicas, con pendientes suaves a escarpadas, donde los niveles de exposición son muy altos y la vulnerabilidad varía de alta a muy alta.

miento demográfico que experimenta la isla, acompañado por el desarrollo de nuevos asentamientos urbanos, caminos e infraestructura (Fank 2021; IPAIEC, 2022).

En el análisis de la sismicidad realizado por Abascal y González Bonorino (2014), los autores proponen una nueva zonificación de peligrosidad sísmica para la Isla Grande de Tierra del Fuego, basada en el modelo sismotectónico del SFMF, en contraste con el modelo adoptado por el INPRES (2013), basado en el margen convergente que bordea Chile y asociado a la subducción de la placa Antártica bajo la placa de Scotia. En este contexto, los resultados de la evaluación comparativa entre los eventos sísmicos en las dos zonas sismotectónicas, a partir del catálogo de sismos recopilado en base a los trabajos de Sabbione et al., (2007), Mendoza et al., (2015), Sabbione et al., (2017), Sandoval y De Pascale (2020) y Connon et al., (2021) confirmaron que la principal fuente sismogénica para el área de estudio es el SFMF, incluyendo los sismos históricos de mayor magnitud. Los eventos sísmicos producidos en el límite de placas convergente que se proyecta hacia el pasaje de Drake (Mar de Hoces), aunque presentan en promedio una mayor magnitud, su intensidad se atenúa debido a la distancia de los epicentros al área de estudio (Abascal et al., 2012; Abascal y Bonorino 2014). En contraposición, los sismos asociados al SFMF son más frecuentes y de menor magnitud, con algunos eventos pico en tiempos históricos superiores a 6. En el análisis detallado de los sismos registrados en un radio de 30 km con centro en el área de estudio (ver figura 6) se observa claramente que la mayoría de los sismos se localizan hacia el norte del área

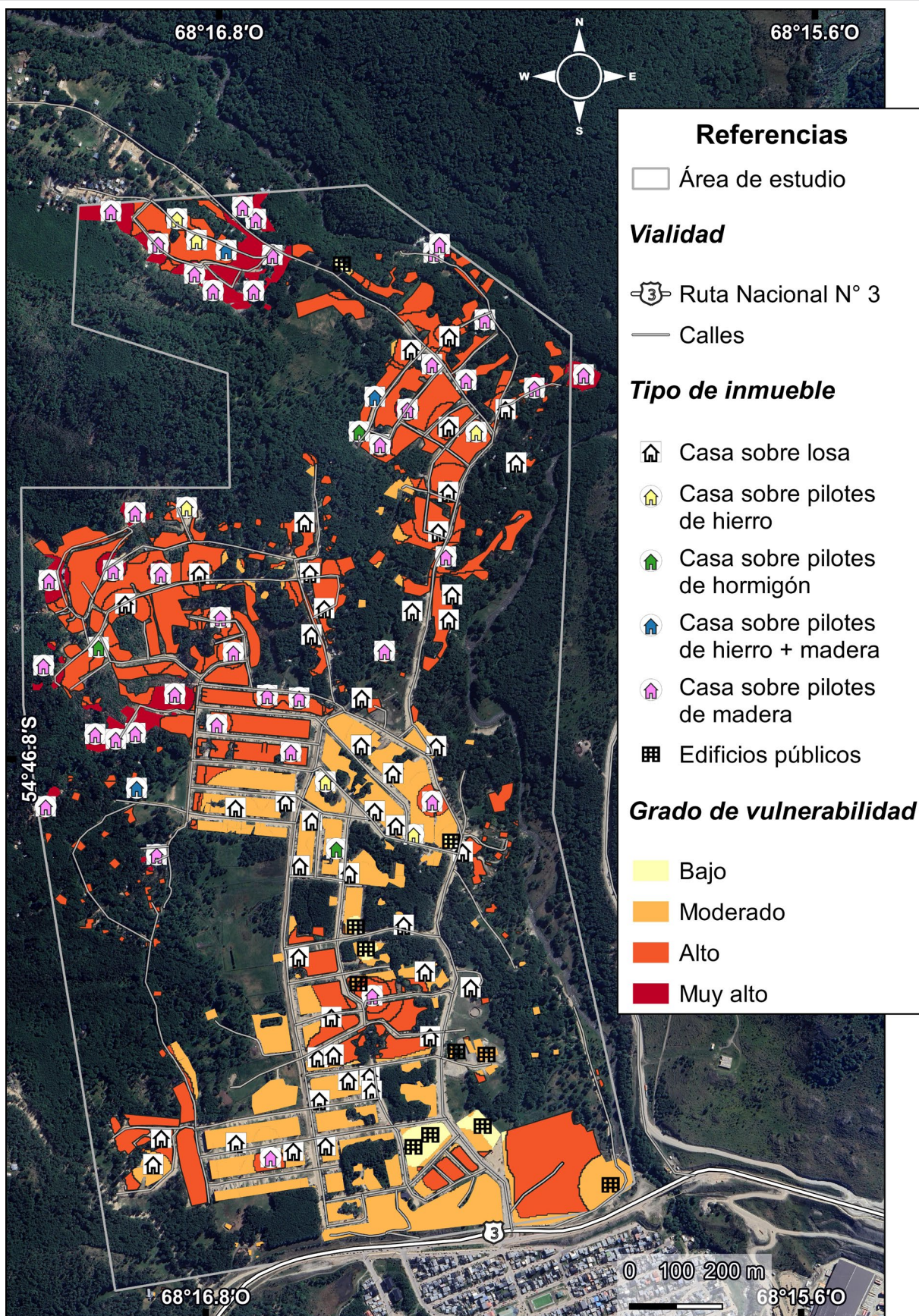


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad física y socioeconómica del barrio Valle de Andorra.

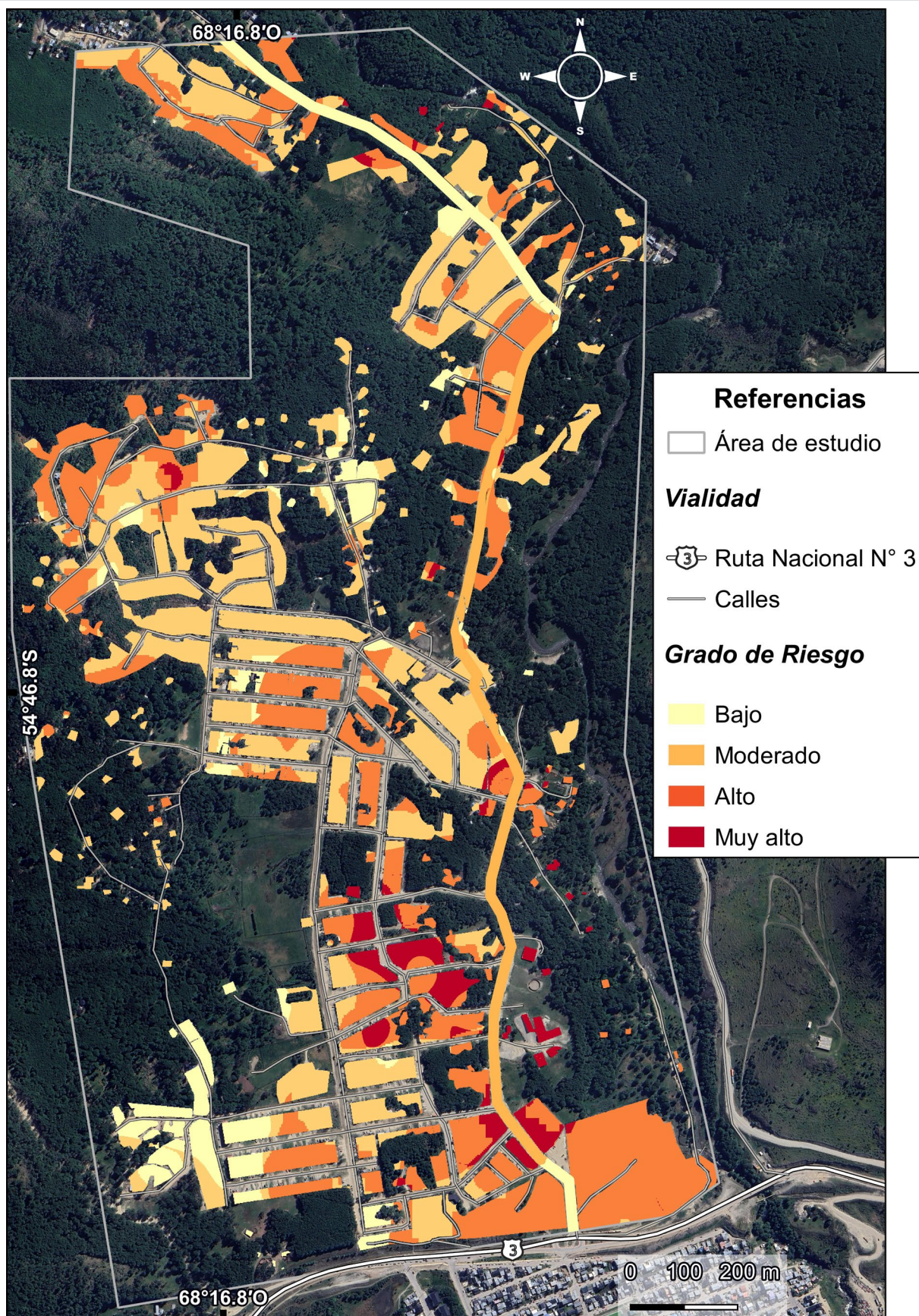


Figura 16. Mapa del riesgo sísmico del barrio Valle de Andorra.

de estudio, asociados a SFMF. Sin embargo, también se observan sismos asociados a los valles tectónicos incluyendo al menos 1 sismo en el área de estudio, dando indicios de la actividad de estas fallas (ver figura 6). Bran et al. (2023) sugieren que tanto el sistema de fallas del Canal Beagle (SFCB) como la zona de falla Lapataia (ZFL), participan en el acomodo de la deformación del movimiento relativo entre las placas de Scotia y Sudamericana junto con el SFMF. Esta situación requiere estudios más detallados en los valles tectónicos y su actividad, debido a la cercanía de esta posible fuente sismogénica.

En relación con la identificación y distribución de unidades geológicas y geomorfológicas en el área de estudio, Coronato (1990b) desarrolló un modelo de englazamiento del Pleistoceno Tardío para los glaciares tributarios al actual Canal Beagle (Onashaga) junto con una descripción detallada de las unidades geomorfológicas. La autora identificó hacia el norte del área de estudio, depósitos glacialacustres provenientes del aporte del glaciar Andorra y Chico, y para el centro del área define depósitos de till basal provenientes del Glaciar Beagle que fueron reconocidos, descriptos y cartografiados detalladamente en este trabajo (ver fig. 7, 8 y 9). Se corroboró con precisión mediante calicatas, afloramientos, sondeos mecánicos y SEV la distribución de los depósitos de origen glacialacustre, con aproximadamente 3 m espesor y dispuestos sobre una capa de till de espesor variable entre 15 y 34 m (ver fig. 9). La profundización en el estudio de la distribución de estas unidades respecto a los trabajos previos de Coronato (1990a), son relevantes para el análisis del comportamiento geotécnico, ya que el till basal ($V = 180$ a 360 m/s – suelo firme) y los depósitos glacialacustres ($V < 180$ m/s - suelo blando), responden a diferentes categorías de sitio, donde las velocidades de corte menores tienen menor capacidad de resistir a la deformación (p. ej. Quinde Martínez, 2016; Zavala et al., 2020; Cesen Urresta, 2022). Es por lo dicho que el efecto de sitio es uno de los factores cruciales en el análisis de la amenaza sísmica (Familiar e Idriss 2002, Sanchez-Sesma y D'Ayala 2009, Buffa y Vázquez 2014).

La topografía irregular que caracteriza la zona del barrio Valle de Andorra, motivó que se considere la pendiente en la zonificación de la amenaza sísmica, ya que, además de las sacudidas y rupturas de suelos, los sismos pueden desencadenar procesos de remoción en masa, siendo más críticos los sectores con mayores pendientes (Varnes, 1978, Hungr et al., 2014; entre otros). Estudios similares se han llevado a cabo en otras zonas urbanas afectadas por la actividad sísmica, como es el caso de Caracas (Venezuela), donde Hernandez et al., (2011) realizaron una microzonificación sísmica basada en el efecto de sitio y la topografía. Los procesos de remoción en

masa en los Andes Fueguinos han sido estudiados por diversos autores siendo la actividad sísmica uno de los principales desencadenantes junto a procesos meteorológicos (Iturraspe et al., 2007, Moreiras y Coronato 2010, Abascal y González Bonorino 2015, Montes et al., 2025). En el marco de este trabajo, se describieron depósitos de caída de rocas, que podrían haberse desencadenado por actividad sísmica. En las laderas boscosas se reconocieron evidencias de reptación de suelos, cuyos detritos poco consolidados, frente a un sismo, podrían movilizarse súbitamente mediante otros procesos de remoción en masa tales como deslizamientos, flujos o avalanchas de detritos (Varnes 1978, Hungr et al., 2014). A su vez, los deslizamientos y caída de detritos asociados a las escarpas generadas en los márgenes del arroyo Grande están asociados a la acción fluvial erosiva, aunque no se descarta que la actividad sísmica los reactive debido a su pronunciada e inestable pendiente. Como resultado de la incorporación de este factor, los sectores identificados como escarpas sedimentarias, escarpas rocosas (ver figs. 7 y 8e) y otros sectores con pendientes abruptas (ver fig. 11), constituyen las áreas de grado de amenaza moderado, alto y muy alto. Estos sectores, sin embargo, son susceptibles a la generación de procesos de remoción en masa debido a múltiples desencadenantes, ya que además de los sismos, pueden originarse por erosión fluvial y factores climáticos (e.g. precipitaciones abundantes de nieve y agua; congelamiento y descongelamiento de agua alojada en poros y grietas; Montes et al. 2025). Tal como describe Cotelo (2019) en el análisis del riesgo por eventos de remoción en masa, cabe aclarar que las áreas definidas para estas unidades son susceptibles a cambios en la zonificación, debido a las modificaciones antrópicas que puedan realizarse en la zona de estudio. El mapa de amenaza sísmica (Fig. 13) resulta entonces de la interacción entre estos dos índices. En primer lugar, el tipo de sustrato desempeña un papel crucial, ya que su comportamiento geotécnico frente a un sismo puede duplicar la intensidad del evento sísmico, tal como describen Abascal y Bonorino (2014), generando zonas de amenaza sísmica alta y muy alta en sectores con sedimentos glacialacustres. Por otro lado, las pendientes son un factor de importancia debido a la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa desencadenados durante un evento sísmico (Abascal y Bonorino 2015; Montes et al. 2025), lo que queda representado en las escarpas circundantes al cauce del Arroyo Grande donde, además, existe la posibilidad de que los detritos deslizados generen el bloqueo del curso de agua ocasionando inundaciones, como efecto secundario.

Los resultados de la estimación de exposición en el área de estudio muestran que los valores más altos se concentran en los edificios públicos ubicados en el ingreso al barrio, debi-

do a una mayor cantidad de personas que los frecuentan y a su ubicación en el acceso principal. Debe tenerse en cuenta que estos edificios reciben personas de toda la ciudad (como el Polideportivo Municipal Héroes de Malvinas o el Centro de Oficios de Andorra Pequeños Pasos). Tal como exponen Abascal y González Bonorino (2014), considerando las diferencias en el flujo de personas en distintos horarios del día, los niveles de exposición pueden variar.

En este mismo contexto, el estudio de vulnerabilidad socioeconómica en los asentamientos informales de Ushuaia realizado por Fank (2021), se basó en indicadores como los niveles de educación, acceso a la salud, equidad social y seguridad, entre otros. En su trabajo, la autora evidencia el rápido crecimiento de la población en el barrio Valle de Andorra hacia los sectores marginales, pasando de 114 personas en el año 2001 a 876 en el año 2010 y 1300 en 2020, identificando en este barrio el mayor grado de vulnerabilidad. La distribución espacial de zonas con mayor vulnerabilidad edilicia reconocidas por la autora coincide con las zonas consideradas en este trabajo, asociadas a construcciones sobre pilotes/troncos de madera no enterrados. Estas construcciones sugieren condiciones de fragilidad frente a los movimientos del sustrato generados durante un sismo y se ubican principalmente al pie de las laderas con mayor pendiente, situadas en los sectores norte y noroeste del área de estudio.

El estudio destinado a la reducción de la vulnerabilidad sísmica en Ushuaia realizado por Varela (2001) generó una zonificación de peligros múltiples en una primera instancia, que se representa cartográficamente a partir de cuatro categorías: construcciones no sismorresistentes, amenazas antrópicas, deslizamientos de suelos y licuefacción, esta última asociada a cimentaciones sobre turbales. Además, el autor elaboró un mapa de riesgo a partir de la zonificación de peligros múltiples combinada con las cartas de instalaciones críticas (redes de electricidad y gas) y la distribución de la población, clasificando en cuatro categorías: reducido, moderado, elevado y muy elevado. A pesar de la valiosa información mencionada, el barrio Valle de Andorra se encontraba en una etapa inicial de urbanización informal, por lo que el autor asignó la categoría de riesgo reducido. En este sentido, el presente estudio aporta información actualizada con respecto al trabajo mencionado.

El área con el mayor grado de riesgo sísmico está directamente asociada al sector de los depósitos glacialacustres. Esto coincide con los resultados que obtuvieron Abascal y González Bonorino (2014) para la ciudad de Tolhuin. Los valores máximos de aceleración en depósitos glacialacustres para un sismo de diseño con el epicentro lejano (120 km) podría alcanzar 0.13 g y para el epicentro cercano (30 km) 0.55 g;

ambos valores potencialmente dañinos. Los autores sugieren que la zonificación sísmica del INPRES para Tolhuin debería aumentarse a zona 4 de peligrosidad sísmica. En cuanto a Ushuaia, consideran adecuada la zona 2, debido a la suposición de que gran parte de la ciudad se asienta sobre suelo firme o roca dura. Sin embargo, la presencia de sedimentos glacialacustres, como los descritos en el área de estudio, expone la necesidad de estudios específicos para cada sector.

CONCLUSIONES

Los mapas geológicos y geomorfológicos a escala 1:5000 realizados en la zona del barrio valle de Andorra permiten ajustar con mayor detalle la distribución espacial de unidades abordadas en trabajos previos. En relación con dicha información se destaca el alcance espacial (0.04 km²) y en subsuelo de sedimentos glacialacustres de hasta 3 m de potencia, y del sustrato rocoso (Fm. Yahgán) identificado entre 14 y 34 m de profundidad, con sedimentos glaciales entre ambas unidades. Este registro constituye el primer modelo de subsuelo realizado a partir de instrumental geoelectrónico en el barrio Valle de Andorra y sustentado con información de afloramientos, calcatas y sondeos a percusión. Además, la generación de información geológica y edilicia georreferenciada constituye una base de datos con aplicación territorial para diversas disciplinas y es fundamental para el desarrollo de políticas públicas que permitan acompañar el crecimiento de la ciudad a partir del conocimiento del territorio y los peligros asociados al mismo.

El análisis de los datos sísmicos asociados a una franja de 75 km del SFMF y en una zona de 30 km de radio del área de estudio permitió definir magnitudes y profundidades promedio de los eventos sísmicos. En el primer caso, se ha definido una magnitud promedio de 2.1 y una profundidad de 14 km. Para los eventos dentro del área de 30 km, se encontró una magnitud promedio de 1.7 y una profundidad de 12 km.

El análisis estadístico y espacial de los sismos registrados en la región confirma que el SFMF es la principal fuente de ondas sísmicas que afecta a la ciudad de Ushuaia y, por lo tanto, al área de estudio. A su vez, las zonas de mayor amenaza se localizan sobre los depósitos glacialacustres (suelo blando), debido a su baja capacidad de resistir deformaciones durante un evento sísmico.

Los procesos de remoción en masa identificados corresponden a caída de rocas, asociados a pendientes abruptas en sectores donde aflora la Formación Yahgán. Además, existen sectores con deslizamientos y caída de detritos desencadenados por erosión fluvial, ligada a factores meteoroló-

gicos (precipitaciones extraordinarias y deshielos repentinos), aunque no se descarta que las ondas sísmicas generadas por sismos de gran magnitud puedan reactivarlos.

Los resultados de la estimación de exposición muestran que los valores más altos se concentran en el camino de acceso principal al barrio y en los edificios públicos circundantes debido a la cantidad de personas que albergan. Debe tenerse en cuenta que estos edificios reciben personas de toda la ciudad (como el polideportivo o la escuela de artes y oficios). De acuerdo con el horario de ocurrencia de un hipotético sismo los niveles de exposición podrían variar. El costo expuesto estimado por m² construido en el barrio Valle de Andorra asciende en dólares \$1446.5 y las áreas de mayor grado de vulnerabilidad corresponden a los asentamientos informales en las márgenes periféricas del barrio. Además, el área con el mayor grado de riesgo sísmico está asociada al sector de los depósitos glacialacustres y en menor grado a las zonas con mayor pendiente.

La sistematización de la información recopilada y generada permitió desarrollar una metodología de estimación de la amenaza, vulnerabilidad y exposición, lo que condujo a la caracterización y mapeo del riesgo sísmico en el área de estudio. Esto no solo aporta conocimiento científico detallado para esta zona, sino que además, genera un antecedente metodológico que puede replicarse y ampliarse en otros sectores de la ciudad, de la región o en cualquier otra zona expuesta al peligro sísmico.

AGRADECIMIENTOS

A Ramiro López y a Paula Bottone por su colaboración en las tareas de campo, y a Ignacio Magneres por el análisis textural de sedimentos, ambos pertenecientes al laboratorio de Cuaternario y Geomorfología del CADIC-CONICET. A Pablo Medina, Yenifer Rauque, Paula Bottone, Ignacio Giménez de Tomas, Celina Goodall, Soledad Guala y Micaela Morella por el trabajo realizado durante la cursada de la asignatura Riesgos Geológicos y Geología Ambiental, que sirvió de base y motivación para este trabajo. El financiamiento de este trabajo corresponde al Proyecto PIDUNTDF-B-2-01/2021: Peligros geológicos en Ushuaia, Tierra del Fuego (Res. CS N°081/2021) y al Proyecto del programa ImpaCT.AR Ciencia y Tecnología, correspondiente al Desafío 151: Base cartográfica de peligros geológicos en Tierra del Fuego (Res. N°295-2023).

REFERENCIAS

Abascal, L. D. V., y González-Bonorino, G. 2008. Seismic risk associa-

ted with the Magallanes-Fagnano continental transform fault, Tierra del Fuego, Southern Argentina. In 7th International Symposium on Andean geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts (pp. 13-16).

Abascal, L., González Bonorino, G., Bujalesky, G. G., y Coto, C. 2012. Efecto amplificador del suelo en la exposición al peligro sísmico de Tolhuin, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (28), 45-56.

Abascal, L. D. V. González Bonorino, G. 2014. Evaluación del riesgo sísmico para Tolhuin, Tierra del Fuego, Argentina, aplicando el programa Selena.

Abascal, L., y González Bonorino, G. 2015. Sedimentación coluvial e inestabilidad de laderas en los Andes de Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 72(4), 470-481.

Banco Interamericano de Desarrollo, 2016. Perfil de riesgo de desastres: Informe nacional para Argentina, p. 32-43.

BASSA constructora 2022. Estudio geotécnico Sector trazado de Acueducto - Andorra, 31-35 (inédito).

Bran, D. M., Tassone, A., Menichetti, M., Cerredo, M.E., Lozano, J.G., Lodolo, E., y Vilas, J.F. 2018. Shallow architecture of Fuegian Andes lineaments based on Electrical Resistivity Tomography (ERT). *Evidences of transverse extensional faulting in the central Beagle Channel area. Andean geology*, 45(1), 1-34. <https://dx.doi.org/10.5027/and-geov45n1-3002>

Bran, D. M., Palma, F., Menichetti, M., Lodolo, E., Bunicontró, S., Lozano, J. G., Baradello, L., Winocur, D., Grossi, M., y Tassone, A. A. 2023. Active faulting in the Beagle Channel (Tierra del Fuego). *Terra Nova*.

Blunier, T. y Brook, E. J. 2001. Timing of millennial-scale climate change in Antarctica and Greenland during the Last Glacial Period. *Science*, 291: 109-112.

Buffa, L., y Vázquez, P. 2014. Importance of Site Effects in Seismic Hazard Assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(3), 1027-1040.

Bujalesky, G. G., y Isla, F. I. 2006. Depósitos cuaternarios de la costa atlántica fueguina, entre los cabos Peñas y Ewan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61(1), 81-92.

Caminos, R., Haller, M.J., Lapido, O., Lizuain, A., Page, R., Ramos, V. 1981. Reconocimiento geológico de los Andes Fueguinos. *Territorio Nacional de Tierra del Fuego, Actas VIII Congreso Geológico Argentino*, San Luis, pp. 759-786.

Cao, S. 2019. Estructura y estratigrafía del jurásico superior-cretácico entre el canal Beagle y el Lago Fagnano, Tierra del Fuego, Argentina. *Universidad Nacional del Sur. Tesis doctoral en Geología*.

Cesen Urresta, I. E. 2022. Estudio del peligro sísmico determinista para las estructuras de Ambato sector San Vicente de Pishilata entre las calles Benjamín Franklin, Ramón y Cajal, Tomas Edison y Albert Einstein (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil), 35-43.

Código de Edificación de TDF 1981, Decreto territorial N°1367/1981.

- Compan, V., 2024. Zonificación preliminar del riesgo sísmico en el barrio Valle de Andorra, Ushuaia, TDF A. e I.A.S. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Tierra del Fuego (inédita). p 88.
- Connon, G.C., Bollini, M. C., Sabbione, N. C. y Hormaechea, J.L. 2021. Complemento 2017-2020 del Catálogo Sismológico de Referencia de Tierra del Fuego. Sedici, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119549>
- Costa, C. H., Smalley Jr, R., Schwartz, D. P., Stenner, H. D., Ellis, M., Ahumada, E. A. y Velasco, M. S. 2006. Paleoseismic observations of an onshore transform boundary: the Magallanes-Fagnano fault, Tierra del Fuego Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61(4), 647-657.
- Coronato, A. 1990a. Análisis de fábrica, forma y redondeamiento de clastos en depósitos glaciarios para la determinación de la génesis de geoformas en un ambiente de glaciación múltiple, Valle del Arroyo Grande, Tierra del Fuego. III Reunión Argentina de Sedimentología San Juan, (94-99)
- Coronato, A. 1990b. Definición y alcance de la última glaciación pleistocena (Glaciación Moat) en el Valle de Andorra, Tierra del Fuego. In XI Congreso Geológico Argentino, San Juan (Vol. 1, pp. 286-289).
- Coronato, A. M. 1991. Cuerpos glacialacustres en la deglaciación del Holoceno temprano en valles de los Andes Fueguinos. *Biología Acuática*, 15(1), 16-17.
- Coronato, A. 1993. La glaciación Moat (Pleistoceno Superior) en los valles Pipo y Cañadón del Toro, Andes Fueguinos. In Congreso Geológico Argentino (No. 12, pp. 40-47).
- Coronato, A. 1995a. The last Pleistocene glaciation in tributary valleys of the Beagle Channel, Southernmost South America. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 9, 153-171.
- Coronato, A. 1995b. Geomorfología glacial de valles de los Andes Fueguinos y condicionantes físicos para la instalación humana. Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras, U.B.A., 16 maps, 318p., unpublished.
- Coronato, A., Meglioli, A., y Rabassa, J. 2004. Glaciations in the Magellan Straits and Tierra del Fuego, Southernmost South America. *Developments in quaternary sciences*, 2, 45-48.
- Coronato, A., Oría, J. y Tivoli, A. 2014. Territorios fueguinos: fisonomía, origen, evolución. *Cazadores de mar y de tierra, estudios recientes en arqueología fueguina*, 43-63.
- Cotelo, M. A. 2019. Análisis de riesgo por eventos de remoción en masa, propuesta de Plan de Mitigación. Ruta Nacional 40 sur, Lago Guillermo, Departamento (Doctoral dissertation).
- Del Cogliano, D., Perdomo, R., y Hormaechea, J. L. 2000. Desplazamiento entre placas tectónicas en Tierra del Fuego. *Actas de la XX Reunión Científica de la AAGG*, Mendoza.
- Familiar, I.S., e Idriss, I.M. 2002. Site Effects and Seismic Hazard Analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(7), 553-567.
- Fank, L. 2021. Vulnerabilidad urbana en asentamientos informales de Ushuaia. Una aproximación analítico-comparativa desde la mirada de distintos actores. *Cuaderno urbano*, 30(30), 81-81.
- Hungr, O., Leroueil, S. y Picarelli, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167-194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436>
- INDEC 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010.
- IPAIEC 2022. Instituto Provincial de Análisis e Investigación Estadística y Censos, 2022. Censo Nacional De Población, Hogares Y Viviendas. Tierra del Fuego, AelAS. Gobierno de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, p. 35. <https://ipiec.tierradelfuego.gob.ar/>.
- INPRES 2018. Reglamento Argentino para construcciones sismoresistentes. Reglamento INPRES-CIRSOC 103. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Secretaría de Planificación Territorial y Coordinación de Obra Pública. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. 106 p.
- Lomnitz, C. 1970. Major Earthquakes and Tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische Rundschau* 59: 938-960.
- Medina, P.E., Bottone, M.P., Peñalva, M.L., Kong Espinoza, P.S., Montes, A. 2022. Procesos de remoción en masa en los Andes Fueguinos y su relación con la expansión urbana. XXI Congreso Geológico Argentino. Puerto Madryn. 729-730.
- Mendoza, L., Richter, A., Fritsche, M., Hormaechea, J. L., Perdomo, R., y Dietrich, R. 2015. Block modeling of crustal deformation in Tierra del Fuego from GNSS velocities. *Tectonophysics*, 651-652, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.03.013>
- Montes, A., Ponce, J.F., Onorato, R., López, R., Peñalva, M.L., Gomez Vereda, I. 2025. Mass-wasting processes and associated landforms in the Fuegian Andes of Argentina. *Journal of South American Earth Science* 164, 105658. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105658>
- Moreiras, S. M., y Coronato, A. 2009. Landslide processes in Argentina. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, 301-332.
- Olivero, E.B. y Martinioni, D.R. 1996. A review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(2):175-188.
- Olivero, E.B., Malumian, N., Martinioni, D.R. 2007. Mapa geológico de la Isla Grande de Tierra del Fuego e Isla de los Estados. Escala 1:500000. Servicio Geológico Minero Argentino
- Onorato, M. R., Perucca, L., Coronato, A., Rabassa, J., y López, R. 2016. Seismically-induced soft-sediment deformation structures associated with the Magallanes-Fagnano Fault System (Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina). *Sedimentary Geology*, 344, 135-144.
- Onorato, M.R., Perucca, L.P., López, R., Blanc, P.A., 2020. Evidencias Morfotectónicas En El Sistema De Fallas Magallanes-Fagnano, Borde Transformante Entre Las Placas Sudamericana Y Scotia, Isla Grande De Tierra Del Fuego, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 78, 47-61.
- Pelayo, A. y Wiens, D. 1989. Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia sea region. *Journal of Geophysics Research*. Volumen 94: 7293-7320.
- Ponce, J. F., Coronato, A. M. J., Fernández, M., Rabassa, J. O., y Roig, C.

2014. Las turberas de Tierra del Fuego y el clima del pasado.
- Ponce, J. F., Borromei, A. M., Menounos, B., y Rabassa, J. 2017. Late-Holocene and Little Ice Age palaeoenvironmental change inferred from pollen analysis, Isla de los Estados, Argentina. *Quaternary international*, 442, 26-34.
- Programa de Desarrollo Urbano - Municipalidad de Ushuaia, 2020 - Disponible al 2/9/2022 en Plan-de-Ordenamiento-Urbano-Ushuaia.pdf (mininterior.gov.ar)
- Quinde Martínez, P., y Reinoso Angulo, E. 2016. Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*, (94), 16.
- Rabassa, J., Coronato, A., Bujalesky, G., Salemme, M., Roig, C., Meglioli, A., Heusser, C., Gordillo, S., Roig, F., Borromei, A. y Quattrocchio, M. 2000. Quaternary of Tierra del Fuego, Southernmost South America: An updated review. *Quaternary International*, 68-71, 217-240.
- Rabassa, J. 2008. Late cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in quaternary sciences*, 11, 151-204.
- Registro Nacional de Barrios Populares RENABAP, 2022. Ministerio de desarrollo social de la Nación. <https://mapa.poblaciones.org/>
- Renda, E., Rozas Garay, M., Moscardini, O. y Torchia, N. 2017. Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Ministerio de Seguridad de la Nación.
- Sabbione, N.C., Connon, G.C., Buffoni, C. y Hormaechea, J.L. 2007. Tierra del Fuego reference standard earthquake catalogue. En: *actas Geosur 2007 International Geological Congress on the Southern Hemisphere*. Santiago de Chile.
- Sabbione, N.C., Connon, G.C., Hormaechea, J.L. y Buffoni, C. 2017. Complemento al Catálogo Sismológico de Referencia para Tierra del Fuego. Sedici, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119480>.
- Sanchez-Sesma, J.M., y D'Ayala, D. 2009. The Site Effect in Earthquake Engineering. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 38(2), 241-259.
- Sandoval, F. B. y De Pascale, G. P. 2020. Slip rates along the narrow Magallanes fault System, Tierra del Fuego Region, patagonia. *Scientific reports*, 10(1), 1-13.
- Schwartz, D., Sternner, H., Costa, C., Smalley, R., Ellis, M. y Velasco, S. 2002. Rupturas asociadas a los sismos MS 7.8 de 1949 Tierra del Fuego: Investigaciones Paleosismológicas iniciales. *Actas del 15° Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, 1: 136-138.
- Smalley Jr, R., Kendrick, E., Bevis, M. G., Dalziel, I. W. D., Taylor, F., Lauría, E., ... & Piana, E. 2003. Geodetic determination of relative plate motion and crustal deformation across the Scotia-South America plate boundary in eastern Tierra del Fuego. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(9).
- Smalley Jr, R., Dalziel, I. W. D., Bevis, M. G., Kendrick, E., Stamps, D. S., King, E. C., y Parra, H. 2007. Scotia arc kinematics from GPS geodesy. *Geophysical Research Letters*, 34(21).
- Suárez, M., Hervé, M., Puig, G., 1985. Hoja Isla Hoste e islas adyacentes. XII Región. Carta Geológica de Chile 65 Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Torres-Carbonell, P. J., Olivero, E. B. y Dimieri, L. V. 2008. Control en la magnitud de desplazamiento de rumbo del Sistema Transformante Fagnano, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista geológica de Chile*, 35(1), 63-77.
- Torres Carbonell, P. J., y Dimieri, L. V. 2013. Cenozoic contractional tectonics in the Fuegian Andes, southernmost South America: a model for the transference of orogenic shortening to the foreland.
- Tsige, M., García Flórez, I. 2006. Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia. *Geogaceta*, 40, 39-42.
- USGS 2025. USGS Magnitude 2.5+ Earthquakes. United States Geological Survey. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent>
- Varela, H.A. 2001. Estrategias de intervención para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Ushuaia. Mendoza: U.N.C.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides, Analysis and Control*, Special Report 176: Transportation Research Board. National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 11-33.
- Zavala, P. E. Z., Mora, I. G., y Ruiz, P. A. M 2020. Zonificación sísmica del municipio de Puerto Vallarta, Jalisco, 1-4.