

Amenazas de origen natural y exposición de obras de conectividad estratégica en territorios extremos. Fiordo Comau, Norpatagonia de Chile

Natural hazards and exposure of strategic connectivity in extreme territories. Comau Fjord, North Patagonia, Chile

María Victoria Soto¹²³; Paz Arratia⁴ Misael Cabello⁴; Rodrigo Moreno²; Katherine Whyndam²

RESUMEN

Se analizan las condiciones de amenazas de origen natural y de exposición de las actividades económicas en un fiordo norpatagónico, de Chiloé continental. Se considera como un territorio extremo debido a la inexistencia actual de vías de comunicación terrestres. Si bien el poblamiento es escaso, no así las actividades económicas vinculadas a la acuicultura. El Estado de Chile ha planificado construir un tramo de la carretera austral en la vertiente oriental del fiordo (Ruta CH-7). En este escenario, se analizan las amenazas de origen natural y cómo éstas afectan los territorios con aptitud productiva y la carretera austral proyectada. Metodológicamente se realizó trabajo geomorfológico y procesamiento de geoinformación SIG para establecer las amenazas; éstas fueron superpuestas con los usos del suelo y del agua. El resultado expresa un territorio con multi-amenazas y con una alta exposición de las actividades económicas actuales y proyectadas, potenciado por la influencia de la carretera Austral.

Palabras Clave: Amenazas, exposición, fiordo, carretera austral (Ruta CH-7)

ABSTRACT

The conditions of natural hazards and exposure of economic activities in a norpatagonic fjord, an extreme territory in continental Chiloé, was analyzed due to the lack of terrestrial communication routes. Although the population is scarce, not the economic activities linked to aquaculture. The State of Chile has planned to build an Austral Route (Route CH-7) on the eastern slope of the fjord. In this scenario, the natural hazard are analyzed and also how will be potentially affected the land. Methodologically, geomorphological work and GIS geoinformation processing were carried out to establish the hazard; these were superimposed on land and water uses. The result expressed a territory with multi-hazards and a high exposure of current and projected economic activities, enhanced by the influence of the Austral highway.

Keywords: Hazard, exposure, fjord, Austral Road (Route CH-7)

¹ Proyecto Fondecyt 1151087

² Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Portugal 084, Chile. mvsoto@uchilefau.cl

³ CITRID, Programa de Reducción y Riesgos de Desastres, Universidad de Chile, Chile.

⁴ Laboratorio de Geografía Física, Departamento de Geografía, Universidad de Chile.

El estudio de las amenazas de origen natural se relaciona intrínsecamente con el riesgo de desastres, el cual ha tomado gran relevancia debido a las pérdidas humanas y económicas asociadas (Desai & Sarmiento, 2015), las que irán aumentando de acuerdo a lo proyectado por la Organización de los Estados Americanos (OAS, 2015). En este contexto, los ambientes costeros, han sido reconocidos como zonas de alta susceptibilidad a eventos de amenazas de origen natural, sobre todo tras los eventos de Tohoku-Japón (2011), Maule-Chile (2010), Léogâne-Haití (2010), Chíncha Alta-Perú (2008), Sumatra (2004), por mencionar los más recientes (Mitchell *et al.*, 2013)

El aumento de los desastres de origen socionatural, se asocia principalmente a la intervención humana descontrolada y no regulada que ha afectado directamente al medio ambiente, ya sea por las lógicas de ocupación del territorio que han resultado en la ejecución de actividades intensivas en el territorio; por las desigualdades socio-económico generadas por el sistema regulatorio y político-económico imperante, así como por factores históricos y culturales, entre otros (Onetto, 2014; Camus *et al.*, 2016; Castro *et al.*, 2009; Coy, 2010; Castro *et al.*, 2015; Romero & Maskrey, 1993).

Se presenta en consecuencia el riesgo de desastres de origen socionatural como una externalidad negativa del desarrollo (Cardona, 2009). A lo anterior se suma, con particular interés los escenarios de variabilidad y cambio climático, tomando en consideración específicamente los modelos elaborados para el presente siglo en Chile (CONAMA, 2006; Garreaud *et al.*, 2008; Pino *et al.*, 2015) y sus posibles impactos en los asentamientos humanos (Barton & Irazabal, 2016).

El riesgo de desastres de origen socionatural es estudiado transversalmente en función de los componentes principales, conocidos como amenazas, exposición, vulnerabilidad. De esta forma, la estimación de la exposición de la población y de sus actividades frente a la acción de eventos de origen natural, los cuales pueden verse intensificados bajo condiciones de variabilidad y cambio climático, permite aproximarse a la evaluación del contexto de riesgo de desastres (Lavell, 2004; Romero & Maskrey, 1993).

En cuanto a condiciones de exposición y vulnerabilidad, recientemente se ha intensificado el interés en comprender el rol de la infraestructura en eventos de desastres de origen socionatural. De esta forma, el rol de la infraestructura, generalmente denominada como infraestructura crítica, se ha estudiado en función de su papel en los procesos de reconstrucción (Hermann Lunecke, 2015) y la resiliencia tras eventos de desastre de origen socionatural (Shafieezadeh & Ivey Burden, 2014). Otro foco de interés es la relevancia en procesos de desarrollo y los distintos niveles de interdependencia (Ouyang, 2014), así como, las limitaciones y alcances de gobiernos locales en su inversión y mantención (Valdivieso & Anderson, 2018).

En función de las diversas perspectivas abordadas en el estudio de infraestructuras frente a eventos de desastre de origen socionatural, el presente artículo explora la relación entre la construcción de infraestructura vial considerada crítica para el desarrollo y conectividad nacional y su relación con escenarios de incremento de exposición a amenazas de origen socionatural.

Antecedentes

La localización geográfica de Chile, en la costa occidental de América del Sur y en el cinturón de fuego del Pacífico, la convierte en una de las zonas con sismicidad y volcanismo más activo del planeta y con una dinámica de cuencas hidrográficas andinas que generan procesos dinámicos hidro-meteorológicos de fuerte y variado impacto en el territorio (Camus *et al.*, 2016). Los autores señalan que desde el año 1906 a la fecha las pérdidas económicas debidas a terremotos, tsunamis, inundaciones, remociones en masa y erupciones volcánicas alcanzan los \$70.000 millones de dólares, con 43.000 fallecidos y más de 12 millones de personas afectadas. Un ejemplo de la magnitud e impacto de estos eventos es el año 2010 y el terremoto en Chile central, posicionándose con el primer lugar en pérdidas de vidas humanas en América Latina y, en segundo lugar, por concepto de daños materiales, avaluadas en \$200 millones de dólares (Terram, 2014, en Arratia, 2017).

Por otra parte, los procesos espaciales derivados de la globalización de la economía han generado una mayor valorización de aquellos territorios cuyos recursos tienen una alta demanda en el mercado mundial, ya que los territorios sujetos a las fuerzas del mercado pueden sufrir profundas modificaciones, desestabilizando el funcionamiento normal de los sistemas naturales (Huang *et al.*, 2010). En el caso de Chile, inserto en esta dinámica desde la década del 70 del siglo pasado, en la Región de Los Lagos la acuicultura es un ejemplo de esta evolución y de cómo es el sustento en la economía local y regional (Arnt *et al.*, 2010; Ibieta *et al.*, 2011; Bustos, 2012).

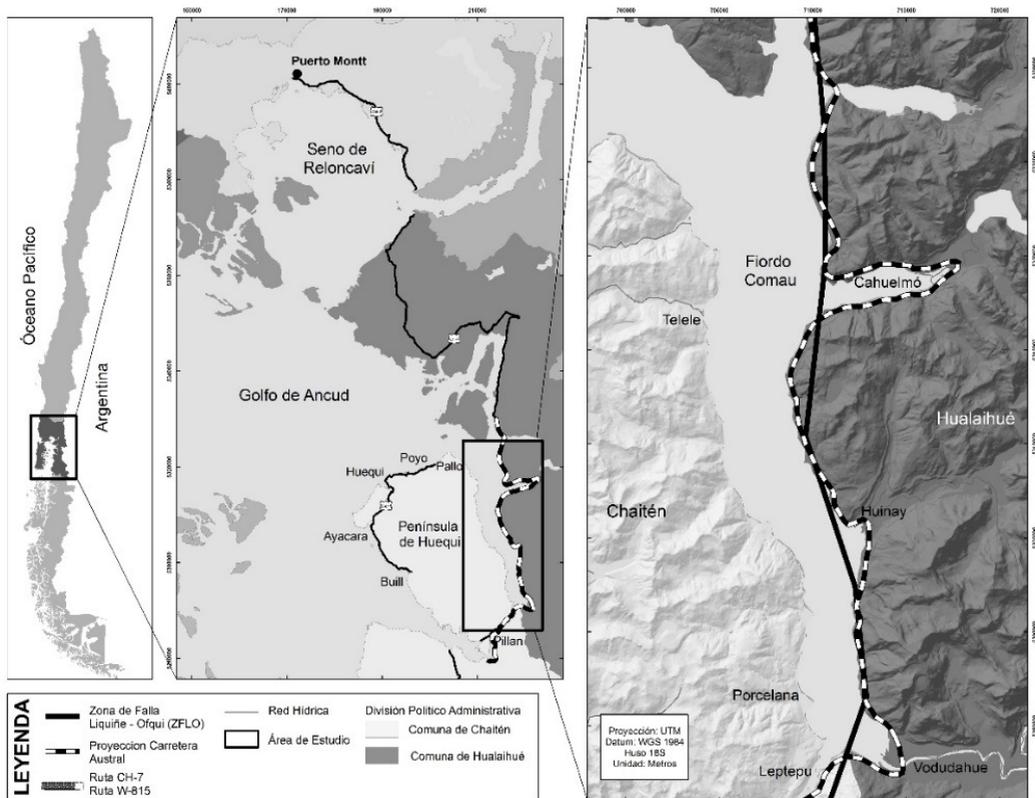
La explotación e industrialización del salmón y la actividad de la acuicultura en general, ha generado modificaciones territoriales que se han visto materializadas en cambios en los usos del suelo y ocupación de territorios con distintos grados de fragilidad ambiental y condiciones de vulnerabilidad frente a la exposición a las amenazas y riesgos de origen natural y en general, conflictos territoriales (Aliste & Musset, 2014; Aliste & Perez, 2013).

En este contexto, cobra relevancia la conectividad y la red de transporte que sustentan el modelo económico imperante basado en la exportación de materias primas (Huang *et al.*, 2010). La conectividad y la infraestructura vial, cumplen un rol fundamental en la accesibilidad y conexión territorial (Loyola, 2005). De esta forma, la importancia de la red vial se transforma al mismo tiempo en una fragilidad, ya que, frente a un evento de desastre de origen natural, se generarían condiciones de dependencia o imprescindibilidad debido a la paralización u obstaculización de las vías de comunicación terrestre, alterando la normal conectividad y, por tanto, afectando directamente el funcionamiento de las actividades económicas (Shafieezadeh & Ivey Burden, 2014).

La Carretera Austral de Chile comenzó su construcción en la década de los '70, siendo uno de sus objetivos el romper el aislamiento geográfico que caracterizaba a las regiones patagónicas, sin conectividad terrestre: la carretera fue parte de la estrategia política de Chile en aquellas décadas (Nuñez *et al.*, 2010). Según Muñoz & Torres (2010) esta obra no solo cumplió con el rol de ser una conexión entre Chile insular y continental, sino que fue un eje multimodal de integración, logrando la dotación y extensión de los servicios sociales, permitiendo potenciar la economía regional, incrementando la valorización de la tierra y el desarrollo de actividades productivas de alta rentabilidad (Ruiz, 2016). Ello permitió que se potenciara la economía regional, se incrementara la valorización de la tierra y el desarrollo de actividades productivas de alta rentabilidad.

El carácter insular de algunas localidades de la Región de Los Lagos y la carencia de rutas viales hacen del transporte marítimo la opción más importante de conectividad regional e inter-regional, situación que debiera mejorar debido a la obra de conectividad terrestre carretera austral (Ruta CH-7), cuyo objetivo es la integración territorial en la zona es la conexión intermodal entre Llanquihue y Palena, específicamente entre Hornopirén y Caleta Gonzalo (Figura N° 1).

Figura N° 1. Área de Estudio, fiordo Comau, Región de los Lagos.

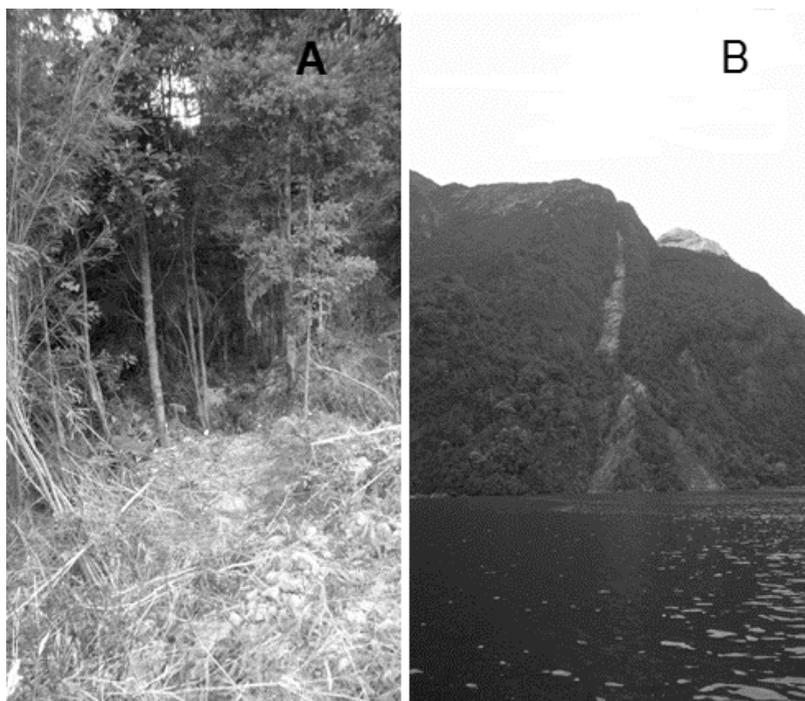


Fuente: proyecto Fondecyt N° 1151087.

El proyecto se encuentra en etapa de diseño, con los primeros trabajos de penetración en la vertiente occidental del fiordo Comau para labores de geomensura y geotecnia, específicamente entre Hornopirén y Caleta Gonzalo (Figura N° 2), además del tramo en etapa de construcción en la zona de Vodudahue-Leptepu-Pillán.

Este nuevo escenario implicaría estímulos al poblamiento y a los emprendimientos productivos en un área que está sujeta a amenazas de origen natural, asociados a los procesos hidro-meteorológicos y sismo-tectónicos de la Cordillera de Los Andes y de un fiordo norpatagónico, del mar interior macro-mareal de Chiloé.

Figura N° 2. Apertura del trazado de la carretera en la vertiente occidental del fiordo Comau. A: Tala del bosque nativo para trabajos de la etapa de diseño de la Rura CH-7, realizado por el Ministerio de Obras Públicas. B: Aspecto general de un sector de la vertiente occidental del fiordo Comau, con fuertes pendientes (50% de la superficie supera los 30° de pendiente) y densa vegetación nativa. Foto: febrero de 2017.



Área de Estudio

El fiordo Comau se localiza en la comuna de Hualaihué, Región de Los Lagos (Figura N° 1). Desde el punto de vista económico, en el sector primario predomina la pesca y en el sector secundario, la industria salmonera. En cuanto al sector terciario, solo se desarrollan áreas de comercio y servicios localizados principalmente en Hornopirén. Las localidades pobladas en el fiordo Comau, son Huinay, Telele, Leptepu, Vodudahue y Porcelana, correspondiente a 28 familias; hay una población flotante de alrededor 300 personas asociadas a los trabajos temporales de las salmoneras, sin registro de población flotante asociada al turismo (Arratia, 2017).

La estructuración física del paisaje está asociado a la presencia de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), en contacto entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, a lo largo del cual el fallamiento y el volcanismo cuaternario están estrechamente asociados (Hervé, 1994; Cembrano *et al.*, 1996, 2002; Lara, 2008; Hervé *et al.*, 2017). La falla se encuentra sísmicamente activa, tal como lo demuestra el enjambre sísmico del Fiordo de Aysén de 2007, cuyo terremoto principal (Mw 6.2) generó cientos de remociones en masa que desencadenaron un tsunami local en el fiord-

do, el cual destruyó granjas salmoneras, erosionó la línea de costa y causó víctimas fatales, con una ola de tsunami de 5-10m (Sepúlveda & Serey, 2009; Naranjo *et al.*, 2009; Sepúlveda *et al.*, 2010). En Comau, en 2008 se reportó actividad sísmica previa a la erupción del Volcán Chaitén.

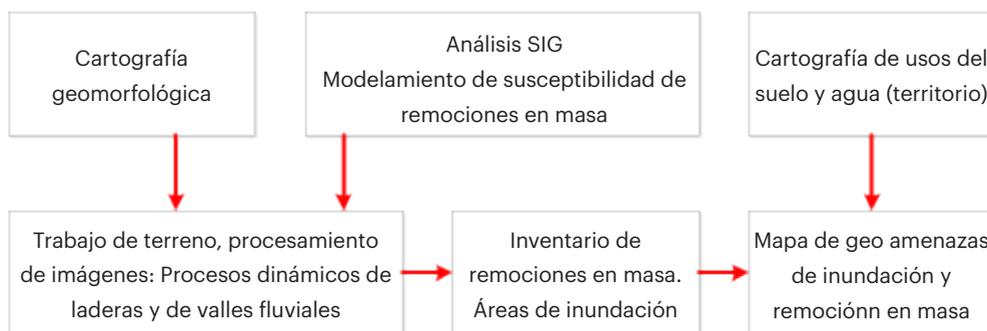
El paisaje geomorfológico del área de estudio es la resultante de la conformación estructural y la dinámica actual asociada a las condiciones climáticas y del modelado de las glaciaciones del Cuaternario (Ferrando, 2002; Soto, 2009), con un tipo de climas templado oceánico y subpolar. La estación meteorológica de Huinay registró para el año 2002 precipitaciones anuales promedio de 6.315,5 mm, mientras que para el año 2003 de 4.518 mm. En relación a los escenarios de cambio climático, Sarricolea & Figueroa (2014) establecieron disminución de las precipitaciones en más de 200 mm y aumentos de temperatura de hasta 4°C en las medias anuales, para finales del siglo XXI.

Metodología

En el marco del proyecto de investigación Reconocimiento de *hotspot* en el ambiente periglacial de fiordos y mar interior: Hacia una evaluación integrada de conductores de geoamenazas, riesgos e impacto en los recursos territoriales del Golfo de Ancud, se desarrolló la presente investigación, que aborda la geo amenaza sustentada en los procesos geomorfológicos y cómo estos inciden en los usos del territorio, a través de la ocurrencia de geoamenazas.

Procedimientos

La metodología empleada se basa en la recopilación de información respecto a la cartografía de amenazas de origen natural emanada, realizada a través de procesamiento de imágenes en ambiente SIG y trabajo de terreno, según el siguiente esquema metodológico:



Amenazas de origen natural: La cartografía de amenazas se sustentó en el levantamiento geomorfológico, de formas y procesos a los que se asocian remociones en masa e inundaciones, realizado a través del trabajo de terreno y fotointerpretación.

Las remociones en masa se analizaron a través de un inventario, según adaptación metodológica de Náquira (2009), Sepúlveda & Serey (2009), Sepúlveda *et al.*, (2010), Soto *et al.*, (2018) para ambientes andinos de fiordos. Los resultados del inventario fueron complementados con la

modelación de procesos de erosión en base a modelación SIG con datos de topografía, según Maerker *et al.*, (2012), más la cartografía de susceptibilidad de remociones en masa realizado por Molina (2016). Esta información fue validada por el trabajo de terreno (enero y mayo de 2016; febrero y noviembre de 2017).

Para establecer las áreas de amenaza de inundación por tsunami se aplicó la información del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), que establece como área de seguridad de tsunamis, la cota 30 m.s.n.m. También se utilizó la Carta de Inundación por tsunami generado por remociones en masa para Puerto Aysén realizada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), que determinó el área de inundación en cotas iguales o inferiores a 50 m.s.n.m. Se aplicó el resultado de Sepulveda *et al.*, (2010) para el fiordo Aysén.

Uso de suelo y mar: El levantamiento de uso de suelo se realizó en terreno en enero y mayo de 2016. Se hizo una clasificación de uso del suelo según cobertura de la tierra y el sistema de clasificación de uso de Michigan Resource Information System, versión II (1980) modificado por Wyndham (2013). El uso del fiordo con la acuicultura fue recopilado desde las bases de datos de la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA), en la plataforma de visualizador de mapas. La infraestructura crítica fue recopilada en trabajo de terreno y desde la plataforma de Infraestructura de Datos Geoespaciales, IDE.

Exposición de las actividades económicas: Se determinó la exposición de las actividades económicas e infraestructura vial a las amenazas ya identificadas según lo planteado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres Perú (CENAPRED, 2006). A través de la herramienta Intersect del software ArcGis 10.1, se calculó el porcentaje de territorio expuesto a las amenazas de origen natural identificadas.

Resultados

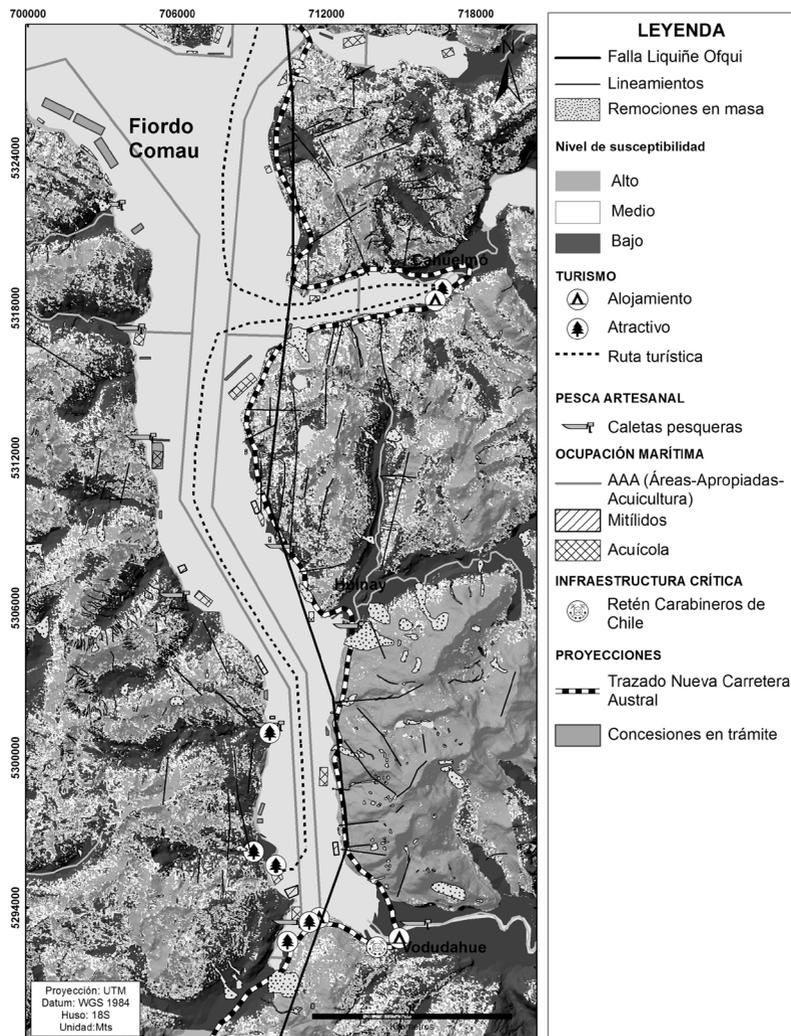
Amenaza de remociones en masa

La conexión intermodal entre Llanquihue y Palena, específicamente entre Hornopirén y Caleta Gonzalo (Figura N° 3) expresa la localización de las áreas afectadas por remociones en masa según el inventario realizado en terreno y la susceptibilidad de remociones en masa desarrollado por Molina (2016) para el área de estudio, con tres niveles de susceptibilidad: alto, medio y bajo. Un 37% del área posee susceptibilidad baja y corresponden a sectores de bajas pendientes como son los valles fluviales y las desembocaduras. La susceptibilidad media, de un 27%, se asocia a las laderas de la vertiente Oeste del fiordo, con menor pendiente y altura. La susceptibilidad alta, con un 36% de representación territorial, se concentra en la vertiente oriental, sobre todo en el sector entre Huinay y Vodudahue, donde se identifican las zonas de mayor pendiente y altura y donde se localizan las evidencias de tales procesos según el inventario realizado en terreno.

En el inventario sólo se mapearon las remociones aun reconocibles y las de registro histórico, como la del Cerro Tambor en 1957. Las remociones en masa identificadas están asociadas a eventos climáticos y se ha establecido como umbral conocido, el evento de Cerro Tambor, con 117,8 mm/24hrs (Albornoz, 2017). En la zona no hay registro histórico de remociones en masa por

actividad sísmica cortical o interplacas, como tampoco para el terremoto de Quellón de diciembre de 2016 (Mw7, 6).

Figura N° 3. Susceptibilidad e inventario de remociones en masa en el fiordo Comau.

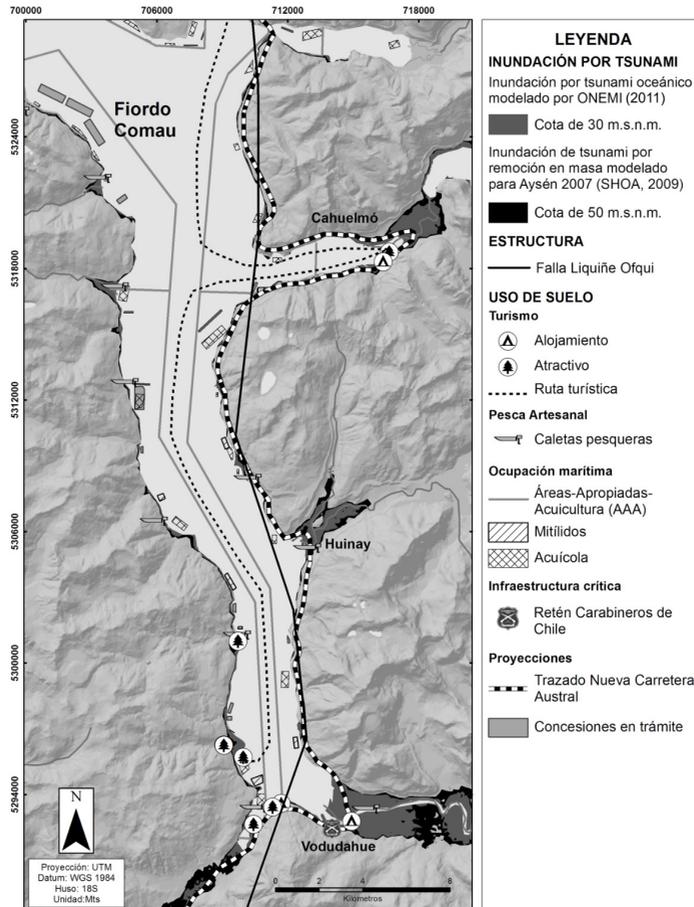


Fuente: proyecto Fondecyt N° 1151087.

Amenazas de inundación por tsunami

Las inundaciones por tsunami analizadas corresponden a una situación potencial debida a la activación de algún enjambre sísmico en el fiordo Comau, similar a lo ocurrido en el fiordo Aysén en 2007. Soto *et al.*, (2018) aplicaron la Ley de Gutenberg-Richter, pero debido a la escasez de datos, sólo se pudo establecer la potencialidad de ocurrencia sísmica. No existen registros de tsunamis debido a grandes remociones por eventos climáticos extremos en el área de estudio. Sin embargo, se aplicaron las áreas de inundación del tsunami del Fiordo Aysén en 2007 (Fig. 4).

Figura N° 4. Amenaza de inundación por tsunami y uso del suelo expuesto.



La Figura N° 4 evidencia que las áreas más afectadas serían los sectores bajos, los valles, terrazas fluviales y las desembocaduras de quebradas y de los ríos Cahuelmó, Huinay, Vodudahue y Leptepu. Estas áreas hidrológicamente son estuarios macromareales; en la cartografía del SHOA no ha sido considerado un escenario de plea máxima, es decir con hasta 7 metros adicionales de altura de la columna de agua.

Uso del territorio y actividades económicas

El levantamiento de uso de suelo permitió identificar y espacializar las actividades que se desarrollan en el área de estudio, destacando aquellas relacionadas al ámbito turístico, transporte, pesca y uso u ocupación marítima. El uso de suelo y mar está mayoritariamente centrado en la ocupación marítima, con el desarrollo de la acuicultura y miticultura que abarca más del 60% del uso del territorio, bajo la forma de concesiones. La pesca artesanal representa solo un 18% y corresponde a caletas pesqueras con uso excepcional o poco recurrente, con casi inexistente infraestructura.

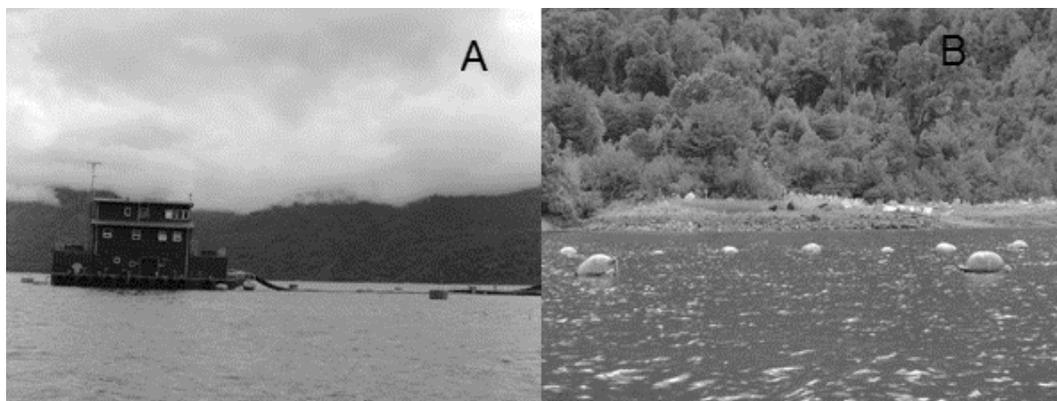
La acuicultura está asociada al cultivo y crianza de especies acuáticas tanto vegetales como animales, siendo predominantes las especies de la familia Salmonidae, como lo es la trucha y el salmón. La infraestructura asociada son piscinas de cultivo y construcciones sobre el mar utilizadas como bodegas y alojamiento para los (Figura N° 5 A). La inversión corresponde a grandes empresas privadas nacionales y extranjeras, tales como Marine Harvest S.A., Trusal S.A., Cermaq y Ventisqueros S.A., con inversiones que fluctúan entre 350 mil - 3,5 millones de dólares.

La miticultura (cultivo de *Mytilus*) se realiza sobremar a través de líneas de cultivos ancladas y flotante a través de boyas (Figura N° 5B). Esta actividad es recurrente en la zona y se asocia a pequeña, mediana y grandes empresas y la inversión requerida en infraestructura y mantenimiento es del orden de los 70 mil dólares por cada concesión. La miticultura ofrece trabajo de carácter temporal, al igual que la agricultura, ya que se deben plantar y cosechar los mariscos.

En cuanto al desarrollo turístico, el área de estudio presenta un 15% del total de usos del territorio, que principalmente corresponden a atractivos turísticos naturales del fiordo Comau, con escasa oferta de alojamientos formales.

El transporte corresponde al 2% del total de usos del territorio lo que se debe principalmente a las características geográficas; sólo existen pequeños caminos privados en el sector de Vodudahue que no están conectados con otros poblados del sector, como Leptepu donde comienza la continuación de la carretera Austral que sigue al sur. Existe una embarcación que cumple el rol de transporte público, El Serenade, que cuenta con subvención estatal, que conecta todos los poblados del fiordo entre Hornopirén y Leptepu.

Figura N° 5. A: Concesión acuícola para cultivo de salmónes, empresa Ventisqueros S.A. B: Concesión acuícola para cultivo de mitílicos.

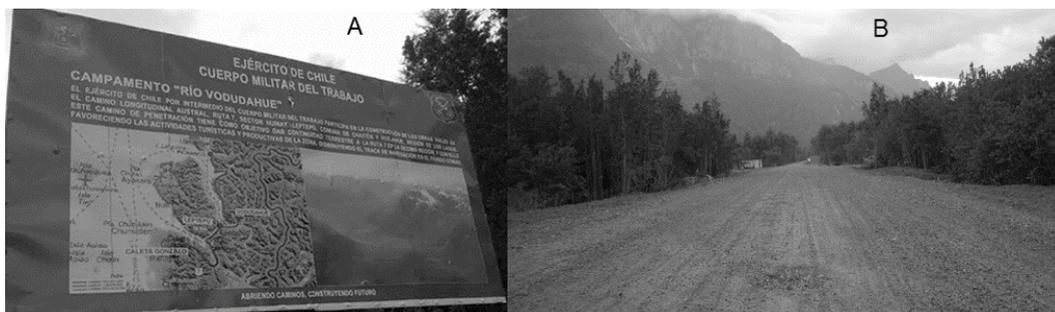


Uso de suelo y del mar, proyectado

El Estado de Chile a través del Ministerio de Obras Públicas, desde el 2010 ha estado proyectando la construcción de la ruta Austral 7 (Figura N° 6 A y B) que generaría condiciones favorables

para el crecimiento económico de la acuicultura, el turismo y asentamientos poblados cercanos a la carretera, en Huinay y Vodudahua, donde existen terrazas fluviales bajas y por lo tanto, suelos.

Figura N° 6. Carretera Austral A7. A: Proyecto vial en el área de estudio. B: Obra realizada por el cuerpo militar del Trabajo del Ejército de Chile, en la localidad de Vodudahue. Foto: Febrero de 2017.



En el fiordo se estima un aumento de la acuicultura en las áreas concesiones ya otorgadas por SUBPESCA. Es importante señalar que la Región de Los Lagos, desde el año 2012 es una zona sin disponibilidad de concesiones acuícolas (Art.73, Ley de Pesca 20.434), pero que previamente en 2010 se permitió la relocalización de concesiones dentro de la misma Región, de tal modo que es posible localizar en Comau faenas autorizadas en otros lugares de la Región. Al mismo tiempo, a la fecha se encuentra en trámite concesiones solicitadas y otras otorgadas, pero no implementadas.

En este escenario, la construcción de la carretera austral Ruta CH-7 será un enorme incentivo para la relocalización interregional de faenas acuícolas, aumentando potencialmente la exposición a las amenazas de origen natural identificadas.

Exposición del uso actual y proyectado del territorio por amenazas de origen natural.

Se identificó un alto nivel de exposición de las actividades económicas localizadas actualmente en el fiordo. En cuanto a la exposición a las amenazas de tsunami, las actividades turísticas de la zona alcanzan un 88% de exposición y los otros usos identificados presentan una exposición del 100% (Cuadro 1). Se debe señalar que no se hace distinción de tsunamis oceánico o por remociones debidos a que la localización de estas actividades en las terrazas bajas de las desembocaduras, las expone significativamente a estas amenazas.

El impacto en los usos proyectados, sobre todo a la carretera austral (Transporte, Cuadro 1, Figura N°3), por exposición de amenaza de inundación por tsunami oceánico, se estimó en un 19% y en un 27% frente a tsunami por remoción en masa, valores referidos al porcentaje de kilómetros de la nueva carretera austral expuestos a estas amenazas. Las concesiones acuícolas proyectadas, en tramitación según registro de SUBPESCA, estarían expuestas en un 100% debido a su ubicación en el fiordo propiamente tal.

Cuadro 1. Exposición a las amenazas de tsunami.

Uso de suelo	Porcentaje expuesto a amenaza de inundación por tsunami 30 m.s.n.m.	Porcentaje expuesto a amenaza de inundación por tsunami 50 m.s.n.m.
Uso de suelo actual		
Desarrollo turístico	88%	88%
Transporte	100%	100%
Pesca	100%	100%
Ocupación marítima	100%	100%
Infraestructura crítica	100%	100%
Uso de suelo proyectado		
Transporte	19%	27%
Ocupación marítima	100%	100%

Categorías de uso según Michigan Resource Information System (1980, modificado por Wyndham, 2013).

El nivel de exposición frente a amenaza de remociones en masa, fue estimado en exposición directa e indirecta. La exposición directa es la que se observa en la Figura N° 3 para los usos del suelo y la indirecta para los usos en el mar, es decir, a los cuales no se les puede superponer el área de influencia directa de la remoción.

La exposición directa del uso de suelo actual (Cuadro 2, Figura N° 4) está asociada a niveles de amenaza media y baja que afectan las instalaciones turísticas, transporte (muelles y embarcaderos), pesca artesanal (caletas) e infraestructura crítica (Carabineros de Chile). La exposición frente a amenazas de remoción en masa para el uso de suelo proyectado demuestra que el 98,6% del uso transporte (correspondiente a la Ruta CH-7) está expuesta a algún nivel de amenaza: 30,8% de kilómetros expuesto a amenaza alta, 23,8% a amenaza media y 44% a amenaza baja. A su vez, la ocupación del territorio marítimo (fiordo) presenta exposición indirecta del 100%: amenaza alta en un 29%, principalmente en la parte sur del fiordo; un 71% expuesto a amenaza media, en la parte norte.

Cuadro 2. Exposición a las amenazas de remoción en masa.

Uso de suelo	Directa			Indirecta		
	Porcentaje expuesto a amenaza			Porcentaje expuesto a amenaza		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Uso de suelo actual						
<i>Desarrollo turístico</i>	0%	12,5%	75%	0%	0%	12,5%
<i>Transporte</i>	0%	100%	0%	0%	0%	0%
<i>Pesca</i>	0%	0%	100%	0%	0%	0%
<i>Ocupación marítima</i>	0%	0%	0%	35%	65%	0%
<i>Infraestructura crítica</i>	0%	100%	0%	0%	0%	0%

Uso de suelo	Directa			Indirecta		
	Porcentaje expuesto a amenaza			Porcentaje expuesto a amenaza		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Uso de suelo proyectado						
<i>Transporte</i>	30,8%	23,8%	44%	0%	0%	0%
<i>Ocupación marítima</i>	0%	0%	0%	29%	71%	0%

Categorías de uso según Michigan Resource Information System (1980, modificado por Wyndham, 2013).

De acuerdo a los resultados obtenidos, las condiciones potenciales de exposición son muy altas, tanto para la carretera ruta CH-7 como para las actividades existentes y aquellas potenciales que serían impulsadas con la operación de la carretera y mejoramiento de las condiciones de conectividad. A este respecto es importante destacar que, debido a la construcción de la carretera en la vertiente oriental de fiordo, la susceptibilidad a remociones en masa aumentará debido a la alteración del perfil de equilibrio de las laderas, factor no considerado en este estudio y que incrementaría aún más los niveles de amenazas ya identificados.

Lo anteriormente expuesto permite señalar que el objetivo de conectividad a través de la carretera austral proyectada, Ruta CH-7, se vería fuertemente afectado tras la ocurrencia de un evento extremo y que al mismo tiempo la condición de exposición de las actividades económicas podría aumentar en la medida que la proyección de relocalización de las actividades acuícolas se concretara.

A partir de lo expuesto y más bien como discusión futura, se plantea la ineficiencia del proyecto actual Ruta CH-7, de alto costo económico (obra total estimada evaluada en MM \$ 313.244, actualizada a IPC del 31 de diciembre de 2016) e impacto ambiental (especies animales y vegetales únicas: Häusserman & Försterra, 2009; Outeiro et al., 2015) y un aporte social cuestionable debido al escaso poblamiento en la zona.

Lo anterior permite plantear también un trazado alternativo, que permita conectar Leptepu-Pillán, por la Península de Huequi (Ayacara).

En la Península de Huequi, lugar conocido como Ayacara (Figura N° 1) existe la Ruta W-813, en funcionamiento, la que conecta las localidades pobladas de Pallo, Poyo, Huequi, Ayacara, Pueldehue y Buil; en este lugar, en 2007, un flujo de detritos destruyó el último tramo de esta ruta.

Estos asentamientos de poblamiento insular requieren de mejor conectividad con Hornopirén y Puerto Montt, toda vez que siendo territorio continental tienen un carácter funcional como isla. Las condiciones geomorfológicas no son las de fiordo y, en consecuencia, son más favorables para el desarrollo de asentamientos poblados, como los arriba mencionados y que, con una mejor infraestructura vial y conectividad, se vería favorecida la deprimida economía local. La distancia de ruta a ser construida para conectar Buil y Leptepu es de sólo 24 kilómetros (aproximadamente), a diferencia de los 59 kilómetros de la ruta CH-7 entre Pichanco y Leptepu-Pillán, en un territorio con predominio del ambiente geográfico de fiordo.

Conclusiones

A partir del análisis de las componentes territoriales del fiordo Comau, es posible establecer las relaciones dinámicas que estructuran este sector tan particular de la norpatagonia de Chile, que además constituye una zona limítrofe-administrativa de las regiones de Los Lagos y de Aysén. Este hecho no es menos relevante para la toma de decisiones del Estado frente a la construcción del tramo de la carretera austral CH-7 Pichanco-Leptepu, como una concreción de conectividad con el resto de la carretera, a través de Caleta Gonzalo. El trazado de la carretera por la vertiente oriental del fiordo, es la ruta más directa de unión, pero en un terreno complejo.

Si bien el área de estudio está casi deshabitada y las localidades pobladas no son más que unas cuantas viviendas y caletas sin ninguna instalación, existe una incipiente y no menos próspera actividad económica vinculada a la acuicultura, siendo relevante en infraestructura productiva la salmonicultura, orientada a mercados internacionales. En la actualidad todo el transporte se realiza por vía marítima, desde Comau a Hornopirén y desde ahí por tierra, hasta Puerto Montt, capital regional de Los Lagos.

Ante este escenario actual, se puede hablar de un territorio extremo que está en proceso de cambio. Se concluye en consecuencia que habrá transformaciones en la estructura territorial del fiordo Comau una vez esté en operación la carretera austral CH-7.

Estos cambios estarían orientados a una intensificación del uso del agua con la acuicultura, hecho que se deriva de análisis realizado al uso actual y proyectado en el fiordo. De la misma manera, se estima una intensificación del uso del suelo asociado a actividades complementarias a la acuicultura, como también al turismo. Las áreas con dotación de recurso suelo corresponden a los valles distales de Huinay y Vodudahue, sectores por donde cruzará la Carretera Austral. Ya existen poblamiento incipiente en Huinay, mientras que en Vodudahue hay una coyuntural actividad del sector inmobiliario y turístico orientado a mercados de elite.

El análisis de las componentes físicas del territorio expone, sin embargo, la presencia de una serie de limitantes para el desarrollo de asentamientos poblados e infraestructura. Las condiciones morfo estructurales y geomorfológicas del fiordo Comau, de dominio periglacial, con influencia oceánica, se traducen en la ocurrencia de procesos de remociones en masa. Estos fueron identificados en un inventario que, junto al cálculo de la susceptibilidad de remociones, configuran un área sujeta a este tipo de amenazas de manera recurrente, principalmente en la vertiente oriental del fiordo, donde está proyectada la construcción de la carretera austral Ruta CH-7.

Este mismo sector está sujeto además a tsunamis asociados a remociones en masa generadas por enjambre sísmico. También están potencialmente afectadas por tsunamis oceanográficos. En este sentido, las actividades económicas con uso del suelo y del mar, actual y proyectada, se realizan en áreas con amenaza a ambos tipos de tsunamis.

Es decir, la exposición de la Ruta Ch-7 es muy alta debido a ambos tipos de amenaza. De ello se concluye que la obra Ruta CH-7 tendría problemas de operación dificultando así los objetivos de conectividad directa entre las regiones de Los Lagos y Aysén.

Las condiciones geomorfológicas y morfo estructurales del fiordo Comau contribuyen a la conformación del área como territorio extremo, salvo que la construcción de la carretera incorpore las amenazas naturales identificadas, con un gran costo del Estado en las etapas de construcción y operación que permita mantener la continuidad de operaciones a través de las obras de mitigación del impacto de las amenazas naturales recurrentes ya identificadas.

Finalmente, la estimación de la exposición de las actividades económicas existentes y potenciales contribuye a avanzar en la evaluación y análisis del riesgo de desastres asociado al desarrollo económico local. Al respecto también se puede concluir que esta obra de conectividad puede ser un aliciente para la construcción de territorios con riesgo socio-naturales.

Referencias bibliográficas

ALISTE, E. & PÉREZ, S. La reconstrucción del Gran Concepción: territorio y catástrofe como permanencia histórica. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2013, N°54, p. 199-218.

ALISTE, E. & MUSSET, A. Pensar los territorios del desarrollo: sustentabilidad y acción pública en nombre de una ciudad imaginaria. Concepción (Chile), 1950-2010. *Revista EURE*, 2014, Vol. 40, N° 120, p. 91-110.

ARRATIA, P. *Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de las actividades económicas: pesca, acuicultura y turismo, frente a las amenazas de origen natural en el fiordo Comau, Región de los Lagos*. Santiago de Chile: Memoria de Título de Geografía. Universidad de Chile. 2017.

ARNT, F.; BARTON, J. & ROMAN, A. La doble jerarquía del desarrollo económico y gobierno local en Chile: el caso de la salmicultura y los municipios chilotes. *Revista EURE*, 2010, Vol. 36, N° 108, p. 123-148.

BARTON, J. & IRARRÁZABAL, F. Adaptación al cambio climático y gestión de riesgos naturales: buscando síntesis en la planificación urbana. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2016, N°63, p. 87-110.

BLAIKE, P.; CANNON, T.; DAVIS, T. & WISNER, B. *At Risk, Natural hazards people's vulnerability and disaster*. London: Editorial Routledge: 2003.

BUSTOS, B. Brote del virus ISA: crisis ambiental y capacidad de la institucionalidad ambiental para manejar el conflicto. *Revista EURE*, 2012, Vol. 38, N° 115, p. 21 -245.

CAMUS, P.; ARENAS, F.; LAGOS, M. & ROMERO, A. Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2016, N°64, p. 9-20.

CARDONA, OMAR D. Environmental management and disaster prevention: Two related topics: A holistic risk assessment and management approach. *Natural disaster management*, 1999, p. 151-153.

CASTRO, C.P.; SOTO, M.V.; FERNÁNDEZ, R.; MÄRKER, M. & RODOLFI, G. Impacto en la geodinámica actual del valle de Nantoco, cuenca del río Copiapó, asociado a la reconversión productiva. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2009, N° 42, p. 81-99.

CASTRO, C.P.; IBARRA, I.; LUKAS, M. & SARMIENTO, J.P. Disaster risk construction in the progressive consolidation of informal settlements: Iquique and Puerto Montt (Chile) case studied. *International Journal of Disaster Risks Reduction*, 2015, Vol. 13, p. 109-127.

CEMBRANO, J.; HERVÉ, F. & LAVENU, A. The Liquiñe- Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, 1996, Vol. 259, N° 1-3, p. 55-66.

CEMBRANO, J.; LAVENU, A.; REYNOLDS, P.; ARANCIBIA, G.; LÓPEZ, G. & SANHUEZA, A. Late Cenozoic transpressional ductile deformation north of the Nazca-South America-Antarctica triple junction. *Tectonophysics*, 2002, Vol. 354, N° 3-4, p. 289-314.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Conceptos básicos sobre peligro y su representación geográfica*. 2006. Disponible en internet; <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/375/1/imagescbprrg>.

COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE. *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final*. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago. 2006.

COY, M. Los estudios del riesgo y de la vulnerabilidad desde la geografía humana: Su relevancia para América latina. *Población y sociedad*, 2010, Vol. 17, N° 1, p. 9-28.

DESAI, B. & SARMIENTO, J.P. Risking disaster- The role of private investment and public regulation in disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2015, N° 14, p. 203-214.

D'ERCOLE, R.; PIGEON, P. & SERRANO, T. Complejidad, incertidumbre y vulnerabilidad: el riesgo asociado al volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos (Quito, Ecuador). *Bulletin de l'Institut Française d'Etudes Andines*, 2009, N°38 (3), p. 709-733.

FERRANDO, F. Las Glaciaciones Cuaternarias en Chile. Visión General. *Revista Geográfica de Chile. Terra Australis*, 2002, N° 47, p. 129-165

GARREAUD, R.; ACEITUNO, P.; MUÑOZ, R.; ROJAS, M. & MONTECINOS, A. El clima de Chile está cambiando. Comunicación del Proyecto ACT-19. *Variabilidad climática en Chile: evaluación, interpretación y proyecciones*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2008.

HÄUSSERMANN, V. & FÖRSTERRA, G. Actiniaria-Sea Anemones. En: HÄUSSERMANN, V. & FÖRSTERRA, G. *Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia*. Puerto Montt de Chile: Nature in Focus. 2009, p. 215-266.

HERRMANN LUNECKE, M. G. Urban planning and tsunami impact mitigation in Chile after February 27, 2010. *Natural Hazards*, 2015, Vol. 79, N° 3, p. 1591-1620.

HERVÉ, F. The Southern Andes between 39° and 44°S latitude: the geological signature of a transpressive tectonic regime related to a magmatic arc. En: REUTTER, K.J.; SCHEUBER, E. & WIGGER, P.J. *Tectonics of the Southern Central Andes*. Springer Verlag, 1994, p. 243-248.

HERVÉ, R.; FUENTES, F.; CALDERÓN, M.; FANNING, M.; QUEZADA, P.; PANKHURST, R. & RAPELA, C. Ultramafic rocks in the North Patagonian Andes: is their emplacement associated with the Neogene tectonics of the Liquiñe-Ofqui Fault Zone?. *Andean Geology*, 2017, Vol. 44, N° 1, p. 1-16.

HUANG, S.L.; YEH, C.T. & CHANG L.F. The transition to an urbanizing world and the demand for natural resources. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, Vol. 2, N°3, p. 136-143.

IBIETA, P.; TAPIA, V.; VENEGAS, C.; HAUSDORF, M. & TAKLE, A. Chilean salmon farming on the horizon of sustainability: review of the development of a highly intensive production, the ISA crisis and implemented actions to reconstruct a more sustainable aquaculture industry. En *Aquaculture and the Environment-A Shared Destiny*. InTech, 2011, p. 214-246.

LARA, L. The 2008 eruption of the Chaiten Volcano, Chile: a preliminary report. *Andean Geology*, 2009, Vol. 36, N° 1, p. 125-129.

LAVELL, A. The Lower Lempa River Valley, El Salvador: Risk Reduction and Development Project. En: BANKOFF, G.; FRERKS, G. & HILHORST. *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London: Editorial Earthscan, 2004.

LOYOLA, C. Infraestructura vial y niveles de accesibilidad entre los centros poblados y los centros de actividad económica en la Provincia de Ñuble, VII Región. *Revista Tiempo y Espacio*, 2005, N° 15, p. 10-23

MÄRKER, M.; DANGEL, F.; SOTO, MV. & RODOLFI, G. Assessment of natural hazards and Vulnerability in the Rio Copiapó catchment: A case study in the ungauged Quebrada Cinchado Catchment. *Investigaciones Geográficas*, 2012, N°44, p. 17-28.

MOLINA, C. *Análisis de susceptibilidad de remociones en masa en las costas del fiordo Comau, X Región, Chile*. Santiago de Chile: Memoria de Título de Geología, Universidad de Chile, 2016.

MITCHELL, T., EBUNA, D., & SMITH, K. Investigations of marine geohazards in coastal zones. *Oceans*. 2013, DOI: 10.23919/OCEANS.2013.6741081

MUÑOZ, M.D. & TORRES, R. Conectividad, apertura territorial y formación de un destino turístico de naturaleza. El caso de Aysén (Patagonia chilena). *Estudios y Perspectiva en Turismo*, 2010, Vol. 19, N°4, p. 447-470.

NARANJO, J.A.; MUÑOZ, O.; CLAVERO, J. & ARENAS, M. Mass movement-induced tsunamis: main effects during the Patagonian Fjordland seismic crisis in Aisén (45°25'S), Chile. *Andean Geology*, 2009, Vol. 36, N°1, p. 137-145.

NÁQUIRA, V.; *Susceptibilidad remociones en masa en las costas de fiordos cercanos a Hornopirén*. Santiago de Chile: Memoria de título de Geología, Universidad de Chile, 2009.

NÚÑEZ, A.; ARENAS, F.; BRIGAND, L.; ESCOBAR, H., PUZIAT, I. & SALAZAR A. Territorialización del aislamiento geográfico: criterio ambiental para una nueva representación territorial en la Región de Aysén. *Revista de Historia y Geografía*, 2010, N°24, p.47-66.

ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS. Manejo del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático. Departamento de Desarrollo Sostenible. 2015. Disponible en internet: <http://www.oas.org/dsd/Spanish/DesastresyPlan.htm>.

ONETTO, M. Terremotos recordados, temblores olvidados. Interpretaciones sobre los orígenes de la memoria telúrica en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2014, N°59, p. 185-199.

OUYANG, M. Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 2014, N°121, p. 43-60.

PELLING, M. *Natural disasters and development in a globalizing world*. London: Editorial Routledge, 2003.

PELLING, M. *Adaptation to climate change: From resilience to transformation*. London: Editorial Routledge, 2011.

PELLING, M. & WISNER, B. *Disaster Risk Reduction. Case from urban Africa*. London: Editorial Routledge, 2012.

PINO, P.; IGLESIAS, V.; GARREAUD, R.; CORTÉS, S.; CANALS, M.; FOLCH, W.; BURGOS, S.; LEVY, K.; NAECHAR, L. & STEENLAND, K. Chile confronts its environmental future under uncertain perspectives of climate change. *Annals of Global Health*, 2015, Vol. 81 N°3, p 354-367.

OUTEIRO, L.; VIDDI, F.; HUCKE-GAETE, R.; FÖRSTERRA, G.; HÄUSSERMANN, V.; OYARZO, H.; KO-SIEL, K. & VILLASANTE, S. Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in Southern Chile under scenario assessment. *Ecosystem Services*, 2015, Vol. 6, p. 341-353.

RUIZ, M. *Acerca del Porbla de coenctibidad en la zoan austral de Chile: El caso de la carretear austral 1976-1996*. Santiago de Chile: Informe de Grado de Licenciado en Historia. Universidad de Chile, 2016.

SARRICOLEA, P. & FIGUEROA, P. Pluviometría de los últimos 48 años en Chile centro-sur (33°40'-42°S) y sus patrones de variabilidad en el contexto de Cambio Climático Global. En *XI Simposio Brasileiro de Climatología Geográfica*. Curitiba Brasil. 2014.

SEPÚLVEDA, S.A. & SEREY, A. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the April 21, 2007 Aisén earthquake, southern Chile (45.5°S). *Andean Geology*, 2009, Vol. 36, N°1, p. 131-136.

SEPÚLVEDA, S.A.; SEREY, A.; LARA, M.; PAVEZ, A. & REBOLLEDO, S. Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia. *Landslides*, 2010, Vol. 7, N°4, p. 483-492.

SHAFIEEZADEH, A., & IVEY BURDEN, L. Scenario-based resilience assessment framework for critical infrastructure systems: Case study for seismic resilience of seaports. *Reliability Engineering and System Safety*, 2014, N°132, p. 207-219.

SOTO, M.V. Geografía de los fiordos. En: HÄUSSERMANN, V. & FÖRSTERRA, G. *Fauna marina Bentónica de la Patagonia Chilena*. Puerto Montt de Chile: Nature in Focus, 2009.

SOTO, M.V.; SARRICOLEA, P.; SEPÚLVEDA, S.A.; CABELLO, M.; IBARRA, I. & MAERKER, M. Geohazards in the North Patagonian Fjordland, Comau, Chile. En: *Sea Level Rise and Coastal Infrastructure*. Editorial InTech, open science. 2018, p. 99-118.

VALDIVIESO, P., & ANDERSSON, K. P. What motivates local governments to invest in critical infrastructure? Lessons from Chile. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, N° 10, p. 6-13.

WYNDHAM, K. *Análisis de vulnerabilidad y riesgo del sector turístico y la población flotante en la comuna de La Serena frente a la ocurrencia de una amenaza de origen natural. IV Región de Coquimbo*. Santiago de Chile: Memoria de título de Geógrafo. Universidad de Chile. 2013.

