



# Análisis de la susceptibilidad de eventos geo-naturales para la clasificación de concesiones salmoneras en el Fiordo de Reloncaví. Región de Los Lagos, Chile.

**Daniela Victoria González Guerra**

**Profesor Guía:** Sr Ramiro Ulises Bonilla Parra  
**Profesores Comisión:** Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn  
MSc. Abraham Elías Gonzalez Martínez

## Resumen

En marco del proyecto Corfo “Modelos de Clasificación de concesiones salmoneras”, realizado por Graiph Inteligencia Artificial y AEX Group, se clasificaron 8 concesiones, pertenecientes a una empresa del rubro acuícola, ubicadas en la Región de los Lagos.

La clasificación se realizó en base a la posibilidad de que las instalaciones puedan ser afectadas por eventos geológico. Para esto, se definieron los eventos que han afectado o pueden afectar a las instalaciones produciendo daños o problemas en ellas, como son las remociones en masa y los eventos volcánicos, además se incluyó dentro de los eventos riesgosos una variable con relación a la distancia que existe entre una instalación y la desembocadura o delta de río, redefiniendo para propósitos de este estudio la susceptibilidad a “eventos geo – naturales”.

Para poder relacionar estos eventos y realizar una clasificación, fue necesario utilizar una técnica compensatoria aditiva, la que asigna pesos a los eventos en relación con la importancia de estos. El método utilizado corresponde al de Jerarquías Analíticas del matemático Thomas Saaty (1980).

**Palabras Claves:** Remociones masa, peligros geológicos, susceptibilidad, análisis costas.

## 1. Introducción

En Chile, la tercera mayor actividad económica es la producción de salmones y a nivel mundial, el país, ostenta el segundo lugar como productor detrás de Noruega.

El proceso de producción del salmón está asociado al ciclo de vida de este y se realiza tanto en tierra como en agua, dependiendo de la etapa de vida en la que se encuentre.

La última etapa de producción corresponde al engorde de los salmónidos, estos son llevados a jaulas balsas donde permanecerán cerca de un año en condiciones favorables para su óptimo crecimiento.

La gran mayoría de las jaulas son instaladas en las regiones del sur de Chile (X Región de los Lagos, XI Región de Aysén y XII Región de Magallanes) y debido a las condiciones geográficas del lugar no están exentas de los peligros geológicos.

### 1.1. Planteamiento del problema

Uno de los problemas de la industria del salmón son las fugas o pérdidas de peces desde las jaulas balsas, al soltarse el sistema de anclaje. Las causas son variadas: fallas técnicas y operativas, ataque de depredadores, fuertes tormentas que desestabilizan la estructura, rotura del anclaje perno-roca, deslizamientos de rocas que rompen las instalaciones, entre otros. Las consecuencias de estos problemas pueden ser daños en

infraestructuras, pérdidas del recurso (salmones), daños ambientales, entre otros.

Las instalaciones juegan un papel decisivo y son necesarias para uso en la producción, por lo que deben ser seguras, tanto para el personal que trabaja en ellas, como para resguardar la reserva de peces.

En la industria salmonera no se consideran las características geológicas del lugar donde se instalan las jaulas y, en más de una ocasión, se han visto afectados por: actividad volcánica, como lahares o caída de ceniza, sismos y tsunamis, remociones en masa o aluviones, que desembocan cercanos a las instalaciones.

### 1.2. Objetivo General

El objetivo de este estudio es crear un sistema de clasificación de las concesiones de salmones presentes en la zona de estudio, en base a la susceptibilidad de verse afectadas por evento naturales, producido por procesos geológicos.

### 1.3. Objetivos específicos

- Identificar y definir los factores geológicos que afectan o podrían afectar a las instalaciones de jaulas salmoneras.
- Organizar la información para la toma de decisiones, mediante la ponderación de los factores identificados, por medio de una técnica compensatoria aditiva.

### 1.4. Ubicación

Este estudio se realiza en concesiones ubicadas a lo largo del fiordo-estuario Reloncaví, provincia de Llanquihue en la Región de los Lagos, Chile, aproximadamente en las coordenadas geográficas  $41^{\circ} 22'S$  y  $072^{\circ}30'W$  (Figura 1). El área tiene una extensión de 17.134 Ha, de las cuales el 60% están definidas como aptas para la acuicultura. Sin embargo, sólo se ha otorgado en concesión el 2,1%, para actividades de cultivo de salmones y de mitílicos.

### 1.5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias el proyecto Corfo 21SN-182487, en conjunto con Graiph Inteligencia

Artificial y AEX Group, dirigido por Marcelo Surjan a quien se agradece su apoyo y amistad.

Agradezco a todo el departamento Ciencias de la Tierra, principalmente a los profes L. Quinzio, R. Bonilla, A. Gonzalez y S. Palma, quienes me escucharon y alentaron a seguir, gracias por tantas enseñanzas para la vida.

Este trabajo lo dedico a mis padres, hermana y manada, gracias por dejarme explorar la vida a mi manera, por su eterna compañía, amor y paciencia en mis procesos.

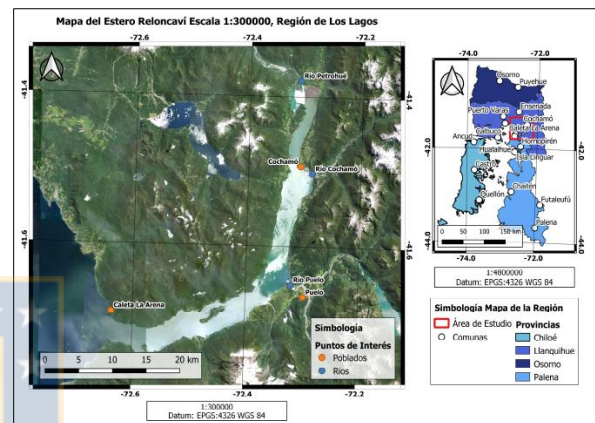


Figura 1. Mapa ubicación Zona de trabajo

## 2. Marco Teórico

### 2.1. La Acuicultura del Salmon (Salmonicultura)

La acuicultura se define como todo conjunto de actividades, técnicas y conocimientos de cultivo de especies acuáticas. Dentro de ella se encuentra la producción de salmones que en Chile corresponde a la tercera mayor actividad económica del sector productivo del país.

El proceso de producción del salmón está asociado al ciclo de vida de este y corresponde a etapas realizadas en diferentes locaciones:

- En piscinas instaladas sobre superficies terrestre (piscicultura) y
- En sistemas de balsas-jaulas flotantes instaladas dentro de un área concesionada por la empresa

### 2.2. El Sistema Balsa – jaula

Una balsa-jaula es una estructura rígida, o semi rígida de variadas formas y tamaños. Cuenta con un sistema de flotación y se adhiere al fondo marino con un sistema de anclaje- fondeo (pesos muertos)

y, en algunas ocasiones, se utilizan sistemas de anclajes por medio de pernos a rocas aledañas.

El espacio ocupado por los peces está delimitado por redes jaulas que los protegen de depredadores marinos y aves (Figura 2).

### 2.3. Concesiones

La instalación de la jaula-balsa, donde se realizará el engorde de los salmones, se hace en un área delimitada denominada concesión.

El Ministerio de Defensa Nacional otorga los derechos de uso y goce, por el plazo de 25 años, renovables, sobre determinados bienes nacionales, para que se efectuó en ellos actividades de acuicultura, sobre recursos hidrobiológicos.

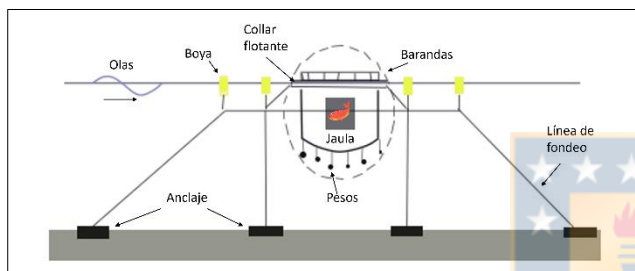


Figura 2. Esquema de un sistema balsa- jaula -fondeo usada en la engorda de salmones. Modificado de Huang 2007.

### 3. Marco Geológico

El estuario-fiordo de Reloncaví es un rasgo morfológico único en la provincia de Llanquihue, posee una extensión de 56 km de largo y 2 a 3 km de ancho y una profundidad máxima de 460 m. Recibe aporte de agua de los ríos Petrohue, Cochamó y Puelo.

El ambiente de mar interior de condiciones macromareales, conforma un territorio geográfico de alta complejidad y variedad de formas, playas, estuarios, deltas, ríos, fiordos y glaciares, como síntesis de la convergencia de procesos dinámicos de diferente naturaleza que han configurado el paisaje. Los sistemas de estuarios constituyen complejos geomorfológicos y biogeográficos de importancia para las zonas costeras como fuente de recursos territoriales de interés para la sociedad (Albornoz 2017).

Geomorfológicamente el área de estudio se encuentra en la unidad de la Cordillera Volcánica Activa (Borgel 1983), la que se extiende desde el volcán Llaima al volcán Hornopiren. Muchos de estos volcanes se encuentran distribuidos en torno a la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), como es el caso del volcán Yate (2187m s.n.m.), que se encuentra en el área de estudio, formado principalmente por lavas que corresponden a basaltos, andesitas y dacitas. Las sierras son fuertemente erosionadas por glaciares y ríos. En las cimas se puede observar formaciones rocosas con material muy inestable, sujetos a procesos como derrumbes y deslizamientos (Araya 2004).

El fiordo Reloncaví es parte de la ZFLO, una mega falla de intrarco transcurrente dextral (Cembrano et al.,1993), que corresponde a una estructura activa, donde el desplazamiento relativo de bloques tendría una importante componente vertical y el registro estructural observado documenta tanto la deformación transgresiva de largo plazo como aquella de corto plazo sobreimpuesta (Lara et al., 2006).

Con la información del Mapa Geológico de Chile (2004) de escala 1: 1.000.000 se diseña el mapa geológico de la zona (Figura 3), en el que se reconoce que las zonas costeras del fiordo Reloncaví poseen principalmente rocas graníticas del Mioceno (Mg), pertenecientes a la Superunidad Ralún (Carrasco et al., 1991) que conforma al Batolito Norpatagónico, y que se distribuyen al Oeste de la ZFLO, con una orientación NNE-SSW, estas rocas intruyen a rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico (PzTr4) correspondientes al Complejo Metamórfico Liquiñe, que aflora en la parte surponiente del fiordo.

Al Este de la ZFLO, con orientación NS se reconocen granodioritas del Cretácico inferior (Kig), pertenecientes al grupo plutónico Gayetúe o Superunidad Puelo, según Carrasco (1991).

Secuencias volcánicas de lavas basálticas con intercalación de tobas y conglomerados, correspondientes a actividad volcánica del Plioceno – Pleistoceno (PPI3) afloran en laderas del volcán Yate y en la parte norte del fiordo, sobre las rocas Intrusivas. En esta zona también afloran depósitos volcánicos (basálticos), correspondiente a centros

eruptivos de menor tamaño, que se encuentran al Norte del Fiordo y cuya actividad ocurrió en el Cuaternario (Q31).

En la desembocadura del río Puelo se disponen secuencias del Pleistoceno – Holoceno (Qm y Q1) correspondientes a depósitos aluviales y coluviales con intercalaciones de depósitos volcanoclásticos, productos de remociones en masa. La presencia de depósitos litorales de la misma edad, como arenas y gravas, se reconocen en las playas actuales.

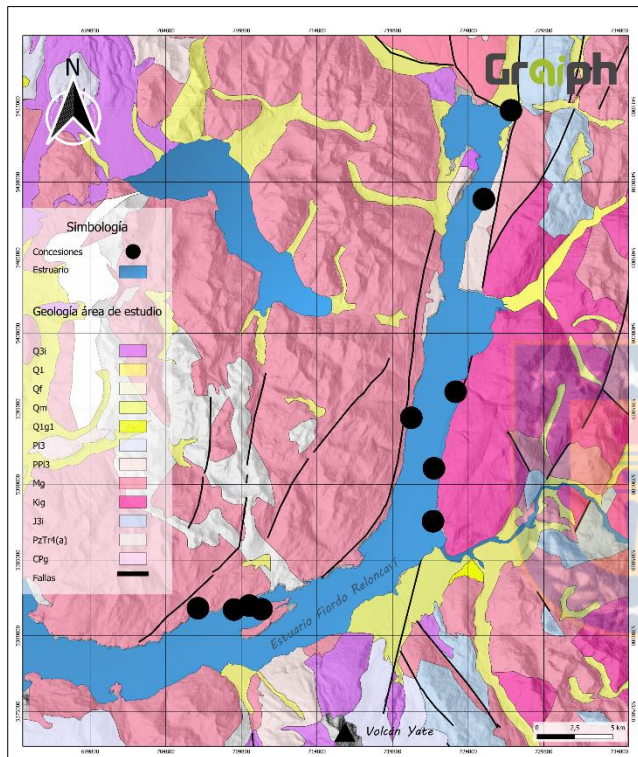


Figura 3. Mapa Geológico de la zona de estudio. Puntos negros: ubicación de las concesiones. Modificado de Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (2004).

## 4. Metodología

Para la realización del trabajo se ejecutaron las siguientes etapas:

### 4.1. Trabajo Gabinete-Información Bibliográfica

Consiste en la recopilación de antecedentes con información referente al área de estudio; como cartas geológicas, trabajos de Memorias de Título relacionadas con peligros naturales, registros históricos, publicaciones científicas con metodologías probadas en situaciones similares, entre otros.

### 4.2. Trabajo de Terreno-Obtención de Datos

Durante esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Visita a los centros de cultivo, ubicados en el Fiordo de Reloncaví en la región de los Lagos. Se navegó el fiordo de Reloncaví y se visitaron todas las concesiones de la empresa, lo que permitió observar ambos bordes del fiordo.
- Análisis del sector donde están ubicadas las concesiones, recopilando información relevante al estado de su anclaje, litología del área y presencia de remociones en masa cercanas. Se observó la topografía, geomorfología de las costas y geometrías de las laderas.
- Caracterización de algunos afloramientos, en base a su litología.
- Identificación de los peligros geológicos locales a los que se exponen las concesiones en la zona.
- Identificación de otros eventos naturales que puedan influir en la inestabilidad de la instalación.

También se conversó con los trabajadores de los lugares visitados, sobre cómo han sido afectados por eventos relacionados a la geología, como son: remociones en masa, terremotos, actividad volcánica, en la zona o por efectos naturales meteorológicos como intensos vientos o lluvias que pueden aumentar los caudales de los ríos.

### 4.3. Trabajo de Gabinete

- Clasificación de la información disponible. Con la información recabada, se procede a identificar los factores que han influido, influyen, o podrían influir en la susceptibilidad de que una concesión se vea afectada por eventos geo naturales.
- Ponderación de los factores, para analizar y evaluar estos factores se utilizó una técnica compensatoria aditiva (TCA), esta asigna pesos ponderados a las distintas variables, lo que permite realizar una comparación numérica entre ellas. Para esto se ocupó la Metodología de Jerarquías Analíticas (MJA) formulada por el matemático Thomas Saaty en la evaluación de multicriterios.

La MJA o AHP (por su nombre en inglés) permite de manera eficiente y gráfica, mediante la construcción de un modelo jerárquico, organizar la información respecto de un problema de decisión (Calenzani et al 2014). En este análisis, cada parámetro recibe un puntaje de acuerdo con el nivel de importancia de la relación de pares analizados, estos valores de concordancia son luego ingresados al MJA, convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineales (Cartaya, et al. 2009)

- Integración de información por medio del programa QGIS, en el que se diseñaron ráster de clasificación para poder visualizar e identificar los factores seleccionados, los que se clasificaron y ponderaron con el sistema MJA, para poder identificar la presencia e influencia de ellos en cada instalación o concesión.
- Productos finales, con los análisis se diseña un Mapa de Susceptibilidad a Eventos Geo-Naturales del Área de Estudio, para representar los potenciales eventos a los que se exponen las instalaciones. También se realiza la clasificación para las concesiones del fiordo Reloncaví mediante el modelo descrito.

## 5. Resultado

### 5.1. Identificación de los factores geológicos que afectan a las concesiones

Con la información obtenida en terreno se identificaron los eventos geológicos que han influido, influyen, o pueden influir en la seguridad de una instalación cercana al borde costero. Estos son:

- Remociones en Masa
- Eventos Volcánicos
- Sismos y Tsunamis

#### 5.1.1. Remociones en Masas

Las Remociones en Masa han sido reconocidas en el área de trabajo. Se observaron remociones en diferentes puntos de la ruta V-69. Todos con las mismas características con relación al tipo de roca (intrusivo), estado de esta (meteorizado) y pendientes (mayores a 45°).

Una de las concesiones fue afectada en marzo del 2020 por la caída de rocas, causando el hundimiento de una jaula. En esta zona se observa un talud de

casi 90° que se ve afectado por una zona de falla donde se reconoce un afloramiento intrusivo meteorizado. Además, no cuenta con sistemas de contención, drenaje o protección y se observa presencia de agua de vertiente en diferentes puntos.

En la determinación de la susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio, se consideraron las variables, que estarían involucradas en una posible inestabilidad del terreno, estas se categorizaron y ponderaron individualmente para luego diseñar un mapa ráster con la información. Ellas son:

- Litología, (*tipo de roca*): se realizó una comparación de las unidades litológicas presentes en la zona de estudio con el registro de remociones, obteniendo la ocurrencia de eventos en determinadas litologías, luego por medio de una matriz de Saaty se les ponderó, obteniendo mayor peso las rocas con más ocurrencia de deslizamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Definición del peso para la variable litología.

Id	Categoría	Unidades Litológicas	Peso
1	Baja a Nula	Qm, Q3i	0,08
2	Media	Q1, PzTr4, PPL3	0,19
3	Alta	Mg, Kig	0,73

-Pendiente, se utilizó un archivo digital de elevación NASA SRTM de 30m, para la obtención de estos datos. Las pendientes se clasificaron según su ángulo y se agruparon en las categorías de baja, media y alta, en relación con la posibilidad de inestabilidad y se ponderó esta clasificación por medio de una matriz de Saaty según su importancia (Tabla 2).

Tabla 2. Definición de pesos para la variable pendiente.

Id	Categoría	Ángulos	Peso
1	Baja	0-30°	0,07
2	Media	30-45°	0,15
3	alta	45-79°	0,78

-Distancia a Fallas, se diseñaron 3 categorías en relación con la distancia de la falla y la instalación, luego se ponderaron con el mismo sistema (Tabla 3).

Tabla 3. Definición de pesos para la variable distancia a fallas

Id	Categoría	Distancia Falla	Peso
1	Bajo	2000 m	0,06
2	Medio	1000 m	0,21
3	Alto	500 m	0,73

- *Orientación ladera*, para determinar la relación de la orientación de las laderas con la posibilidad de remociones, se hizo un análisis estadístico de las remociones en determinadas direcciones. Con esta base se clasificó y categorizó esta variable (Tabla 4).

**Tabla 4. Definición de pesos para la variable orientación ladera**

Id	categoría	Dirección de orientación	Peso
1	Baja	Norte	0,09
2	Media	Sur y Oeste	0,24
3	Alta	Este	0,67

- *Uso de suelo*, para obtener la información, se utilizó imágenes del uso y cobertura del suelo del año 2020 a partir de imágenes de Sentinel 2. Se clasificaron 3 parámetros que luego se ponderaron (Tabla 5).

**Tabla 5. Definición de pesos para la variable uso de suelo**

Id	Categoría	Tipo de suelo	Peso
1	Baja	Arboles	0,10
2	Media	Antrópico	0,26
3	alta	Suelos sin cobertura	0,64

Con toda la información anterior y utilizando la metodología de Jerarquías Analíticas, para darle peso a las variables en base a su importancia (Tabla 6), se diseñó un mapa de susceptibilidad a remociones en masa para el área de estudio por medio de la suma ponderada de ráster utilizando el software QGIS 3.22.4 (Figura 4a).

**Tabla 6. Definición de pesos para la variable que intervienen en las remociones en masa**

Id	Variable	Peso
1	Litología	0,36
2	Pendiente	0,33
3	Distancia Falla	0,18
4	Aspecto	0,06
5	Uso Suelo	0,07

La suma ponderada da como resultado un mapa de 3 colores que representan baja, media o alta susceptibilidad y poseen un peso para cada clasificación (tabla 7), información requerida para el mapa de clasificación de concesiones final.

**Tabla 7. Ponderación de la Susceptibilidad a Remociones en masa**

Id	Susceptibilidad a remociones en masa	Peso
1	Baja	0,09
2	Media	0,20
3	Alta	0,71

### 5.1.2. Eventos volcánicos

La región de los lagos posee 18 volcanes. El área de trabajo se encuentra cercana a los volcanes Calbuco, Yate, Hornopirén y Tronador, siendo sólo el volcán Yate (altura 2187 m s.n.m.) el que, según la carta de peligro volcánico del Sernageomin, afectaría directamente a las instalaciones en el fiordo. El estratovolcán Yate, es controlado por la ZFLO y se posiciona en el número 16 del ranking de riesgo específico, categorizado como tipo II, es decir, sistema volcánico con nivel alto de riesgo específico según Sernageomin.

Este volcán no posee un registro de actividad eruptiva histórica, pero por datación con radiocarbono, se determinó que la última actividad eruptiva ocurrió en el año 1090 aproximadamente (Mella 2017). Sin embargo, ha experimentado múltiples colapsos de cumbres a lo largo del tiempo postglacial, restringido a los sectores NE y SW de la cumbre (Watt 2009).

Existen registros de eventos catastróficos como avalanchas de detritos y laháricos, asociados a eventos de lluvias extremas (Hauser 1985), como el ocurrió en el año 1965, que luego de 15 días de lluvia (inusual de verano), se produjo un deslizamiento de flujos, provocando un tsunami en el lago Cabrera, causando muertes y daños considerables.

Por esta razón se considera que el factor de riesgo volcánico se debe incluir dentro de la clasificación de las concesiones, ya que está presente en la zona y, a pesar de que no afectaría a todas por igual, es probable que se repitan flujos de escombros con magnitudes similares al evento de 1965 (Watt 2009).

Para definir el área que afecta, su clasificación y ponderación, se utilizó el mapa de peligro volcánico del Sernageomin de 2017, además se agregó la información sobre la posible dispersión de la tefra o cenizas volcánicas. Así se clasificó en bajo, medio y alto su riesgo y posteriormente se ponderó con la matriz de Saaty (Figura 4b y Tabla 8), para poder realizar el mapa ráster que se empleará en la clasificación final.

**Tabla 8. Ponderación de la Susceptibilidad a peligros volcánicos**

Id	Categoría	Peligrosidad	Peso
1	Baja	Baja	0,06
2	Media	Media	0,21
3	alta	Alta	0,74

### 5.1.3. Sismos y Tsunamis

Históricamente esta área se ha visto afectada por sismos de gran envergadura y potencialmente generadores de remociones en masa y tsunamis, como el ocurrido en Aysén el año 2007 (6.2 Mw.), que actuó como un proceso desencadenante para remociones en masa en la zona de fiordos, provocando un tsunami que afectó tanto a poblados como a instalaciones de salmones, causando daños y la muerte de un trabajador.

Los sismos y tsunamis, al ser eventos que afectarían a todas las concesiones por igual, no se utilizarán como un factor para clasificar las concesiones, puesto que además de estar asociados entre sí, sus posibles consecuencias se relacionan a la ocurrencia de remociones en masa, las que si son consideradas en la clasificación.

### 5.2. Identificación de otros factores

En la zona de estudio el promedio anual de precipitación es de 2.345 mm y el de la temperatura es de 11°C. La precipitación está controlada, casi en su totalidad, por el viento proveniente del SWW. El área corresponde a una zona lluviosa con alta correlación viento- precipitación (Garreaud et al., 2013) y, según la clasificación de Köeppen (Rodríguez 1972), su clima es templado cálido lluvioso, sin estación seca (CFB), predominante en el área costera y precordillerana. Esto ocurre en ambos lados del estuario.

La lluvia es considerada como un factor desencadenante de remociones en masa (Gonzalez et al., 2002), además, las lluvias producen aumento en los caudales de los ríos, lo que permite mayor movilización de sedimentos. Dependiendo del caudal y del aporte de material, los tamaños de los sedimentos pueden ser desde tamaño arcilla a grandes bloques de roca, los que son transportados y posteriormente depositados en los deltas que se forma en la desembocadura de los ríos.

En el fiordo de Reloncaví desembocan los ríos Petrohue con caudal medio de 280 m<sup>3</sup>/s, Cochamó con caudal medio de 35 m<sup>3</sup>/s y Puelo con caudal medio de 644 m<sup>3</sup>/s (Valle-Levinson et al., 2007).

Se observó que algunas concesiones se encuentran instaladas en zonas cercanas a los deltas o desembocaduras de los ríos o quebradas activas. Un aumento del caudal del río con un aporte de material rocoso podría afectar a las instalaciones y provocar problema en. Así, se decidió identificar a estas áreas en relación con la distancia de ubicación con respecto a las instalaciones y, posteriormente, se clasificaron según su cercanía, luego se ponderaron y se diseñaron los archivos para hacer su respectivo mapa ráster (Figura 4c y Tabla 9).

**Tabla 9. Ponderación en base a la distancia de las desembocaduras de ríos.**

Id	Categoría	Distancia (m)	Peso
1	Baja	300	0,10
2	Media	200	0,26
3	alta	100	0,64

### 5.3. Clasificación de las concesiones

Para clasificar las concesiones en relación con la susceptibilidad de ser afectados por eventos geológicos naturales, se tomaron en consideración 3 factores:

- La susceptibilidad a remociones en masa
- El peligro volcánico y
- La distancia entre la concesión y la desembocadura de un río.

Cada uno de estos factores fueron ponderados según su importancia y frecuencia de ocurrencia. El resultado de los pesos se puede ver en la (Tabla 10).

**Tabla 10. Ponderación en base a su importancia y frecuencia de ocurrencia.**

Id	Factor	Peso
1	Remociones	0.79
2	Volcanes	0.07
3	Distancia ríos	0.15

Para la obtención del mapa de susceptibilidad a eventos geológicos naturales se realiza una suma ráster ponderada de los 3 factores (Figura 5).

Luego, para la clasificación de las concesiones se superpone la ubicación de estas con un diámetro de influencia de 1,5 km. Por medio de una estadística zonal por área se obtiene la clasificación de las

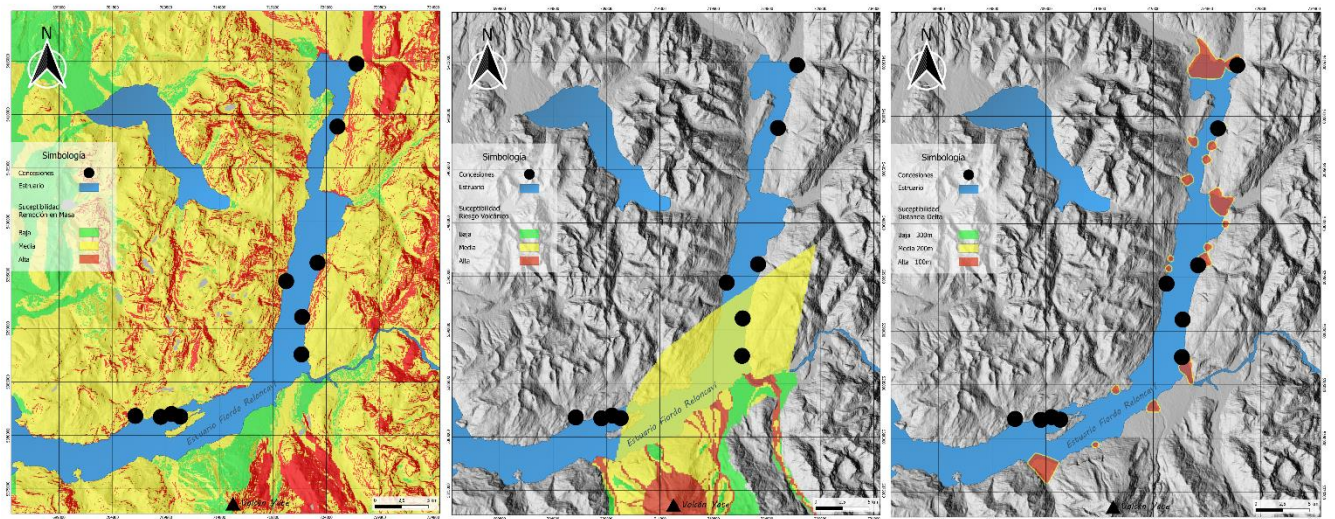


Figura 4. Mapas de susceptibilidad a peligros geo naturales. a) Mapa Susceptibilidad a Remociones en Masa, b) Mapa de Susceptibilidad a Peligros Volcánicos, volcán Yate. c) Mapa susceptibilidad a efectos de los aumentos de caudal.

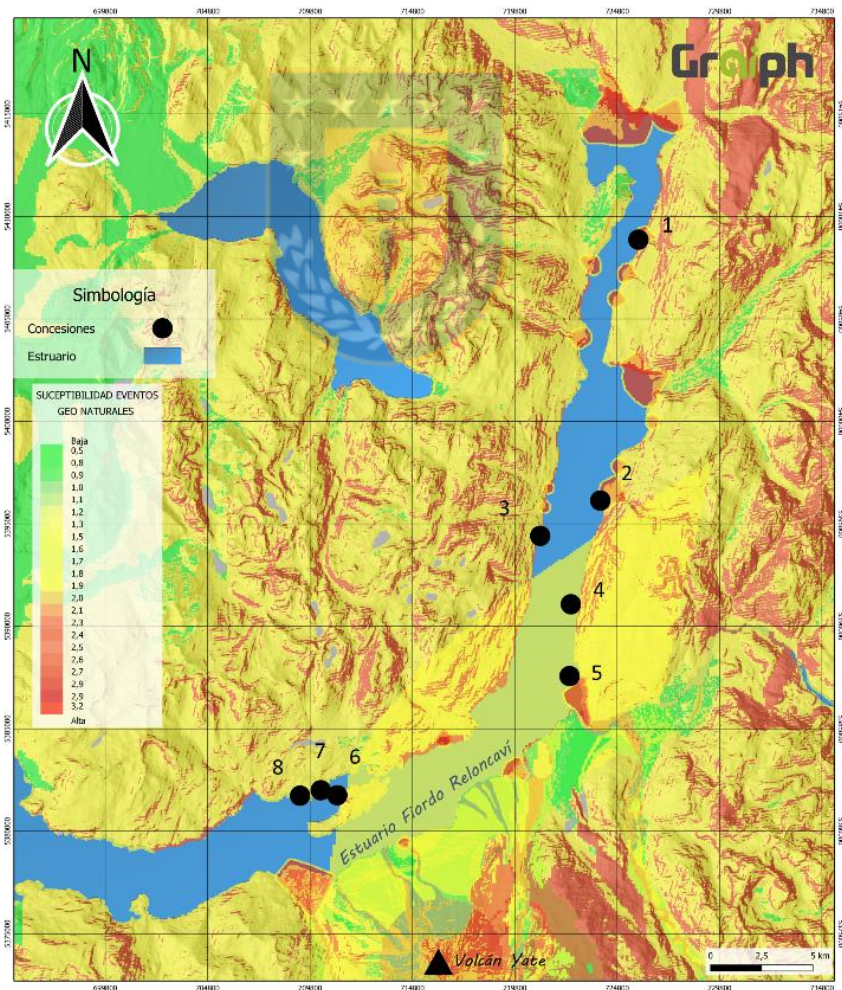


Figura 5. Mapa Susceptibilidad ante eventos Geo Naturales en la zona de estudio, escala 1:100.000.



concesiones en base al peso de los factores que le afectan (Tabla 11).

**Tabla 11. Ranking de las concesiones salmoneras, basadas en su menor a mayor susceptibilidad de verse afectadas por eventos geo naturales**

RANKING	CONCESION	PUNTAJE
1	1	386,37
2	3	299,99
3	8	282,26
4	2	249,72
5	7	232,78
6	4	186,33
7	6	135,22
8	5	79,18

## 6 Conclusión

La definición de los factores condicionantes de la inestabilidad de las laderas y la importancia o peso de estos para determinar la susceptibilidad a remociones en masa, así como otros criterios utilizados para la clasificación de las concesiones, son seleccionados en base a la disponibilidad de datos y estudios de terreno, antecedentes bibliográficos, opinión de expertos consultados y el criterio de la autora.

La ribera del fiordo Reloncaví que es utilizada por la industria de la acuicultura, es una zona muy propensa a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, las que han aumentado en los últimos años, ya sea por los procesos de erosión normales, como también por la amplificación de la intervención humana que ha modificado taludes naturales sin la correspondiente estabilización o drenaje de estos, o por la excesiva tala de árboles que dejan a los terrenos y laderas expuestos ante las condiciones climáticas adversas.

Algunas instalaciones se encuentran cercanas al camino V-69, el que ha registrado frecuentes eventos de remociones en masa de su talud, por lo que conlleva a un aumento de la susceptibilidad en las instalaciones aledañas a estas zonas.

Los resultados, con relación a la susceptibilidad a remociones en masa, son similares a los obtenidos por otros autores en la zona de estudio,

relacionándose directamente con la complejidad de territorios modelados por efectos glaciales.

En general, los resultados con más susceptibilidad a eventos geo naturales, coinciden principalmente a la presencia de alta pendientes, caminos, zonas de poca a nula cobertura vegetal y cercanía de la instalación con respecto a desembocaduras de ríos.

Ante estos eventos se recomienda, según el grado de susceptibilidad, tomar medidas para mitigar los problemas, como muros o diques de contención, mejora del talud, cambio de la ubicación de los anclajes, así como también se recomienda charlas de seguridad para los trabajadores y que sepan como reaccionar en caso de problemas. Lamentablemente la mayoría de estas medidas son difíciles de efectuar ya que deben realizarse en áreas que no son parte de la concesión, por lo tanto, no pueden ser ejecutadas por la empresa.

En relación con la distancia de las instalaciones, con respecto a las desembocaduras de los ríos, solo se ven afectadas 3 concesiones, donde 2 se encuentran ubicadas en la zona de mayor susceptibilidad.

La susceptibilidad de verse afectados por eventos volcánicos es relativamente baja. Es por eso, que la ponderación utilizada para este criterio corresponde a la de menor peso. La ceniza volcánica y/o material piroclástico, sería lo que podría afectar a las instalaciones, pero dependerá de la época del año (viento) y de la intensidad del evento.

Como las jaulas balsas en algunas ocasiones se encuentran ancladas a las rocas, se recomienda utilizar criterios geomecánicos, en la selección del lugar de este anclaje, para asegurar una eficiencia en la instalación y reducir el riesgo de rotura rocaperno. Esto no se considera en el proceso de instalación.

Al efectuar este estudio se reconoce la ausencia de conocimiento, por parte del rubro de la acuicultura, sobre los eventos geológicos que pueden afectarles y la falta de normativas que velen que esta información sea considerada para la realización de actividades de diferente naturaleza.

También se reconoce que la estabilidad de una jaula balsa depende de múltiples factores, no sólo los

expuestos en este trabajo y de diferentes indoles como; factores climáticos, marítimos, tipo de material utilizado (pernos, cadenas, pesos muertos, anclas), metodologías de anclaje, entre otros.

El resultado de este estudio permitió realizar un ranking de las concesiones en relación con su mayor o menor posibilidad de verse afectadas por los eventos geo naturales. El primer lugar, es decir la concesión con más susceptibilidad, resulto ser la concesión numero 2, la misma que se ha visto afectada anteriormente por remociones en masa.

## 7 Referencias

Albornoz, F. 2017. Geodinámica de laderas en el fiordo Comau, región de los Lagos, Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Departamento de Geografía: 95 pp. Santiago

Araya, J.; Vieira, R. & Suárez, M. 2008. El sistema submarino Reloncaví, (Norpatagonia): análisis morfoacústico, batimétrico y manto sedimentario reciente. (Proyecto CONA-C10F 04-02). Valparaíso, Chile. Revista Ciencia y Tecnología del Mar, Vol 31 (2): 5-27.

Börgel Olivares, R. 1983. Geomorfología. Santiago, Chile. Instituto Geográfico Militar.

Calenzani, A.; Leyva, M. & Salas, J. 2014. Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial Data, Vol. 17, núm.2, 112-119, Lima Perú.

Carrasco, V.; Parada M. & López L. 1991. Nuevos antecedentes del batolito nor-patagónico asociado a la zona de falla Liquiñe-Ofqui a los 41°30'S región de los Lagos, sur de Chile. VII Congreso Geológico Chileno, N°6, pp.565-568. Viña del Mar.

Cartaya, S; Pacheco, H.; Méndez, W. & Carrera, J. 2010. Validación de la técnica compensatoria aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa, Caracas, Venezuela. SAPIENS Revista Universitaria de Investigación, Vol.1, pp 13-30.

Cembrano, J & Hervé, F. 1993. The Liquiñe Ofqui fault zone: A major Cenozoic strike-slip duplex in the southern Andes. Oxford, Second ISAG, pp 175-178.

Garreaud, R.; López, P.; Menvielle, M. & Rojas, M. 2013. Large-scale control on the Patagonian climate. Journal of Climate. Vol. 26: 215 - 230.

González de Vallejo, L., 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall. 715 p.

Hauser, A. 1985. Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evolución de riesgos naturales. Revista Geologica de Chile Vol. 25-26: 125-133.

Huang, C.; Tang, H. & Liu, J. 2007. Modeling volume deformation in gravity-type cages with distributed bottom weights or a rigid tube-sinker. Aquaculture Engineering Vol. 37: 144-157.

Lara, L. Cembrano, J. & Lavenu, A. 2006. La Zona de Falla Liquiñe-Ofqui: Antecedentes de su evolución cuaternaria e implicancias para el volcanismo activo en los Andes del Sur. Congreso Geológico Chileno N°10, Concepcion.

Mella, M. 2017. Peligros del Volcán Yate, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 31: 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.

Rodríguez T. E. (1972). Clasificación climática de Wilhelm Koeppen (Introducción). Santiago, Chile: Universidad de Chile. Facultad de Agronomía.

Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill. International, Pittsburgh: RWS Publications 287pp.

Servicio Nacional de Geología y Minería, 2004. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital. Santiago.

Valle-Levinson, A.; Sarkar, N.; Sanay, R.; Soto, D. & León, J., 2007. Spatial structure of hydrography and flow in Chilean Fjord, Estuario Reloncaví. Estuaries and Coasts Vol.30 (1), 113-126.

Watt, S.F.L, Pyle, D.M. Naranjo, J.A. (2009) Landslide and tsunami hazard at Yate volcano, Chile as an example of edifice destruction on strike-slip fault zones. Bull Volcano 71, 559.