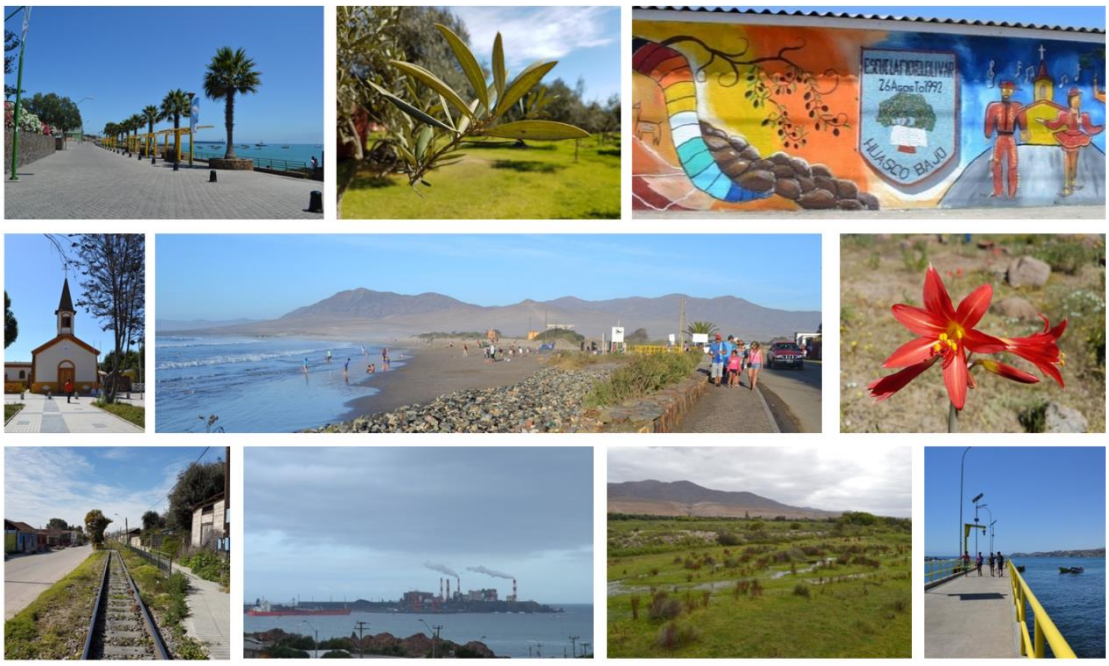
A C T U A L I Z A C I Ó N Y D E S A R R O L L O

PLAN REGULADOR COMUNAL **COMUNA DE HUASCO**



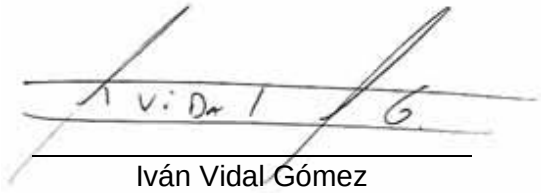
R E G I Ó N D E A T A C A M A

ESTUDIO DE RIESGOS

Marzo, 2020

Profesionales a cargo del estudio:

Miguel Tapia Viera
Geólogo



Iván Vidal Gómez
Geólogo

ÍNDICE

1 Introducción 6

1.1 Ubicación Área de Estudio 6

1.2 Objetivo 7

1.3 Marco Jurídico 7

1.4 Alcance y limitaciones 8

2 Metodología 9

2.1 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales 9

2.2 Catastro de Factores Condicionantes y Desencadenantes 9

2.3 Campaña de terreno 9

3 Geología 11

3.1 Hidrografía 12

3.2 Suelos 12

3.3 Geomorfología 12

4 Riesgos naturales reconocidos en la comuna de Huasco 17

4.1 Clasificación de los Riesgos 17

4.2 Riesgo de Inundación: Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. 18

4.3 Riesgo de remoción en masa: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas 23

5 Recomendaciones y conclusiones 26

1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio se enmarca dentro del Plan Regulador de la Comuna de Huasco, identificando las zonas susceptibles a ser afectadas por procesos inundación por rio, tsunami y remoción en masa, además de poder establecer zonas de riesgo para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial. La información que se utilizó para la generación de este estudio, incluye una fotointerpretación por medio de imágenes satelitales de alta resolución, una visita a terreno, entrevistas a la comunidad sobre los riesgos que ellos han podido visualizar o han estado directamente involucrados; y una revisión bibliográfica exhaustiva de publicaciones científicas, informes públicos de la DGA, SERNAGEOMIN, CAP, y otros organismos públicos y privados cuyas actividades se desarrollan a nivel comunal y a nivel provincial.

Los principales riesgos encontrados en el área de estudio se asocian a zonas inundables o potencialmente inundables, debido a tsunamis y a la proximidad con el rio Huasco; y zonas propensas a aluviones.

En detalle se observa que las zonas inundables por tsunami se encuentran en el puerto de Huasco debido al desarrollo urbano cercano a la costa, mientras que las zonas de inundación relacionadas al rio Huasco se ubican en la parte noreste de Huasco y en Huasco Bajo. Las zonas propensas a aluviones se relacionan a la presencia de quebradas mayores, como la Quebrada Las Pircas y El Pino, y a quebradas menores que son capaces de canalizar flujos aluvionales.

En base al análisis de los riesgos geológicos observados en el área de estudio, y tomando en cuenta los últimos eventos asociados a riesgos en Chile, principalmente en la zona norte con los aluviones y en la zona centro-sur con los tsunamis; se establecieron una serie de consideraciones para la planificación urbana. Esto tomando en consideración escenarios extremos de precipitación y sismos, que actualmente han servido para una planificación real de diferentes procesos geológicos.

1.1 Ubicación Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la parte suroeste de la Comuna de Huasco, Provincia del Huasco, III Región de Atacama; entre las coordenadas UTM 277500E – 288500E y 6851000N – 6845500N, abarcando principalmente las localidades de Huasco y Huasco Bajo y cubriendo la totalidad del área definida para el PRC de la Comuna de Huasco (Fig. 1). Limita al norte con la Provincia de Copiapó, al sur y al este con la comuna de Freirina; y al oeste con el Océano Pacífico.

Figura 1. Ubicación del área de estudio (rectángulo rojo) y su relación con las principales ciudades de la Provincia del Huasco. Tomado del Ministerio del Interior (2017).

1.2 Objetivo

Reconocer y delimitar las áreas expuestas a riesgos geológicos naturales y antrópicos de acuerdo a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) que debieran ser incorporadas al momento de la elaboración del Plan Regulador de la Comuna de Huasco; con la finalidad de mitigar sus eventuales efectos en estas comunas.

1.3 Marco Jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en Disposiciones Complementarias, Artículo 2.1.17, señala que:

En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo”, según sea el caso, como se indica a continuación:

- Por “zonas no edificables”, se entenderán aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

- Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda. Este tipo de proyectos podrán recibirse parcial o totalmente en la medida que se hubieren ejecutado las acciones indicadas en el referido estudio. En estas áreas, el plan regulador establecerá las normas urbanísticas aplicables a los proyectos una vez que cumplan con los requisitos establecidos en este inciso.

Las “zonas no edificables” corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

1.4 Alcance y limitaciones

En este estudio de riesgos no se contempló la investigación de subsuelo ya que queda fuera del alcance de un trabajo de estas características; por factor de escala, tiempo y presupuesto. Es primordial para la zonificación de riesgos sísmicos realizar estudios del subsuelo mediante métodos directos (calicatas, perforaciones) o indirectos (geofísica). Además, debe tomarse solo como referencia para la zonificación de riesgos a escala comunal, ya que está basado en el análisis de información en gabinete. Durante el desarrollo del trabajo se realizó un estudio fundado de Riesgos Geológicos en las áreas urbanas de Huasco y Huasco Bajo, escala 1:5.000, a partir de la elaboración de una línea base geológica y geomorfológica del territorio; además de un catastro, descripción y zonificación de los peligros naturales y antrópicos.

2 METODOLOGÍA

El catastro de riesgos se realiza en base un reconocimiento geológico en terreno, a una recopilación de antecedentes bibliográficos y registros históricos. Los riesgos analizados corresponden a riesgos naturales y a riesgos antrópicos. Para la elaboración del catastro se realizaron las siguientes actividades:

2.1 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Con el fin de identificar evidencias de peligros geológicos que en el pasado ya se han manifestado en el área de estudio, se recopilaron fotografías aéreas tomadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) el año 1955, escala aprox. 1:50.000, y disponibles en la Universidad de Atacama, e imágenes satelitales de detalle, obtenidas mediante el software Google Earth del año 2003; y la adquisición de una imagen satelital de alta resolución del año 2016. Además, a partir de las imágenes recopiladas, se realizó el mapeo geológico y geomorfológico, donde se han identificado a una escala adecuada una serie de rasgos, tales como abanicos aluviales, quebradas y terrazas fluviales.

2.2 Catastro de Factores Condicionantes y Desencadenantes

Con el objetivo de determinar las áreas más susceptibles, se recopiló y desarrolló una serie de mapas de factores considerados condicionantes para la ocurrencia de un riesgo geológico dado, utilizando el software ArcGis 10.2. Los mapas generados son:

1. Mapa de riesgo de Tsunami, integrando información publicada por el SHOA (2015), más consideraciones geológicas obtenidas del reconocimiento en terreno, como vulnerabilidad de construcciones y geomorfología de detalle del borde costero que podrían influir en el comportamiento de las olas.

2. Mapa Geomorfológico, mapa base para el análisis de riesgos, realizado a partir de la integración de distintos mapas geológicos y el Modelo de Elevación Digital (DEM). Este mapa entrega información de geoformas susceptibles a ser consideradas como peligros geológicos y en cuya génesis está asociado un proceso de riesgos geológicos (Ej., depósitos asociados a tsunamis).

Con respecto a los factores desencadenantes, se catastraron los registros sísmicos, obtenidos a partir de la bibliografía (Ej. Castro et al., 2010) y de precipitaciones que se han reportado en el área de estudio y en sus inmediaciones.

2.3 Campaña de terreno

Para el desarrollo del proyecto se realizó una campaña de terreno entre los días 25 y 27 de Enero del 2016; con el objetivo de recolectar datos geológicos y geomorfológicos locales, como por ej. litologías y geoformas; información histórica de desastres naturales

por parte de habitantes y funcionarios municipales, y dimensionar la escala de los procesos que ocurren dentro del área del PRC de Huasco (Tabla 1, Fig. 2).

Punto	Coordenadas WGS84		Litología	Riesgo Identificado	Observaciones
	Este	Norte			
1	286880	6848839	Gravas del Huasco	Inundaciones	Borde del Rio Huasco, terraza de 2 m que representa cicatriz de desborde antiguo

Tabla 1: Ficha utilizada para la descripción de puntos de observación en terreno

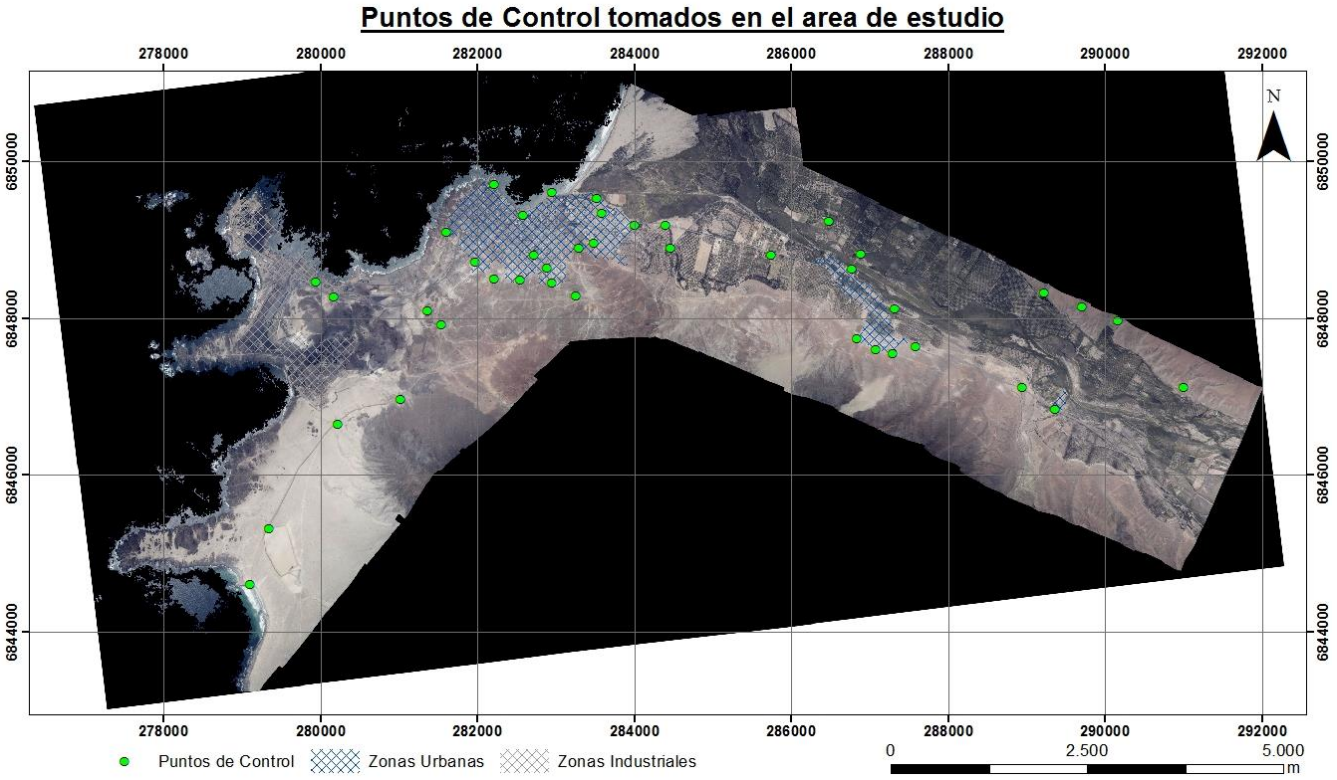


Figura 2. Puntos de observación tomados en el área de estudio, donde se levantó información necesaria para el desarrollo de este estudio.

3 GEOLOGÍA

La unidad más antigua que aflora en el área de estudio son metaarenitas cuarcíferas y esquistos cuarzo-micáceos del Complejo Epimetamórfico Chañaral, de edad Devónico - Carbonífero inferior (Welkner y otros, 2006). Esta unidad es intruida por granitos del Complejo Intrusivo Carrizal Bajo del Triásico (Welkner y otros, 2006). En discordancia se deposita una secuencia marina clástica y volcánica de la Formación Canto del Agua de edad Anisico – Sinemuriano (Welkner y otros, 2006). Estratigráficamente sobre estas unidades y relacionada al aterrazamiento del Valle del Huasco se observan gravas con fragmentos redondeados correspondientes a las Gravas del rio Huasco (Welkner y otros, 2006). Finalmente se observan depósitos aluviales, eólicos y fluviales (Fig. 3).

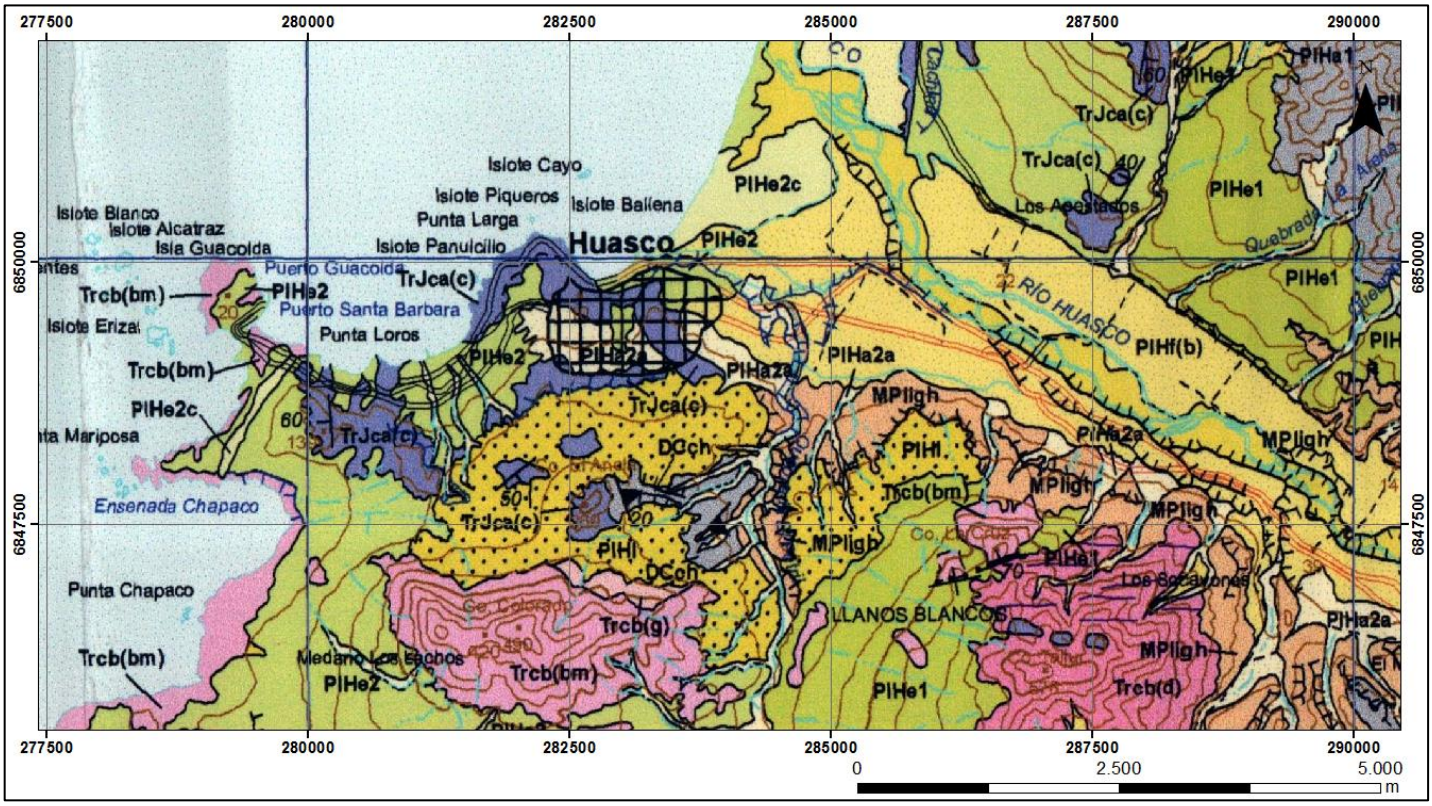


Figura 3. Mapa Geológico del área de estudio (Cuadro Rojo). **DCch:** metaarenitas cuarcíferas y esquistos cuarzo-micáceos del Complejo Epimetamórfico Chañaral, de edad Devónico - Carbonífero inferior. **Trcb:** granitos del Complejo Intrusivo Carrizal Bajo del Triásico. **TrJca:** secuencia marina clástica y volcánica de la Formación Canto del Agua de edad Anisico - Sinemuriano. **MPligh:** gravas con fragmentos redondeados correspondientes a las Gravas del rio Huasco. **PlHa2a:** depósitos aluviales, **PlHe2:** depósitos eólicos. **PlHf:** Depósitos fluviales.

3.1 Hidrografía

La cuenca hidrográfica del río Huasco se encuentra ubicada en la provincia de Huasco, Región de Atacama, entre los paralelos 28º27'-29º33'S y los meridianos 71º11'-69º56'W, y posee una superficie de 9.813 km2. El río Huasco se forma en el sector de Junta del Carmen, a 90 km de su desembocadura en el océano Pacífico, por la confluencia de sus 2 tributarios principales: los ríos Tránsito y Carmen (CADE-IDPE, 2004). En su cuenca fue construido en 1995 el embalse Santa Juana, el cual, además de proveer de agua necesaria a todo el sector meridional, es la reserva acuática mediante la cual se abastece la agricultura del sector (CADE-IDPE, 2004). La cuenca involucra las comunas de Alto del Carmen, Vallenar, Freirina y Huasco de la Región de Atacama, y se compone de 3 subcuencas aportantes principales: Río Tránsito, Río del Carmen y Río Huasco (CADE-IDPE, 2004). El área de estudio se encuentra ubicada en la desembocadura del Rio Huasco.

Hidrogeología de la parte baja del Rio Huasco

En la parte baja del valle, donde se encuentra el área de estudio, se destaca la existencia de permeabilidad media a alta al pasar de rocas sedimentarias – volcánicas a depósitos no consolidados o rellenos, denominadas Gravas del Huasco (Knight Piésold S.A., 2013). A partir de Vallenar existen recargas laterales al río Huasco los cuales continúan hasta su desembocadura.

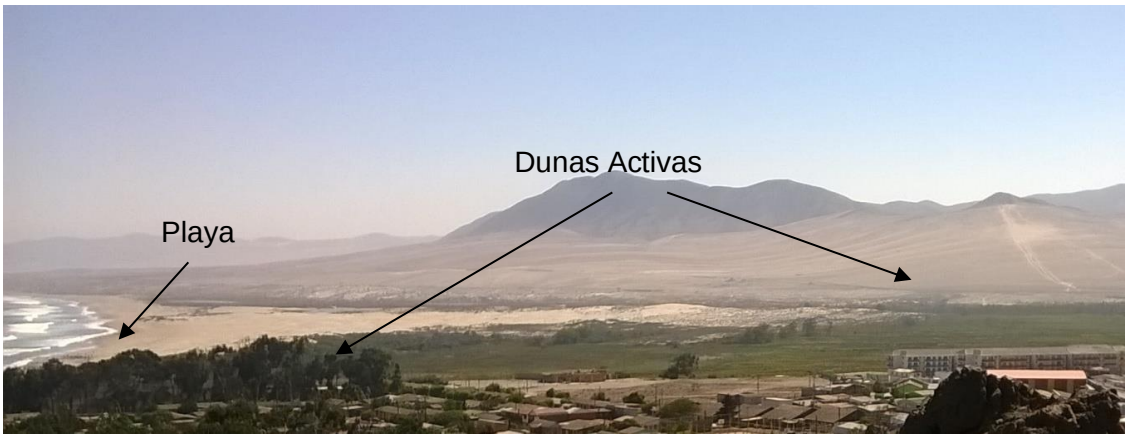
3.2 Suelos

El Valle del río Huasco, en general presenta suelos derivados principalmente de sedimentos aluviales aunque hay algunos derivados de sedimentos marinos en las cercanías de la desembocadura; se presentan en una topografía de terrazas planas y drenaje normal. De Freirina a la costa, los suelos muestran serios problemas de salinidad agravado por mala calidad de aguas de riego (CADE-IDEPE, 2004) y presentan aptitud para plantaciones de olivos. A medida que se avanza hacia la costa aparecen suelos también derivados de materiales aluviales, pero de mayor salinidad. Son generalmente suelos con mal drenaje, salinos a alcalinos y a veces fuertemente alcalinos, con gran concentración de sales, casi siempre solubles en agua. Estos suelos al secarse, presentan visibles eflorescencias salinas. La permeabilidad es muy lenta, la fertilidad es baja y presentan mayores porcentajes de materia orgánica, pues permanecen casi siempre cubiertos con vegetación adaptada al mal drenaje y a la salinidad. La profundidad es variable (CADE-IDEPE, 2004).

3.3 Geomorfología

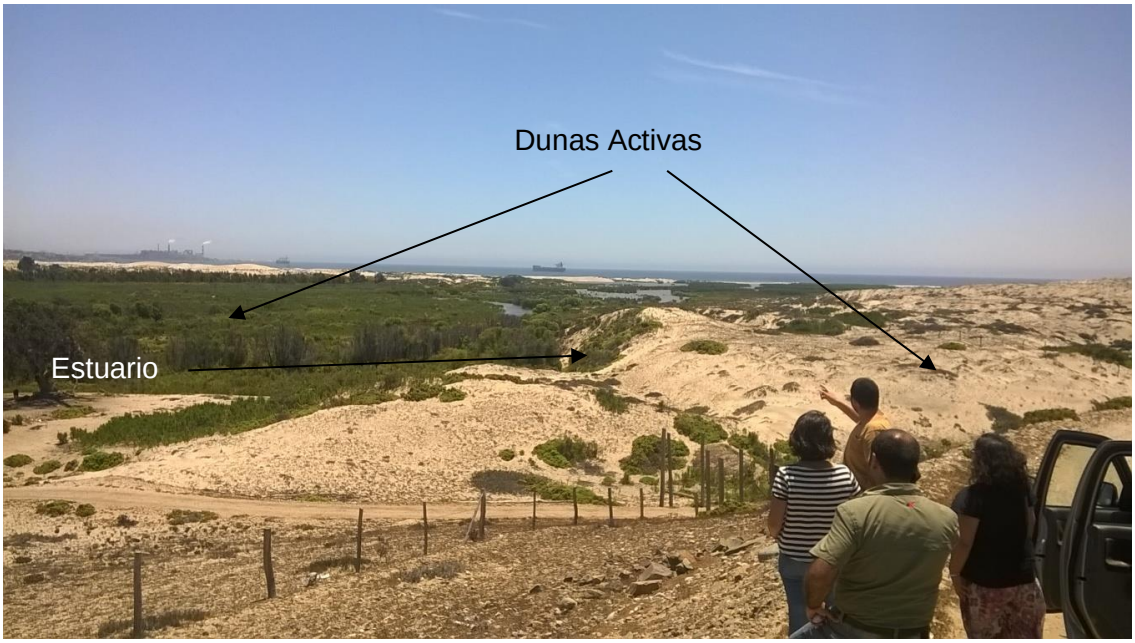
Desde el punto de vista geomorfológico el puerto de Huasco constituye una costa de emersión, constituido esencialmente por terrazas de abrasión marinas. En este lugar podemos distinguir 10 unidades geomorfológicas (Fig. 4):

Playa: Geoforma de acumulación, en donde las corrientes marinas, oleaje así como también el viento depositan los materiales erosionados procedentes de superficies en donde el mar impacta directamente. También podemos encontrar aportes fluviales y de origen biológico (Fotografía 1).



Fotografía 1: Vista al Norte de la desembocadura del rio Huasco, donde se destaca la playa y las dunas que se están formando en la actualidad. Elaboración propia (Enero, 2016)

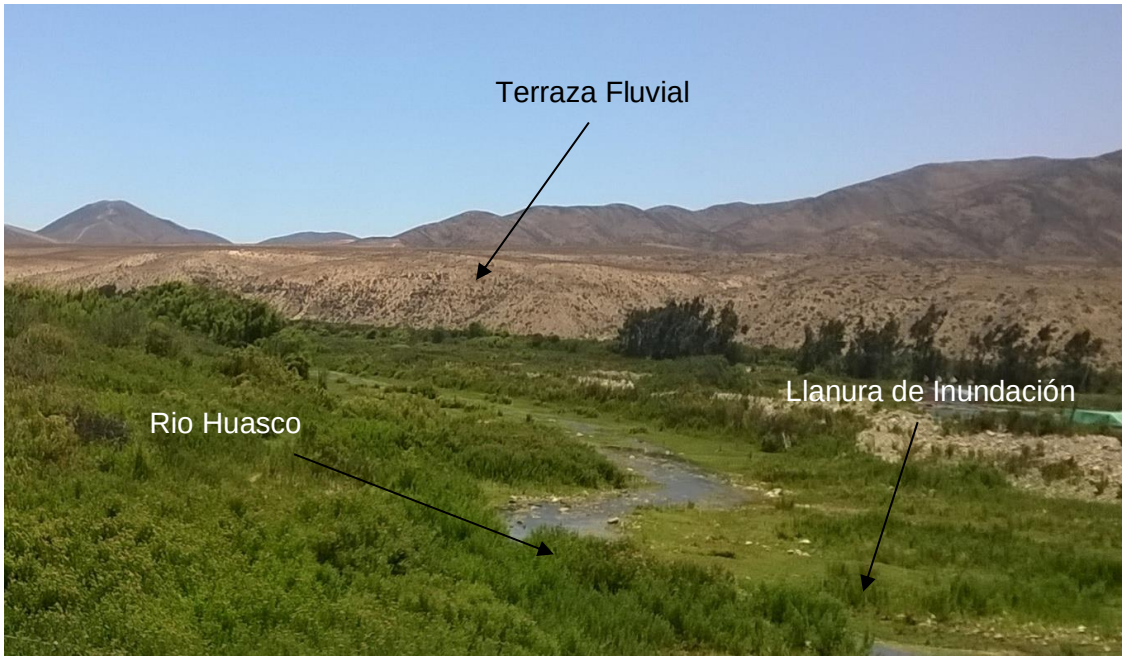
Estuario del río Huasco: Representa la desembocadura al Océano pacífico del río Huasco. Debido a la interacción del agua dulce con el agua salada constituye una gran reserva para la biodiversidad (Fotografía 2).



Fotografía 2: Vista al Oeste de la desembocadura del rio Huasco, donde se destaca el estuario del rio Huasco las dunas que se están formando en la actualidad. Elaboración propia (Enero, 2016)

Río Huasco: Sistema meandriforme compuesto por varios recodos y canales abandonados. Presenta una pendiente relativamente baja (menor a 2°) (Fotografía 3).

Llanura de inundación: Geoforma fluvial donde ocurre la acumulación de sedimentos producto del depósito de la carga transportada por el río Huasco durante las crecidas estacionales (Fotografía 3).



Fotografía 3: Vista al Este del rio Huasco en el sector de Huasco Bajo, donde se destaca el rio, su llanura de inundación y una terraza fluvial. Elaboración propia (Enero, 2016)

Terrazas marinas: Geoformas costeras que reflejan el alzamiento tectónico y/o descenso del nivel del mar, producto de periodos glaciares/interglaciares (Fotografía 4 y 5).

Fotografía 4: Vista al Sur del área de estudio, donde se destaca la terraza marina más baja en cota (aprox. 15 m.s.n.m) observada en el área de estudio. Elaboración propia (Enero, 2016)

Fotografía 5: Vista al Sur en el sector de acceso a la cuidad de Huasco, donde se destaca una terraza fluvial formada por depósitos fluviales asociados al rio Huasco. Elaboración propia (Abril, 2016)

Dunas: Geoformas costeras formados por el depósito de origen eólico de material predominantemente tamaño arena, constituyendo verdaderas barreras naturales contra el avance de las olas (Fotografía 1).

Escollos: Geoformas costeras constituidas por rocas que pasan sobre el nivel del mar, constituyendo una grave amenaza a las embarcaciones.

Terrazas Fluviales: Geoformas desarrollas por la incisión del rio Huasco sobre depósitos fluviales del Mioceno-Plioceno (Fotografía 3).

Abanicos Aluviales: Geoformas desarrollas por depositación aluvial, provenientes de la erosión de cordones rocosos y de las terrazas fluviales.

Quebradas: Geoformas relacionas a la incisión de cursos de agua episódicos relacionados a eventos de mayor escorrentía. Cuando encuentran la pendiente adecuada depositan los sedimentos en forma de abanico aluvial o simplemente drenan los sedimentos al cauce del rio Huasco (Fotografía 6).

Fotografía 6: Vista al Norte en el ladera norte del rio Huasco frente a Huasco Bajo, donde se destaca una quebrada, donde se podrían producir eventos de remoción en masa.

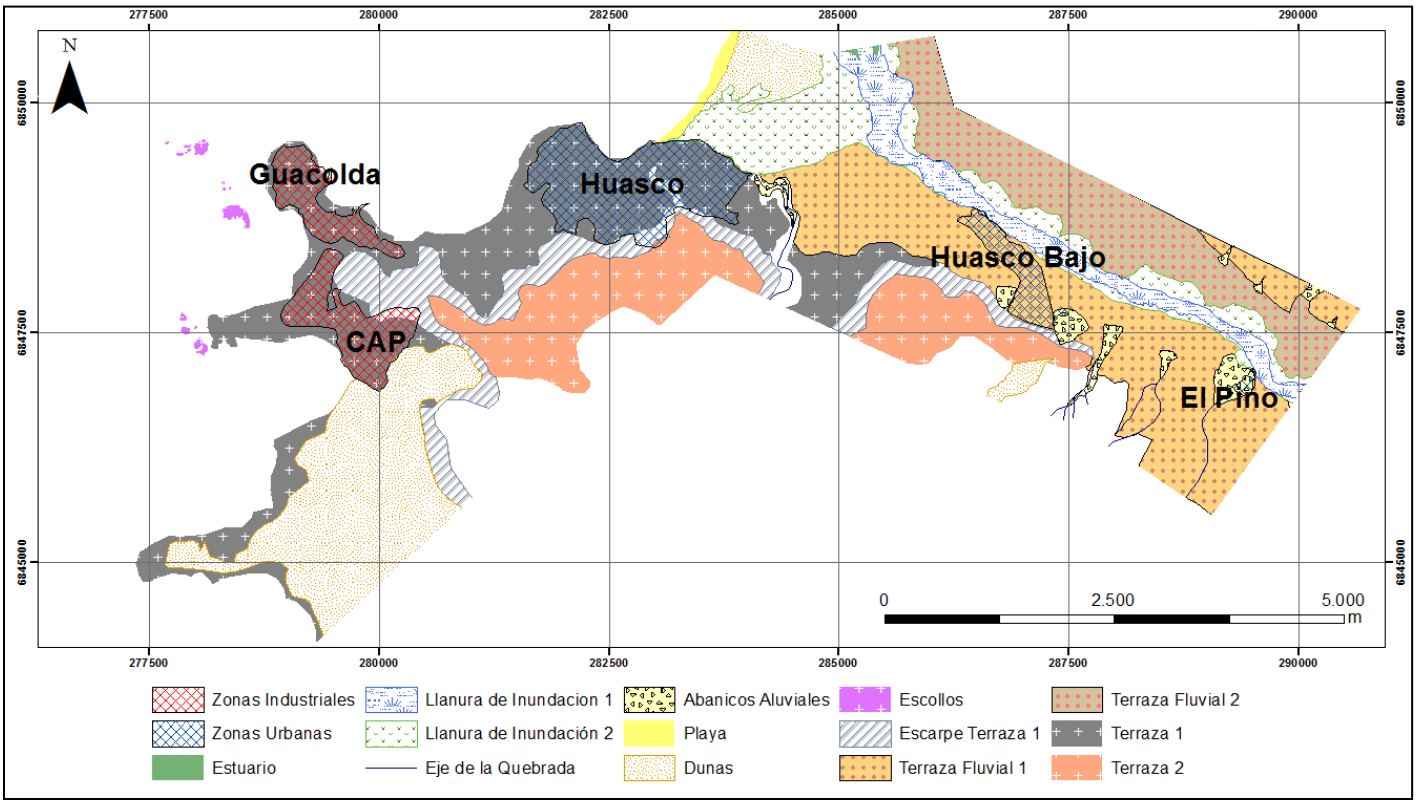


Figura 4. Mapa Geomorfológico escala 1:25.000, donde se destacan los principales elementos del área de estudio. Elaboración propia (2016)

4 RIESGOS NATURALES RECONOCIDOS EN LA COMUNA DE HUASCO

4.1 Clasificación de los Riesgos

Un riesgo geológico es cualquier condición geológica, proceso o suceso potencial que suponga una amenaza para la salud, seguridad o bienestar de un grupo de personas, o para las funciones o economías de una comunidad. Los riesgos o catástrofes naturales ocurren por la conjunción de diferentes factores:

Peligrosidad: es definido como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado, de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes; como la actividad sísmica, erupciones de los volcanes, de las inundaciones, los deslizamientos de tierras, avalanchas, aludes, las erosiones eólicas y fluviales, incendios de los bosques y demás desastres naturales. Algunos de estos riesgos afectan a personas todos los años.

Exposición: número de personas y bienes, potencialmente sometidos al riesgo.

Vulnerabilidad: porcentaje de víctimas y daños (económicos, ecológicos) previsibles estadísticamente. Según su origen y características, los riesgos se clasifican en:

Riesgos Naturales: El riesgo natural es el resultado de las relaciones que se establecen entre tres factores: peligro, vulnerabilidad y exposición. Esta relación es la que determina la generación de daños o pérdidas (económicas, físicas, sociales o ambientales) en ciertos sectores de la sociedad.

La OGUC, DS 09 del año 2011 en el **Artículo 2.1.17.** indica la diferenciación de riesgos en:

• Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.

• Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

• Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.

• Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

4.2 Riesgo de Inundación: Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.

4.2.1 Inundaciones o avenidas por acción del rio Huasco

Una inundación es cualquier flujo de las aguas superficiales mayor de lo habitual que supera su confinamiento normal, cubriendo una porción de tierra que por lo general permanece seca. Suelen estar asociados a eventos pluviométricos extremos (lluvias torrenciales, huracanes y deshielo por el aumento de temperatura), produciendo inundaciones por desborde de cauce o anegamientos; pero también pueden ser una consecuencia de fenómenos geológicos (fusión del hielo producto de la actividad volcánica).

El Río Huasco (que atraviesa toda el área de estudio) es de características meandriformes, está formado por un cauce principal y una llanura de inundación que se forma a partir del desborde del cauce y está formada por sedimentos tamaño arena a limo. Registros históricos de las estaciones fluviométricas (KNIGHT PIÉSOLD S.A., 2013) indican que este río presenta un régimen nival para los años húmedos, con valores máximos de caudal en los meses de diciembre y enero. De lo anterior, se concluye que la cuenca posee un régimen predominantemente nivopluvial en la parte alta y pluvial en las partes bajas, que es donde está ubicada el área de estudio.

Registros de eventos asociados a caudales extremos que se han producido en la cuenca del Río Huasco, ocurren principalmente en período de estiaje entre diciembre y marzo, debido al deshielo de las nieves de las partes altas. Indicando que desde el punto de vista de riesgo de inundación el cauce del rio Huasco puede ser regulado por la presencia del Embalse Santa Juana, ubicado 60 km río arriba del área de estudio (KNIGHT PIÉSOLD S.A., 2013). Sin embargo antecedentes históricos desde 1833 (Ortlieb y Vargas, 2016), indican el desarrollo de varios eventos de crecidas del río Huasco, ligados a precipitaciones en las partes bajas del valle, lo que permiten la activación de tributarios que están aguas abajo del Embalse Santa Juana, aportando gran cantidad de agua al cauce principal del rio y provocando las crecidas. Cabe señalar que la estación Huasco ubicada en Huasco Bajo, registró un caudal máximo instantáneo histórico de 234,53 m^3/s en Agosto de 1997; coincidente con un evento de El Niño registrado en todo el margen sudamericano (Maturana y otros, 2004), el cual por conversaciones con la comunidad de Huasco y Huasco Bajo, produjo un evento importante de inundación fuera del cauce normal del lecho de rio. Estos antecedentes fueron utilizados junto a las imágenes satelitales de detalle, para definir el área de la inundación del rio.

La evaluación del riesgo por inundaciones en las localidades de Huasco y Huasco Bajo considera la posición actual del rio y la geomorfología del borde del cauce que indica la presencia de terrazas donde se canalizan los flujos. El aumento del caudal de rio Huasco hacia su desembocadura, por lluvias extraordinarias, podría provocar que las aguas cargadas de sedimentos sobrepasen el cauce principal y se depositen en la llanura de inundación del río. Considerando las características meandriformes, se podría esperar una amplia zona de inundación hacia su desembocadura. Se destacan dos escenarios posibles (Fig. 5), el primero con riesgo alto con una zona de inundación de aprox. 200 m perpendicular al cauce principal, que sería el escenario más probable en caso de que el caudal aumentara causado por lluvias fuertes desde la zona del Embalse Santa Juana a

la costa, mayores a 20 mm/día como las registradas en los aluviones del 25 de Marzo de 2015 en Copiapó. El segundo escenario, con riesgo medio, más extremo tiene un rango aprox. de 400 m perpendicular al río y está construido en base a registros históricos del año 1997 y la geometría del cauce del río que forma una terraza fluvial de 2 m de alto, diferenciable en imágenes satelitales de detalle.

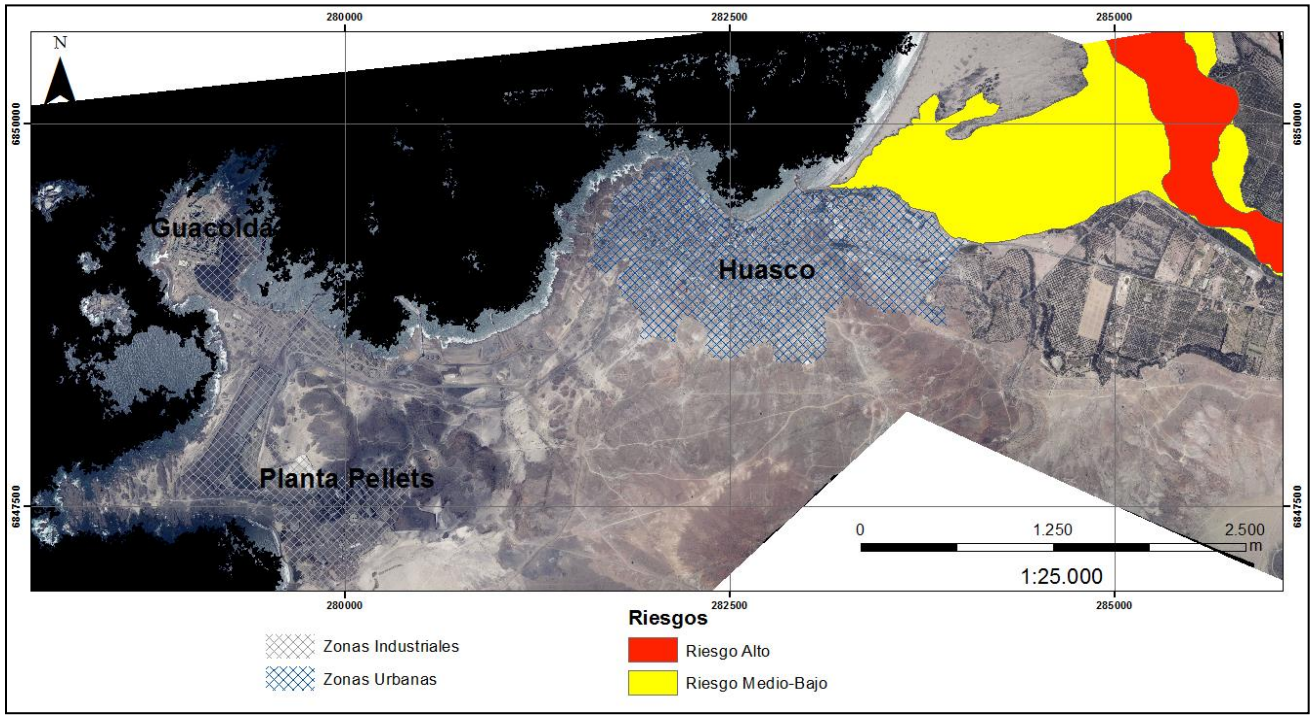


Figura 5. Mapa de Riesgos por Inundaciones en Huasco. Se destaca la presencia de una zona riesgo alto, donde cualquier aumento de caudal podría provocar el desborde del cauce; y una zona con riesgo medio, donde eventos con precipitaciones muy altas podrían provocar el desbordamiento extraordinario del cauce. Mapa de elaboración propia.

4.2.2 Tsunamis

Un tsunami o maremoto es una onda acuática, en la que su longitud de onda y el periodo son sumamente largos. Esta generado por perturbaciones asociadas al desplazamiento de grandes volúmenes de agua, con una importante componente vertical en mares y océanos, pero también pueden ocurrir en el continente originando tsunamis terrestres. Los tsunamis generados en mares y océanos se deben a diversos factores como tectónicos, erupción volcánica, impacto de meteorito etc. Los elementos que determinan la ocurrencia de un tsunami son principalmente la magnitud del sismos, según los eventos históricos se considera que la magnitud mínima debe ser Mw=7,5 (Wong y otros, 2006; Castro y otros, 2010); la profundidad del hipocentro, ya que entre más superficial se encuentre el punto de emisión de energía, mayor es la probabilidad de que se genere un tsunami; y por último la ubicación del epicentro ya que si se produce en el mar o muy cerca del mar aumentan las probabilidades de producir tsunamis.

Desde principios del siglo XIX hay registros escritos de tsunamis en las costas de la Región de Atacama, generados por terremotos interplaca como consecuencia de la tensión acumulada en la zona de subducción, donde convergen la placa de Nazca y la Sudamericana (Beck y otros., 1998); por lo tanto, sus focos generadores se localizan próximos a la línea de costa, cercanos a las localidades de Chañaral, Caldera, Carrizal Bajo y Huasco (Castro y otros, 2010). En la Tabla 2 se señalan las características de los tsunamis ocurridos entre 1819 y 1960 con los eventos generados por tsunamis de campo cercano cuyas cotas máximas de inundación han sido inferiores a 10 metros (Castro y otros, 2010).

Fecha (año, mes, día)	Epicentro		Magnitud terremoto	Cota máxima de inundación (m)	Lugar afectado
	Latitud S	Longitud W			
1819/4/11	27,00	71,50	8,5	4,0	Caldera
1851/5/26	27,00	71,60	7,5	1,5	Caldera
				3,0	Huasco
1859/10/05	27,00	70,00	7,7	5,5	Caldera
1868/8/13	18,48	70,33	8,5	-	Caldera
				-	Carrizal Bajo
1877/5/09	19,6	70,20	8,5	2,0	Caldera
				1,5	Carrizal Bajo
1918/12/04	26,00	71,00	7,5	5,0	Caldera
1922/11/10	28,50	70,00	8,4	7,0	Caldera
				9,0	Chañaral
1960/5/22	39,50	74,50	9,5	2,9	Caldera

Tabla 2. Muestra los eventos generadores de tsunamis que afectaron las costas del área de estudio y sus inmediaciones. Se destacan eventos fuera de las cercanías del área de estudio, como por ejemplo el de 1960, que provoco inundación en el puerto de Caldera

Los tsunamis de campo lejano se originan a distancias superiores a 1.000 kilómetros de la costa, y en el litoral de Atacama se han manifestado como tsunamis menores de los originados en Kamchatka en 1952, Aleutianas en 1957, Alaska 1964 y en Hawai 1975 (Tabla 3).

Fecha (año, mes, día)	Región fuente	Runup (m)	Lugar afectado
1952/11/05	Kamchatka	2,8	Caldera
1957/3/09	Aleutianas	1,3	Caldera
1975/11/20	Hawai	0,5	Caldera
1964/3/27	Alaska	-	Huasco

Tabla 3. Muestra los eventos generadores de tsunamis que afectaron las costas del área de estudio y sus inmediaciones. Se destacan eventos muy lejanos al área de estudio, como por ejemplo el de 1952, que provoco inundación en el puerto de Caldera

Las características físicas naturales del territorio donde se emplaza la localidad de Huasco, sumado a la densidad poblacional y uso de su borde costero; plantearon la necesidad de evaluar adecuadamente la amenaza de tsunami por parte del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), quienes elaboraron una nueva edición de la carta que define las aéreas que potencialmente podrían inundarse en caso que ocurriera un tsunami de gran tamaño (Fig. 6). Dicha información se obtuvo mediante la aplicación de una metodología de simulación numérica COMCOT, considerada hoy como una de las técnicas más confiables para el estudio de estos fenómenos (Wong et al., 2006). Este modelo fue alimentado con la información topográfica, batimétrica y del plano urbano más actualizado disponible. A diferencia de la edición anterior de la Carta de Inundación por Tsunami, basada solamente en el evento de 1922, la presente edición se basa en un evento mayor, considerando los antecedentes históricos de las zonas de ruptura de los terremotos de 1918 y 1922. Por lo tanto, se está representando un "escenario más extremo" en términos de los efectos que generaría un tsunami en el área de Huasco. Además, se han tomado en cuenta las recientes experiencias de tsunamis ocurridos en Chile en el año 2010 y en Japón el año 2011, y moldeamientos en áreas cercanas (Fernández y otros., 2014), los que dejaron en evidencia la necesidad de considerar este tipo de escenarios desfavorables (SHOA, 2015).

La inundación modelada se representa en rangos de profundidad de inundación en metros, determinados a base de parámetros ingenieriles japoneses de diseño de estructuras resistentes a tsunamis (Shuto, 1992). En esta carta se hace notar que en el caso de ocurrir un tsunami, los niveles de inundación señalados por esta carta podrían ser diferentes, dependiendo de las características del terremoto. Por otra parte, la inundación señalada está referida al nivel medio del mar, por lo cual la inundación real resultante dependerá de la marea del momento. El rango máximo de marea en este lugar es de 1,39 metros.

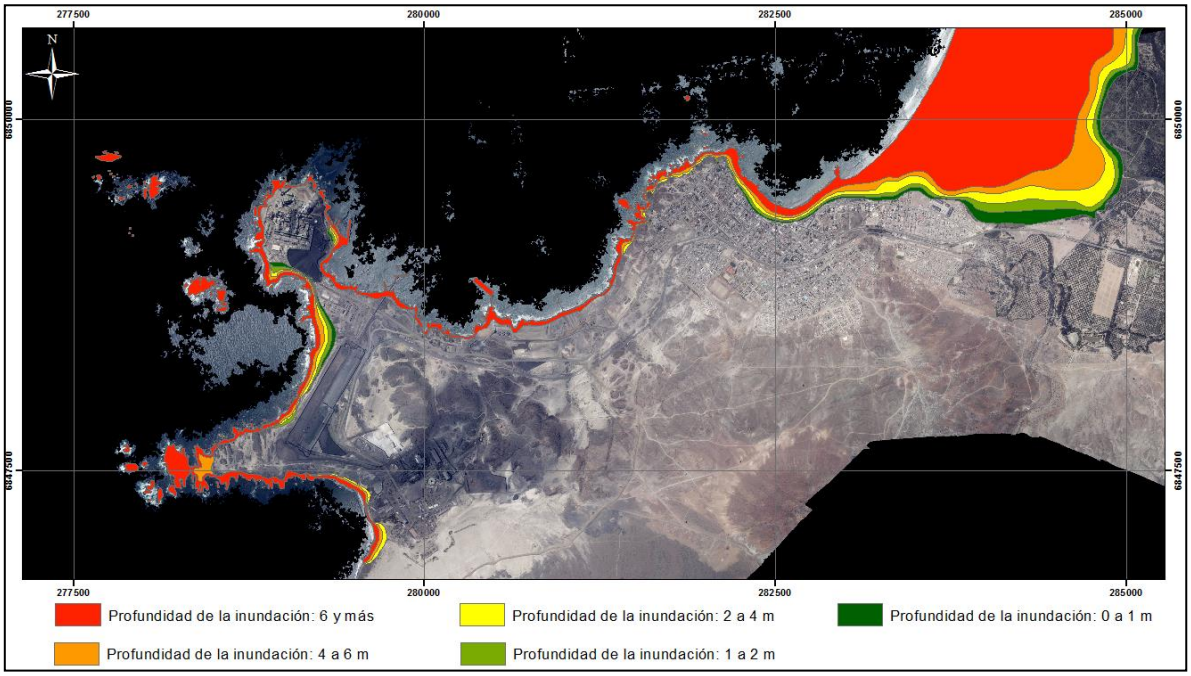


Figura 6. Mapa de Inundación por Tsunami, versión 2015, elaborado por el Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

Con respecto a las áreas que se pueden ver afectadas por un tsunami, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada dice que “en términos generales, los lugares aledaños a la costa de altura menor de 20 metros, con respecto al nivel de más alta marea son potencialmente peligrosos”. Las recomendaciones que hace dicha institución es que el área de resguardo frente a la ocurrencia de un tsunami es por sobre los 30 m, y preferentemente a 40 m; teniendo presente además que la ola puede penetrar por un río o estero varios kilómetros tierra adentro. A estos se agregan antecedentes de que las mayores alturas de onda han sido observadas en bahías angostas o semi cerradas (por amplificación resonante), desembocaduras de ríos y en bahías con presencia de islas. Considerando lo anterior; sumado a la carta de inundación que presento el SHOA, los últimos eventos tsunamigénicos registrados en Chile y en el mundo, y finalmente un escenario muy crítico pero probable en las cercanías del área de estudio (Comte y otros, 2006); este estudio propone una zona de riesgo de inundación por tsunami en el área de Huasco complementaria a la del SHOA, en la cota 15 m.s.n.m como una zona con riesgo alto y una cota extrema de 30 m.s.n.m., con riesgo medio a bajo (Fig. 7). Un aspecto a considerar en la zona de Huasco es la presencia de relaves bajo el mar y acopios cercanos a la costa en las áreas industriales que pueden ser incorporados al flujo generando daños ambientales considerables.

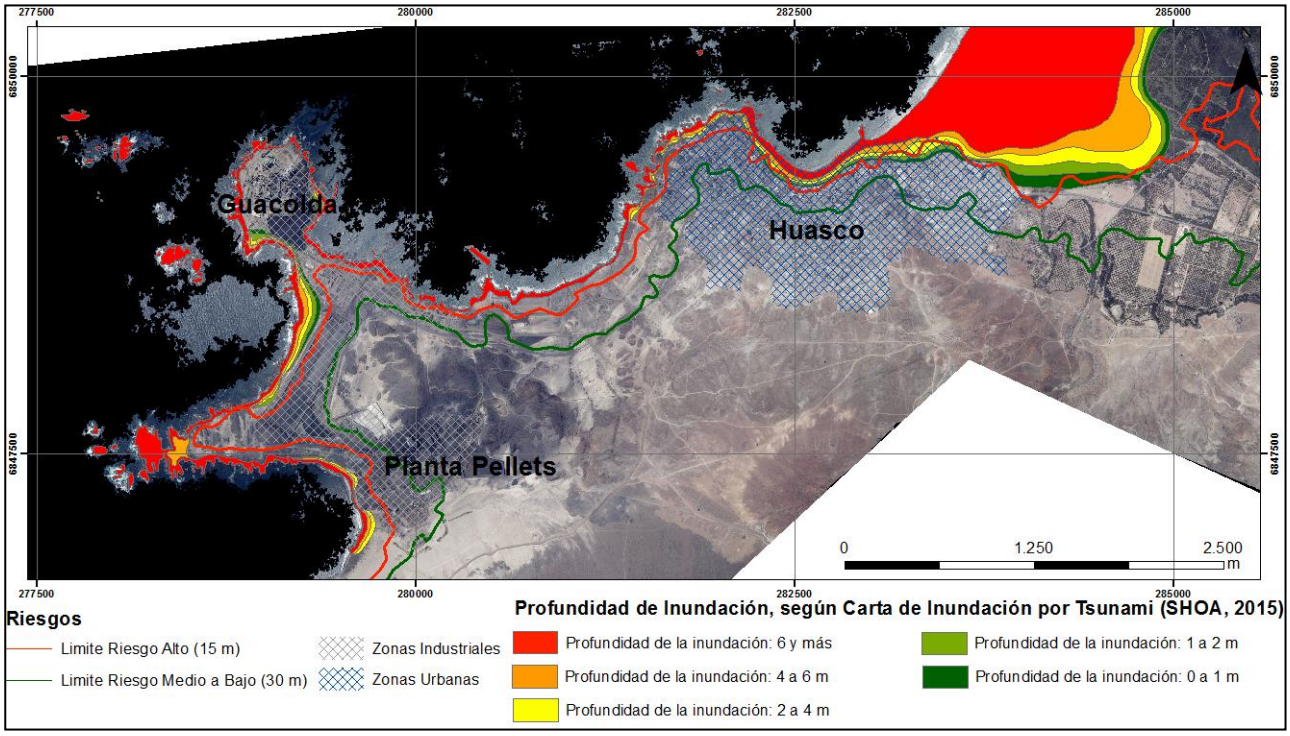


Figura 7. Mapa de Riesgo de Tsunami en el área de Huasco. Se destaca el mapa de inundación por tsunami del SHOA (2015), pero se consideraron escenarios extremos con zonas con cotas entre 15 y 30 m.s.n.m. Mapa de elaboración propia.

4.3 Riesgo de remoción en masa: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas

4.3.1 Aluviones en el área de Huasco y Huasco bajo

Son flujos de detritos que se desarrollan de forma rápida a extremadamente rápida, vinculados a lluvias muy esporádicas de corta duración y gran intensidad, con alto poder destructivo; debido al material particulado que puede transportar, desde sedimentos finos a bloques angulosos de rocas de mediano a gran tamaño (disimétricos a métricos), residuos domiciliarios y vegetación. Transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

En la Región de Atacama se han identificado áreas donde se han desencadenado flujos de barro, eventos asociados a la ocurrencia de precipitaciones de gran intensidad en zonas de relieve abrupto, generalmente desprovisto de vegetación y conformados por rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas, normalmente afectadas por procesos de meteorización y/o fracturamiento superficial. Éstos fueron observados en las quebradas Cerrillos y Paipote; también en el extremo sur de la Laguna del Negro Francisco y la ladera norte del Cerro Bramador. Flujos laminares se han detectado en sectores de la quebrada Paipote y en torno al tranque Lautaro, en valle del río Copiapó (Hauser, 1993).

Como se mencionó anteriormente, en el área de estudio los cauces están dominados por un régimen pluvial, que se pueden activar durante los meses de Junio y Julio. En el área de estudio se han reconocido eventos pluviométricos excepcionales que generaron aluviones desde 1906 (Ortlieb y Vargas, 2016). El mapeo geomorfológico realizado en el área de estudio (Fig. 2) y la información recopilada en terreno permiten definir los sectores propensos a aluviones, que son considerados como zonas de riesgo.

Esta información fue complementada con relatos de personas de Huasco y Huasco Bajo que presenciaron el evento de 1997, con lo cual se definieron las áreas de peligro de aluviones.

El análisis del riesgo de aluviones en la localidad de Huasco considero la presencia de quebradas que pudieran generar flujos aluvionales, considerando el tamaño de su cuenca de drenaje, ancho y largo del canal principal, modificaciones antrópicas a su cauce natural y registro histórico. En el acceso a Huasco se encuentra la Quebrada Las Pircas, cuyas características geomorfológicas, principalmente el tamaño de la cuenca de drenaje, indican su riesgo alto para la canalización de aluviones que provoquen el corte de la carretera de acceso y salida de Huasco, dejando aislada la localidad (Fig. 8).

Otras quebradas menores, pero ubicadas en las zonas periféricas del radio urbano, pueden canalizar aluviones muy localizados pero de alto riesgo, principalmente por la disposición de basura en sus cauces (Fotografía 7 y 8). Estas zonas ubicadas en las calles Francisco Pizarro y Camilo Henríquez, pueden canalizar flujos que lleguen a las partes bajas de la zona de Huasco favorecidas por la pendiente, por la escasa presencia de barreras naturales y artificiales; y por la canalización y perdida de fricción producida por la geometría y material de las calles.

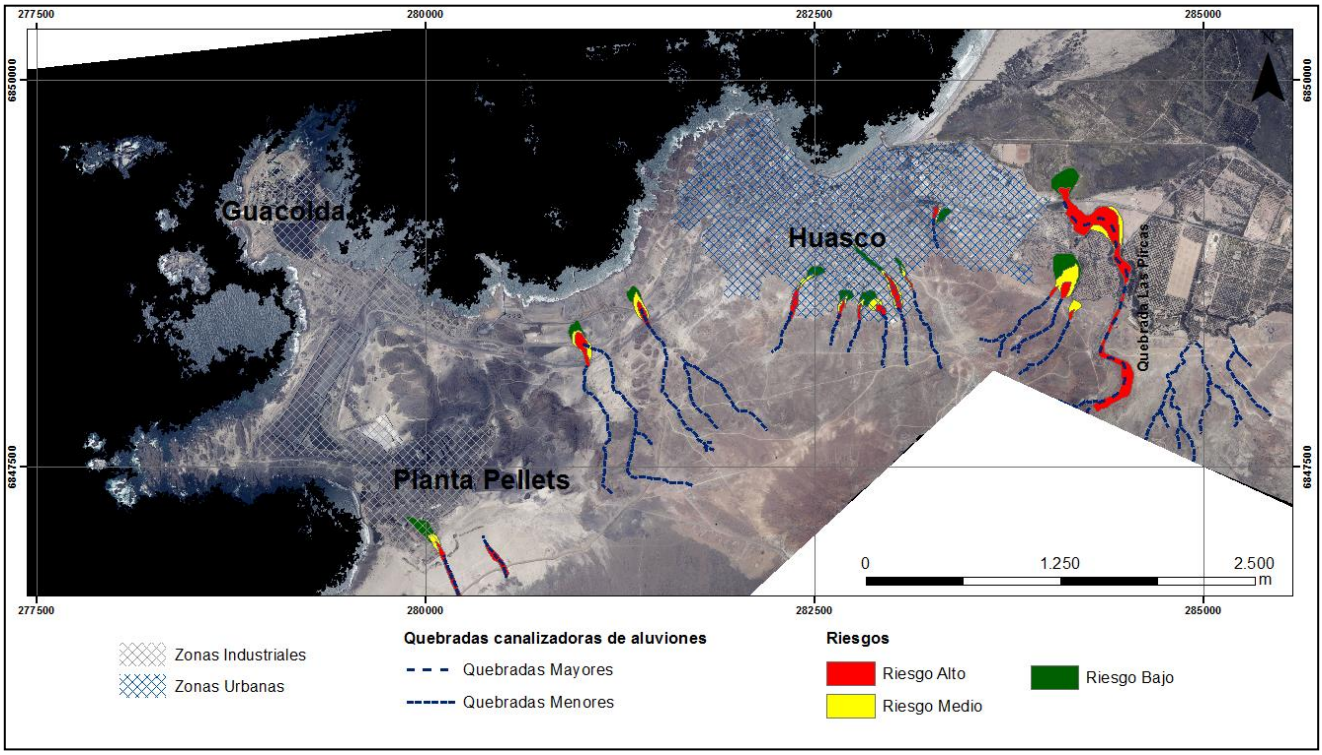


Figura 8. Mapa de Riesgo de Aluviones en el área de Huasco. Se destaca la presencia de la Quebrada Las Pircas, la mayor de Huasco, y algunas quebradas menores dentro del área urbana. Mapa de elaboración propia.

Fotografía 7. Quebrada menor en las partes altas de Huasco, con relleno de basura y escombros en su cauce.

Fotografía 8. Quebrada menor en las partes urbanas periféricas de Huasco, en la cual se han realizado medidas de mitigación de flujos aluvionales.

La localidad de Huasco Bajo presenta varias quebradas de importancia capaces de canalizar aluviones con riesgo alto, entre ellas la Quebrada El Pino, ubicada hacia el Este; ya que geomorfológicamente presenta una cuenca de drenaje considerable (Fig. 9). Otras quebradas menores, ubicadas principalmente en la ladera norte del río Huasco fuera del área de estudio, probablemente canalizaron aluviones, ya que en terreno se observan medidas de mitigación para aluviones. Caso especial es el sector que actualmente se está urbanizando Huasco Bajo, donde se reconoce una zona de abanicos aluviales formados básicamente por eventos de aluviones y una zona de dunas, cuyo material podría ser fácilmente incorporado a flujos aluvionales durante un evento de precipitación extrema (Fig. 7). Esto debería estar considerado al desarrollar proyectos de urbanización en el área.

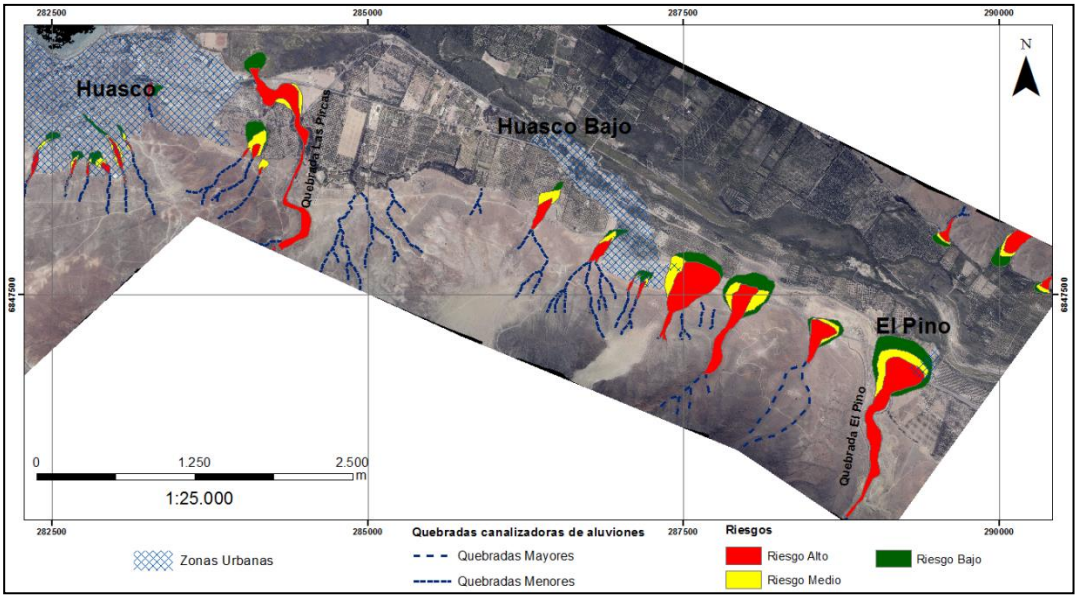


Figura 9. Mapa de Riesgo de Aluviones en el área de Huasco Bajo. Se destaca la presencia de la Quebrada El Pino, la mayor de Huasco Bajo y algunas quebradas menores en la parte norte del rio Huasco. Mapa de elaboración propia.

5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Plantear estudios de detalle, que incluyan hidrogeología, geomorfología y geoquímica de los riesgos naturales y la posible influencia antrópica en la generación de ellos, en toda el área urbana y rural de la zona de estudio; con el objetivo de tener información detallada de los diferentes factores condicionantes de los riesgos y sus posibles desarrollos, para tomar las medidas preventivas correspondientes.

En el caso de los tsunamis, plantear un escenario de modelación más extremo que el utilizado actualmente por el SHOA, tomando en consideración los últimos eventos de tsunamigénicos ocurridos en Chile y el mundo.

Este instrumento debería considerar una etapa de difusión de los riesgos geológicos a la población, a las empresas y a los servicios públicos, para que se preparen con planes de emergencia en el caso de que alguno evento ocurra.

Conclusiones

En base al reconocimiento realizado en terreno, el estudio de imágenes satelitales, la recopilación de información histórica y algunos testimonios de personas del valle, se puede concluir lo siguiente:

El área de estudio presenta riesgos naturales asociados zonas inundables relacionados a tsunamis e inundaciones por el rio; y riesgos de remoción en masa, asociados a aluviones (Tabla 5).

La zona del puerto de Huasco presenta riesgos por Tsunami, donde se estableció una zona de riesgo alto bajo la cota de 15 m.s.n.m y una zona de riesgo medio bajo la cota de 30 m.s.n.m., que ha sido modeladas por el SHOA (2015), pero no teniendo en cuenta un escenario tan extremo como el planteado en este estudio.

Los riesgos de inundaciones en la zona de Huasco y Huasco Bajo, están asociados a la presencia del rio Huasco quien canaliza mucha de la escorrentía asociada al valle, tanto en su cauce principal como en sus tributarios.

Los riesgos de aluviones están asociados a la presencia de quebradas mayores, como la Quebrada Las Pircas y El Pino, y a quebradas menores que son capaces de canalizar flujos aluvionales. Estas áreas representan un riesgo alto en el caso de eventos extremos de precipitaciones desarrolladas principalmente durante el fenómeno climático de El Niño.

Zonas de Riesgo	Tipo de Riesgo	Consideraciones	Nivel
RIESGO DE INUNDACIÓN: ZONAS INUNDABLES O POTENCIALMENTE INUNDABLES	Tsunami	Zona ubicada entre la cota 0 y la cota 16 m s.n.m	Alto
		Zona ubicada entre la cota 16 y la cota 30 m s.n.m	Medio a Bajo
	Inundaciones	Zona ubicada a 100 m a cada lado del cauce principal	Alto
		Zona ubicada a 200 m a cada lado del cauce principal	Medio
RIESGO DE REMOCIÓN EN MASA: ZONAS PROPENSAS A ALUVIONES	Aluviones	Zona de descarga principal del canal alimentador	Alto
		Zona lateral del canal alimentador	Medio
		Zona distal del canal alimentador	Bajo

Tabla 5. Resumen con las zonas y tipos de riesgo, y las consideraciones que se utilizaron para establecer su nivel de riesgo.

Recomendaciones para la planificación urbana

En base al análisis cartográfico y geomorfológico se realizaron las siguientes consideraciones.

Tsunami: consideración de zona con riesgo alto para la Planificación Urbana:

En base a los antecedentes recopilados y levantados en terreno durante este estudio, se estimó la utilización de la zona de alto riesgo para la Planificación Urbana, no así considerando la zona de riesgo medio.

Si bien en el análisis de riesgos presentados en este estudio se consideraban estos dos escenarios como posibles durante un evento de tsunami, se evalúo la zona de riesgo alto (zona con una cota menor a 15 m.s.n.m), porque en los últimos eventos tsunamigenicos registrados en Chile, los factores utilizados por este estudio para su evaluación (ej. registros históricos, carta de inundación del SHOA, alturas máximas de inundación), han sido representativos para estas cotas. Esto no quiere decir que el riesgo medio no exista, ya que está considerada para eventos con características extraordinarias, registradas en las costas chilenas y de características más locales.

Inundaciones por rio y Remoción en Masa: consideración de zona con riesgo alto y medio para la Planificación Urbana:

En base a los últimos eventos hidro-meteorológicos y su comportamiento, principalmente durante inicios de este año 2017, se consideró utilizar los riesgos altos y medios en la Planificación Urbana.

Cabe mencionar que la evaluación de estos riesgos y su utilización como elemento de planificación, tienen que ir acompañadas con medidas de mitigación que se puedan realizar al momento de construir es estas zonas. Si bien el desarrollo urbano muy pocas veces va de la mano con medidas de mitigación o evaluación de riesgos a nivel local (Ej, Aluviones en Copiapó), es importante considerar este aspecto durante la etapa de planificación de obras civiles, para evitar así un impacto mayor de las inundaciones.

Respecto a las posibles obras que pudieran realizarse para mitigar los riesgos señalados en el presente Informe, a modo de orientaciones, se recomiendan los siguientes, los que deberán precisados por profesional especialista para su aprobación por parte de los organismos competentes:

- *Generación de muros de contención para disipar energía, disminuir velocidad de elementos y conducir el material (agua + barro) hacia otros lugares; emplazamiento y geometría para desviar y no enfrentar el escurrimiento.*
- *Generación de canalizaciones hasta punto final (río/mar)*
- *Limpieza anual de canalizaciones y muros de contención, previo a temporada de lluvias*

Se adjunta anexo cartográfico:

- **PRCH-R-01, Riesgos Naturales**
- **PRCH-R-02, Geomorfología**

REFERENCIAS

Beck S., Barrientos S., Kausel E., Reyes M., 1998. Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 11, Nro 2, pp 115-129.

CADE-IDPE, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Rio Huasco. Informe Ministerio de Obras Publicas, 111 p.

Castro C., Marquardt C. y Zúñiga A., 2010. Peligros naturales en geositios de interés patrimonial en la costa sur de Atacama Revista de Geografía Norte Grande, 45: 21-39

Comte, D.; Tassara, A. y Farías, M., 2006. Análisis del enjambre sísmico de Copiapó, 2006: sismicidad histórica y contacto interplaca. En XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta.

Fernández J., Falcón F., Arenas M., Huerta S., 2014. Geología para el ordenamiento territorial: área de Antofagasta, Región de Antofagasta. Mapa 3: Peligro Sísmico y de inundación por Tsunami. Carta Geológica de Chile, serie Geología Ambiental, nro. 19.

Knight Piésold S.A., 2013. Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Huasco, Región de Atacama, Informe Ministerio de Obras Publicas, 287 p.

Instituto Nacional de Normalización 2009. NCh 433 Of. 96 modificada en 2009: Diseño Sísmico de Edificios. Figuras 4.1 a); 4.1 b) y 4.1 c).

Maturana J, Bello M., Manley M., 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. En: El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile (Editado por S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant y E. Yáñez), CONA, Valparaíso, Chile. pp. 13-27.

Ortlieb L & Vargas G, 2016. Hacia una historia de eventos lluviosos extremos en el sur del Desierto de Atacama, Norte Chico, a partir de fuentes documentales. En XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena.

Pontificia Universidad Católica De Chile - SEREX Territorio, 2015. Declaración de impacto ambiental, Plan Regional de Desarrollo Urbano, Región de Atacama. Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo.

Shuto N., 1992. Tsunami intensity and damage. Tsunami Engineering Research Report. Tohoku University. Vol. 9, pp. 101-136.

Welkner D., Arevalo C., Godoy E., 2006. Geología del Área Freirina-El Morado: Región de Atacama. Carta Geológica de Chile. no. 100. 50 p

Wong, F. L., Ventura to A.J. & Geist, E.L., 2006. Seaside, Oregon, tsunami pilot study-Modernization of FEMA flood hazard maps: GIS Data: U .S. Geological Survey.