



4A. ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

A.1 Introducción y Alcances

El Estudio de Riesgos y Protección Ambiental se desarrolla sobre la base de las instrucciones emanadas por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en particular respecto de los contenidos de un plan regulador comunal.

Al respecto la OGUC señala que un plan regulador comunal deberá contemplar un Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental, con sus respectivas áreas de restricción y condiciones para ser utilizadas de acuerdo a las disposiciones contempladas en los artículos 2.1.17 y 2.1.18 de este mismo Capítulo.

Por su parte, el artículo 2.1.17 establece *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.

Las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

- 1. 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.*
- 2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.*
- 3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.*
- 4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.*

En virtud de lo expresado anteriormente, la primera parte del presente estudio incluye aquellas que debiesen constituir un riesgo para los asentamientos humanos.

Luego, la OGUC establece que dicho estudio debe incluir asimismo los contenidos del artículo 2.1.18 en el estudio de riesgos, señalando:



Los instrumentos de planificación territorial deberán reconocer las áreas de protección de recursos de valor natural, así como definir o reconocer, según corresponda, áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural.

Para estos efectos, se entenderán por “áreas de protección de recursos de valor natural” todas aquellas en que existan zonas o elementos naturales protegidos por el ordenamiento jurídico vigente, tales como: bordes costeros marítimos, lacustres o fluviales, parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales.

En los casos indicados en el inciso anterior, los instrumentos de planificación territorial podrán establecer las condiciones urbanísticas que deberán cumplir las edificaciones que se pretendan emplazar en dichas áreas. Estas condiciones deberán ser compatibles con la protección oficialmente establecida para dichas áreas.

Se entenderán por “áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural” aquellas zonas o inmuebles de conservación histórica que defina el plan regulador comunal e inmuebles declarados monumentos nacionales en sus distintas categorías, los cuales deberán ser reconocidos por el instrumento de planificación territorial que corresponda.

Tratándose de áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural, los instrumentos de planificación territorial, deberán establecer las normas urbanísticas aplicables a las ampliaciones, reparaciones, alteraciones u obras menores que se realicen en las edificaciones existentes, así como las aplicables a las nuevas edificaciones que se ejecuten en inmuebles que correspondan a esta categoría, cuando corresponda. Estas normas deberán ser compatibles con la protección oficialmente establecida para dichas áreas.

En virtud de lo expresado anteriormente, la segunda parte del presente estudio se refiere a aquellas áreas que componen el patrimonio natural (protegido oficialmente) como de carácter cultural patrimonial.

A.2 Antecedentes para la definición de Áreas de Riesgos

A.2.1 Geología¹ y Geomorfología

A.2.1.1 Unidades Geológicas

Gran parte del territorio urbano de Arica se emplaza sobre los Depósitos fluviales del Pleistoceno (Pf), los que se caracterizan por ser ripios y gravas con intercalaciones de arenas, limos y localmente diatomitas. Se extienden desde el borde costero y hacia dentro del valle de Azapa entre el Camino a Azapa y la ladera norte del valle hasta San Miguel de Azapa, donde colinda al oriente con la quebrada El Diablo.

El borde costero contiene Depósitos litorales del Cuaternario (QI), comienzan unos metros al sur de la desembocadura del río San José y en una angosta franja comienzan a extenderse hacia el norte, abarcando el sector residencial de Chinchorro. Alcanzan mayor ancho en la medida en que avanzan como una franja continua que llega a tener 1 km de ancho en la frontera con Perú. Llegan hasta los 20 msnm, y se encuentran delimitados al este por la presencia de un escarpe marino mayor de dirección norte sur. Son depósitos de playas actuales y subordinadamente depósitos de playas antiguas alzadas o emergidas y aterrazadas.

¹ La geología de la ciudad de Arica se ha extraído de los estudios de Salas (1966), Vila (1974) y la Hoja de Arica n° 84 de 2004. Esto es importante de establecer ya que las investigaciones de hidrogeología se refieren a terminología geológica de los estudios de Salas y Vila, que el levantamiento geológico actualizado en 2004 ha cambiado. Si bien los estudios de 1966 y 1974 eran a escalas mas locales (1:100.000 y 1:25.000 respectivamente) en comparación con la Hoja de Arica de 2004, los datos actualizados nos aportan más información, a pesar de estar a escala 1:250.000.



Se ha establecido por Mendez² de acuerdo a las fuentes consultadas, que esta unidad geológica a lo largo del sector de Chinchorro, junto con una franja de aproximadamente 300 m de Pf, adyacente al terreno del puerto, están sujetas a licuefacción³.

Estos depósitos se observan también en la Costanera Sur, entre el barrio la Lisera hasta los terrenos de Copec en la inmediación de la intersección de la Costanera Sur con Av. San Ignacio de Loyola. En este sector en la ladera del Morro, se observan los Depósitos Coluviales cuaternarios (Qc), constituidos por bloques, bolones, rodados, arenas y limos, con espesores de variaciones hasta de 50 m.

Se observa su presencia en taludes abruptos como escombros de falda. En la Cordillera de la Costa se encuentran localmente muy cementados por sales.

La franja poblada en la ladera sur - este del Morro, las poblaciones a lo largo de las Av. Rafael Sotomayor y San Ignacio de Loyola hasta aproximadamente las calles Jim Hosey (sur) y San Javier (norte), el Sector de La Lisera y en general el borde costero sur hasta el fin del límite urbano está compuesto por la Formación Catamarca (Jmc), una sucesión volcánica que aflora desde El Morro hacia el sur. También se observa un afloramiento en la entrada del valle de Azapa, al sur del Camino a Azapa.

Esta formación se constituye de 4.000 m de espesor mínimo de lavas andesíticas, en parte basálticas. En Arica se observa la predominancia de los colores gris y pardo rojizo.

En menor proporción existen intercalaciones de lavas basálticas y dacandesíticas, tobas y rocas sedimentarias tales como areniscas, brechas, calizas, conglomerados y lutitas. Se observa en las laderas del Morro la presencia de areniscas y lutitas, en general la cubierta sedimentaria que la caracteriza está presente en el área de estudio.

En el sector del Morro de Arica hay una sucesión de 120 m de espesor formada de lutitas verde oscuro, una colada de lava andesítica almohadillada de 80 m que contiene enstatita y augita, areniscas glauconíticas, grauwackas y calizas grises biopelagópicas.

Se ha detectado fauna fósil en la base y la parte superior del Morro, atribuibles al Batoniano – Caloviano.

En el área urbana, al sur del Morro y sobre la Formación Catamarca, se encuentran los Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (MsPla). Su espesor llega a los 50 m y están compuestos de arenas, gravas, grano fino a medio y limos, semiconsolidados de colores pardo, gris y rojo.

Hacia el límite urbano, al oeste de la Panamericana Sur y al norte del lecho del río, se encuentran los Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (OMma), de ambiente sedimentario, compuesto de areniscas, lomos y gravas.

El lecho de los ríos San José y Lluta contienen Depósitos fluviales del Holoceno (Hf), cuyo ambiente es sedimentario y con presencias de ripios, gravas arena y limos.

² Mencionado por Crispieri, A. 2011. *Caracterización y diagnóstico sísmico de las viviendas sociales de albañilería de la ciudad de Arica*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.

³ La licuefacción es un término usado para describir un rango de fenómenos en los cuales la resistencia y la rigidez de un depósito de suelos se reducen debido a un aumento de la presión de poros. Aunque es posible que la licuefacción se produzca por cargas estáticas, es más comúnmente inducida por cargas cíclicas. La licuefacción ocurre más comúnmente en arenas o arenas limosas sueltas, saturadas y limpias, pero también ha sido observada en gravas y limos poco plásticos. Fallas del terreno con características parecidas a fallas por licuefacción también han sido observadas en arcillas limosas de baja plasticidad. La licuefacción puede producir daño en un rango que va desde pequeños hundimientos y desplazamientos laterales (lateral spreading), hasta deslizamientos de grandes masas de suelos. Además puede causar grandes asentamientos o inclinaciones en fundaciones y estructuras de retención (Kramer y Stewart, 2004).



La trama fundacional está sobre los Depósitos aluviales del Pleistoceno (Pa), son gravas y brechas con intercalaciones de arenas, limos y arcillas, asociados a acumulaciones producto del barro y los detritos, proximales a distales originados por precipitaciones torrenciales. Al noreste de Arica, en el Yacimiento Neverman, se presentan con un manto (<20m) intercalado de diatomitas color blanco, bien laminadas. Inmediatamente al este de Arica, en el corte de la carretera, están expuestos los depósitos volcano detríticos con intercalación local de espesor menor a 3 m, de arenas litorales grises oscuras. Esta unidad geológica también se encuentra en el sector de la población del Cerro Chuño.

En el cordón de Cerro Chuño, a lo largo del límite urbano desde Av. Las Torres hasta Av. Renato Rocca, está la unidad geológica Depósitos de remoción en masa del Plioceno Cuaternario (PIQr) de ambiente sedimentario continental.

Imagen A-1
Geología de Arica y sus alrededores: Sector de la Concordia, Quebrada Lluta, Quebrada Azapa, 2004. Escala 1:250.000



Fuente: Elaboración propia en base a imagen SERNAGEOMIN, 2004. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica. Hoja Arica, Escala



Desde la calle Retiro hacia el norte y aproximadamente entre las Av. Robinson Rojas y Capitán Ávalos, franja que se angosta desde la calle Moisés Zúñiga hacia el norte hay Depósitos fluviales del Plioceno (Plf) compuestos de ripios y gravas clastosoportados y arenas, de colores pardo, gris, verde y amarillo, con intercalaciones de limo, tobas y depósitos epiclásticos, y localmente capas de sal. Estos también se observan en el sector del aeropuerto Chacalluta.

Hacia el norte de la ciudad, en la desembocadura del río Lluta, en la parte superior de estos depósitos está presente la intercalación de la Ignimbrita Lauca de ambiente volcánico Continental y presente en mayor medida en la Precordillera.

A.2.1.2 Geomorfología

La ciudad de Arica se emplaza adyacente a la ladera al noreste del Morro y sobre el cono aluvial del río San José, cuyo cauce hacia el interior es el conocido Valle de Azapa. En este sector comienza a elevarse el farellón costero, comenzando con la altura del Morro a 120 msnm.

Desde el Morro, el relieve cordillerano desciende en dirección a la frontera con Perú por la presencia de un sistema de fallas normales escalonadas de rumbo E-W.

La planicie que se forma sobre esta unidad, en dirección norte, se ha denominado *Concordia*, que hacia el mar se encuentra con un escarpe con orientación norte – sur. Este escarpe marca el límite oeste de una planicie (Depresión Central) que se extiende desde la Precordillera, hasta el Océano Pacífico. La superficie de la Concordia es una terraza de depósitos que tiene en la actualidad tres terrazas de erosión que marcan las etapas de recesión del mar.

Al sur del morro la Cordillera de la Costa se eleva y presenta como un farellón erosionado por las olas de rumbo norte sur hasta Taltal.

Desde la base del acantilado se extiende la angosta planicie costera, observable desde el Morro hacia Perú. Tiene una pendiente de 2% y su superficie es aproximadamente 60 km².

Al este de la Cordillera de la Costa comienza la Depresión Central, también llamada pampa. Esta es rica en depósitos ignimbríticos (rocas rioclásticas a riocácicas), y se extiende desde la Cordillera de la Costa hasta los faldeos de la Precordillera. Tiene inclinaciones de 3° hacia el oeste, con alturas máximas de 450 msnm.

Las quebradas Gallinazos y Escritos, se encuentran al norte del río Lluta y son intermitentes, sin escurrimiento superficial registrado en largo tiempo, y sin posibilidades de suministrar agua de riego, mientras que los valles Azapa y Lluta son los dos grandes valles de cultivo del sector.

Estos alcanzan a desniveles de 200 m con la pampa, sus cauces están rellenos por material aluvial mal consolidado y se observa la formación de terrazas, sobre todo en el valle del río Lluta, que muestran la progresiva baja del nivel inferior de los ríos.

Imagen A-2
Contexto geomorfológico de Arica. Desembocaduras de los ríos Lluta y San José de Azapa



Fuente: Imagen Digital Globe 2014. Google Earth

Azapa y Lluta son rasgos geomorfológicos que tienen incidencia directa con la morfología urbana, junto con los escarpes que se muestran en la imagen anterior.

En los valles, numerosos bloques han caído desde sus paredes con los movimientos de la tierra, y existe también evidencia de que los terremotos actuales también tienen efecto ya que se han registrado presencia de grietas⁴.

Dada la escasez de precipitaciones en Arica, los agentes erosivos activos fuera de los valles son el viento, los terremotos y la gravedad, como lo refleja la topografía actual.

A.2.1.3 Fallas y riesgo sísmico

La historia sísmica sobre la que se tiene registro en Chile para el norte de nuestro país, corresponde a los eventos de magnitud muy importantes (con tsunami asociado en 1868 y en 1877 superiores a $M=8$), los que tuvieron efectos devastadores en la ciudad. Sin perjuicio de los últimos eventos registrados el pasado 1 y 3 de abril en Iquique, que tuvieron efectos evidentes sobre la región y sobre la ciudad, diversas publicaciones locales e internacionales se han referido a estos fenómenos como aquellos de una magnitud no esperada para el norte del país. De acuerdo a los antecedentes revisados, solo una porción del territorio habría sido afectado por la subducción de la placa, restando aún por liberar energía justamente en el tramo que va desde el norte de Cuya hasta Ilo al sur del Perú, habiendo otro tramo también incluido como parte de la Laguna sísmica desde el sur de Iquique.

La teoría de las lagunas sísmicas ha sido descrita por diversos autores, algunos de los cuales, ya en 1991 señalaban que ambos sectores (incluido Iquique hasta ese minuto) se encontraban en un estado

⁴ Doyel, W. 1965. Preliminary report on the groundwater resources of the Arica Area, Chile, p.4.



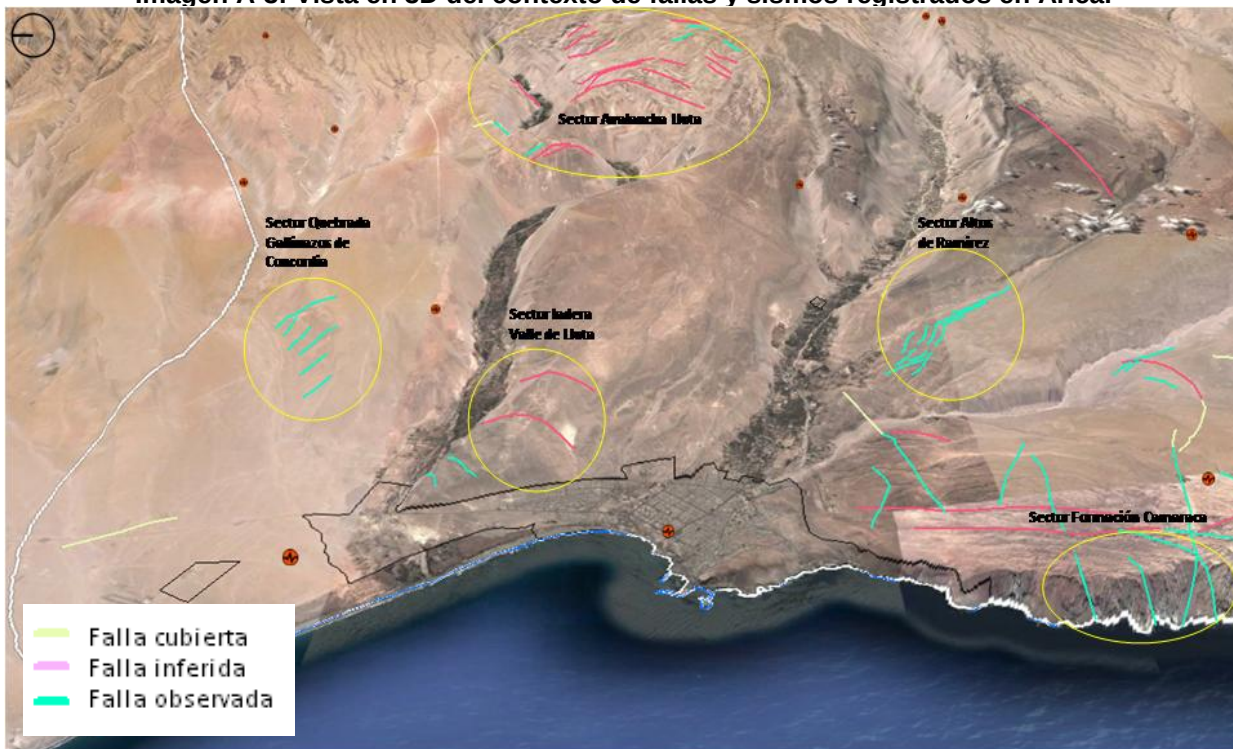
de madurez de sus respectivos ciclos de sismicidad (Comte y Pardo, 1991⁵), concluyendo que en virtud de los datos (sin ser posible completar una serie de eventos en la región) y los terremotos registrados en Perú en 1543, 1615, 1768 y 1868, el período de retorno para el sector norte de Chile, es de 111+-33 años, situación que ubica al último fenómeno registrado dentro del rango estimado de retorno.

Por su parte, Madariaga, 1998⁶ señala que la ruptura del terremoto de 1877 se extendió por 500 km desde 50 km al sur de Arica hasta 50 km al norte de Antofagasta, y que con la tasa actual de convergencia entre la placa de nazca y la sudamericana de 10 cm/año se llega a la conclusión que existe un déficit de deslizamiento acumulado de 14 m, que es el deslizamiento que se espera con un terremoto del orden de M=9. Sin embargo este autor cuestiona que esta brecha o laguna sísmica esté “madura” fundamentalmente por la falta de datos sobre la actividad sísmica en años anteriores al registro de 1877. Menciona asimismo, que no es posible establecer que las tensiones acumuladas sean liberadas necesariamente en un único evento, si no en una serie de los mismos de M = 8, como lo que ocurrió en Antofagasta o precisamente lo que ha ocurrido en Iquique.

Considerando las condiciones sísmicas de nuestro país, este antecedente es relevante pero no determinante en la planificación urbana. Es importante a efectos de los estudios de riesgo amparados en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, dar cuenta de esta condición fundamentalmente por los riesgos de inundación por tsunamis y por la identificación de fallas en el territorio urbano.

Respecto de esto último, en la imagen a continuación, se puede ver la presencia de distintos tipos de fallas y se indican también todos los sismos registrados por el USGS con magnitud por encima de los 2.5 Richter (en la ciudad y su entorno próximo).

Imagen A-3: Vista en 3D del contexto de fallas y sismos registrados en Arica.



Fuente: Elaboración a partir de Sernageomin 2004, USGS, Google Earth

⁵ Reappraisal Of Great Historical Earthquakes in the Northern Chile and Soudthern Peru Seismic gap. Natural Hazards 4: 23 – 44, 1991.

⁶ Sismicidad de Chile, Raul Madariaga, en Física de la Tierra 1998 N° 10: 221 – 258.



De esta manera, podemos observar que dentro de la ciudad, la información disponible y consultada, no constata la presencia de fallas, sin embargo destaca particularmente la aparición de las mismas al sur, en la Cordillera de la Costa, de orientación norte – sur (fallas inferidas) y este – oeste a lo largo del talud (fallas observadas y cubiertas) sobre la formación Camaraca y los Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa.

Entre la Panamericana Norte y el Valle de Azapa, al sur este de Altos de Ramírez se registra presencia un sistema de fallas observadas con dirección nor – oeste sobre los Depósitos de remoción en masa del Plioceno -Cuaternario y entre los valles es posible observar la presencia de dos fallas de este tipo sobre la misma unidad geológica donde desciende la ladera poniente del Valle del río Lluta al sur este del límite urbano, y en la misma dirección dos fallas inferidas que atraviesan tres unidades geológicas caracterizadas por ser depósitos de tres tipos: remoción en masa, avalancha volcánica y aluviales.

En la quebrada Gallinazos de Concordia también hay una presencia de fallas observadas emplazadas en la ladera poniente de la quebrada, sobre depósitos de remoción en masa.

Finalmente al norte, en la cercanía del aeropuerto Chacalluta, se presenta una falla cubierta que atraviesa diagonalmente la Panamericana Sur sobre depósitos fluviales del Plioceno.

Considerando que Arica se encuentra en una zona de subducción con una brecha o laguna sísmica antes mencionada, donde no se ha registrado un evento sísmico de las magnitudes esperadas, y que las fallas de Gallinazos de Concordia, el Valle Lluta y el sector Altos de Ramirez se encuentran en laderas donde existe posibilidad de deslizamiento de material por la unidad geológica en que están emplazadas, es importante considerar medidas preventivas en esos sectores ante una situación sísmica.

Así mismo, en la formación Camaraca de los taludes del Farellón Costero puede haber deslizamiento de material ya que existe presencia de material como areniscas, brechas, calizas, conglomerados y lutitas.

La anterior vista en 3D nos da la posibilidad de visualizar las fallas antes mencionadas y otras más hacia el interior del valle Lluta, sobre el cordón originado en ambas laderas, ubicadas principalmente sobre los depósitos de la Avalancha Lluta, de origen volcánico.

A.2.1.4 Avalanchas y rodados

En esta categoría, se han considerado riegos por remoción en masa, deslizamientos (flujo de detritos) o derrumbes, asociados a la combinación de componentes tales como las pendientes y el sustrato.

Antes de la detección en terreno de los riesgos de deslizamiento de material, se recolectó información de riesgos encontrados en fuentes primarias y secundarias de información, en específico en la Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica. Hoja n°84 Arica, Escala 1:250.000 de SERNAGEOMIN, 2004, la cual constata la existencia de unidades geológicas llamadas Depósitos de remoción en masa del Plioceno Cuaternario (PIQr), en el sector de Cerro Chuño, y la Formación Camaraca (Jmc) en el Morro y el cordón de cerros al sur del Morro, que presenta material sedimentario de areniscas y lutitas, observables en el área de estudio y coincidentes con las áreas de deslizamientos y derrumbes de la ordenanza local del PRC vigente, zonificadas como ZP5 Zona de riesgo por rodados y/o remoción en masa.

Además, el Sernageomín realizó prospecciones en terreno luego del terremoto del 1 de abril de 2014, donde comprobó el deslizamiento de los sectores del morro hacia el sur, en los documentos “Efectos geológicos de los sismos del 1 y 2 de abril de 2014: estabilidad del Morro Arica” y “Efectos geológicos de los sismos del 1 y 2 de abril de 2014: Evaluación preliminar de la ruta costera entre el Morro de Arica y sector Corazones: Peligro de Remoción en masa”, también fue utilizados para corroborar lo que anterior a su publicación se había observado en terreno.



En relación a la fuente secundaria, se utilizó: Crispieri, A. 2011. Caracterización y diagnóstico sísmico de las viviendas sociales de albañilería de la ciudad de Arica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. En esta fuente se dispone de sectores de deslizamientos y derrumbes, que fueron comprobados en terreno.

De esta manera, las fuentes identifican en Arica áreas asociadas a riesgo por deslizamiento en los sectores de taludes pronunciados, en el Morro, a lo largo del cordón de cerros por la Costanera Sur, al sur de la Av. Dr. Abel Garibaldi y en el cordón del Cerro Chuño, situación que fue comprobada en terreno, donde habían evidencias de derrumbes y donde la pendiente y el material de ladera mostraba que un movimiento de material era posible.

De acuerdo a la fuente secundaria, existen tres clasificaciones de deslizamientos y derrumbes según los suelos de Arica:

1. **Caída de rocas**: Ocurre en todo tipo de rocas, sobre todo en aquellas sujetas a una fuerte erosión y en taludes de más de 45°.
2. **Deslizamiento de rocas**: Este deslizamiento ocurre cuando la roca está débilmente cohesionada y segregada en fragmentos. Ocurre en taludes de 35°.
3. **Caída de suelos**: ocurre al desprenderse un estrato de suelo de su masa principal, y ocurre sobre los 40°.

En Arica existen dos grandes áreas donde estos fenómenos pueden ocurrir, denominada Zona del Cordón del Morro, donde se ubican ocho sectores, y Zona Cerro Chuño, donde se identifica un sector.

Prácticamente todos los sectores identificados en el Cordón del Morro, están relacionados con la unidad geológica Formación Camaraca (Jmc), que tiene material sedimentario observable en terreno que está sujeto a deslizamiento. En contraste con el estudio de suelo, la zonificación que corresponde al sector del Morro es Rocas del Morro I y Rocas del Morro II, esta última es franja sujeta a derrumbe y se extiende desde el sur de La Lisera, bordeando el Morro hasta la intersección de las calles San Martín con Santa Rosa. Además hay relleno artificial por el camino costero hasta la Lisera.

Por otra parte, el sector del Cerro Chuño está asociado a la unidad geológica Depósitos de remoción en masa del Plioceno-Cuaternario, que presenta material sedimentario de origen continental, y comparado con el estudio de suelo, corresponde al suelo VII Escombros de Falda Cerro Chuño.

En la siguiente imagen se puede apreciar la ubicación de los sectores de deslizamiento y derrumbe en Arica. En el primer caso, el sector 1 y 2 corresponde al camino a Playa Corazones. En este lugar el deslizamiento es del tipo caída de suelos y se presenta en la ladera del cordón de cerros del Morro. El sector 3 también tiene el mismo tipo de deslizamiento, y se ubica en el barrio La Lisera.

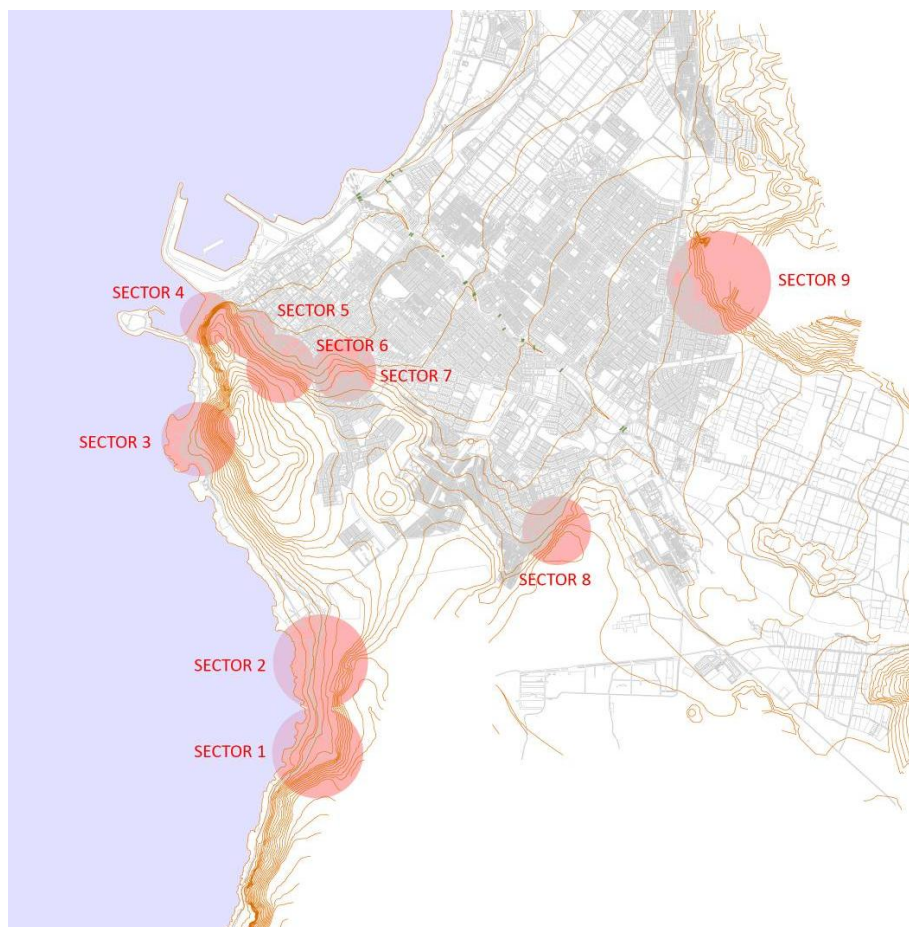
El sector 4 está ubicado en el Morro, entre la ex - isla Alacrán y el puerto, y el tipo de movimiento que presenta es el denominado Caída de rocas y Deslizamiento de rocas.

El sector 5 está en la ladera noreste del Morro, mirando hacia el casco histórico y tiene Caída de rocas y Caída de suelos. Por la misma ladera hacia el sur se encuentra el sector 6, que puede presentar Caída de suelos. Al costado este del Cerro la Cruz, está el sector 7 con Deslizamientos de Rocas y Caídas de suelo.

Finalmente el sector 8 ubicado en la ladera sur de la calle Abel Garibaldi, y presenta deslizamientos del tipo caída de suelos.

En la Zona Cerro Chuño se encuentra el noveno sector, en la ladera poniente, al sur del cementerio y se extiende por la ladera hasta aproximadamente el límite urbano con Azapa. Este sector presenta deslizamientos del tipo soil falls.

Imagen A-4
Distribución de sectores de derrumbes y deslizamientos, Arica



Fuente: Crispieri, A. 2011. Caracterización y diagnóstico sísmico de las viviendas sociales de albañilería de la ciudad de Arica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.

Para análisis de terreno, y posteriormente gabinete, se elaboró un mapa de pendiente con los parámetros establecidos en la metodología de Araya y Börgel (1972), que determinan los grados de erodabilidad según el rango de la pendiente.

El uso de esta clasificación de rangos de pendiente es adecuado para el caso de estudio en cuanto permite interpretar las características del territorio estudiado, dado que estos parámetros son representativos de la forma en que ocurre la erosión y la remoción en masa en el territorio.

Clasificación de pendiente y umbrales geomorfológicos

Pendientes		Concepto pendiente	Umbral geomorfológico
Grados	% Aproximado		
0 - 2	0,0 – 4,5	Horizontal	Erosión nula a leve
2.1 - 5	4,5 – 11,0	Suave	Erosión débil, difusa, sheet – wash, inicio de regueras, solifluxión fría.
5.1 - 10	11,0 – 22,0	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal frecuente, cárcavas incipientes.
10.1 - 20	22,0 – 44,5	Fuerte	Erosión intensa, erosión lineal frecuente, cárcavas incipientes.
20.1 - 30	44,5 – 67,0	Muy fuerte a moderadamente	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa,

“Modificación Plan Regulador Comunal de Arica”

Expediente del Plan / I. Memoria Explicativa
 I. MUNICIPALIDAD DE ARICA
 Abril 2017

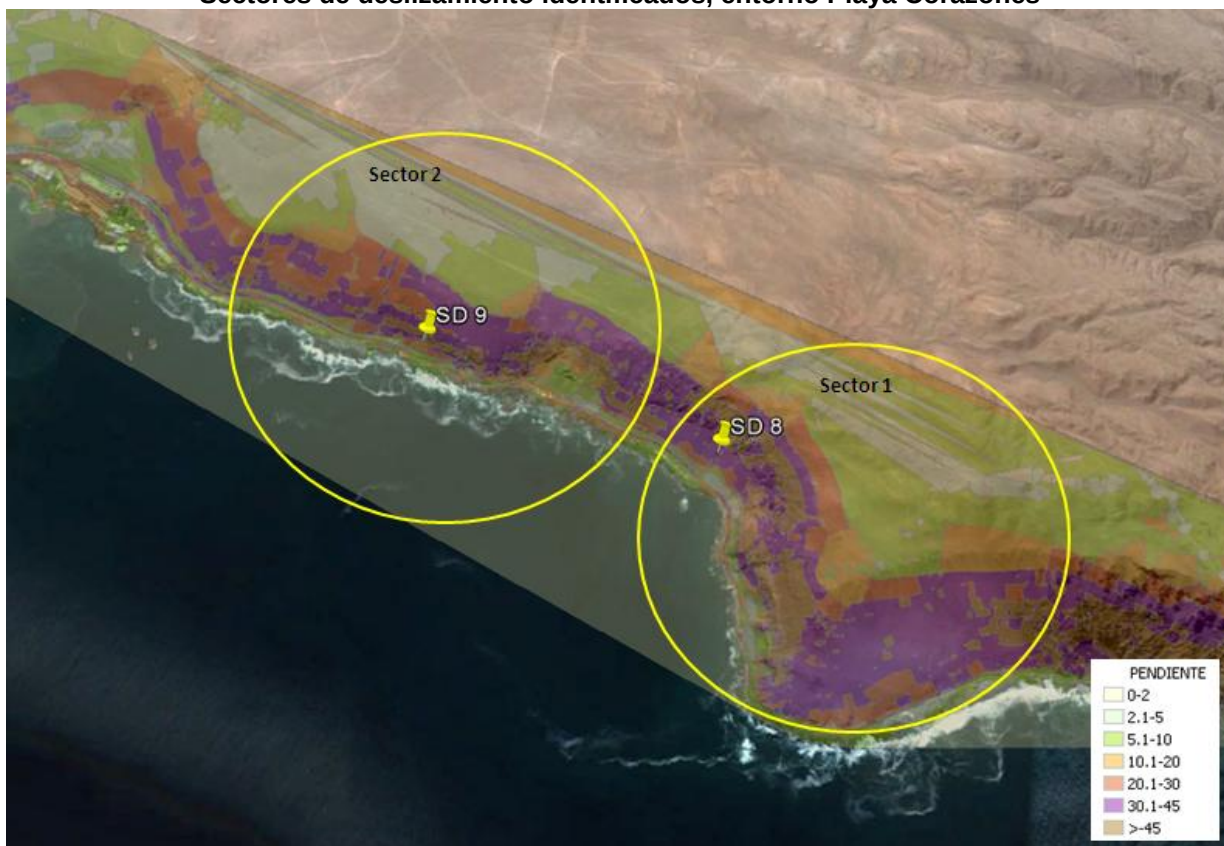


		escarpada	reptaciones.
30.1 - 45	67,0 – 100,0	Escarpada	<u>Coluvionamiento</u> , soliflucción intensa, inicio derrubación.
> de 45	> de 100,0	Muy Escarpada a acantilada	<u>Desprendimientos y derrumbes</u> , corredores de derrubios frecuentes.

Fuente: Araya y Börgel (1972)

De acuerdo a esto, se observó y marcó en terreno aquellos sectores donde se observaron taludes con riesgos de deslizamiento por material sedimentario y rocas. En la siguiente imagen se muestra el sector de deslizamiento (SD) n° 9 y 10 identificados en terreno, en la cercanía a Playa Corazones. Estos sectores corresponden a la identificación de Crispieri de sector 1 y 2, con deslizamientos de *caída de suelos*. Está superpuesto al plano de pendiente, de acuerdo a la clasificación mostrada en la tabla anterior es un sector de pendiente que varía de escarpada a muy escarpada a acantilada. Esto se puede observar a lo largo de todo el talud costero en este sector.

Imagen A-5
Sectores de deslizamiento identificados, entorno Playa Corazones



Fuente: Elaboración propia.

Imágenes A-6 y A-7

Talud Entorno Playa Corazones. Vista Norte.



Fuente: Elaboración propia.

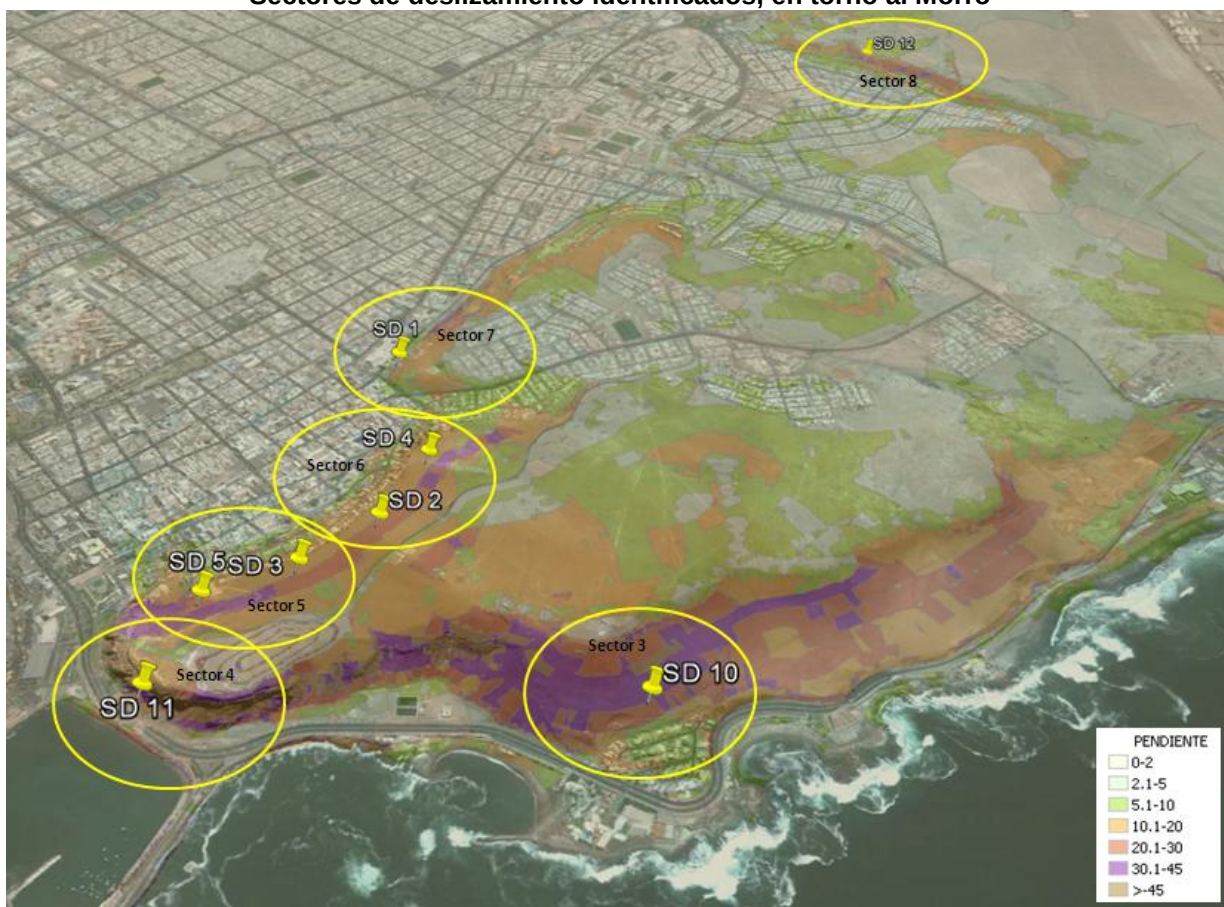
Talud Entorno Playa Corazones. Vista Sur.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A-8

Sectores de deslizamiento identificados, en torno al Morro



Fuente: Elaboración propia, Google Earth.



Estos sectores fueron identificados en terreno y se agregan dos puntos más en relación con los sectores de Crispieri, (SD 3 y SD 4), sin embargo, ambos se encuentran en el área de influencia de los sectores 5, 6 y 7.

El SD 10 ubicado en el Barrio La Lisera se identifica en terreno por exposición de material sedimentario en pendiente variable de 10.1 a 45, y está sujeto a *caída de suelos*. Esta situación se observa a lo largo de toda la ladera, sobretodo en dirección hacia el Morro.

Imágenes A -9 y A -10

Sector La Lisera. Vista Norte.



Fuente: Elaboración propia.

Talud Entorno La Lisera. Vista Sur.



Fuente: Elaboración propia.

En el entorno de la Playa el Laucho, al norte de la Lisera, se puede observar este fenómeno claramente, como muestra la imagen a continuación. En el flanco norte y noroeste (SD 11 y SD 5), correspondiente a los sectores 4 y 5, la pendiente es escarpada a acantilada, donde recientemente (terremoto 1 de abril 2014) hubo un deslizamiento de material.

Imágenes A-11 y A-12

Sector El Laucho.



Fuente: Elaboración propia.

Morro de Arica, SD 11.



Fuente: Elaboración propia.

Los SD 3, SD 2, y SD 4 ubicados a lo largo del flanco noreste se observaron en terreno por la presencia de un pronunciado talud con material sedimentario visible, y viviendas expuestas a lo largo de las Avenidas Héroes del Morro – Santa Rosa – San Marcos. De acuerdo a Crispieri, estos sectores



corresponden a 5 y 6, y presentan *caída de rocas y suelos* en el caso del sector 5, y *caída de suelos* en el caso del sector 6.

En las imágenes a continuación se puede observar las pendientes y su relación con el asentamiento humano en los distintos sectores de derrumbe identificados.

Imagen A-13 Morro de Arica, vista noreste



Fuente: Elaboración propia

Imagen A-14 Vista hacia SD 2, SD 3, SD 4, y SD 5



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A-15 Vista hacia SD 5



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A-16 Vista hacia SD 2 y SD 3



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A -17 Vista hacia SD 4



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A-18 Vista hacia SD 4 y SD 1



Fuente: Elaboración propia.



Imagen A-19 Vista hacia SD 1



Fuente: Elaboración propia.

Imagen A-20 Vista hacia SD 1



Fuente: Elaboración propia.

Por los mismos motivos anteriores, se observó el SD 1 y se comprobó en terreno que corresponde al sector 7. Por su pendiente, presenta deslizamientos tipo *caída de rocas* y *caída de suelos*, de acuerdo a las características descritas para este sector.

Finalmente, está el SD 12, correspondiente al sector 8, punto no observado en terreno que sin embargo tiene variaciones de pendiente que van desde los rangos 2.1 a > 45 .

En la Zona Cerro Chuño se identifican los puntos donde se presencia el deslizamiento de material y se comprueba que corresponden al sector 9, con caídas de suelo. Está sobre la unidad geológica Depósitos de remoción en masa del Plioceno – Cuaternario, y se observan variaciones en la pendiente, sin embargo sobre las tres áreas derrumbadas hay pendientes de 10.1 – 20, 20.1 – 30, 30.1 – 45 y > 45 .

La siguiente imagen es una observación desde Av. Las Torres, a lo largo de la ladera y cercano al límite urbano con Azapa.

Imagen A - 21 Vista hacia SD 13



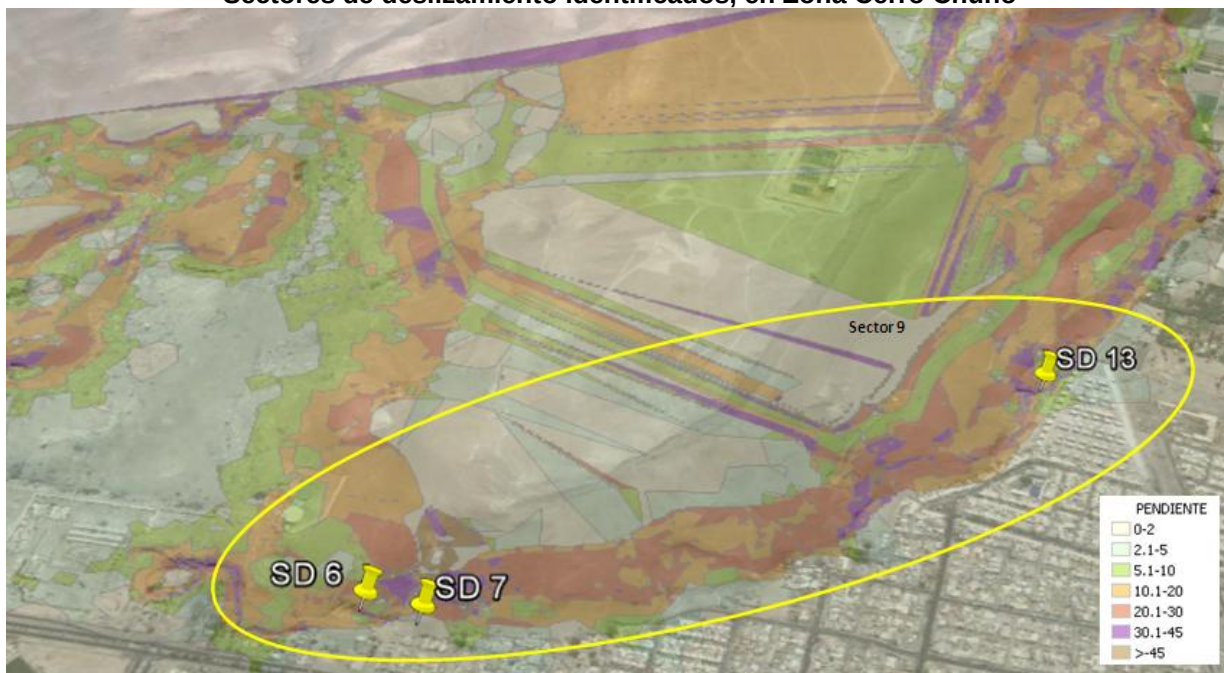
Fuente: Elaboración propia.

Imagen A - 22 Vista hacia SD 13



Fuente: Elaboración propia.

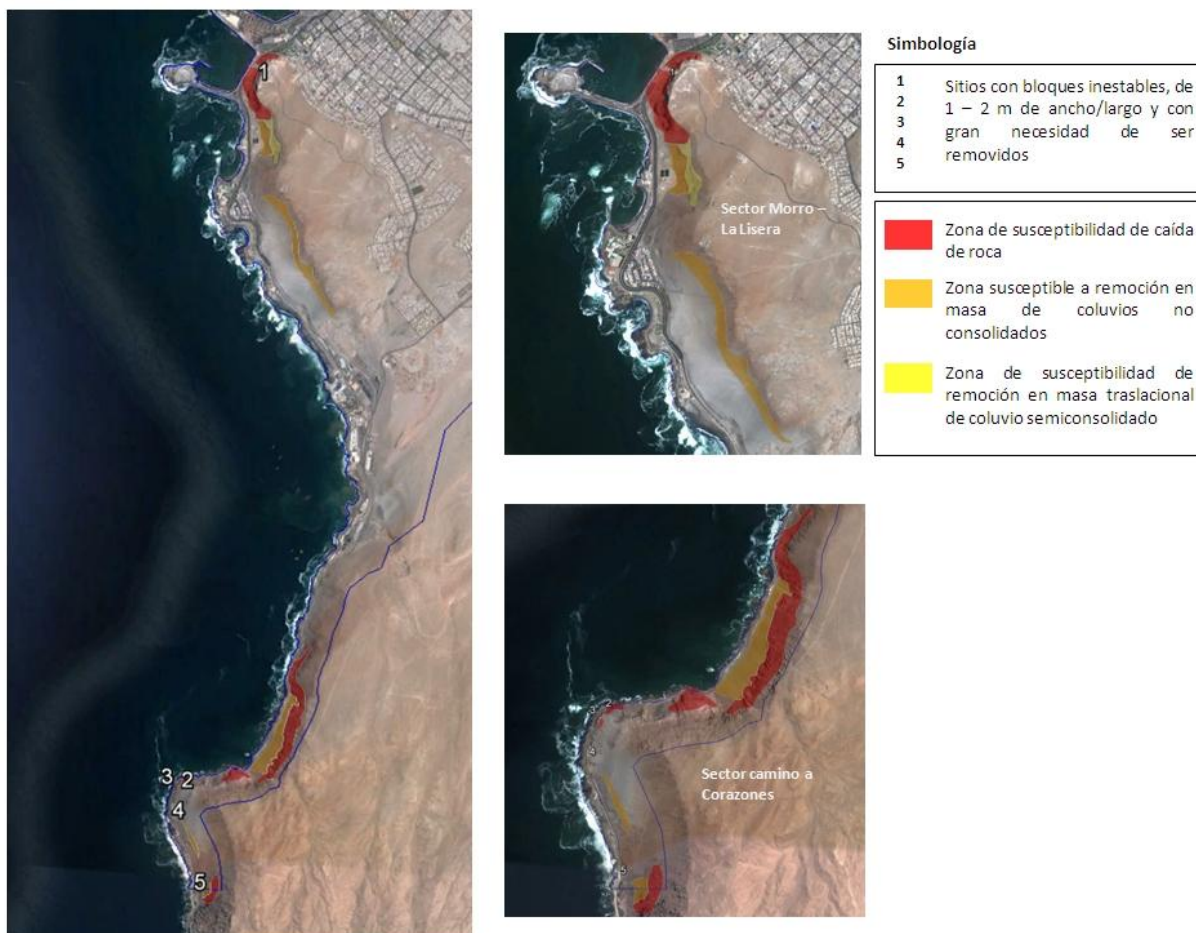
Imagen A-23
Sectores de deslizamiento identificados, en Zona Cerro Chuño



Fuente: Elaboración propia, Google Earth.

Después del sismo 8.2 Mw ocurrido el 1 de abril de 2014, el Sernageomín describe y localiza los fenómenos observados en relación a fracturas, presencia de diaclasas y deslizamiento de material. Además, se realiza un análisis preliminar de riesgos de deslizamiento, y se encuentran zonificados preliminarmente estos sectores, adjuntando recomendaciones sobre medidas a tomar en ellos. Los sectores con riesgo de remoción en masa, identificados en aquella instancia son mostrados a continuación:

Imagen A-24
Zonas de riesgo detectadas en campaña de terreno. Sernageomín, 2014



Fuente: Sernageomín, 2014.

A.2.2 Hidrografía e Hidrogeología

Arica se encuentra en el llamado sistema Hidrográfico Occidental⁷, conformado por cuatro cuencas con vertiente pacífica: las quebradas de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones. Las aguas que se encuentran en el área de influencia de Arica provienen de Lluta y Azapa. Históricamente son las dos fuentes principales de agua. Dada la escasez de precipitaciones, la población depende del suministro de agua subterránea.

Además, se encuentran al norte del río Lluta las quebradas de Escritos y Gallinazos, de carácter intermitente.

En el análisis hidrográfico, hay que considerar por un lado el abastecimiento de agua a la ciudad de Arica, efectuado mediante los ríos Lluta, San José e indirectamente la cuenca del río Lauca que vierte un porcentaje de sus aguas al río San José para abastecer el riego, y por otro lado es importante tener presente la relación de la ciudad con el mar y los riesgos que implica la posibilidad de tsunami.

Dada las características climáticas por la presencia del Anticiclón del Pacífico, Arica está bajo un déficit de agua que es inferior a 1.000 m³/hab/año, umbral que es altamente restrictivo para el desarrollo

⁷ Salas *et al.* (1966). Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, en colaboración con la Junta de Adelanto de Arica. Boletín n° 21. p.85



económico y compromete las demandas proyectadas de crecimiento, si no cuenta con mejoras sustantivas.⁸

Esta situación implica que los valles de Azapa y Lluta tienen fuertes presiones sobre sus cursos de agua ya que ambos son la principal fuente de agua de Arica y tiene la mayor oferta y demanda a nivel regional.

A.2.2.1 Río San José

A.2.2.1.1. Descripción general

La cuenca del río San José tiene una superficie de 3.187 km², y nace de la confluencia de río Seco y Tignamar, siendo también una fuente natural del río el tributario Laco. Tiene un caudal permanente en el curso superior a 4000 – 5000 msnm donde recibe precipitación de 200 mm de la alta cordillera y llega al mar esporádicamente y por pocos días.

Desde Humagata es un río seco, por ello, a partir de 1962 se desvían las aguas del río Lauca hacia la cuenca de Azapa mediante la Quebrada Chusmiza, con un caudal promedio de 600 l/s. Los aportes provenientes de este río son permanentes durante el año, descargándose a la cuenca del río San José a través de la Central Chapiquiña. Sigue el curso principal hasta la bocatoma del río San José, donde pasa a llamarse canal matriz Azapa.

La cuenca de Azapa tiene dentro de su sistema la Quebrada de Acha. Esta es importante en términos hidrológicos, pero puede estimarse que su formación data de tiempos muy remotos, con un clima claramente más húmedo que el actual, que presenta una aridez extraordinaria en términos mundiales. El hecho de que sus cabeceras se emplazan en los contrafuertes cordilleranos a alturas entre 3000 y 4000 m.s.n.m. hace presumir que se cuenta con algún tipo de recarga nival o pluvial para generar escorrentía subterránea a lo largo del extenso valle. Cualquier poblamiento en esta quebrada podría pesquisar la disponibilidad de estas aguas subterráneas, con la prevención de la posible presencia de arsénico por la presencia de numerosos volcanes en la cordillera, lo que puede ser tratado mediante técnicas de abatimiento disponibles. Alternativamente, es técnicamente factible la derivación de agua potable desde Arica.

El río San José, al ser de régimen de escurrimiento estival, sólo desemboca al mar cuando las precipitaciones de la estación son abundantes, y en esos casos descarga gran cantidad de sedimentos, materia orgánica y basura que arrastra al paso.

A.2.2.1.2. Recursos superficiales

Respecto a los recursos superficiales, la DGA determinó en base a caudales medios anuales el rendimiento específico del río para distintas probabilidades de excedencia, como lo muestra la siguiente tabla:

Caudal medio anual de acuerdo a distintas probabilidades de excedencia								
Estación	P.E = 20%		P.E = 40%		P.E = 60%		P.E = 80%	
	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²
Río San José en bocatoma Azapa	1,4	1,19	1,09	0,92	0,86	0,73	0,64	0,54

Fuente: DGA, 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota.

De acuerdo a la DGA 2010, hay dos grupos de vertientes en el valle que son fuente de agua superficial y son muy dependientes de los niveles del acuífero. Juntas alcanzan un flujo máximo conjunto de 600

⁸ DGA, 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota. p.5.



l/s en períodos interanuales de recarga óptima, sin embargo cuando el déficit hídrico supera los 5 años su aporte es cero.

Se mencionó anteriormente que una de las quebradas que conforman este sistema es Acha, un afluente seco de escurrimiento ocasional, originado en la Pampa de Oxaya y que desemboca en el río San José.

Actualmente hay asentamientos en ella, sin embargo, de todos los afluentes secos que conforman la cuenca de Azapa, este adquiere especial relevancia dada su extensión de 1.180 km², y aportando un tercio del drenaje total de la hoya del río San José.

A.2.2.1.3. Aguas subterráneas

El acuífero tiene agua de alta calidad y cantidad por lo que ha llegado a estar sobre explotado. Se recarga principalmente de las crecidas del río y por la infiltración de las aguas del río Lauca. Tiene un volumen variable de 300 a 350 millones m³ y la recarga media es de 750 l/s.

La disponibilidad está sujeta a la variabilidad hidrológica de la recarga. Cuando no están disponibles los aportes de la recarga, los volúmenes decrecen progresivamente. Por ello las variaciones históricas de los niveles de agua están relacionadas con las crecidas del río San José.

Dada la sobreexplotación del acuífero, está previsto un colapso al año 2019 si no se genera un plan de manejo sustentable para este.

Arica tiene una demanda de agua potable de 450 l/s con una demanda proyectada al doble para el 2020 y el uso industrial demanda 250 l/s.

A.2.2.1.4. Geología e hidrogeología

Desde el punto de vista geológico, el curso inferior del Valle de Azapa tiene la presencia de las Formaciones Oxaya y Azapa. La Formación Azapa se ve cortada por el Valle sobre Sobraya, hasta Cabuza. Ahí corta un intrusivo de granodiorita y el valle se angosta hasta 700 m. Hacia abajo el valle atraviesa las formaciones de Oxaya y Azapa. Se observa un relleno con menos de 100 metros de sedimentos no consolidados del Pleistoceno y tiempos recientes en sus partes inferiores.

Cerca de Altos de Ramirez hay toba volcánica, probablemente de la Formación Lluta a la profundidad de 70 metros y roca negra, probablemente de origen jurásico a los 167 metros.

Las propiedades hidrogeológicas de los sedimentos se caracterizan por tener un índice bajo de permeabilidad, tanto los materiales de la Formación de Oxaya como los de Azapa. Por ello, en relación al relleno aluvial y para desarrollar agua subterránea, pueden ser considerados un piso impermeable⁹.

El espesor del relleno aluvial va entre 50 a 70 m y está constituido de ripio medio a grueso, con cantidades variables de arena, limo y arcilla. Estos se encuentran en disposición lenticular, cuando el Limo y la arcilla no están presentes, el material tiene buena permeabilidad y los pozos perforados en estos sectores tienen buenos rendimientos.

La permeabilidad se ha visto disminuida en parte por la mezcla de materiales provenientes de afluentes y deslizamientos de la formación Oxaya, como es el caso de la quebrada del Diablo. También en el sector de Cabuza – Puente Saucache se produjo un relleno homogéneo, donde la permeabilidad se muestra uniforme y tiene mejor capacidad de almacenamiento de agua.

El agua subterránea del valle satura parte del relleno aluvial. Su origen es de precipitaciones del área donde nace el río, es decir las quebradas Seca, Chusmiza, Chapiqueña y Tignamar. Durante el estiaje, el agua se infiltra en el relleno aluvial bajo la localidad de Humagata, y en las crecidas, los agricultores inundan los predios lo que también genera infiltración.

⁹ Ref. 6, p.96



El área de reducción del nivel freático se extiende desde Cabuza a Arica, y poca recarga ocurre en este sector.

El nivel freático declina hacia el océano pacífico y agua subterránea se descarga al océano. Sin embargo, la baja de los niveles de agua podría revertir el nivel freático y provocar la incursión de agua salina al acuífero en Arica. El agua salada podría entrar solamente a la porción del acuífero que está bajo el nivel del mar. Por ejemplo, el pozo en el Estadio Municipal está aproximadamente 30 metros sobre el nivel del mar y el nivel estático está a 18,4 metros sobre la superficie o aproximadamente 11.6 metros sobre el nivel del mar. Si el nivel del agua bajara bajo el nivel del mar, el agua salada podría entrar en esa porción del acuífero que está bajo nivel del mar (más de 30 metros bajo la superficie) ¹⁰.

Existen varias vertientes que se agrupan en tres sectores, la quebrada El Diablo, Albarracines y Pago de Gómez. Se originan también las vertientes San Miguel y Concepción por la disminución de la permeabilidad causada por la presencia de materiales heterogéneos de la quebrada de El Diablo. Las vertientes de Albarracines, Estanque, El Gallito, Media Luna y Mitachica se originan por disminución de la sección filtrante del valle.

A.2.2.1.5 Crecidas del río San José

El río San José tiene crecidas estivales de distintas magnitudes, en el siglo XX se registraron una veintena de crecidas, es decir, en promedio cada cinco años. En esta década van dos eventos menores con caudales cercanos a los 15 m³/s, similares a las crecidas que hay cada 4 a 5 años, sin embargo también hay crecidas mayores que ocurren cada 10 años aproximadamente, en la serie de crecidas máximas anuales. Estas sobrepasan los 30 m³/s, y tienen un impacto negativo sobre la infraestructura pública, viviendas y zonas agrícolas. Los daños mayores se producen en la zona urbana y en la desembocadura, en la playa adyacente y afecta las actividades turísticas. Hacia el valle se producen daños en la vialidad pública y las áreas agrícolas.

La frecuencia de crecidas es válida para el caso de considerar solo la serie de crecidas máximas anuales, es decir, sin incluir el conjunto de crecidas menores que acompañan a la máxima durante las bajadas del río San José. Así por ejemplo, durante el mes de febrero del año 2001, la crecida máxima de 160 m³/s, asociada a un período de retorno aproximado de 50 años, fue precedida en los días siguientes con máximos instantáneos cercanos a los 80 m³/s, equivalentes a periodos de retorno aproximados a 25 años. ¹¹

Tanto la crecida del río San José con las de quebrada Acha han coincidido históricamente. Por ello, el caudal del tramo urbano del río San José es una sumatoria de del caudal rural con el aporte de la quebrada en época de crecidas. De esta forma, el período de retorno de lluvias tiene un caudal para el río estimado de la siguiente manera, según los años calculados:

Caudal según período de retorno de lluvias, río San José

Años	Caudal m ³ /s		
	Río San José		Quebrada de Acha
	Rural	Urbano	
2	13	15	2
5	45	53	8
10	78	91	13
25	150	176	26
50	220	258	38
100	320	375	55

Fuente: DOH, 2008. Identificación de zonas de riesgo y estudio de títulos de dominio en tramo urbano de río San José, Arica, Región de Tarapacá.

¹⁰ Ref. 12, p.8

¹¹ DGA, 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota, p. 32.



Considerando las características climáticas de extrema aridez de Arica y su entorno, y las precipitaciones que afectan al altiplano, tanto el río Lluta como el río San José aumentan sus caudales durante los meses de diciembre a abril durante el invierno altiplánico. En ocasiones, el aumento es de tal magnitud que produce aluviones en ambos ríos que tienen un considerable impacto.

El río San José forma un torrente en las épocas estivales del invierno altiplánico, que permite al río llegar a su curso inferior e incluso ingresar a la ciudad, evacuando sus aguas en la desembocadura.

Como se explicó anteriormente, el río es generalmente seco en su curso inferior, sin embargo en períodos en que las precipitaciones en el altiplano son particularmente generosas el río trae consigo un aluvión que arrastra material de lecho de río, escombros de diverso origen y residuos de distintas características.

Imágenes A-25 y A-26

Río San José con lecho seco en el curso inferior Río San José con caudal en el curso inferior



Fuente: Elaboración propia



Fuente: I. Municipalidad de Arica

En el aluvión de 2001, ambos ríos tuvieron un impacto mayor en la ciudad. En su paso generó erosión del cauce, los terrenos y los suelos agrícolas aledaños a este y pérdidas de suelos productivos, cultivos, además de producirse daños en bocatomas y en sistemas de riego.

También destruyó infraestructura pública y mobiliario urbano, generó embancamientos, tales como el del puerto comercial o el del desaparecido muelle Chinchorro, además de deteriorar las playas, producto del arrastre de material particulado sedimentable al ambiente marino.

Los daños generados fueron valorizados preliminarmente en varios millones de dólares de acuerdo al Ministerio de Obras Públicas. Los suelos agrícolas trasladados por el aluvión en el río San José se depositan como sedimentos marinos costeros, generando deterioro por embancamiento en el sector puerto. En este sector, el molo genera mayor tiempo de sedimentación, ya que disminuye la intensidad y velocidad del oleaje. Esto se despeja con obras de dragado.

La socavación del cauce está relacionada a la frecuencia de la crecida, el valor medio corresponde a 1 metro, sin embargo a nivel local, por secciones del río tiene variaciones de 2 m a 5,4m. Esto ocurre solo en algunas secciones del río, donde el valor es alto, siendo la mayor incidencia de socavación en el tramo urbano del cauce. Sin embargo estas situaciones locales no representan la tendencia general del cauce.

De acuerdo a la CONAF, 1977, las áreas urbanas con alto índice de peligro de inundación son la puntilla Saucache en la entrada a la ciudad, los terrenos bajos, y establece que el riesgo de inundación proviene de la quebrada Acha que inundaría los sectores de Pampa Nueva, Saucache sur, Universidad del Norte, Carlos Dittborn, San Martín y Magisterio, poblaciones de carácter residencial.



La capacidad de transporte de sólidos es mayor en el tramo urbano, antes de la confluencia con la quebrada de Acha. En la cercanía de la desembocadura el material suspendido es mayor, esto implica que se evacua sedimento fino al mar en mayor cantidad. En general predomina el arrastre de fondo en la capacidad de transporte sólido total en el cauce del río.

El tramo urbano recibe menos sedimento del que es capaz de transportar, y el sector, que es de mayor actividad sedimentológica incorpora al flujo del río sedimento constitutivo del lecho, lo degrada y origina del desprendimiento de partículas finas y el acorazamiento del lecho.

Tanto el último tramo de la zona de expansión del río antes de descargar al mar y la quebrada Acha tienen un sedimento más fino, que lo diferencia del resto del río, cuyo sedimento constitutivo es de granulometría gruesa y extendida.

Este comportamiento en la sedimentación ha generado la aparición de la península de la desembocadura, a propósito del aluvión de 1973, observable en la foto siguiente. Así también contribuye al crecimiento de las playas por los sedimentos aportados.

Imagen A-27
Desembocadura río San José



Fuente: I. Municipalidad de Arica

En 2012 tuvo lugar una crecida del río San José, con un desborde entre el kilómetro 20 y 25 del valle. Afectó principalmente las tierras agrícolas del Valle de Azapa, con pérdidas millonarias en terrenos agrícolas, materiales, animales, cosechas y viviendas.



A.2.2.1.6 Características de la Quebrada Acha

Los datos disponibles para esta quebrada están referidos a estudios de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de 2004 y 2008. En ellos, se establece que el material de esta quebrada está determinado por dos calicatas hechas en la cercanía de la confluencia con el río San José¹². De acuerdo a ello, el suelo es de arena limosa y material garbillo con tamaños que oscilan entre 1" y 2". A un metro de profundidad el material es arena limosa con ripio de tamaño de 3". El sedimento constitutivo presenta en general un grano más fino que la cuenca del río San José.

El análisis hidrológico de la fuente estimó un período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años. En el caso del estudio de riesgos, se tomará en consideración el período de retorno de 100 años.

Dadas las características de la quebrada, su origen remoto y el escaso a nulo registro de precipitaciones en la cuenca, la quebrada es analizada en base a la similitud con la cuenca del río San José en geomorfología y clima.

Como se menciona anteriormente, no existen antecedentes pluviométricos registrados, por ello la base para los análisis de este tipo se hicieron sobre un mapa de isoyetas para un período de retorno de 10 años de la DGA, con fecha de 1989.

Con ello, la DOH, (2008) establece que el caudal para la quebrada Acha varía de acuerdo a su período de retorno, conforme lo establecido en la siguiente tabla:

Caudal de acuerdo al período de retorno quebrada de Acha

Retorno	Caudal m³/s
2 años	2
5 años	8
10 años	13
25 años	26
50 años	38
100 años	55

Fuente: DOH, 2008. Identificación de zonas de riesgo y estudio de títulos de dominio en tramo urbano de río San José, Arica, Región de Tarapacá.

A lo largo del río San José y la Quebrada Acha, la pendiente es superior al 1%, lo que indica una pendiente fuerte. La pendiente va disminuyendo gradualmente en la medida en que se acerca al mar, lo que también significa una disminución del transporte sólido.

Donde la quebrada Acha confluye con el río San José, hay una pendiente levemente inferior. En caso de crecida, podría existir un control hidráulico del río sobre la quebrada que dificultaría la evacuación de la misma ya que favorece la depositación de material fino aguas arriba.

En el caso de un período de retorno de 100 años, la media de la socavación del lecho en metros es de 0,271, con una máxima de 2,009 y una desviación estándar de 0,460, con predominancia del transporte sólido de suspensión. El cálculo hidráulico de la Quebrada Acha indica que tiene una capacidad suficiente para conducir las crecidas de este período de retorno.

Si no tiene encauzamiento, está sujeta a grandes inundaciones en crecidas mayores, y es una amenaza para la estabilidad de la ruta 5 norte dado que ante una crecida puede generar un talud. El informe citado establece que *"se puede constatar que existe una serie de viviendas menores ubicadas en plena quebrada, que es necesario proteger o reubicar mediante erradicaciones. Para realizar esto último, previamente debe expropiarse los terrenos que sean privados. Finalmente, está el problema de los areneros, que realizan los acopios del material de rechazo en plena zona de inundación, material*

¹² DOH, 2008. Identificación de zonas de riesgo y estudio de títulos de dominio en tramo urbano de río San José, Arica, Región de Tarapacá.



que puede ser arrastrado durante las crecidas y provocar daños aguas abajo, incluidos el sector de desembocadura y playa”.¹³

Considerando lo anterior, la población de Cerro Sombrero está sujeta a las posibles crecidas de la quebrada, dado que el cauce se confunde con la urbanización. El estudio establece que si bien no existe escurrimiento hace tiempo, sigue habiendo un riesgo potencial para las poblaciones.

La velocidad del escurrimiento promedio es de 1,32 m³/s, sin embargo la falta de definición del cauce produce inundaciones por desbordes en el sector cuando existen crecidas.

A.2.2.2 Río Lluta

A.2.2.2.1 Descripción general

El río Lluta comienza en los 17°50'LS y desemboca a los 18°30'LS. Esta cuenca abarca 3.378 km², se origina en la Alta Cordillera, entre los 4000 – 5000 msnm. En esta altura llega a recibir hasta 350 mm de agua al año, mientras que en el curso inferior recibe 0 mm. Los tributarios principales del río son Azufre, Caracarani, Cascavillane, Teschuño, Guancarane, Chuquiananta, Colpitas, Allane, Putre, Aroma y Socoroma.

El gran tema con el Valle de Lluta es la calidad de sus aguas, ya que el río tiene un caudal permanente a lo largo del año. Las características de los lugares donde nacen los afluentes inciden en la calidad del agua que llega a la desembocadura.

El río Azufre nace al pie del volcán Tacora a 3.900 msnm, con aguas fuertemente ácidas y gran cantidad de sólidos disueltos, lo que determina la mala calidad de agua del río Lluta. Antes de recibir al Azufre, el río Lluta tiene aguas alcalinas, esto cambia a aguas ácidas cuando se encuentran. A su vez, el río Colpitas aporta la mayor cantidad de Boro al río Lluta.

A.2.2.2.2 Recursos superficiales

La probabilidad de excedencia del río Lluta está calculada en base a las mediciones de la estación fluviométrica en Tocontasi que registra prácticamente todo el caudal de la cuenca. Los caudales medios anuales estiman que el rendimiento para distintas probabilidades de excedencia es el siguiente:

Caudal medio anual de acuerdo a distintas probabilidades de excedencia

Estación	P.E = 20%		P.E = 40%		P.E = 60%		P.E = 80%	
	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²	Q (m ³ /s)	l/s/km ²
Río Lluta en Tocontasi	2,52	0,95	2,09	0,79	1,73	0,65	1,31	0,49

Fuente: DGA, 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota.

A.2.2.2.3 Recursos subterráneos

Existe un sistema hidrogeológico del curso inferior del río está entre Rosario y Lluta a la altura de la Panamericana. Son dos acuíferos detríticos superpuestos, donde el superior es de condición libre con algunas conexiones al río Lluta, y el inferior es semiconfinado por lo que su funcionamiento requiere ser analizado para explotaciones futuras. Se estima que el volumen total almacenado es de 110 millones de m³. La recarga media anual de este acuífero es de 460 l/s. Sin embargo el uso es restringido ya que tiene una alta presencia de sales, boro, sulfato, cloruro y arsénico.

La geología de la cuenca y la presencia del Volcán Tacora hacen que las aguas del río Lluta tengan problemas de acidez y salinidad por aportes de metales y sales. En la quebrada de Colpitas hay afloramientos hidrotermales que aportan boro, arsénico y iones a la cuenca.

¹³ DOH, 2008. Identificación de zonas de riesgo y estudio de títulos de dominio en tramo urbano de río San José, Arica, Región de Tarapacá.



En general, el agua se caracteriza por:

1. Ser de regular a mala calidad por la presencia de boro, arsénico, oxígeno disuelto, cobre, aluminio, hierro, cromo, manganeso, conductividad eléctrica, sulfatos, zinc, cloruros y plomo.
2. Estar influenciada por factores volcánicos y salares en la parte alta de la cuenca.
3. Estar influenciada por el suelo salino en el curso medio de la cuenca dada la alta concentración de nitrato de sodio y otros compuestos de la cuenca.
4. La contaminación es principalmente de fuentes naturales, dada las escasas precipitaciones no se diluyen los contaminantes en el curso inferior del río y se concentran por la alta evaporación en el sector.

Las precipitaciones estivales no solucionan la baja calidad de las aguas del río Lluta, dado que no se ha observado mejoras luego de una semana de precipitaciones. Incluso aumentan los sedimentos del río, por efecto del arrastre. La presencia de estos sedimentos con altas concentraciones de arsénico dificulta la posibilidad de un embalse ya que este sería un depósito de sedimentos que podrían liberarse al río en el caso de no tener un sistema adecuado para disponer de los lodos.

Existen aguas de mejor calidad de desembocan en el Caracarani, Allane, Colpitas y Aroma. Si estos recursos se interceptaran antes de descargar a los tributarios, permitiría contar con 600 l/s para riego en la parte alta de la cuenca.

A.2.2.2.4 Crecidas del Río Lluta

El río Lluta tiene escurrimiento permanente y mayor comparado con el río San José. Su escurrimiento varía de super crítico a subcrítico, dependiendo del sector de escurrimiento.

La DOH (2004) da cuenta de crecidas que llegan a tener un caudal de 800 m³/s en 2001, en el puente Chacalluta en la ruta 5 norte. Lo particular de esta crecida fue que el aporte sucedió simultáneamente en toda la cuenca, cuando por lo general la cuenca tiene una variación muy marcada, registrando por lo normal precipitaciones en algunas estaciones, o con desfaz.

En la citada ocasión, la avenida tuvo efectos en el puente, cortando el paso de un lado a otro, como muestra la imagen a continuación.

Imagen A-28 y A-29. Efectos sobre el puente Chacalluta en crecida de 2001



Fuente: DOH, 2004. Plan Maestro de Aguas Lluvias de Arica. Manejo de los Cauces de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras, 2004.

La solución que se dio a esto fue habilitar un camino alternativo por puente – alcantarilla abovedada en el camino costero de la ruta A-210 en la desembocadura, solución que fue afectada por nuevas crecidas, siendo una solución intermitente.

A lo largo de la ruta 11-CH se ve afectado en la misma crecida, generando destrucción del puente Santa Lucía, así también el puente Chacabuco, puente Poconchile. Además se erosiona el camino en el km 36. Otro camino erosionado producto de la crecida es A-15 en el acceso a Molinos.



En relación al caudal de retorno, de acuerdo al Plan de manejo del cauce del río Lluta de la DOH (2004), el caudal es el siguiente.

Caudal de período de retorno río Lluta

Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)
2	25
5	43
10	65
25	210
50	415
100	600

Fuente: DOH, 2004. Plan de manejo del cauce del río Lluta.

En un período de retorno de 100 años, las profundidades de la socavación que puede alcanzar el cauce son variables dependiendo del tramo, pero se establecen entre los valores 1,05 – 1,36 m para el cauce.

El transporte de sedimento varía de acuerdo al período de retorno. La granulometría del sedimento varía a lo largo del cauce, habiendo un sedimento fino en la desembocadura, hasta sedimentos gruesos en tramos medios y superiores.

Si se compara con el comportamiento del río San José en relación a las descargas al mar por crecidas, en la desembocadura del río Lluta no se embancan los sedimentos ya que hay olas más persistentes y ondas de marea. Esto permite la suspensión del material y las corrientes marinas lo dispersan costa afuera. El material, *al ser comprimido por la fuerza iónica del agua de mar sedimentará principalmente cuando la dilución marina alcance alrededor del 10% de salinidad que corresponde al filtro geológico de un ambiente acuático transicional, contribuyendo así a la someridad de la rada de Arica. Aun cuando no se observan alteraciones costeras de importancia derivadas de aluviones del Lluta, se presume el traslado de una cantidad no menor de suelos agrícolas erosionados derivado del desgaste producido por la fuerza del agua en el cauce, particularmente en aquellas zonas erosionables del río y en los terrenos agrícolas adyacentes (Goldman & Horne, 1994)¹⁴.*

En un análisis comparativo entre ambos ríos, para aluviones de 2004 y 2005, el río Lluta transporta mayor cantidad de sólidos totales, disueltos y suspendidos que el río San José, dado que el caudal de esta cuenca es mayor.

Si se observa las mediciones de la siguiente tabla, se comprueba que el río Lluta tiene un mayor aporte hídrico. Los datos están tomados por la DGA en los años 1997, 2004 y 2005, que establecen caudales promedio en 1997 y caudal promedio mensual para los años 2004 y 2005.

Caudales promedio río San José y Lluta, 1997, 2004, 2005

	Año	Período (día/mes)	Q promedio (m³/s)
Río San José (a) Registro Ausipar	1997 (a)	4/3 – 7/3	8.020
	2004 (a)	15/2	1.939
	2005 (a)	16/2	1.670
	1997 (c)	28/2 – 3/3	37.950
Río Lluta (b) Registro Alcérrea, Lluta (c) Registro Tocontasi, Lluta	2004 (b)	15/2	7.517
	2004 (c)	15/2	8.261
	2005 (b)	16/2	1.566
	2005 (c)	16/2	4.053

Fuente: Campos H, Díaz G & Campos C. (2007). Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *Idesia (Arica)*, 25(2), 37-48.

¹⁴ Campos H, Díaz G & Campos C. (2007). Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *Idesia (Arica)*, 25(2), 37-48.



En la desembocadura, el río San José tiene 500 mg/l de sólidos totales, 9.10 mg/l de sólidos disueltos y 490.9 mg/l de sólidos suspendidos, en comparación con la desembocadura del Lluta que en sólidos totales aporta 2.595 mg/l, sólidos disueltos 48 mg/l y en sólidos suspendidos 2.547 mg/l.

Como se menciona anteriormente, la fuerza iónica del agua marina contribuye a la sedimentación y deposición de las partículas suspendidas en el agua fluvial. Existe la posibilidad de formarse un filtro geológico natural en la zona de transición de agua salada y dulce en la desembocadura del río San José por estar expuesto a aguas marinas calmas por la presencia del molo, lo que favorecería el depósito en este sector. En cambio en el sector de la desembocadura del río Lluta es difícil que ocurra tal filtro dada la presencia de un oleaje más intenso que dispersa el material continental mar adentro.

A.2.2.3. Quebradas de Escritos

A.2.2.3.1 Descripción

La denominada región de la Concordia chilena tiene una superficie de 55 km² y limita al norte por la línea de la Concordia y al sur con el río Lluta, y aloja a las quebradas de Escritos y Concordia.

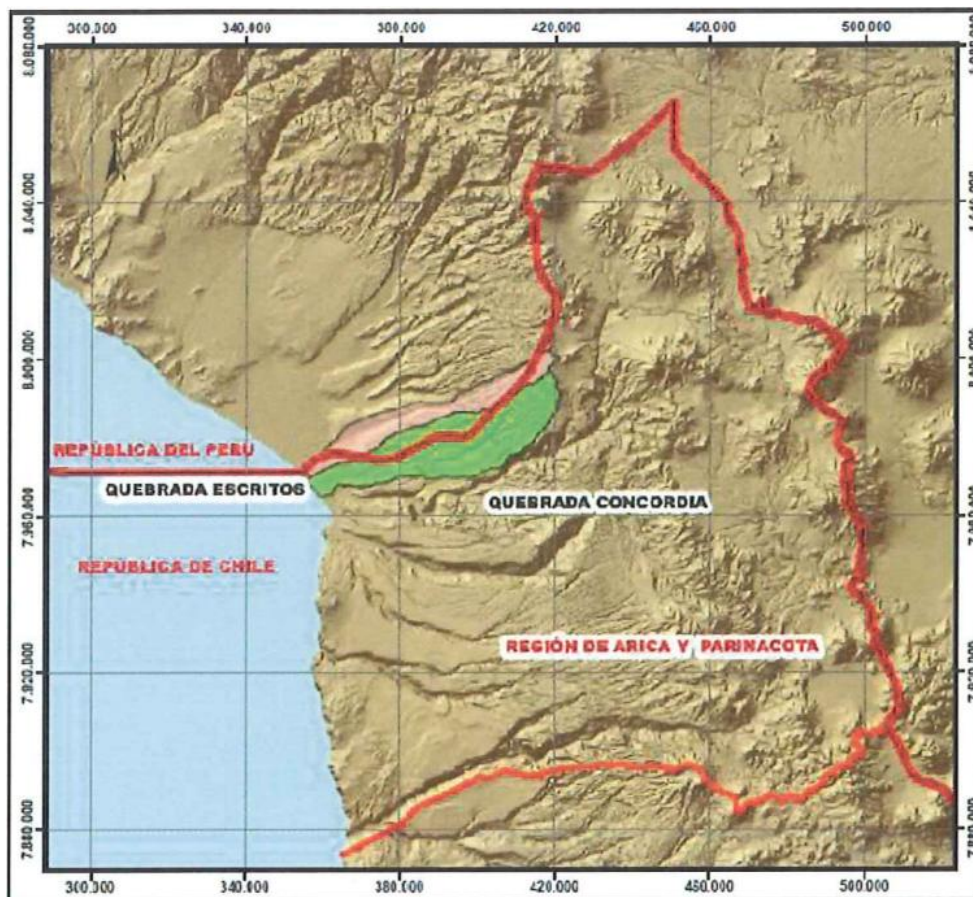
Las hoyas hidrográficas de ambas quebradas están compartidas con Perú. No existe presencia de vegetación ni escurrimiento superficial en los fondos de quebrada. En el último cuarto de siglo ha habido escorrentía superficial sólo una vez, sin embargo no fue una crecida natural si no el desvío de aguas a través de la quebrada.

Se emplaza en parte de una planicie desarrollada en las cercanías del mar, y está cubierta con materiales detríticos de tamaño de arena gruesa con alta presencia de cuarzo. La superficie en general es plana y tiende a inclinarse al mar, sin embargo es interrumpida por un barranco distante a 500 m de la costa en el límite norte y 1000 metros en el límite sur. Entre el barranco y el mar hay una franja costera que desciende pronunciadamente hacia el mar.

Desde el punto de vista geológico, esta región está situada en una fosa tectónica producida por fallas. A los 190 msnm se encuentran capas de diatomitas que indican la existencia pasada de una planicie continua con escaso drenaje que se en gran parte se hundió.

Los sedimentos que han sido atravesados por perforaciones experimentales corresponden a la Formación Concordia y son principalmente arenas y ripios, intercalados de arcilla, ceniza volcánica y horizontes conchíferos; su espesor máximo reconocido es de 430 m.

Imagen A-30
Mapa de ubicación de las Quebrada Escritos



Fuente: Bienes Nacionales, 2011. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos en el Sector Acuífero de la Concordia.

A.2.2.3.2 Agua subterránea

En la década de 1960, la CORFO y el instituto de Investigaciones Geológicas realizaron perforaciones en el extremo noroeste, en búsqueda de acuíferos para abastecer a la población. Entre Escritos y la frontera se encuentran las perforaciones experimentales de la CORFO y el Instituto de Investigaciones geológicas.

En la Concordia existen dos corrientes de agua subterránea que actuarían como recarga para los pozos perforados, una que proviene del noreste, con escurrimiento de gradiente hidráulico de aproximadamente 1,1 por mil y corresponde a aguas infiltradas del río Caplina, ubicado en el valle del mismo nombre, y otra proviene del sureste, mayormente infiltrada del curso inferior del río Lluta y parte en el lecho de la quebrada de la Concordia, que escurre bajo un gradiente hidráulico entre 2,4 a 8 por mil.¹⁵

En la fase de experimentación, la temperatura del agua subterránea variaba entre 29 a 31 grados, es decir, sobre la temperatura media anual de Arica que en esa época era 20,2 grados. Eso indica que el agua procede de una profundidad de 300 a 360 m, de acuerdo al gradiente geotérmico.

¹⁵ DGA, 2011. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero de La Concordia



El agua descarga hacia la costa, en un sector donde existe vegetación discontinua. Al bombear un pozo, se origina un cono de depresión en la superficie freática, determinado por la cantidad de agua extraída y los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento. Se estima que si los pozos tienen un bombeo excesivo, se corre el peligro de que el nivel de agua dulce baje más que el nivel del mar, lo que indicaría la posibilidad de intrusión de agua salada.

En cuanto a la calidad química del agua, se establecieron tres tipos de agua para este sector: En primer lugar, hay aguas con contenido salino variable entre 600 y 800 mg/l con procedencia del Noreste (valle del río Caplina). Segundo, presencia de aguas con contenido salino cercano a 2.600 mg/l provenientes de la recarga del Lluta. Finalmente se encuentra un agua que es el resultado de la mezcla de estos dos tipos anteriores.¹⁶

Las aguas tienen alta presencia de ácidos fuertes (SO₄ y Cl), por sobre los ácidos débiles (CO₃).

En la actualidad, la gran mayoría de los sondeos de la región de la Concordia se encuentran sin uso y sin derechos de aprovechamiento constituidos. Esto se debe a que en algunos casos las aguas presentaban un alto contenido salino y en otros los pozos fueron exploratorios. Los dos pozos que tienen derechos constituidos corresponden a la Dirección de Aeronáutica y ZOFRISA. La extracción de estos pozos es de 8 l/s y 15 l/s respectivamente, es decir 252.288 m³/año y 473.040 m³/año.

Además, existen dos pozos, que entre 1969 y 2011 estuvieron bajo la tuición del Fisco-Ejército de Chile, y cuya capacidad de extracción alcanzaba 82.1 l/s.

Dado el desconocimiento del volumen de las extracciones en Perú y el riesgo que implica el bombeo excesivo, se establece como caudal sustentable para entregar derechos de aprovechamiento en este sector un flujo pasante de 100 l/s (3.153.600 m³/año) que atraviesa el acuífero.

A.2.2.4 Quebrada de Gallinazos

Esta quebrada desemboca aproximadamente a 2 km al norte del río Lluta. De acuerdo a la Dirección General de Aguas, es el afluente principal de la quebrada de la Concordia. La Concordia se junta con la quebrada de Gallinazos a 22 km de su desembocadura, donde todos los afluentes y subafluentes son normalmente secos.

Se estableció un área de riesgo por inundación para esta quebrada definida por características fisiográficas, tales como pendientes y terrazas de inundación del lecho. Para ello se utilizó la cartografía actualizada con curvas de nivel cada 2 o 5 metros, además de fotografía aérea del sector, con la interpretación mediante imágenes y las visitas a terreno. El área de inundación se integra en el plano de riesgos del presente estudio.

A.2.3 Antecedentes de riesgos de inundación por tsunami

A.2.3.1 Antecedentes de ONEMI y Lagos, M 2014, Lagos, 2015

Arica, al estar situada sobre una plataforma estrecha rodeada por cordones que delimitan las quebradas de Lluta y Azapa, tiene una serie de restricciones morfológicas para su crecimiento en extensión, por lo que su desarrollo ha tenido lugar a lo largo del borde costero, en suelos muchas veces sujetos a licuefacción en caso de sismo, de mala calidad para la construcción y con presencia de sales.

El riesgo de tsunami en Arica está relacionado con el riesgo sísmico. Considerando que en Arica no ha tenido un evento sísmico que haya generado tsunami en 137 años, y que la zona de contacto entre placas tiene acumulada energía, es importante evaluar el potencial desempeño de este plan para abordar este riesgo.

¹⁶ Salas *et al*, 1966, p. 90



De acuerdo a SERNAGEOMÍN, Arica está en una zona con mayor probabilidad de sismo catastrófico y según análisis por método histórico, la ciudad está una franja donde la probabilidad estimada de riesgo sísmico es de 50 – 100%. Con este antecedente, se puede afirmar que en la historia sísmica conocida de Arica se han registrado tsunamis en 1604, 1868 y 1877. La magnitud de los dos últimos sismos fueron de 8,5 y 8,3 Richter y el tsunami registró 4m en la escala de Inamura, lo que se traduce en olas sobre 30 m y daños en más de 500 km a lo largo de la costa.

Hasta el presente año, la información sobre área de inundación de tsunami estaba entregada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), donde se establecía que gran parte del suelo disponible en el sector norte de Arica, presenta riesgos de inundación por tsunami, situación representada en base a parámetros sísmicos estimados para el terremoto y tsunami de 1868, el que tuvo mayor impacto de los tres sismos con tsunami (1604, 1868, 1877). La inundación, en algunos sectores llegaba hasta la cota 50.

Luego, Lagos, M. (2014) presentó un nuevo estudio que actualiza y acota el área de inundación a la curva de nivel o cota 10, sobrepasándola ligeramente ante un evento de sísmico de 9.0 Mw, y estableciendo la zona segura sobre la cota 30. Sin embargo y considerando que dicho encargo no previó la incorporación de toda el área urbana como tampoco el área urbana que potencialmente se extendería consecuencia del estudio de modificación del plan regulador comunal de Arica, fue necesario desarrollar un nuevo estudio que en complemento al anterior, permitiera formalizar un área de inundación única que incorporara todo el área urbana que se está planificando para la ciudad de Arica.

A continuación se presentan los antecedentes y principales resultados proporcionados por dichos estudios.

A.2.3.1.1 Área de inundación Lagos, 2014

Dado el comportamiento diferenciado que presenta una inundación, quedó determinado que dentro del área establecida de inundación, los factores de peligrosidad son los siguientes parámetros hidrodinámicos: *Profundidad de la inundación y velocidad de la corriente*.

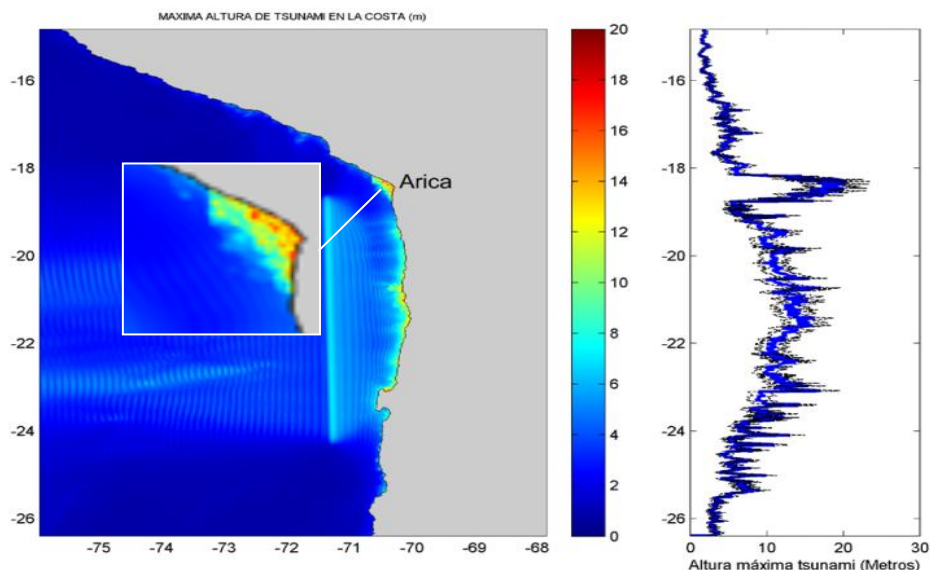
En el primer caso existen tres tipos de profundidades: baja, es decir, hasta la altura de las rodillas; media, desde las rodillas y hasta la cabeza; y alta, es decir, sobre la cabeza.

En el segundo caso, hay dos rangos que establecen peligro bajo y peligro alto, en el último de ellos pueden existir dificultades para que la persona se mantenga de pie.

El estudio determina dos escenarios de peligro, ante evento sísmico 8.8 Mw y 9.0 Mw. El primer caso se estima probable y es similar al escenario generado por el terremoto de 1877, mientras que el segundo, denominado “potencial peor escenario”, es aquel que se utilizará en el presente estudio para establecer un área de riesgo de inundación por tsunami.

En este escenario, se generaría una ruptura hasta el sur de Antofagasta y las alturas máximas del tsunami en la costa serían superiores a 10 y 20 metros, las cuales son peligrosas para Arica. Estas alturas no representan la cota máxima de inundación, dado que por lo general se atenúan al inundar una superficie seca. A pesar de ello, en el sector de acantilados, la altura máxima puede coincidir con la cota de inundación por las características del Run-up del tsunami en estos sectores, donde la distancia recorrida y la fricción por el terreno son bajas, por lo tanto la altura de la ola no disminuye con la misma intensidad como en una costa donde las pendientes son bajas.

Imagen A-31
Altura máxima de tsunami en la costa de Arica Ante un terremoto 9.0 Mw



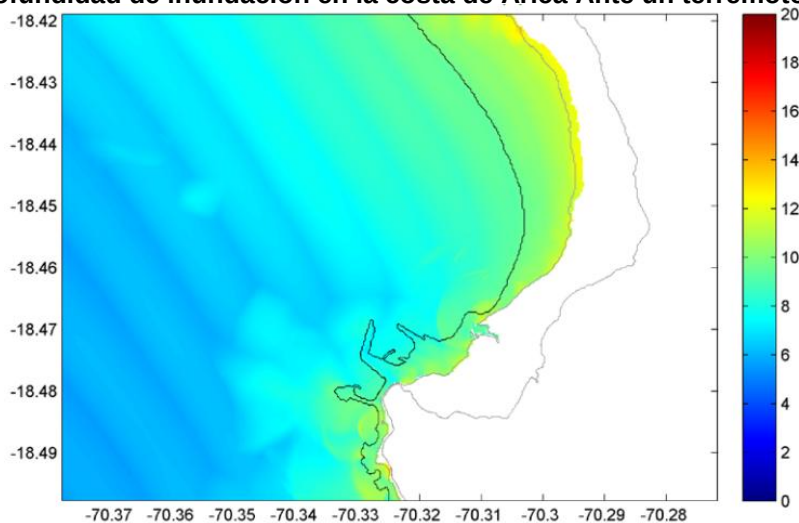
Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

En este escenario (9.0 Mw), el área inundada sobrepasa los 10 metros sobre el nivel medio del mar, llegando, de acuerdo al próximo diagrama, hasta aproximadamente los 12 – 13 metros sobre el nivel medio del mar. La máxima inundación está en cuatro sectores: el norte, en la desembocadura del río San José, el puerto y el centro histórico.

Hacia el sur del Morro y a lo largo de Costanera sur las olas son de mayores magnitudes. La Ex – Isla Alacrán es cubierta por la inundación de los tsunamis.

Las profundidades de inundación presentan columnas de agua sobre 8 metros a lo largo de toda la costa, excepto el puerto y la zona de abrigo entre la Ex – Isla Alacrán y el puerto. El norte de la ciudad está altamente expuesto al impacto de tsunami, presentando las mayores zonas de inundación.

Imagen A-32
Profundidad de inundación en la costa de Arica Ante un terremoto 9.0 Mw



Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

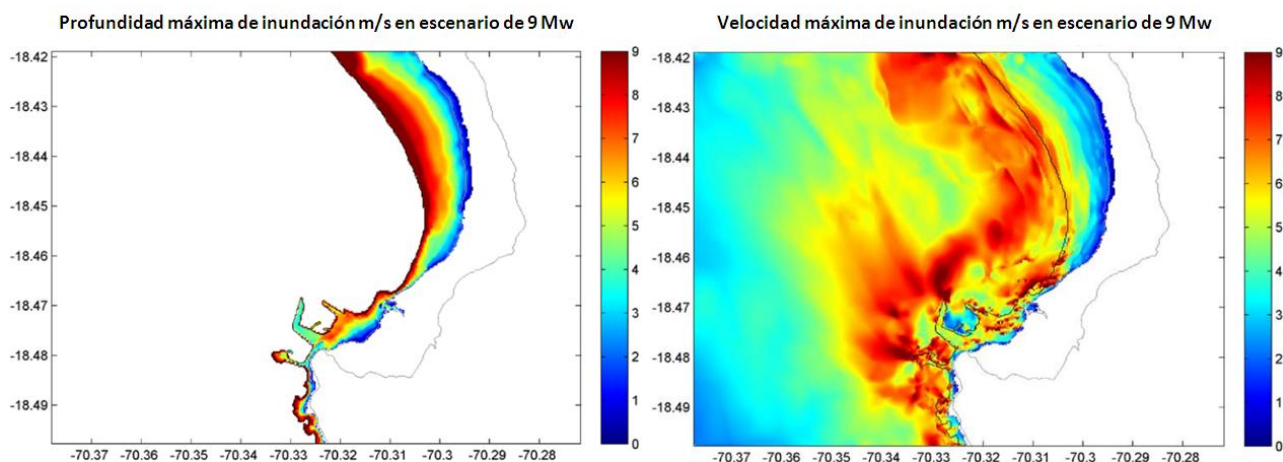


En ambos escenarios analizados por el estudio de 2014, las velocidades de las corrientes son peligrosas para las vidas de las personas. Esto cambia en los sectores que están cercanos a los límites máximos de inundación. Las velocidades máximas están donde la costa es más accidentada, dado que existe menor distancia sobre tierra recorrida, menor fricción, y por lo tanto menor mitigación de la velocidad.

Principalmente el escenario 9.0 Mw es un peligro para las embarcaciones que están en el mar y en el sector portuario, dado que existe posibilidad de transporte de las embarcaciones y contenedores.

Así se puede ver que en relación a los dos parámetros hidrodinámicos contemplados en el estudio como factores de peligrosidad, la profundidad máxima de inundación es mayor en la costa y disminuye en el área de abrigo del puerto, mientras que la velocidad máxima de inundación ocurre en el mar y comienza a disminuir en la medida que avanza tierra interior.

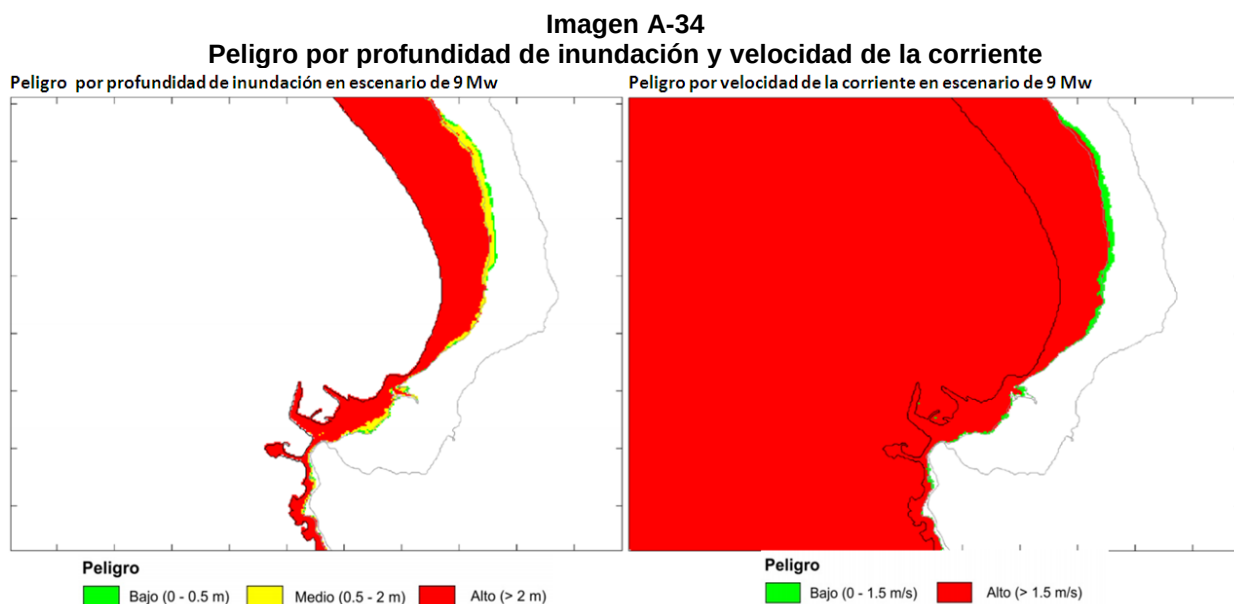
Imagen A-33
Profundidad y velocidad máxima de inundación.



Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

El peligro de tsunami por profundidad es alto, superando los 2 m en todo el borde costero. El rango de peligro medio y bajo está cercano a los límites de alcance máximo de las inundaciones, y son de menor proporción en relación a las zonas que están expuestas a un peligro alto. A su vez, las velocidades de corrientes son de alto peligro, superando los 1,5m/s.

El menor peligro se presenta en los sectores que están cercanos al límite del área de inundación, como se puede ver a continuación.



Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

En el escenario de 9.0 Mw mostrado en la figura anterior, el comportamiento del mar se manifiesta como una onda negativa con una regresión menor del nivel del mar. A los 20 minutos de transcurrido el terremoto, comienza un levantamiento progresivo del nivel de las aguas. Su máxima amplitud es registrada antes de los 30 minutos y alcanza 8 metros. La segunda mayor onda de tsunami es a los 320 minutos del terremoto, y registra una altura de 6 metros.

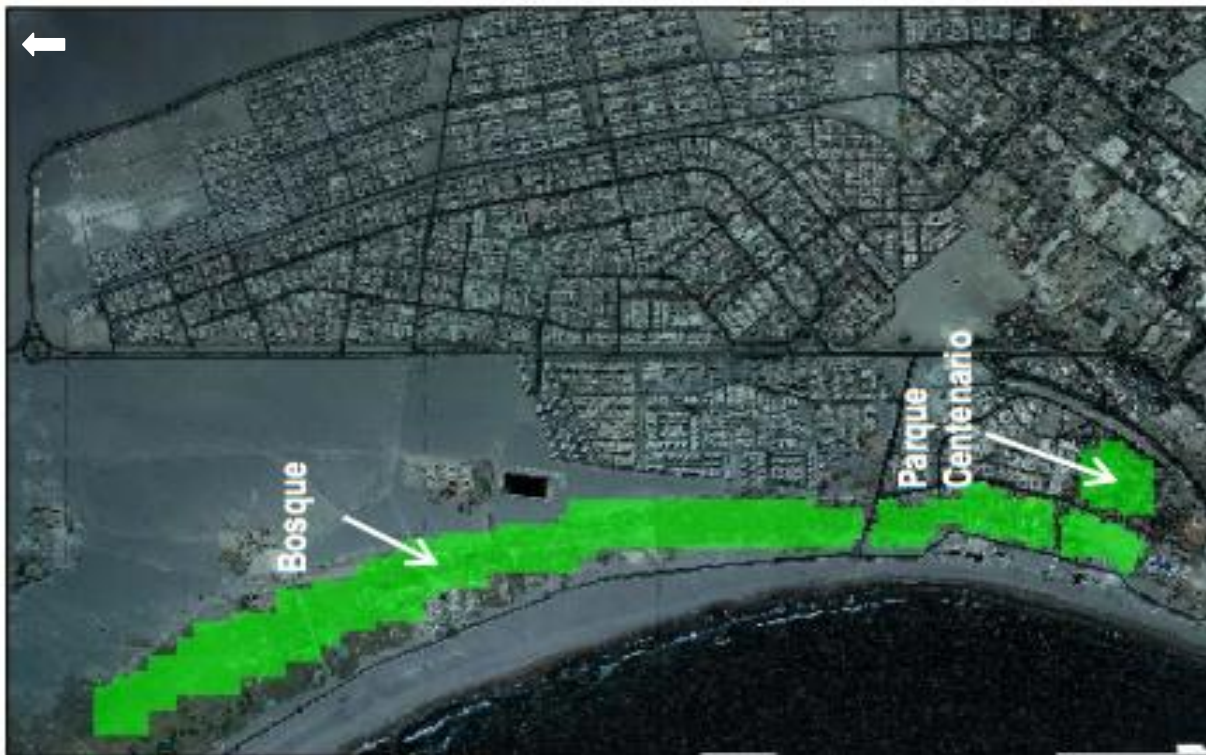
A.2.3.1.2 Medidas de Mitigación propuestas por el estudio

El estudio establece que las medidas de mitigación para un terremoto de magnitud 8.8 Mw y 9.0 Mw son distintas.

Las máximas superficies de inundación se encuentran en el norte, por ello es pertinente instalar árboles que generan un bosque de baja densidad de 3,6 km de largo y 15 metros de ancho aproximado. Este tipo de franjas es efectiva en caso de tsunami, sin embargo su efectividad es hasta una profundidad de 5 metros, por lo cual sería eficaz en el escenario probable de 8.8 Mw, mientras que en el escenario 9.0 Mw, al tener profundidades de inundación mayores a 5 metros, el estudio sugiere medidas no estructurales de mitigación, tales como *“fortalecer el sistema local de evacuación y condicionar el desarrollo urbano en zonas de inundación.”*¹⁷

¹⁷ ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica, p.39.

Imagen A-35
Áreas de plantación de bosque

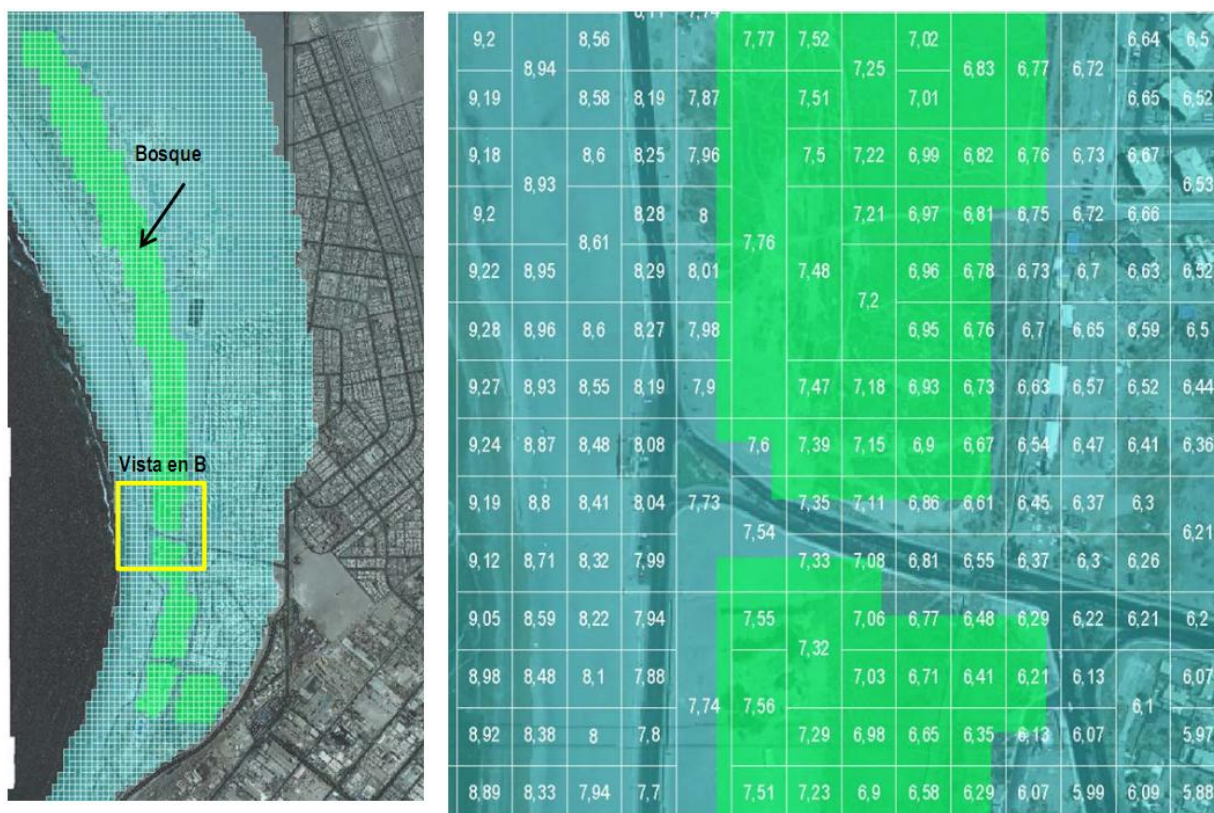


Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

El análisis del tipo de bosque con el cual se efectúa la mejor medida de mitigación, muestra que un bosque más denso tiene un mayor efecto de mitigación. En el análisis, la diferencia entre un bosque y otro es la cantidad de árboles plantado en 900 m, (135 versus 90, con un coeficiente de rugosidad de 0,115 y 0,092 respectivamente) concluyendo que ambos bosques atenúan la inundación por tsunami, siendo el que tiene más unidades plantadas aquel que presenta una mayor mitigación, del 20,5% en relación a los 16,2% que presenta aquel bosque con menores unidades plantadas. Así mismo disminuye la velocidad de entrada del mar, de 0,78 m/s a 0,46 m/s.

Así se puede ver en la próxima imagen, que la profundidad de inundación máxima en el escenario de 9.0 Mw, en los sectores donde el estudio propone bosques llega a valores cercanos a 8 metros de altura.

Imagen A-36
Profundidad de inundación máxima en escenario 9.0 Mw en sectores de potenciales bosques



Fuente: ONEMI y Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.

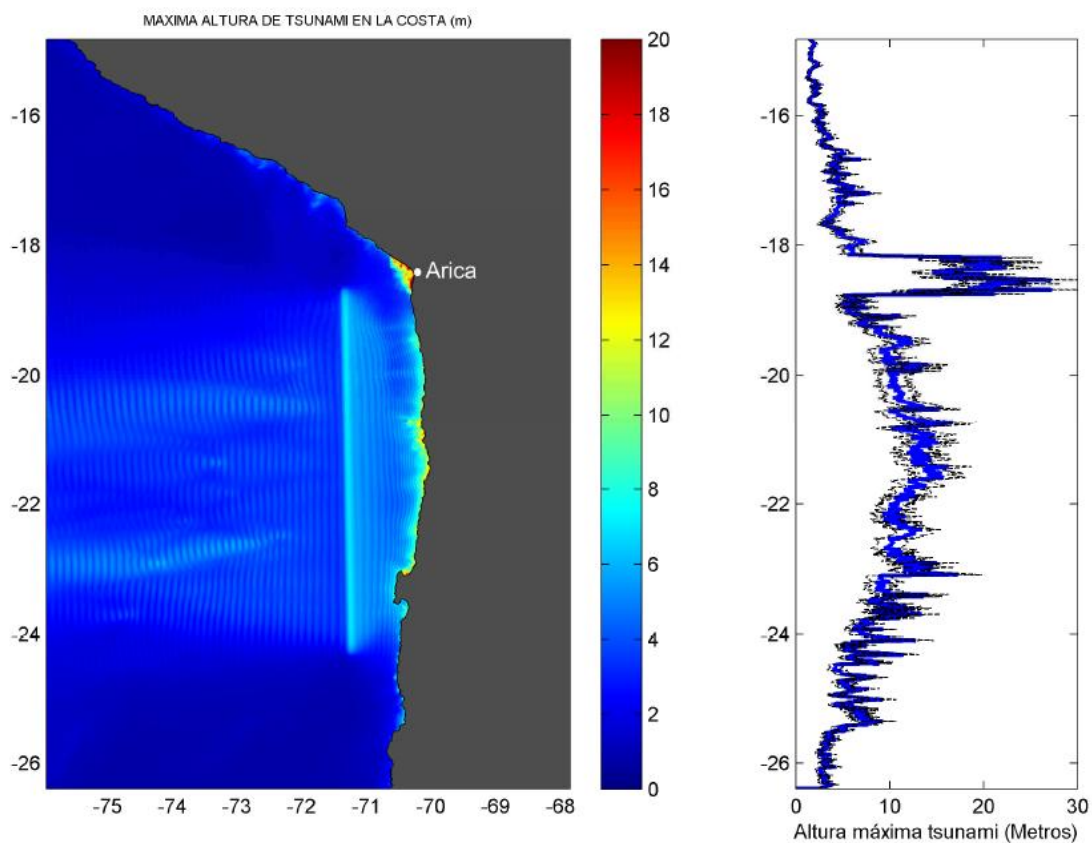
La restricción que presenta esta área de inundación por tsunami, es que no cubre toda el área urbana actual, tampoco los sectores de borde costero norte donde se quiere extender el límite.

A.2.3.1.3 Área de inundación Lagos, 2015

Considerando que el encargo de 2014 presentaba dificultades para su adecuada incorporación en la planificación urbana de la ciudad de Arica, fundamentalmente porque no se encargó el análisis completo del borde Costero, en el marco del presente estudio, Lagos desarrolló un nuevo modelo, cuyos principales resultados se indican a continuación (El informe se integra al final del presente estudio).

El estudio determina un único escenario de peligro, ante evento sísmico 9.0 Mw. En este escenario, se generaría una ruptura hasta el sur de Antofagasta y las alturas máximas del tsunami en la costa serían superiores a 10 y 20 metros en los sectores acantilados, las cuales son peligrosas para Arica.

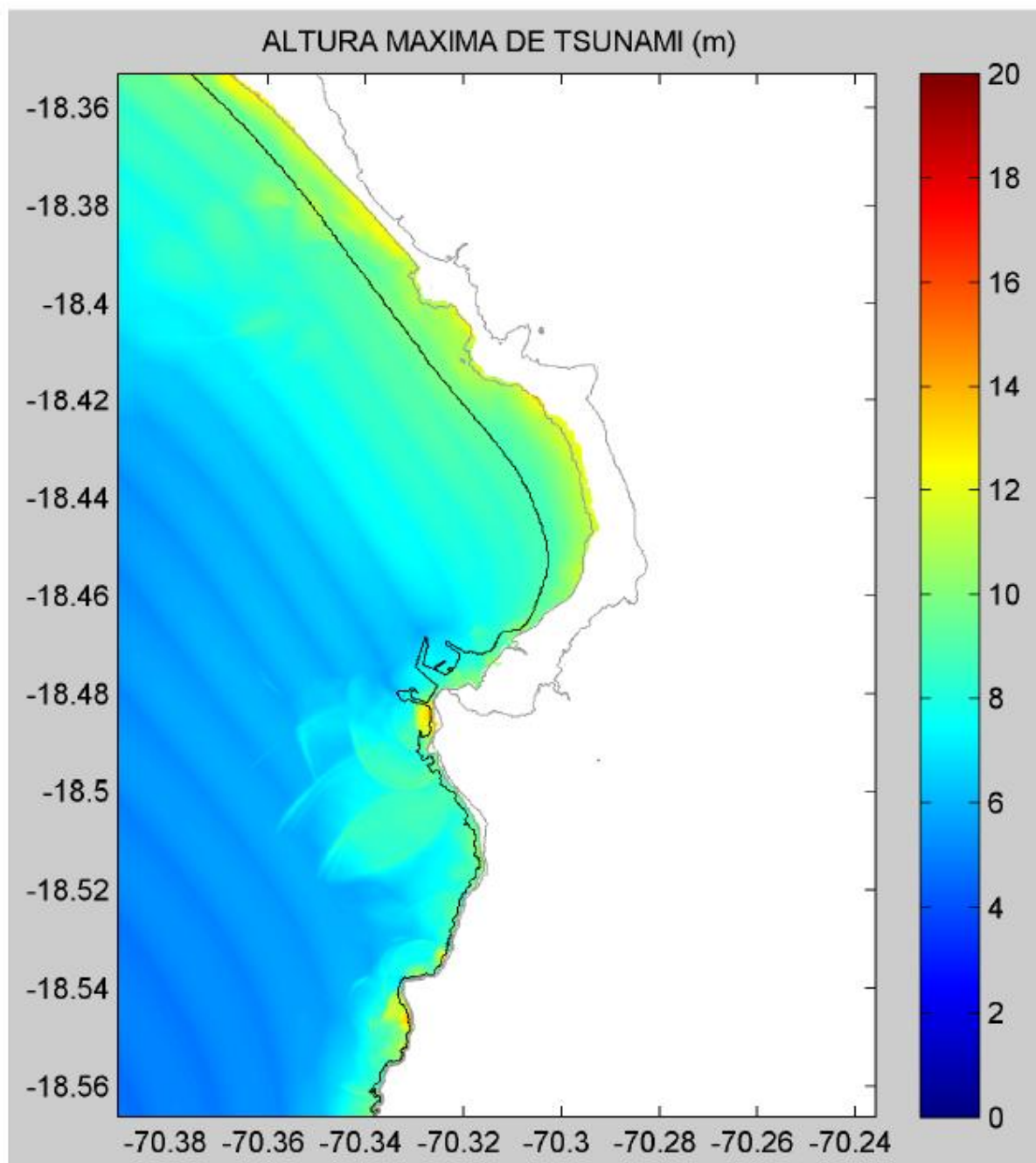
Imagen A-37
Altura máxima de tsunami en la costa de Arica Ante un terremoto 9.0 Mw



Fuente: Lagos, M. 2015. Área de inundación por tsunami Arica.

En este escenario (9.0 Mw), el área inundada alcanza los 10 metros sobre el nivel medio del mar. La máxima inundación está en cuatro sectores: el norte, en la desembocadura del río San José, el puerto y el centro histórico. Hacia el sur del Morro y a lo largo de Costanera sur las olas son de mayores magnitudes. La Ex – Isla Alacrán es cubierta por la inundación de los tsunamis de acuerdo señala el autor.

Imagen A-38
Altura máxima en la costa de Arica Ante un terremoto 9.0 Mw



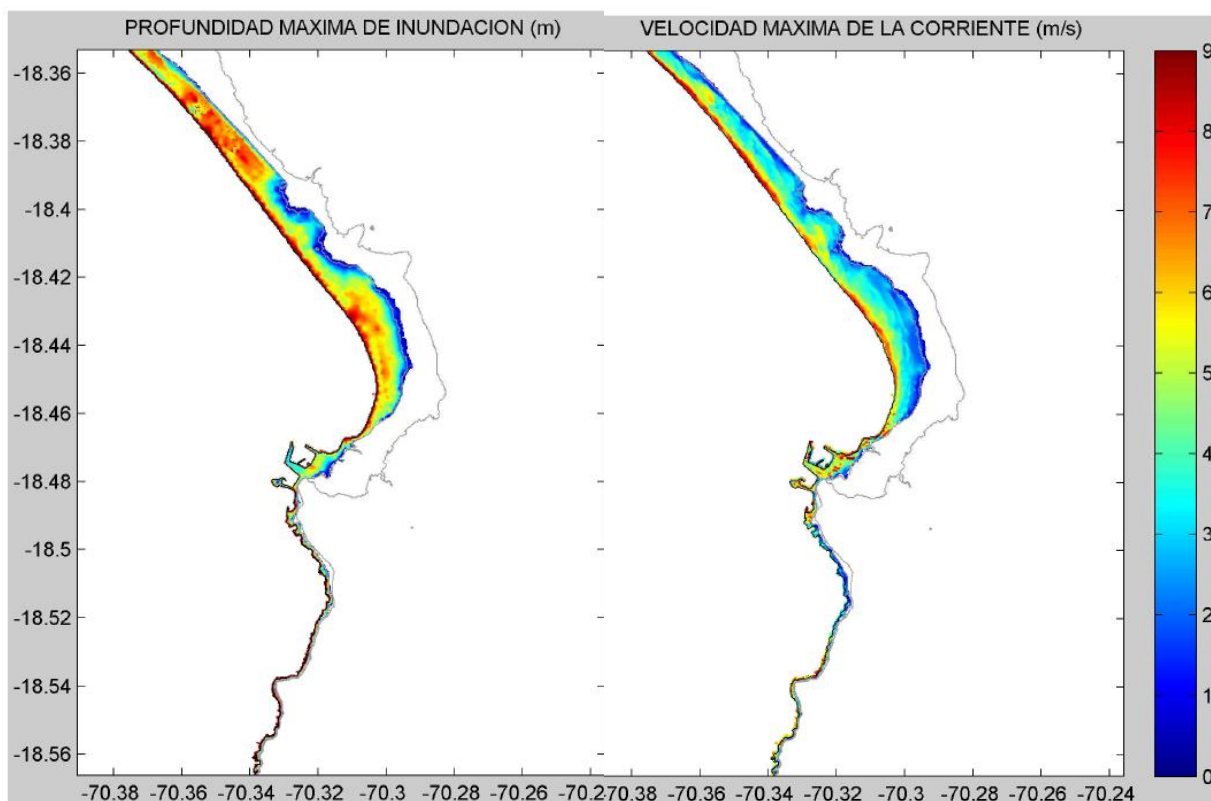
Fuente: Lagos, M. 2015. Área de inundación por tsunami Arica.
Nota: las curvas de nivel indicadas corresponden a los 10 y 30 msnm

Así se puede ver que en relación a los dos parámetros hidrodinámicos contemplados en el estudio como factores de peligrosidad, la profundidad máxima de inundación es mayor en la costa y disminuye en el área de abrigo del puerto, mientras que la velocidad máxima de inundación ocurre en el mar y comienza a disminuir en la medida que avanza tierra adentro.

Las máximas columnas de agua sobre el terreno se presentan en la costa alcanzando alturas superiores a los 8 metros. Columnas que gradualmente se atenúan a medida que avanza la inundación sobre las zonas costeras bajas. Ejemplos y detalle de lo anterior se proporcionan en el informe anexo.

Respecto las velocidades máximas de la corriente el autor señala, *en todo el área de inundación este parámetro hidrodinámico es peligroso para la vida de las personas, sobrepasando los 2 m/s, a excepción de puntuales sectores cercanos a los límites máximos de inundación (Run-up). Las máximas velocidades se concentran en la línea de costa, destacando el sector al norte de la desembocadura del Río Lluta, playa las Machas, playa Chinchorro, sector portuario, ex - isla Alacrán y playa el Laucho. Al sur de este sector las velocidades se atenúan, sin dejar de ser peligrosas. Se debe destacar que los parámetros hidrodinámicos registrados en el sector portuario, confirman la posibilidad de transporte de embarcaciones y contenedores de gran envergadura por sobre los sectores urbanizados.*

Imagen A-39
Profundidad y velocidad máxima de inundación.



Fuente: Lagos, M. 2015. Área de inundación por tsunami Arica.



En definitiva, en las costas de Arica se registran alturas de tsunami que superan los 8 metros al nivel medio del mar, hecho que confirma un gran potencial de daño para infraestructura y peligro para las personas donde los parámetros hidrodinámicos máximos profundidad de inundación y velocidad de la corriente, presentan rangos de alta peligrosidad.

A.2.3.1.4 Antecedentes recopilados por SERNAGEOMIN a raíz del terremoto del 1 de abril de 2014

Luego de ocurrido el sismo de 8.2 Mw el 1 de abril del presente año, la ciudad de Arica se vio afectada por esta liberación parcial de energía, registrando inundación. De acuerdo al Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomín) *“Las marcas de la onda de tsunami registran una inundación máxima de 250 m. (ingreso máximo horizontal; ver fig. 1) y un runup máximo de 2.5 m.(elevación máxima alcanzada tierra adentro, ver fig. 1) sobre el nivel del mar. Sin embargo, en la mayor parte de la costa estos parámetros fluctuaron entre 2 y 100 m de inundación y entre 2 y 2 m de runup. Ambas medidas son aproximadas y relativas a la línea de costa al momento del reconocimiento”.*

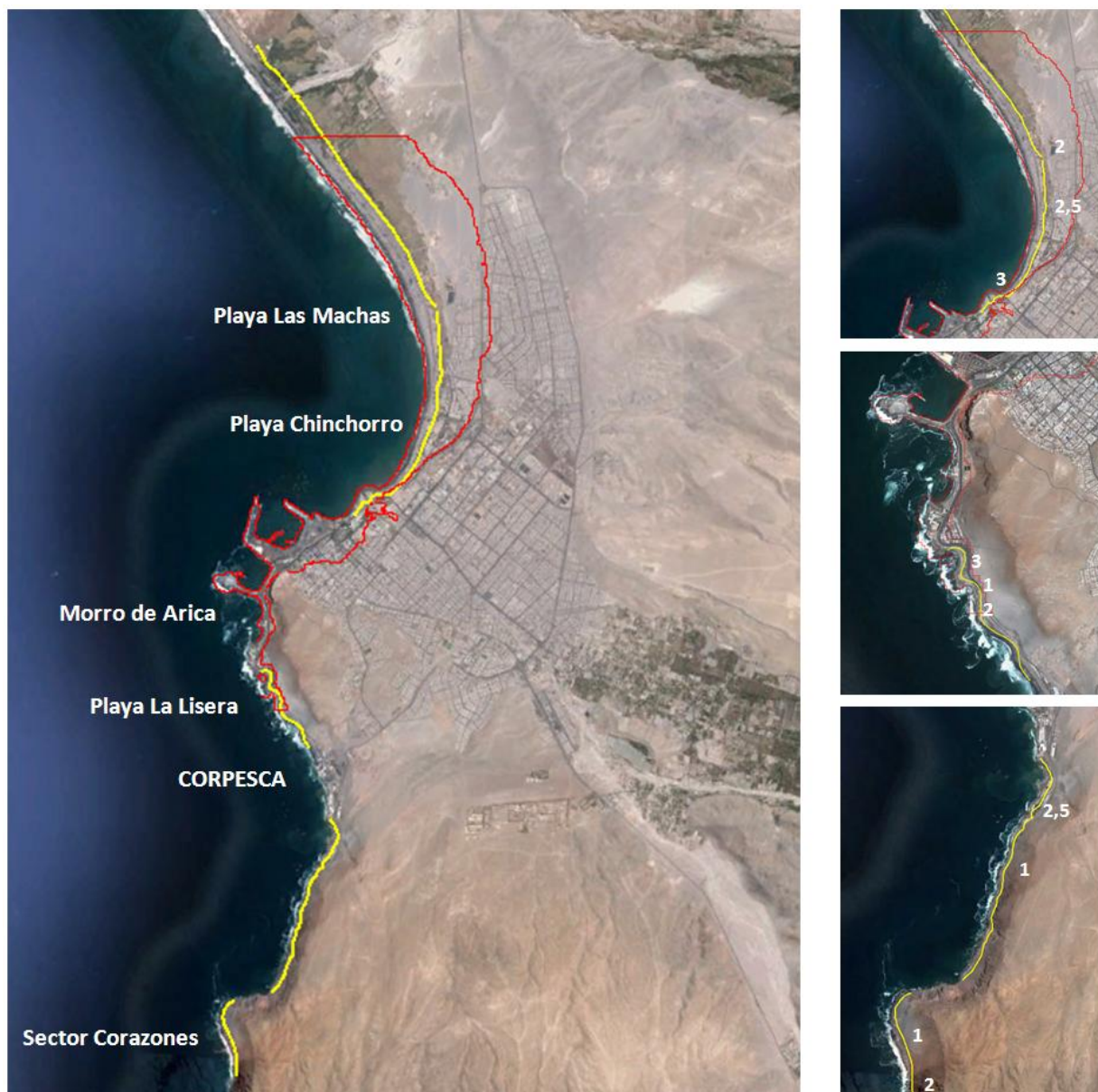
Este estudio está basado en el transporte de sedimentos litorales, escombros y basura observados después de la inundación. La observación de estos elementos permitió inferir que *“la onda de inundación fue de baja energía quedando la línea de inundación por tsunami representada por la acumulación de pequeños fragmentos de carbón, palos y basura, de dimensiones inferiores a los 10 cm. La mayor inundación tuvo lugar en las playas ubicadas hacia el norte de la ciudad donde las aguas traspasaron la costanera (e.g. playas Chinchorro, Las Machas y Gallinazo).”*

De acuerdo a este levantamiento de información, los daños registrados fueron escasos, el tiempo de permanencia fue corto y la única onda observada llegó entre 2 a 4 horas después de ocurrido el sismo principal. Así también, testigos confirmaron que el tsunami fue débil en comparación con las marejadas de invierno, las cuales generan ingresos de mar en Arica.

La imagen a continuación grafica la línea de inundación establecida por el Sernageomín. Se superpone a la zonificación de la ONEMI – Lagos (2014) anteriormente presentada, a modo de contraste de la inundación sucedida en abril.

La línea amarilla es la línea de inundación, mientras que los números dispuestos en las imágenes de detalle representan el runup logrado en el sector.

Imagen A-40
Línea de inundación establecida por Sernageomín, luego de tsunami de 01.04.2014



Fuente: Elaboración propia en base a información de Sernageomín, 2014

A.2.3.1.5 Antecedentes de medidas de mitigación en la literatura internacional

Si bien es cierto, los alcances de un instrumento de planificación incorporan la definición de las áreas de riesgo; no es menos cierto, que importantes áreas sujetas a este riesgo, se encuentran ubicadas en zonas urbanizadas, sobre las que la gestión urbana de este instrumento tiene muchas limitantes. Desde la perspectiva del riesgo, el problema ambiental asociado es ampliamente abordado en la literatura de países con experiencia práctica en la definición de acciones preventivas o de mitigación frente a estas catástrofes, aspectos que se relacionan tanto con el diseño (una vez puesta en marcha la modificación del plan regulador comunal) como las disposiciones normativas que este plan pueda implementar a efectos de mitigar lo que constituye a todas luces un riesgo latente.



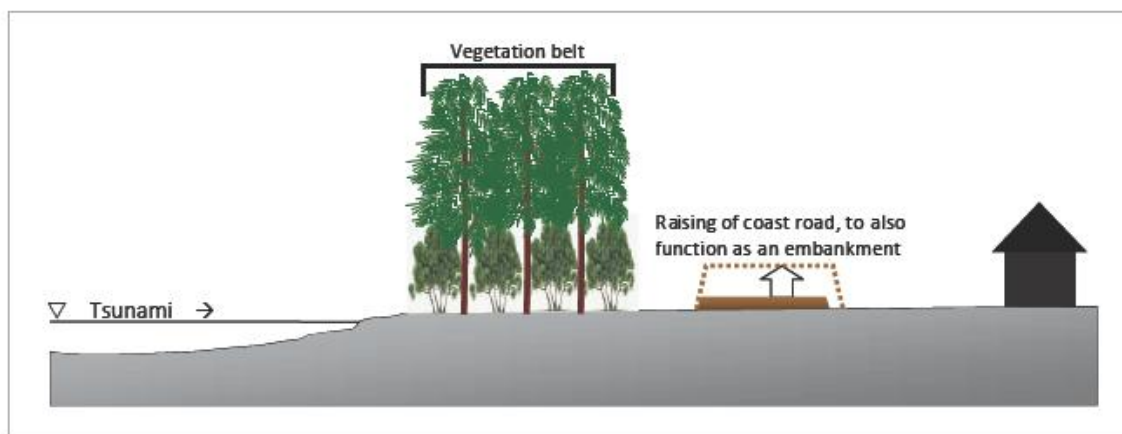
Desde la perspectiva de la política que es la materia propia de nuestro alcance, un elemento relevante corresponde a la potencial formalización a través de este instrumento de un parque de mitigación longitudinal, situación que podría ser incluida como parte de las disposiciones del plan regulador tanto como área verde como con una declaratoria de utilidad pública (espacio público), como también; la formalización de parques de evacuación transversales, vinculados con la vialidad y la conectividad de la ciudad.

Estas áreas verdes o parques, si bien pueden quedar prescritas en las disposiciones del plan, deberán acompañarse de un plan de gestión que el municipio o el gobierno local no sólo deberá gestionar para su materialización y su ejecución, sino que además procurar mantener sus condiciones como parte de las prioridades comunales, más allá de la administración de turno.

Respecto de estos pisos de vegetación, la literatura nos indica que es importante tener presente¹⁸:

- (i) Todas las investigaciones post tsunami han mostrado que la protección de la costa con pisos de vegetación no tiene un efecto mitigador en inundaciones mayores que 5 m (Shuto [1987], Tanaka et al. [2006], Tanaka et al. [2007]). Para áreas de inundación potencial de tsunami menores que 5 m, la vegetación provee una protección menor, en cuyos casos deben utilizarse suplementos o disponerse en combinación con otras estructuras como por ejemplo muros.
- (ii) Incluso cuando una inundación por tsunami sea menor a 5 m, la vegetación implementada nunca provee de un 100% de protección. Por lo tanto, dependiendo de la necesidad, la combinación con otros tipos de mitigación y medidas es muy importante para dar un mayor nivel a la reducción del riesgo.
- (iii) Considerando la ocupación de las áreas del borde costero y los usos desarrollados en ella, el espacio disponible muchas veces no es el suficiente. Las políticas de reasentamiento han resultado ser altamente ineficaces. Cuando el espacio es limitado, una inteligente combinación de otras estructuras de protección deben ser elaboradas.
- (iv) Cuando se combina vegetación y estructuras duras, es eficiente disponer de la vegetación del lado del mar y las estructuras del lado del continente (Iimura et al. [2008]). Estas estructuras como terraplenes (embankment), pueden ser usadas como vialidad.

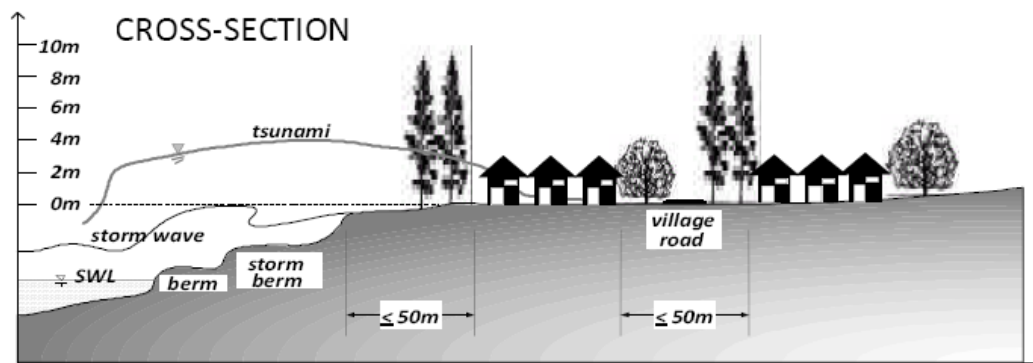
Imagen A-41



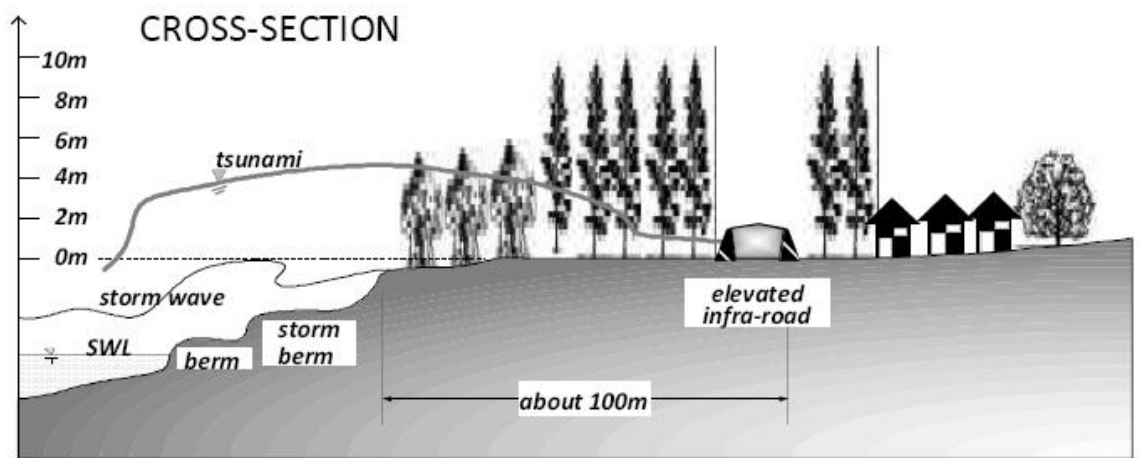
Fuente: Saunder, W.S.A, 2011

¹⁸ Saunders, W.S.A.; Prasetya, G. and Leonard, G.S. 2011. New Zealand's Next Top Model: Integrating tsunami inundation modelling into land use planning, *GNS Science Miscellaneous Series 34*, 42 p.

Imagen A-42, A-43 y A-44
 Aplicaciones potenciales de pisos de vegetación en combinación con otras estructuras

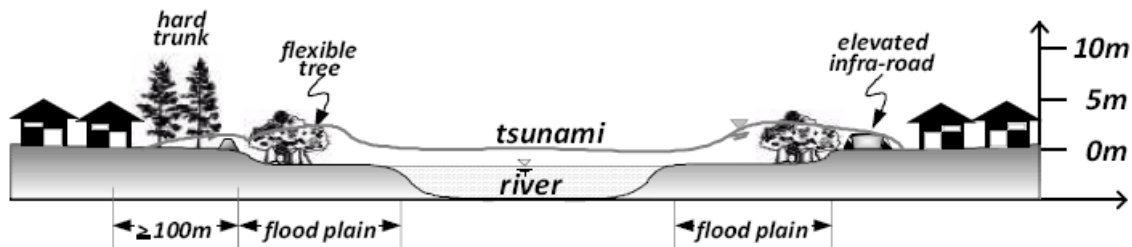


Restricciones	Función y tipo de vegetación	Posición del bosque y dimensiones
Usos residenciales ocupan el borde costero	Captura de elementos y función de escape	Litoral; alrededor de las casas;
Poco espacio para vegetación	Vegetación de troncos duros	Entre los bloques; 20m de ancho; DN = 30; dap = 13cm



Restricciones	Función y tipo de vegetación	Posición del bosque y dimensiones
Espacio limitado está disponible (100 m)	Captura de elementos flotantes y la reducción del flujo ; Vialidad como un interruptor de flujo	Entre la costa y la vialidad anchura <50m; dn> 200
Parcialmente usado para vialidad	Combinación de troncos duros y vegetación flexible	

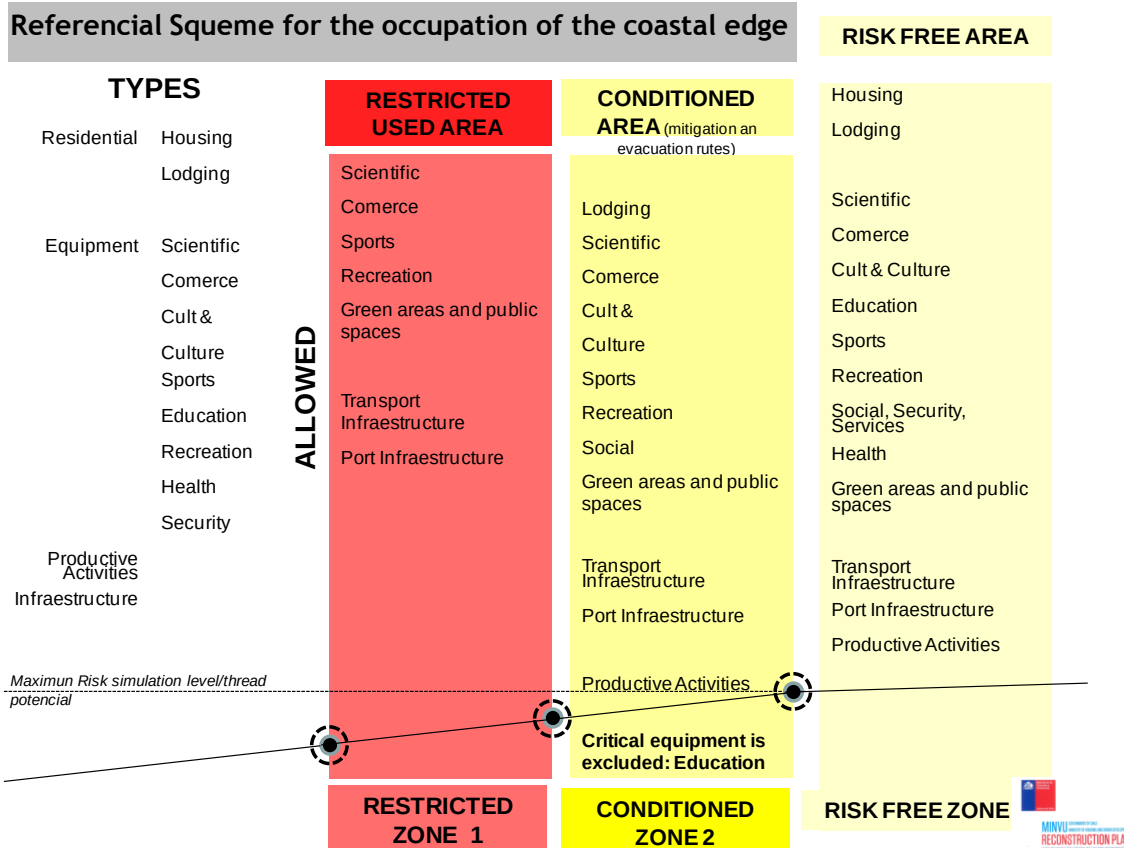
Fuente: Tanaka, S. et al



Restricciones	Función y tipo de vegetación	Posición del bosque y dimensiones
Desembocadura del río y llanura de inundación a lo largo del río	Captura y reducción de flujo. Arboles flexibles y de tronco duro	Zona pantanosa y el área de las mareas; llanura de inundación zona de anchura <50m; dn> 200

Fuente: Tanaka, S. et al

Imagen A-45
Esquema de ocupación referencial de usos del borde costero vinculado a los riesgos de inundación por Tsunami



Fuente: Ministerio de Vivienda, 2010.

Un elemento complementario que el plan puede materializar en relación a esta materia, se vincula con los usos de suelo que se permitan en las áreas de riesgo. Para este caso en particular, el Ministerio de la Vivienda consecuencia de la catástrofe del 2010, ha definido determinadas referencias al tratamiento

que diferenciando las áreas de riesgo, podrían realizarse en el territorio, elemento de análisis cuyo esquema se acompaña en la imagen anterior.

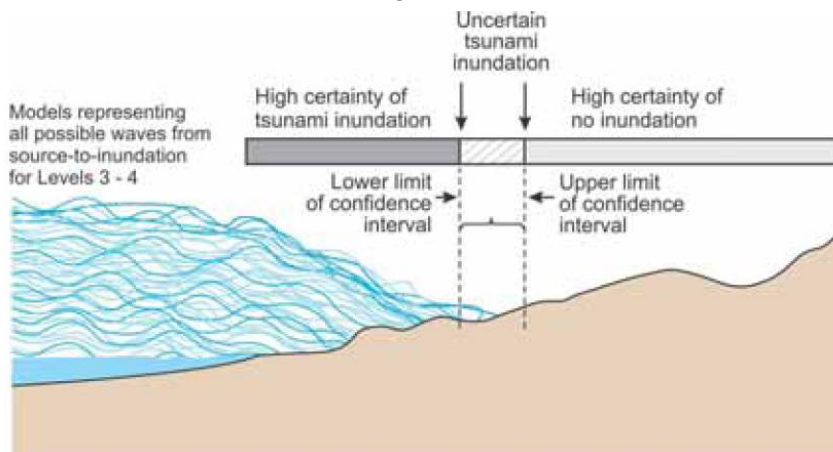
La dificultad que ofrece este esquema en términos prácticos, es que la diferenciación entre la zona condicionada y la zona restringida es un aspecto que no está abordado en la legislación urbana (2.1.17 OGUC) ni tampoco en la definición de las áreas de riesgo por esta condición. Si bien constituye un esfuerzo metodológico importante, por cuanto se trata de la definición de usos de suelo que el plan regulador pueda proveer en el borde costero de la ciudad, los límites entre ambas zonas (restringida y condicionada) no están claros, y es probable que no haya experto que sustente esta definición.

Para un tsunami hay varias fuentes de incertidumbre¹⁹. Una de ellas se refiere a la magnitud de los terremotos futuros, ya que esto determina el nivel medio de deslizamiento sobre la superficie de ruptura. Otra, se relaciona con la forma en que el deslizamiento se distribuye a través de la superficie de ruptura. En la práctica, el deslizamiento en el plano de falla varía en función de la escala y el lugar de desarrollo del evento. Un tsunami modelado de manera uniforme, es aceptable para aquellos eventos en el campo lejano (eventos distantes), pero no para uno cuyo desarrollo sea de campo cercano (local). Otra causa de la incertidumbre del modelo se debe a limitaciones en la geometría de la superficie de ruptura.

De acuerdo a los autores, el intervalo de confianza depende de qué tan cierto se está que las dos siguientes situaciones no se produzcan:

- una sección de la zona de “alta seguridad de la inundación del tsunami” no es realmente riesgo de tsunami; o
- una sección de la zona con “alta certeza de ninguna inundación” es en realidad el riesgo de tsunami.

Imagen A-46



Fuente: Tanaka, S. et al

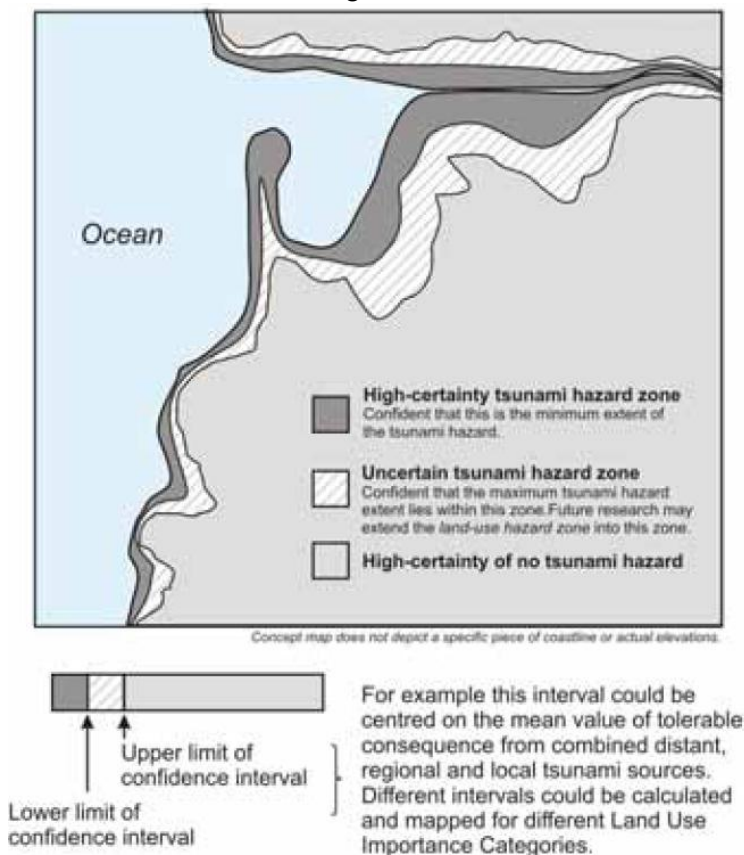
De acuerdo al último análisis de la ONEMI y Lagos (2014), el cálculo permite establecer una cota sobre la cual la ciudad no está afectada a la inundación de tsunami. La restricción que presenta este cálculo, es que no cubre todo el borde costero del área urbana, por lo que existe un vacío de información en ciertos sectores.

A su vez, en la carta de tsunami del SHOA, el cálculo no es con un nivel de certidumbre, sino que existe la modelación de los pocos eventos (locales) que ha habido en el lugar. La condición de inundación se explica y se representa hasta profundidades de inundación de 1 metro, cuestión que podría suponer un área sobre la que no tiene certeza que ocurra la inundación. Sin perjuicio de ello,

¹⁹ Tanaka, S; Istiyanto; Kuribayashi, D. Planing and Designing of Tsunami – mitigative coastal vegetation Belt, 2010. International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO (ICHARM) Public Works Research Institute (PWRI)

podría ser un instrumento a utilizar para complementar la nueva área de inundación en los sectores donde no presenta información, asunto que aún está sujeto a propuesta y discusión.

Imagen A-47



Fuente: Tanaka, S. et al

Sin perjuicio de lo mencionado, es claro que en el borde costero, será necesario apuntar a la definición de usos que no presenten la presencia prolongada de personas o grupos de personas que se transforme en una dificultad al momento de evacuación.

A.2.4 Sector Polimetales

En relación a los suelos con contaminación por metales pesados, en los años 1984 y 1985, la empresa PROMEL ingresa a través del puerto de Arica barros industriales con alto contenido de metales pesados, tales como Arsénico, Fierro, Plomo, Cadmio, Mercurio, Cobre y Cinc, provenientes de Suecia, de la empresa Boliden Metal. Estos metales fueron depositados en el sitio F que Promel arrendó a Bienes Nacionales, que en esa época se encontraba fuera del límite urbano.

Con el tiempo el sector aledaño se fue urbanizando, dando lugar a las poblaciones Los Industriales IV, Villa Los Laureles, Cerro Chuño, Villa El Solar, Villa Amanecer. Este sector, denominado Los Industriales, es la zona de alto riesgo.

Dadas las poblaciones que se instalaron en el sector anterior y posterior a la deposición de estos barros, se declara emergencia sanitaria ambiental en 1997, ya que el tiempo a exposición a estos residuos, la cercanía, la dirección del viento y la edad de la población en el sector lo ameritaba. En 1998, se programa el traslado de los residuos mediante el "Plan de Manejo de los Residuos Minerales de la empresa PROMEL en Arica" al sector de Quebrada Encantada, afuera de la ciudad de Arica,



posteriormente en 1999, se realiza el cierre perimetral del sitio F, donde se nivela y cubre la superficie con una capa de arcilla de 20 cm de espesor, y finalmente se pavimenta.

El sector Los Industriales está compuesto por el entorno colindante a estos terrenos hacia el norte. El territorio ha sido estudiado rigurosamente desde el punto de vista ambiental y en el marco del *Programa Maestro de Intervención en Zonas con presencia de Polimetales*, se ha puesto en marcha la reposición de espacios públicos y áreas verdes, además del comienzo de erradicación de las poblaciones. Junto con lo anterior, y complementariamente se inició una modificación del plan regulador comunal para el sector, instrumento que no se tramitó, por lo que el plan regulador vigente mantiene la incoherencia respecto de los usos de suelo actuales.

En función de esto, los estudios han dividido el territorio en las siguientes áreas:

Poblaciones del sector afectado por polimetales.

Área 1	Nombre	Ubicación
	Población Alborada	Alejandro Azola/ Investigaciones de Chile/Chuquicamata/Oscar Quina
Área 2	Población Villa Araucanía	Chuquicamata/Oscar Quina/La Paz/ Potrerillos/ El Salvador/ Teniente Merino
	Población Huamachuco I	Teniente Merino/ Oscar Quina/ El Salvador/Chapiquiña
	Población Huamachuco II	La Paz/ Potrerillos/El Salvador/Chapiquiña
Área 3	Nombre	Ubicación
	Los Industriales 0 y 1	Antártica/ Argentina/ La exótica/ Barros Arana/Linderos/ La Diputada/ Nacimiento
	Los Industriales II	Antártica/ Gorbea/ Samo Alto/ Nacimiento
Área 4	Nombre	Ubicación
	Sitio M	La Paz/ Alejandro Azola/ El Teniente/ Andacollo
	Industria Mayor	El Teniente/ Alejandro Azola/ Linderos/Los Artesanos/
	AGIMA	Los Artesanos/ Oscar Quina
	C1 y C2	Alejandro Azola/ Linderos/ Los Artesanos/ Canteras/ El Tofo
Cerro Chuño	Nombre	Ubicación
	Los Industriales III	Alejandro Azola/ Canteras/ Retiros/ Las Palmas
	Los Industriales IV	Retiros/ Canteras/ El Tofo/ Los Artesanos/ Las Palmas
	Villa Los Laureles	Av. Capitán Ávalos – Canteras – Cocharcas – El Tofo
Cerro Chuño	Villa Amanecer	Av. Capitán Ávalos – Canteras – Cocharcas – El Tofo – Av. Cerro Chuño - Morrillos
	Villa El Solar	Morrillos – A. Cerro Chuño – Calle existente n° 1 – Línea paralela a Pasaje 5

Fuente: MINVU, 2011. Plan de reposición de espacio públicos y áreas verdes, sector polimetales.

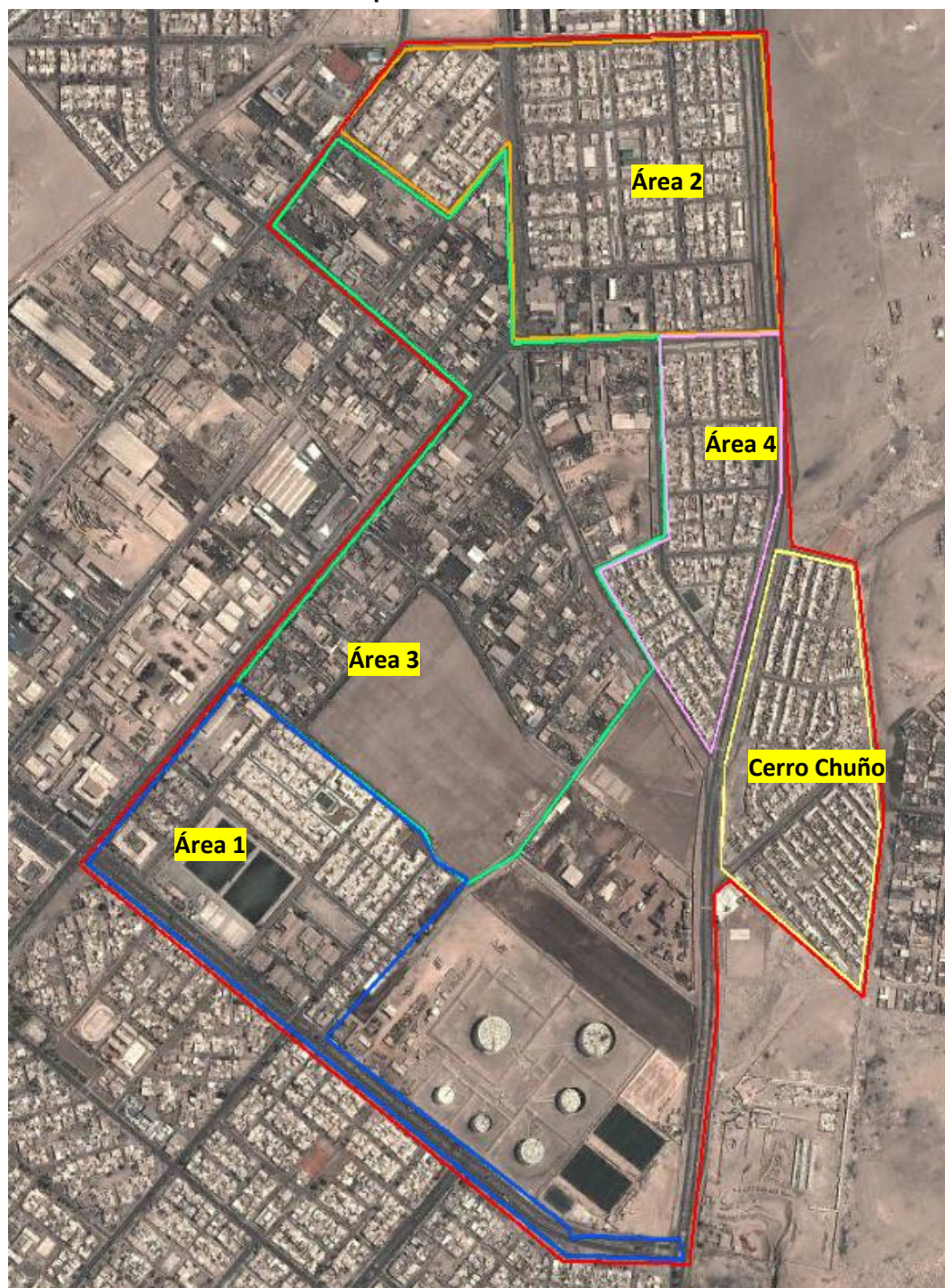
Todas las áreas mencionadas conforman el polígono del área de Reconversión Urbana, contenida en un estudio realizado para la modificación del Plan Regulador comunal en 2012, que no ha sido sujeto de aprobación.

De esta manera podemos observar en la siguiente imagen, un polígono mayor en rojo que representa el área de reconversión urbana y las áreas en que se ha subdividido la zona contaminada por polimetales.

En proyecto originalmente contemplaba las áreas 1, 2 y 3, posteriormente, en 2013, se incorpora el área 4 al área de estudio, que contempla las poblaciones Industriales III y IV. Además, se incluye el sector de cerro Chuño, considerando su desmantelamiento total y la necesidad de disponer de los residuos en Quebrada Encantada, junto con los generados por las obras de las áreas 1, 2 y 3.



Imagen A-48
Situación actual: Sector sujeto a reconversión urbana y áreas estudiadas del punto de vista ambiental urbano



Fuente: Elaboración Propia, Google Earth

A.2.4.1 Sitio F

Los numerosos estudios citados que analizan la presencia de distintos metales coinciden con la alta toxicidad presente en el sector de Los Industriales, cerro Chuño, Sitio F, Terreno PROMEL y sitios aledaños, todos correspondientes a la zona de contaminación por polimetales.

Los análisis ambientales más recientes, de 2011 y 2012, plantean que el Arsénico y el Plomo se encuentran en concentraciones peligrosas en el sector.

El proyecto ambiental “Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación Sectores contiguos al sitio F, Áreas 1,2 y 3, Arica” referido a zonas contaminadas por polimetales en Arica, se enfoca justamente en el análisis de los sectores anteriormente mencionados, y está contenido en el Plan de Intervención del Sector Vivienda.

La siguiente imagen muestra el área de estudio del último análisis ambiental efectuado en el período 2011 – 2012, y está contrapuesta con los puntos de control de Arsénico del estudio anterior, efectuado por AGRIQUEM en 2011.

Como se puede observar en la imagen, el sitio F está adyacente al área 3 y corresponde al sector de acopio de los barros industriales importados, que según fuentes no oficiales, no estaban cercados. Dentro del Área 3 se encuentra el terreno donde estaban los relaves de PROMEL.

Imagen A-49
Área de estudio 2012 relacionada con los puntos de control Arsénico de estudio de 2011.



Fuente: Resumen Ejecutivo del Diagnóstico ambiental del proyecto Reposición de Espacios Públicos y Áreas Verdes como Medida de Mitigación en Sectores Contiguos al Sitio F, Áreas 1, 2 y 3, Arica, 2012.



De los metales analizados en 2011, el Arsénico se encuentra sobre el Estándar de Referencia. Podemos observar en la imagen anterior, que los puntos de control están ubicados en el área de influencia del área de estudio del proyecto que busca reponer los espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación a los sectores contiguos al sitio F.

En el estudio de 2012, además de las mediciones efectuadas dentro de las áreas 1, 2 y 3, se tomaron 4 puntos de control para verificar la concentración natural de metales en sectores donde la probabilidad de haber sido contaminadas es muy baja.

Los focos de contaminación históricos están en el Puerto, alrededor de la línea férrea y la maestraza, el sitio F y los alrededores.

El Sitio F, terreno emplazado en la intersección de Avda. Capitán Avalos con Linderos, correspondiente al foco de contaminación por depósitos de polimetales, el que conforme a los antecedentes presenta altos niveles de concentración de minerales. Según su condición de base fue remediado un área de aprox. 2 Há, sellando y encapsulando dichos concentrados de minerales bajo 1,5 m., de tierra inerte, y recubrimiento superficial de imprimación asfáltica con obras de pavimentación de carpeta de 5mm de espesor. No obstante esta carpeta se encuentra discontinuada y en mal estado de conservación.

De acuerdo a los niveles de referencia para cada metal, el **Arsénico**, de acuerdo a la Unión Europea, está dentro del margen establecido en cada punto de medición, luego al promediarlos queda bajo el nivel de referencia que es de **20 mg/kg**. El **Cadmio** se mueve dentro de los parámetros establecidos (**0,8 – 30 mg/Kg**) por Suiza /Canadá y la Unión Europea, así también el **Cromo**, que promediado está incluso bajo el nivel (**50 – 220**). De acuerdo a los niveles de referencia de Canadá – Unión Europea – Reino Unido, el **Mercurio** está bajo lo admitido (**1 – 15 mg/Kg**), y el **Plomo**, según la USEPA, Región 9 también (**400mg/Kg**).

Imagen A-50
Puntos de control



Fuente: Resumen Ejecutivo del Diagnóstico ambiental del proyecto Reposición de Espacios Públicos y Áreas Verdes como Medida de Mitigación en Sectores Contiguos al Sitio F, Áreas 1, 2 y 3, Arica, 2012.

**Resultados de las muestras en los puntos de control.**

Área	Id. Muestra	ARSENICO (ppm)	CADMIO (ppm)	CROMO (ppm)	MERCURIO (ppm)	PLOMO (ppm)
"Corazones"	Control 1	14,0	<2	40,0	<1	9,0
"Saucache"	Control 2	18,0	<2	59,0	<1	14,0
UTA	Control 3	18,0	<2	60,0	<1	16,0
Duplicado UTA	Control 3	17,0	<2	49,0	<1	15,0
Carretera A 135	Control 4	20,0	<2	40,0	<1	8,0
PROMEDIO		17,4		49,6		12,4

Fuente Resumen Ejecutivo del Diagnóstico ambiental del proyecto Reposición de Espacios Públicos y Áreas Verdes como Medida de Mitigación en Sectores Contiguos al Sitio F, Áreas 1, 2 y 3, Arica, 2012.

A.2.4.2 Medidas de mitigación

El proyecto "Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica" busca complementar el proyecto "Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 1 y 2, Arica", aprobado en enero de 2013, donde se aumentan las áreas a ser intervenidas y se evalúa el lugar de disposición en Quebrada Encantada y su traslado. Ambos proyectos proponen distintas medidas de mitigación en el suelo del espacio público para evitar el contacto con el suelo y así inhibir el riesgo para la salud de las personas.

Estas medidas consisten en la remoción y traslado de la capa superficial del suelo a un depósito en Quebrada Encantada, el sellado de las superficies a través de la repavimentación de veredas, pasajes y calles y el mejoramiento de espacios públicos mediante la instalación de mobiliario urbano, luminarias, construcción de ciclovías en los sectores colindantes al sitio F. Además se contempla mejorar áreas verdes y equipamiento deportivo.

En las etapas 1 y 2, se evaluó la remoción, retiro y disposición de suelos contaminados para la ejecución de proyectos de mejoramiento de espacios públicos, como se puede ver a continuación:

Imagen A-51
Etapas 1 y 2: Proyectos de Intervención Área 1



Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica



Las etapas 1 y 2 estaban presupuestadas para el año 2012 y 2013. Se contempló las obras de mitigación de las poblaciones Araucanía, Huamachuco 1 y 2, la Av. Azola y las áreas verdes de plazas Potrerillos y 10 de Julio (Ambas en Araucanía), correspondientes al Área 1. Las superficies específicamente a intervenir además de las nombradas son las calles Chuquicamata, Oscar Quina, Domeyko, Mantos Blancos, Teniente Merino, Chapiquiña, y los pasajes Casa Blanca, El Salvador 1, El Salvador 2, la Unión, 10 de Julio, Carabineros de Chile, Ejército de Chile, Investigación de Chile, Santa Fé y General Gorostiaga. La superficie total es 35.463 m².

Las obras contemplan pavimentación de calzadas y aceras, como en áreas verdes en parques y bandejones centrales.

Imagen A-52
Etapas 1 y 2: Proyectos de Intervención Área 2



Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica

Luego, se ejecuta en el sector Los Industriales 0, 1 y 2, donde se contemplan también la mitigación de calzadas, aceras, luminarias, equipamientos y áreas verdes. En el Área 2 las superficies están compuestas por las Av. Antártica y Argentina, las Calles Exótica y Barros Arana y los pasajes Lonquimay, Antuco, Ollague, Tinguiririca, Corcovado e Itata con área de intervención de 18.908 m².

En la ampliación del proyecto a etapas 3 y 4, se constata que en el Área 2 quedó pendiente el mejoramiento de espacio público de algunos pasajes de Los Industriales I y II, el Parque Tupungato y las calles Barros Arana y Samo Alto. Del área 1 se incorpora una intervención en la Avenida Renato Rocca.

Por ello, en la ampliación del proyecto, en las etapas 3 y 4 se considera los siguientes sectores a intervenir:

Imagen A-53
Etapas 3 y 4: Intervención en el Área 1

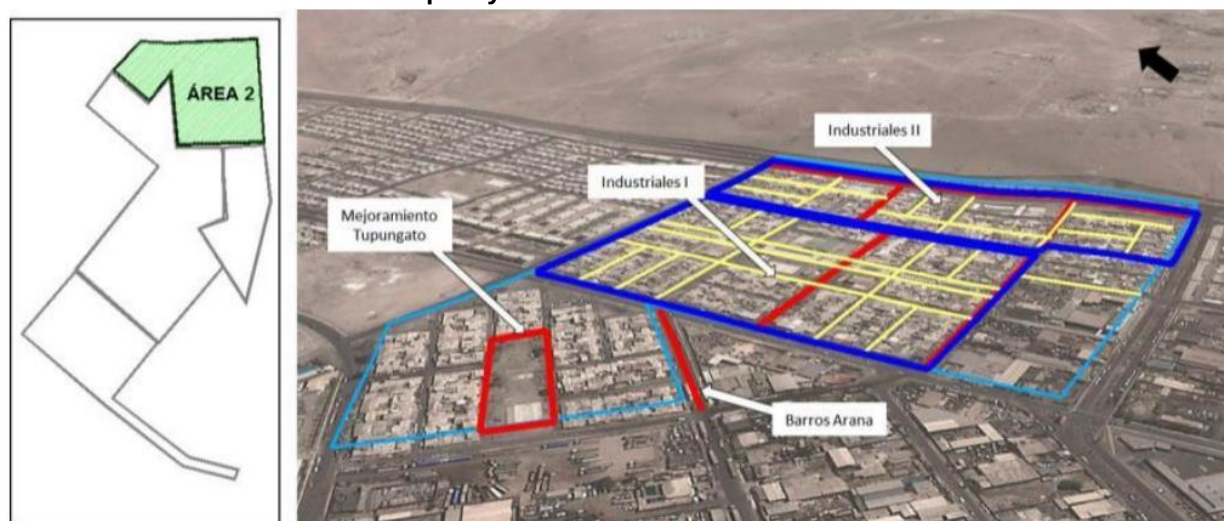


Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica

En el caso del Área 1, se interviene la Avenida Renato Rocca con un total de 31.991 m² para el área, en cambio como lo muestra la figura del Área 2, dentro de las poblaciones Industriales I y II se intervendrán 17.508 m² y 14.418 m² respectivamente en pasajes.

En total, considerando las calles, el parque Tupungato y Barros Arana y Samo Alto, el área a intervenir en la etapa 3 y 4 abarca 59.300 m² para las áreas 1 y 2.

Imagen A-54
Etapas 3 y 4: Intervención en el Área 2



Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica

En el Área 3, se considera el mejoramiento de la Av. Alejandro Azola y de las veredas de la Av. La Paz, Calle El Teniente, Calle Canto de Agua, Calle Río Blanco, Calle Chagres, Calle El Indio, Calle Romeral, Calle Andacollo, Calle La Africana, Calle El Tofo, Calle Penco, Calle Los Artesanos, Calle Barros



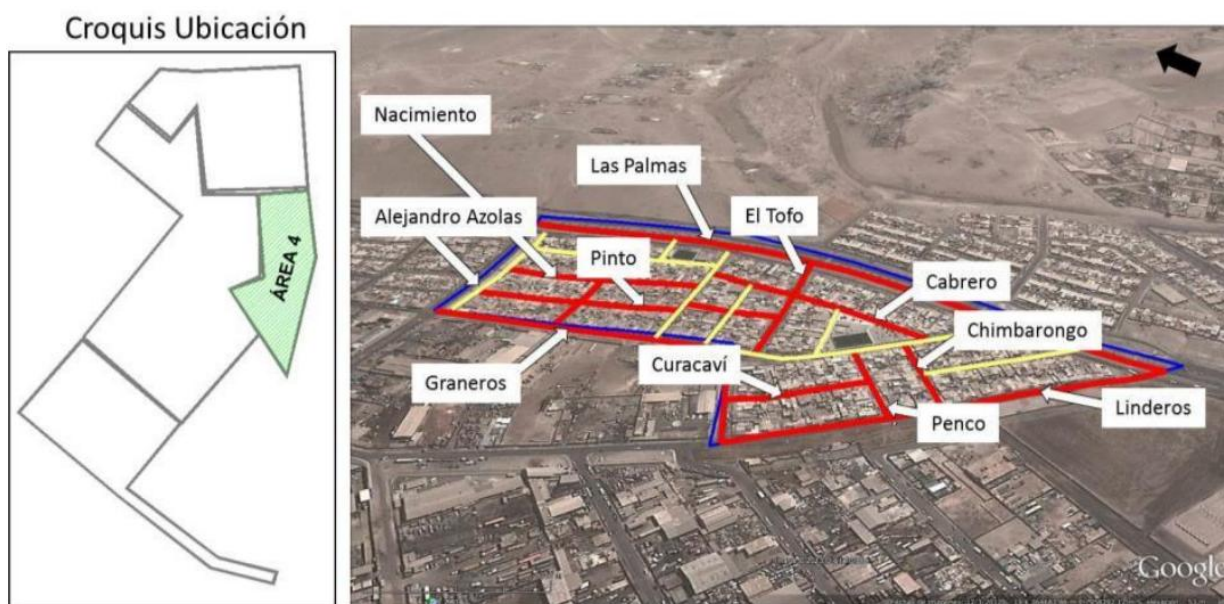
Arana, Calle el Salitre, Pasaje La Exótica, y Calle Las Canteras, con una intervención total de 36.483 m².

Imagen A-55
Etapas 3 y 4: Intervención en el Área 3



Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica

Imagen A-56
Etapas 3 y 4: Intervención en el Área 4



Fuente: Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica

A su vez, el Área 4 considera la intervención sobre las calles El Tofo, Canteras, de Servicio, Retiro, Graneros, las Av. Linderos, Capitán Ávalos y Alejandro Azola y los pasajes Cabrero, Tiltil, Curacaví, Penco, Chimbarongo, Perquenco, Gorbea, Nacimiento, Pinto, y Pasaje sin nombre, con un área total de 60.541 m².

El mejoramiento va a consistir en sellar las superficies expuestas en los espacios públicos, implementación de nuevo mobiliario urbano, incorporación de vegetación y tecnología de riego, ciclovías y paseos peatonales. Concluidas las cuatro etapas, se habrá intervenido 151.395 m².



Otra medida importante en el sector es la erradicación de Cerro Chuño, donde habitaban 879 familias en condición de vulnerabilidad. La entrega de las villas Doña Elisa y Santa Magdalena han significado la erradicación de 260 familias.

También se relocizarán aquellos casos críticos en salud en las poblaciones Los Industriales III y IV. Estas poblaciones fueron intervenidas en 2012 con el programa Recuperación de Barrios (FNDR) donde se construyó el Paseo Azola y la plaza Puerta del Sol.

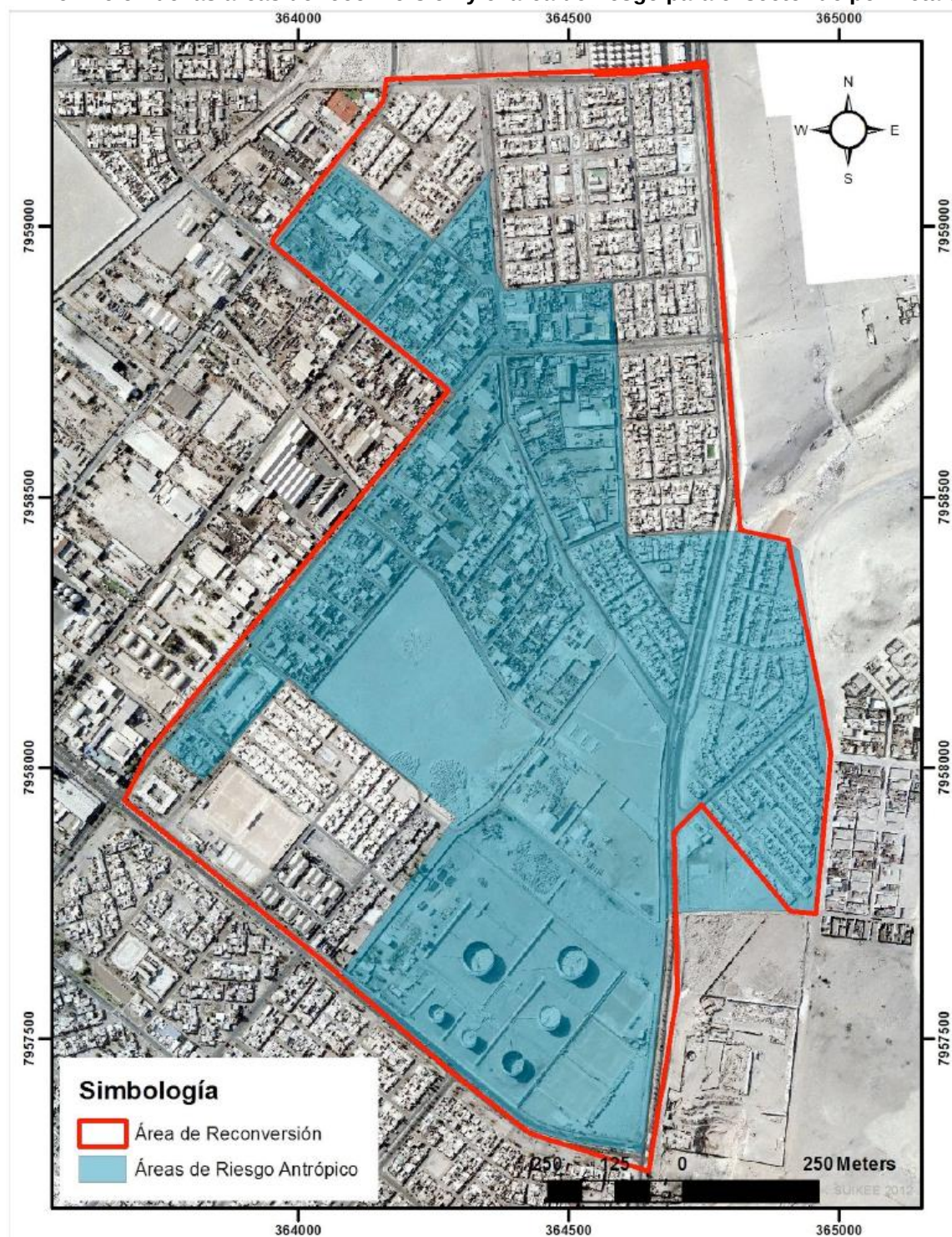
Más allá de las medidas de mitigación adoptadas, en definitiva el área de riesgo resulta del análisis de los antecedentes proporcionados en la Memoria Explicativa del Plan Regulador que se planteó para el sector (y que no se encuentra vigente). Allí se consideraron los resultados de mediciones de laboratorio sistemáticas que se han realizado de las muestras de suelo en el sector, incluyéndose aquellos sitios que registran los valores máximos de contaminación. De esta forma según los resultados de seguimiento y análisis de los niveles de contaminación en el sector desarrollado por la Seremi de Medio Ambiente de la región Arica y Parinacota, permite identificar las manzanas que integran el sector que cuentan con los niveles máximos de contaminación de poli metales.

Los antecedentes considerados para la determinación del área de estudio son los siguientes:

- "Análisis químico de suelos en la ciudad de Arica" realizado por Agriquem América S.A. (AGQ). CONAMA 2009
- "Análisis químico de suelos en la ciudad de Arica 2" realizado por Agriquem América S.A. (AGQ). CONAMA 2010
- Plan Maestro de Intervención de Arica CONAMA, MMA, 2009.
- Análisis SIG por manzanas INE, de resultados de mediciones polimetales. Jorge Herreros Seremi Ministerio de Medio Ambiente Arica y Parinacota, 2012.
- Mediciones para el Estudio "Reposición de Espacios Públicos y Áreas Verdes como Medida de Mitigación en Sectores Contiguos al Sitio F, Áreas 1, 2 y 3, Arica" realizado por Andalué Ambiental S.A. y AURA Arqtos., SEREMI MINVU ARICA Y PARINACOTA 2012.



Imagen A-57
Definición de las áreas de reconversión y el área de riesgo para el sector de polimetales



Fuente: SEREMI MINVU, Memoria Explicativa de la Modificación del Plan regulador de Arica (sin tramitación) Sector de Polimetales, 2012.



A.3 Definición de áreas restringidas al desarrollo urbano

Las áreas consideradas para ser incorporadas como áreas restringidas al desarrollo urbano son de acuerdo al artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones:

- Zonas no edificables: definidas como aquellas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación. Son 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 ordenamiento jurídico vigente. En la ciudad de Arica los sectores que podrían calificar para ello, el Aeropuerto de Chacalluta y el Aeródromo El Buitre, aun cuando no tienen plano de protección en las disposiciones de sus decretos respectivos. Igualmente se integran en esta categoría, las líneas férreas, las líneas y trazados eléctricos y otras infraestructuras de carácter lineal que se grafican en los planos y que son parte de las disposiciones sectoriales por lo que no es requisito profundizar en su descripción.

Estas en definitiva corresponden a:

Líneas de Alta Tensión (diversas Líneas de alta tensión sobre 66kV)
Oleoducto (Sica Sica)
Aeropuerto (Chacalluta y Buitre)
Líneas de Ferrocarriles (Tacna – Arica/Arica – La Paz)

- Áreas de riesgo: definidas como 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.

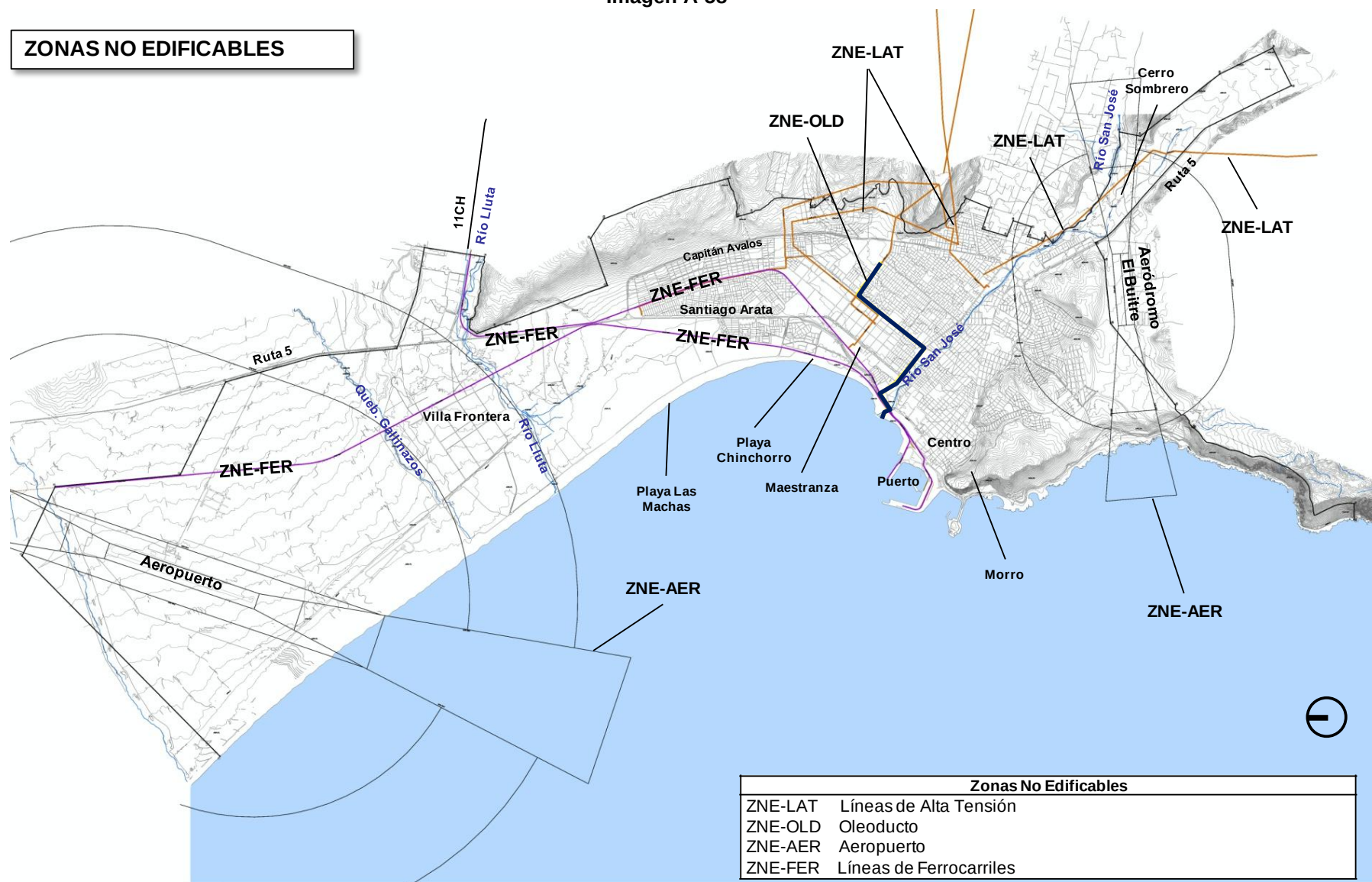
Dentro de esta categoría, se definen para el presente plan las siguientes:

- Áreas inundables o potencialmente inundables por tsunami
- Áreas inundables o potencialmente inundables por desborde de cauces
- Áreas propensas a deslizamientos
- Área de riesgo potencial de licuefacción del suelo
- Áreas de riesgo por actividad o intervención humana.



Imagen A-58

ZONAS NO EDIFICABLES



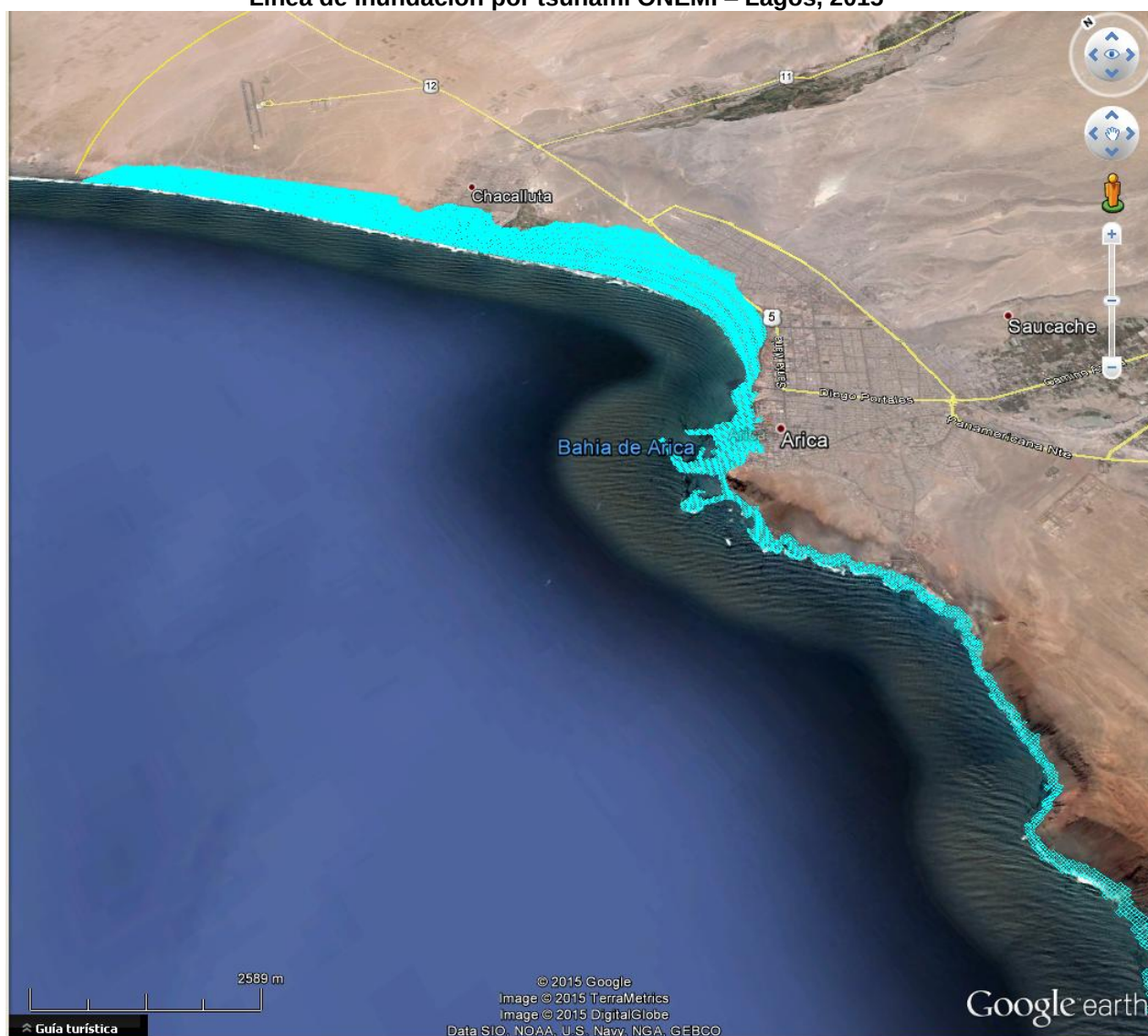


A.3.1 Áreas de riesgo

A.3.1.1 Áreas inundables o potencialmente inundables por tsunami

Vistos los antecedentes, la zona de inundación por tsunami queda oficialmente actualizada en 2015.

Imagen A-59
Línea de inundación por tsunami ONEMI – Lagos, 2015



Fuente: Lagos, 2015, imagen de Google Earth



A.3.1.2 Áreas inundables o potencialmente inundables por desborde de cauces

En el caso del río Lluta, la zona queda establecida por el estudio Plan Maestro de Aguas Lluvias de Arica. Manejo de los Cauces de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras, del año 2004, con el área de inundación para un período de retorno de 100 años.

Imagen A-60
Período de retorno 100 años río Lluta



Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Arica. Manejo de los Cauces de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras, 2004.

Imagen A-61
Período de retorno 100 años río San José y quebrada Acha



Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Arica. Manejo de los
Cauces de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras, 2004.

A.3.1.3 Áreas propensas a deslizamientos

De acuerdo al artículo 2.1.17 de la OGUC, los riesgos de deslizamientos quedan enmarcados dentro de las “Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas”.

El análisis de estos antecedentes, contrapuesto con la observación en terreno, permite plantar preliminarmente Zonas propensas a avalanchas y rodados entre los rangos de pendiente en grados 20.1 – 30, 30,1 – 45 y aquellas con pendiente mayor a 45.

Así, queda establecida preliminarmente a lo largo de la Costanera Sur hasta Playa Corazones, desde el sector del Morro de Arica a la altura del puerto. Desde este mismo sector, en dirección este se desarrolla otra área de riesgo. Va por la ladera paralela a Héroes del Morro y bajo el Camino al Morro. Esta llega hasta la altura de las Calles Longotoma y Papudo, perpendiculares a la Calle San Marcos. En su entorno, sobre el Morro se observan sectores con riesgos de deslizamientos, así también una franja delgada que continua sinuosamente por la ladera del cerro y paralela a Camino al Morro.



Dentro del triángulo formado por San Ignacio de Loyola, 21 de Mayo y Rafael Sotomayor, también se vislumbran sectores con pendientes que presentan riesgos de deslizamientos. La ladera a lo largo de Dr. Abel Garibaldi es otro sector de la ciudad que presenta riesgo de deslizamiento de material, como muestra la imagen. Ahí también se puede observar franjas delgadas sobre la Carretera Panamericana y unas áreas en la cercanía de Alcalde Oscar Belmar y Tobalaba.

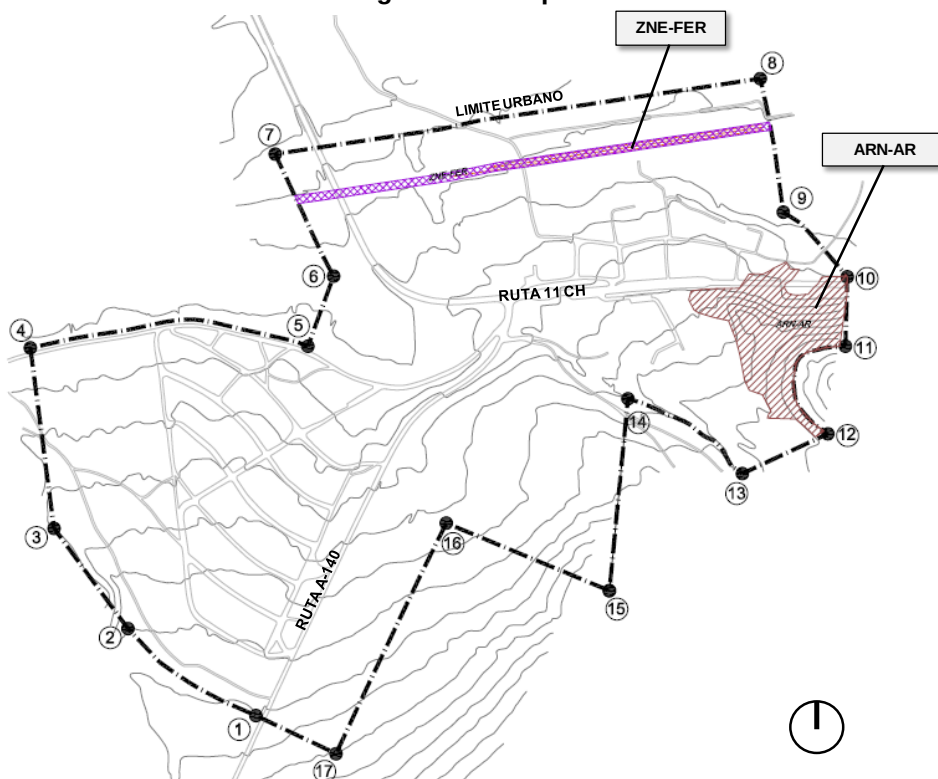
Otro sector es en la Panamericana Norte, al sur del sector de Coraceros y al frente del poblado Cerro Sombrero; así también en el cerro homónimo, en las laderas se presentan estas áreas; y al frente de esta área, al otro lado del lecho del río. En la imagen a continuación se puede observar que estas zonas entran al valle de Azapa por la ladera norte de la quebrada también.

En la ladera este del Cordón del Cerro Chuño queda establecida otra área en función de las pendientes antes mencionadas. A la altura de Aguas del Altiplano se desvía hacia el este y se manifiesta en lo alto de la antigua población de Cerro Chuño y en las laderas de Quebrada Encantada hacia el interior, y a lo largo de Capitán Ávalos se observan localizadamente hasta Traiguén). Las pendientes en esta ladera vuelven a calificar dentro de las áreas de riesgo al acercarse al vértice de la ladera sur de la quebrada Lluta, donde también ingresan al valle Lluta.

Así también, están presentes a lo largo de la Quebrada Gallinazos, y en sectores de los dos escarpes marinos presentes en la ciudad, y en otros sectores que se detallan en la cartografía respectiva.

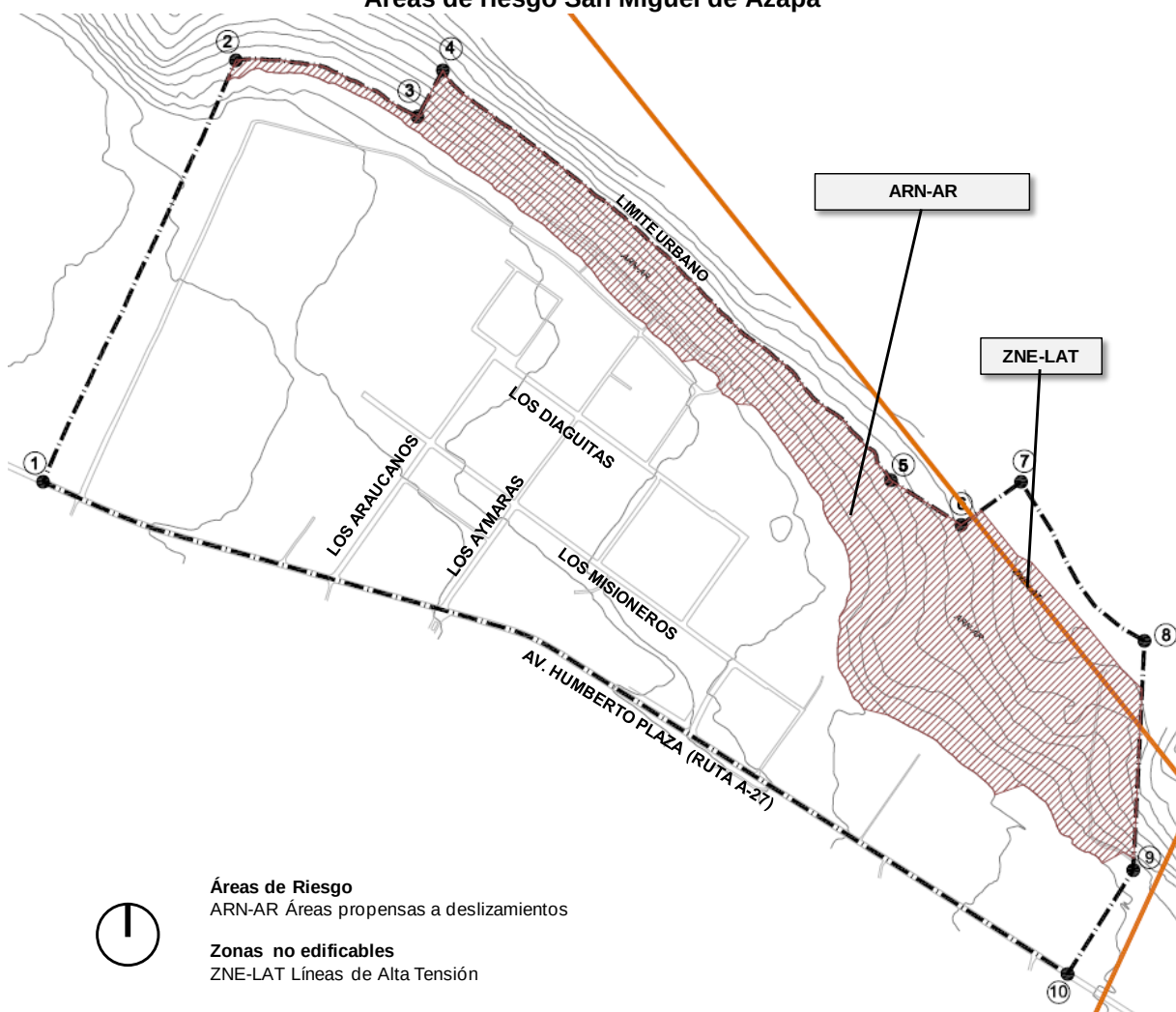
Por su parte, y en virtud de igual metodología, para los casos de San Miguel y Poconchile se han identificado las siguientes áreas de riesgo.

Imagen A-62
Áreas De Riesgo definidas para Poconchile



Fuente. Elaboración propia

Imagen A-63
Áreas de riesgo San Miguel de Azapa



Fuente: Elaboración propia.

A.3.1.4 Áreas de riesgo potencial de licuefacción del suelo

De acuerdo a las fuentes consultadas, que esta unidad geológica a lo largo del sector de Chinchorro, junto con una franja de aproximadamente 300 m de Pf, adyacente al terreno del puerto, estarían sujetas a licuefacción.

Bajo este criterio de carácter geológico, se ha determinado un territorio (que se grafica en los planos respectivos) presenta condiciones en que el riesgo que puede afectar seriamente la estabilidad de las estructuras que se encuentran fundadas en el suelo, puesto que puede resultar en pérdidas de la resistencia y capacidad de soporte del suelo.

A.3.1.5 Áreas de riesgo por actividad o intervención humana

Corresponde a las áreas que integran terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana, según el Art 2.1.17 de la OGUC, y refieren en específico a los sitios contaminados por Arsénico y plomo en el sector oriente de la ciudad, sector denominado "polimetales" según se describió



en apartados anteriores. De esta forma a partir de la serie de antecedentes expuestos anteriormente, se ha generado un polígono correspondiente al Área de Riesgo por Intervención Humana.

Representando las áreas que integran terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana, según el Art 2.1.17 de la OGUC, correspondiente a los sitios contaminados por Arsénico y plomo según los antecedentes expuestos. Ello establece una limitante para los terrenos que se encuentran contaminados por origen antrópico ya documentados, por cuanto deberán establecerse normas urbanas en coherencia a los usos de suelos posibles de implementar.

Imagen A-64

Territorio sujeto a la condición de área de riesgos por la actividad o intervención humana



Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes ya indicadas en el texto



A.4 Áreas de recursos de valor natural oficialmente protegidas

De acuerdo a las figuras de protección vigentes en Chile, en la comuna de Arica se encuentran dos áreas de valor natural oficialmente protegidas, correspondientes al Santuario de la Naturaleza Humedal de la desembocadura del río Lluta por decreto 106 del Ministerio de Educación, de 28 de noviembre de 2009, el cual también es Reserva Natural Municipal, por decreto exento 2702 de la I. Municipalidad de Arica de 3 de junio de 2009.

Este humedal también es Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad, y desde 2010 se encuentra en la lista de los 64 sitios prioritarios que deben ingresar al Sistema de Evaluación Ambiental mediante Estudio de Impacto Ambiental, en caso de localizarse un proyecto o actividad en las cercanías o en el mismo sitio.

Además, los Cerros de Poconchile, incluidos en la lista de Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad, son reconocidos con protección oficial mediante Decreto Exento 573 del 14.08.2012 del Ministerio de Bienes Nacionales, que destina para la conservación del patrimonio de biodiversidad los inmuebles fiscales entre los Km 11.505 y 15.543 en la Ruta A-143.

A.4.1 Humedal de la desembocadura del río Lluta

Se ubica a 10 km al norte del Centro de Arica, en la playa Las Machas al finalizar el valle de Lluta. Su superficie es aproximadamente 720 ha, donde 75% es propiedad privada y 25% es fiscal.

Imagen A-65 Polígono oficial de protección Santuario de la Naturaleza Humedal de la Desembocadura del río Lluta



Fuente: Consejo de Monumentos Nacionales, 2009. Imagen de Google Earth.



Antes de estar bajo protección oficial, la desembocadura del río Lluta estaba categorizada como un Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad. En 2003, fue incluida en los 68 sitios prioritarios para resguardar, de acuerdo al objetivo de la agenda ambiental del país, relacionado con proteger el 10% de la superficie de los ecosistemas más relevantes al año 2006. Como muestra la figura anterior, son tres lagunas permanentes y se reparten en tres sectores:

1. Norte: Desembocadura del río Lluta
2. Centro: Laguna de transición
3. Sur: Laguna con juncos y totoras

El territorio es actualmente administrado por la Municipalidad de Arica. Por ordenanza n° 2.702 tiene la facultad de proyectar, construir, conservar y administrar la reserva natural, además de incentivar, asesorar y supervisar la creación de planes y programas educativos²⁰.

Se identifican tres tipos de valores en este sector: Florístico, faunístico y paisajístico.

En relación a la vegetación, se establece que hay presencia de vegetación nativa, por lo que es un sector de representatividad de ejemplares dentro de una región árida. Se identifica presencia de la formación vegetal Matorral ripario de Quebradas y Oasis, la cual posee una superficie potencial de 54.682 ha, y no se encuentra representada dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

Esta vegetación cumple una función importante en las redes tróficas del humedal, y es biotopo de la gran cantidad de especies que habitan ahí, además de controlar el avance de las arenas litorales hacia el interior del valle.

A.5 Bibliografía utilizada para la definición de las áreas de riesgo y áreas de recursos de valor natural

- Bienes Nacionales, 2011. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos en el Sector Acuífero de la Concordia.
- Campos H, Díaz G & Campos C. (2007). Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. Idesia (Arica), 25(2), 37-48.
- CED, 2010. Estrategia de gestión sostenible para el Humedal de la Desembocadura del río Lluta. Reserva Natural Municipal – Santuario de la Naturaleza.
- Decreto Exento n° 573 del 14 de agosto de 2010. Destina al Ministerio de Bienes Nacionales terrenos fiscales en la Región de Arica y Parinacota. Disponible en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1016229&buscar=Decreto+n%C2%B0+573>
- DOH, 2004. Plan Maestro de Aguas Lluvias de Arica. Manejo de los Cauces de los Ríos Lluta y San José y sus Desembocaduras, 2004.
- DOH, 2008. Identificación de zonas de riesgo y estudio de títulos de dominio en tramo urbano de río San José, Arica, Región de Tarapacá.
- DGA, 2010. Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota
- GOV.CL 2014. Avances Plan Arica y Parinacota. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2uMKk1VVZSkJ:www.gob.cl/media/2014/03/140228-Informe-de-Avances-Plan-Arica.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cl>
- GORE Arica y Parinacota, 2009. Programa Maestro de Intervención en Zonas con presencia de Polimetales en Arica. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-48312_recurso_1.pdf
- Lagos, M. 2014. Diagnóstico de riesgo de tsunami en la ciudad de Arica.
- Lagos, M. 2015. Área de inundación por tsunami Arica.
- Ley N° 20.590. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 29 de mayo de 2012.
- MINVU, 2011. Plan de reposición de espacio públicos y áreas verdes, sector polimetales.

²⁰ CED, 2010, P.5.



- Salas et al. (1966). Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, en colaboración con la Junta de Adelanto de Arica. Boletín n° 21. p.85
- Saunders, W.S.A.; Prasetya, G. and Leonard, G.S. 2011. New Zealand's Next Top Model: Integrating tsunami inundation modelling into land use planning, GNS Science Miscellaneous Series 34, 42 p.
- SEREMI MINVU, 2008. Anexo C. Línea Base Ambiental Macrolote Punta Norte – Arica. Disponible en: https://www.e-seia.cl/archivos/Anexo_C_Linea_Base.pdf
- SEREMI MINVU, 2012. Memoria Explicativa. Diagnóstico de Reconversión Urbana y Modificación Plan Regulador Comunal en Zona con presencia de polimetales en Arica.
- SEREMI MINSAL, 2013. Autoridades regionales y del Ministerio de Salud colocan Primera Piedra de moderno laboratorio en Arica y Parinacota. Disponible en: <http://seremi15.redsalud.gob.cl/?p=2194>
- SERNAGEOMÍN, 2004. Carta Geológica de Chile/ Serie geología Básica n°84. Hoja Arica. Escala 1:250.000
- SERNAGEOMÍN, GEOPM, 1988. Carta de suelos de fundación y riesgos geológicos. Oferta para la realización del proyecto.
- SERNAGEOMÍN, 2014. Efectos geológicos de los sismos del 1 y 2 de abril de 2014: Evaluación preliminar de la ruta costera entre el Morro de Arica y Sector Corazones: Peligro de remoción en masa.
- SERNAGEOMÍN, 2014. Efectos geológicos de los sismos del 1 y 2 de abril de 2014: Efectos del tsunami en la ciudad de Arica.
- SERNAGEOMÍN, 2014. Efectos geológicos de los sismos del 1 y 2 de abril de 2014: Estabilidad del Morro Arica.
- SERVIU, 2012. Resumen Ejecutivo del Diagnóstico ambiental del proyecto Reposición de Espacios Públicos y Áreas Verdes como Medida de Mitigación en Sectores Contiguos al Sitio F, Áreas 1, 2 y 3, Arica.
- SERVIU, 2013. Ampliación del proyecto de Reposición de espacios públicos y áreas verdes como medida de mitigación de sectores contiguos a sitio F, etapas 3 y 4, Arica
- SERVIU, 2010. Autoridad del MINVU participó en Arica en un encuentro de alcaldes, concejales y funcionarios municipales, organizado por la Asociación Chilena de Municipalidades. Disponible en: http://www.serviu15.cl/opensite_det_20130910145141.aspx
- SERVIU, 2013. Partieron trabajos del proyecto demolición de viviendas de Cerro Chuño. Disponible en: http://www.serviu15.cl/opensite_det_20130823100642.aspx
- SHOA, 2012. Carta de Inundación por Tsunamis de Arica.
- Tanaka, S; Istiyanto; Kuribayashi, D. Planing and Designing of Tsunami – mitigative coastal vegetation Belt, 2010. International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO (ICHARM) Public Works Research Institute (PWRI)
- UC, s/f. Importantes procesos en el mar chileno. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h716.html#f0011
- Vila, T. 1974. Geología del Cuadrángulo de Arica. Sernageomin.