



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO  
SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE VALPARAÍSO

# **ESTUDIO DE RIESGO DE LA COMUNA DE SAN ANTONIO**

## **ETAPA 1. INFORME PLAN DE TRABAJO Y PRE DIAGNÓSTICO**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS  
DIRECCIÓN DE EXTENSIÓN DE SERVICIOS EXTERNOS –DESE  
OBSERVATORIO DE CIUDADES UC

Marzo, 2011

## **EQUIPO PARTICIPANTE**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos

DESE – Dirección de Extensión de Servicios Externos

### **Observatorio de Ciudades UC**

JEFE DE PROYECTO – Felipe Morales Rojas, Geógrafo, Magíster en Desarrollo Urbano.

COORDINADORA PROYECTO – Alma Torres Barahona, Geógrafa.

ENCARGADO SIG – Luis Meza Moya, Geógrafo, Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente.

ENCARGADO NORMATIVA IPT – Rodrigo Rojas, Arquitecto.

AYUDANTE DE APOYO – Ítalo Abarca Vera, Geógrafo.

ENCARGADO RIESGO DE TSUNAMI – Rodrigo Cienfuegos Carrasco, experto en ingeniería hidráulica.

ENCARGADO RIESGO DE INUNDACIÓN – Jorge Gironás León, experto en ingeniería hidráulica.

Cristian Escauriza Mesa, experto en ingeniería hidráulica.

ENCARGADO DE RIESGO DE REMOCIÓN EN MASA – Carlos Bonilla Meléndez, experto en ingeniería hidráulica.

AYUDANTE DE APOYO – Maricarmen Guerra Paris, Ingeniera Civil Industrial.

ENCARGADO RIESGO SÍSMICO – Christian Ledezma Araya, experto en ingeniería geotécnica sísmica, y en análisis y evaluación de riesgo de estructuras geotécnicas.

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>2</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2 PLAN DE TRABAJO</b> .....	<b>5</b>
2.1 CRONOGRAMA AJUSTADO .....	5
<b>3 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
3.1 TSUNAMI .....	6
3.1.1 Causas de Tsunamis .....	6
3.1.2 Magnitud e inundación de Tsunamis .....	8
3.1.3 Antecedentes Históricos: Sismos y Tsunamis en la zona central de Chile .....	9
3.1.4 Variables Topo-batimétricas .....	19
3.1.5 Variables Oceanográficas .....	21
3.2 INUNDACIÓN .....	26
3.2.1 Información climatológica de San Antonio .....	26
3.2.2 Información geográfica y física San Antonio .....	26
3.2.3 Hidrografía Comuna San Antonio .....	27
3.2.4 Variables Hidrometeorológicas .....	31
3.2.5 Antecedentes Históricos .....	35
3.2.6 Registro Fotográfico .....	38
3.3 SISMICIDAD .....	43
3.4 REMOCIÓN EN MASA ASOCIADA A PRECIPITACIONES .....	47
3.4.1 Factores Condicionantes .....	47
3.4.2 Factores Desencadenantes .....	48
3.4.3 Clasificación .....	49
3.4.4 Suelos Comuna San Antonio .....	50
3.4.5 Antecedentes Históricos de Procesos de Remoción en Masa .....	53
3.4.6 Registro Fotográfico .....	56
3.5 VULNERABILIDAD .....	60
3.5.1 Concepto de Riesgo: Amenaza y Vulnerabilidad .....	60
3.5.2 Información necesaria para el análisis de vulnerabilidad .....	60
3.6 INFORMACIÓN PARA LOS PLANES DE EVACUACIÓN .....	62
3.6.1 Construcción y actualización de la información de Ejes Viales .....	62
<b>4 PRE – DIAGNÓSTICO</b> .....	<b>63</b>
4.1 TSUNAMI .....	63
4.1.1 Zonas Afectadas por tsunamis .....	63
4.1.2 Parámetros de Modelación de Tsunamis .....	66
4.2 INUNDACIÓN .....	67
4.3 SISMICIDAD .....	71
4.4 REMOCIÓN EN MASA .....	73
4.5 VULNERABILIDAD .....	80
4.5.1 Análisis de condiciones demográficas y económicas .....	80
4.5.2 Conectividad y Accesibilidad .....	95

4.6	REDES DE INFRAESTRUCTURA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS .....	101
4.6.1	<i>Infraestructura</i> .....	101
4.6.2	<i>Equipamiento</i> .....	103
4.6.3	<i>Servicios</i> .....	106
4.7	CARACTERÍSTICAS DE LOS CENTROS POBLADOS EN FUNCIÓN DEL IMPACTO DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010	107
4.8	CONCLUSIONES PRELIMINARES.....	110
4.8.1	<i>Identificación de tipos y zonas de peligrosidad en centros poblados</i> .....	112
<b>5</b>	<b>AJUSTES METODOLÓGICOS PROPUESTOS .....</b>	<b>113</b>
5.1	TSUNAMIS .....	113
5.2	INUNDACIÓN.....	114
5.3	REMOCIÓN EN MASA.....	114
5.4	VULNERABILIDAD .....	115
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la entrega número uno del estudio de Riesgo de la comuna de San Antonio, que se enmarca en el proceso de apoyo a los planes reguladores comunales que se encuentra realizando el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

El área de estudio corresponde particularmente a las áreas urbanas de la Comuna de San Antonio, en virtud de la necesidad de la autoridad de apoyar los instrumentos de planificación existentes y en formulación.

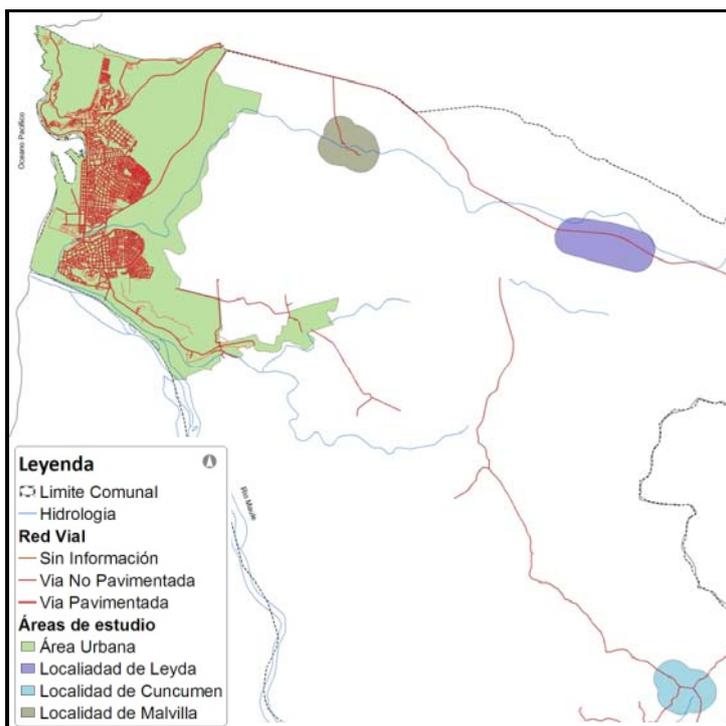


Figura 1 Área de estudio, Comuna de San Antonio

Fuente: Elaboración Propia OCUC, 2011. En base a información entregada por el municipio

Esta entrega tiene como objetivo el de definir el panorama global en términos de la información disponible y el de realizar un pre-diagnóstico a partir de esta. Ambos aspectos están considerados como insumos para la realización de las modelaciones de los distintos riesgos y que están previstas para la etapa siguiente.

Complementariamente se realiza un ajuste metodológico para las modelaciones a partir de la información disponible. En este contexto, el estudio se aborda desde el punto de vista de los riesgos que surgen de la vulnerabilidad del territorio y de la peligrosidad de los eventos naturales.

Los tipos de riesgos abordados en este informe son aquellos que están previstos en las bases técnicas y que corresponden a riesgos de inundación por desbordes de cauces, remoción en masa y de licuefacción, riesgo de tsunami y riesgos sísmicos. Adicionalmente se incluyen los aspectos asociados a la vulnerabilidad del territorio en estudio.

## 2 PLAN DE TRABAJO

### 2.1 Cronograma Ajustado

CRONOGRAMA ESTUDIO DE RIESGO COMUNA DE SAN ANTONIO																																						
Etapa/Actividad	Duración	Fecha		Enero		Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio			Julio			Agosto			Sep											
		Inicio	Entrega	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Resolución de aprobación de Contrato																																						
<b>Etapa I. Plan de Trabajo y Pre-Diagnóstico</b>	50 días	<b>10-ene (lun)</b>	<b>18-mar (vie)</b>																																			
Revisión de Contraparte Etapa I	15 días	21-mar (lun)	08-abr (vie)																																			
<b>Etapa II. Diagnóstico final y Modelación</b>	35 días	<b>11-abr (lun)</b>	<b>27-may (vie)</b>																																			
Revisión de Contraparte Etapa II	15 días	30-may (lun)	17-jun (vie)																																			
<b>Etapa III. Informe final</b>	45 días	<b>20-jun (lun)</b>	<b>19-ago (vie)</b>																																			
Revisión de Contraparte Etapa III	15 días	22-ago (lun)	09-sep (vie)																																			
<b>Aprobación final de Estudio</b>																																						

Tabla 1 Cronograma modificado según ajustes de Contrato

### 3 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

#### 3.1 TSUNAMI

El fenómeno llamado tsunami se refiere a la propagación de una o varias olas de gran longitud, generadas por una repentina e impulsiva perturbación de la superficie del océano u otro cuerpo de agua, que se expande a gran velocidad en todas direcciones desde su origen. Esta perturbación se asocia generalmente a una deformación del fondo, que puede ser producido por fuertes sismos, o con menor frecuencia, por erupciones volcánicas submarinas, derrumbes, o explosiones (Lockdrige, 1985).

Para el caso de tsunamis generados en el océano, las ondas se caracterizan por tener grandes longitudes (100 – 200 km) pero amplitudes que habitualmente no superan los 50 a 60 centímetros en aguas profundas. Su velocidad de propagación es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad, alcanzando velocidades cercanas a los 800 kilómetros por hora sobre fondos de más de 4.000 metros. Al acercarse a la costa, dado que la profundidad decrece, la velocidad de propagación de un tsunami disminuye lo que produce un aumento significativo de su amplitud hasta el punto en que comienza a disipar energía como rompiente. Esto último puede resultar en daños de zonas costeras, destrucción de infraestructura y pérdidas de vidas.

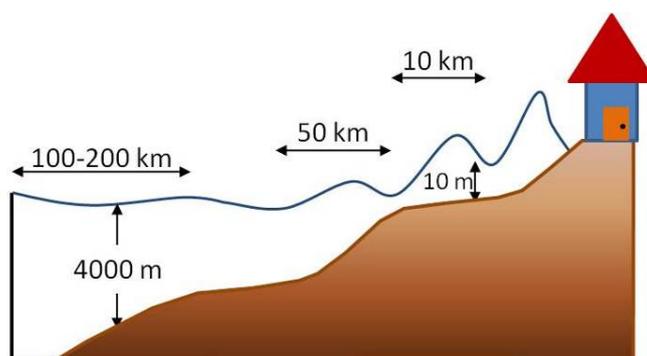


Figura 2: Propagación de un tsunami. Efecto en amplitud y longitud de Onda  
Fuente: Elaboración propia con datos de ITIC<sup>1</sup>, UNESCO.

##### 3.1.1 Causas de Tsunamis

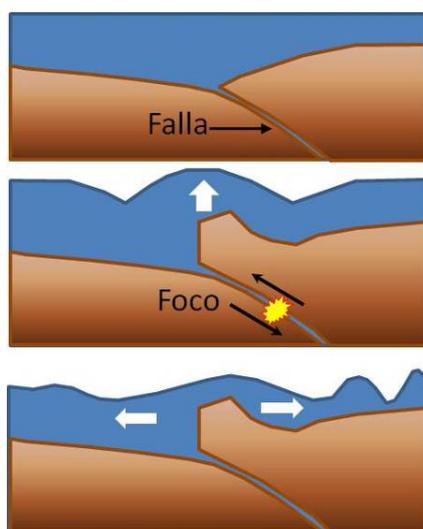
###### - Terremotos

La mayor cantidad de tsunamis se genera a partir de terremotos ocurridos en zonas de subsidencia entre placas tectónicas oceánicas en contacto con placas continentales. Para que un terremoto genere un tsunami, se debe producir un movimiento vertical abrupto del lecho marino, de modo que se perturbe la superficie del océano. Para esto, el sismo debe: i) tener un epicentro en el océano a una profundidad menor a 60 kilómetros o generar una zona de ruptura que se propague bajo el lecho marino, ii) generar un desplazamiento vertical de la columna de agua, iii) liberar suficiente energía en un lapso de tiempo relativamente corto. Actualmente, se considera el

<sup>1</sup> International Tsunami Information Centre, UNESCO.

Momento Sísmico ( $M_0$ ), el cual es proporcional al área de ruptura y la dislocación vertical de la falla, como el parámetro que mejor estima la generación de tsunamis, el cual debe ser mayor que 1.022 N m (SHOA, N.D.a). En la Figura 3, se presenta un esquema de la generación de un tsunami producto de un desplazamiento del lecho marino provocado por un sismo.

Un tsunami de este tipo se denomina tectónico, y dentro de ellos, los que se originan en zonas de subducción de placas, son los más comunes, como el tsunami provocado por el terremoto de Valdivia en 1960 y el último, provocado por el terremoto del 27 de Febrero de 2010, en la zona centro-sur de Chile.



**Figura 3: Esquema de deformación fondo marino y generación de un tsunami por sismo**  
Fuente: Elaboración propia con datos de ITIC, UNESCO

#### - Erupciones volcánicas

Aunque es poco frecuente, las erupciones volcánicas violentas también pueden generar perturbaciones capaces de desplazar un gran volumen de agua y generar tsunamis extremadamente destructivos, principalmente en zonas próximas a la erupción. En este caso, las ondas son generadas por el desplazamiento repentino del agua a causa de la explosión volcánica o de un deslizamiento en una ladera del terreno.

Uno de los tsunamis más destructivos y conocidos en la historia es el que se produjo el 26 de agosto de 1883 tras la explosión y colapso de la cámara magmática del volcán Krakatoa, en Indonesia. El tsunami, siendo de origen volcánico fue solamente destructivo localmente en Indonesia, pero se registraron pequeñas variaciones del nivel del mar en Sudáfrica, Sri Lanka, Japón, Australia, Estados Unidos (Hawaii, California y Alaska), y en la costa del Pacífico en Sudamérica (Choi et al, 2003).

#### - Deslizamientos o derrumbes:

Otra causa no tectónica de generación de tsunamis son los deslizamientos de tierra submarinos o en laderas emergidas en las cercanías de cuerpos de agua. Este tipo de tsunami suele disiparse rápidamente, sin alcanzar a provocar daños en grandes márgenes continentales. Otra posibilidad es el desprendimiento natural de bloques de tierra, o de hielo, tanto en superficie como bajo ella.

Un ejemplo de tsunami provocado por este mecanismo es el ocurrido en abril de 2007 en la zona de Punta Cola, cercano a Puerto Chacabuco, Aysén, Chile. En esta oportunidad un importante deslizamiento de tierra provocó olas de hasta 6 m de altura, las que se propagaron dentro de los fiordos de la zona (Sepúlveda & Serey, 2009).

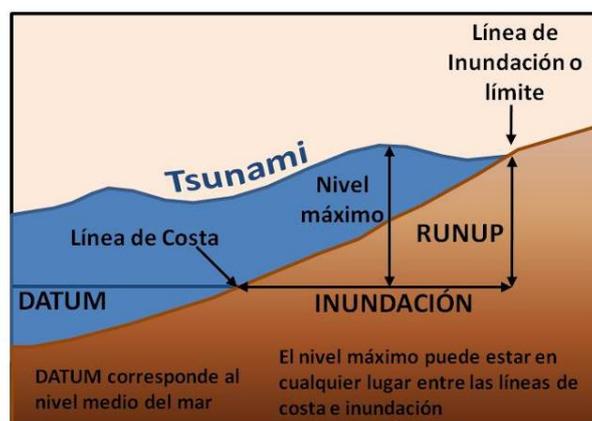
### 3.1.2 Magnitud e inundación de Tsunamis

La magnitud de un tsunami se basa en la escala de grados definida por Imamura (1949) e Iida (1963), la cual se muestra en la Tabla 2 (Lagos, 2000).

Grado Tsunami <i>m</i>	Altura de la ola [m]	Cota máxima de inundación ( <i>runup</i> ) [m]	Descripción de los daños
0	1 - 2	1 - 5	No produce daños
1	2 - 5	2 - 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados
2	5 - 10	4 - 6	Humanos, barcos y casas son barridos
3	10 - 20	8 - 12	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera

Tabla 2: Escala de grados de Tsunami según Imamura (1949) e Iida (1963), adaptada por Lagos (2000)

Los efectos del tsunami se cuantifican a partir de la altura de ola, la cota de inundación máxima o *runup*, y la distancia máxima horizontal desde la línea de costa que alcanza el mar. En la siguiente figura se define cada una de estas magnitudes (UNESCO-IOC, 2006). El Datum respecto del cual se miden estos parámetros generalmente se define como el nivel medio del mar al momento de llegada de las olas.



**Figura 4: Definición de Inundación y Runup.**  
Fuente: Elaboración propia con datos de ITIC, UNESCO

### 3.1.3 Antecedentes Históricos: Sismos y Tsunamis en la zona central de Chile

Para efectos de este estudio se requiere conocer los eventos históricos acaecidos en la zona de estudio, para luego definir los escenarios que permitan generar información relevante para llevar a cabo un modelo numérico de la propagación de un potencial tsunami destructivo. A continuación se presentan los eventos ocurridos en la zona central de Chile que han afectado a la comuna de San Antonio, indicando sus características, y sus efectos en caso de que exista registro.

Históricamente se conoce la ocurrencia de siete terremotos que generaron ondas de tsunami en la zona central de Chile. Estos son los registrados el 13 de Mayo de 1647, 8 de Julio de 1730, 19 Noviembre de 1822, 16 de Agosto de 1906, 10 de Noviembre de 1922 (ocurrido en la zona norte, pero afectando a toda la costa), 3 de Marzo de 1985 y el último, 27 de Febrero de 2010 (Kausel, 1986; Lagos, 2000). En la Figura 5, se muestra un diagrama espacio-temporal de los grandes terremotos ocurridos en la zona central de Chile en la cual se indica la zona de ruptura y la magnitud para cada terremoto, además se ha agregado el terremoto de febrero de 2010. En la figura se han resaltado con color naranja los terremotos tsunamigénicos que han afectado la costa de Chile central.

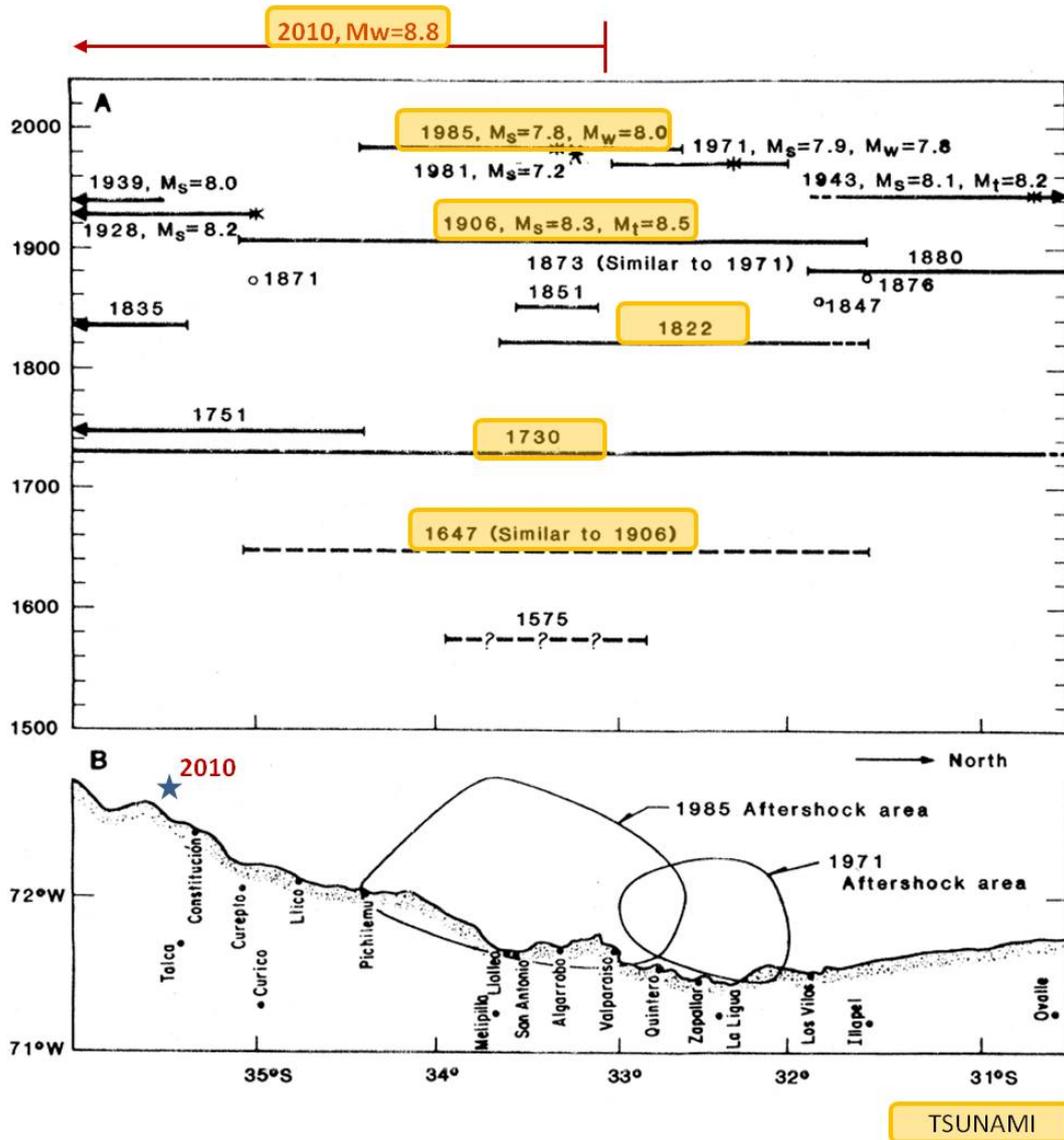


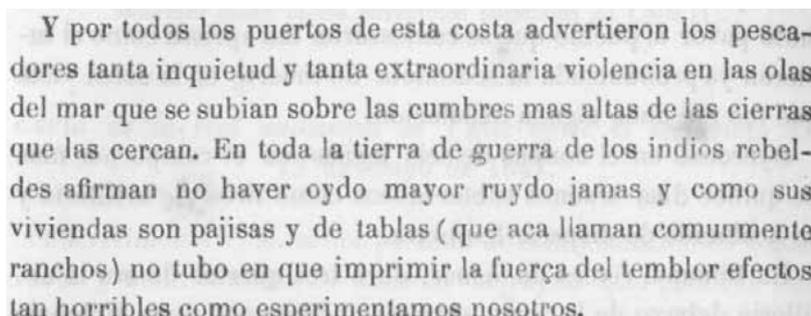
Figura 5: Diagrama espacio-temporal terremotos ocurridos en Chile central.  
Fuente: Comte et al. (1986)

- Terremoto 13 de Mayo de 1647:

El terremoto de 1647, con epicentro cercano a Valparaíso, afectó a las zonas entre el Río Choapa y el Río Maule. La duración fue de aproximadamente de 7 minutos y su magnitud se estima en 8,5 en escala de Richter (SHOA, N.D.b), y se posiciona como uno de los cinco terremotos más fuertes que han afectado a la zona central. Debido al remezón, murieron aproximadamente 1.000 personas (Oidores de la Real Audiencia, N.D.).

En cuanto a los efectos marinos, se recopilan declaraciones de pescadores, describiendo “tanta extraordinaria violencia en las olas de mar que se subían sobre las más altas sierras que las cercan” (Oidores de la Real Audiencia, N.D.), como lo señala el párrafo de la Figura 6.

De acuerdo con información del SHOA, el largo estimado de la ruptura fue de 360 kilómetros y no hay registros de variaciones del nivel del mar. No es posible estimar el grado de este tsunami.



Y por todos los puertos de esta costa advertieron los pescadores tanta inquietud y tanta extraordinaria violencia en las olas del mar que se subian sobre las cumbres mas altas de las cierras que las cercan. En toda la tierra de guerra de los indios rebeldes afirman no haver oydo mayor ruydo jamas y como sus viviendas son pajisas y de tablas ( que aca llaman comunmente ranchos) no tubo en que imprimir la fuerça del temblor efectos tan horribles como experimentamos nosotros.

Figura 6: Extracto de la Carta a los Oidores de la Real Audiencia por el terremoto de 1647

- Terremoto 8 de Julio de 1730:

Terremoto ocurrido al norte de Valparaíso, de magnitud 8,7 en la escala de Richter, el cual probablemente es el mayor registrado en esta región (Kausel, 1986). El terremoto provocó una ruptura mucho mayor que otros terremotos ocurridos en esta zona, estimada en 600 km (SHOA, N.D.b), causando estragos entre Santiago y La Serena. Luego, se generó un tsunami que afectó alrededor de 1.000 kilómetros de costa, entre La Serena y Valdivia (SHOA, N.D.b). Por primera vez en su historia, Valparaíso fue severamente dañado, en particular la parte baja del sector El Almendral, el cual quedó completamente inundado por las olas, llegando éstas hasta el altar mayor de la Iglesia La Merced (Kausel, 1986). En Concepción, se estima una variación máxima del nivel del mar de 16 m (SHOA, N.D.b), destruyéndose 2/3 de la ciudad (Quezada, N.D.). Este tsunami fue de intensidad 4 en la escala de Imamura (1949) según Lagos (2000).

- Terremoto 19 de noviembre de 1822:

En noviembre de 1822, la zona de Valparaíso, volvió a ser afectada por un gran terremoto, cuya magnitud se estima en 8,5 en la escala de Richter (Lomnitz, 1970). El terremoto duró aproximadamente 3 minutos y fue acompañado por un tsunami moderado que generó olas de aproximadamente 4 metros de altura (Kausel, 1986; Siglos Curiosos, 2011), registrándose al menos 3 olas de tsunami (SHOA, N.D.b).

Producto del terremoto, se produjeron daños en toda la quinta región y en Santiago. El tsunami causó daños menores en Valparaíso, arrojando algunas embarcaciones menores a las puertas de la Aduana, localizada 3,5 m sobre el nivel de las altas mareas (SHOA, N.D.b). Sin embargo el Puerto de Quintero quedó completamente destruido. Según Lagos (2000), este tsunami fue de intensidad 2 en la escala de Imamura (1949). La escritora e ilustradora María Graham, que en esa época

visitaba Chile informa de solevantamientos de la costa de 0,9 m en Valparaíso y de 1,2 m en Quintero (Kausel, 1986).

- Terremoto 16 de Agosto de 1906:

Terremoto ocurrido frente a la costa de Valparaíso, cuya magnitud se estima en 8,4 en escala de Richter (NGDC, 2000). Se registraron daños entre Papudo y la desembocadura del Río Rapel con intensidades de hasta IX en la escala de Mercalli. En Valparaíso los daños fueron considerables, especialmente en el sector El Almendral.

Asociado a este terremoto, se reportó un tsunami de pequeña intensidad, con una altura de ola de aproximadamente 1 metro. No se registraron daños en el puerto de Valparaíso (Kausel, 1986). Sin embargo, hubo variaciones del nivel del mar en Hawaii, Japón e islas Marquesas, donde produjo daños a una iglesia (SHOA, N.D.b).

De acuerdo con Brito (2009), en San Antonio hubo desplazamientos de laderas de cerro quedando sepultada una iglesia, además de muertes y damnificados. El relato del periódico Los Tiempos de San Antonio, del 1 de septiembre de 1906 (20 días después del terremoto), describe lo siguiente: “Destruído y revuelto casi en su totalidad el material y útiles de nuestra imprenta, por los tremendos sacudones del 16 del recién pasado mes de agosto, por lo que sale hoy y nos es dada continuar, siquiera a medias, nuestra interrumpida tarea”. (Brito, 2009). De acuerdo con Lagos (2000), este tsunami fue de intensidad 0 en la escala de Imamura (1949).

En cuanto a las variaciones en la topografía, se registran solevantamientos de 0,4 metros en Pichilemu y Llico, y de 0,8 metros en Quintero y Zapallar. En Valparaíso el solevantamiento fue de 0,6 metros.

- Terremoto 10 de Noviembre de 1922:

Este terremoto, con epicentro en la zona norte de Chile, cerca de Vallenar en la región de Atacama, tuvo una magnitud estimada de 8,5 en escala de Richter (ONEMI, 2010). El sismo afectó la zona entre Antofagasta y Santiago, y desde las islas San Félix y San Ambrosio, hasta Argentina, registrándose 880 persona fallecidas (ONEMI, 2010).

A pesar de que el epicentro se encuentra en tierra, se generó un tsunami que arribó inmediatamente después del sismo a la costa entre Huasco y Caldera (SHOA, N.D.b), aumentando gradualmente el nivel del mar en esa zona con período de olas de 15 a 20 minutos (SHOA, N.D.b). En Caldera se registraron alturas de hasta 7 metros sobre el nivel de marea alta, y en Chañaral, de hasta 9 metros. El tsunami también arribó a Coquimbo, donde se alcanzó una ola con altura de 7 metros sobre el nivel medio del mar. El tsunami fue registrado en toda la cuenca del Pacífico (SHOA, N.D.b). De acuerdo a Lagos (2000), este tsunami fue de intensidad 3.

- Terremoto del 3 de Marzo de 1985:

El terremoto del 3 de marzo de 1985 corresponde al último sismo de gran magnitud con epicentro frente a las costas de la V región entre Algarrobo y Valparaíso (33,24° S; 71,85° W). Sin embargo, su magnitud fue menor que los eventos anteriores (7,8 en escala de Richter). El sismo fue acompañado de un pequeño tsunami registrado por el Mareógrafo de Valparaíso. Este registro midió un aumento del nivel del mar de 0,2 metros y una amplitud máxima de 1,15 metros (Kausel, 1986). Se registró también una amplitud máxima de 0,55 metros en Coquimbo, 1,82 metros en Talcahuano, 0,5 metros en Arica, y Caldera, mientras que en Antofagasta e Iquique la amplitud observada fue menor a 0,3 metros (Kausel, 1986). Por entrevistas a testigos, se estima que alcanzó 2 metros en Quintay, 1,5 metros en Algarrobo, 2 a 3 metros en Cartagena, y 3 a 4 metros en San Antonio (Kausel, 1986). A demás se registraron pequeñas variaciones del nivel del mar en Ecuador, Hawaii, Japón y Alaska (Kausel, 1986).

De acuerdo con el Plan Regulador Comunal (PRC) de San Antonio (IMSA, 2006), las deformaciones del fondo marino produjeron en San Antonio un pequeño tsunami con un aumento inicial de 0,2 metros alcanzando en la costa alturas de ola de 3 a 4 metros. La cota de inundación observada no superó la curva de nivel topográfico de 10 metros en toda el área del Puerto de San Antonio, alcanzando niveles máximos en el sector de la playa de Lollole con 6 a 7 metros sobre el nivel medio del mar (IMSA, 2006). De acuerdo con los antecedentes, este tsunami fue de intensidad 1 en la escala de Imamura (1949).

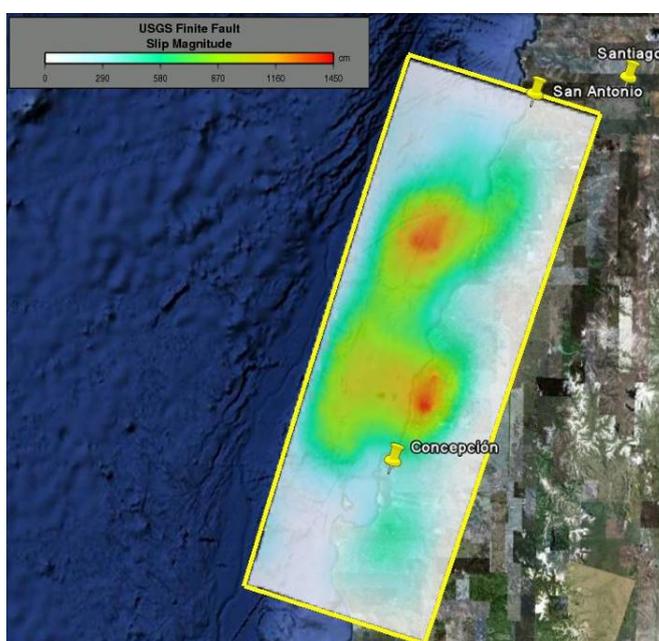
Los sollevamientos de la costa fueron apreciables en la zona de estudio. En Algarrobo se comprobó un sollevamiento de 0,3 metros, en Rapel los pescadores estimaron el sollevamiento de 20 a 30 centímetros. Se observan también recuperaciones de las deformaciones en ciertas zonas semanas después, y otras que subsisten como en algarrobo y San Antonio (Kausel, 1986).



Figura 7: Destrucción del Puerto de San Antonio en 1985  
Fuente: <http://www.angelfire.com/nt/terremotosdeChile2/>

- Terremoto 27 de Febrero de 2010:

El 27 de Febrero de 2010, un terremoto de magnitud 8,8 en la escala de Richter ocurrió en la zona centro-sur de Chile en el mar frente a la costa de la localidad de Cobquecura. Su epicentro se localizó en las coordenadas 35,9°S 72,72°W a una profundidad aproximada de 35 kilómetros (USGS, 2010). La zona de ruptura fue de 550 kilómetros de largo por más de 100 kilómetros de ancho, según la proyección del modelo de falla basado en la inversión de ondas sísmicas (USGS, 2010), la cual abarca desde el sur de Concepción hasta poco más al norte de San Antonio, como se observa en la Figura 8. Los efectos del terremoto se observaron desde Valparaíso hasta Temuco (V a IX regiones). Además, producto de la ruptura causada por el terremoto, se generó un tsunami destructivo que afectó una porción significativa de la costa chilena, desde la V a la VIII región.



**Figura 8: Imagen de Google Earth y plano de falla estimado por Hayes.  
Fuente: USGS, 2010.**

Al menos 524 personas fallecieron producto del terremoto y tsunami (Ministerio del Interior, 2011a) y cerca de 12.000 personas resultaron lesionadas. El terremoto dañó 5 ciudades con más de 100.000 habitantes, 45 ciudades de más de 5.000 habitantes, 900 pueblos y comunidades rurales y costeras, resultando más de 200.000 casas destruidas o seriamente dañadas (Ministerio del Interior, 2011b). Además, más de 4.000 colegios y 40 hospitales resultaron severamente dañados, quedando 17 de estos últimos inutilizables (Ministerio del Interior, 2011b). La infraestructura pública también sufrió daños, especialmente kilómetros de carreteras que resultaron dañados o destruidos entre Valparaíso y Temuco (GEER, 2010). Hubo cortes de energía, agua y telecomunicaciones, además del cierre de los aeropuertos de Santiago y Concepción.

En cuanto a los fenómenos de subsidencia y solevantamiento, se observó un patrón variable a lo largo de la zona de ruptura (GEER, 2010). Al sur de la zona de ruptura, como por ejemplo en la Isla

Santa María y en Lebu, se observó un solevantamiento de aproximadamente 2 metros. En la zona central de la zona de ruptura, se observó subsidencia costera entre Constitución y Bucalemu. La costa entre Pichilemu y Valparaíso, experimentó levantamientos y subsidencias despreciables (GEER, 2010). En Farías et al (2010), se presentan valores de desplazamientos verticales ocurridos por el terremoto los cuales varían entre 1 y 2,5 metros, evidentes a lo largo de aproximadamente 500 kilómetros de costa, identificando el mayor solevantamiento en la península de Arauco (2,5 metros).

Es importante destacar que las áreas que sufrieron subsidencia fueron expuestas a mayores cotas de inundación (*runup*) y erosión, sufriendo mayores daños, mientras que las áreas que sufrieron solevantamientos significativos, experimentaron daños relativamente menores. En algunos casos, como Arauco y Pichilemu, las dunas fueron protección suficiente frente a las olas de tsunami. En otros, como Concepción y Dichato, el daño se debió tanto al terremoto como al posterior tsunami (GEER, 2010).



**Figura 9: Evidencia de solevantamiento en rocas habitadas por organismos intermareales ahora secos en Lebu, VIII región. Fuente: GEER, 2010.**



**Figura 10: Inundación por tsunami en Dichato. Fuente: Fotografía tomada por O. Rojas, FFAA.**

De acuerdo con datos del NGDC<sup>2</sup> obtenidos en una expedición posterior al tsunami, en Talcahuano se observó una *runup* máximo de 8 metros a 159 metros de la línea de costa, y alturas de ola de 4 a 6 metros, mientras que en Dichato, se observó un *runup* máximo de 10,5 metros a 857 metros de la línea de costa, y alturas de ola de hasta 9 metros. En Constitución, se observó un *runup* máximo de 29 metros a 117,7 metros de la línea de costa, y alturas de ola de entre 2,5 y 11 metros, en Pichilemu, 6,2 m de máximo *runup* y alturas de 5 metros. En San Antonio y Valparaíso se registraron alturas de agua entre 0,75 y 2,5 m (GEER, 2010). La inundación producida se extendió casi 1 kilómetro tierra adentro en algunas áreas y también se propagó mucho más aguas arriba en desembocaduras de ríos, como en Maule, Mataquito y el Maipo. El tsunami se propagó a través del océano Pacífico, y golpeó a la Isla Robinson Crusoe, ubicada en el Archipiélago Juan Fernández, a aproximadamente 600 km de la costa de Chile, donde se registraron alturas de agua de hasta 16 metros (NGDC, 2010). Una completa lista de mediciones de cota de inundación y alturas de ola registradas en visitas a terreno posteriores al tsunami en las zonas afectadas se presenta en Fritz et al. (2011), la siguiente figura ilustra las mediciones obtenidas a lo largo de la zona estudiada.

---

<sup>2</sup> National Geophysical Data Center, from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Estados Unidos

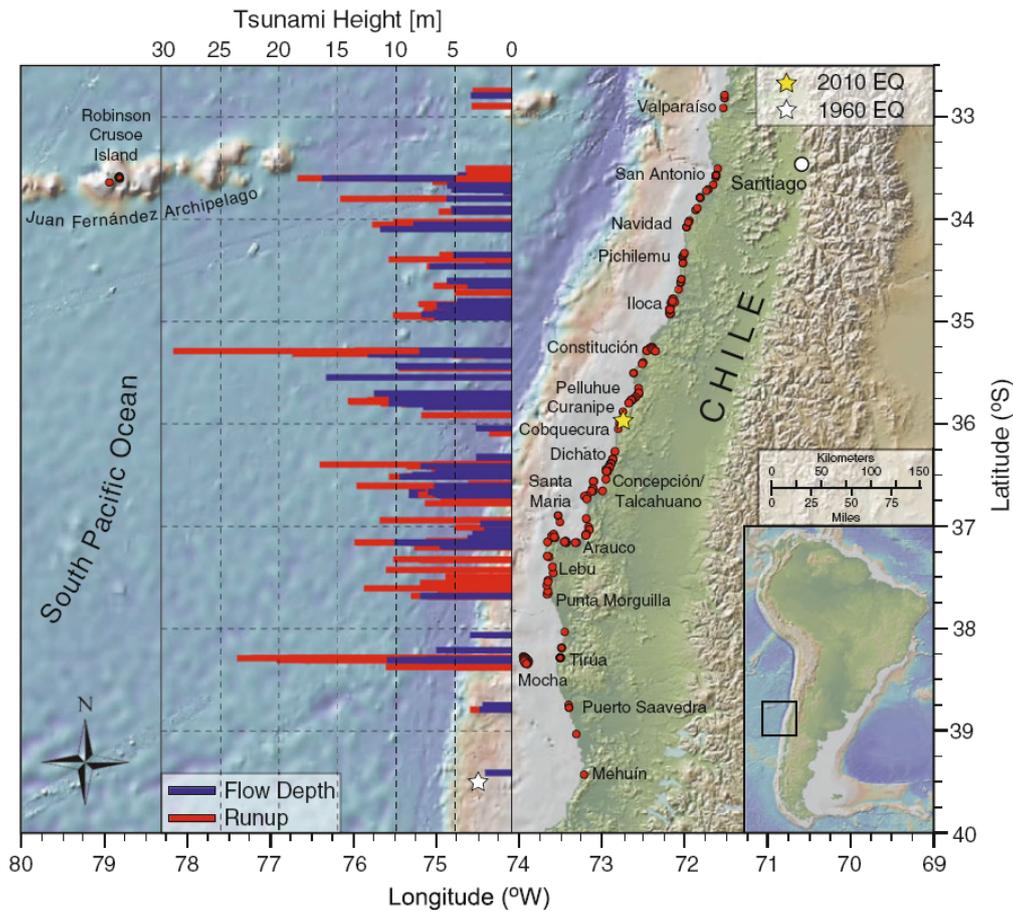


Figura 11: Alturas de ola y cotas de inundación medidas a lo largo de 800 kilómetros de costas por el equipo de Fritz et al. (2011). Fuente: Fritz et al. (2011)

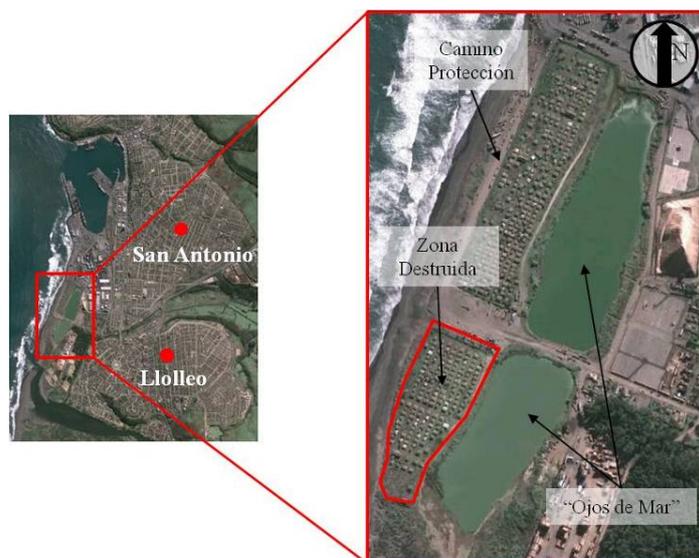
- Efectos del tsunami en San Antonio:

En la zona de interés de este estudio, comuna de San Antonio, se registraron *runups* entre 2 y 4 metros, mientras que en Lolleo se registraron alturas de inundación de hasta 5 metros (NGDC, 2010). Producto del tsunami fallecieron 5 personas (Brito, 2009), se observaron daños menores en la zona del Puerto de San Antonio, y daños significativos en la zona baja de Lolleo y en la desembocadura del río Maipo.

En el puerto, debido a la rápida salida de los buques atracados para escapar del tsunami, se perdió una de las grúas de Puerto Panul, en tanto las 15 embarcaciones regresaron al puerto luego del tsunami sin mayores contratiempos (El Líder, 28 Febrero 2010).

El sector Lagunas de Lolleo, conocido como “Ojos de Mar de Lolleo”, fue el más afectado por el tsunami. En este lugar existen dos lagunas formadas por antiguos meandros en la desembocadura del Río Maipo (Lagunas norte y sur), separadas por un camino construido en 1940. Entre estas lagunas y la playa existían dos poblaciones de aproximadamente 220 cabañas en cada sector, ubicadas a no más de 50 m de la línea de más alta marea (Brito, 2010).

El sector norte de la población fue impactado por el tsunami solamente en su extremo sur. Este sector fue protegido por un camino construido en la década de 1990 entre la laguna y la playa sobre un relleno de escombros, rocas y arena de aproximadamente 20 m de ancho y 3 metros de altura (ver Figura 12). Sin embargo, el tsunami ingresó e inundó en su totalidad a la población sur, conocida como camping Lolloe, la cual se encontraba protegida por dunas de entre 1 y 2 metros (Brito, 2010).



**Figura 12: Sector Lagunas de Lolloe, afectado por el Tsunami 2010.**  
Fuente: Imagen de Google Earth anterior al 27 de Febrero de 2010

El sector inundado por el tsunami se encuentra bajo el nivel del mar. De acuerdo con observaciones de los pobladores, la altura de la primera ola fue de entre 2,5 y 3 metros, la que ingresó desde el suroeste por una depresión de la barra de dunas (SERNAGEOMIN, 2010). Observaciones posteriores indican que el agua penetró unos 500 metros hasta la Av. La Playa, destrozando totalmente la mayoría de las viviendas y arrastrándolas junto a vehículos y enceres. La ola siguió avanzando hacia el sector norte siendo detenida en parte por el camino construido por el puerto, inundando levemente el área (Brito, 2010). En las siguientes imágenes, se muestran los daños ocurridos en el sector Ojos de Mar y también como se encuentra en la actualidad este sector.



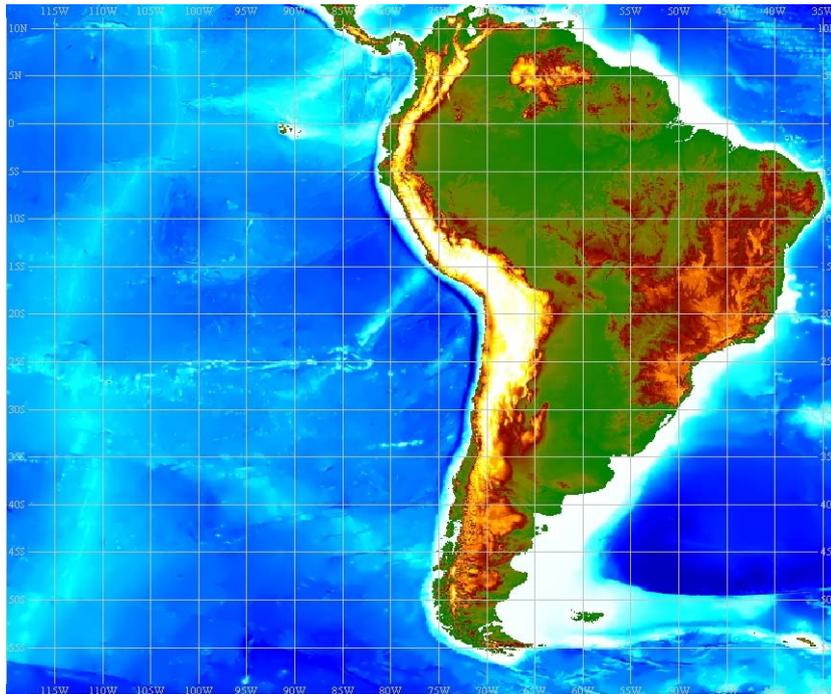
**Figura 13: Daños Tsunami 27 Febrero 2010 en Laguna de Lolloe Sur (Izquierda) Estado al 31 de Enero 2011 (Derecha)**

En la zona de la desembocadura del río Maipo, pescadores del lugar indican que al menos tres olas de tsunami ingresaron por el río, alcanzando el sector del puente Lo Gallardo (2,2 kilómetros aguas arriba de la desembocadura), la primera de 2 metros de altura arribó aproximadamente a las 04:20 horas del 27 de febrero, una segunda de entre 1 y 1,5 metros fue reportada a las 06:20 horas y una de menor amplitud cerca del medio día.

Se observó que la primera ola arrasó con la barra de arena formada en la desembocadura del río Maipo, y continuó dañando las viviendas del sector de Tejas Verdes (Brito, 2010). En el sector Caleta Boca del río Maipo, el muelle flotante fue arrastrado unos 50 metros junto a algunos botes socavando las ramplas del sector.

### **3.1.4 Variables Topo-batimétricas**

La propagación regional de tsunami desde la zona de ruptura hasta la costa requiere de datos batimétricos de una resolución mínima de 1minx1min (1.85 km x 1.85 km). Esta información ha sido obtenida desde el sitio web <http://www.gebco.net> de GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans). Esta información se muestra en la Figura 14.



**Figura 14: Muestra de la batimetría y topografía obtenida de GEBCO**

Para la propagación local del tsunami en la bahía en la que se encuentra la zona de estudio, se ha recopilado información batimétrica del fondo marino desde las cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). Para este estudio se han consultado las cartas náuticas número 5000 (Bahía de Valparaíso hasta Golfo de Arauco), 5114 (aproximación Puerto San Antonio) y 5115 (Puerto San Antonio). Adicionalmente es necesario obtener la batimetría de la desembocadura del río Maipo.

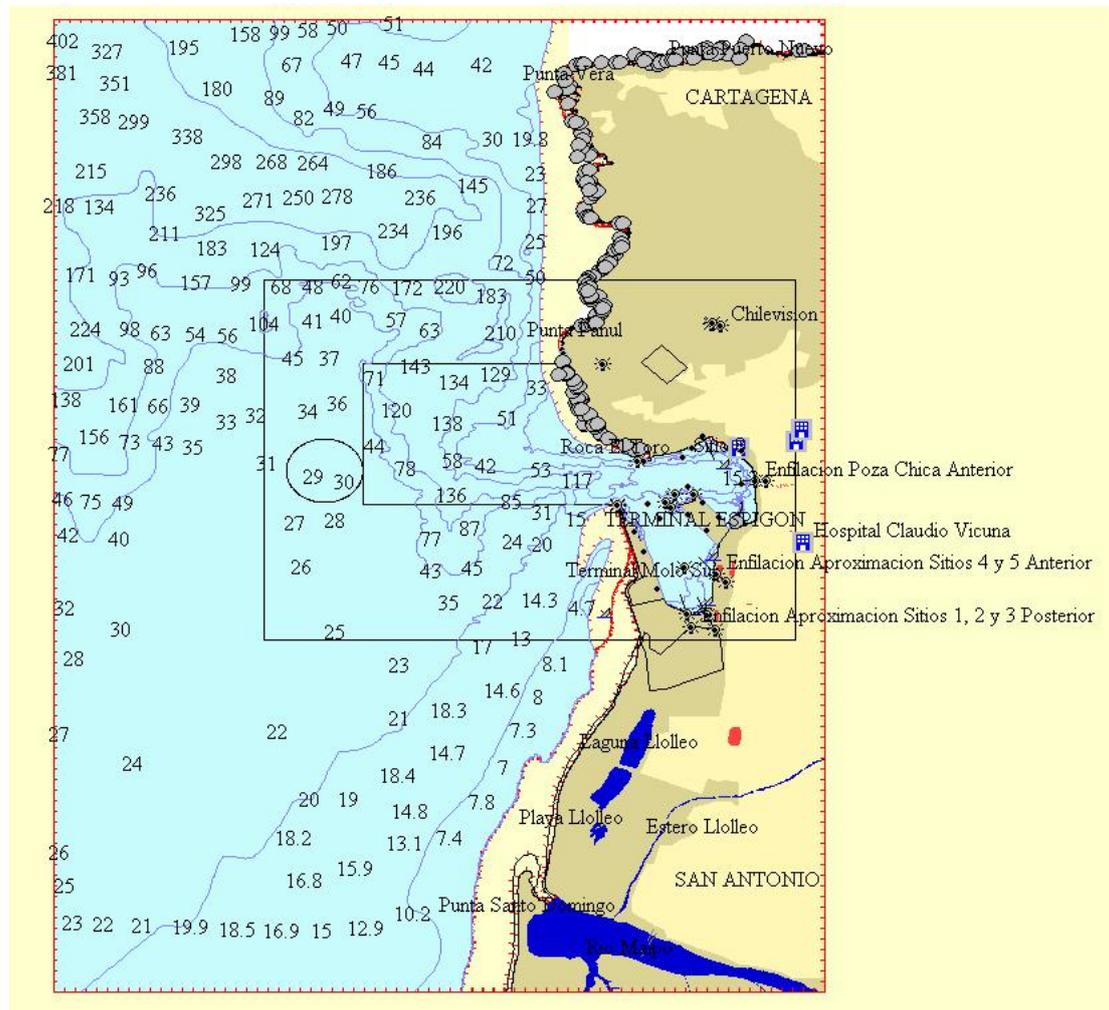


Figura 15: Muestra carta náutica número 5154 SHOA. Fuente: SHOA

### 3.1.5 Variables Oceanográficas

La estimación de mapas de peligro de tsunami requiere como punto de partida el conocer las variaciones normales del nivel del mar en el sitio de estudio. Para ello, es necesario contar con información acerca del rango de marea, la que debe considerar fluctuaciones debidas a marea astronómica y meteorológica.

#### - Oleaje:

De acuerdo con la bibliografía, el régimen de olas en San Antonio está conformado por dos tipos de olas: olas de origen lejano (swell) y olas locales generadas por el viento local.

El oleaje reinante en San Antonio tiene una dirección SurOeste, debido al swell, de tipo permanente, que proviene de zonas lejanas del Pacífico Sur.

En invierno, centros de bajas presiones avanzan desde el sur hasta latitudes cercanas a San Antonio generando vientos de gran intensidad, los cuales establecen el oleaje dominante. En estos temporales, la dirección general del oleaje es Noroeste (NW) o Nor-noroeste (NNW) (EPSA, 1998).

- Mareas:

Los antecedentes bibliográficos e históricos indican que la marea en San Antonio presenta un régimen de marea astronómica mixto semidiurno, es decir con ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares durante el día. De acuerdo con el SHOA, el nivel de reducción de sondas (NRS) en San Antonio es 0,81 metros bajo el nivel medio del mar (NMM), y la marea astronómica tiene una amplitud media de 0,9 m y un rango de sicigias de 1,71 metros.

Con la finalidad de conocer los principales parámetros de la marea en San Antonio, se ha obtenido información relativa a las variaciones de marea del modelo global de inversión de mareas TPXO6.2<sup>3</sup>. Este modelo entrega información acerca de los componentes armónicos de la marea en una coordenada específica, las cuales sirven para generar una marea sintética, o predicción de la serie de tiempo del nivel del mar, durante un periodo de tiempo específico.

TPXO6.2 es un modelo de alta resolución desarrollado por la Universidad Estatal de Oregon. El modelo asimila información de altimetría de los satélites TOPEX/Poseidon y TOPEX Tandem, e información de mareógrafos disponibles a nivel mundial. La información es entregada tanto en series de tiempo de elevación de la superficie del mar (referidas al Nivel Medio del Mar), como para las componentes armónicas de marea considerando ocho componentes primarias (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), dos de periodo largo (Mf, Mm) y tres no lineales (M4, MS4, MN4), utilizando una grilla global de resolución  $1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$ . TPXO6.2 es uno de los modelos globales de mareas más precisos, especialmente para altas latitudes, debido a la asimilación de información de mareógrafos y a que utiliza información batimétrica reciente de la Antártica y de Groenlandia. La metodología utilizada por el modelo se detalla en Egbert y Erofeeva (2002).

Para extraer la información proporcionada por el modelo y visualizar los resultados, se utiliza la interfaz gráfica "TMD" (Tide Model Driver). La interfaz permite obtener los coeficientes asociados a las componentes armónicas de marea en locaciones identificadas por sus coordenadas de latitud y longitud. El modelo también permite realizar predicciones de altura de mareas y de corrientes mareales.

Para el análisis de los rangos de marea en este estudio, se consideraran los componentes armónicos disponibles en la Tabla 3.

---

<sup>3</sup> [http://www.esr.org/polar\\_tide\\_models/Model\\_TPXO62.html](http://www.esr.org/polar_tide_models/Model_TPXO62.html)

Nombre	Periodo [hr]
M2	12.4206
S2	12.0000
N2	12.6584
K2	11.9673
K1	23.9344
O1	25.8194
P1	24.0659
Q1	26.8684
Mf	327.85
MM	661.31

Tabla 3: Componentes armónicos de marea

Se obtuvieron las características de los componentes armónicos en las coordenadas 33.59°S; 71.63°W, punto localizado frente al Puerto de San Antonio. A partir de éstas, se generó una serie de mareas sintética de 31 días a intervalos de 10 minutos. Las correspondientes amplitudes y fases de las componentes armónicas se presentan en la Tabla 4. La serie armónica generada se muestra en la Figura 16, en la cual el NMM corresponde al nivel histórico definido por el SHOA (0.81 m).

En la Figura 16, se aprecia la existencia de dos mareas altas y dos mareas bajas diariamente, lo que implica la existencia de componentes semidiurnas, de aproximadamente 12 horas de periodo. Se observa también una diferencia entre la altura alcanzada por las pleas y bajas de la mañana y las de la tarde, indicando la influencia de las componentes diurnas. Finalmente también se observa una modulación de periodo más largo, habiendo mayores amplitudes cada 15 días, por lo que la componente semimensual también estaría presente.

A partir de la serie generada se han calculado que la máxima bajamar alcanza 0,08 m y la máxima pleamar, 1,82 m sobre el NMM. Con esto, el rango máximo de mareas es de 1,74 m, consistente con lo estipulado por el SHOA.

Componente	Amplitud [m]	Fase [rad]
M2	0.4294	62.8937
S2	0.1435	84.9875
N2	0.0953	31.9947
K2	0.0434	77.1423
K1	0.1521	40.2932
O1	0.1024	355.2266
P1	0.0471	35.4941
Q1	0.0204	333.5805
Mf	0.0055	129.6979
MM	0.0011	109.1997

Tabla 4: Características componentes armónicos de marea

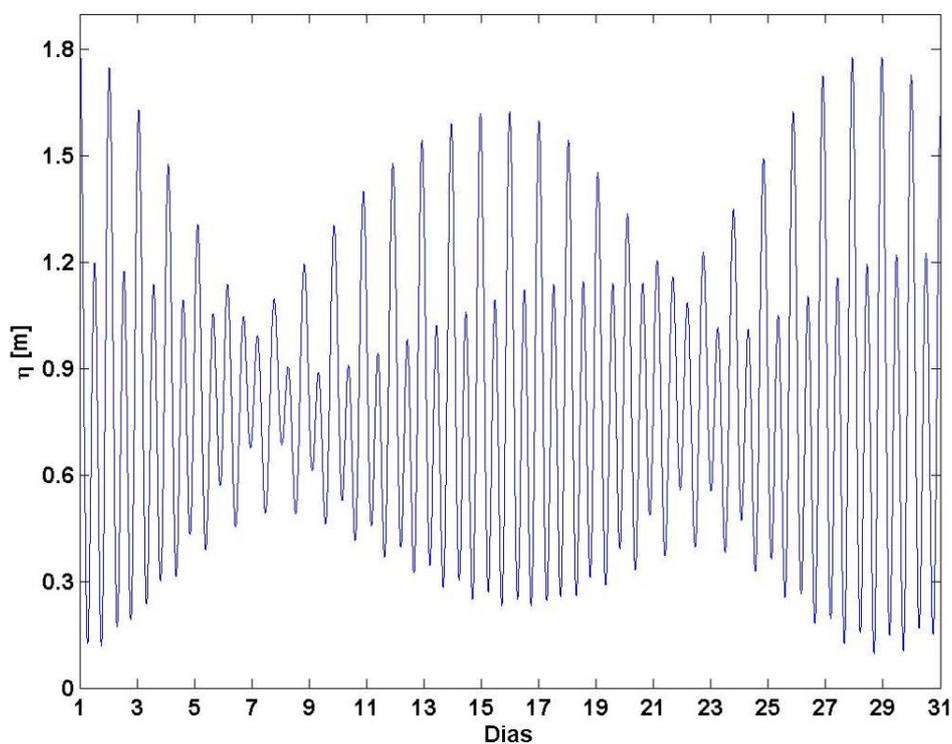


Figura 16: Serie sintética del nivel del mar en San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia con datos del modelo TPX06.2

Adicionalmente se estudiarán las mediciones de nivel del mar del mareógrafo ubicado en el puerto de San Antonio con el fin de validar la predicción del modelo y de estudiar los efectos de la marea meteorológica en el nivel del mar. A partir de estos datos se establecerá el máximo nivel del mar a utilizar en las modelaciones de tsunami y de inundación.

## 3.2 INUNDACIÓN

También llamadas crecidas, se refiere al proceso natural en que el agua cubre terrenos planos o depresiones antes secos, principalmente por precipitaciones intensas, desbordamiento de ríos, marejadas y/o maremotos, fusión rápida de nieve o hielo, rompimiento de diques o represas, o la conjunción de dos o más de estos fenómenos.

Las causas de las inundaciones pueden ser naturales y/o antropogénicas. Entre las naturales se encuentran las ligadas a precipitaciones torrenciales, con sus consecuentes desbordes de ríos (inundaciones fluviales), mientras que entre las antropogénicas se encuentran la alteración del régimen hidrológico, mediante obras de retención y/o desvío, y el aumento de zonas impermeables.

Las inundaciones fluviales son consecuencia de procesos climatológicos asociados a la precipitación o deshielos, e influenciados por la geología, la morfología, el suelo y la vegetación de la cuenca (UN/ECE, 2000). Éstas consisten en un aumento rápido del nivel de agua en el cauce, provocando el desborde y la inundación de zonas antes secas, ocupando la llanura de inundación, franja o superficie de terreno relativamente suave, adyacente al cauce. Cuando la llanura de inundación es utilizada por una comunidad para distintas actividades, la crecida puede provocar grandes daños, dependiendo de la rapidez con la que el caudal aumente su magnitud y el uso adoptado por la comunidad.

### 3.2.1 Información climatológica de San Antonio

La comuna de San Antonio se encuentra en una zona de clima templado subtropical mediterráneo con estación estival seca. En la costa, la precipitación media anual es de 450 mm, concentradas principalmente en los meses de mayo, junio y julio (González, 2005). Las temperaturas medias son del orden de 12º C en invierno y 18º C en verano.

### 3.2.2 Información geográfica y física San Antonio

La topografía de la zona es esencial para definir zonas propensas a inundaciones y elaborar modelos para la estimación de inundaciones y sus efectos. Los caudales de ríos y esteros sin registros fluviométricos deben ser estimados mediante un modelo simple o complejo, construido a partir de las características geométricas de la subcuenca que aportan al cauce, entre otros factores. Para este propósito se dispone de Modelos de Elevación Digital (MEDs) de la zona de estudio. Estos MEDs tienen una resolución aproximada de 30 x 30 m, y son proporcionados en conjunto por la NASA y el United States Geological Service (USGS) a través del sitio web Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC, <https://lpdaac.usgs.gov/>). Adicionalmente se cuenta con información sobre la hidrografía de la zona proporcionada por la Ilustre

Municipalidad de San Antonio (IMSA). La Figura 17 presenta el MED de la zona de estudio en conjunto con la hidrografía de la comuna.

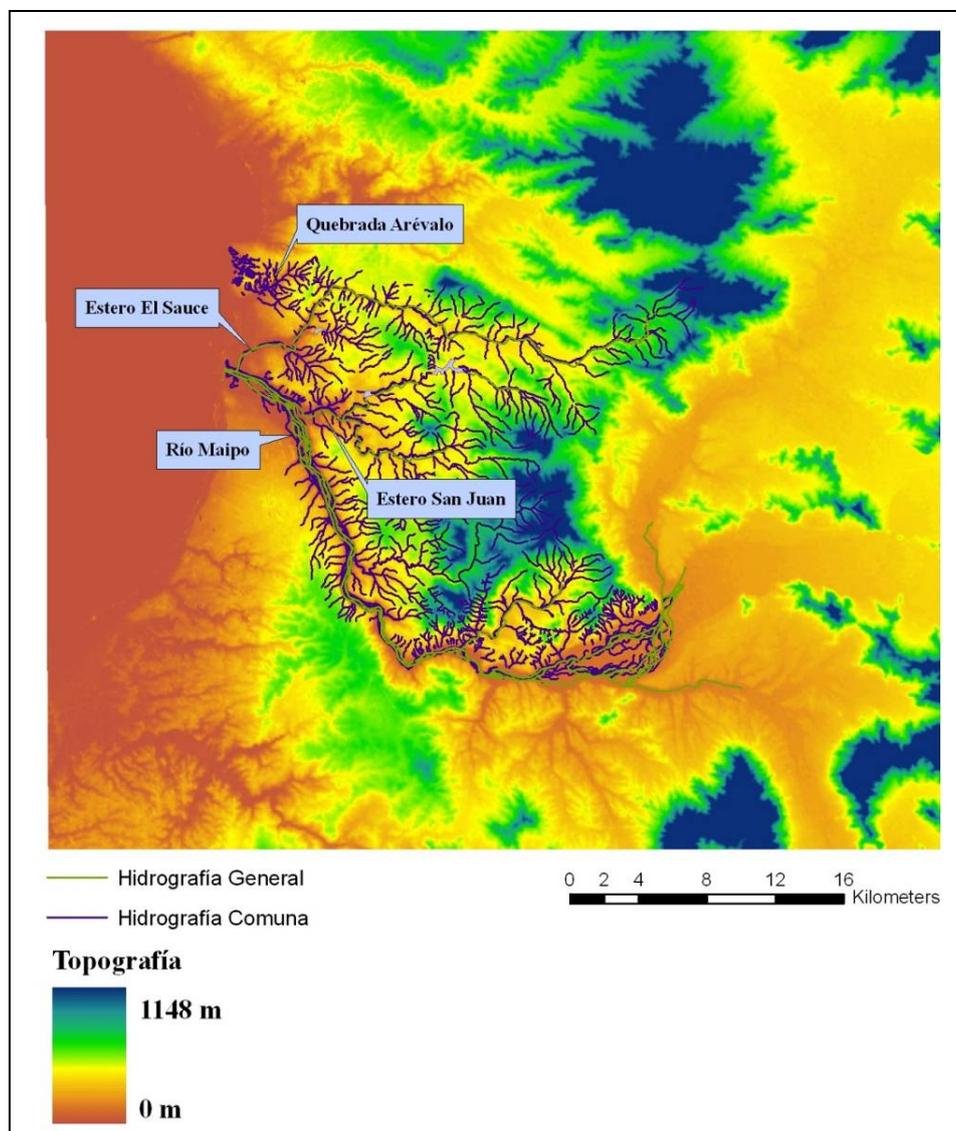


Figura 17: Modelo de Elevación Digital Zona de Estudio e Hidrografía.  
Fuente: Elaboración propia con datos de LP DAAC e IMSA.

### 3.2.3 Hidrografía Comuna San Antonio

A partir de información de imágenes satelitales, instrumentos de planificación territorial (PRC), el Plan Maestro Aguas Lluvias, visitas a terreno, registros históricos de inundación y otros estudios previos, se han determinado los cauces, esteros y quebradas relevantes para la localidad en estudio.

Los esteros San Juan y el estero El Sauce, conocido también como San Pedro, son los más relevantes en la comuna de San Antonio. El estero San Juan, ubicado en la parte sur de la comuna,

descarga sus aguas al río Maipo en la zona de Lo Gallardo. Este estero tiene mayor influencia en las pequeñas localidades de San Juan y Lo Gallardo. El estero El Sauce corresponde al principal cauce que cruza por el medio del área urbana de San Antonio, delimitando las zonas de Lolloo y Barrancas. Este estero también descarga sus aguas al río Maipo, aproximadamente a 1 km de la desembocadura al mar, lo que provoca una fuerte influencia de las mareas en el régimen hidráulico del estero (DOH, 2003). Además, el cauce del estero ha sido fuertemente intervenido por el crecimiento urbano, por lo que varias inundaciones han afectado a parte de la ciudad.

El estero o quebrada Arévalo y su tributaria, Huallipén, constituyen el tercer cauce importante de la zona urbana de San Antonio. Esta quebrada atraviesa por la mitad del área urbana de San Antonio, dónde ha sido completamente abovedada, en un tramo de aproximadamente 400 m de longitud hasta su desembocadura al mar.

Por último, a pesar de no pertenecer a la red de drenaje propia de la comuna, el río Maipo constituye un importante cauce para la comuna de San Antonio al encontrarse en el límite sur del área de estudio. En su ribera norte se encuentran las localidades de San Juan, Lo Gallardo y Lolloo, zonas que han sido afectadas por inundaciones producto de aumentos en su caudal. El comportamiento hidráulico del río Maipo, especialmente ante una crecida, influye en los Esteros San Juan y El Sauce, ya que éstos desembocan en él.

A continuación se presenta una breve descripción cualitativa de las cuencas más relevantes de la comuna. En la Figura 18 se presenta la ubicación de los cauces más importantes de la comuna sobre una imagen satelital de la zona de estudio obtenida desde Google Earth.

### ***3.2.3.1 Descripción de Cuencas***

#### ***- Cuenca Río Maipo***

La cuenca hidrográfica del Río Maipo es la más importante de la zona central de Chile, la cual abarca la totalidad de la Región Metropolitana y parte de la V y VI regiones. El río nace en la cordillera de Los Andes y desemboca en el Océano Pacífico, entre Lolloo y Santo Domingo, separando las comunas de San Antonio y Santo Domingo. El área total de la cuenca es de aproximadamente 15.260 km<sup>2</sup> (DOH, 2003), y se extiende entre los 32°55' y 34°15' latitud sur y los 69°55'-71°33' longitud oeste, la longitud del río Maipo es de 250 km (Cade-Idepe, 2004), siendo la principal fuente de agua de la Región Metropolitana.

En la cuenca, se distinguen dos zonas, una cordillerana y precordillerana de régimen nival y nivopluvial, y otra zona baja de régimen mayoritariamente pluvial (DOH, 2003). Las crecidas más importantes se registran en la época invernal, entre Mayo y Agosto. A lo largo del río, existen varias estaciones fluviométricas que permiten registrar el caudal del río. La estación más cercana a

la zona de estudio, cuyos datos serán utilizados, es la estación Maipo en Cabimbao (DGA N° 05748001-7).

A lo largo de aproximadamente 5 km desde la desembocadura hacia aguas arriba, la ribera norte del río coincide con el límite sur de la zona de estudio, donde se encuentran pequeñas localidades urbanas. Es en este tramo donde diversos cauces descargan sus aguas al río, como el Estero el Sauce y el Estero San Juan, en donde existen antecedentes de inundación.

En la desembocadura misma del Maipo, el cauce se ensancha alcanzando un ancho de hasta 200 m (sector Tejas Verdes). A partir de la Punta de Santo Domingo se desarrolla una barrera litoral que desvía el estuario hacia el norte y que tiende a romperse en casos de crecidas (Arriagada, 2005).

- Estero San Juan

La cuenca del estero San Juan se ubica en el extremo sur este de la comuna de San Antonio. En un primer tramo, aguas arriba del Embalse San Juan, el estero se llama Estero Leyda, aguas abajo del embalse, en su tramo más bajo, se llama Estero San Juan. Su cuenca tiene un área de 116 km<sup>2</sup> (DOH, 2003) y descarga sus aguas en el río Maipo, a 4 kilómetros aguas arriba de la desembocadura de éste al mar, en la localidad de San Juan. El estero influye en las localidades de San Juan y Lo Gallardo, y la zona de su desembocadura se encuentra influenciada por las crecidas del río Maipo, presentándose problemas de inundación en este sector de confluencia.

- Estero El Sauce o San Pedro

La cuenca del estero El Sauce se ubica en la zona central de la comuna de San Antonio, pasando por el centro urbano de Malvilla, y en su zona baja separando las localidades de Lolloe y Barrancas. El estero tiene su origen en el sector de Marquesa, cercano a la localidad de Leyda, donde se conoce como estero Marquesa. La cuenca tiene un área de aproximadamente 120 km<sup>2</sup> (DOH, 2003). Se reconocen como afluentes de éste la quebrada El Tranque y la micro cuenca El Canelo (González, 2005). El estero El Sauce drena una superficie mayoritariamente rural, sin embargo, en el último tramo recibe las aguas lluvias provenientes de las zonas urbanas de Barrancas y Lolloe. Finalmente, descarga sus aguas en el río Maipo aproximadamente a 800 metros aguas arriba de la desembocadura del río en el mar en el área de Tejas Verdes. En este tramo se presenta una baja pendiente longitudinal y su capacidad de evacuación está influenciada por las mareas y las crecidas del río Maipo (MOP, 1991), dónde se producen inundaciones.

- Estero Arévalo

La cuenca del estero Arévalo se encuentra en la zona norte de la ciudad de San Antonio. El estero nace al oriente de la comuna y drena un área de aproximadamente 6 km<sup>2</sup> (DOH, 2003). Entre sus afluentes se encuentran las quebradas Huallipén, Bruselas, Holanda, Víctor Domingo Silva y Los Perales.

El último tramo del estero, de 1500 m, atraviesa la zona urbana central de la ciudad, siendo canalizado unos 510 m y abovedado los últimos 1000 m aproximadamente, pasando bajo la zona comercial de San Antonio (González, 2005). Finalmente, el estero descarga sus aguas al mar en el sector del Puerto de San Antonio.

- Quebrada Huallipén

Esta quebrada se ubica al interior de la comuna de San Antonio. Tiene su nacimiento en la parte sur oriente de Placilla y avanza hacia el norponiente hasta descargar sus aguas en el estero Arévalo. Sus últimos 400 m. de cauce se encuentran abovedados y pasan bajo el centro urbano de San Antonio.

- Quebradas Zona Norte San Antonio

Desde el cerro Centinela, nace un grupo de cuatro quebradas que desaguan hacia el estero Arévalo: quebrada Bruselas, quebrada Holanda, quebrada Víctor Domingo Silva y quebrada Los Perales. Estas cuatro quebradas han sido canalizadas en su tramo final a la altura de la calle José Manuel Balmaceda, dónde luego desembocan en el estero Arévalo

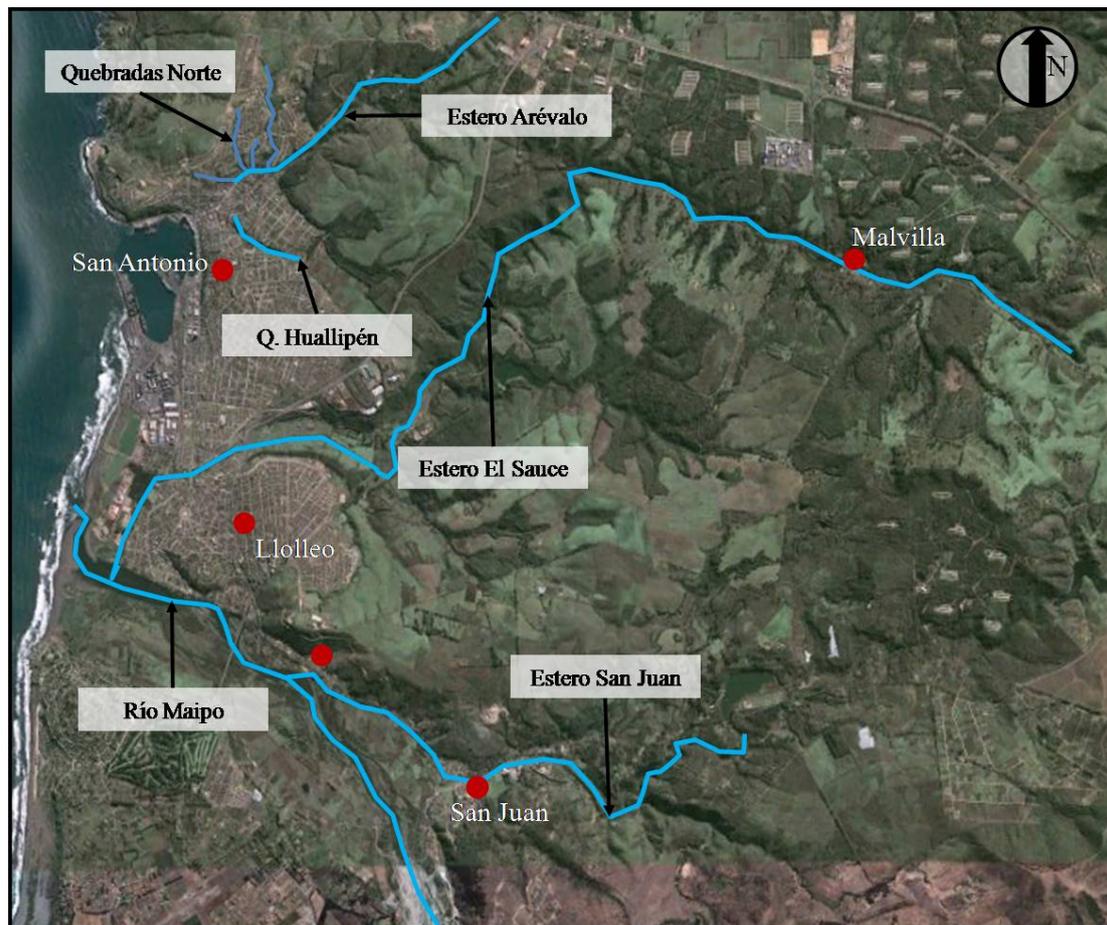


Figura 18: Hidrografía comuna San Antonio sobre imagen satelital de Google Earth

### 3.2.4 Variables Hidrometeorológicas

La ocurrencia de inundaciones y la magnitud y extensión de éstas se evalúan a partir de los caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno en cada uno de los distintos cauces o cursos. La construcción de un modelo de crecidas e inundaciones requiere de registros de variables hidrometeorológicas de interés, en particular de caudales y precipitaciones. Debido a la escasa información pluviométrica en cauces pequeños, como en los esteros San Juan, El Sauce y Arévalo, es necesario también contar con datos pluviométricos para aplicar técnicas de regionalización o modelos lluvias-escorrentía.

Esta información se obtiene a partir de información que está disponible en la Dirección General de Aguas (DGA) y SHOA. Adicionalmente, en el Plan Maestro de Evacuación y Drenajes de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V Región (DOH, 2003) se encuentra gran cantidad de información sobre precipitaciones y sus valores estadísticos asociados como precipitaciones máximas de 1, 2 y 3 días para diferentes periodos de retornos, y también resultados de modelaciones hidrológicas realizadas sobre las cuencas de los esteros más importantes de la zona de estudio. Estos datos sirven como base para las modelaciones a realizar en este estudio.

Dentro de la zona de estudio existen dos estaciones pluviométricas ubicadas en la zona costera: San Antonio Punta Panul, operada por la DGA, y una estación en Santo Domingo operada por DMC. La DGA también dispone de una estación fluviométrica en el río Maipo dentro de la zona de estudio, Maipo en Cabimbao. La Tabla 5 muestra un resumen de las estaciones de medición que serán consultadas en este estudio.

Estación	Tipo	Institución	Datos	Fechas		Ubicación	
				Inicio	Fin	Latitud S	Longitud O
<b>San Antonio, Punta Panul</b>	Pluviométrica	DGA	Precipitaciones	1972	2010	33° 34'	71° 36'
<b>Maipo Cabimbao</b>	Fluviométrica	DGA	Caudales y Calidad	1939	2010	33° 43'	71° 33'

**Tabla 5: Estaciones pluviométricas y fluviométricas de interés para este estudio**  
Fuente: Elaboración Propia, 2010

- Precipitaciones:

De la estación pluviométrica ubicada en Punta Panul (DGA, N° 05530002-K) se han obtenido datos de precipitaciones máximas anuales de 24, 48 y 72 horas de duración entre los años 1971 y 2010. A partir de estos datos se han calculado las precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas (p24, P48 y P72 respectivamente) para distintos periodos de retorno utilizando una distribución de valores extremos de tipo I, o Gumbel, la cual de acuerdo al Plan Maestro (DOH, 2003) es la que mejor se ajusta a los datos de esta estación. Este método define las siguientes ecuaciones en función de periodo de retorno  $Tr$ .

$$F(x) = \exp(-\exp(-a(x-u)))$$

**Ecuación 1: Distribución Acumulada. Valores extremos tipo I**

$$F(x) = \frac{Tr-1}{Tr}$$

**Ecuación 2: Relación Distribución Acumulada y Periodo de Retorno**

Siendo  $a$  y  $u$  parámetros dependientes de la muestra, que en este caso tiene 39 datos, y  $x$  el valor buscado. De acuerdo con Varas y Bois (1998), estos parámetros se calculan como:

$$a = \frac{1.06}{\sigma_x} \quad u = \bar{x} - 0.49\sigma_x$$

**Ecuación 3: Parámetros  $a$  y  $u$ , distribución VEI**

Utilizando estas ecuaciones se han obtenido las siguientes precipitaciones máximas:

Tr (años)	P24 (mm)	P48 (mm)	P72 (mm)
2	54	67	77
5	80	100	116
10	97	121	141
20	113	141	166
50	135	168	197
100	151	188	221

**Tabla 6: Precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas para diferentes periodos de retorno.**  
Fuente: Elaboración propia

Los valores de las precipitaciones máximas anuales de 24, 48 y 72 horas fueron calculados en el Plan Maestro (DOH, 2003) con datos hasta el año 2000, estos valores se muestran en la Tabla 7. La actualización considerando las lluvias hasta el 2010 genera pequeñas diferencias, siendo el máximo aumento de un 7%.

Tr (años)	P24 (mm)	P48 (mm)	P72 (mm)
2	51	63	79
5	75	94	118
10	92	115	144
20	112	140	177
50	128	159	201
100	143	178	225

**Tabla 7: Precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas para diferentes periodos de retorno.**  
Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias San Antonio y Cartagena, V región (DOH, 2003).

- Caudales:

El Plan Maestro (DOH, 2003) establece los caudales máximos anuales para diferentes periodos de retorno asociados a los diferentes cauces de la comuna de San Antonio. Para el río Maipo, debido a la existencia de datos fluviométricos en la estación Maipo en Cabimbao, los caudales se obtuvieron de manera estadística utilizando una distribución del tipo log-Pearson, considerando datos de caudales máximos anuales desde 1939 a 1999 registrados en dicha estación. Además, estos valores fueron corregidos por un factor que representa el aumento del área aportante de la cuenca entre la estación Maipo en Cabimbao y la zona de estudio (desembocadura estero San Juan al río Maipo), ese factor corresponde a 1.036. (DOH, 2003). Estos valores se presentan en la Tabla 8.

Tr (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2	578
5	1.307
10	2.087
20	3.547
50	5.087
100	7.123

**Tabla 8: Caudales máximos para diferentes periodos de retorno en río Maipo, aguas arriba desembocadura estero San Juan. Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V región (DOH, 2003).**

Para los cauces que no registran mediciones de caudal, se cuenta con los caudales asociados a diferentes periodos de retorno proporcionados por el Plan Maestro (DOH, 2003), los cuales fueron simulados con una versión de modelo lluvia-escorrentía SWMM (Rossman, 2009) utilizada por la DOH. En cuencas de área aportante mayor a 10 km<sup>2</sup>, se usó el modelo considerando el método del Soil Conservation Service de Estados Unidos (USSCS) para determinar la escorrentía, el cual se basa en el método del Hidrograma Unitario, utilizando la metodología la Curva Número para calcular la precipitación efectiva. Para cuencas de área menor a 10 km<sup>2</sup>, se utilizó el método racional modificado. Los caudales fueron calculados a la salida de cada cuenca. En la Tabla 9, se muestran los caudales proporcionados por el Plan Maestro.

Tr (años)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)							
	Estero El Sauce	Estero San Juan	Estero Arévalo	Q. Huallipén	Q. Bruselas	Q. Holanda	Q. V.D. Silva	Q. Los Perales
2	25,7	28,3	5,6	1,9	0,87	0,28	0,74	0,97
5	62,8	73,5	8,3	2,7	1,28	0,41	1,08	1,42
10	119,3	150,1	11,6	3,9	1,79	0,58	1,55	2,02
20	164,1	206,7	14,1	4,7	2,19	0,71	1,88	2,46
50	198,8	250,6	16,1	5,4	2,48	0,81	2,14	2,8
100	232,9	293,8	17,9	6,0	2,75	0,9	2,38	3,12

**Tabla 9: Caudales máximos anuales para diferentes periodos de retorno. Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V región (DOH, 2003).**

### 3.2.5 Antecedentes Históricos

La evaluación del peligro por inundación o eventos hidrológicos extremos requiere un conocimiento de los eventos históricos acaecidos en la zona de estudio. En esta sección se revisan los antecedentes históricos relacionados con inundaciones producidas por el desborde de los cauces principales de la zona de estudio. Esta revisión permite estimar la frecuencia, magnitud y alcances de distintos eventos de crecida e inundación en la zona para finalmente validar el o los modelos hidrológicos e hidráulicos a implementar. Adicionalmente, esta actividad permite identificar las zonas que históricamente han sufrido inundaciones. Las fuentes que proporcionan información sobre estos eventos históricos son:

- Plan Maestro de Evacuación y Drenajes de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V Región (DOH, 2003): Este documento contiene una completa revisión de la información en prensa escrita, local y nacional de las inundaciones provocadas por eventos extremos de crecidas en cauces naturales que han afectado a San Antonio. La recopilación de la información de prensa se efectuó para un período que de 50 años (1952 a 2001) y se consultó los diarios y periódicos locales, tales como El Líder, La Proa y Proa Regional, Impacto, Espectador, Progreso y Porteño; además de los diarios Mercurio de Valparaíso y El Mercurio. Las noticias se buscaron considerando las fechas en que ocurrieron magnitudes de lluvias mayores a 50 mm en 24 horas, que corresponden aproximadamente a eventos de período de retorno de 2 años o más.
- Página web diario El Líder de San Antonio: Desde esta página se ha obtenido información de eventos como temporales, inundaciones y crecidas ocurridos desde 2005 a la fecha (enero 2011). Se revisaron las noticias online y las ediciones en papel del diario digitalizadas disponibles en la página web desde enero de 2009.
- Libro “San Antonio: Nuevas Crónicas para su Historia y Geografía” (Brito, 2009): Este libro contiene un capítulo dedicado a las catástrofes históricas que han ocurrido en San Antonio entre 1556 y 2008. Se registran eventos de temporales y crecidas de cauces en la comuna.
- Entrevista a Manuel Valdés, ex director de la Oficina de Protección Civil de la comuna de San Antonio.

A continuación se presentan eventos históricos asociados a inundaciones provocadas por desborde de cauces en la comuna de San Antonio ordenados de manera cronológica.

Fecha Estimada	Consecuencias	Fuente
<b>1650</b>	Desborde del río Maipo en Santiago, es probable que causara algunos daños a los caseríos en el sector Lo Gallardo	Brito, 2009
<b>1899</b>	Temporales afectaron gravemente a Valparaíso y Santiago, es probable que también haya afectado a San Antonio.	Brito, 2009
<b>12-06-1930</b>	En San Antonio, más de 200 personas resultaron damnificadas al inundarse sus viviendas por el desborde de cauces. El puente que unía el puerto con Lolloe fue arrastrado por las aguas (Estero El Sauce)	Brito, 2009
<b>1940</b>	Desborde Estero El Sauce	Brito, 2009
<b>5-03-1941</b>	Desborde Estero El Sauce y Río Maipo	Brito, 2009
<b>1965</b>	Desbordes en esteros de San Antonio y Lolloe. Hubo damnificados	Brito, 2009
<b>22-07-1977</b>	Inundación del 50% del sector Lo Gallardo, debido al desborde del río Maipo	DOH, 2003
<b>27-05-1986</b>	Inundaciones de edificaciones ubicadas en las calles Pedro Montt y Centenario por desborde del estero Arévalo.  Aluvión en la quebrada del estero Arévalo, que desembocó en la caleta de pescadores.  Desbordes de los esteros Huallipén, El Sauce en el sector de San Pedro, y del estero San Juan en Lo Gallardo	DOH, 2003  Brito, 2009
<b>14-07-1987</b>	Inundaciones por los desbordes de los ríos Maipo y San Juan, que afectaron los sectores de Lo Gallardo y San Juan respectivamente  Inundaciones en poblaciones San Pedro, La Boca de Tejas Verdes y Brisamar, a causa del desborde del estero El Sauce que cruza la localidad de Lolloe	DOH, 2003

<b>23-07-1987</b>	Inundaciones de las poblaciones San Pedro, Juan Aspee y La Boca, por los desbordes del estero El Sauce	DOH, 2003
<b>11-08-1987</b>	Inundación de las poblaciones San Pedro, Brisamar, y de parte de la población Juan Aspee, debido al desborde del estero El Sauce  Destrucción del camino a la Playa y calle Pedro Aguirre Cerda  Desborde del río Maipo que inunda amplios sectores ribereños de las localidades de San Juan y Lo Gallardo.	DOH, 2003
<b>19-06-1991</b>	Inundación de los sectores ubicados en las cercanías de la población La Boca y Tejas Verdes, por desbordes del estero El Sauce y del río Maipo.	DOH, 2003
<b>26-05-1992</b>	Crecida en Estero San Juan	El Líder (Papel)
<b>4-06-1992</b>	Inundación del sector de Lo Gallardo por desborde del río Maipo  Anegamientos de algunas viviendas ribereñas del estero San Pedro, debido al desborde de este estero	DOH, 2003
<b>3-06-1997</b>	El agua y barro sepultó casas, jardines y calles en San Juan y Lo Gallardo	DOH, 2003
<b>11-06-1997</b>	Desborde del estero Arévalo en pleno centro de San Antonio  En el sector de San Juan y Lo Gallardo, se inundaron algunas casas por el desborde del estero San Juan	DOH, 2003
<b>19-06-1997</b>	Inundación de los sectores Lo Gallardo y San Juan	DOH, 2003
<b>20-julio-2001</b>	Inundación de las poblaciones San Pedro y Brisamar, debido al desborde del estero El Sauce, y del sector Lo Gallardo por desbordes del río Maipo.	DOH, 2003
<b>3-junio-2002</b>	Desborde del estero El Sauce en tres lugares: desembocadura al río Maipo,	DOH, 2003

	<p>población San Pedro y población Brisamar.</p> <p>Desborde del estero San Juan en la población Sótero del Río.</p> <p>Rotura parcial del puente a Santo Domingo por crecida del río Maipo</p>	
<b>28-08-2005</b>	Posible desborde en el cauce del estero El Relmu de San Juan mantiene en alerta máxima a vecinos del sector. Aumento considerable del volumen del cauce fluvial, provocó preocupación entre los residentes del lugar.	El Líder Online
<b>27-08-2005</b>	Crecida en el estero El Sauce destruyó pasarela provisoria que conectaba la población Juan Aspeé con el centro de Lolleo	El Líder Online
<b>27-07-2006</b>	Crecida en el estero El Sauce. Aumento del caudal hizo alcanzar la capacidad máxima del cauce.	El Líder Online
<b>Mayo 2008</b>	Crecida del Río Maipo no fue capaz de romper la barrera formada en la desembocadura del río, siguiendo hacia el norte y arrasando con la playa de Lolleo	Brito, 2009
<b>21-05-2008</b>	Desborde el estero Arévalo al interior del terreno en que se construía el Casino del Pacífico, en el Paseo Bellamar, sector Puerto de San Antonio	El Líder Online
<b>20-08-2009</b>	Aumento del caudal del estero El Sauce, en la población San Pedro. Se corrió un serio peligro debido a que los menores se acercan a jugar al lugar.	El Líder Online

Tabla 10: Resumen de antecedentes históricos de inundaciones causadas por desborde de cauces

### 3.2.6 Registro Fotográfico

A continuación se muestran algunas fotografías de inundaciones y aumentos de caudal en los esteros El Sauce, San Juan y Arévalo. Las fotografías han sido obtenidas del Plan Maestro de Aguas Lluvias, la página web del diario El Líder de San Antonio y otros.

Además se presentan fotografías de algunos cauces tomadas en la visita a terreno realizada el 31 de enero de 2011 en las que se puede observar la proximidad de las viviendas a los cauces.



Figura 19: Estero El Sauce, 27 de Julio 2007. Fuente: [www.lidersanantonio.cl](http://www.lidersanantonio.cl)



Figura 20: Estero El Sauce, 29 Agosto 2005. Fuente: [www.lidersanantonio.cl](http://www.lidersanantonio.cl)



Figura 21: Estero San Juan, 28 Agosto 2005. Fuente: [www.lidersanantonio.cl](http://www.lidersanantonio.cl)



**Figura 22: Ingreso a zona abovedada del estero Arévalo. Fuente: DOH, 2003.**



**Figura 23: Estero El Sauce, vista hacia Población San Pedro. Fuente: DOH, 2003.**



**Figura 24: Lo Gallardo en Camino a San Juan. Fuente: DOH, 2003.**



**Figura 25: Inundación Mayo 2002 en Lo Gallardo y San Juan. Fuente: González, 2005**



**Figura 26: Ingreso abovedamiento estero Arévalo, San Antonio centro**



**Figura 27: Estero El Sauce, Sector La Boca**



**Figura 28: Estero el Sauce, sector La Boca, casa ubicada al costado del cauce**



**Figura 29: Relleno ribera norte Río Maipo, altura Puente Lo Gallardo**

### 3.3 SISMICIDAD

Para efectos de hacer un primer diagnóstico respecto a los tipos de suelos y rocas presentes en el sector de estudio, se analizaron los documentos “Lecciones del sismo del 3 de marzo de 1985”, por Cruz et al., 1988, y “Análisis de microzonificación sísmica de San Antonio”, por GC Geotécnica Consultores, de 1988. Adicionalmente, se revisaron los mapas geológicos existentes de la zona. En este punto es pertinente destacar que, tal como se ha señalado en ocasiones anteriores, es necesario poder contar en el futuro próximo con el mayor número posible de estudios de mecánica de suelos de grandes proyectos existentes en la zona de estudio, de manera de complementar la limitada información existente.

A partir de la revisión de antecedentes realizada, se efectuó un primer diagnóstico respecto a la clasificación sísmica de los suelos de fundación presentes en la comuna. Esta clasificación fue realizada de acuerdo a lo indicado en la norma NCh433-Diseño sísmico de edificios, versión del año 1996, modificación 2009, cuyo detalle se muestra en la Tabla 11. Esta clasificación es de suma importancia en el diseño sísmico de estructuras, pues define la respuesta esperada (i.e., el movimiento sísmico) en un determinado sitio para un terremoto de diseño a través de lo que se conoce como espectro de pseudo-aceleraciones en respuesta elástica.

La pseudo-aceleración es un parámetro que refleja directamente los esfuerzos a los que se verá sometida una estructura y las deformaciones que experimentará al ser sometida al sismo de diseño.

Figura 30 muestra, para distintas condiciones de suelo de fundación, la forma que tienen estos espectros en términos del factor de amplificación versus el período de vibración analizado. En la Figura 30, un factor de amplificación igual a 1.0 implica que la estructura experimentará una pseudo-aceleración igual a la aceleración máxima del suelo de fundación donde se apoya. Lo que esta figura muestra es que, en general, existe un primer tramo (de bajos períodos) en el cual en la medida que la estructura se va flexibilizando (es decir, su período fundamental de vibración va aumentando) la pseudo-aceleración en la estructura tiende a aumentar; luego hay un tramo en que la amplificación se estabiliza (en valores típicos del orden de 2.8); y luego hay un tercer tramo donde la amplificación de las aceleraciones basales decae a valores incluso por debajo de 1.0. La forma definitiva del espectro de diseño dependerá fuertemente del tipo de suelo de fundación, según lo muestra la Figura 30. La máxima amplificación para los suelos más rígidos (Tipo I) se presenta para períodos bajos. Esta amplificación presenta un rápido decaimiento con el período de la estructura. Por otra parte, la máxima amplificación para suelos más blandos (Tipo III) se presenta para períodos más altos, y tienen un decaimiento más lento que el que muestra los suelos más rígidos. Existe además una tendencia a que los suelos más blandos tengan valores máximos de amplificación algo superiores a los que se presentan en suelo más rígidos.

Ahora bien, no sólo la forma del espectro de pseudo-aceleraciones queda controlada por el tipo de suelo en un determinado sitio, sino que su intensidad (es decir, su valor en el eje vertical) también será función de las características geotécnicas del material de fundación y de la intensidad del movimiento sísmico. Este fenómeno es el que se conoce como amplificación sísmica, y se ilustra claramente en la Figura 31.

En esta figura se puede observar, por ejemplo, que un mismo terremoto puede inducir aceleraciones máximas de un 10% de la aceleración de gravedad (0.1g en el eje horizontal) en un sitio tipo “roca” y de más de 0.2g en un sitio con “suelos blando” (eje vertical). Es decir, que debido a las características del suelo de fundación de un determinado sitio, un mismo evento sísmico puede incrementar su intensidad local en términos de aceleraciones en más de un 100%.

Tanto la forma como la intensidad del espectro de pseudo-aceleraciones en respuesta elástica quedan controlados por las características del suelo de fundación, por lo que obtener un mapa con la clasificación sísmica preliminar de los suelos de fundación presentes en distintos sectores de la comuna de San Antonio es de gran relevancia.

Tipo de suelo	Descripción
I	<p><b>Roca:</b> Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y <math>RQD</math> igual o mayor que 50%.</p>
II	<p>a) Suelo con <math>v_s</math> igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien,</p> <p>b) Grava densa, con peso unitario seco <math>\gamma_d</math> igual o mayor que 20 kN/m<sup>3</sup>, o índice de densidad <math>ID(DR)</math> (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>c) Arena densa, con <math>ID(DR)</math> mayor que 75%, o Índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado <math>s_u</math> igual o mayor que 0,10 MPa (resistencia a la compresión simple <math>q_u</math> igual o mayor que 0,20 MPa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todo los casos, las condiciones indicadas deberán cumplirse independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se clasificará como tipo I.</p>
III	<p>a) Arena permanentemente no saturada, con <math>ID(DR)</math> entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien,</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>c) Suelo cohesivo con <math>s_u</math> comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (<math>q_u</math> entre 0,05 y 0,20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</p> <p>d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con <math>s_u</math> igual o menor que 0,025 MPa (<math>q_u</math> igual o menor que 0,050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo III.</p>

**Tabla 11 Clasificación sísmica de suelos de acuerdo a la norma NCH433.OF96.Mod2009.**

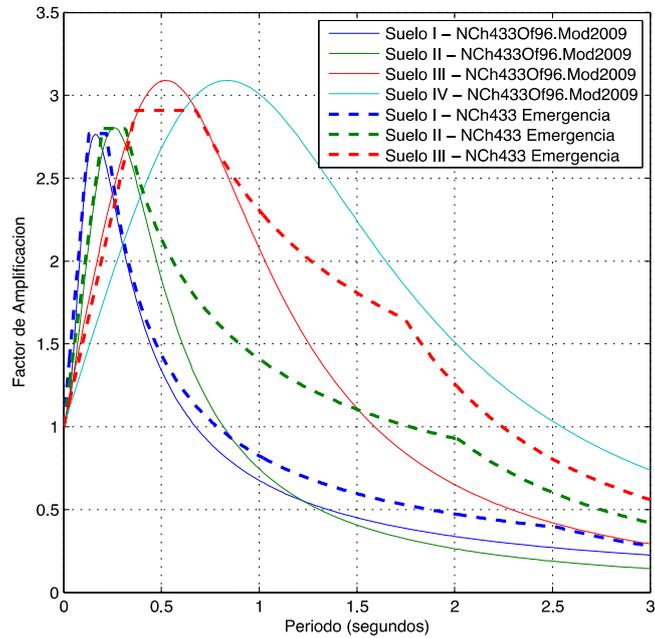


Figura 30 Factores de amplificación en respuesta elástica para distintos tipos de suelo, dados en las normas NCh433Of96.Mod2009 (líneas llenas) y NCh433 de Emergencia (líneas segmentadas).

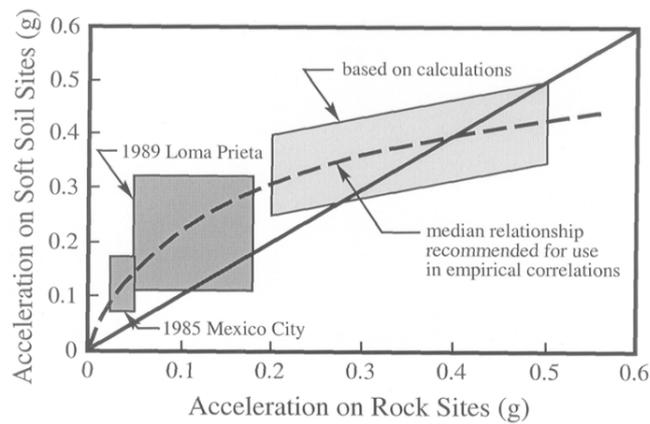


Figura 31 Relación entre la máxima aceleración en roca y en suelo blando (Idriss, 1990, 1991).

### 3.4 REMOCIÓN EN MASA ASOCIADA A PRECIPITACIONES

El fenómeno de remoción en masa corresponde al proceso, lento o rápido, de movilización descendente de una porción de terreno constituido por roca y/o suelo, por efecto de la gravedad. En este movimiento el volumen de material se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original (Hauser, 2002). El proceso de remoción en masa se asocia a la interacción de una serie de factores geográficos, climáticos, hidrológicos, geológicos y tectónicos (Hauser, 1993), entre los cuales se distinguen factores condicionantes, los cuales generan una situación potencialmente inestables, y factores gatillantes, factores externos que ayudan a desencadenar el proceso. Este fenómeno puede ser clasificado según el mecanismo de ruptura, los tipos de material involucrados, el grado de saturación que se alcanza, etc. Estos fenómenos generalmente provocan un gran deterioro en el relieve del lugar, comprometiendo el paisaje, la vegetación y el suelo. La aparición de un hecho puntual de remoción en masa constituye el punto de partida para el desarrollo de posteriores eventos del mismo tipo, habitualmente de mayor alcance.

Los procesos de remoción en masa son una de las amenazas geológicas de mayor importancia en Chile. El territorio nacional se encuentra expuesto a procesos de remoción en masa debido las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas (Hauser, 2002).

#### 3.4.1 Factores Condicionantes

Existen ciertos factores que condicionan la ocurrencia del proceso de remoción en masa. Estos factores favorecen una situación potencialmente inestable y hacen naturalmente al sitio susceptible a la ocurrencia de fallas. Éstos corresponden principalmente a los siguientes:

- Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Lara, 2007).

- Geología y Geotecnia

Entre los factores de esta categoría se cuentan el tipo de depósito y el material que lo compone, su densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad; la litología de las rocas, su estructura, alteración y meteorización, y la historia geológica: reactivación de movimientos anteriores, *stress relief*, etc.

- Hidrología e Hidrogeología

La red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, coeficientes de escorrentía y coeficientes de infiltración, son factores hidrológicos e hidrogeológicos que condicionan la generación de remociones en masa ya que están directamente relacionados a la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos.

- Clima

Los principales factores que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar. Las precipitaciones, además de ser consideradas un factor desencadenante, condicionan la estabilidad al disminuir la resistencia al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo. Por otro lado, la saturación del material producto de lluvias antecedentes al evento de remoción, implicaría que las precipitaciones estarían actuando como condicionante en la estabilidad de la ladera.

Otro factor climático de importancia corresponde a la temperatura, la cual determina el estado de la precipitación (sólida o líquida), controla el punto de fusión de la nieve, modifica la humedad del suelo y condiciona el congelamiento del suelo. Por último, el factor climático de radiación solar también incide en la estabilidad/inestabilidad de laderas, al influir en la condición de humedad del material

- Vegetación

Generalmente actúa como elemento estabilizador, protegiendo la ladera de la erosión por lluvia y escurrimiento, además de brindar un sistema de anclaje producto de la distribución de raíces en el perfil de suelo.

- Factores Antrópicos

Diferentes actividades humanas pueden contribuir a la desestabilización de laderas disminuyendo artificialmente la resistencia del material. Algunos ejemplos que influyen son: excavaciones, rellenos, construcciones, cambios de uso del suelo, extracción de áridos, acumulación de escombros, deforestación y actividad minera.

### **3.4.2 Factores Desencadenantes**

Corresponde a un factor externo que genera una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera (Lara, 2007). Estos factores generalmente ocurren en un lapso pequeño de tiempo. Los agentes desencadenantes más comunes de remociones en masa son los sismos y lluvias de gran intensidad, las cuales generan en su mayoría flujos y deslizamientos.

La relación entre la intensidad, duración y distribución de las precipitaciones define el desencadenamiento de la remoción en masa. Por ejemplo, precipitaciones de poca intensidad en periodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar eventos de remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello.

El mecanismo capaz de generar estas remociones se asocia a un aumento del grado de saturación de los materiales y a un aumento en la presión del agua de poros, disminuyendo la resistencia de los materiales. Un incremento en la presión de poros pueden deberse a infiltración y percolación

y/o a un aumento de la napa freática. Adicionalmente, las lluvias intensas aumentan la escorrentía superficial, aumentando la erosión en laderas con material suelto o desagregado.

### 3.4.3 Clasificación

Los procesos de remoción en masa han sido clasificados de acuerdo al tipo de movimiento, al material involucrado (Lara, 2007) y a los agentes desencadenantes. Las principales categorías de clasificación según tipo de movimiento son:

- Desprendimientos o caídas

Corresponden a movimientos rápidos de material rocoso o suelo que se desprende de una ladera de alta pendiente descendiendo mediante caída libre, rebotando o rodando. Estos movimientos se vinculan a la pérdida de resistencia por presencia de agua. Están relacionados a pendientes abruptas, principalmente de inclinaciones mayores a 50° (Lara, 2007).

- Deslizamientos

Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de masas de suelo o roca a través de superficies de cizalle (corte) definidas. Este movimiento comienza en zonas donde se generan fallas locales, a menudo evidenciadas por grietas de tensión en la superficie original a lo largo de la cual se formará el escarpe principal del deslizamiento (Lara, 2007). El inicio de estos desplazamientos se produce cuando el esfuerzo de corte supera el valor del esfuerzo normal y la resistencia del suelo en dicha superficie. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes (Hauser, 1993)

Los deslizamientos a su vez se pueden clasificar en deslizamientos traslacionales o deslizamientos rotacionales. Los deslizamientos traslacionales corresponden a remociones de una masa de suelo con gran cantidad de restos vegetales, que se desliza sobre una superficie aproximadamente plana, sin o con poca componente de rotación. Un subtipo de traslaciones son los deslizamientos en bloque, en que la masa deslizada (usualmente roca o suelo cementado) consiste en una sola unidad que se desplaza. Por otra parte, los deslizamientos rotacionales son aquellos en los que la rotura profunda o superficial ocurre a través de superficies curvas que puede o no ser circular. Generalmente ocurren en materiales homogéneos. Pueden ser rotacional simple, múltiple o sucesivo. Cuando son profundos se les suele llamar '*deep-seated slides*'.

Estos fenómenos se desencadenan por acciones climáticas extremas, procesos erosivos glaciales o fluviales, en conjunto con sollicitaciones sísmicas.

- Flujos

Corresponden a movimientos rápidos de material sin cohesión y que momentáneamente actúan como fluido viscoso dada la cantidad de agua que presenta. Los flujos son clasificados de acuerdo al tipo de material involucrado y a la cantidad de agua que presentan. Los flujos de detritos (*debris flows*) son flujo de material particulado grueso saturado, capaz de transportar partículas o bloques de mayor tamaño, y de moverse en terrenos de muy poca pendiente. Los flujos de barro (*earth*

*flows* o *mudflows*) son flujos lentos, conformados predominantemente por materiales de grano fino y homogéneo, y con un alto contenido de agua. La magnitud del flujo dependerá en gran medida de la intensidad de las precipitaciones de la cual es producto, y del material fragmentario arrastrado. Ocupan cauces preexistentes. Finalmente, los flujos laháricos corresponden a un flujo de barro conteniendo detritos y bloques angulares de origen mayoritariamente volcánico. Este flujo puede contener el agua, resultante de la fusión de nieves y glaciares, por la temperatura alcanzada durante una erupción.

- Toppling o volcamientos

Esta categoría hace referencia a bloques de roca o suelo que se inclinan o rotan hacia fuera de la ladera, separándose del macizo. Derivan en desprendimientos o deslizamientos según la geometría de la ladera. Pueden variar de extremadamente lentos (<16 mm/año) a extremadamente rápido, a veces acelerando durante el movimiento.

- Extensiones laterales:

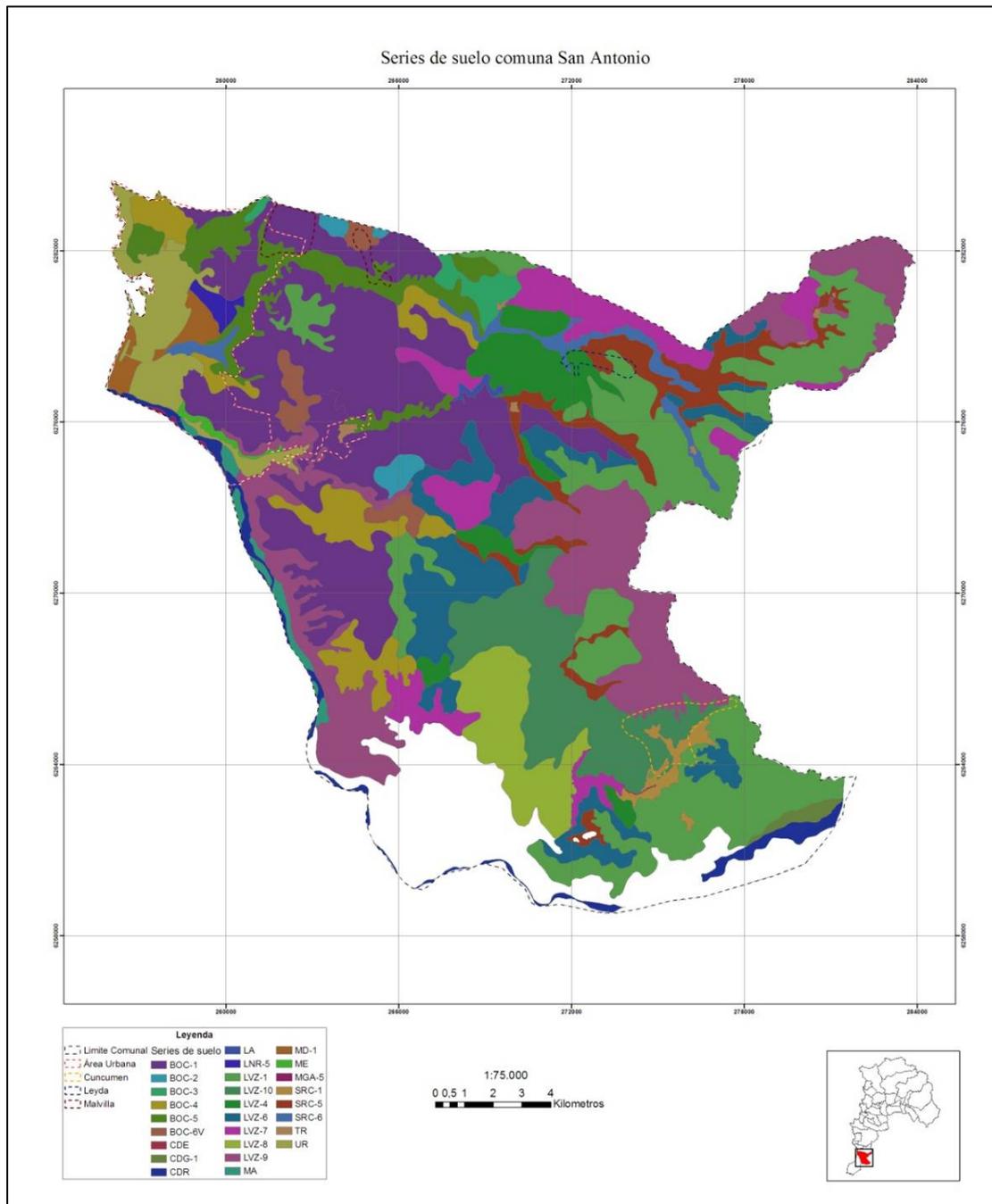
Corresponden a la extensión lateral de una masa de suelo o roca combinada con una subsidencia general de la masa de material fracturado. En suelos, las extensiones laterales están generalmente relacionadas con procesos de licuefacción.

#### **3.4.4 Suelos Comuna San Antonio**

Uno de los factores condicionantes de importancia para el estudio de ocurrencia de remoción en masa es el tipo y composición del suelo en la zona de estudio, ya que a partir de las características del suelo, es posible determinar su comportamiento frente a un evento de remoción en masa. En base a la información proporcionados por CIREN<sup>4</sup>, se han identificado 29 unidades de suelo en la comuna, cuya distribución se observa en la Figura 32.

---

<sup>4</sup> Centro de Información de Recursos Naturales



**Figura 32: Series de suelo comuna de San Antonio.**  
Fuente: elaboración propia con datos CIREN.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las unidades de suelo de acuerdo a lo identificado en el Estudio Agrológico de la V región (CIREN, 1997).

- Suelos serie Bochinche (BOC):

Suelos de origen sedimentario, moderadamente profundo, en posición de terraza litoral y de topografía suavemente ondulada. Textura superficial franco arenosa y color pardo oscuro en la matiz 7.5 YR. En profundidad se presenta con textura franco arcillosa arenosa y arcillo arenosa. Descansa sobre un sustrato de gravas redondeadas, donde se distingue la presencia de gravilla de cuarzo y ortosa abundante. En la comuna se observan las variantes BOC 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

- Suelos serie Codigua (CDG):

Suelos de origen aluvial, estratificados, pedregosos, que ocupan la terraza más baja y la planicie de inundación del río Maipo. Suelos de textura superficial franco limosa o franco arenosa muy fina y de color pardo grisáceo muy oscuro, en matiz 10YR; estructura de bloques subangulares finos. En la comuna se observa la variación de la serie CDG-1.

- Suelos serie Loncura (LNR):

Suelo formado a partir de dunas antiguas (paleodunas), estabilizadas; de textura superficial areno francosa y color pardo oscuro en el matiz 7.5YR y de igual textura y color en el matiz 10YR en profundidad. Descansa sobre arenas graníticas. Se ubica en lomas suaves, moderadamente ondulados, en el sector litoral. Suelo de permeabilidad rápida y drenaje excesivo.

- Suelos serie Lo Vásquez (LVZ):

Suelos evolucionados derivados de rocas graníticas, moderadamente profundos, de los cerros de la Cordillera de la Costa de la zona central. De color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR y textura franco arcillo arenosa en la superficie, arcillosa en profundidad. Los materiales se encuentran bien estructurados en los primeros 40 o 50 cm y no presentan estructuras en profundidad. El sustrato está constituido por rocas graníticas descompuestas.

En la comuna se presentan las variantes 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 14.

- Suelos serie Santa Rita de Casablanca (SRC):

Suelos de origen aluvio coluvial, profundos, en posición suavemente inclinada con pendientes dominantes de 2 a 3%.

- Asociación de Suelos La Manga (MGA):

Suelo sedimentario, moderadamente profundo; de textura superficial franco arcillo arenosa y de color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR y textura arcillosa, de color pardo oscuro y pardo rojizo en profundidad. Descansa sobre sustrato constituido por arsénica cuarcífera, compactada y de granulometría fina. En la comuna se encuentra la variante MGA-5.

- Suelo Misceláneo Dunas (MD-1):

Corresponden a terrenos ocupados por arenas y que se ubican en las terrazas marginales de la costa. El suelo MD-1 corresponde a terrazas ocupadas por arenas estabilizadas (dunas) con vegetación arbustiva y pastos secos que permite el desarrollo de especies forestales.

- Suelos Misceláneo Escarpe (ME):

Corresponde a quiebres abruptos de pendientes superiores a 60%; gran parte de esta unidad está cubierta de vegetación arbustiva, especialmente los sectores con influencia de clima marítimo.

- Terrazas recientes (TR):

Corresponde a suelos ubicados en las terrazas aluviales recientes de los esteros del sector costero en los límites de la V y VI regiones. Se caracterizan por presentar perfiles poco evolucionados, de topografía plana y con diversas clases de drenaje.

Otros símbolos cartográficos que aparecen en el mapa de series de suelo en San Antonio son Caja de Estero (CDE), Caja de Río (CDR), Laguna (LA) y Urbano (UR). Figura 32.

### **3.4.5 Antecedentes Históricos de Procesos de Remoción en Masa**

En esta sección se revisan los antecedentes históricos relacionados con procesos de remoción en masa provocados por precipitaciones y aumento de caudales en cauces en la zona de estudio. Esta revisión permitirá identificar los lugares de la comuna que han sufrido y que son susceptibles de sufrir nuevos procesos de remoción en masa, esto con el fin de determinar la magnitud y efectos de distintos eventos para poder validar el o los modelos predictivos de remoción en masa.

La información sobre eventos históricos ha sido recopilada de las siguientes fuentes:

- Plan Maestro de Evacuación y Drenajes de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V Región (DOH, 2003): Este documento contiene una completa revisión de la información en prensa escrita, local y nacional de que también incluye los fenómenos de remoción en masa ocurridos durante lluvias intensas.
- Página web diario El Líder de San Antonio: Desde esta página se ha obtenido información de eventos de remoción en masa, como aludes y aluviones desde 2005 a la fecha (enero 2011). Se revisaron las noticias online y las ediciones en papel del diario digitalizado disponible en la página web desde enero de 2009.
- Libro “San Antonio: Nuevas Crónicas para su Historia y Geografía” (Brito, 2009): Este libro contiene un capítulo dedicado a las catástrofes históricas que han ocurrido en San Antonio entre 1556 y 2008. Se registra un evento de remoción en masa.
- Entrevista a Manuel Valdés, ex director de la Oficina de Protección Civil de la comuna de San Antonio.

- Estudio de áreas de riesgo geomorfológico de la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, V Región (González, 2005): En este estudio se identifican los sectores de la zona urbana de San Antonio susceptibles de sufrir procesos de remoción en masa y también aquellos en donde ya han ocurrido eventos.

Fecha Estimada	Magnitud Precipitación	Consecuencias	Fuente
<b>27-05-1986</b>	159 mm en 4 días	Aluvión en la quebrada del estero Arévalo, que desembocó en la caleta de pescadores. Plantación fiscal con derrumbes de muros de contención, derrumbes en sector camino San Antonio - Cartagena, sector Rinconada de San Juan queda aislado por corte de camino	DOH, 2003 Brito, 2009 M. Valdez, 2011.
<b>9-06-1986</b>	83 mm en un día	Arrastre y erosión de parte del talud de calle 21 de mayo, frente al cruce ferroviario	DOH, 2003
<b>4-06-1982</b>	182.5 mm en 4 días	Interrupción del camino que une San Antonio y Cartagena, a la altura del sector del Faro Panul, con material (arena y piedras) arrastrado por el agua	DOH, 2003
<b>1992</b>	-	Aluvión en Estero Arévalo que inunda todo el sector centro, con lodo y piedras. Colapsan los sistemas de drenaje de aguas lluvias	M. Valdez, 2011
<b>1996</b>	-	Se producen derrumbes en camino a Lo Gallardo y San Juan	M. Valdez, 2011
<b>17-05-1997</b>	58.6 mm en 2 días	Deslizamiento de arena y arrastre de sedimentos depositados en calle Nueva Ruiz Tagle	DOH, 2003
<b>3-06-1997</b>	55.8 mm en 3 días	El agua y barro sepultó casas, jardines y calles en San Juan y Lo Gallardo	DOH, 2003
<b>11-06-1997</b>	126.1 mm en	Socavamiento del terreno por debajo de la línea férrea en las cercanías del club	DOH, 2003

	6 días	deportivo Torino, por incapacidad de obra de arte para evacuar las aguas lluvias	
<b>16-08-1997</b>	125.1 mm en 3 días	Desprendimiento del terreno compactado en el sector de Barrancas Alto, en la calle Nápoles. Cortes de caminos, tales como el de San Juan, Pelancura, Lo Gallardo y en el sector alto de Bellavista.  Deslizamientos de tierra en el camino San Antonio- Cartagena, debido al agua proveniente del cerro Centinela que baja por la ladera del cerro	DOH, 2003
<b>18-07-2001</b>	63.3 mm en 3 días	Interrupción del tránsito vehicular y peatonal en algunas calles, tales como: Barros Luco, Camino a Cartagena, Manuel Montt con Maule, Aromos (Llolleo) y República (Barrancas), debido a la erosión del terreno y desprendimientos de cerros. La Av. Barros Luco permaneció cortada por desprendimiento del talud de calle 21 de mayo.	DOH, 2003
<b>29-07-2001</b>	130.7 mm en 4 días	Socavación del terreno que causó el derrumbe de la ruta 78 de acceso a San Antonio (Autopista del Sol), en el km 106. El socavón alcanzó una profundidad de 12 m y una longitud de 40 m.	DOH, 2003
<b>3-06-2002</b>	112.4 mm en 4 días	Derrumbes de algunos taludes, principalmente en la Av. Núñez de Fonseca y en la Av. San Juan.  Rotura parcial del puente a Santo Domingo por crecida del río Maipo	DOH, 2003
<b>3-09-2005</b>	-	Derrumbe del talud ubicado a un costado del Primer Mercado Productos del Mar	El Líder Online

(Calle Antonio Núñez de Fonseca)			
<b>4-06-2007</b>	47 mm	Flujo de barro avanzó por la calle Nueva Ruiz Tagle producto de las intensas lluvias, flujo que ingresó a algunas viviendas.	El Líder Online
<b>13-06-2010</b>		Derrumbe en talud ubicado en ruta San Antonio-Cartagena en sector Las Canteras, a la altura de Vopak. Con el terremoto los tubos de aguas lluvias se habrían corrido unos centímetros y con las fuertes lluvias éstos terminaron por ceder.	El Líder Online

**Tabla 12: Resumen de antecedentes históricos de remociones en masa en San Antonio**

### 3.4.6 Registro Fotográfico

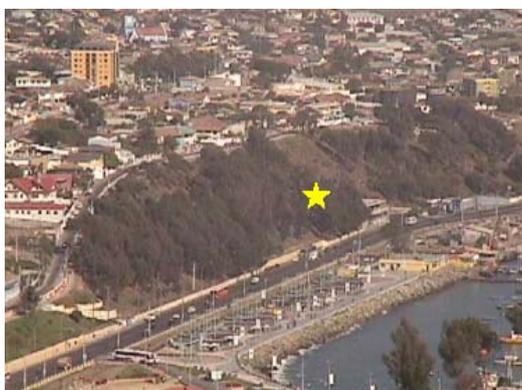
A continuación se presentan fotografías de sectores que registran eventos de remoción en masa. Se han obtenido fotografías desde la página web del diario El Líder de San Antonio y del estudio presentado en González (2005). Además, durante la primera visita a terreno realizada el 31 de enero de 2011, se reconocieron dos lugares que muestran claros antecedentes de ocurrencia de procesos de remoción en masa: Talud ubicado en Av. Antonio Núñez de Fonseca frente a los restaurantes del puerto y ladera de cerros al costado del camino Lo Gallardo – San Juan.



**Figura 33: Antecedentes de procesos de remoción en masa, Planicies de Bellavista, intersección Av. San Antonio de las Bodegas y Camino viejo a Cartagena. Fuente: González, 2005.**



**Figura 34: Ladera Quebrada Huallipén.**  
Fuente: González, 2005



**Figura 35: Talud Av. 21 de Mayo.**  
Fuente: González, 2005



**Figura 36: Vecinos afectados por alud el día 4 de Junio de 2007.**  
Fuente: El Líder Online



**Figura 37: Derrumbe sobre el camino San Antonio – Cartagena 13 de Junio de 2010.**  
Fuente: El Líder Online



**Figura 38: Reciente deslizamiento en talud en Av. Núñez de Fonseca**



**Figura 39: Corte en ladera ubicada en el Camino a San Juan**

## 3.5 VULNERABILIDAD

### 3.5.1 Concepto de Riesgo: Amenaza y Vulnerabilidad

Desde el punto de vista conceptual, riesgo es definido generalmente como la probabilidad de algo, cuya ocurrencia acarrea consecuencias, en términos de pérdidas posibles relativas a cierta causa, lugar y momento en particular.

La O.N.U. (Ayala-Carcedo, 1993) define el riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural (peligrosidad), por la vulnerabilidad y la exposición. En este caso, la amenaza es entendida como un fenómeno eminentemente natural, externo a una comunidad expuesta, que al manifestarse superando los umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, puede ocasionar daños tanto a las personas como a sus bienes.

La vulnerabilidad puede entenderse como el factor interno de una comunidad, resultado de la capacidad intrínseca de responder frente a la amenaza. Por lo tanto, su evaluación se hace fundamental para el conocimiento del riesgo que mantiene frente a las condiciones de peligrosidad del medio. El factor de exposición entonces, alude a la población media en número de habitantes o de bienes por unidad de superficie, situados al interior de una zona de peligro<sup>5</sup>.

En este estudio se utilizará el concepto de vulnerabilidad como la susceptibilidad de un sistema determinado a ser impactado negativamente por una amenaza de origen natural. Dicha susceptibilidad es determinada por los factores propios del sistema. Al mismo tiempo, se usará el concepto de Resiliencia como la habilidad de ese sistema determinado para contener los efectos de tales amenazas, y su capacidad de responder y reconstruirse frente a estas situaciones extremas.<sup>6</sup>

### 3.5.2 Información necesaria para el análisis de vulnerabilidad

La información necesaria para el análisis de vulnerabilidad es: demografía y características económicas, construcciones, conectividad y accesibilidad, y las redes de infraestructura, equipamiento y servicios.

- **Demografía y características económicas:** la información existente para este apartado es extraída del CENSO 2002, para el caso de la ciudad de San Antonio se obtiene información a nivel de manzanas, tanto de la concentración de población en grupos etarios, como la situación socioeconómica (GSE). Para el caso de las localidades rurales solo se presenta el dato a nivel de la localidad. La información económica es extraída del CENSO 2002 y comprobada con informes y estudios de la comuna como son: PLADECO, Plan Regular

---

<sup>5</sup> Vidal, Claudia. 2008. Efectos de la Expansión Urbana sobre los Cambios Hidrográficos, y su Relación con la presencia de Riesgos Naturales. Tesis presentada a la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al grado de Magister en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente.

<sup>6</sup> "Estudio de riesgo de sismos y maremotos para comunas costeras de las regiones del General Libertador Bernardo O'Higgins y Maule" elaborado por la Pontificia Universidad Católica de Chile con financiamiento SUBDERE 2010.

Comunal (Memoria explicativa), Informe del Diagnóstico Pesquero, Diagnóstico análisis técnico económico zonas industriales de San Antonio.

- **Construcciones:** para este apartado se utilizarán las construcciones georreferenciadas de la ciudad de San Antonio, las cuales se le integrará el uso, materialidad y estado. Dicha información se obtendrá en trabajo en terreno y contrarrestada con información del PRC, y de los planos Proyecto Plan Maestro Infraestructura Deportiva y Recreativa de San Antonio. Para el caso de las localidades rurales se obtendrá la información en el terreno.
- **Conectividad y accesibilidad:** para esta variable se utilizaron la vialidad general de la comuna la cual fue obtenida de la Dirección de Vialidad del MOP, con información de tipo de vía, y estado. Con respecto a la ciudad de San Antonio la información es obtenida de la SECPLAC, en donde se extrae el estado de la vía (pavimentada o no pavimentada) y del Proyecto Plan Maestro Infraestructura Deportiva y Recreativa de San Antonio se extrae la jerarquía (tipo de vía).
- **Redes de infraestructura equipamiento y servicios:** para esta variable se consideran los siguientes tópicos: red sanitaria, red eléctrica, telecomunicaciones (antenas de repetición, antenas celulares, etc), centros de salud, centros de educación, centros deportivos, áreas verdes. Para el caso de la red sanitaria se cuenta con información de la localización de la planta de distribución de agua potable, los estanques de distribución, plantas relevadoras y grifos, esta información es obtenida por el SECPLAC y Plan Maestro Aguas Lluvias San Antonio. La red eléctrica es obtenida de información del SECPLAC principalmente la localización de los postes dentro de la ciudad de San Antonio. El tópico de telecomunicaciones la información obtenida es de las antenas las cuales se presenta su localización, dicha información es obtenida de la SECPLAC. La información para el equipamiento de salud es extraída del Estudio de Red Comuna De San Antonio realizado por la red de salud del municipio, esta información se complementa con la variable de construcciones. El tópico de educación la información de la localización de los distintos centros educacionales presentes en la comuna se obtuvieron de la página web del MINEDUC de la georreferenciación de escuelas, en donde se encuentran todos los establecimientos educacionales del país, dicha información será complementada con la información de las construcciones. Los centros deportivos serán extraídos del Proyecto Plan Maestro Infraestructura Deportiva y Recreativa de San Antonio, el cual contiene los planos en donde localizan los distintos centros deportivos de la ciudad. Y finalmente las áreas verdes son obtenidas de la información entregada por el SECPLAC, solo necesitamos se este equipamiento su localización.

### 3.6 INFORMACIÓN PARA LOS PLANES DE EVACUACIÓN

#### 3.6.1 Construcción y actualización de la información de Ejes Viales

Se actualizaron los ejes viales de San Antonio, transformando las coberturas de vialidad existentes en ejes viales y digitalizando en las localidades sin información previa, además se insertaron impedancias de velocidad y tiempo de desplazamiento en cada eje vial.

Los ejes viales fueron actualizados y digitalizados considerando una determinada política de conectividad, en este caso *end point*, lo que permite conectar los ejes de forma correcta, individualizando las impedancias por arco y asegurando su consistencia, lo que sustentará posteriormente el procedimiento de Análisis de Redes. Éste, se realizó en tres actividades, utilizando como herramienta el SIG Arc-GIS 9.3.

*Actividad 1:* se procesó la cobertura de vialidad conectando cada arco con un punto de intersección, este proceso se realizó a través de herramienta *Planarize*, utilizando como tolerancia 1m.

*Actividad 2:* La segunda actividad que se realizó, fue insertar las impedancias de velocidad en los ejes viales, para ello utilizando las curvas de nivel de 2m de cada localidad, se generó un modelo de pendientes al cual se le asignó una velocidad de desplazamiento a pie según un rango de pendiente.

Los rangos asignados se muestran en la siguiente tabla:

Pendiente Gº	km/h
< 5,6	4,48
5,6 - 8	3,29
8 -11,2	2,72
11,2 - 14	2,17
14 - 30	1,12
> 30	0,08
Fórmula: $5,3724 * e^{(-0,0757/2 * X)}$	

Tabla 13 Velocidades de desplazamiento según pendiente  
Fuente: elaboración propia a partir de TRRL, 1978.

*Actividad 3:* Como última actividad, se creó un nuevo campo en los ejes viales que fueron anteriormente intersecados con la pendiente, al cual se le llamó "tiempo", donde a través de la siguiente ecuación, se calcularon los tiempos de evacuación de cada arco de los ejes viales. Ecuación:

$$((shape\_length\ m / 1000) / (velocidad\ m/s) * 3600)$$

Fuente: Elaboración propia

La ecuación dio como resultado los tiempos de desplazamiento a pie de cada arco intersecado con la pendiente en unidades de segundo. De esta manera se completó la parte de atributos de los ejes viales que junto con la parte gráfica, conformaron la red vial.

## 4 PRE – DIAGNÓSTICO

### 4.1 TSUNAMI

Los antecedentes recopilados en el capítulo anterior permiten identificar las zonas de la comuna en peligro de inundación por tsunami. La información recopilada también es útil para definir los escenarios de simulación para la evaluación de eventos futuros. A continuación se resume que zonas son susceptibles de ser inundadas de acuerdo con la información histórica y los instrumentos de planificación territorial estudiados, y cuáles serán los escenarios a modelar.

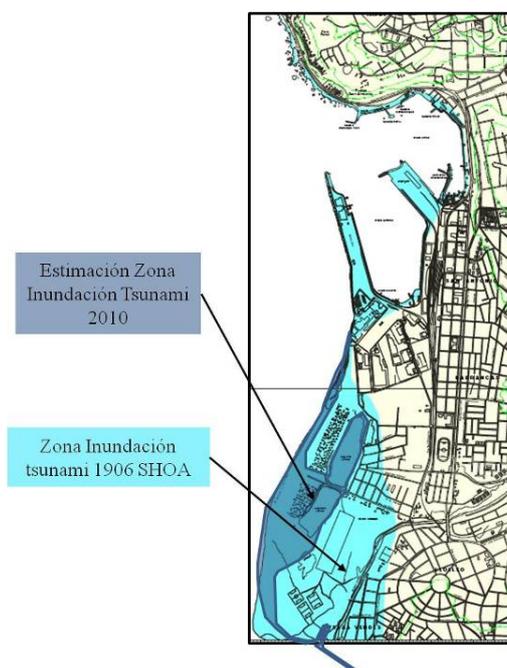
#### 4.1.1 Zonas Afectadas por tsunamis

De acuerdo a los antecedentes recopilados se reconoce un riesgo asociado a inundación por tsunami en la zona costera de la comuna de San Antonio. Históricamente el área del Puerto de San Antonio y las zonas bajas de Barrancas y Lolleo que incluye la Playa Lolleo, Población Juan Aspee, Población Brisamar y desembocadura río Maipo han sido afectadas por inundaciones por tsunamis. También existe registro de olas avanzando hacia aguas arriba por el cauce del Río Maipo, alcanzando incluso el puente Lo Gallardo (2,4 kilómetros aguas arriba de la desembocadura).

El Plan Regulador Comunal (PRC) de San Antonio (IMSA, 2006), reconoce la existencia de riesgo de inundación por tsunami en las zona portuaria, población Juan Aspee y población Brisamar. En la zona portuaria de San Antonio existe registro de que el impacto de tsunami en 1985 alcanzó la vía férrea que por ahí pasa y el sector turístico al sur del puerto (IMSA, 2006).

Además, existe para la ciudad de San Antonio una carta de inundación por tsunami elaborada por el SHOA a partir de la modelación del terremoto de Valparaíso en 1906. En esta carta se observa que la zona de inundación para este tsunami cubre la zona del Puerto de San Antonio y completamente la zona baja de Lolleo incluyendo las lagunas conocidas como Ojos de Mar de Lolleo, Av. La Playa, sector Tejas Verdes y la desembocadura del estero El Sauce.

El tsunami del 27 de febrero de 2010, el más reciente que ha afectado a San Antonio, inundó la parte sur de la población ubicada entre la costa y las lagunas conocidas como “Ojos de Mar de Lolleo” y ambas lagunas, además de penetrar por Av. La Playa unos 450 metros. Además, la ola ingresó por el río Maipo inundando parte de la zona de recreación ubicada en la población Brisamar y la desembocadura del estero El Sauce al río Maipo. Sin embargo la zona definida por la carta de inundación del tsunami de 1906 es mucho mayor que la zona afectada por este último tsunami. En la Figura 40 se observan las diferencias entre ambas zonas de inundación. Esto implica que para establecer una zona completa de inundación por tsunami, se deben modelar diferentes escenarios de generación de tsunamis.



**Figura 40: Carta inundación SHOA y zona inundación estimada para el tsunami 2010.**  
Fuente: Elaboración propia con datos Lazcano et al. (2010) y SHOA (2000).

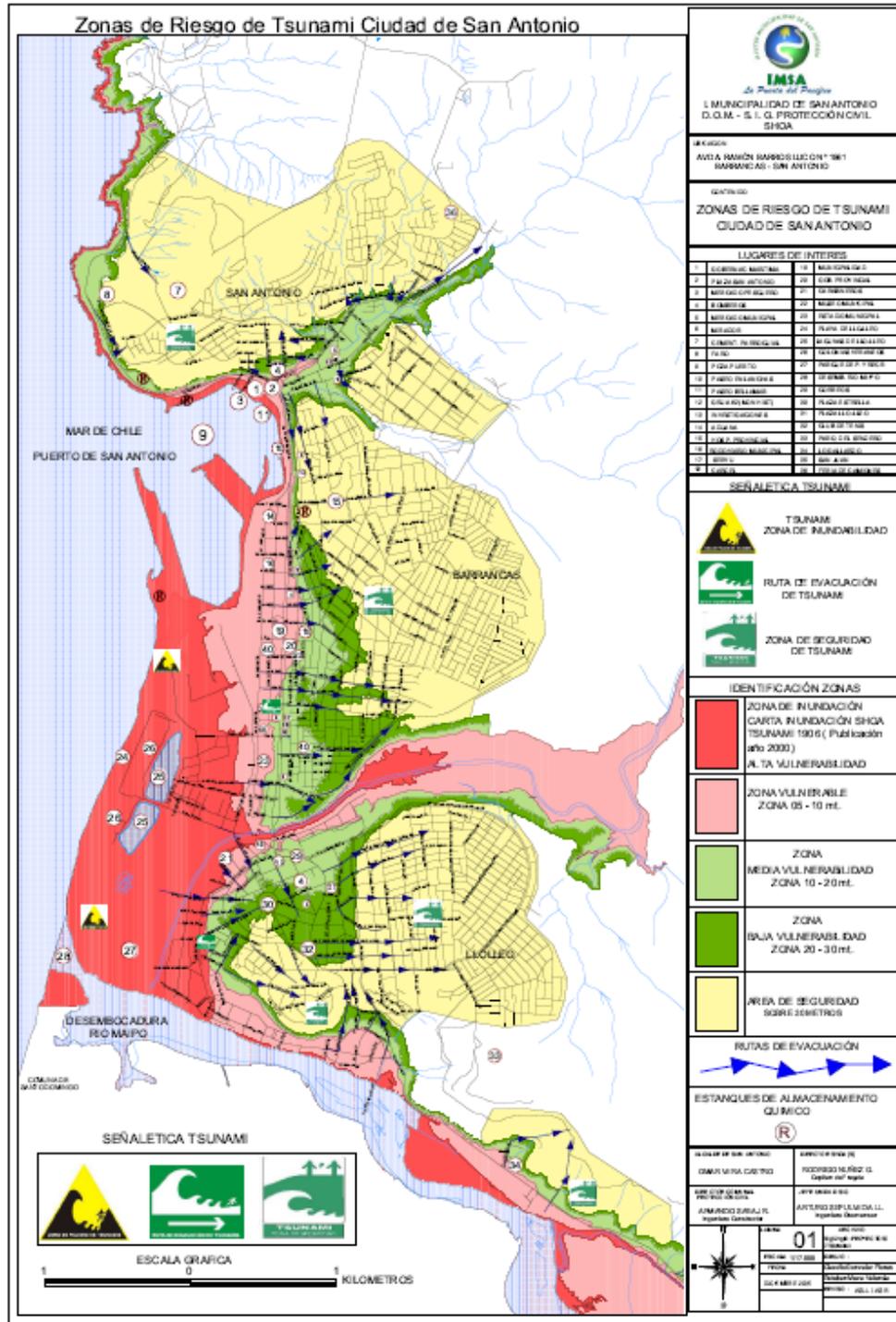
El Plan Comunal de Protección Civil de San Antonio (IMSA, 2010) contiene un plan de respuesta específico ante la ocurrencia de un tsunami que afecte la comuna. En este plan se definen zonas vulnerables y seguras ante un tsunami de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar a la cual se encuentran, de acuerdo al siguiente esquema:

Zona	Altura m.s.n.m.
<b>Alta Vulnerabilidad</b>	0 a 5
<b>Vulnerable</b>	5 a 10
<b>Media Vulnerabilidad</b>	10 a 20
<b>Baja Vulnerabilidad</b>	20 a 30
<b>Segura</b>	> 30

**Tabla 14: Definición de zonas vulnerables a la inundación de un tsunami de acuerdo con el Plan de Protección Civil de San Antonio. Fuente: IMSA, 2010.**

Dentro de las zonas definidas de alta vulnerabilidad y vulnerables se encuentran: sector portuario, caleta pescadores Pacheco Altamirano, Puertecito, paseo Bellamar, Gobernación marítima, zona céntrica San Antonio, poblaciones Brisamar, Boca del Maipo y San Pedro, zonas aledañas al río Maipo y estero El Sauce, Tejas Verdes, sector Lo Gallardo, sector San Juan y Puente Lo Gallardo.

Este plan también reconoce la posibilidad de que las olas avancen aguas arriba por el río Maipo y las desembocaduras de los esteros El Sauce y San Juan. Esto se observa en la Figura 41.



#### 4.1.2 Parámetros de Modelación de Tsunamis

La recopilación de antecedentes sísmicos, ha permitido caracterizar los parámetros tsunamigénicos de los eventos históricos que han afectado a la Comuna de San Antonio en el último siglo. Estos parámetros han sido recopilados a partir de diversas fuentes (SHOA, 2000; USGS, 2010; Farías et al., 2010; Delouis, 2010; Lorito et al., 2011) y se resumen en la Tabla 15.

Parámetros	Tsunami 1906	Tsunami 1985	Tsunami 2010
<b>Localización</b>	35.1°S - 72° W	34.38° S – 72°W	35.85°S – 72.72°W
<b>Magnitud</b>	8.4 Ms	7.8 Ms	8.8 Mw
<b>Dislocación (<i>slip</i>)</b>	4.6 m	2.8 m	6 a 10 m
<b>Largo Falla</b>	330 km	200 km	550 km
<b>Ancho Falla</b>	130 km	90 km	100 km
<b>Rumbo (<i>strike</i>)</b>	N10°E	N10°E	N17.5°E
<b>Buzamiento (<i>dip</i>)</b>	18°	18°	10° a 22°
<b>Profundidad</b>	15 km	17 km	35 km
<b>Ángulo desplazamiento (<i>rake</i>)</b>	90°	105°	100° a 120°

Tabla 15: Parámetros de falla para modelación del tsunami

## 4.2 INUNDACIÓN

Los antecedentes recopilados permiten identificar los sectores de la comuna de San Antonio que han sufrido de inundaciones en el pasado. Estos eventos permiten definir que cauces, esteros y quebradas requieren de una modelación más detallada. En la zona de estudio existen 4 cauces relevantes: el río Maipo, el estero El Sauce, el estero San Juan y el estero Arévalo. De acuerdo con los antecedentes históricos recopilados y con la información presentada en el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio (DOH, 2003) y en el Plan Regulador Comunal (IMSA, 2006), se reconocen los siguientes puntos críticos expuesto a sufrir inundaciones por crecidas: la ribera norte del Río Maipo, desde la desembocadura hasta la confluencia con el estero San Juan, la desembocadura de los esteros San Juan y El Sauce al río Maipo, las riberas del estero El Sauce, y la quebrada del estero Arévalo, su zona canalizada y su desembocadura en el sector del puerto. A continuación se presenta una caracterización de los principales problemas identificados en la bibliografía consultada relacionados con inundaciones causadas por crecidas en los cauces de la comuna. Se adjuntan también fotos indicando la ubicación de las correspondientes zonas de riesgo.

### - Sector San Antonio Centro

Registro de inundación de agua y barro en las calles Pedro Montt y Av. Centenario, provocadas el desborde de los esteros Arévalo y Huallipén.

En el tramo anterior al abovedamiento del estero Arévalo existe antecedente de desborde e inundaciones en casas aledañas. También existe registro de desbordes en el estero Huallipén provocando inundaciones entre las calles Ortúzar y Las Vertientes.

Además, el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la ciudad establece como área de anegamientos a la zona urbana ubicada en la ribera del estero Arévalo, específicamente en la zona donde finaliza la canalización y comienza el entubamiento, en Av. Lauro Barros entre Av. Centenario y Av. José Manuel Balmaceda, y a la parte baja de la quebrada Huallipén entre calle Carlos Condell de la Haza y Nueva Ruiz Tagle, punto donde se inicia el entubamiento de dicha quebrada.



Figura 42: Puntos críticos San Antonio centro.

- Sector de Barrancas

Frecuente inundación de la población Juan Aspeé por desborde de estero El Sauce.

- Sector Bajo de Lolleo

Sector ubicado hacia el poniente de Avenida Chile que incluye ambas riberas del estero El Sauce. Se registran inundaciones en las poblaciones San Pedro, La Boca de Tejas Verdes y Brisamar, por desbordes del estero El Sauce, especialmente en sus últimos 2 km.

- Sector Lo Gallardo

Frecuentes inundaciones en el sector Lo Gallardo por desborde del río Maipo. Este sector se ubica en la ribera norte del río Maipo a 3.5 km de su desembocadura.

Además se ha encontrado registro de que la Escuela Mixta N° 9 ubicada en Lo Gallardo, históricamente se ha inundado por desbordes del río Maipo

- Sector San Juan

San Juan se ubica en la ribera norte del río Maipo a 5.5 km de su desembocadura. En esta localidad se producen frecuentes inundaciones por el desborde del estero San Juan y del río Maipo. Además, el estero San Juan se desborda en el sector de su canalización en el camino a las instalaciones de EIVAL S.A y una planta de extracción de áridos.

Además en el PRC (IMSA, 2010), se establece como zona susceptible de inundación toda la ribera norte del río Maipo. Se reconocen los efectos de las crecidas en el río Maipo sobre el camino San Juan – Lo Gallardo, sobre el estribo norte del puente Lo Gallardo en crecidas poco frecuentes, y sobre los dos últimos kilómetros del río. El Plan Regulador Comunal establece Zonas de Protección para estas áreas, en las que se restringe y condiciona su uso urbano.

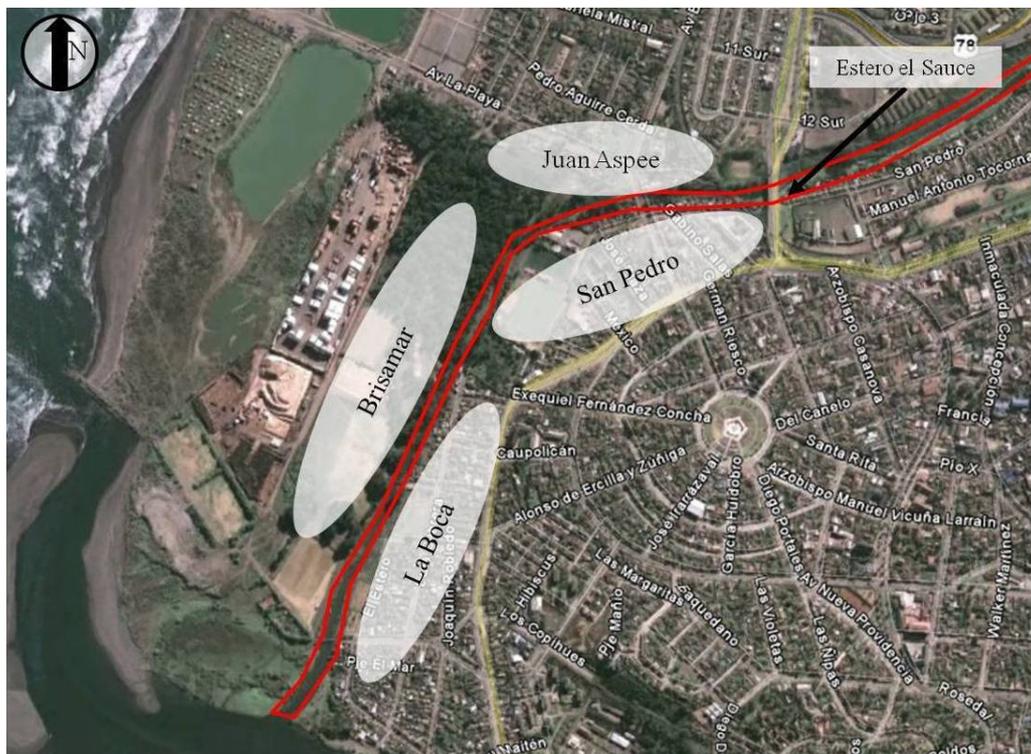
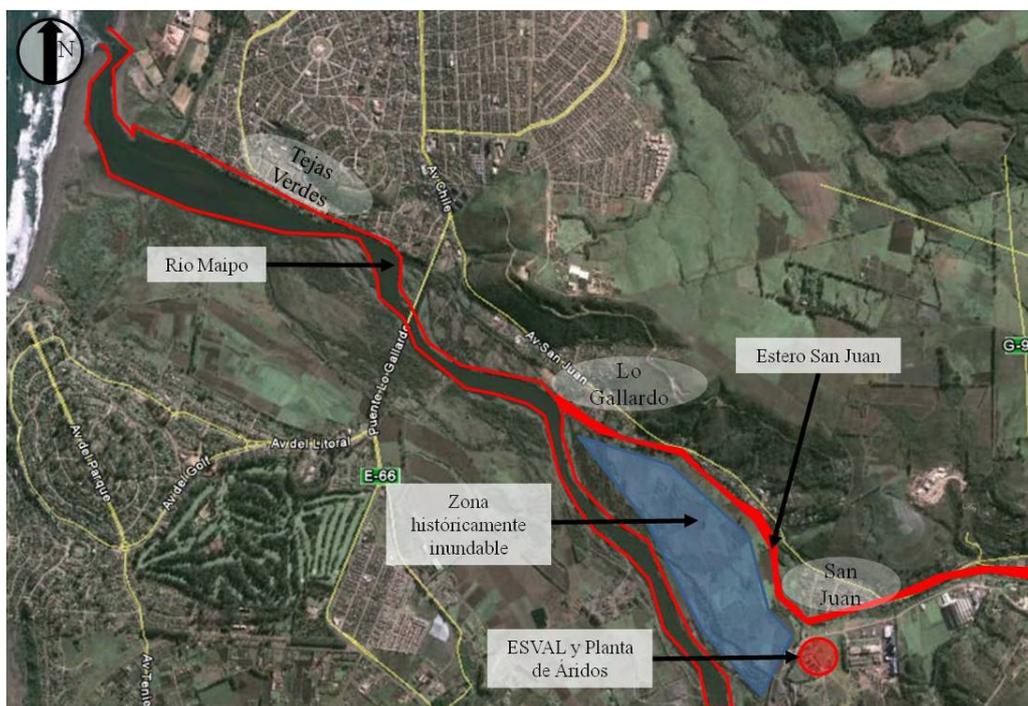


Figura 43: Puntos críticos sector Barrancas y Llolleo bajo



**Figura 44: Puntos críticos ribera norte río Maipo, Lo Gallardo y San Juan**

A partir de los antecedentes recopilados se puede concluir que los sectores susceptibles de ser inundados por crecidas son: ribera norte Río Maipo, ribera estero El Sauce en su zona baja y desembocadura (Población Brisamar, San Pedro y La Boca), desembocadura estero San Juan (Localidades Lo Gallardo y San Juan), ribera y desembocadura estero Arévalo. Cabe destacar que el estero El Sauce también cruza, en su parte alta, la localidad de Malvilla, dónde históricamente podrían haber ocurrido desbordes, pero no se han encontrado antecedentes.

Este pre-diagnóstico indica que los cauces a considerar en el estudio de amenaza por inundación son el río Maipo, el estero El Sauce, el estero San Juan y quebrada Arévalo. El Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad proporciona estimaciones de caudales de crecida y sus respectivos periodos de retorno en los esteros El Sauce, San Juan y Arévalo. Por otra parte, el registro histórico de caudales cerca de la desembocadura del río Maipo, permite hacer similar estimación para el río Maipo. Por lo tanto, inicialmente no se hace necesario utilizar modelos lluvia-escorrentía para estimar los caudales máximos probables, y sólo bastaría con un modelo de carácter probabilístico. Sin embargo, si se hace necesario una mejor caracterización de la batimetría de estos cauces para el cálculo de riesgos por inundación, dado que no existe información disponible.

### 4.3 SISMICIDAD

En la Tabla 16 se presenta la pre-clasificación sísmica de los suelos donde fueron ejecutados las prospecciones que se muestran en los planos GC-508-MS-002 y GC-508-MS-003, de Geotécnica Consultores (GC). La denominación de los pozos corresponde a la indicada en los planos GC, y estos han sido ordenados de izquierda a derecha según se presentan en los planos respectivos. Aquellos pozos sin nombre se han llamado NNX, donde X es algún número correlativo. La mayoría de las clasificaciones fue hecha considerando la información de los ensayos de penetración estándar (SPT) que se presentan en los planos, pero en algunos casos se hizo basado en la información indicada en el perfil de velocidades de ondas de corte Vs respectivo.

Perfil	Pozo	Profundidad	Clasificación	Observaciones
<b>Longitudinal 1</b>	S2	16 m	IV	Nmax < 20 golpes/pie
	S3	8 m	III	20 < N < 40 golpes/pie
	S4	8 m	IV	N < 20 golpes/pie en varios tramos
	S1	8 m	III	--
	S1	18 m	III	20 < N < 40 golpes/pie
	S2	18 m	III	20 < N < 40 golpes/pie
<b>Longitudinal 2</b>	S4	18 m	II	N > 40 golpes/pie
	S5	18 m	II	N > 40 golpes/pie
	S1	8 m	IV	Quizás III
	S2	9 m	IV	N < 20 golpes/pie
	S3	7.5 m	IV	Quizás III
	S4	8 m	IV	N < 20 golpes/pie
<b>Longitudinal 3</b>	S3	7 m	III	20 < N < 40 golpes/pie
	S4	9.5 m	III	Quizás II
<b>Longitudinal 7</b>	PS2	20 m	II	Quizás III
	PS1 Vs	20 m	II	Quizás III

	PS1 SPT	10 m	III	--
<b>Longitudinal 8</b>	NN1	5 m	III	--
	PS2	20 m	III	Quizás II
	S1	7.5 m	IV	Quizás III
	S2	10 m	IV	--
	NN2	5 m	III	--
<b>Longitudinal 9</b>	NN1	5 m	III	--
	NN2	10 m	III	Quizás IV
	PS1	20 m	II	--
<b>Transversal 4</b>	--	--	--	Sólo descripción y topografía
<b>Transversal 5</b>	--	--	--	Sólo descripción y topografía
<b>Transversal 6</b>	S1	6 m	IV	Quizás III
	S4	3 m	III	--
	S3	10 m	II	--
	S4	4.5 m	III	Quizás II
	S1	5.5 m	III	--

Tabla 16 Clasificación sísmica preliminar de pozos informe GC, de acuerdo a NCh433.Of96.Mod2009

En el documento “Lecciones del sismo del 3 de marzo de 1985” (Cruz et al., 1988) dentro del capítulo “Observaciones de Ingeniería Geotécnica” hay una sección llamada “Daños Observados en San Antonio”. De esa sección del documento se destacan los siguientes comentarios pertinentes al presente estudio:

*Los cerros de la ciudad de San Antonio están formados por rocas metamórficas en la parte Norte, por rocas intrusivas del batolito de la costa, hacia el Este, y por depósitos de terrazas de posible origen fluvio-marino en el sector Sur. Cerca de la costa, la roca se encuentra localmente cubierta por arenas eólicas de compacidad creciente con las profundidad.*

*La intensidad de daños registrada en inmuebles fue elevadísima. Asimismo, numerosas grietas y fuertes asentamientos se observaron en los pavimentos de hormigón de las calles de la zona céntrica. ...*

*Las malas características del subsuelo en ciertas zonas, constituido en los primeros metros por un relleno artificial heterogéneo poco compactado o por suelos arenosos de compacidad media a suelta, se sumaron a una generalizada deficiencia en la calidad de la construcción, lo que explica la enorme cantidad de daños que se registró.*

*La Escuela D-460, construida en lo alto de una duna, experimentó serios daños debido a deficiencias estructurales y a la aparición de importantes asentamientos diferenciales. ...*

*Bajando de lo alto de dicha duna hasta la calle 21 de Mayo, se encuentra el edificio del Cuartel de Bomberos, estructura que también experimentó asentamientos diferenciales significativos, ...*

*Esta calle 21 de Mayo, que bordea el pie de un cerro, fue una de las más afectadas. En ella se encontraba el supermercado EGAS, de reciente construcción, que sufrió considerables debido a problemas de fundaciones. ...*

*Antiguamente, la calle 21 de Mayo fue el lecho de un estero, el Arévalo, el que ahora escurre por un canal abovedado justamente bajo el pavimento de la calle. ...*

*(en relación al colapso del Puente Lo Gallardo) ... hubo en la superficie del terreno próxima al sector más dañado, en la ribera del río del lado de San Antonio, claras evidencias de licuefacción. ...*

#### **4.4 REMOCIÓN EN MASA**

Los antecedentes recopilados permiten ver que algunos sectores de la comuna de San Antonio han estado sometidos a remociones en masa en el pasado y a su vez identificar otros como zonas de riesgo. La identificación de estos lugares servirá también para validar futuras modelaciones.

Dentro del área urbana de San Antonio, existen antecedentes de remociones en masa en forma de flujo de barro y transporte de otros materiales, y desprendimiento y/o deslizamiento de laderas. Además en el Plan Regulador Comunal (IMSA, 2006) se reconoce la existencia de zonas de riesgo y considera un estudio de riesgo asociado a aluviones (flujo de barro), enfocándose en la cuenca del estero El Sauce.

De acuerdo con los antecedentes históricos de remociones en masa, los instrumentos de planificación territorial como Plan Maestro de Aguas Lluvias (DOH, 2003), el Plan Regulador Comunal (IMSA, 2006), y el estudio “Estudio áreas de riesgo geomorfológico de la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, V Región” (González, 2005) se identifican los siguientes sitios susceptibles de sufrir procesos de remoción en masa producto de precipitaciones.

##### **- San Antonio Alto**

Existe registro histórico de aluviones en las quebradas de los esteros Arévalo y Huallipén. Además en el Plan Maestro de Aguas Lluvias se reconocen problemas de erosión y estabilidad de aludes en las quebradas Holanda, Bruselas y Los Perales. Además, en las laderas del estero Huallipén frente a

calle Chorrillos se presentan desprendimientos. Cabe destacar que todas estas quebradas están actualmente ocupadas por viviendas.

En el sector alto de Bellavista existen antecedentes históricos de corte de caminos por derrumbes, además González (2005) identifica en este sector evidencias de deslizamientos rotacionales (Av. San Antonio de las Bodegas con Camino viejo a Cartagena).

De acuerdo con González (2005), en el sector del loteo Pelancura, en el Cerro Centinela (Av. Manuel Bulnes Prieto con Contraloría), existe erosión severa, además el flujo natural del agua ha sido obstruido por la construcción del Camino Contraloría.

En la quebrada Los Perales, producto de la construcción del camino San Antonio de las Bodegas, existe un corte en la ladera del cerro entre las calles Manuel Bulnes y Pedro Aguirre Cerda, el cual es susceptible a procesos de remoción en masa por efecto de precipitaciones intensas (González, 2005).

En el sector alto de la quebrada Huallipén, en la Población 12 de Noviembre, entre las calles Nueva Ruiz-Tagle y Domingo Fernández Concha existe una ladera compuesta por arenas en la cual es posible que se desencadenen flujos producto de precipitaciones intensas (González, 2005). En terreno se identificaron viviendas dentro de la quebrada a la altura del puente Huallipén.

Finalmente, en la ruta 78 que une San Antonio con Santiago, en el kilómetro 106 existen antecedentes de socavación y derrumbe del camino.



Figura 45: Puntos Críticos San Antonio Alto



Figura 46: Detalle falla Planicies de Bellavista

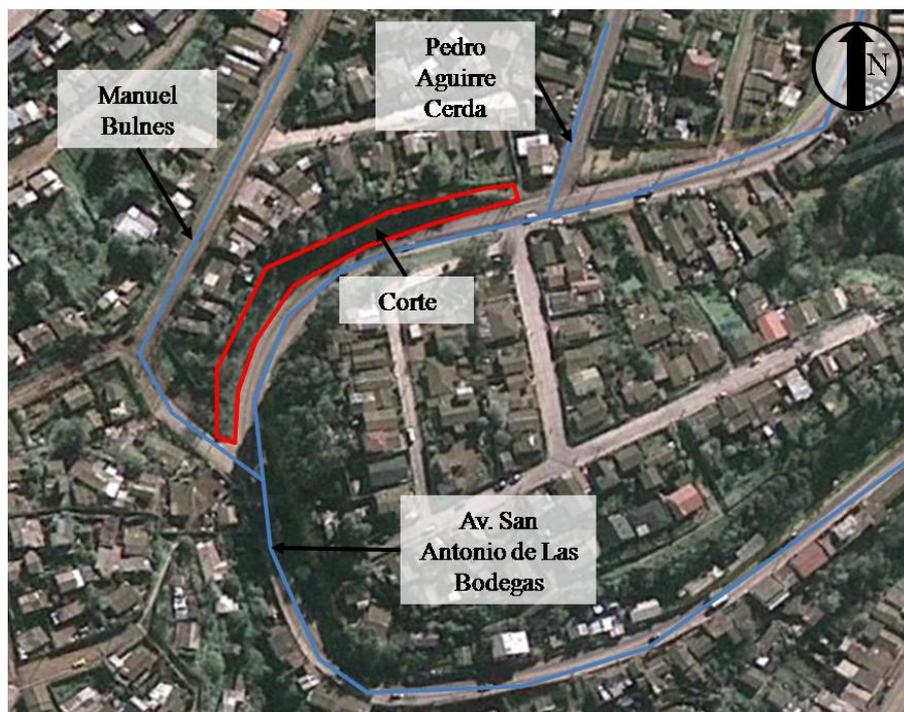


Figura 47: Detalle corte Av. San Antonio de las Bodegas

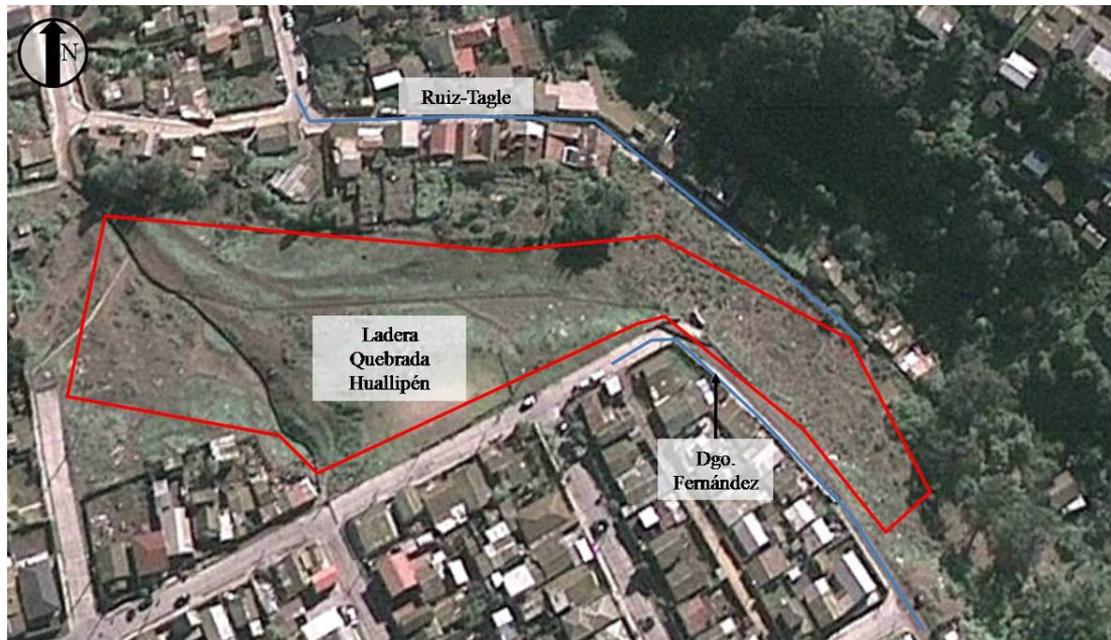


Figura 48: Detalle ladera Quebrada Huallipén

San Antonio Centro y Camino San Antonio-Cartagena:

En la zona centro se identifica como punto de potencial remoción en masa el talud ubicado frente a los restaurantes del puerto en Av. Antonio Núñez de Fonseca. Se registran deslizamientos históricos, en 2005 y pocos días antes de la visita a terreno (Ver Figura 38).

En la Av. Núñez de Fonseca, la cual conecta San Antonio con Cartagena, se registran varios derrumbes en la ladera del cerro Centinela, especialmente a la altura de Vopak y en el sector frente al faro.



Figura 49: Puntos Críticos San Antonio Centro y Talud 21 de Mayo

### Sector de Barrancas

En Barrancas alto se identifica el sector de Av. Manuel Montt con Calle el Maule existe una depresión donde confluyen las aguas lluvias provenientes del sector alto de Barrancas, en donde se registran desprendimientos de cerros.

El talud ubicado entre Av. 21 de Mayo y Av. Barros Luco, de alta pendiente y un desnivel de aproximadamente 50 m, ha sido afectados por derrumbes a causa de sismos (terremoto 1985) y a causa de precipitaciones intensas (año 2001).

## Lolleo

En Lolleo alto, se identifica la ladera ubicada en Av. Circunvalación Los Aromos que drena hacia estero el sauce como lugar potencial para remociones en masa (González, 2005).



Figura 50: Puntos Críticos Barrancas Alto y Lolleo Alto

## Camino Lo Gallardo – San Juan

A lo largo del camino a San Juan se producen deslizamientos de taludes y significativos flujos de agua desde los cerros ubicados en el costado norte del camino. Evidencia de esto se observó en la visita a terreno (Figura 39) y también en las imágenes satelitales de Google Earth. Además, de acuerdo con González (2005), en este lugar se extrae maicillo (Camino del Agua, sobre Lo Gallardo), extracción que ha dejado el suelo expuesto a la acción de aguas lluvias aumentando la posibilidad de ocurrencia de remoción en masa.



Figura 51: Puntos críticos Camino Lo Gallardo - San Juan

## 4.5 VULNERABILIDAD

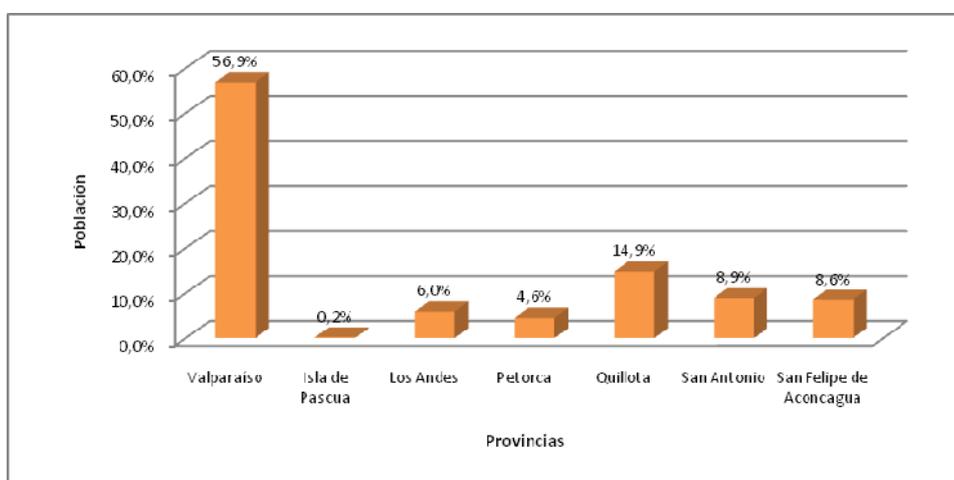
Dentro de este apartado se realizará el pre-diagnóstico de las variables que ayudaran al análisis de vulnerabilidad. Dicho pre-diagnóstico mostrará las características generales de la población, de la conectividad y accesibilidad, y las redes de infraestructura, equipamiento y servicios.

### 4.5.1 Análisis de condiciones demográficas y económicas

#### 4.5.1.1 Características de de la población de la Comuna de San Antonio

La comuna de San Antonio está ubicada dentro de la Provincia del mismo nombre, a 113 km de la Capital regional Valparaíso, y se encuentra localizada a 109 km de la ciudad de Santiago.

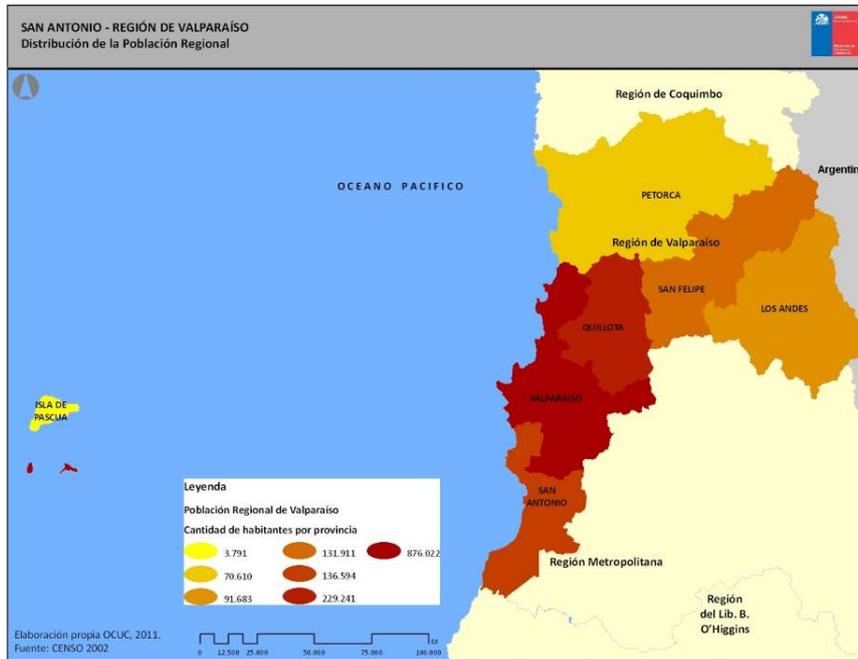
La Región de Valparaíso presenta 1.539.852 habitantes (CENSO, 2002), que se distribuyen de la siguiente manera:



**Gráfico 1 Población Provincias Región de Valparaíso**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

Siendo la provincia de Valparaíso la que concentra el 57% de la población regional. La provincia de Quillota presenta un 14,9% de los habitantes de la región, y en tercer lugar se encuentra la provincia de San Antonio con una concentración de población regional del 8,9%.

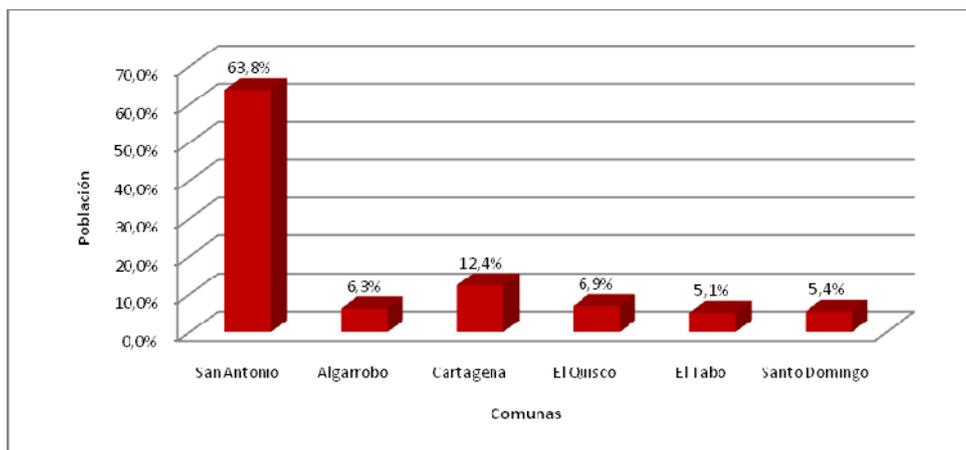
La siguiente figura muestra gráficamente la distribución de la población dentro de la Región de Valparaíso:



**Figura 52 Distribución de la Población Regional, Región de Valparaíso**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

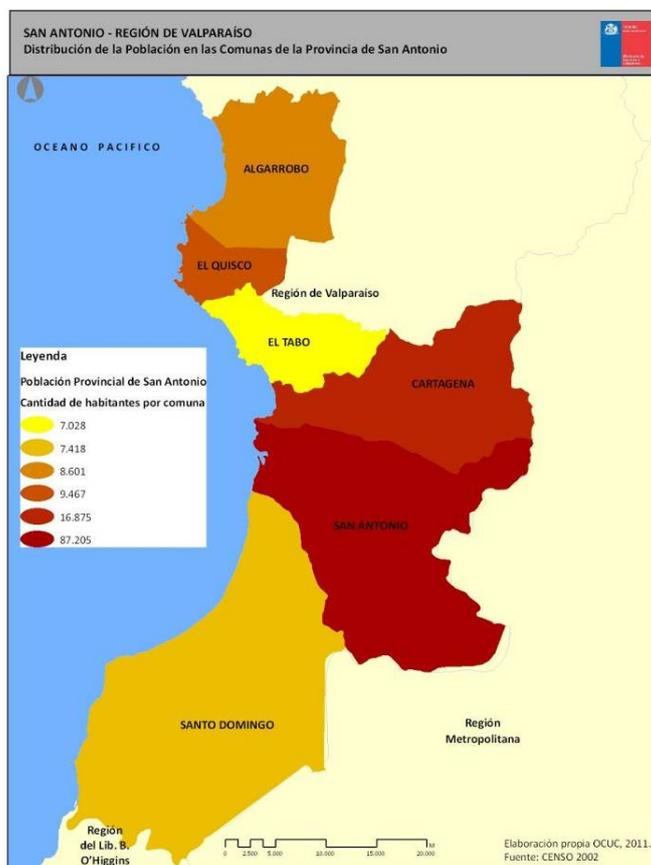
La Figura 52 muestra claramente la concentración de población en las provincias localizadas al suroeste de la región.

Dentro de la provincia la comuna de San Antonio es la que presenta la mayor concentración de población con un 63,8% de los habitantes de la provincia, y en segundo lugar se encuentra la comuna de Cartagena con un 12,4% de la población provincial. Son las dos comunas que presentan las mayores concentraciones de población de la provincia las otras cuatro comunas presentan porcentajes por debajo del 7% de población (ver Gráfico 2).



**Gráfico 2 Población Comunas Provincia de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

La Figura 53 muestra la distribución de la población dentro de la provincia de San Antonio destacándose la mayor concentración en la comuna del mismo nombre, se debe destacar que todas las comunas de la provincia presentan población en el borde costero.



**Figura 53 Distribución de la Población en las Comunas de la Provincia de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

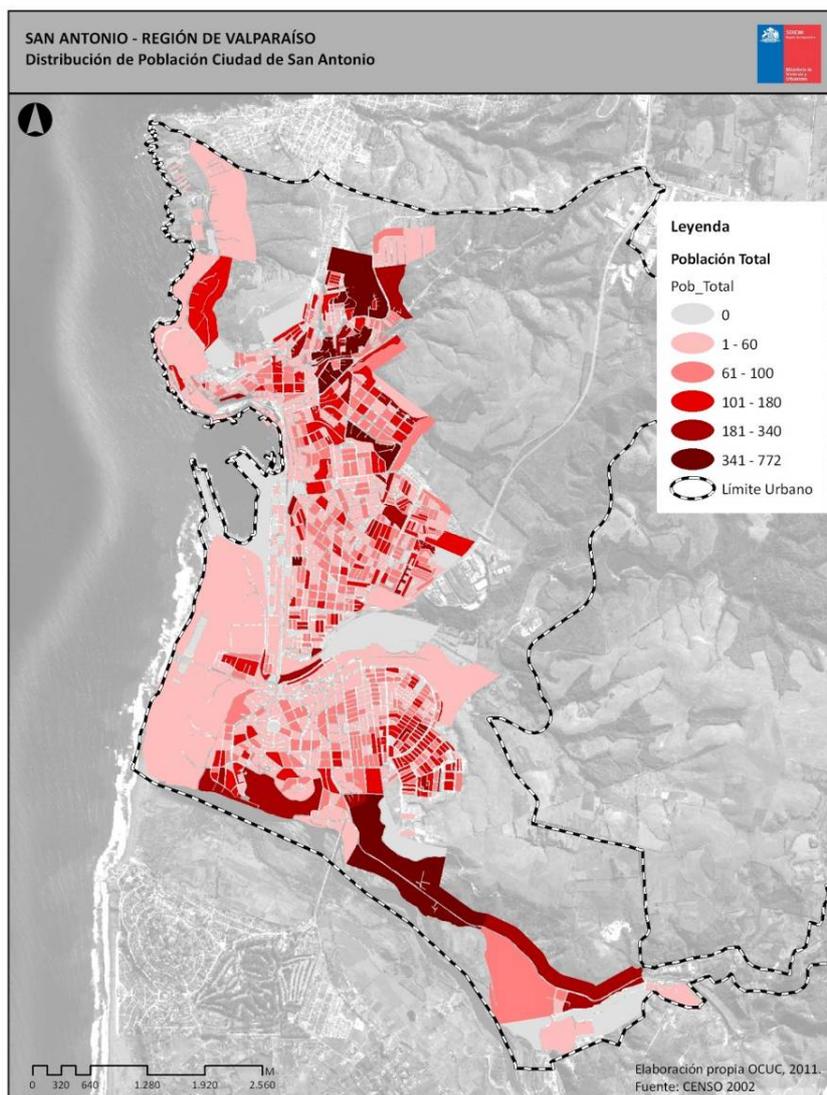
La Tabla 17 muestra la proyección de población, realizada por el INE, para cada una de las comunas que se encuentran dentro de la provincia de San Antonio.

AÑO	San Antonio	Algarrobo	El Quisco	El Tabo	Cartagena	Santo Domingo
2011	99.120	13.011	15.204	11.365	24.942	9.070
2012	99.868	13.472	15.829	11.861	25.787	9.205
2013	100.612	13.926	16.462	12.358	26.625	9.336
2014	101.363	14.382	17.096	12.846	27.466	9.478
2015	102.108	14.843	17.729	13.342	28.312	9.605
2016	102.666	15.360	18.441	13.918	29.233	9.724
2017	103.213	15.871	19.161	14.491	30.166	9.847
2018	103.773	16.386	19.893	15.064	31.097	9.969
2019	104.322	16.901	20.613	15.643	32.027	10.090
2020	104.877	17.420	21.332	16.217	32.953	10.213

**Tabla 17 Proyección de población Comunas Provincia de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

Como se aprecia, la comuna de San Antonio es la que muestra la mayor proyección de habitantes, muestra el mayor crecimiento poblacional dentro de la provincia, proyectándose para el año 2020 la cantidad de 104.877 habitantes.

Con respecto a la ciudad de San Antonio la Figura 54 muestra la distribución de la población dentro la ciudad:



**Figura 54 Distribución de Población Ciudad de San Antonio**

Como se observa en la Figura 54 la distribución de la población en la ciudad es bastante homogénea, se aprecia una mayor concentración de habitantes en la zona nor-oriental (sector de San Antonio), con manzanas que presentan entre 341 a 772 habitantes, esta es la zona más central de San Antonio y en donde se concentra la mayor actividad de comercio y servicios (centro urbano).

Con respecto a las localidades menores que se encuentran dentro de la comuna, y que presentan límite urbano, muestran las siguientes características demográficas.

Localidad	Hombres	Mujeres	Total
Leyda	245	232	477
Cuncumen	253	256	509
Malvilla	58	61	119

**Tabla 18 Población Localidades, Comuna de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia en base al CENSO 2002

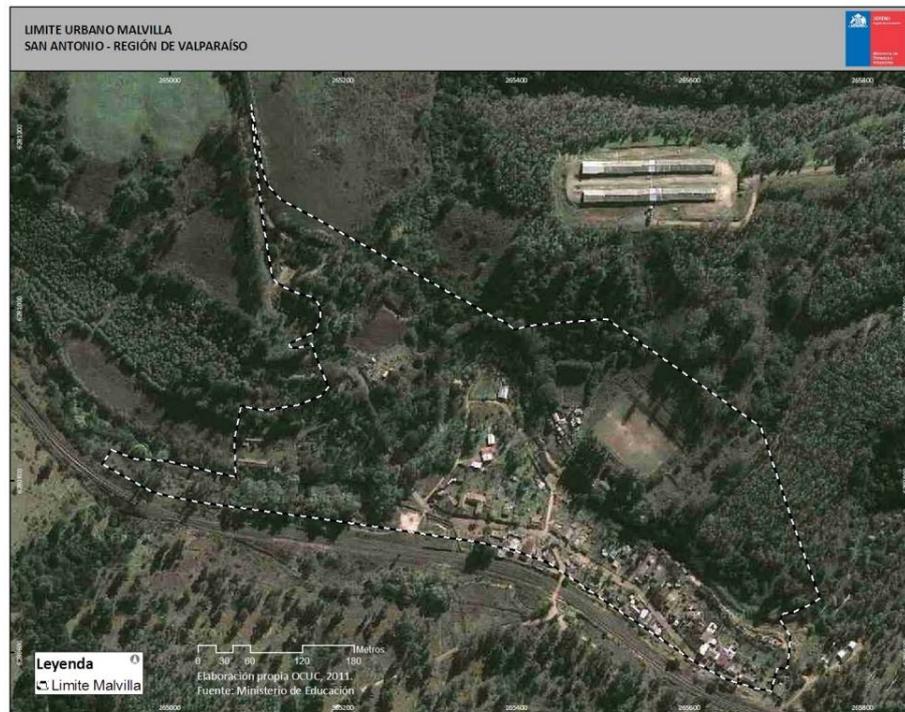
Las tres localidades presentan características de pequeña concentración de población, teniendo un carácter más rural. Esto se aprecia en las siguientes imágenes:



**Figura 55 Límite Urbano Leyda, San Antonio**  
Fuente: Plan Regulador Comunal de San Antonio, 2006

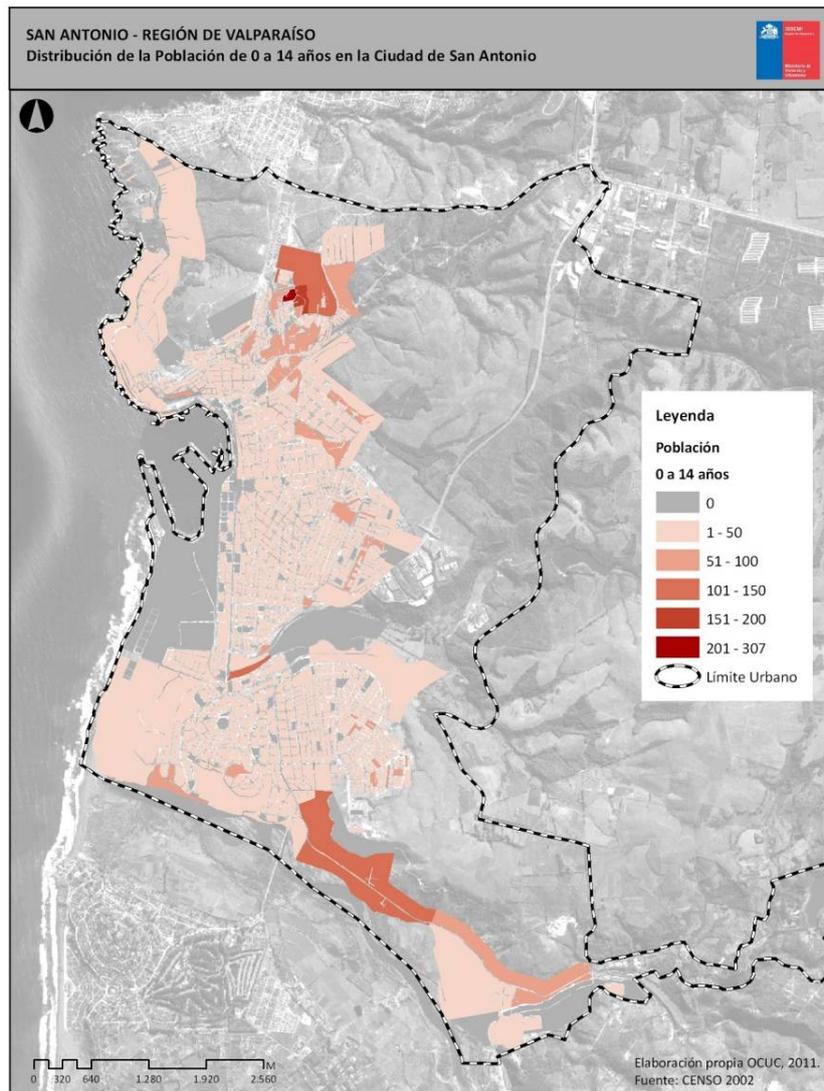


**Figura 56 Límite Urbano Cuncumen, San Antonio**  
Fuente: Plan Regulador Comunal de San Antonio, 2006



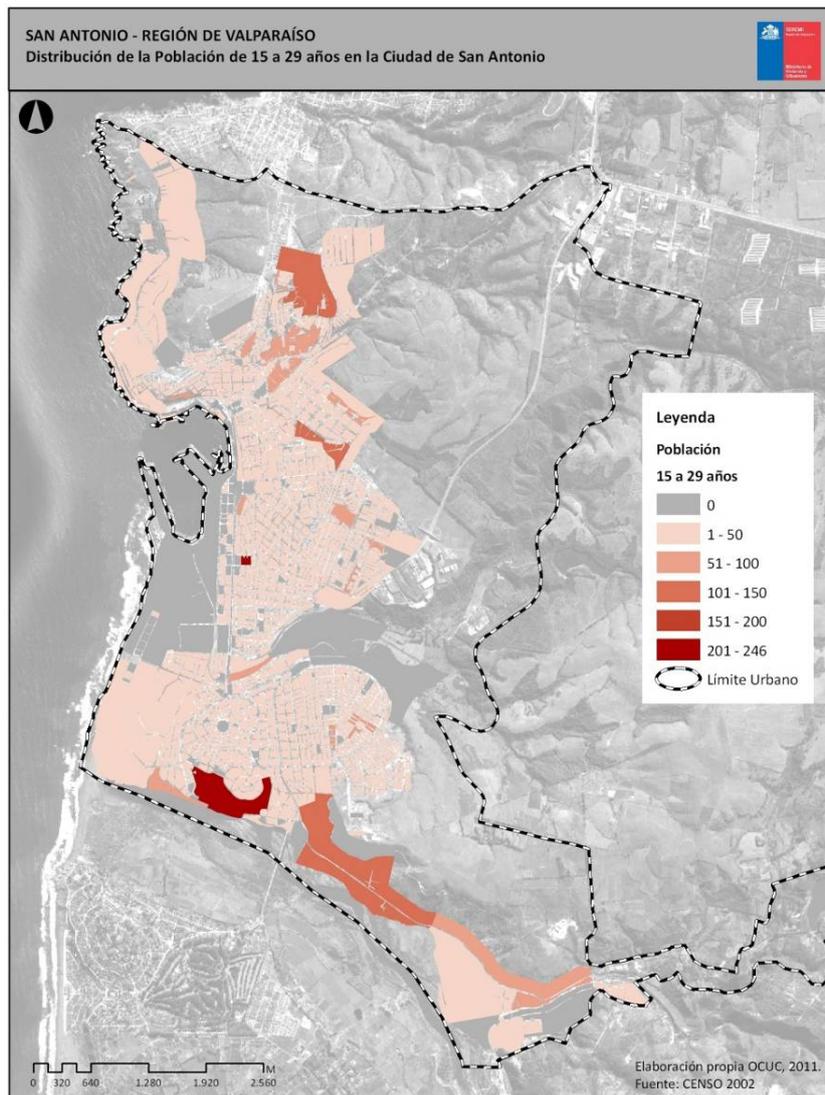
**Figura 57 Límite Urbano Malvilla, San Antonio**  
Fuente: Plan Regulador Comunal de San Antonio, 2006

Con respecto a la distribución de población por grupo etario se presenta de la siguiente forma:



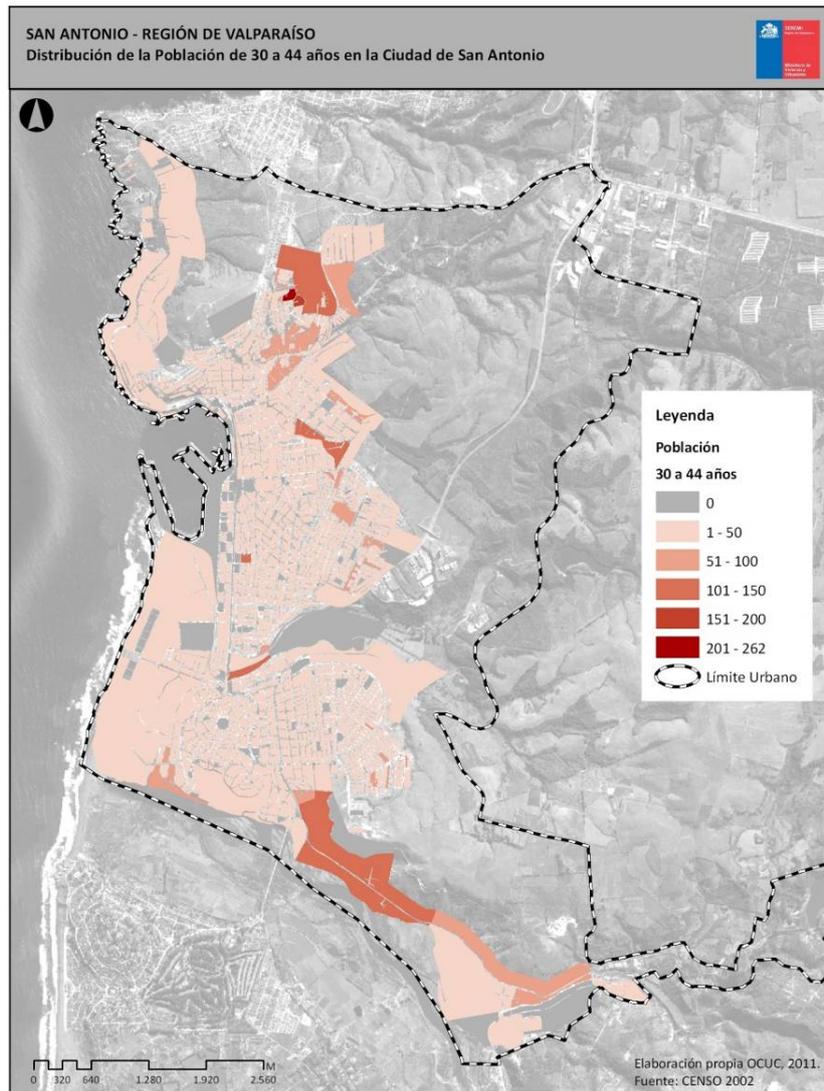
**Figura 58 Distribución de Población de 0 a 14 años Ciudad de San Antonio**

La población de 0 a 14 años se concentra preferentemente en el centro de la ciudad de San Antonio, se aprecian manzanas con población de 101 a 150 habitantes al sur de Llolejo, en la ribera del río Maipo.



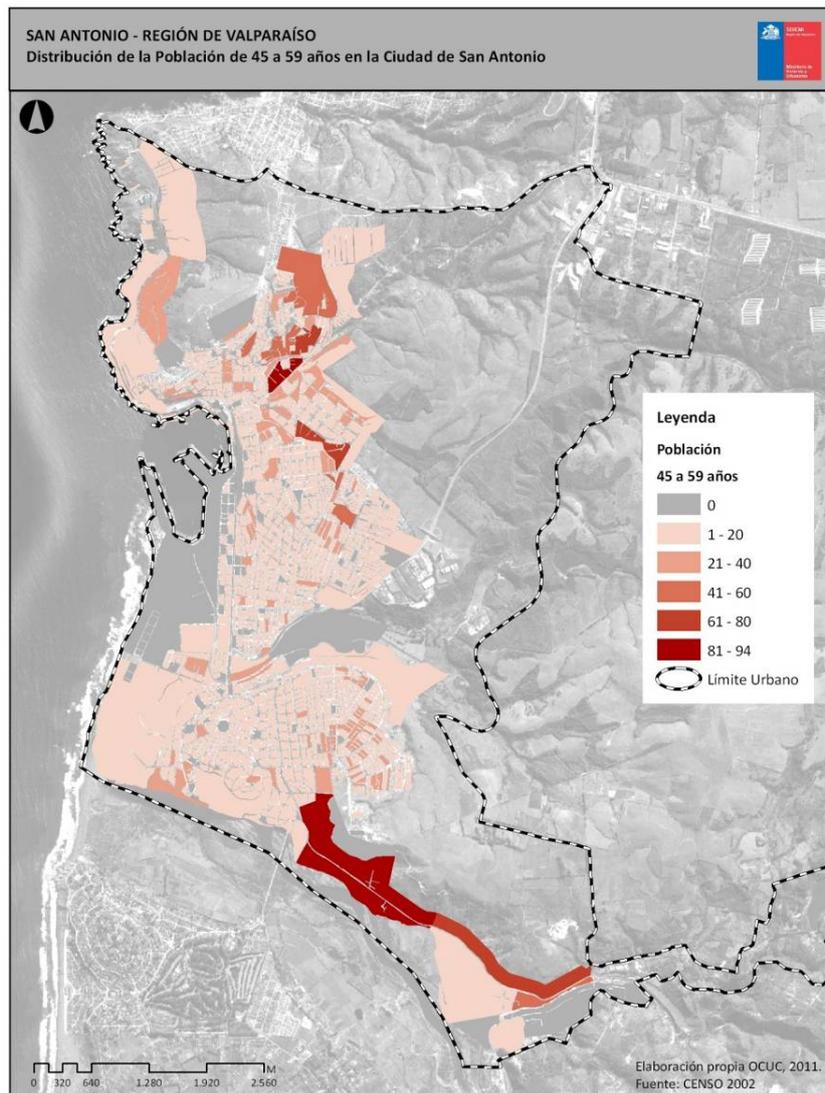
**Figura 59 Distribución de Población de 15 a 29 años Ciudad de San Antonio**

La Figura 59 muestra la concentración de la población de 15 a 29 años dentro de la ciudad, se destaca la concentración en el sector de Llole con manzanas que se encuentran en la ribera del río Maipo.



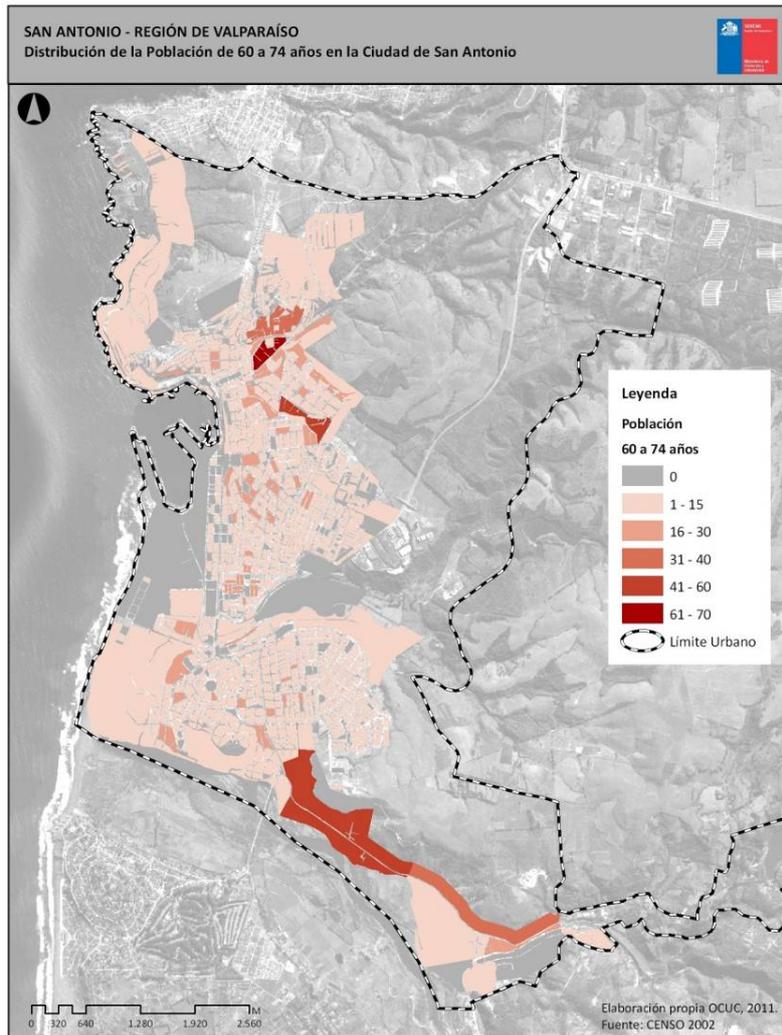
**Figura 60 Distribución de Población de 30 a 44 años Ciudad de San Antonio**

La población de 30 a 44 años se concentra principalmente en el sector centro de San Antonio, como lo muestra la Figura 60. Se aprecian también manzanas de 151-200 habitantes en la zona de Barrancas y en Lollole en la ribera del río Maipo.



**Figura 61 Distribución de Población de 45 a 59 años Ciudad de San Antonio**

La Figura 61 muestra que la población entre 45 a 59 años se concentra principalmente en la zona centro de la ciudad de San Antonio. También se aprecia importantes concentraciones en el sector de Lolleo en la ribera del río Maipo.



**Figura 62 Distribución de Población de 60 a 74 años Ciudad de San Antonio**

La población entre los 60 a 74 años se concentra en la zona centro y en Lillo principalmente. En este último sector, se presentan manzanas en la ribera del río Maipo con concentración de población entre 41 a 60 habitantes.

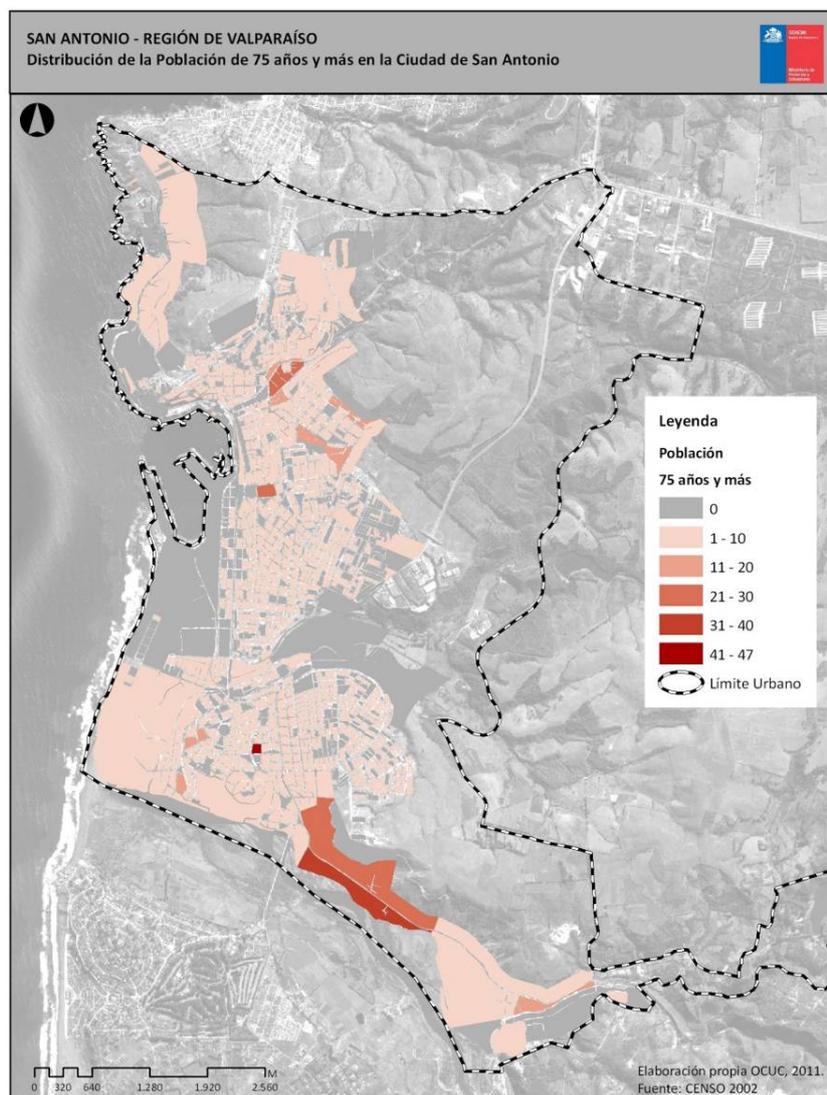


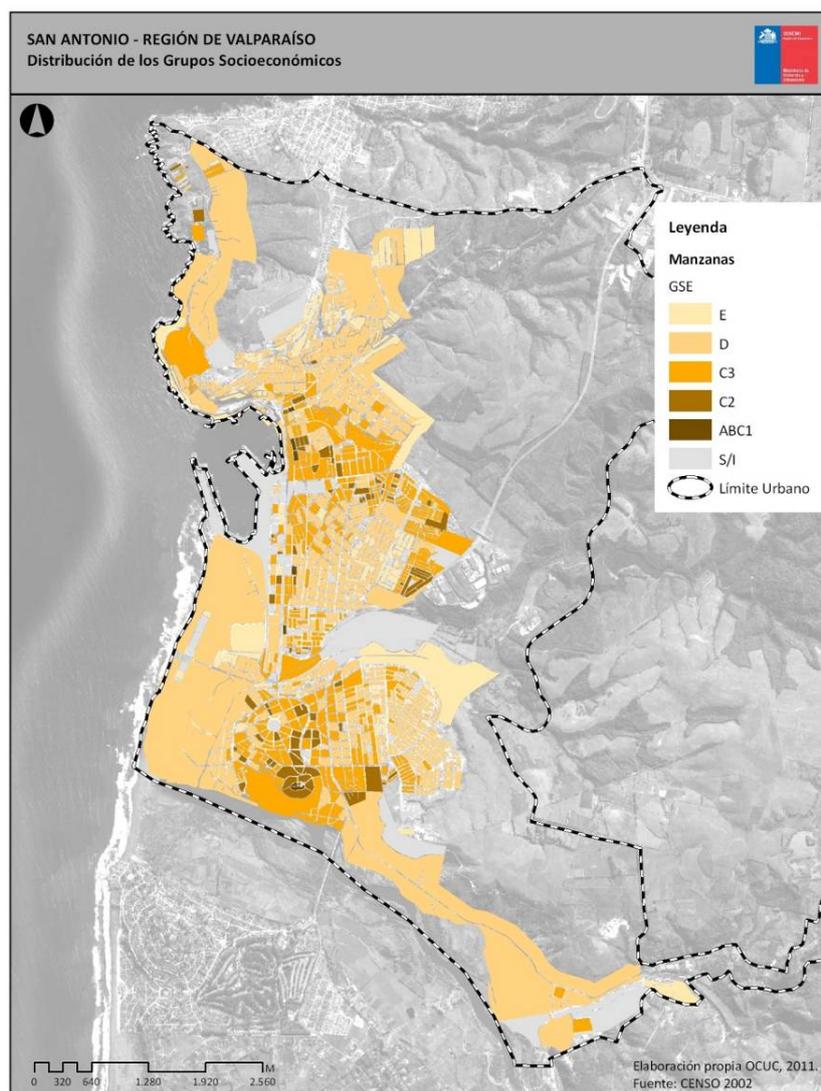
Figura 63 Distribución de Población de 75 años y más, Ciudad de San Antonio

Con respecto a la población que supera los 75 años se concentra dentro de la ciudad en el sector de Llole en manzanas cercanas a ribera del Maipo.

#### **4.5.1.2 Características económicas de la población**

En este apartado se mostrarán las características económicas tanto de la población como de las actividades económicas que se desarrollan en la comuna de San Antonio.

La Figura 64 muestra la distribución de los GSE dentro de la ciudad de San Antonio, siendo los de mayor concentración de hogares los grupos D, C3 y E.



**Figura 64 Distribución de los GSE en la Ciudad de San Antonio**

En el sector de Lollo se presentan manzanas con GSE predominante D en la ribera y cercano a la desembocadura del río Maipo. Se debe destacar que los GSE más altos (C3, C2 y ABC1) se localizan principalmente en las zonas más centrales de los sectores de San Antonio (centro), Barrancas y Lollo. En las partes más periféricas de la ciudad se localizan principalmente los GSE D y E.

La Tabla 19 muestra la cantidad y porcentajes de hogares por GSE, el grupo D es el que predomina en la ciudad con un 42% de hogares en dicho GSE, seguido por C3 con 25% y E con 17% de hogares.

GSE	Hogares	Porcentaje
E	6.713	17%
D	16.301	42%
C3	9.926	25%
C2	4.992	13%
ABC1	1.003	3%
<b>Total</b>	<b>38.935</b>	<b>100%</b>

**Tabla 19 Distribución de los GSE en la Ciudad de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia OCUC, 2011. En base al CENSO 2002

Con respecto a la actividad económica que se desarrolla en San Antonio se destaca que el 57,2% personas se dedican a labores de servicio, seguido por la actividad de transporte y telecomunicaciones con un 15,4%.

Con respecto al empleo, la información recogida del estudio de red de salud de la comuna, expresa que la encuesta Casen en términos comparativos para los años 1998, 2003 y 2006, los niveles de empleabilidad, el porcentaje de desocupados ha ido en aumento a medida que aumenta la población. Por otro lado, el porcentaje de ocupación laboral ha descendido, para el tramo en 1998-2003 en un 1,3% y para 2003-2006 un 0,5%.

Los datos entregados por la CASEN 2006, expresan que para la comuna de San Antonio existe un total de 34.698 personas ocupadas y 4.657 desocupadas, lo que equivale a un 11.9% de la población económicamente activa.

La memoria explicativa del PRC expresa que hay poca diversificación de la base económica de la ciudad, lo cual se refleja en los datos expuestos en la Tabla 20.

Actividad	Porcentaje
Agricultura y Silvicultura	4,3%
Pesca	4,2%
Minería	0,4%
Industria	9,1%
Construcción y Actividad Inmobiliaria	9,3%
Servicios	57,2%
Transporte y Telecomunicaciones	15,4%

**Tabla 20 Actividad económica de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia OCUC, 2011. En base al CENSO 2002

Se debe destacar la pesca artesanal ya que dentro de la comuna se presentan tres caletas de pescadores las cuales están dentro de la zona urbana de San Antonio. Estas caletas pesqueras son: Puertecito, Pacheco Altamirano y Desembocadura Río Maipo. De la información entregada sobre la actividad pesquera de la comuna se puede apreciar que todas estas presentan una buena organización como infraestructura<sup>7</sup>, lo cual en la etapa de diagnóstico se analizará su vulnerabilidad frente a las distintas amenazas que se pueden ver afectadas.

#### 4.5.2 Conectividad y Accesibilidad

La principal vía de acceso a la comuna de San Antonio y a su centro urbano es la Ruta 78 (Autopista del Sol), que comunica a Santiago con el puerto de San Antonio y sus alrededores. Esta vía, está constituida por una moderna autopista de alto estándar, cuya administración está concesionada a particulares.

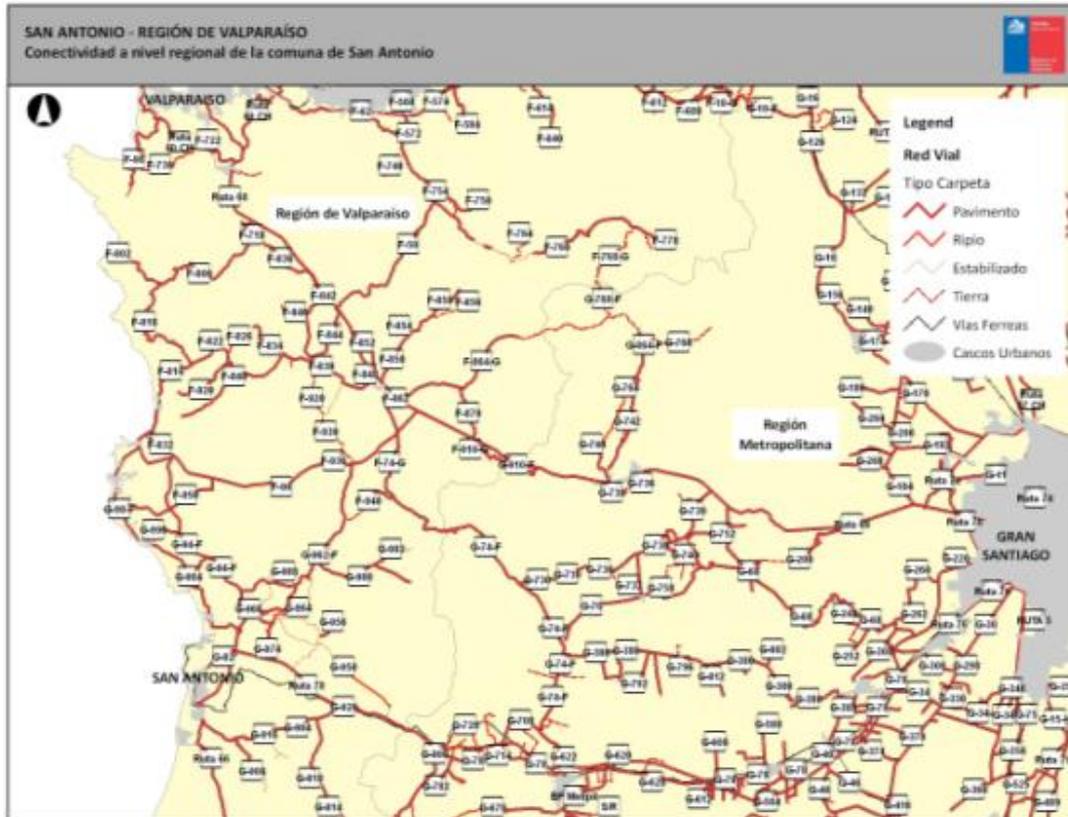
Para el acceso norte y conexión con el puerto de Valparaíso existe la variante Ruta G-962-F que conecta con la Ruta 68 (autopista Santiago-Valparaíso), la cual al salir de San Antonio se conecta con la G-82, para empalmar con la G-94-F, luego con la F-90 para conectar con la Ruta 68 (Cruce Ruta 68 Casablanca-Algarrobo).

Para el acceso sur existe la Ruta 66 (Camino de la Fruta), la cual conecta directamente al puerto de San Antonio con la Ruta 5 a la altura de Pelequén.

Existe un ramal ferroviario, que conecta Santiago con el puerto de San Antonio, el cual en la actualidad se encuentra sin utilización para transporte de pasajeros, sólo se utiliza para el transporte de carga asociado al puerto.

<sup>7</sup> Ilustre Municipalidad de San Antonio 2006, Investigación Recursos Pesqueros, San Antonio

La Figura 65 muestra las distintas rutas que conectan a San Antonio con el resto del País, presentando una importante accesibilidad desde Santiago y el sur.



**Figura 65 Conectividad a Nivel Regional de la Comuna de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia, 2011. En base a información Dirección de vialidad, MOP

Con respecto al estado de las rutas anteriormente nombradas la Ruta 78, es una autopista de un buen estándar, la Ruta 66 presenta un estado de la berma bueno, calzada regular y en el Km 82,5 la calzada se encuentra en mal estado por reconstrucción. La ruta con la cual se conecta a Valparaíso G-962-F se encuentra en muy buen estado, tanto la Berma como la calzada<sup>8</sup>.

Todas las rutas que son utilizadas en la conectividad de San Antonio con el país (nombradas anteriormente) se encuentran con carpeta de pavimento.

La ciudad de San Antonio tiene un rol de dotador de servicios y equipamientos intercomunales, siendo el polo de desarrollo dentro del sistema urbano de la provincia y de la región gracias a la conexión con la macro zona central, por lo cual constituye un importante atractivo para futuras

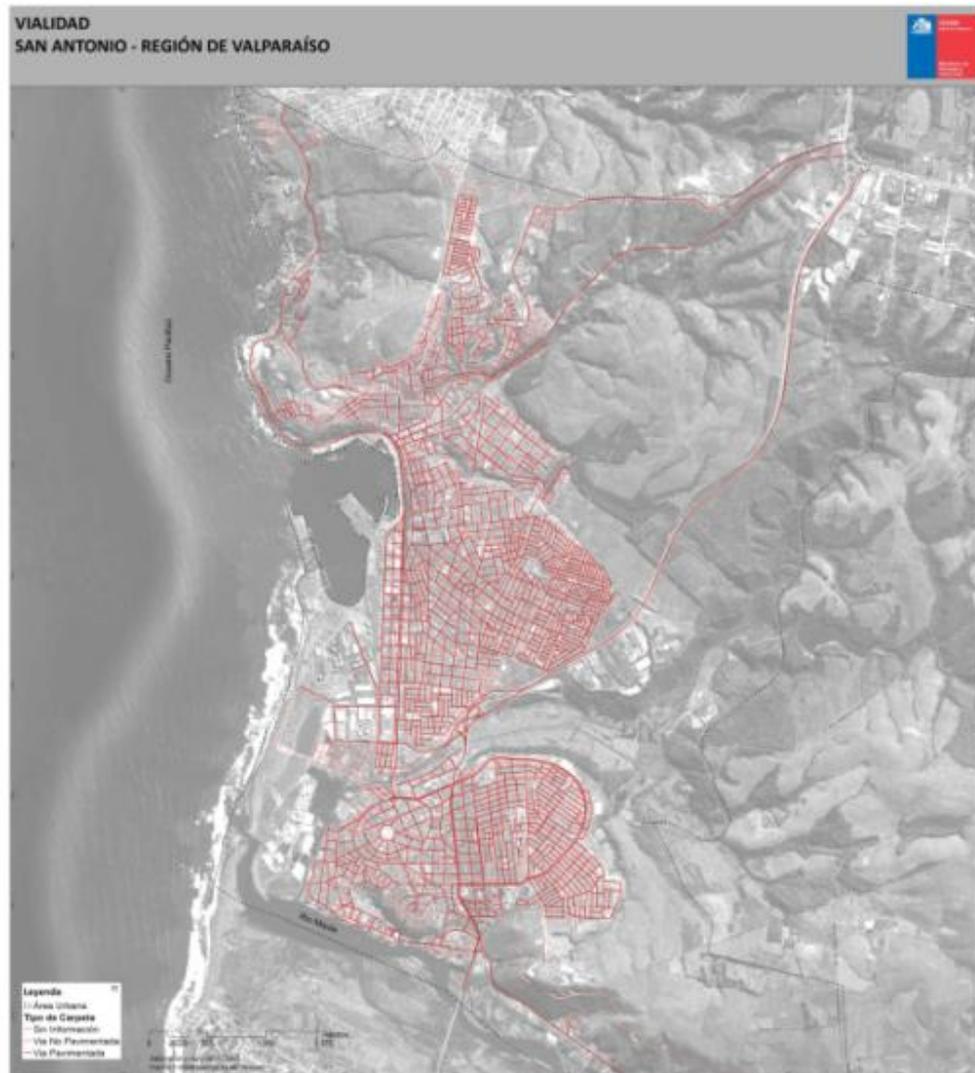
<sup>8</sup> Información entregada por la Dirección de Vialidad, MOP Proposición de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada y Bermas para caminos pavimentados - Año 2010

inversiones en los sectores portuarios, residenciales, industriales y turísticos. Esta afirmación radica principalmente por la accesibilidad que presenta la ciudad de San Antonio.

Para las localidades interiores, tienen la siguiente conectividad:

- La localidad de Leyda se localiza al sur de la ruta 78, cuya conexión la une directamente con la ciudad de San Antonio.
- La localidad de Cuncumén tiene una accesibilidad por tres rutas G-820 que es conexión entre ésta y Cuncumén bajo, la ruta G-814 que es conexión con Leyda y con la ciudad de San Antonio al empalmarse con la ruta G-904 y la ruta G-800 que conecta a esta localidad con la Ruta-78. Todas estas rutas se encuentran pavimentadas.
- La localidad de Malvilla, presenta vías de carácter rural que la conectan con la Ruta 78, cuya conexión une esta localidad con la ciudad de San Antonio.

Con respecto a la vialidad de la ciudad de San Antonio, cuenta con 296,7 Km de las cuales el 84,3% se encuentran pavimentadas y 15,6% son de tierra. La Figura 66 muestra las calles de la ciudad diferenciadas según tipo de carpeta.



**Figura 66 Vialidad Ciudad de San Antonio**

**Fuente: Elaboración propia 2011 OCUC. En base a información de la I. Municipalidad de San Antonio**

Dentro de la distinta información recopilada la red vial se puede afirmar que esta presenta restricciones, principalmente en la zona centro de la ciudad, con gran concentración de vehículos como de peatones, sobretodo en la temporada estival. Esto tiene como resultado una saturación de la capacidad de infraestructura vial, afectando al transporte público principalmente, y considerando las condiciones socioeconómicas predominantes, es el más relevante en términos de conectividad dentro y fuera de la ciudad<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Ilustre Municipalidad de San Antonio, Secretaría Comunal de Planificación y Coordinación, Estudio de pre factibilidad para la remodelación del centro de San Antonio.

Dentro del Diagnóstico Cuantitativo del PLADECO, en la estructura urbana interna confirman la afirmación del párrafo anterior, especificando que *“la estructura, consolidación, y ocupación de la red vial que genera congestión vehicular en diversos puntos de la ciudad”*, por otro lado, también se presenta como restricción las dificultades topográficas de la ciudad para constituir conexiones viales alternativas principalmente una a Av. Ramón Barros Luco en una cota más alta<sup>10</sup>.

Otro elemento importante de destacar, es lo que se expresó en párrafos anteriores sobre el porcentaje de vías sin pavimentar las cuales generan erosión y contaminación por el material particulado.

Otra restricción que se hace referencia en el PLADECO sobre la vialidad es la siguiente: *“Una red vial no jerarquizada y deficiente en cuanto a conexiones expeditas entre los distintos sectores de la ciudad, lo que produce saturación en el eje estructurante de Av. Ramón Barros Luco”*.

Pero se pueden determinar potencialidades, las cuales al desarrollar distintos proyectos pueden ayudar a disminuir la vulnerabilidad de la población frente amenazas naturales. Las mencionadas en el PLADECO son las siguientes<sup>11</sup>:

- La malla vial inconclusa, lo que ayuda a definir una nueva accesibilidad, cuestión fundamental como factor de localización de sectores residenciales, industrias, empresas y actividades asociados al puerto, así como eficiencia en el funcionamiento del territorio portuario y la ciudad.
- La ruta concesionada "Autopista del Sol", permite un flujo más expedito y rápido entre San Antonio y Santiago, por lo que es posible un aumento de los flujos actuales por incremento en la población residente.
- La construcción de la vía concesionada inter balnearia Cartagena-Quintay y su prolongación hacia San Antonio, que permitiría descongestionar en gran medida el actual eje Av. Ramón Barros Luco, además de estructurar vialmente la parte alta de la ciudad.
- La factibilidad de otorgar continuidad a vías longitudinales paralelas al borde mar en las partes más altas, supeditadas a un número menor de expropiaciones y la creación de viaductos sobre los accidentes topográficos importantes, por ejemplo: el eje Av. Chile-Independencia-Caupolicán - San Antonio de la Bodegas, como una valiosa alternativa a la Av. R. Barros Luco, en la interconexión de la ciudad. Actualmente ya está construido el viaducto que une Av. Chile con Independencia.

Otra información importante de destacar, es la inversión en proyectos del sector transporte enfocados al mejoramiento de las distas vías de la ciudad. La Tabla 21 muestra los distintos

---

<sup>10</sup> Ilustre Municipalidad de San Antonio, PLADECO 2008-2013

<sup>11</sup> Dichas potencialidades son expuesta en el Diagnóstico Cuantitativo del PLADECO expuesto en el punto 1.2.2.4 Vialidad

proyectos que se presentaran en el 2010 sobre el mejoramiento de distintas vías de la ciudad de San Antonio.

El total invertido en este ítem alcanza a 7.480.565 M\$, de los cuales el 76% corresponden al Fondo Nacional de Desarrollo Regional.

FUENTE	NOMBRE	UNIDAD VECINAL	SECTOR	MONTO M\$	ESTADO
<b>CIRC 33</b>	Bacheos calzadas San Antonio, Barrancas y Lolleo	COMUNA	TRANSPORTE	239.017	En Ejecución
<b>FNDR</b>	Pavimento Avda. San Antonio de las Bodegas	6	TRANSPORTE	680.501	Ejecutado
<b>FNDR</b>	Pavimentación Av. M. Bulnes Prieto	4 y 5	TRANSPORTE	478.527	En Licitación
<b>FNDR</b>	Construcción Pavimentación Circuito Av. Asturias y M. Mena	2	TRANSPORTE	893.660	En Licitación
<b>FNDR</b>	Construcción de Veredas y Estacionamientos, Sector Centro de Lolleo, San Antonio	23	TRANSPORTE	1.044.288	En Licitación
<b>FNDR</b>	Construcción Rampa G. Mira y Mejoramiento Eje Gregorio Mira, Comuna San Antonio.	8	TRANSPORTE	2.124.608	Financiado
<b>FNDR</b>	Diagnostico para Prefactibilidad Terminal de Buses	18	TRANSPORTE	40.600	Postulado
<b>FNDR</b>	Construcción atraveso Av. Centenario sobre Estero Arévalo	8	TRANSPORTE	206.486	Postulado
<b>FNDR</b>	Construcción Pavimento Calle Maestranza	13	TRANSPORTE	226.797	Postulado
<b>MOP</b>	Conservación Global Caminos Rurales	RURAL	TRANSPORTE	960.000	En Ejecución
<b>MINVU</b>	Pavimentos participativos 20 llamado Manuel Montt, Los Españoles, Calle 1 , calle 2, los líquenes Juan Vargas, Desiderio Soto, Los boldos, Israel, Violeta Parra, Osca Castro, Holanda, Lo Vásquez, los Huemules	COMUNA	TRANSPORTE	586.081	Financiado

**Tabla 21 Inversiones Sector Transporte 2010, Comuna de San Antonio**  
Fuente: Ilustre Municipalidad de San Antonio, Inversiones 2010

## 4.6 Redes de infraestructura, Equipamiento y servicios

En el presente apartado se identifican las características de la infraestructura, equipamientos y servicios de la comuna de San Antonio. La información se presenta con los siguientes tópicos:

Variables	Sub-variables
<b>Infraestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura Sanitaria</li> <li>• Infraestructura Eléctrica y Telecomunicaciones</li> <li>• Deposición de Residuos Sólidos</li> </ul>
<b>Equipamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educacional</li> <li>• Salud</li> <li>• Seguridad</li> <li>• Áreas Verdes</li> </ul>
<b>Servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercio y servicios varios</li> </ul>

Tabla 22 Tópicos de análisis de las redes de infraestructura, equipamientos y servicios  
Fuente: Elaboración propia 2011, OCUC

### 4.6.1 Infraestructura

#### 4.6.1.1 Infraestructura Sanitaria<sup>12</sup>

En la actualidad las localidades urbanas del litoral de la V Región que cuentan con servicio sanitario son Santo Domingo, San Antonio, Cartagena, San Sebastián, Las Cruces, El Tabo, El Quisco y Algarrobo. Todas estas localidades son atendidas por Aguas Quinta, actual ESVAL para ellas, a excepción de Santo Domingo que es atendido por la Cooperativa de Agua Potable de Santo Domingo.

La principal fuente de abastecimiento son las aguas superficiales del río Maipo, las que son tratadas en la planta San Juan de Lolleo. Ésta se ubica a 4.5 km. al oriente de Lolleo, cerca de la ribera Norte del Río Maipo, a unos 6 km. aguas arriba de su desembocadura al mar. Desde esta planta, son abastecidas las ciudades de San Antonio y el resto de las localidades hacia el norte, mediante un sistema de impulsión y aducción que corre paralelo a la costa. Los estanques de regulación de las distintas localidades se abastecen directamente de la aducción, excepto para los sectores altos de San Antonio, donde existen planta reelevadoras.

En la comuna de San Antonio, el sistema de regulación y distribución de agua potable cuenta con 9 estanques de regulación que suman una capacidad de 17.300 m<sup>3</sup>, 3 plantas reelevadoras (La Viuda, Villa Italia y La Virgen), 188 km. de cañerías, 248 válvulas y 334 grifos.

La red de alcantarillado, consiste principalmente en un sistema de tuberías de cemento comprimido con diámetros comprendidos entre 100 mm y 700 mm, con extensión aproximada de 111 km. El sistema posee dos plantas elevadoras (Lolleo y Barrancas) y tres descargas al mar

<sup>12</sup> Información extraída del Estudio de Factibilidad de Servicios Sanitarios 2002 del PRC y del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena, V Región, 2003

(Llolleo, Barrancas y Dolores Placilla). Todas estas descargas se efectúan sin ningún tipo de tratamiento previo de las aguas servidas.

Con la información recopilada de la infraestructura sanitaria se puede destacar que la planta de tratamiento y distribución del agua potable es vulnerable frente a inundaciones producidas por eventos fluviales como también de tsunamis. Lo anterior, se confirmará en la etapa de diagnóstico.

También se puede destacar que es la descarga de aguas servidas sin tratamiento, lo cual también hace vulnerable a la población frente a eventos naturales catastróficos.

En la etapa de diagnóstico se mostrará la localización de la planta de tratamiento y distribución, como también las plantas reelevadoras con su respectivo nivel de vulnerabilidad.

Las localidades de Leyda, Malvilla y Cumcumen cuentan con el sistema de Agua Potable Rural.

#### **4.6.1.2 Infraestructura Eléctrica y telecomunicaciones**

Con respecto a la infraestructura eléctrica de la ciudad, sólo se cuenta con una subestación eléctrica al costado de la Variante Ruta Nacional 78 – Ex Nuevo Acceso al Puerto o by pass Ruta Nacional 78, se emplaza en un lugar que con los debidos resguardos no debiera presentar un obstáculo mayor al desarrollo de la ciudad, toda vez que su geografía ya presenta umbrales físicos a la expansión urbana.

Esta información será contrarrestada en terreno para verificar el estado actual de la subestación eléctrica, ya que la información corresponde al estudio complementario “Análisis del Equipamiento y Servicios Comerciales de San Antonio” del PRC, por lo cual la información corresponde a antes del año 2006.

En telecomunicaciones las antenas repetidoras de señal de radio y televisión se encuentran en el cerro Centinela. En terreno se verificará si estas tienen el resguardo necesario entre estas instalaciones y la población como también se constatará la existencia de antenas de celular.

#### **4.6.1.3 Deposición de Residuos sólidos**

La deposición de los residuos sólidos domiciliarios se efectúan en la actualidad en el vertedero ubicado en la comuna de Cartagena, administrado por la empresa ECOGARBAGE posee una autorización sanitaria que le permite operar hasta una cota determinada. De acuerdo a la cubicación que obra en la carpeta del Plan de Cierre aprobado en octubre de 2008 por la Autoridad Sanitaria, la vida útil de ese vertedero se proyecta a 4 años 6,5 meses.

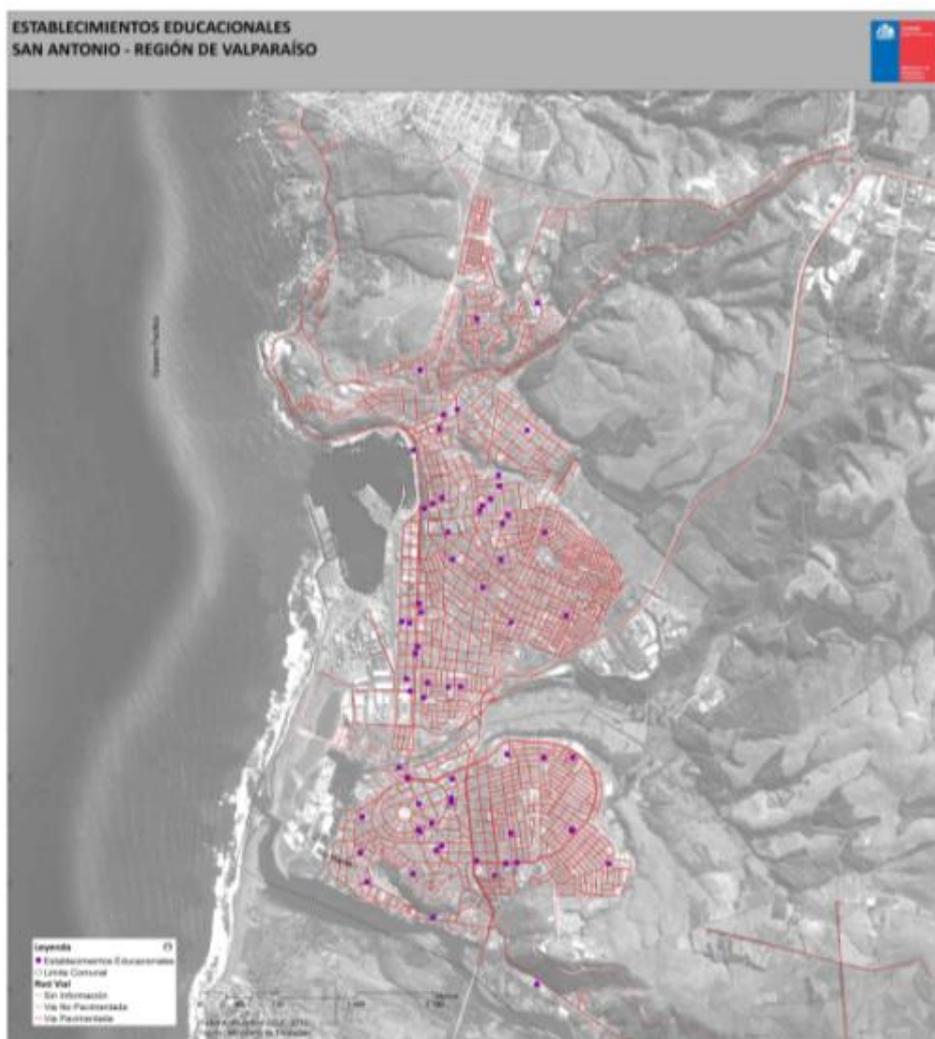
De información extraída del PLADECO, se explica que se realiza una optimización del vertedero Altos de Cartagena, lo que implica que puede recibir residuos hasta el 2010. Posteriormente en el caso de San Antonio, los residuos domiciliarios serán enviados al relleno sanitario Los Molles en la

comuna de Valparaíso camino a Laguna Verde por un período de 8 años. En el PLADECO se especifica que la recolección y disposición final de basuras domiciliarias requiere de una mejor gestión y frecuencia, ya que la proyección de vida útil del actual vertedero en donde se depositan los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) es de pocos años.

## 4.6.2 Equipamiento

### 4.6.2.1 Educación

Con respecto al equipamiento de educación se obtuvo la información de localización de los 71 establecimientos presentes en la comuna de San Antonio a través de la georreferenciación de escuelas del Ministerio de Educación. La Figura 67 muestra la localización de dichos establecimientos:



**Figura 67 Establecimientos Educativos, Ciudad de San Antonio**  
Fuente: Elaboración propia 2011, OCUC. En base a información del MINEDUC

La Figura 67 muestra la ubicación de todos los establecimientos de educación sin distinción de, privado o público, como tampoco del nivel (pre-básico, básico, medio o superior), esta información se obtendrá con el trabajo en SIG y la información recopilada en instituciones municipales, como en terreno.

Se presenta una tendencia de los establecimientos particulares por abandonar el centro de la ciudad para radicarse en el centro de Llole, el cual presenta mejores condiciones de localización. Al contrario, los establecimientos públicos secundarios se concentran en el centro de San Antonio. La educación primaria, tiene una distribución más homogénea asociado a centros poblacionales<sup>13</sup>.

La educación superior se presenta en centros de formación técnica todos ellos localizados en Llole, además de una sede universitaria, otras dos sedes se localizan en Barrancas y en el centro de San Antonio.

En el trabajo de terreo se obtendrá la información de las construcciones educacionales como es el estado, altura y materialidad. Para la etapa de diagnóstico se presentará la información de matrículas, y con el cruce y valorización de los datos, se obtendrá la vulnerabilidad del equipamiento de educación.

#### 4.6.2.2 **Salud**<sup>14</sup>

La red de salud de la comuna está conformada por el Hospital Claudio Vicuña de San Antonio, que corresponde al único establecimiento hospitalario de la Provincia, definido como de mediana complejidad, y que dispone de 154 camas distribuidas en diferentes servicios<sup>15</sup>.

Servicios Clínicos	Especialidades
Urgencia	Urología
Medicina	Traumatología
Cirugía	Salud Mental Adulto
Gineco-Obstetricia	-----
Pediatría.	-----

**Tabla 23 Servicios y Especialidades Hospital Claudio Vicuña**

**Fuente: Ilustre Municipalidad de San Antonio, Dirección de Salud 2011 Estudio e Red Comuna de San Antonio**

<sup>13</sup> Ilustre Municipalidad de San Antonio Estudio complementario Análisis del Equipamiento y Servicios Comerciales de San Antonio del PRC.

<sup>14</sup> La información de este apartado es entregada por el Estudio e Red Comuna de San Antonio realizado por la dirección de salud del municipio.

<sup>15</sup> Ilustre Municipalidad de San Antonio, Dirección de Salud 2011 Estudio e Red Comuna de San Antonio.

La Red de Urgencia de salud de la comuna, está conformada por:

- Unidad de Emergencia del Hospital Claudio Vicuña.
- Servicio de Atención Primaria de Urgencia SAPU del CESFAM Néstor Fernández Thomas.
- Servicio de Atención Primaria de Urgencia SAPU del CESFAM Diputado Manuel Bustos

La Red de Rehabilitación está conformada por:

- Centro de Rehabilitación con Base Comunitaria San Antonio de Padua, dependiente de la Dirección de Salud Municipal de la I. Municipalidad de San Antonio.
- Centro de Rehabilitación Integral, dependiente de DIDECO del municipio.

Con la información entregada por el Estudio de Red, realizado por el municipio, se podrá entregar para la etapa del diagnóstico, la localización de cada uno de los centros de salud, como las características de vulnerabilidad de cada uno de ellos.

#### **4.6.2.3 Seguridad**

En San Antonio se concentran los centros de mando provincial de las fuerzas de seguridad: Prefectura y Comisaría de Carabineros, Cuartel de la Policía de Investigaciones y Centro de Readaptación Social CRS de San Antonio (ex Cárcel y/o Penitenciaría), localizados en Barrancas y San Antonio respectivamente. También existe una subcomisaría de Carabineros en Lolleo.

La ciudad, por su condición de puerto y base militar aloja en los extremos de la ciudad, instalaciones de la Armada en el Paseo Bellamar y Paseo El Mar (Gobernación Marítima) y en el sector de El Faro (Guarnición Naval), al norte de San Antonio; y un regimiento especializado del Ejército, en el sector de Tejas Verdes, Lolleo (Escuela de Ingenieros Militares).

Además, la ciudad cuenta con cuatro cuarteles de Bomberos, en San Antonio, Barrancas, Lolleo y San Juan-Lo Gallardo, directamente asociados con la generación de los grandes macro-barrios de la ciudad.

La información presentada en los párrafos anteriores, es extraída del “Análisis del Equipamiento y Servicios Comerciales de San Antonio” del PRC, la cual será contrarrestada con el trabajo de terreno, ya que es de suma importancia para el análisis de vulnerabilidad de la ciudad.

Por otro lado, dentro del mismo estudio, nombrado anteriormente, consigna que se presenta un déficit perceptual de la dotación policial.

#### **4.6.2.4 Áreas Verdes**

Dentro del estudio “Análisis del Equipamiento y Servicios Comerciales” del PRC, se expresa que la ciudad presenta un importante déficit de áreas verdes, sobre todo por el escaso grado de consolidación de estas áreas.

Es importante incluir estas áreas en el análisis de vulnerabilidad para considerarlas en futuros planes de evacuación, ya que estas pueden ser utilizadas como zonas seguras frente a eventuales amenazas naturales.

### 4.6.3 Servicios

#### 4.6.3.1 Comercio y servicios varios

La localización del comercio y de los servicios (financieros, cívicos, administrativos, entre otros) es en el centro de San Antonio y centro de Llole, como dos nodos centrales de la ciudad, siendo jerárquicamente más importante el de San Antonio.

También se ha consolidado un área comercial en el sector de la Plaza de Barrancas, pero en éste también se presenta una localización de servicios administrativos y cívicos en el eje Av. Ramón Barros Luco.

Los servicios financieros y empresas se localizan mayoritariamente en el sector de San Antonio centro, pero también se refleja un emplazamiento de estos servicios en Llole y Barrancas.

Con respecto al puerto de San Antonio, presta un servicio que es más allá de lo económico para la ciudad, también le da una identidad propia a la ciudad y a sus habitantes.

El puerto está compuesto, con respecto a los sitios de atraque, por 4 terminales y 9 sitios de atraque: Terminal Molo Sur (sitios 1,2,3) operado por el concesionario San Antonio Terminal Internacional, STI, con el sistema mono operador; Terminal Espigón (sitios 4, 5, 6 y 7) operado por múltiples empresas bajo el sistema multi operador y administrado por la Empresa Portuaria San Antonio; Terminal Norte (sitio 8) especializado en gráneles sólidos de importación, el que está operado por el concesionario Puerto Panul con el sistema mono operador; y el Terminal Policarpo Toro (sitio 9) especializado en líquidos y operado en contrato por Vopak Terminal San Antonio Ltda.

Puerto Panul posee además 6 cintas transportadoras que permiten movilizar los gráneles. Este puerto, también posee dentro de sus instalaciones un terminal de productos químicos, TERQUIM, quien administra un terminal público de líquidos y un Terminal de ácido sulfúrico. Este último se construyó en septiembre de 1998 y su objetivo es la recepción, almacenaje y embarque de ácido producido por CODELCO, División El Teniente. El embarque de ácido sulfúrico se realiza utilizando 2 líneas de acero inoxidable que llevan el producto hasta el sitio 1 Norte, ubicado a 800 metros de los estanques, a razón de 750 toneladas/hora<sup>16</sup>.

En el área de almacenaje, el puerto está compuesto por la información expuesta en la Figura 68. Como servicio complementario en el puerto San Antonio, existe una Estación Intermodal administrada por FEPASA. Esta estación posee una superficie de 0,5 hectáreas dedicadas a la

---

<sup>16</sup> Información extraída de: Ilustre Municipalidad de San Antonio, PLADECO 2008-2013.

transferencia de carga con ferrocarril, permitiendo la conexión intermodal con los frentes de atraque de los Terminales STI y TEM.

Cubiertas y Semicubiertas			Descubiertas			Estanques		
Almacén	Ha	Tipo Carga	Almacén	Ha	TEUS	Estanque	m <sup>3</sup>	Tipo de Carga
Molo Sur 1	0.26	General	Molo Sur	23,40	15.000	Vopak	18.300	
Molo Sur 2	0.24	General	Espigón	12,56	3.504	Terquim 1	18.320	Terminal Químico
Molo Sur ex Disputada	0.6	Sin uso				Terquim 2	20.000	Planta Acido
Espigón N° 52	0.12	Peligrosa /rezagos						
Espigón N° 53	0.090	Rezagos						
Espigón N° 54	0.300	General						
Espigón N° 55	0.081	Graneles						
Espigón N° 56	0.277	Graneles						
<i>Total</i>	<i>1.968</i>		<i>Total</i>	<i>35.96</i>		<i>Total</i>	<i>56.620</i>	

Figura 68 Áreas de almacenamiento Puerto de San Antonio.  
Fuente: PLADECO 2008-2013. En base empresa portuaria de San Antonio

#### 4.7 Características de los Centros Poblados en función del impacto del Terremoto del 27 de febrero de 2010<sup>17</sup>

El día 27 de febrero de 2010, a las 03:34 hrs., se produjo un terremoto al este de Cobquecura de 8, 8 grados en la escala de Richter y que generó desastrosas olas sísmicas o tsunamis con efectos graves sobre la Costa de la zona centro sur del país, causando graves daños a las poblaciones costeras y grandes cambios en la geomorfología costera.

En la zona central el terremoto fue de 8.3 grados en la escala de magnitud Richter, causando importantes daños en taludes de cerros, zonas de rellenos y en las construcciones humanas sobre arenas dunarias.

Posteriormente al terremoto, se produjo una ola sísmica, alrededor de las 04:20 hrs. aproximadamente, causando en la provincia de San Antonio al menos siete muertes humanas y tres desaparecidos. La costa entre el río Rapel, albufera El Yali, desembocadura del río Maipo, laguna Lollole y finalmente en la playa Chica de Cartagena, que fue el lugar más septentrional en la costa chilena donde el tsunami causa daños severos.

La Dirección de Obras del municipio de San Antonio realizó un catastro post terremoto el cual se expresa en el siguiente plano:

<sup>17</sup> Toda la información expuesta en este apartado, fue extraída de los distintos informes elaborados por el municipio de San Antonio post terremoto del 27 de febrero de 2010.

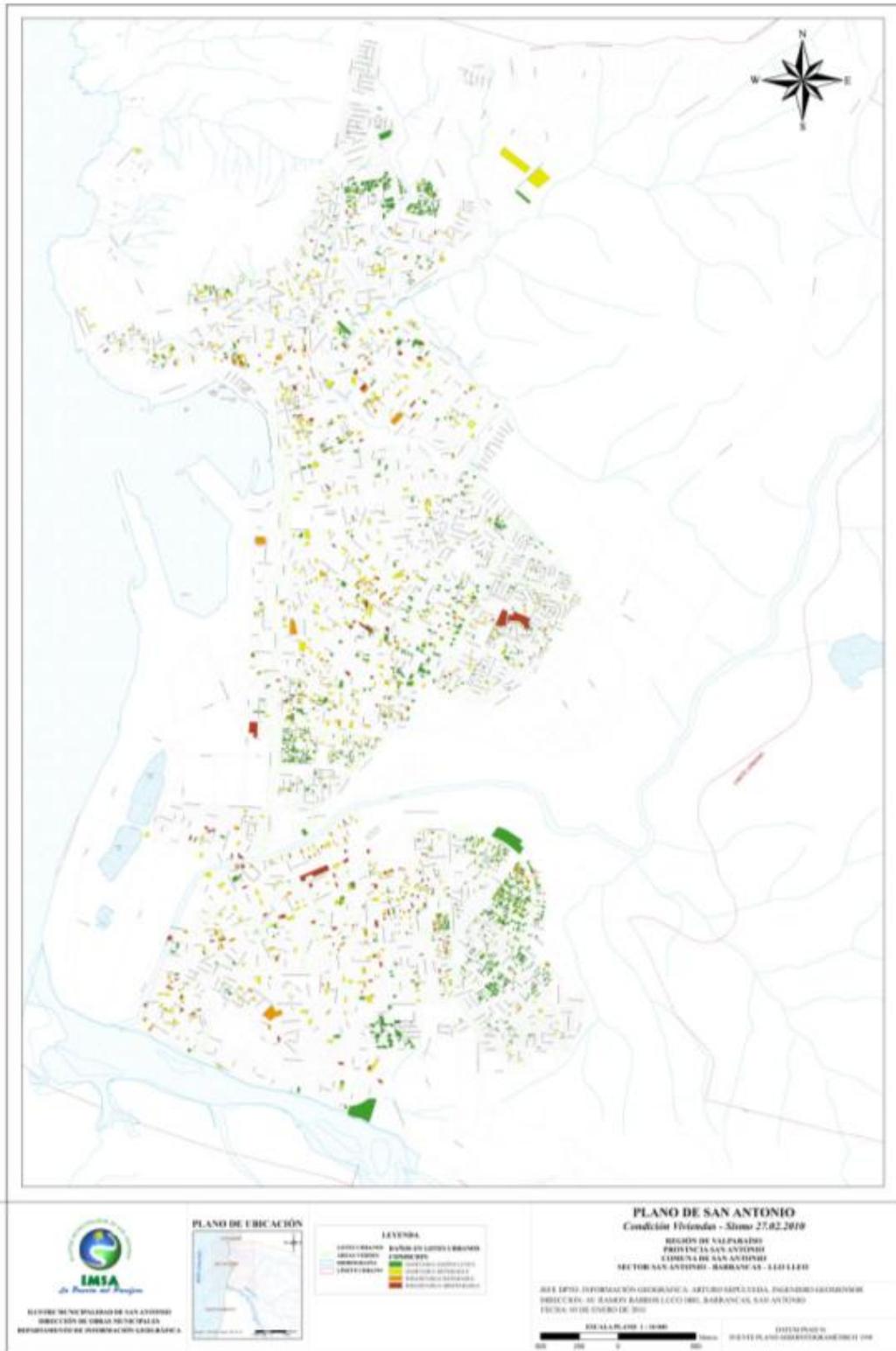


Figura 69 Plano de San Antonio, Condición de viviendas - Sismo 27.02.2010

Fuente: Dirección de Obras, Departamento de Información Geográfica, Ilustre Municipalidad de San Antonio, 2010

Como se observa en el plano la mayor cantidad de viviendas con algún daño se concentra en la zona de Barrancas y principalmente en Lolloe. En el catastro se clasifican las viviendas en cuatro categorías: Habitable daño leve, habitable daño reparable, inhabitable reparable e inhabitable irreparable.

Los resultados del catastro pos terremoto en sector comercio y turismo fueron los siguientes: se estima que cerca del 85% del comercio sufrió daño en la infraestructura, los cuales cerca del 40% son de carácter grave. En términos de mano de obra, se estimó que la población afectada alcanza a 150 familias, lo que equivale al menos a 600 personas. El 60% restante de los establecimientos presentó daños de diversa consideración.

Con respecto al sector turismo, la zona de Puertecito y Caleta Pacheco Altamirano se ha visto afectada enormemente por la baja afluencia de público a causa del corte de accesos al sector gastronómico, producto de los daños en el sector del muelle y explanada, lo que mantuvo completamente paralizada las labores de todas las actividades comerciales del sector, afectando directamente a los Paseos de turismo en el borde costero, artesanías, comercio menor y sector Gastronómico, alcanzando el orden de las 300 familias afectadas de manera directa. La población estimada que fue afectada total de 1.200 personas aproximadamente.

Para el caso del sector pesquero artesanal, cada una de las caletas existentes en la comuna, sufrieron distinto tipo de daños, los cuales se presentan a continuación:

- En el sector Boca del Maipo se vio afectado el muelle de paseo turístico, el cual había sido implementado recién en Febrero de 2010. Junto con ello, se produjo la pérdida de una embarcación de madera de los socios.
- El sector de Puertecito sufrió daños producto del tsunami, al elevarse el nivel del mar en la poza de este sector y anegar la explanada, boxes y primer piso del edificio del Puerto Pesquero. Datos preliminares cifran en 40 las embarcaciones hundidas, igual número de motores sumergidos, perdidas en materiales de pesca (redes y espineles) y equipamiento electrónico mojado por el anegamiento de los boxes.
- El sector Pacheco Altamirano sufrió daños de consideración en tres puntos: Muelle Pacheco Altamirano, con desprendimiento de pilotes de la cara sur, y desnivel en terraplén que une el muelle con la explanada. Por su parte la explanada de dicho muelle presenta una serie de grietas en su losa. El mercado Esfuerzo y Trabajo presenta el socavamiento del relleno que se encuentra debajo de la losa del mercado, eso produjo que esta losa bajara en su secciones sur y poniente, lo cual derivó en la clausura de ocho puestos de venta. Actualmente se está en proceso de elaboración de presupuesto de las mejoras de dicha estructura.

Con respecto a las localidades rurales, que se encuentran incluidas en este estudio, se realizó por parte de la Secretaría Comunal de Planificación del municipio, el catastro de daños post-terremoto del 27F de la zona rural de la comuna.

Para el caso de las tres localidades en cuestión, el catastro entregó los siguientes resultados:

- **Malvilla:** esta localidad hoy en día, presenta una cantidad de 200 habitantes en 50 viviendas, de las cuales ninguna resultó con algún tipo de daño. No se registraron habitantes afectados por el terremoto, la posta rural de la localidad se encontró en un constante funcionamiento. La energía necesaria para extraer el agua potable rural (APR) se vio afectada y la localidad se mantuvo por un tiempo sin energía eléctrica suficiente.
- **Leyda:** la población actual de esta localidad es de 523 habitantes con 133 viviendas. En ella se presentaron algunos daños en las viviendas, los resultados del catastro son los siguientes: 6 viviendas afectadas, 2 con daño importante y 4 con daño medio. La población afectada alcanza a 9 personas (6 adultos y 3 niños). La posta rural, luego del terremoto, permaneció en funcionamiento y el abastecimiento del agua potable se distribuye por camiones aljibes. El servicio eléctrico se encontró en funcionamiento.
- **Cuncumen:** la población actual de esta localidad alcanza a 696 personas y con 174 viviendas. La cantidad de viviendas afectadas es de 79, viviendas con daño importante 32 y con daño medio 47. La población afectada alcanzó a 249 personas (181 adultos y 68 niños). La posta rural se encontró en funcionamiento, el agua potable con servicio parcial (APR), y el servicio eléctrico en funcionamiento.

De las tres localidades que mayores daños presentó fue Cuncumen, tanto por cantidad de viviendas afectadas como por población que se vio con efectos adversos por el terremoto del 27 de febrero de 2010.

#### 4.8 Conclusiones preliminares

Con respecto a la población, la concentración de habitantes, principalmente de grupos de edades de 0-14 años y 60 años y más, que presenta la zona urbana de Llolleo y por la predominancia de grupos socioeconómicos D y E, hace que este sector presente una importante vulnerabilidad con respecto a eventos de inundación, ya sean estos de carácter fluvial o por eventos de tsunami, sobre todo en el sector sur, desembocadura del río Maipo y ribera de este. Esta afirmación debe ser complementada con el análisis de vulnerabilidad en la etapa de diagnóstico de este estudio.

A la población localizada en sectores más altos como Barrancas y San Antonio Centro, presentan GSE predominantes D y C3, con importante concentración de población en todos los estratos de edades. Esta población se podría encontrar, eventualmente, vulnerable frente a eventos de remoción en masa, lo cual será confirmado con la realización de la modelación de este fenómeno natural (en una próxima etapa), y con ello se podrá determinar la cantidad aproximada de población expuesta a un eventual evento natural de remoción en masa.

Al obtener la información de vialidad de la ciudad de San Antonio como de las vías que conectan a la comuna, se puede concluir lo siguiente:

- Con respecto a la conectividad a nivel comunal con relación a otros centros urbanos, las vías presentan un buen estándar, sobre todo la Ruta 78, que conecta con la ciudad de

Santiago. Todos los accesos que presenta la ciudad de San Antonio son expeditos y hacen que la ciudad tenga una buena conexión con el resto del país. Las conexiones más directas son hacia Santiago y la conexión sur por la ruta G-66 que empalma con la Ruta 5.

- Las localidades de Malvilla, Cuncumen y Leyda, presentan una buena conexión con la ciudad de San Antonio. Luego del terremoto del 27 de febrero de 2010, las vías no presentaron daños graves, lo que facilitó la comunicación de la zona rural con el centro urbano de la comuna.
- Con respecto a la red vial de la ciudad de San Antonio, esta presenta problemas como: congestión vehicular en la zona central de la ciudad, y se acentúa con la época estival. Existe un alto porcentaje de vías sin pavimentar (alrededor de 15%), lo que genera que la población se encuentre con una mayor vulnerabilidad frente a eventos catastróficos ya que son las vías principales que deben tener un mayor estándar, porque podrían ser utilizadas como vías de evacuación.

Con respecto a la infraestructura sanitaria lo más destacable es la localización de la planta de tratamiento y distribución de agua potable, ya que esta se localiza en Llolleo en la ribera del río Maipo, esto puede presentar, eventualmente, una alta vulnerabilidad frente a eventos de inundación, lo cual afectaría el abastecimiento de todas las localidades del borde costero de la provincia (a excepción de Santo Domingo).

Por otro parte, las descargas de aguas servidas que desembocan en el océano presenta varios problemas: contaminación de las aguas, vulnerabilidad de la población frente a eventos de tsunami. Con el tiempo se podría proyectar una planta de tratamiento de aguas servidas, lo que cambiaría el estándar de la infraestructura sanitaria.

Con respecto a los centros educacionales, se encuentran homogéneamente distribuidos en la ciudad, lo importante de destacar en este pre-diagnóstico es la localización de establecimientos en la zona de Llolleo, sobre todo de algunos que se encuentran cercanos a la ribera del río, y otro cercano a la desembocadura del río, lo que aumenta la vulnerabilidad de la zona.

Con respecto a la red de salud, esta debe ser analizada con mayor grado de profundidad, sobretodo en la cantidad de atenciones por centro, materialidad de la construcción, estado de ella y en la localización. Con esta información se podrá saber la vulnerabilidad que presenta este equipamiento.

Con respecto al equipamiento de seguridad, es necesario considerar su localización y la dotación de cada uno de los centros de carácter de seguridad.

En cuanto a las áreas verdes, es necesario desarrollar para la etapa de diagnóstico un análisis de tamaños y relacionarlos con su localización.

#### **4.8.1 Identificación de tipos y zonas de peligrosidad en centros poblados**

Con la información obtenida de las diferentes variables de los impactos del terremoto del 27F se puede identificar (preliminarmente) zonas de peligrosidad en centros poblados. Esta información en la etapa de diagnóstico, será complementada y especializada.

- La zona de Lolloe, en el sector sur, es el que presenta características de peligrosidad, ya que concentra importante cantidad de población destacándose los grupos etarios de 0-14 años y de 60 años y más. La población característica de los GSE es D y E (población de escasos recursos). Para el terremoto del 27F, fue una zona que se vio afectada en viviendas, comercio y en la calta de pescadores. Esta es una zona que presenta variadas características que en un análisis preliminar es una zona de alta vulnerabilidad.
- La zona centro de San Antonio y Barrancas, concentran una importante cantidad de población en todos los grupos etarios, GSE D y C3, y entre lo más relevante, es la actividad comercial y cívica de la ciudad, por lo que se comporta como el centro neurálgico de la comuna. Por ende, se puede inferir que presenta una menor vulnerabilidad en comparación con Lolloe sur, pero de gran importancia por ser el centro de la ciudad.
- En el sector costero de San Antonio Centro y Barrancas se localizan las caletas Puertecito y Pacheco Altamirano. Esta zona es de gran importancia, en lo económico y turístico por predominar fuertemente la actividad pesquera destacándose en su identidad como ciudad. Estas caletas fueron afectadas para el terremoto y tsunami del 27F., por lo cual es una zona de peligrosidad. Para el diagnóstico se entregará el nivel de vulnerabilidad de las tres caletas presentes en la comuna.

## 5 Ajustes Metodológicos Propuestos

### 5.1 Tsunamis

La elaboración de mapas de riesgo de inundación considerará cuatro escenarios de eventos sísmicos tsunamigénicos. Se definirán los límites de inundación asociados a cada escenario y luego se compararán entre ellos con el objeto de definir las condiciones más críticas. Los escenarios a analizar serían los siguientes:

- Terremoto 16 de Agosto de 1906

Se utilizará como referencia para el análisis la carta de inundación elaborada por el SHOA a partir de los resultados de la modelación numérica de este evento (SHOA, 2000). Estos resultados ya están disponibles y serán incorporados a la base de análisis.

- Terremoto 27 de Febrero de 2010

Se identificará la zona de inundación provocada por el tsunami ocurrido el 27 de febrero de 2010 utilizando los antecedentes recopilados y mediciones en terreno disponibles en informes y artículos científicos como por ejemplo lo identificado por Brito (2010), NGDC (2010) y Fritz et al. (2011). De esta manera se delimitará la zona inundada por este evento y se incorporará a la base de análisis.

- Escenarios futuros probables:

Se realizarán nuevas simulaciones numéricas de propagación de tsunami para dos escenarios de eventos sísmicos tsunamigénicos con ocurrencia probable en los próximos 100 a 200 años que podrían afectar la zona central de Chile. Los resultados de estas simulaciones permitirán evaluar las cotas de inundación asociadas a eventos destructivos probables, mayores a los registrados históricamente.

Un análisis de la literatura que ha recopilado los eventos en esta zona de Chile (Lomnitz, 1971; Comte & Pardo 1991; Comte et al., 1986; Cisternas et al., 2005) indica que el terremoto mayor esperado en la zona central de Chile cubre una zona de ruptura de 450 kilómetros de largo (entre Santo Domingo y Punta de Choros) y de aproximadamente 100 kilómetros de ancho, en un plano con un ángulo de manteo (*dip angle*) de 30°. Tomando esta zona de ruptura se definirán dos potenciales escenarios: i.) el más conservador con un periodo de recurrencia de 100 años, que implica un desplazamiento en la falla de 7 metros, y una magnitud Mw de 8.6; ii.) un escenario más extremo, de 200 años de periodo de retorno y un desplazamiento en la falla de 14 metros, en este caso la magnitud sería de 8.8Mw (equivalente al terremoto de 2010 en el Maule). Estos eventos tipo son de una magnitud bastante mayor que el terremoto de marzo de 1985, el cual tuvo una zona de ruptura de 200 x 70 kilómetros cuadrados y 2 metros de desplazamiento en la falla para una magnitud de 7.8Ms.

## 5.2 Inundación

Se elaborarán cartas de amenaza de inundación en los esteros Arévalo, El Sauce, San Juan y Río Maipo. Para la modelación no se utilizarán modelos lluvia-escorrentía para estimar los caudales máximos probables, sino que se utilizarán directamente los caudales y periodos de retornos proporcionados por el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la ciudad (DOH, 2003). Estos caudales se obtuvieron directamente del registro de la estación fluviométrica en el Maipo y a partir de modelos lluvia-escorrentía similares a los propuestos inicialmente.

Luego se realizará la modelación hidráulica propagando los caudales máximos probables, los cuales representan la situación más riesgosa. Se realizará una modelación hidráulica unidimensional en Hec-Ras (US. Army Corps of Engineers, 2010) para 5 escenarios según la probabilidad de ocurrencia (periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años). Se utilizará la batimetría obtenida en campañas de terreno e información disponible en los instrumentos de planificación territorial y otros estudios de la zona, así como información del material del lecho y otros obstáculos que puedan existir en el curso de agua.

Debido a que un tramo del estero Arévalo está abovedado, en este cauce se realizará una modelación hidráulica unidimensional que considerará la transición de escurrimiento abierto a escurrimiento a presión. En primera instancia, dadas las características del tramo abovedado, se realizará una modelación en SWMM (Rossman, 2009) que permitirá estimar los casos en que se sobrepasa la capacidad máxima del entubamiento y se desborda el cauce. A partir de estos resultados, se modelará el escurrimiento en la zona urbana del caudal no controlado por el tramo abovedado. El objetivo de la modelación es determinar la altura de agua de la zona inundada, de modo que se asumirá un flujo que flujo avanza por las calles aledañas al sector del desborde.

## 5.3 Remoción en Masa

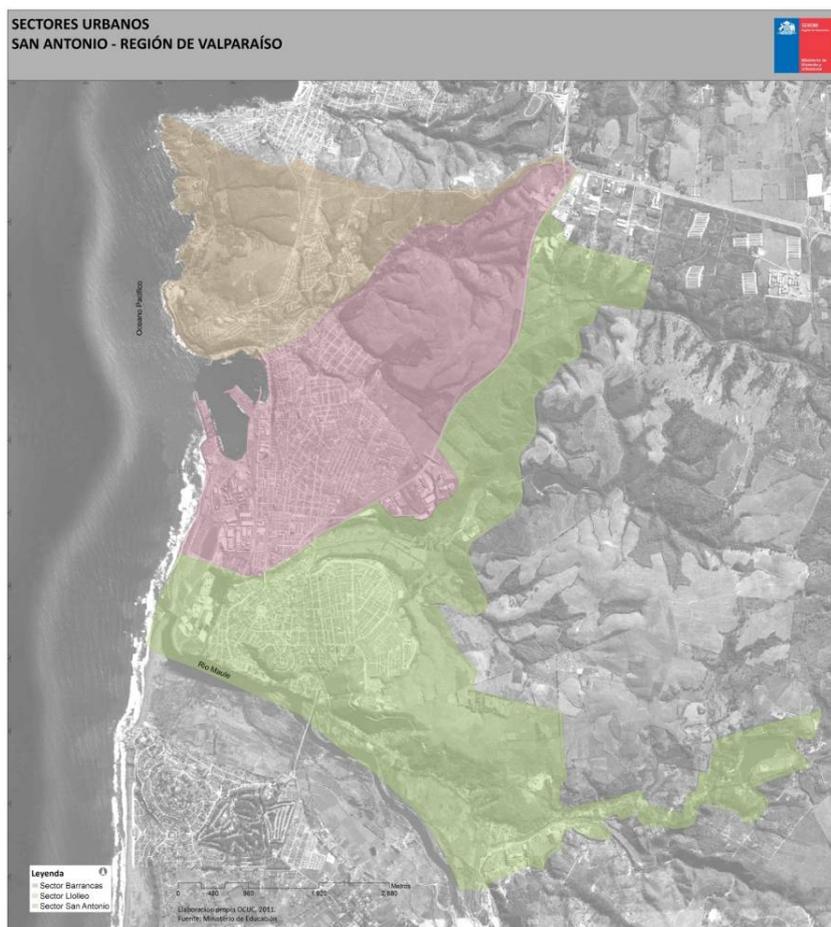
En base a la información disponible se establecerá una relación entre las lluvias y la factibilidad de un proceso de remoción en masa producto de la saturación de humedad del suelo por precipitaciones. Para ello se identificarán las series o asociaciones de suelo de acuerdo a los Estudios Agrológicos publicados por CIREN (1997, 2002). A cada uno de los horizontes de los suelos que se identificarán se les asignará una porosidad y parámetros de retención de humedad en base a la distribución estratigráfica y las funciones de pedotransferencia propuestas por Rawls et al. (1992). A partir de los parámetros del suelo, se identificará la lámina de agua crítica que se requiere para saturar el suelo y producir un evento de remoción en masa. Luego, se identificará la precipitación requerida para saturar el suelo, la cual se calculará empleando la lámina de agua y un coeficiente de escurrimiento por determinar. Finalmente se asociará a la precipitación crítica una probabilidad de ocurrencia, considerando tormentas de diferente duración (1, 2, 3, 7, 10 y 15 días).

Alternativamente, se estudiarán las características físicas de los sitios donde existe registro de procesos de remoción en masa y las tormentas durante las cuales se generaron, con el fin de validar las predicciones del modelo probabilístico.

#### **5.4 Vulnerabilidad**

Para el análisis de vulnerabilidad se realizará el siguiente ajuste metodológico:

- El análisis de la vulnerabilidad se realizará en tres sectores de la ciudad, San Antonio, Barrancas y Llole. Se ajustará la información entregada en el pre-diagnóstico a través de tres subdivisiones urbanas. La Figura 70 muestra la división de propuesta para el análisis de vulnerabilidad.
- La información entregada en el informe de pre-diagnóstico será complementada en trabajo en terreno, donde se obtendrá la información faltante de las construcciones: materialidad, estado, altura y uso, información fundamental para el análisis de vulnerabilidad. Por otro lado, se contrarrestará la información ya obtenida en el pre-diagnóstico con la que se levantará el trabajo en terreno. Con esto se complementa toda la información para la etapa de diagnóstico de este estudio.



**Figura 70 Sectores Urbanos, Ciudad de San Antonio**  
**Fuente: Elaboración Propia OCUC, 2011. En base a información entregada por el municipio**

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Arriagada, J. 2005. *Cambios en el sistema estuarial del Maipo y su relación con obras portuarias, Chile Central*. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile
- Ayala-Carcedo, F. 1993. *Estrategias para la reducción de desastres naturales*. En: Investigación Ciencias 200, p. 6-13.
- Brito, J. 2009. *San Antonio: Nuevas Crónicas para su Historia y Geografía*
- Brito, J. 2010. *Efectos de la ola sísmica o tsunami en la laguna Lolloe [Online]*. Disponible en:  
[http://www.sanantonio.cl/attachments/1402\\_Efectos%20de%20la%20ola%20s%C3%ADsmica%20o%20tsunami%20en%20la%20laguna%20Lolloe.pdf](http://www.sanantonio.cl/attachments/1402_Efectos%20de%20la%20ola%20s%C3%ADsmica%20o%20tsunami%20en%20la%20laguna%20Lolloe.pdf)
- Cade-Idepe. 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Maipo*.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1997. Estudio agrológico V Región
- Cisternas, M., Atwater, B., Torrejon, F., Sawai, Y., Machuca, G. et al. 2005. *Predecessors of giant 1960 Chile earthquake*. Nature, 437: 404-407.
- Choi, B., Pelinovsky, E., Kim, K. & Lee, S. 2003. *Simulation of the trans-oceanic tsunami propagation due to the 1883 Krakatau volcanic eruption*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 3: 321–332
- Comte, D., Eisenberg, A., Lorca, E., Pardo, M., Ponce, L., Saragoni, R., Sing, S. & Suarez, G. 1986. *The great 1985 Central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region?*. Science, 233: 449-453.
- Comte, D. & Pardo, M. 1991. *Reappraisal of great historical earthquakes in the northern Chile and southern Peru seismic gaps*. Natural Hazards, 4: 23-44.
- Cruz, et al., 1988m, *Lecciones del Sismo del 3 de Marzo de 1985*, publicado por Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
- Delouis, B., Nocquet, J. & Vallée, M. 2010. *Slip distribution of the February 27, 2010 Mw = 8.8 Maule Earthquake, central Chile, from static and high-rate GPS, InSAR, and broadband teleseismic data*. Geophysical research letters, 37, L17305.
- Dirección de Vialidad, MOP, 2011. *Vialidad de las regiones de Valparaíso, del G. Lib. B. O'Higgins y Metropolitana*.

- DOH (Dirección de Obras Hidráulicas MOP). 2003. *Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias, San Antonio y Cartagena, V Región.*
- EPSA (Empresa Portuaria San Antonio). 1998. *Plan Maestro Puerto San Antonio.*
- Egbert, G. & Erofeeva, S. 2002. *Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. Journal of atmospheric and oceanic technology*, 19: 183-204.
- GEER (Geo-Engineering extreme events reconnaissance association). 2010. *Geo-engineering Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake.* 272 p.
- Geotécnica Consultores, 1988, *Análisis Microzonificación Sísmica de San Antonio.*
- González C .2005. *Estudio de áreas de riesgo geomorfológico de la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, V región.* Memoria para optar al título de Geógrafo. Universidad de Chile
- Hauser, A. 2002. *Rock avalanche and resulting debris flow in Estero Parraguirre and Río Colorado, Región Metropolitana, Chile.* Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, Volume XV.
- Hauser, A. 1993. *Remociones en masa en Chile.* Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 45.
- Lara, M. 2007. *Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana.* Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias mención Geología, Universidad de Chile
- El Líder, 2011. Diario El Líder [Online]. Disponible en: <http://www.lidersanantonio.cl> [Ingreso enero y febrero 2011]
- Lomnitz, C. 1971. *Grandes terremotos y tsunamis en Chile durante el periodo 1535 a 1955.* Geofísica Panamericana, 2: 151-178
- Lorito, S., Romano, F., Atzori, S., Tong, X, Avallone, A., McCloskey, J., Cocco, M. & Boschi, E. 2011. *Limited overlap between the seismic gap and coseismic slip of the great 2010 Chile earthquake.* Nature Geoscience, letters published online.
- Farías, M., Vargas, G., Tassara, A., Carretier, S., Melnik, D. & Bataille, K. 2010. *Land-level changes produced by the Mw 8.8 2010 Chilean Earthquake.* Science 20, Vol. 329 no. 5994, p. 91.
- Fritz, H., Petroff, C., Catalán, P., Cienfuegos, R., Winckler, P, Kalligeris, N., Weiss, R., Barrientos, S., Meneses, G., Valderas-Bermejo, C., Ebeling, K., Papadopoulos, A., Contreras, M., Almar, R., Dominguez, J. & Synolakis, C. 2011. *Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami.* Pure and Applied Geophysics.

- Idriss, I.M., 1990, *Response of soft soil sites during earthquakes*. Proceedings H. Bolton Seed Memorial Symposium, vol.2, BiTech Publishers Ltd., Vancouver, pp. 273-290.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2002, *Plan Regulador Comunal 2006* (aprobado).
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2003, *Plan Maestro Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena*.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2008, *Plan de Desarrollo Comunal 2008-2013*.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2006, *Diagnóstico Utilización Recursos Productivos, Pesca Artesanal. San Antonio*.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2004, *Diagnóstico Análisis Técnico Económico Zonas Industriales de San Antonio*, elaborado por PET QUINTA Consultora Técnica.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2008, *Proyecto Plan Maestro Infraestructura Deportiva y Recreativa de San Antonio*, elaborado por Avaco.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2011, *Dirección de Salud, Estudio de Red*.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio, Secretaría Comunal de Planificación y Coordinación, *Estudio de pre factibilidad para la remodelación del centro de San Antonio*.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio Estudio complementario *Análisis del Equipamiento y Servicios Comerciales de San Antonio* del PRC.
- Ilustre Municipalidad de San Antonio 2011, informes de estado post-terremoto del 27 de febrero 2011, (distintas áreas, Comercio, Turismo, actividades comerciales, localidades rurales, pesca artesanal).
- IMSA (Ilustre Municipalidad de San Antonio). 2006. *Plan Regulador Comuna de San Antonio* [Online]. Disponible en: [http://www.sanantonio.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=237&Itemid=214](http://www.sanantonio.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=237&Itemid=214)
- IMSA. 2010. *PLAN COMUNAL DE PROTECCIÓN CIVIL SAN ANTONIO*. Oficina de Protección Civil
- INE 2002, CENSO 2002 utilización de REDATAM
- Instituto Nacional de Normalización (INN), 1996, NCh433.Of96Mod2009, "Diseño Sísmico de Edificios"

- Kausel, E. (1986). *Proceso Sísmico, Parámetros Focales y Réplicas del Sismo del 3 de Marzo de 1985*. Capítulo N°2 de: El Sismo del 3 de Marzo de 1985-Chile; Monje J. Acero Comercial, Santiago 1986.
- Lagos, M. 2000. *Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile*. Revista de Geografía del Norte Grande, 27: 93-102
- Lockdrige, P. 1985. *Tsunamis in Perú-Chile*. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Report SE-39, 97 p.
- Lomnitz, C. 1970. *Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535-1955*. Geol. Rundschau, 59: 938-960.
- Ministerio de Educación 2011, Georreferenciación de escuelas, obtenido de la página <http://www.mineduc.cl/> el 28 de febrero de 2011-03-16
- Ministerio del Interior. 2011a. *Listado oficial de personas fallecidas [online]*. Disponible en: <http://www.interior.gov.cl/27f.html>
- Ministerio del Interior. 2011b. Balance de Reconstrucción [online]. Disponible en: <http://www.interior.gov.cl/27f.html>
- MOP (Ministerio de Obras Públicas). 1991. *Diagnóstico Hidrogeomorfológico Estero El Sauce. Provincia de San Antonio*.
- NGDC. 2010. *Tsunami Event Database. Colorado, USA. National Geophysical Data Center [online]*. Disponible en: <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsu.html> [Ingreso en enero y febrero de 2011].
- Oidores de la Real Audiencia. N.D. En *Carta de la real audiencia de Chile sobre el terremoto del 13 de mayo de 1647 por los oidores*.
- Quezada J. N.D. *Terremotos y Tsunamis en la Región del BíoBío [Online]*. Disponible en: <http://www2.udec.cl/gema/main.html> [Ingreso el 9 de febrero de 2011].
- Rossman, L. 2009. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- SERNAGEOMIN (Servicio nacional e geología y minería). 2010. *Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: San Antonio y Lolleo, V Región*. (INF-O'Higgins-01).
- Sepúlveda, S. & Serey, A. 2009. *Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the 21st of April 2007 Aysén earthquake, southern Chile (45.5°S)*. Revista Geológica de Chile, 36: 101-106.

- SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada), N.D. a. *Generalidades de un Tsunami [Online]*. Disponible en: <http://www.shoa.cl>
- SHOA. N.D. b. *Tsunamis Registrados en la Costa de Chile [Online]*. Disponible en: [http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis\\_historico.pdf](http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis_historico.pdf) [Ingreso el enero de 2011]
- SHOA. 2000. *Carta Inundación por Tsunami San Antonio [online]*. Disponible en: <http://www.shoa.cl>
- Siglos curiosos (2011). *"El terremoto de 1822"* [Online]. Disponible en: <http://sigloscuriosos.blogspot.com/2007/09/el-terremoto-de-1822.html> [Ingreso el 9 de febrero de 2011]
- SUBDERE 2010, "Estudio de riesgo de sismos y maremotos para comunas costeras de las regiones del General Libertador Bernardo O'Higgins y Maule" elaborado por la Pontificia Universidad Católica de Chile con financiamiento SUBDERE 2010.
- UN/ECE (United Nations and Economic Commission for Europe). (2000). *Guidelines on sustainable flood prevention*.
- UNESCO-IOC (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Intergovernmental Oceanographic Commission). 2006. *Tsunami Glossary*. IOC Information document No. 1221, Paris, UNESCO.
- USGS. 2010. *Magnitude 8.8 - OFFSHORE MAULE, CHILE[Online]*. Disponible en: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/us2010tfan.php>
- Valdez, M. Entrevista febrero 2011, ex funcionario Oficina Protección Civil IMSA.
- Vidal, Claudia. 2008. Efectos de la Expansión Urbana sobre los Cambios Hidrográficos, y su Relación con la Presencia de Riesgos Naturales. Tesis presentada a la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al grado de Magister en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente.
- Winckler, P. & Vásquez, J. 2008. *Evaluación del riesgo de tsunami en Quintero, Chile*. XV Congreso Chileno de Hidráulica, SOCHID.