



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

# ESTUDIO DE RIESGO DE LA COMUNA DE SAN ANTONIO

## ETAPA 3. INFORME FINAL DE RECOMENDACIONES



OBSERVATORIO  
DE CIUDADES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

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

Septiembre, 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 Barros, Arquitecto.

GEÓGRAFO DE APOYO

Ítalo Abarca Vera, Geógrafo.

ENCARGADO RIESGO DE TSUNAMI

Rodrigo Cienfuegos Carrasco, PhD, Ingeniero Civil, experto en Hidrodinámica Costera.

ENCARGADO RIESGO DE INUNDACIÓN

Jorge Gironás León, PhD, Ingeniero Civil, experto en Hidrología e Hidráulica urbana.

Cristian Escauriza Mesa, PhD, Ingeniero Civil, experto en Mecánica de Fluidos e Hidráulica Fluvial

ENCARGADO DE RIESGO DE REMOCIÓN EN MASA

Carlos Bonilla Meléndez, PhD, Ingeniero Agrónomo, experto en Biofísica Ambiental.

ENCARGADO RIESGO SÍSMICO

Christian Ledezma Araya, PhD, Ingeniero Civil, experto en ingeniería Geotécnica Sísmica, y en análisis y evaluación de riesgo de estructuras geotécnicas.

INGENIERA DE APOYO

Maricarmen Guerra Paris, MsC, Ingeniero Civil Industrial, Diploma en Ingeniería Hidráulica.

## Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	MAPAS DE RIESGO .....	6
2.1	Metodología análisis mapas de riesgo.....	6
2.1.1	Tsunami .....	7
2.1.2	Inundación Fluvial .....	8
2.1.3	Amplitud Sísmica .....	8
2.1.4	Remoción en Masa.....	9
2.2	Riesgo de Tsunami.....	10
2.3	Riesgo de Inundación Fluvial.....	15
2.4	Riesgo de Remoción en Masa .....	16
2.5	Riesgo de Amplitud Sísmica .....	22
3	RECOMENDACIONES.....	25
3.1	Amenaza potencial para la población.....	25
3.1.1	Población en riesgo de Tsunami .....	25
3.1.2	Población en riesgo de Inundación Fluvial .....	28
3.1.3	Población en riesgo de Remoción en Masa.....	30
3.1.4	Población en riesgo de Amplitud Sísmica.....	32
3.2	Riesgo de Tsunami.....	34
3.2.1	Estrategias para reducir el riesgo de tsunami .....	35
3.2.2	Recomendaciones Específicas para San Antonio.....	43
3.3	Riesgo Sísmico .....	46
3.4	Riesgo de Inundación Fluvial.....	47
3.5	Riesgo de Remoción en Masa .....	66
3.5.1	Medidas de mitigación.....	67
3.5.2	Recomendaciones Específicas San Antonio.....	72
3.6	Equipamiento crítico e infraestructura pública vital .....	73
3.6.1	Equipamiento crítico .....	73
3.6.2	Infraestructura Pública Vital.....	74
3.7	Recomendaciones al Plan de Evacuación de Tsunami.....	75
3.7.1	Vías de Evacuación Ascendentes y Principales.....	75

3.7.2	Vías de Evacuación Longitudinales. ....	77
3.7.3	Nodos de Encuentro.....	78
3.7.4	Zonas Seguras. ....	78
4	ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES PARA NORMATIVA LOCAL.....	81
4.1	Definición de Conceptos .....	81
4.2	Áreas con amenazas de inundación y potencialmente inundables.....	82
4.3	Áreas con amenaza de ser afectada por Tsunami.....	84
4.4	Áreas con amenaza de remoción en masa. ....	85
4.5	Clasificación sísmica de suelos. ....	86
4.6	Aplicación de conceptos .....	87
4.6.1	Normas generales sobre áreas de riesgo y áreas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales. ....	87
5	BIBLIOGRAFÍA.....	95

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la última etapa 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, a través de la Secretaria Regional de Valparaíso.

El objetivo de este informe es presentar **recomendaciones** originadas a partir del cruce de información generada en cada una de las etapas anteriores del estudio con el previo análisis de los expertos.

El principal foco de estas recomendaciones está asociado a las decisiones de planificación y gestión del borde costero de la comuna, incluyendo la redacción de normas generales y específicas para los Instrumentos de Planificación Territorial, como también recomendaciones específicas de zonas vulnerables de la comuna.

Dichas recomendaciones surgen de la vinculación entre la normativa de los instrumentos de planificación territorial vigentes con las modelaciones de las amenazas (sismo, maremoto, amplitud sísmica y remoción en masa) presentadas en el segundo informe del estudio.

En este contexto, las modelaciones de amenazas aportaron la información necesaria para zonificar y normar el territorio bajo áreas de peligro y cómo éstas pueden exponer a la población residente de la ciudad.

El informe consta de tres capítulos, el primero corresponde a la descripción de la metodología para el desarrollo de los mapas de riesgo, explicitando la relación entre la vulnerabilidad detectada (población y vivienda) y las distintas amenazas.

El segundo se relaciona con las recomendaciones directas por tipo de amenazas y territorializadas de acuerdo a la expresión espacial de éstas y de los efectos sobre la población residente. En este caso las recomendaciones están asociadas a la gestión del espacio público, infraestructura crítica y planes de evacuaciones.

Por último, y en base a las recomendaciones anteriores, se presenta la propuesta de modificación al IPT, su justificación y la redacción del articulado correspondiente.

## 2 MAPAS DE RIESGO

En este apartado se describirán las características generales de los mapas de riesgo para cada amenaza analizada, por cada sector de la ciudad de San Antonio.

### 2.1 Metodología análisis mapas de riesgo.

Para cada elemento analizado (de viviendas, equipamientos e infraestructuras) se asignó un valor de vulnerabilidad ante cada amenaza, equivalente a un número entero entre 0 y 4. Para el cálculo del riesgo (Tabla 1), este valor es multiplicado por un factor de amenaza, según en qué grado de amenaza se encuentra el elemento (cada amenaza se modeló y sintetizó en tres grados de probabilidad o intensidad). Según este resultado da un puntaje con decimales entre 0 y 10, se asigna el grado de riesgo (Tabla 2).

		TSUNAMI			AMENAZA	
		Altura de ola > 7m	Altura de ola entre 2m y 7m	Altura de ola < 2m	Grados de amenaza	
			2,5	2,0	1,2	Factor de amenaza
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	4,8	Puntaje de riesgo (0 a 10). El color equivale al grado de riesgo.
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	3,6	
	MEDIO	2	5	4	2,4	
	BAJO	1	2,5	2,0	1,2	
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	
	Grado de Vulnerabilidad cualitativo	Valor de vulnerabilidad				

**Tabla 1. Asignación de puntajes de riesgo.**  
 Fuente: Elaboración Propia

Rango de puntaje (V x A)	Grado de riesgo
6,1 - 10	<b>RIESGO ALTO</b>
4,1 - 6	<b>RIESGO MEDIO-ALTO</b>
2,1 - 4	<b>RIESGO MEDIO-BAJO</b>
0,1 - 2	<b>RIESGO BAJO</b>
0	<b>SIN RIESGO</b>
	<b>SIN RIESGO – FUERA DE AMENAZA</b>

Tabla 2. Asignación de grado de riesgo según puntaje.

Fuente: elaboración propia.

Considerando que las modelaciones de las amenazas se realizaron de manera independiente, la implicancia en el riesgo de los tres grados de amenaza, no es equivalente para todas ellas. Es por esto que a los tres grados se les asigna un factor, el que varía para cada uno. Los valores de vulnerabilidad se mantienen siempre entre 0 y 4. Se utilizan criterios generales como:

- Elementos sin vulnerabilidad, implica que no tiene riesgo. Por esta razón, a “sin vulnerabilidad” se le asigna valor = 0, de manera que al multiplicarlo por cualquier factor de amenaza, da como resultado riesgo = 0.
- Frente a un alto grado de amenaza, aquellos elementos de vulnerabilidad alta o media-alta, presentan alto riesgo, por lo que para todas las amenazas se utiliza factor 2,5.

La metodología utilizada en el cálculo de riesgo para cada amenaza:

### 2.1.1 Tsunami

En el caso de tsunami, los tres grados de amenaza están determinados por la altura de la ola en la modelación. Se han asignado los factores de amenaza (Tabla 3), considerando el supuesto de que una ola sobre los 2 metros tiene un nivel de riesgo alto para una construcción o elemento muy vulnerable. Por esto, al grado de amenaza medio (Altura de ola entre 0,5 y 2 metros) se le asigna un factor 2,0, cercano al factor 2,5 asignado al grado alto (altura de ola > 2m), de esta manera el grado de amenaza medio genera niveles de riesgo similares a los de grado de amenaza alto.

			TSUNAMI			
			Altura de ola > 2m	Altura de ola entre 0,5m y 2m	Altura de ola < 0,5m	Fuera de amenaza
			2,5	2,0	1,2	0,0
VULNERABILIDAD	<b>ALTO</b>	4	10	8	4,8	0
	<b>MEDIO-ALTO</b>	3	7,5	6,0	3,6	0
	<b>MEDIO</b>	2	5	4	2,4	0
	<b>BAJO</b>	1	2,5	2,0	1,2	0
	<b>SIN VULNERABILIDAD</b>	0	0	0	0	0

Tabla 3. Asignación de puntaje de riesgo ante Tsunami.

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.2 Inundación Fluvial

En el caso de inundación fluvial (Tabla 4), al igual que en tsunami, el grado de amenaza medio (período de retorno de 25 años) se considera cercano al grado de amenaza alto (período de retorno de 10 años), por lo que se le asigna un factor de amenaza de 2,0 de manera que genera niveles de riesgo similares a los de amenaza alta. Por el contrario, al grado de amenaza bajo, dado que el período de retorno es de 50 años –es decir, de baja probabilidad en relación a los grados medio y alto- se utiliza un factor de amenaza de 0,7 que no genera niveles de riesgo altos o medio-altos.

			INUNDACIÓN FLUVIAL			
			Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Fuera de amenaza
			2,5	2,0	0,7	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	2,8	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	2,1	0
	MEDIO	2	5	4	1,4	0
	BAJO	1	2,5	2,0	0,7	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 4. Asignación de puntaje de riesgo ante Inundación Fluvial.

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.3 Amplitud Sísmica

La ocurrencia de amplitud sísmica considera en sí un evento sísmico como la amenaza misma (de magnitud capaz de inducir un nivel máximo de aceleración horizontal de roca basal igual a 0.4g ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ )). Por lo que la baja amenaza de amplitud sísmica, de todas maneras implica que estaría ocurriendo un sismo en esa zona, solo que sin el fenómeno de amplificación. Por esta razón, ante el grado bajo de amenaza, se asigna un factor relativamente alto en comparación a las otras amenazas, de manera que genere un valor de riesgo medio-alto para elementos de vulnerabilidad media-alta o alta. Como ejemplo, una vivienda de adobe en mal estado, tendría vulnerabilidad alta; aún estando en una zona con amplitud sísmica baja, estaría siendo afectada por un sismo, lo que presenta alto riesgo. Sin embargo, para mantener coherencia metodológica con el análisis de riesgo según las otras amenazas, a aquellas zonas fuera de amenaza de amplitud sísmica igual se les asigna factor 0 lo que genera valor 0, por tanto “sin riesgo”.

Los grados de amenaza que se consideraron de acuerdo al estudio de microzonificación de la ciudad de San Antonio<sup>1</sup> y el análisis de serie de suelos de la comuna<sup>2</sup>, se generaron áreas con las diferentes jerarquías de amenaza.

<sup>1</sup> “Análisis Microzonificación Sísmica de San Antonio” GEO Consultores, MINVU. 1988

<sup>2</sup> Estudio Agrológico, V Región de 1997 del CIREN

			AMPLITUD SÍSMICA			
			Grado alto	Grado medio	Grado bajo	Fuera de amenaza
			2,5	2,0	1,5	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	6,0	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	4,5	0
	MEDIO	2	5	4	3,0	0
	BAJO	1	2,5	2,0	1,5	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 5. Asignación de puntaje de riesgo ante Amplitud sísmica.  
 Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.4 Remoción en Masa

En el caso de remoción en masa, según la metodología utilizada en la modelación de la amenaza, se asigna “grado bajo” a zonas que presentan periodos de retorno de 50 años, es decir probabilidad de que ocurra una remoción en masa, muy baja cercana a nula, “grado medio” a zonas donde el periodo de retorno es de 20 años y “grado bajo” zonas en donde el periodo de retorno es de 10 años. A partir de lo anterior, al grado bajo de amenaza se le asigna un factor 0,4 de manera que multiplicado por todos los valores de vulnerabilidad, da por resultado riesgo bajo. Al grado medio se le asigna un factor 1,0 que se traduce en riesgos entre bajo y medio.

Si una zona presenta un alto grado de amenaza, efectivamente las condiciones son desfavorables, sus efectos en zonas de alto grado son devastadoras, y por ello se utiliza un factor de 2,5, al igual que en las otras amenazas.

			REMOCIÓN EN MASA POR SISMO			
			Grado alto	Grado medio	Grado bajo	Fuera de amenaza
			2,5	1,0	0,4	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	4	1,6	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	3,0	1,2	0
	MEDIO	2	5	2	0,8	0
	BAJO	1	2,5	1,0	0,4	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 6. Asignación de puntaje de riesgo ante Remoción en Masa por Sismo.  
 Fuente: elaboración propia.

## 2.2 Riesgo de Tsunami

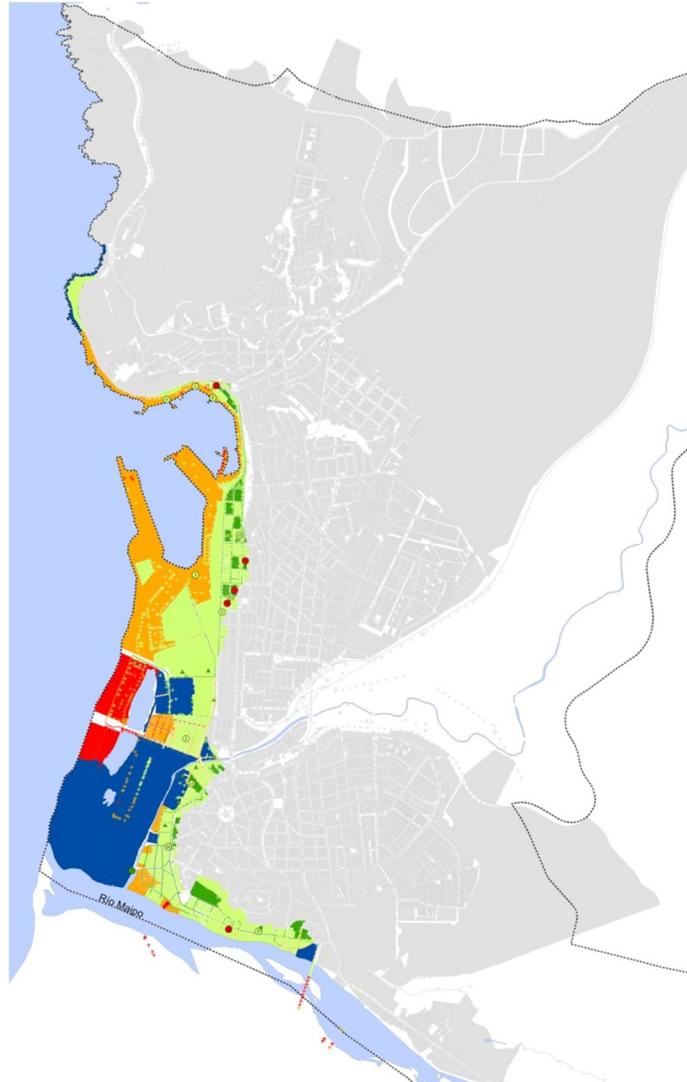
Como se muestra en la Figura 1 (para mayor detalle ver Anexos), la superficie bajo amenaza por tsunami en la ciudad de San Antonio alcanza a 278,9 hectáreas aproximadamente, de las cuales 33,1% se encuentran en un nivel de riesgo medio bajo (ver Tabla 7).

Es importante de destacar, que la superficie que está sin riesgo, dentro del área amenazada, es de 31% localizándose principalmente en el sector de Lolleo. El riesgo medio alto representa un 27,6% de superficie amenazada (ver Tabla 7), localizándose en el borde de la costa de la ciudad (sector donde se emplaza el puerto).

Nivel de Riesgo	Superficie m <sup>2</sup>	Superficie Há	Porcentaje (%)
Riesgo Alto	100.208,9	10,0	3,6%
Riesgo Medio Alto	771.218,7	77,1	27,6%
Riesgo Medio Bajo	923.658,0	92,4	33,1%
Riesgo Bajo	129.605,8	13,0	4,6%
Sin Riesgo	864.734,7	86,5	31,0%
<b>Total</b>	<b>2.789.426,1</b>	<b>278,9</b>	<b>100%</b>

Tabla 7 Superficie afectada por Riesgo de Tsunami, Ciudad de San Antonio.

Fuente: Elaboración Propia, 2011



**Figura 1 Mapa de Riesgo de Tsunami, Ciudad de San Antonio**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC – 2011.



- **Sector de San Antonio**

En este sector, se observa una franja promedio de 84 metros que se encuentra amenazada por el riesgo de tsunami, comprende 12,8 hectáreas. En ella, se localiza parte de la actividad portuaria, representado por el puerto industrial con un nivel de riesgo medio bajo, al igual que las dos caletas localizadas en este sector, Pacheco Altamirano y Puertecito. La Gobernación marítima tiene un nivel alto de riesgo frente al tsunami (ver Figura 2)



**Figura 2 Mapa de Riesgo de Tsunami, Sector de San Antonio**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC - 2011

El nivel de riesgo de tsunami medio alto y medio bajo representan una superficie de 4,7 hectáreas cada uno de ellos (ver Tabla 8), siendo la franja costera la que tiene el nivel mayor. Dentro del riesgo medio bajo se encuentra una importante actividad de comercio como el mall de San Antonio.

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje (%)
Riesgo Alto	874,1	0,1	0,7%
Riesgo Medio Alto	47296,0	4,7	37%
Riesgo Medio Bajo	46704,2	4,7	37%
Riesgo Bajo	10338,4	1,0	8%
Sin Riesgo	22498,0	2,2	18%
<b>Total</b>	<b>127710,8</b>	<b>12,8</b>	<b>100%</b>

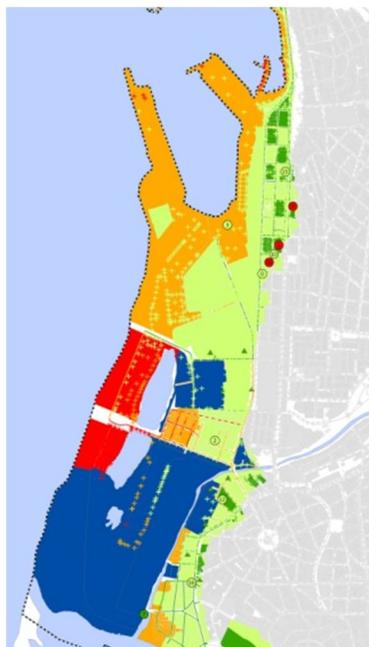
**Tabla 8 Superficie afectada por Riesgo de Tsunami, Sector de San Antonio.**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC – 2011

- **Sector de Barrancas - Puerto**

El área que se encuentra bajo el riesgo de tsunami en el sector de Barrancas – Puerto es de 220,8 hectáreas, de las cuales el 35,7% se encuentra sin riesgo, debido a que son predios que están sin utilización y sin habitantes (ver Figura 3 y Tabla 9).

En este sector, existen ocho equipamientos con distintos niveles de riesgo frente a un tsunami, tales como la Alcaldía (riesgo medio alto), DIDECO (Riesgo Medio Bajo), Puerto de Transporte

Marino (riesgo medio bajo), Instituto Ercilla (riesgo medio alto), Grupo escolar Sor Teresa de Los Andes (riesgo medio bajo), Primera Compañía de Bomberos (riesgo medio alto), Jardín infantil Nubecita de algodón (riesgo medio bajo) y el Departamento de Operaciones del municipio (riesgo medio bajo).



**Figura 3 Mapa de Riesgo de Tsunami, Sector de Barrancas - Puerto**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC - 2011

En la Tabla 9 se presentan las superficies de los distintos niveles de riesgo de este sector, destacándose el área de las Lagunas que poseen dos predios con niveles de riesgo alto, debido a que la altura de ola modelada es mayor. Junto con lo anterior, cabe mencionar que este riesgo aumenta además porque la población que habita en este sector es altamente vulnerable porque tiene un carácter irregular (terrenos tomados), y la vivienda es de tipo precaria y de poca resistencia frente a un evento de tsunami.

El riesgo medio bajo presenta un 26,2% de superficie y el riesgo medio alto un 31,3%, los que predominan en este sector.

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje (%)
Riesgo Alto	97.718,2	9,8	4,4%
Riesgo Medio Alto	691.961,5	69,2	31,3%
Riesgo Medio Bajo	577.837,5	57,8	26,2%
Riesgo Bajo	53.138,9	5,3	2,4%
Sin Riesgo	787.081,2	78,7	35,7%
<b>Total general</b>	<b>2.207.737,2</b>	<b>220,8</b>	<b>100%</b>

**Tabla 9 Superficie afectada por Riesgo de Tsunami, Sector de Barrancas - Puerto.**  
 Fuente: Elaboración Propia, 2011

- **Sector de Lollole**

Para el caso de Lollole, el área que se encuentra bajo riesgo de tsunami es de 45,4 hectáreas (ver Tabla 10). Se localizan dos importantes equipamientos de seguridad, la Subcomisaría de Lollole con un nivel de riesgo medio bajo y un Recinto Militar con un nivel de riesgo medio alto.

También se localizan dos equipamientos educacionales, el jardín infantil Estrellita de Mar y el colegio Araucarias, ambos con un nivel de riesgo medio bajo (ver Figura 4).



**Figura 4 Mapa de Riesgo de Tsunami, Sector de Lollole**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC - 2011

En la Tabla 10, se observan las superficies de cada uno de los niveles de riesgo frente a un tsunami. El 66% del sector de Lollole tiene un 66% de superficie en riesgo medio bajo con respecto al total de éste. Es importante destacar que el 7% y 0,4% es de riesgo medio alto y alto respectivamente, caracterizados por predios ubicados en la ribera del río Maipo y del estero El Sauce (ver Figura 4).

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje (%)
Riesgo Alto	1.616,6	0,2	0,4%
Riesgo Medio Alto	31.961,3	3,2	7,0%
Riesgo Medio Bajo	299.116,4	29,9	65,9%
Riesgo Bajo	66.128,5	6,6	14,6%
Sin Riesgo	55.155,4	5,5	12,1%
<b>Total</b>	<b>453.978,1</b>	<b>45,4</b>	<b>100%</b>

**Tabla 10 Superficie afectada por Riesgo de Tsunami, Sector de Lollole.**  
 Fuente: Elaboración Propia, 2011

### 2.3 Riesgo de Inundación Fluvial

El riesgo de inundación fluvial se presenta principalmente en el sector de Lolloe, en la ribera del río Maipo y estero El Sauce. La superficie bajo este riesgo es de 29,5 hectáreas (ver Tabla 11), de las cuales representa un 17,9% con un nivel de riesgo alto, debido a predios ubicados en la ribera oriente del estero El Sauce (ver Figura 5).



**Figura 5 Mapa de Riesgo de Inundación Fluvial, Ciudad de San Antonio**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC – 2011

<p><b>Riesgo Equipamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>● Sin Riesgo</li> <li>● Riesgo Bajo</li> <li>● Riesgo Medio Bajo</li> <li>● Riesgo Medio Alto</li> <li>● Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Riesgo Postes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>+ Sin Riesgo</li> <li>+ Riesgo Bajo</li> <li>+ Riesgo Medio Bajo</li> <li>+ Riesgo Medio Alto</li> <li>+ Riesgo Alto</li> </ul>	<p><b>Riesgo Grifos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Sin Riesgo Fuera de Amenaza o Sin Información</li> <li>▲ Sin Riesgo</li> <li>▲ Riesgo Bajo</li> <li>▲ Riesgo Medio Bajo</li> <li>▲ Riesgo Medio Alto</li> <li>▲ Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Riesgo Vialidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>— Sin Riesgo</li> <li>— Riesgo Bajo</li> <li>— Riesgo Medio Bajo</li> <li>— Riesgo medio Alto</li> <li>— Riesgo Alto</li> </ul>	<p><b>Riesgo Construcciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sin Riesgo Fuera de la Amenaza</li> <li>■ Sin Riesgo Con Amenaza</li> <li>■ Riesgo Bajo</li> <li>■ Riesgo Medio Bajo</li> <li>■ Riesgo Medio Alto</li> <li>■ Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Área Urbana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□</li> </ul>
---	---	--

De los equipamientos con algún nivel de riesgo se encuentra la escuela Poeta Huidobro y el recinto Militar de Lollole.

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje
Riesgo Alto	52805,7	5,3	17,9%
Riesgo Medio Alto	28092,0	2,8	9,5%
Riesgo Medio Bajo	31887,0	3,2	10,8%
Riesgo Bajo	36878,8	3,7	12,5%
Sin Riesgo	145358,3	14,5	49,3%
<b>Total</b>	<b>295021,7</b>	<b>29,5</b>	<b>100%</b>

Tabla 11 Superficie afectada por Riesgo de Inundación Fluvial, Sector de Lollole.

Fuente: Elaboración Propia, 2011

## 2.4 Riesgo de Remoción en Masa

El mapa de riesgo de remoción en masa presenta una predominancia de riesgo bajo y medio bajo con 155,8 y 273,8 hectáreas respectivamente, de un total de área bajo este riesgo de 1.574,7 Há. Sólo hacia el sur de la ciudad (sector de Lollole) se encuentran predios con riesgo alto, alcanzando 17,6 Há. (Figura 6 y Tabla 12).

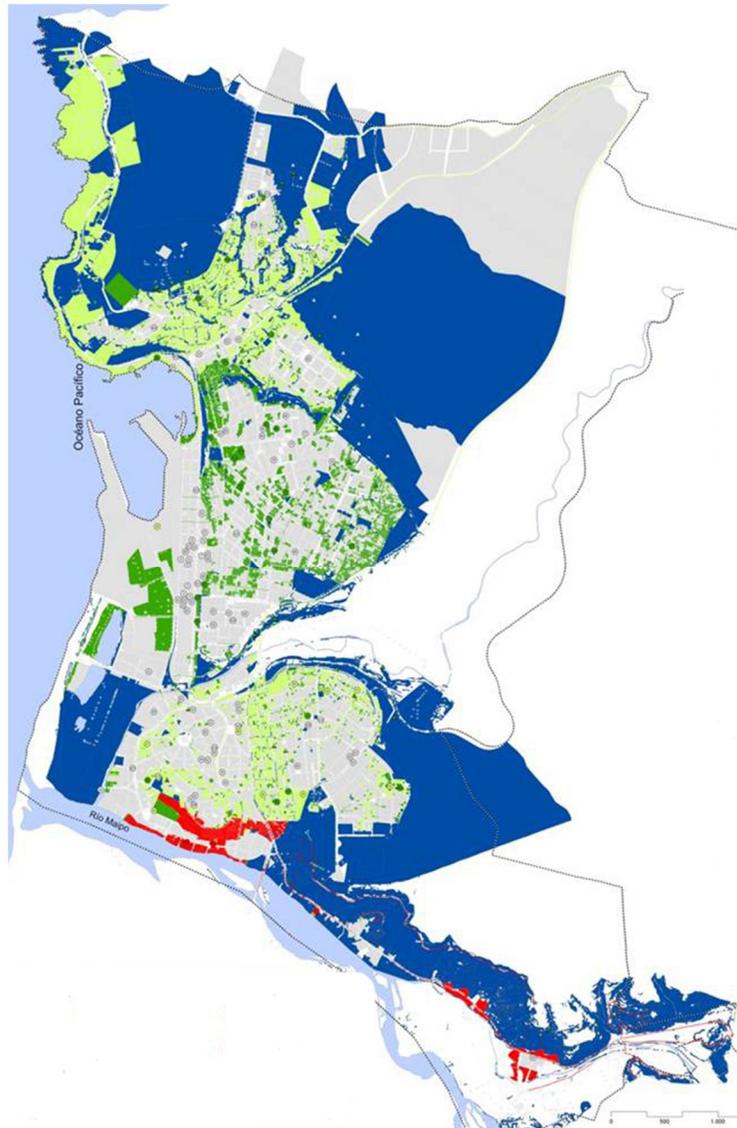


Figura 6 Mapa de Riesgo de Remoción en Masa, Ciudad de San Antonio

**Riesgo Equipamiento**

- Sin Riesgo Fuera de Amenaza
- Sin Riesgo
- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio Bajo
- Riesgo Medio Alto
- Riesgo Alto

**Riesgo Postes**

- + Sin Riesgo Fuera de Amenaza
- + Sin Riesgo
- + Riesgo Bajo
- + Riesgo Medio Bajo
- + Riesgo Medio Alto
- + Riesgo Alto

**Riesgo Grifos**

- ▲ Sin Riesgo Fuera de Amenaza o Sin Información
- ▲ Sin Riesgo
- ▲ Riesgo Bajo
- ▲ Riesgo Medio Bajo
- ▲ Riesgo Medio Alto
- ▲ Riesgo Alto

**Riesgo Vialidad**

- Sin Riesgo Fuera de Amenaza o Sin Información
- Sin Riesgo
- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio Bajo
- Riesgo medio Alto
- Riesgo Alto

**Riesgo construcciones**

- Sin Riesgo Fuera de Amenaza
- Sin Riesgo Con Amenaza
- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio Bajo
- Riesgo Medio Alto
- Riesgo Alto

**Área Urbana**

- ▭ Área Urbana

Sectores	Riesgo Alto	Riesgo Medio Alto	Riesgo Medio Bajo	Riesgo Bajo	Sin Riesgo	Total
Barrancas	0	0	1,5	59,7	64,7	125,9
Llolleo	17,6	0,2	66,2	11,7	286	381,9
Puerto	0	0	28,5	65,4	67,5	161,4
San Antonio	0	0	177,6	19	708,9	905,5
<b>Total</b>	<b>17,6</b>	<b>0,5</b>	<b>273,8</b>	<b>155,8</b>	<b>1.127</b>	<b>1.574,7</b>

**Tabla 12 Superficie afectada por Riesgo de Remoción en Masa.**  
Fuente: Elaboración Propia, 2011

#### - Sector de San Antonio

En este sector, el área total bajo riesgo es de 905,6 Há, de las cuales 19,6% se encuentra con un nivel de riesgo medio bajo (ver Tabla 13). Existen nueve equipamientos con algún grado de riesgo, dos establecimientos educacionales, con riesgo medio bajo y bajo. Con riesgo bajo es posible observar a dos jardines infantiles, la caleta Puertecito y un servicio municipal (DIDECO-CDC). Con riesgo medio bajo, el puerto industrial y el CESFAM Diputado Manuel Bustos (ver Figura 7)



**Figura 7 Mapa de Riesgo de Remoción en Masa, Sector San Antonio**  
Fuente: Elaboración Propia, OCUC - 2011

Existen predios que no tienen riesgo, representando un 78,3% con relación al total del área amenazada (ver Tabla 13).

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje
Riesgo Alto	0	0	0%
Riesgo Medio Alto	0	0	0%
Riesgo Medio Bajo	1777300,7	177,7	19,6%
Riesgo Bajo	189714,7	19	2,1%
Sin Riesgo	7089259,3	708,9	78,3%
<b>Total</b>	<b>9056274,6</b>	<b>905,6</b>	<b>100%</b>

**Tabla 13 Superficie afectada en riesgo de remoción en Masa, Sector San Antonio.**  
Fuente: Elaboración Propia, 2011

- **Sector de Barrancas - Puerto**

En Barrancas la superficie total bajo riesgo de remoción en masa es de 332,4 Há (ver Figura 8 y Tabla 15), dentro de las cuales hay 18 equipamientos con distinto nivel de riesgo, como se presenta en la Tabla 14, en donde se destaca sólo el puerto que tiene un riesgo medio bajo y el Hospital con un riesgo bajo.



**Figura 8 Mapa de Riesgo de Remoción en Masa, Sector Barrancas**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC - 2011

Nombre del Equipamiento	Nivel de Riesgo	Sector
Puerto Transporte Marítimo	Riesgo Medio Bajo	Barrancas
Cuartel General de Bomberos	Riesgo Bajo	Barrancas
Centro de Estudios Alonso de Ercilla	Riesgo Bajo	Barrancas
Instituto Psicopedagógico	Riesgo Bajo	Barrancas
Escuela de Párvulos Árbol de La Vida	Riesgo Bajo	Barrancas
Colegio Particular Guillermo Blest Gana	Riesgo Bajo	Barrancas
Centro Escolar Tratamiento del Lenguaje Paihuén	Riesgo Bajo	Barrancas
Colegio Sagrada Familia	Riesgo Bajo	Barrancas
Colegio Nuestra Señora de Pompeya	Riesgo Bajo	Barrancas
Centro Educación para Párvulos Happy Kids	Riesgo Bajo	Barrancas
Escuela Santa María de La Esperanza	Riesgo Bajo	Barrancas
Colegio Papa Juan Pablo II	Riesgo Bajo	Barrancas
Colegio Particular Sara Cruchaga	Riesgo Bajo	Barrancas
PDI San Antonio	Riesgo Bajo	Barrancas
CESFAM 30 de Marzo	Riesgo Bajo	Barrancas
CESFAM Barrancas	Riesgo Bajo	Barrancas
CESFAM San Antonio	Riesgo Bajo	Barrancas
HOSPITAL Claudio Vicuña	Riesgo Bajo	Barrancas

**Tabla 14 Equipamientos con nivel de riesgo de remoción en masa, Barrancas.**  
 Fuente: Elaboración Propia, 2011

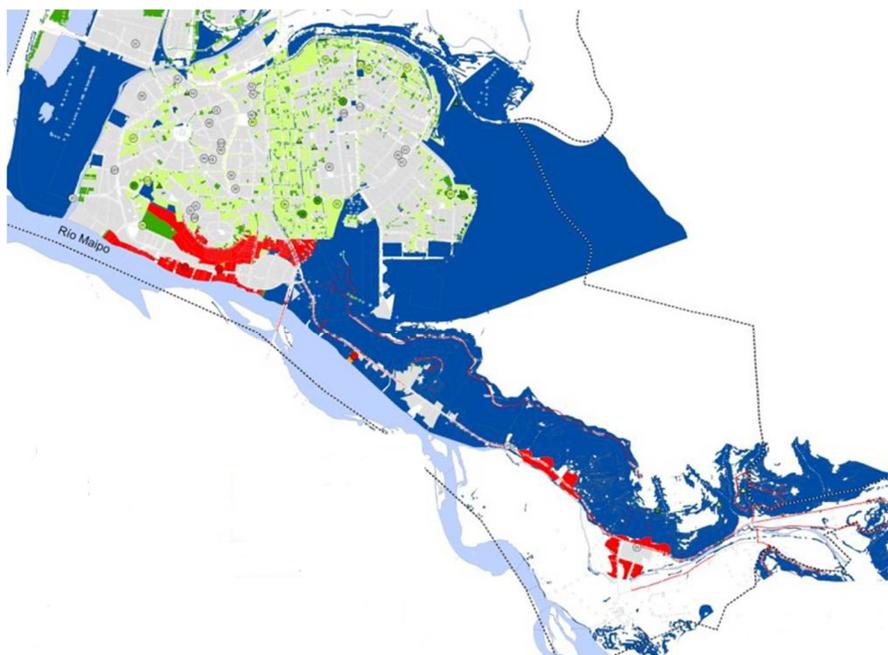
No se aprecia un nivel alto de riesgo de remoción en masa, sólo se destaca el riesgo bajo con un 38% de la superficie con respecto al total bajo amenaza.

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje
Riesgo Alto	0	0	0%
Riesgo Medio Alto	0	0	0%
Riesgo Medio Bajo	300262,7	30	10%
Riesgo Bajo	1251734,4	125,2	44%
Sin Riesgo	1322063,8	132,2	46%
<b>Total</b>	<b>2874060,9</b>	<b>287,4</b>	<b>100%</b>

**Tabla 15 Superficie afectada por Riesgo de Remoción en Masa, Sector Barrancas - Puerto.**  
 Fuente: Elaboración Propia, 2011

**- Sector de Lolleo**

La superficie bajo riesgo de remoción en masa es de 382 hectáreas (ver Tabla 17 y Figura 9), de las cuales hay 19 equipamientos con distintos niveles de riesgo, entre ellos se destaca el Recinto Militar con riesgo alto. El resto de equipamientos tienen un riesgo medio bajo y bajo (ver Tabla 16).



**Figura 9 Mapa de Riesgo de Remoción en Masa, Sector Lolleo**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC – 2011

Nombre del Equipamiento	Nivel de Riesgo	Sector
Oficina Discapacidad	Riesgo Bajo	Llolleo
Escuela Poeta Huidobro	Riesgo Alto	Llolleo
Colegio Araucarias	Riesgo Alto	Llolleo
Colegio Bilbao - Eim	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Escuela de Párvulos Tía Patricia N° 2	Riesgo Bajo	Llolleo
Colegio Santo Tomás de Las Acacias	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Escuela Especial Divino Maestro	Riesgo Bajo	Llolleo
Instituto del Puerto de San Antonio	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Escuela España	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Profesor Pedro Viveros Ormeño	Riesgo Bajo	Llolleo
Colegio José Luis Norris	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Liceo Nacional de Llolleo	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Escuela Cristo del Maipo	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Colegio Espíritu Santo	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Escuela Particular N° 33 María Konig	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
Recinto Militar	Riesgo Alto	Llolleo
Las Colinas	Riesgo Bajo	Llolleo
CESFAM Néstor Fernández T.	Riesgo Medio Bajo	Llolleo
CECOSF Tejas Verdes	Riesgo Medio Bajo	Llolleo

**Tabla 16 Equipamientos con nivel de riesgo de remoción en masa, Llolleo.**

**Fuente: Elaboración Propia, 2011**

Es importante destacar que 17,6 hectáreas (ver Tabla 17) tienen un nivel de riesgo alto de remoción en masa, principalmente por la alta vulnerabilidad de estos predios que presentan un nivel medio alto, junto con la amenaza de remoción en masa que es de un periodo de retorno de 10 años, el cual es el más alto.

La superficie que se encuentra en un nivel de riesgo medio bajo, alcanza a 11,6 Há (ver Tabla 17). Las zonas de riesgo de este nivel se localizan en el centro de Llolleo (ver Figura 9).

Nivel de Riesgo	Superficie de Riesgo (m <sup>2</sup> )	Superficie de Riesgo (Há)	Porcentaje
Riesgo Alto	176084,1	17,6	4,6%
Riesgo Medio Alto	4552,9	0,5	0,1%
Riesgo Medio Bajo	664624,7	66,5	17,4%
Riesgo Bajo	116068,1	11,6	3,0%
Sin Riesgo	2861178,4	286,1	74,9%
<b>Total general</b>	<b>3822508,1</b>	<b>382,3</b>	<b>100%</b>

**Tabla 17 Superficie afectada por Riesgo de Remoción en Masa, Sector Llolleo.**

**Fuente: Elaboración Propia, 2011**

## 2.5 Riesgo de Amplitud Sísmica

La superficie total que tiene algún nivel de riesgo dentro de la ciudad es de 780,4 Há, de las cuales el 65,5% se encuentra en riesgo bajo. Si se observa tanto la Figura 10 como la Tabla 18 muestran que las zonas de riesgo tienen una distribución homogénea predominando el riesgo bajo y en un porcentaje menor (34%) el nivel de riesgo medio bajo.

Sólo en Barrancas y San Antonio se localizan predios con riesgo alto con 0,6 y 0,4 Há respectivamente (ver Tabla 18), principalmente porque su vulnerabilidad es alta y donde se localizan existen mayores probabilidades que la amplitud de un sismo sea mayor. Otro sector poblado que presenta riesgo medio alto es el que se localiza en la ribera nor-poniente del estero San Juan, esto es principalmente por su valoración de vulnerabilidad que es alta.

Sectores	Riesgo Alto	Riesgo Medio Alto	Riesgo Medio Bajo	Riesgo Bajo	Total
Barrancas	0,6	0	62,7	147,9	211,2
Llolleo	0	2,1	60,2	172,1	234,5
Puerto	0	0	29,8	38,4	68,2
San Antonio	0,4	1,6	112,0	152,5	266,5
<b>Total</b>	<b>1,0</b>	<b>3,8</b>	<b>264,8</b>	<b>510,9</b>	<b>780,4</b>

**Tabla 18 Superficie que se encuentra en Riesgo de Amplitud sísmica.**

Fuente: Elaboración Propia, 2011

Con respecto al equipamiento la situación es distinta, ya que existen niveles de riesgo más altos, debido a la importancia que tienen algunos de éstos para la ciudad ante eventos sísmicos significativos. En las tablas siguientes se presentan los distintos equipamientos con sus respectivos niveles de riesgo frente a movimientos telúricos de importancia.

La Tabla 19 muestra los 15 equipamientos con un nivel de riesgo alto que se localizan en la ciudad, de estos se destaca que nueve son centros educacionales, la primera y segunda compañía de bomberos, el puerto de transporte marítimo, el centro de la PDI, la gobernación marítima y la alcaldía.

Equipamiento	Nivel de Riesgo
Municipio - Municipalidad de San Antonio	Riesgo Alto
Puerto Transporte Marítimo	Riesgo Alto
2 <sup>da</sup> Compañía de Bomberos	Riesgo Alto
1 <sup>ra</sup> Compañía de Bomberos	Riesgo Alto
Colegio José Luis Norris	Riesgo Alto
Colegio Cristo Rey Salvador	Riesgo Alto
Colegio Fundacional Educacional Fernández León	Riesgo Alto
Profesor Juan Dante Parraguez Arellano	Riesgo Alto
Instituto Ercilla	Riesgo Alto
Colegio Nuestra Señora de Pompeya	Riesgo Alto
Colegio Papa Juan Pablo	Riesgo Alto
Escuela Industrial San Antonio	Riesgo Alto
Centro Educacional de Adultos Pedro de Valdivia	Riesgo Alto
PDI San Antonio	Riesgo Alto
Gobernación Marítima	Riesgo Alto

**Tabla 19 Equipamientos con nivel de Riesgo alto de Amplitud Sísmica.**

Fuente: Elaboración Propia, 2011

Los equipamientos que tienen un nivel de riesgo medio alto se encuentran nueve establecimientos educacionales, oficinas del cuartel general de bomberos, la 3<sup>ra</sup> y 4<sup>ta</sup> compañía de bomberos, el puerto industrial, la prefectura y 1<sup>ra</sup> comisaría de carabineros, y todos los establecimientos de salud que se encuentran en la ciudad (ver Tabla 20).

Equipamiento	Nivel de Riesgo
Puerto industrial	Riesgo Medio Alto
3ra Compañía de Bomberos	Riesgo Medio Alto
Cuartel General de Bomberos	Riesgo Medio Alto
4 <sup>ta</sup> Compañía de Bomberos	Riesgo Medio Alto
9 Establecimientos educacionales	Riesgo Medio Alto
Prefectura de Carabineros San Antonio	Riesgo Medio Alto
1 <sup>ra</sup> Comisaría San Antonio	Riesgo Medio Alto
Subcomisaría Llole	Riesgo Medio Alto
Recinto Militar	Riesgo Medio Alto
CESFAM Diputado Manuel Bustos	Riesgo Medio Alto
CESFAM 30 de Marzo	Riesgo Medio Alto
CESFAM Barrancas	Riesgo Medio Alto
CESFAM Néstor Fernández T.	Riesgo Medio Alto
CECOSF Tejas Verdes	Riesgo Medio Alto
CESFAM San Antonio	Riesgo Medio Alto
HOSPITAL Claudio Vicuña	Riesgo Medio Alto
CECOSF Cerro Alegre	Riesgo Medio Alto

**Tabla 20 Equipamientos con nivel de riesgo medio alto de amplitud sísmica.**

Fuente: Elaboración Propia, 2011

En la Tabla 21 se presentan los equipamientos que tienen un nivel de riesgo medio bajo. En este grupo se destacan varios servicios y direcciones municipales, 35 establecimientos educacionales y el edificio de la gobernación provincial.

Equipamiento	Nivel de Riesgo
Dirección Aseo Ornato y Medio Ambiente	Riesgo Medio Bajo
Dirección de Educación Municipal	Riesgo Medio Bajo
DIDECO - CDC	Riesgo Medio Bajo
Oficina Discapacidad	Riesgo Medio Bajo
DIDECO - OMIL	Riesgo Medio Bajo
Oficina Vivienda y Subsidio	Riesgo Medio Bajo
Gobernación Provincial - Provincia de San Antonio	Riesgo Medio Bajo
OPD (Protección de los Derechos de Niños y Adolescentes)	Riesgo Medio Bajo
Bienestar RRHH	Riesgo Medio Bajo
Servicios Municipales Varios	Riesgo Medio Bajo
Departamento de Operaciones	Riesgo Medio Bajo
Tesorero Municipal	Riesgo Medio Bajo
Departamento de RR.HH - DAF	Riesgo Medio Bajo
Asesoría Jurídica	Riesgo Medio Bajo
Departamento de Cultura	Riesgo Medio Bajo
35 establecimientos educacionales	Riesgo Medio Bajo

**Tabla 21 Equipamientos con nivel de riesgo medio bajo de amplitud sísmica. Fuente: Elaboración Propia, 2011**

En riesgo bajo solo se encuentran las tres caletas de pescadores.



**Figura 10 Mapa de Riesgo de Amplitud Sísmica, Ciudad de San Antonio**  
 Fuente: Elaboración Propia, OCUC – 2011

<p><b>Riesgo Equipamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>● Sin Riesgo</li> <li>● Riesgo Bajo</li> <li>● Riesgo Medio Bajo</li> <li>● Riesgo Medio Alto</li> <li>● Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Riesgo Postes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>+ Sin Riesgo</li> <li>+ Riesgo Bajo</li> <li>+ Riesgo Medio Bajo</li> <li>+ Riesgo Medio Alto</li> <li>+ Riesgo Alto</li> </ul>	<p><b>Riesgo Grifos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Sin Riesgo Fuera de Amenaza o Sin Información</li> <li>▲ Sin Riesgo</li> <li>▲ Riesgo Bajo</li> <li>▲ Riesgo Medio Bajo</li> <li>▲ Riesgo Medio Alto</li> <li>▲ Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Riesgo Vialidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>— Sin Riesgo</li> <li>— Riesgo Bajo</li> <li>— Riesgo Medio Bajo</li> <li>— Riesgo Medio Alto</li> <li>— Riesgo Alto</li> </ul>	<p><b>Riesgo Construcciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sin Riesgo Fuera de Amenaza</li> <li>■ Sin Riesgo</li> <li>■ Riesgo Bajo</li> <li>■ Riesgo Medio Bajo</li> <li>■ Riesgo Medio Alto</li> <li>■ Riesgo Alto</li> </ul> <p><b>Área Urbana</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□</li> </ul>
---	---	---

### 3 RECOMENDACIONES

#### 3.1 Amenaza potencial para la población

En este apartado se recomendarán herramientas que permitan a la sociedad disminuir la vulnerabilidad de la población ante la exposición de las amenazas analizadas (en los informes anteriores), como son los casos de tsunami, inundación fluvial, remoción en masa y sismos.

Tales recomendaciones se llevaron a cabo, teniendo en consideración la cantidad de población afectada por cada nivel de riesgo.

##### 3.1.1 Población en riesgo de Tsunami

La población en riesgo de tsunami alcanza aproximadamente de 4.196 habitantes de las cuales el 52,7% son hombres y el 47,3% son mujeres (ver Tabla 22). La población en riesgo alto y medio alto llega a 11 y 236 personas respectivamente.

El nivel de riesgo medio bajo es el que tiene la mayor cantidad de población con 3.344 personas con una predominancia de hombres del 53,2% (ver Tabla 22)

Nivel de Riesgo	Hombre	Mujer	Total
Riesgo Alto	4	7	11
Riesgo Medio Alto	130	106	236
Riesgo Medio Bajo	1.780	1.564	3.344
Riesgo Bajo	177	214	391
Sin Riesgo	121	93	214
<b>Total</b>	<b>2.212</b>	<b>1.984</b>	<b>4.196</b>

Tabla 22 Población en Riesgo de Tsunami, San Antonio.

Fuente: Elaboración propia, 2011

La Tabla 23 presenta la población en riesgo según niveles de riesgo y por cada sector de la ciudad de San Antonio. Es en Lolleo donde se ubica la mayor cantidad de población en riesgo, destacándose que ésta se encuentra afectada en un nivel medio bajo. Por otra parte, no hay presencia de población en nivel alto, a diferencia del sector Barrancas – Puerto, en donde existe una pequeña cantidad de población en riesgo alto.

Nivel de Riesgo	BARRANCAS - PUERTO		LOLLEO		SAN ANTONIO		Total de Población
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
Riesgo Alto	4	7	0	0	0	0	11
Riesgo Medio Alto	38	41	92	65	0	0	236
Riesgo Medio Bajo	459	416	1.298	1.128	23	20	3.344
Riesgo Bajo	67	54	110	160	0	0	391
Sin Riesgo	56	37	50	44	15	12	214
<b>Total</b>	<b>624</b>	<b>555</b>	<b>1.550</b>	<b>1.397</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	<b>4.196</b>

Tabla 23 Población en Riesgo de Tsunami, Sectores de la Ciudad de San Antonio.

Fuente: Elaboración propia, 2011

Para el caso de los grupos socioeconómicos (GSE), la cantidad de hogares en riesgo es de 1.141, siendo el grupo D que tiene la mayor cantidad de éstos en riesgo. Sólo en el GSE E se encuentran hogares con riesgo alto (ver Tabla 24).

Rótulos de fila	C2	C3	D	E	Total de hogares
Riesgo Alto	0	0	0	6	6
Riesgo Medio Alto	0	1	51	11	63
Riesgo Medio Bajo	20	288	506	89	903
Riesgo Bajo	1	87	15	2	105
Sin Riesgo	0	0	59	5	64
<b>Total de Hogares</b>	<b>21</b>	<b>376</b>	<b>631</b>	<b>113</b>	<b>1141</b>

Tabla 24 Hogares en Riesgo de Tsunami por GSE, San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia, 2011

La Tabla 25 muestra las diferencias entre sectores con respecto a los GSE y los niveles de riesgo.

Nivel de Riesgo	C2	C3	D	E	Total
Riesgo Alto	0	0	0	6	6
BARRANCAS	0	0	0	6	6
Riesgo Bajo	1	87	15	2	105
BARRANCAS	0	18	15	2	35
LLOLLEO	1	69	0	0	70
SAN ANTONIO	0	0	0	0	0
Riesgo Medio Alto	0	1	51	11	63
BARRANCAS	0	1	8	11	20
LLOLLEO	0	0	43	0	43
Riesgo Medio Bajo	20	288	506	89	903
BARRANCAS	13	75	112	67	267
LLOLLEO	7	213	394	6	620
SAN ANTONIO	0	0	0	16	16
Sin Riesgo	0	0	59	5	64
BARRANCAS	0	0	22	5	27
LLOLLEO	0	0	32	0	32
SAN ANTONIO	0	0	5	0	5
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>376</b>	<b>631</b>	<b>113</b>	<b>1141</b>

Tabla 25 Hogares en Riesgo de Tsunami por GSE, Sectores ciudad San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Es el sector de Llolleo el que tiene la mayor cantidad de hogares en riesgo, y en un nivel medio bajo.

El sector de Barrancas – Puerto presenta seis hogares en riesgo alto y pertenecen al GSE E.

En el nivel de riesgo medio alto, hay hogares de los sectores de Barrancas y Llolleo, para el caso de Barrancas son 11 hogares del GSE E y ocho del D, y en Llolleo 43 hogares en el GSE D.

Los grupos etarios en riesgo se presentan en la siguiente tabla:

Nivel de Riesgo	0 - 14	15 - 29	30 - 44	45 - 59	60 - 74	75 y más	Total
Riesgo Alto	0	3	0	0	4	4	11
Riesgo Medio Alto	71	57	63	23	17	5	236
Riesgo Medio Bajo	763	905	729	483	343	121	3.344
Riesgo Bajo	96	96	78	47	43	31	391
Sin Riesgo	51	40	54	33	31	5	214
<b>Total</b>	<b>981</b>	<b>1.101</b>	<b>924</b>	<b>586</b>	<b>438</b>	<b>166</b>	<b>4.196</b>

Tabla 26 Población por grupos etarios en Riesgo de Tsunami, San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia, 2011

De los grupos etarios, el que cuenta con mayor población en riesgo, está entre los 15 a 29 años con 1.101 personas, seguido de 0 a 14 años con 981 personas.

Puntualmente, en riesgo alto hay ocho personas, las cuales se encuentran sobre los 60 años. Otro rango de mayor vulnerabilidad, de 0 a 14 años, hay 71 personas en el nivel de riesgo medio alto.

Si consideramos el análisis por cada sector, Barrancas y Lollole presentaban población entre 0 a 14 años con 25 y 46 personas respectivamente en riesgo medio alto. En Barrancas en el rango 60 y 74 años existen cuatro personas con un nivel de riesgo alto, la misma situación se presenta en el rango de edad de 75 años y más.

Nivel de Riesgo	0 - 14			15 - 29			30 - 44		
	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO
Riesgo Alto	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Riesgo Medio Alto	25	46	0	23	34	0	20	43	0
Riesgo Medio Bajo	202	552	9	171	726	8	200	516	13
Riesgo Bajo	16	80	0	36	60	0	25	53	0
Sin Riesgo	25	20	6	23	15	2	22	22	10
<b>Total</b>	<b>268</b>	<b>698</b>	<b>15</b>	<b>256</b>	<b>835</b>	<b>10</b>	<b>267</b>	<b>634</b>	<b>23</b>
Nivel de Riesgo	45 - 59			60 - 74			75 y más		
	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO	BARRANCAS	LLOLLEO	SAN ANTONIO
Riesgo Alto	0	0	0	4	0	0	4	0	0
Riesgo Medio Alto	6	17	0	4	13	0	1	4	0
Riesgo Medio Bajo	137	338	8	111	227	5	54	67	0
Riesgo Bajo	23	24	0	15	28	0	6	25	0
Sin Riesgo	13	16	4	7	20	4	3	1	1
<b>Total</b>	<b>179</b>	<b>395</b>	<b>12</b>	<b>141</b>	<b>288</b>	<b>9</b>	<b>68</b>	<b>97</b>	<b>1</b>

Tabla 27 Población por grupos etarios en Riesgo de Tsunami, Sectores ciudad de San Antonio.  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Las recomendaciones para la disminución de vulnerabilidad de la población y así bajar los distintos niveles de riesgo frente a la amenaza de tsunami, corresponden a:

- Para el caso de la población, de los GSE E y D, con altos niveles de riesgo, se recomienda ejecutar proyectos que ayuden a mejorar el espacio público (por ejemplo, plazas y vías peatonales) y subsidios necesarios para el mejoramiento de la calidad y materialidad de las construcciones de viviendas.
- En el sector de Barrancas – Puerto (las lagunas), existe un asentamiento irregular de habitantes que se encuentran en una zona de alto riesgo de tsunami (Figura 11), quedando de manifiesto en el último evento de tsunami del 27 de febrero de 2010, donde fue arrasado el sector sur de las lagunas. Esta población debe ser erradicada de este lugar por estar localizada en una zona muy expuesta frente a estos eventos.

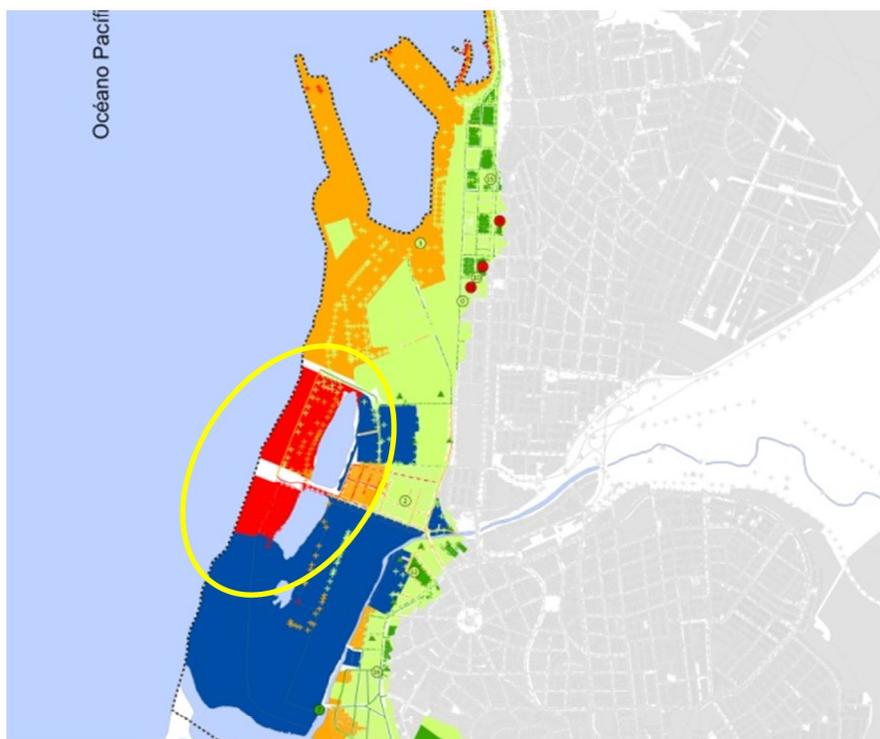


Figura 11 Zona de Alto riesgo de Tsunami, San Antonio.  
Fuente: Elaboración Propia, 2011

### 3.1.2 Población en riesgo de Inundación Fluvial

La población en riesgo por inundación fluvial se localiza preferentemente en el sector de Llolleo, en la ribera norte del río Maipo y en las riberas del estero el Sauce. La población total bajo amenaza es de 2.943 personas y en riesgo es de 2.200 personas (ver Tabla 28).

Nivel de riesgo	Hombre	Mujer	Total
Riesgo Alto	379	356	<b>735</b>
Riesgo Medio Alto	203	196	<b>399</b>
Riesgo Medio Bajo	548	323	<b>871</b>
Riesgo Bajo	89	96	<b>185</b>
Sin Riesgo	407	346	<b>753</b>
<b>Total</b>	<b>1.626</b>	<b>1.317</b>	<b>2.943</b>

**Tabla 28 Población en Riesgo de Inundación Fluvial, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración propia, 2011

La población que se encuentra en un nivel de riesgo alto alcanza a 735 personas que se localizan principalmente en la ribera oriente del Estero El Sauce, como se observa en la Figura 12, esta misma zona también se ve afectada en nivel medio alto de riesgo de tsunami.



**Figura 12 Zona de Alto riesgo de Inundación Fluvial, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración Propia, 2011

Con respecto a GSE en el nivel alto de riesgo se encuentran 190 hogares de los cuales 183 corresponden al grupo D y 7 al E, estos indica que la población en más alto riesgo de inundación fluvial, socioeconómicamente hablando, estaría presentando mayores carencias, no obstante la materialidad de las viviendas en esta zona es de material ligero (predominancia madera) y el estado de estas es varían de bueno a regular.

Nivel de Riesgo	C2	C3	D	E	Total
Riesgo Alto	0	0	183	7	190
Riesgo Medio Alto	0	13	106	0	119
Riesgo Medio Bajo	0	50	142	0	192
Riesgo Bajo	1	16	32	0	49
Sin Riesgo	0	2	194	4	200
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>81</b>	<b>657</b>	<b>11</b>	<b>750</b>

**Tabla 29 Hogares en Riesgo de Inundación Fluvial por GSE, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Dentro del nivel alto de riesgo los grupos etarios entre 0 a 14, 60 a 74 y 75 años y más, alcanzan 196, 67 y 29 personas respectivamente (Tabla 30). Ésta, es la más vulnerable frente a eventos catastróficos equivalente al 9,5% del total de población expuesta a inundación fluvial.

Nivel de Riesgo	0 - 14	15 - 29	30 - 44	45 - 59	60 - 74	75 y más	Total
Riesgo Alto	196	163	194	86	67	29	735
Riesgo Medio Alto	95	76	105	61	51	11	399
Riesgo Medio Bajo	151	384	143	101	68	24	871
Riesgo Bajo	45	49	36	31	21	3	185
Sin Riesgo	163	157	175	128	89	41	753
<b>Total</b>	<b>684</b>	<b>855</b>	<b>682</b>	<b>423</b>	<b>306</b>	<b>113</b>	<b>3.063</b>

**Tabla 30 Población por grupos etarios en Riesgo de Inundación Fluvial, San Antonio.**

Fuente: Elaboración propia, 2011

Las recomendaciones para la población, con el objeto de disminuir su vulnerabilidad y así reducir el nivel de riesgo frente a la amenaza de Inundación Fluvial, se propone lo siguiente:

- Los predios que se localizan en un nivel alto de riesgo se recomienda estudiar una relocalización o mejorar las condiciones de materialidad de las construcciones, considerando también el sector más cercano a la desembocadura del estero por su alto nivel de peligrosidad frente a la amenaza de tsunami.
- Se debe considerar que en estos sectores donde el nivel socioeconómico es bajo, la resiliencia de la población frente a eventos catastróficos es más lenta, por lo cual se recomienda mantener una instancia de coordinación constante de parte del aparato público (municipio principalmente) para que la vulnerabilidad de esta población disminuya.

### 3.1.3 Población en riesgo de Remoción en Masa

La población bajo amenaza de remoción en masa alcanza a 34.925 personas de las cuales 30.178 tiene un nivel de riesgo, sólo 387 habitantes tiene un nivel alto de riesgo (ver Tabla 31)

Nivel de riesgo	Hombre	Mujer	Total
Riesgo Alto	185	202	387
Riesgo Medio Bajo	9.276	9.908	19.184
Riesgo Bajo	5.356	5.251	10.607
Sin Riesgo	2.284	2.463	4.747
<b>Total</b>	<b>17.101</b>	<b>17.824</b>	<b>34.925</b>

**Tabla 31 Población en Riesgo de Remoción en Masa, San Antonio.**

Fuente: Elaboración propia, 2011

Si se considera la población por cada sector, la que se encuentra en riesgo alto es la que se localiza en el sector de Lollole, alcanzando a 387 personas.

En riesgo medio bajo, se encuentra el sector de San Antonio con 12.186 personas (ver Tabla 32).

Nivel de Riesgo	Hombre	Mujer	Total
<b>Riesgo Alto</b>	<b>185</b>	<b>202</b>	<b>387</b>
LLOLLEO	185	202	387
<b>Riesgo Bajo</b>	<b>5.356</b>	<b>5.251</b>	<b>10.607</b>
BARRANCAS	4.156	3.936	8.092
LLOLLEO	776	826	1.602
SAN ANTONIO	424	489	913
<b>Riesgo Medio Bajo</b>	<b>9.276</b>	<b>9.908</b>	<b>19.184</b>
BARRANCAS	107	117	224
LLOLLEO	3.207	3.567	6.774
SAN ANTONIO	5.962	6.224	12.186
<b>Sin Riesgo</b>	<b>2.284</b>	<b>2.463</b>	<b>4.747</b>
BARRANCAS	552	627	1.179
LLOLLEO	827	887	1.714
SAN ANTONIO	905	949	1.854
<b>Total</b>	<b>17.101</b>	<b>17.824</b>	<b>34.925</b>

Tabla 32 Población en Riesgo de Remoción en Masa, sectores ciudad de San Antonio.  
 Fuente: Elaboración propia, 2011

En la Figura 13 se observa la zona que está en un nivel de riesgo de remoción en masa, en la localidad de Llolleo, donde se concentran las 387 personas.

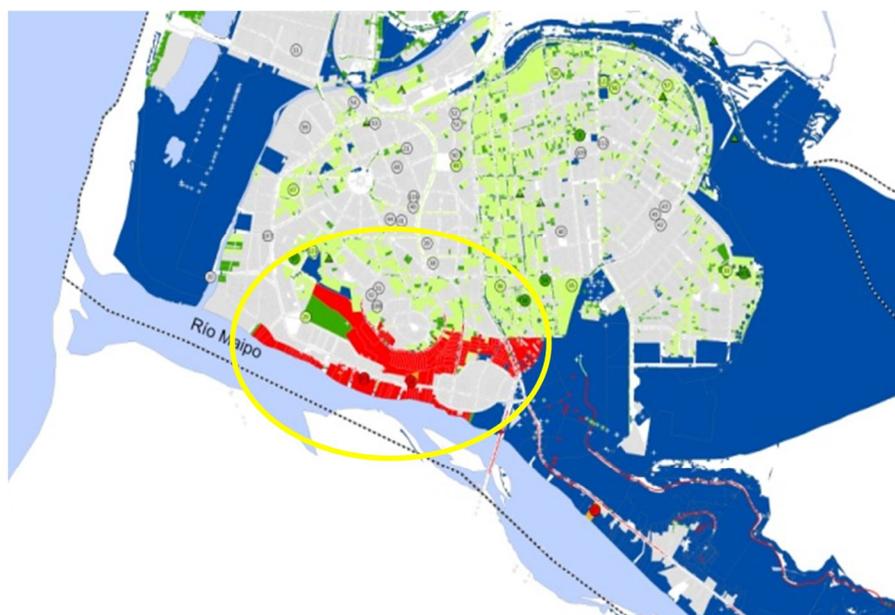


Figura 13 Zona de Alto riesgo de Remoción en Masa, San Antonio.  
 Fuente: Elaboración Propia, 2011

La distribución de los GSE en el nivel de riesgo alto está dada desde C2 al D (ver Tabla 33), por lo que es una situación diferente a lo que sucede en otros riesgos ya analizados. Existe una población de un GSE medio alto que se vería afectada por un eventual evento de remoción en masa. Todos estos hogares se localizan en un mismo sector de Llolleo, como se aprecia en la Figura 13.

Nivel de riesgo	ABC1	C2	C3	D	E	Total
Riesgo Alto	0	72	31	20	0	<b>123</b>
Riesgo Medio Bajo	0	158	794	3.422	888	<b>5.262</b>
Riesgo Bajo	12	213	1.291	1.279	169	<b>2.964</b>
Sin Riesgo	0	32	296	822	190	<b>1.340</b>
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>475</b>	<b>2.412</b>	<b>5.543</b>	<b>1.247</b>	<b>9.689</b>

**Tabla 33 Hogares en Riesgo de Remoción en Masa por GSE, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Con respecto a la distribución por grupo etario en riesgo alto entre 0 y 14 años se encuentran 92 personas, y entre 60 y más, 43 personas.

Nivel de Riesgo	0 - 14	15 - 29	30 - 44	45 - 59	60 - 74	75 y más	Total
Riesgo Alto	92	85	108	59	28	15	387
Riesgo Medio Bajo	5.024	4.512	4.331	3.003	1.718	596	19.184
Riesgo Bajo	2.740	2.459	2.772	1.460	867	309	10.607
Sin Riesgo	1.452	1.117	1.209	606	273	90	4.747
<b>Total</b>	<b>9.308</b>	<b>8.173</b>	<b>8.420</b>	<b>5.128</b>	<b>2.886</b>	<b>1.010</b>	<b>34.925</b>

**Tabla 34 Población por grupos etarios en Riesgo de Remoción en Masa, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Las recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de la población residente y consecuentemente sus niveles de riesgo frente a la amenaza de Remoción en Masa, se propone lo siguiente:

- Se recomienda, que la zona de mayor riesgo se realice un estudio específico de las condiciones del suelo, y de esta forma manejar y encausar mejor la amenaza.
- También se recomienda realizar una jornada informativa a la comunidad que se vería más afectada de acuerdo a los resultados que pueden arrojar un estudio más específico de la zona.

### 3.1.4 Población en riesgo de Amplitud Sísmica

Como se vio en el apartado de mapas de riesgos, las áreas de riesgo de amplitud sísmica están distribuidas homogéneamente predominando el riesgo bajo, por lo que la población en riesgo alto es mínima, ya que los polígonos de este nivel de riesgo se encuentran en pequeños fragmentos y distribuidos en distintos lugares de la ciudad y no abarcan grupos concentrados de población.

La cantidad de población en riesgo medio alto es de 415 personas, el resto de niveles están entre 22.000 a 50.000 personas (Tabla 35).

Nivel de riesgo	Hombre	Mujer	Total
Riesgo Alto	1	0	1
Riesgo Medio Alto	211	204	415
Riesgo Medio Bajo	11.079	11.713	22.792
Riesgo Bajo	24.782	25.718	50.500
<b>Total general</b>	<b>36.073</b>	<b>37.635</b>	<b>73.708</b>

**Tabla 35 Población en Riesgo de Amplitud Sísmica, San Antonio.**  
Fuente: Elaboración propia, 2011

Con respecto a los GSE el D presenta un nivel de riesgo medio alto con 98 hogares, el resto de hogares se distribuyen entre el medio bajo y el bajo (ver Tabla 36).

Nivel de Riesgo	ABC1	C2	C3	D	E	Total
Riesgo Alto	0	0	1	0	0	1
Riesgo Medio Alto	0	0	14	98	0	112
Riesgo Medio Bajo	19	421	2.523	2.972	447	6.382
Riesgo Bajo	4	591	3.640	8.363	1.250	13.848
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>1.059</b>	<b>6.588</b>	<b>12.886</b>	<b>1.926</b>	<b>22.482</b>

**Tabla 36 Hogares en Riesgo de Amplitud Sísmica por GSE, San Antonio.**

Fuente: Elaboración propia, 2011

En el nivel de riesgo medio alto entre 0 a 14 años, se encuentran 108 personas y de 60 años y más son 53 personas. La población restante, aumenta considerablemente entre los niveles medio bajo y bajo (ver Tabla 37).

Nivel de Riesgo	0 - 14	15 - 29	30 - 44	45 - 59	60 - 74	75 y más	Total
Riesgo Alto	0	0	1	0	0	0	1
Riesgo Medio Alto	108	106	89	59	42	11	415
Riesgo Medio Bajo	6312	5473	5625	3146	1619	617	22792
Riesgo Bajo	12344	11668	11461	8267	5008	1752	50500
<b>Total</b>	<b>18764</b>	<b>17247</b>	<b>17176</b>	<b>11472</b>	<b>6669</b>	<b>2380</b>	<b>73708</b>

**Tabla 37 Población por grupos etarios en Amplitud Sísmica en Masa, San Antonio.**

Fuente: Elaboración propia, 2011

Las recomendaciones para la disminución de la vulnerabilidad de la población y de esta manera bajen sus niveles de riesgo frente a la amenaza de Amplitud Sísmica, se propone lo siguiente:

- Considerando que las zonas de riesgo son principalmente de niveles bajos y se encuentran distribuidos homogéneamente en toda la ciudad, se recomienda mantener los indicadores de vulnerabilidad de las construcciones y mejorar aquellas edificaciones que se encuentren en mal estado.
- Se recomienda hacer un estudio de microzonificación sísmica en la ciudad e incorporar indicadores de vulnerabilidad y poder zonificar zonas de potenciales riesgos.

### 3.2 Riesgo de Tsunami

**Experto Responsable:**

**RODRIGO CIENFUEGOS CARRASCO.**

**PhD, INGENIERO CIVIL, EXPERTO EN HIDRODINÁMICA COSTERA.**

Un Tsunami es una serie de ondas largas provocadas por una alteración rápida y de gran escala en un cuerpo de agua, a causa de un terremoto, un deslizamiento de terreno, una erupción volcánica o el impacto de un meteorito.

La mayoría de los tsunamis se originan en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, donde se encuentran los focos sísmicos más activos del mundo. Los tsunamis se pueden clasificar como locales o lejanos. Los tsunamis locales generalmente asocian poco tiempo para dar una alerta y se acompañan de los daños provocados por el sismo generador. Los tsunamis lejanos pueden propagarse durante horas, antes de llegar a la costa.

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.

No necesariamente la primera ola no es la más grande o la más destructiva; varias olas sucesivas pueden ser las que causen mayores daños. La configuración de la costa, la batimetría y la características del frente de onda, definen el poder destructivo de las olas (NTHMP, 2001). Bahías, canales, estuarios, ríos e islas pueden causar variados efectos que pueden resultar en un mayor daño a las comunidades costeras.

Los tsunamis son poco frecuentes, pero pueden ser extremadamente destructivos. Más allá de prepararse para la evacuación y respuesta, las comunidades pueden reducir el riesgo de tsunami mediante la planificación del uso del terreno y del desarrollo, considerando la amenaza de tsunami. Pequeños esfuerzos para prepararse frente a esta amenaza pueden incrementar significativamente la seguridad de la comunidad (NTHMP, 2001).

Entender la amenaza de tsunami es el primer paso en la reducción de daños potenciales. La amenaza de tsunami es una medida del potencial de un tsunami en un sitio específico, esta amenaza puede cuantificarse en términos de línea de máxima inundación o *runup*, profundidades de agua y velocidades alcanzadas por el tsunami. Luego, el riesgo de tsunami es una medida de las consecuencias generadas por la ocurrencia de un tsunami, que puede ser caracterizado en términos de daños, funciones de pérdidas, heridos y pérdida de vidas (FEMA, 2008).

La estimación del riesgo de tsunami combina tres factores: 1) la naturaleza y extensión de la amenaza; 2) la vulnerabilidad de las construcciones y de las personas frente al daño; y 3) la cantidad de personas expuestas a la amenaza (NTHMP, 2001). La reducción del riesgo a un nivel aceptable se determina luego de identificar las amenazas, evaluar la vulnerabilidad, definir la exposición, y concebir todas las estrategias necesarias para disminuir el riesgo (Grundy, 2007).

El Estudio de Riesgos de la comuna de San Antonio ha considerado en sus etapas anteriores el estudio de la amenaza de tsunami elaborando mapas de inundación para diferentes escenarios posibles de afectar a la zona de estudio, y mapas de profundidad de agua y velocidades máximas producidas en el proceso de inundación, además de la vulnerabilidad de la comunidad frente a este tipo de amenaza. En este capítulo se entregan recomendaciones generales para la reducción del riesgo de tsunami así como también recomendaciones específicas considerando la amenaza calculada para zona de estudio. Esta información ayudará a la comunidad en el diseño de futuros planes y medidas de prevención y mitigación.

### **3.2.1 Estrategias para reducir el riesgo de tsunami**

A continuación se presenta una serie de recomendaciones de estrategias generales para reducir el riesgo en localidades expuestas a la amenaza de tsunami. El objetivo de éstas es ayudar a las comunidades costeras a mitigar el riesgo asociado a tsunamis. Estas estrategias se basan en lo dispuesto en los informes "*Designing for Tsunamis: Seven principles for Planning and Designing for tsunami hazards*" elaborado por el *National Tsunamis Hazard Mitigation Program* (NTHMP) y "*Guidelines for design of structures for vertical evacuation for tsunami*" realizado por la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), ambas instituciones de Estados Unidos.

#### **3.2.1.1 Conocer el riesgo de tsunami: Amenazas, vulnerabilidad y exposición:**

En primer lugar, antes de definir las medidas de mitigación que se adoptarán para reducir el riesgo potencial frente a un tsunami es necesario conocer la amenaza existente, la vulnerabilidad y la exposición. Para ello se recomienda, realizar estudios de inundación por tsunamis, incluyendo revisión de datos históricos, estudios geológicos, estimación de tiempos de arribo del tsunami, alturas de ola y velocidades, y estimación de probabilidad de ocurrencia o niveles de confianza.

Con el fin de reducir los futuros daños producidos por un tsunami, se debe incorporar la información obtenida en los estudios de la amenaza en todos los procesos de planificación en el corto y largo plazo. Esta información debiese ser considerada en la evaluación de proyectos de desarrollo y urbanización, con el fin de que la mitigación del riesgo sea un factor de decisión, aprobación y permiso.

Toda la información sobre la amenaza es también una herramienta para crear conciencia y compromiso con la mitigación del riesgo. Ésta debiese ser utilizada para familiarizar a la población y así permitirles tomar medidas precautorias, contribuir al consenso en las políticas y programas de mitigación, y mejorar la preparación frente a una emergencia.

Por otra parte, antes de definir un programa de mitigación de riesgo, se debe evaluar y demostrar su efectividad, considerando los costos y beneficios de su aplicación. Además, si se establecen medidas de mitigación de largo plazo, es necesario revisar periódicamente la vulnerabilidad y la exposición de la comunidad frente a la amenaza, con el fin de reflejar los cambios en el desarrollo de la población.

### **3.2.1.2 Evitar nuevas urbanizaciones en las zonas de inundación**

La manera más efectiva de disminuir el riesgo frente a la amenaza de tsunami es evitar, o minimizar, la urbanización de áreas potencialmente inundables. Cualquier tipo de desarrollo debe prevenirse en zonas con alto nivel de riesgo siempre y cuando sea posible. Para esto se debe planificar el uso del suelo guiando la ubicación, densidad y tipo de urbanización con el fin de minimizar el riesgo. Estrategias de reducción del riesgo mediante la definición de uso del suelo consideran, por ejemplo, designar el área inundable como espacio abierto para ser usado en recreación o agricultura, esta estrategia permite minimizar el desarrollo y por ende el riesgo. Si no es posible designar el área como espacio abierto, una segunda estrategia es regular su uso mediante otro tipo de medidas, por ejemplo controlar el tipo de urbanización, evitando infraestructura de alto costo y alta ocupación.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la decisión política sobre hacia donde expandir las redes de agua potable y alcantarillado, caminos y servicios públicos, puede fomentar o desalentar el desarrollo en las zonas amenazadas por tsunamis.

Si el desarrollo de nuevas urbanizaciones en zonas de inundación es inevitable, estratégicamente se debe definir la ubicación de la infraestructura, los espacios abiertos y la interacción con la configuración natural del terreno a escala local. La correcta configuración física de la infraestructura y su uso en cada sitio específico, puede disminuir la cantidad de vidas humanas que se pueden perder y el daño a la propiedad privada frente a un evento.

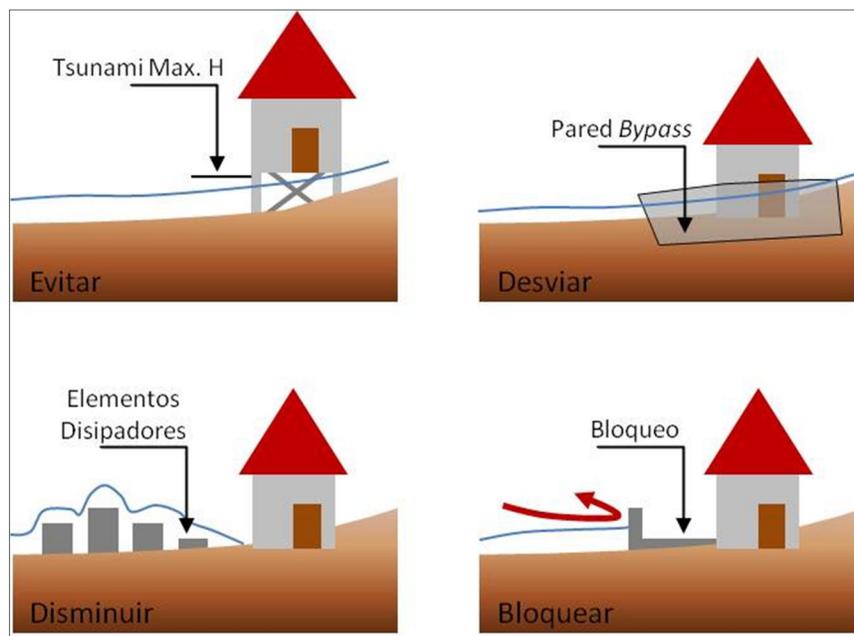
Para implementar una estrategia de planificación local se pueden seguir los siguientes pasos:

- a. Definir un proceso de revisión de proyectos de infraestructura que cubra la vulnerabilidad y exposición a la amenaza de tsunami, considere el contexto político y regulador, y sea parte de una estrategia más amplia de mitigación.
- b. Conocer y entender las condiciones locales específicas y la vocación de desarrollo futuro de la comunidad (turismo, industrias, entre otros), para así desarrollar planes de mitigación que reflejen las características y contexto de la localidad. En esto se incluye la interacción que tendría un tsunami con las características geomorfológicas y geográficas del terreno, el impacto sobre la infraestructura existente, profundidad de agua y velocidades, etc.
- c. Elegir una metodología de mitigación específica y adecuada para cada sitio considerando lo estipulado en el punto anterior.

Como estrategias generales de mitigación del impacto de tsunami sobre estructuras residenciales e industriales, el NTHMP propone lo siguiente:

- Evitar:** no enfrentar directamente al tsunami, por ejemplo ubicar la edificación en la parte más alta del sitio y/o elevar la estructura por sobre los niveles de inundación utilizando pilares.
- Disminuir:** aumentar la fricción del terreno para disminuir la energía de las olas de tsunami, utilizando por ejemplo zanjas, taludes o bosques especialmente diseñados para ello.
- Desviar:** crear rutas para el tsunami desviándolo de estructuras vulnerables y de las personas utilizando zanjas, muros, y superficies pavimentadas de baja rugosidad.
- Bloquear:** detener el flujo mediante obras de contención como muros y malecones. Sin embargo se debe considerar que el bloqueo puede generar un aumento de la amplitud de la ola producto de la reflexión. Para que las obras sean efectivas se debe considerar la máxima profundidad de agua esperada.

Los cuatro puntos anteriores se ilustran en la **Figura 14**.



**Figura 14: Medidas de Mitigación propuestas por el NHTP (2001): Evitar, Desviar, Disminuir y Bloquear.**

Fuente: Elaboración propia basada en NHTP, 2001.

### ***3.2.1.3 Diseñar y construir a prueba de tsunami***

En toda área inundable donde sea necesario construir, se debe considerar la amenaza de tsunami al momento de ubicar la estructura, diseñarla y elegir los materiales de construcción. El diseño y el proceso de construcción jugarán un rol crítico en el desempeño de la estructura frente a un tsunami.

Antes de diseñar, se debe tener claro el objetivo de la estructura y el desempeño aceptable esperado que ésta tendrá frente a un determinado tipo de tsunami. El desempeño esperado depende de la ubicación y características de la edificación (tamaño, forma, elevación y orientación), intensidad y frecuencia del tsunami seleccionado para el diseño, estándares estructurales, elección de los materiales, calidad de la construcción, habilidades profesionales de los diseñadores, etc.

Hospitales, estaciones de bomberos, colegios y cualquier estructura que albergue un servicio crítico, debe tener un desempeño esperado alto.

Una metodología que relaciona los criterios de diseño con el desempeño aceptable frente a un desastre es el propuesto por Grundy (2007), el cual asocia la probabilidad de ocurrencia de un evento con criterios de desempeño aceptable para definir los parámetros y procesos a considerar en el diseño de las estructuras tsunami-resistentes. Esta metodología se presenta en la **Tabla 38**.

Estado Límite	Serviciabilidad	Última Resistencia	Desastre
Probabilidad de Excedencia Anual	0.02	0.002	0.0002
Criterio de Desempeño	Cero muertes Cero heridos Cero daños	Cero muertes Algunos heridos Algunos daños Estructura todavía en pie	Comunidad resiliente Minimizar muertes Minimizar heridos Aceptar el daño
Parámetros de Diseño y Procesos	Limitar la deflexión, vibración y agrietamiento Durabilidad No inundación de los servicios básicos y esenciales	Carga de colapso Limite de fatiga No inundación de los servicios básicos y esenciales	Robustez Medidas no-estructurales de minimización del riesgo (evacuación, refugios, elevación, relocalización, etc.)

**Tabla 38: Desempeño límite frente a un desastre y criterios de diseño.**

**Fuente: Grundy (2007).**

En áreas costeras, edificios e estructuras deben resistir el efecto de las posibles inundaciones. Su diseño debe ser adecuado para resistir el efecto del flujo, presiones, velocidades, fuerzas de impacto incluyendo elementos flotantes, socavación local y otros factores asociados (Yeh et al., 2005). El documento preparado por Yeh et al. (2005) indica que las fuerzas y efectos de la

inundación deben ser considerados en el diseño estructural de las obras, distinguiendo, entre otras, las siguientes cargas:

a. **Fuerzas Hidrostáticas:**

Ocurren cuando una masa de agua en reposo o de velocidad despreciable se enfrenta a una estructura o parte de ésta. Esta carga actúa perpendicular a la superficie en que es aplicada y se produce por un desbalance de presión debido a la diferencia de niveles de agua entre ambos lados de la estructura.

b. **Fuerzas Boyantes o Verticales:**

Fuerza hidrostática que actúa verticalmente sobre un cuerpo total o parcialmente sumergido, pudiendo hacerlo flotar. Son de especial cuidado en edificios con subterráneos, piscinas y estanques sumergidos o emergidos.

c. **Fuerzas Hidrodinámicas:**

Fuerzas que actúan sobre una estructura debido al flujo de agua alrededor de ellas. Estas cargas son función de la velocidad del flujo y la geometría de la estructura. Incluyen la carga de impacto frontal, arrastre por los costados de la estructura, y succión por la parte de aguas abajo. Generalmente se conocen como fuerzas de arrastre, siendo una combinación de cargas laterales causadas por las diferencias de presión que se generan sobre la estructura en el sentido del flujo y fuerzas de fricción sobre sus superficies a medida que el flujo pasa alrededor de la obstrucción.

d. **Fuerzas del frente de ondas:**

Las estructuras que se encuentren expuestas al impacto del frente de ondas se verán afectas a fuerzas mayores producto del impacto inicial de la onda. Entre estas fuerzas, conocidas como fuerzas de impulso, se distinguen la fuerza asociada a un frente de onda homogéneo (marea o *surge*) o la asociada un frente rompiente. Estas fuerzas son causadas por el impacto que se genera sobre la sección expuesta a la primera onda de tsunami, a diferencia de las fuerzas de arrastre que actúan luego de que ha pasado el frente de onda (FEMA, 2008).

e. **Fuerzas de Impacto:**

Las fuerzas de impacto son aquellas generadas por los elementos flotantes que impactan las estructuras como árboles, embarcaciones, estanques, desechos, y todo aquello que ha sido transportado por el tsunami. La magnitud de estas fuerzas es difícil de estimar y aún se requieren más estudios para su cuantificación. Algunas aproximaciones indican que depende de la velocidad de impacto, la profundidad de agua, la masa y materialidad del elemento y el tiempo de impacto.

Para estimar estas fuerzas y su aplicación se recomienda consultar los documentos dispuestos por Yeh et al. (2005), FEMA (2008), FEMA (2004).

La experiencia internacional luego de un tsunami ha demostrado que las construcciones de hormigón armado, acero o mampostería pueden soportar la mayoría de los ataques por tsunami, mientras que construcciones de albañilería, madera y otros materiales livianos resultan total o parcialmente destruidas (Shuto, 1994; Yeh et al., 2005; Winckler et al., 2010). Shuto (1994), resumió los daños observados luego del Tsunami de Okushiri en 1993 y de eventos anteriores, lo que se muestra en la Figura 15, se observa que las estructuras de hormigón armado sufrieron daños menores, mientras que para las construcciones en madera el efecto mayoritario fue la destrucción total.

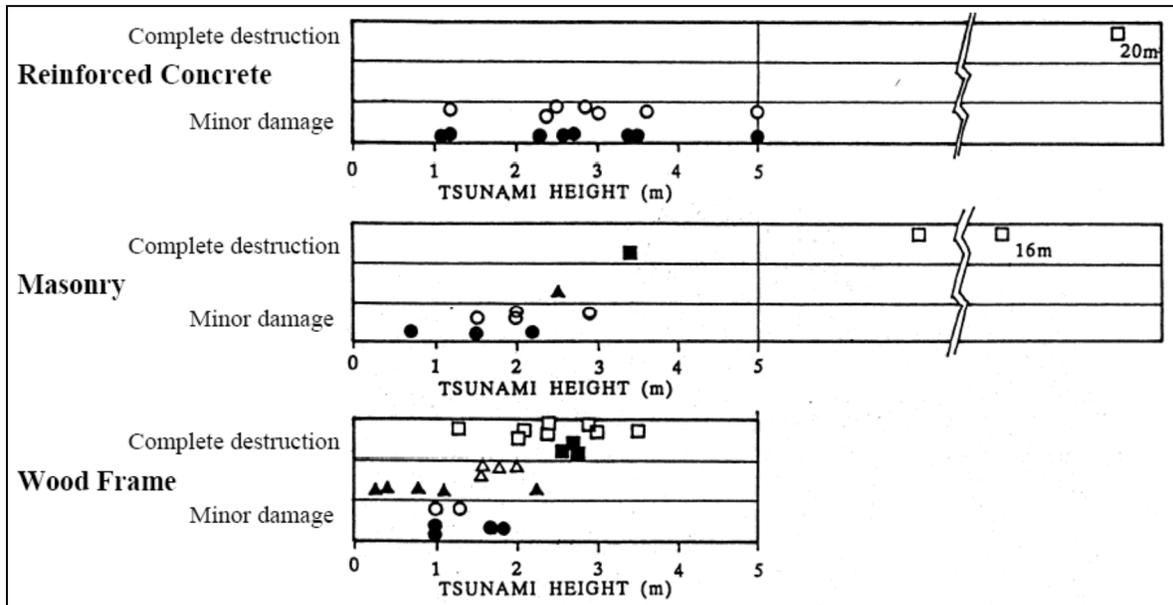


Figura 15: Grado de destrucción vs. Altura de inundación (runup) del tsunami. Las marcas rellenas de negro son datos del tsunami de 1993 en Okushiri, las marcas en blanco son datos de eventos anteriores. Fuente: Shuto, 1994.

Esto también fue observado en el Tsunami del 27 de Febrero de 2010 en Chile, si bien el fallo fue variable, en general las construcciones en madera resultaron completamente destruidas, las de albañilería resultaron parcialmente destruidas y se observaron daños menores en construcciones de hormigón (Winckler et al., 2010). La Figura 16 ilustra las diferencias en los daños para viviendas de distinta materialidad, en ella se observa que la vivienda de madera resultó completamente destruida, mientras que la de hormigón (al centro) resultó con daños menores en ventanas y elementos no estructurales (Winckler et al., 2010). A su vez, en el sector Playa de Lolloe en San Antonio, las viviendas ubicadas en el campamento sur, en su mayoría de madera, resultaron completamente destruidas a pesar de no estar ubicadas en el área en donde el tsunami alcanzó las alturas de ola más importantes. El efecto del tsunami del 27 de Febrero sobre las casas de madera del campamento sur de Lolloe se puede observar en la Figura 17.

Debido a lo anterior se recomienda entonces utilizar en las construcciones ubicadas en zona de riesgo, hormigón armado o acero. Si no es posible, y se decide utilizar materiales más livianos, se

debe diseñar para un evento de tsunami mayor, y también aplicar otras medidas de mitigación como elevar la estructura mediante pilotes.



Figura 16: Diferentes fallas después del tsunami 27 Febrero 2010 en Iloca, Chile.  
Fuente: Winckler et al., 2010.



Figura 17: Daños registrados en el sector Playa de Lolleo, San Antonio.  
Fuente: Ilustre Municipalidad de San Antonio.

#### **3.2.1.4 Proteger las construcciones existentes**

Para comunidades ya ubicadas en áreas inundables o cercanas a ellas, el proteger la infraestructura existente puede ser la única medida de mitigación disponible. Debido a que los edificios, los suelos y la infraestructura cambian en el tiempo, existen oportunidades para incorporar medidas de prevención frente a tsunamis.

Para poder reducir la vulnerabilidad en primer lugar se debe tener un inventario de todos los edificios, servicios e infraestructura existente en la zona de riesgo potencial, en el que se considere el tipo de estructura, antigüedad, estado, tamaño, materialidad y uso. Luego se deben evaluar y revisar periódicamente los planes reguladores para poder establecer que políticas de renovación y desarrollo se pueden incorporar.

Algunas estrategias de protección incluyen re-diseñar los usos del suelo con unos apropiados para el riesgo de tsunami, limitar ampliaciones de los edificios existentes en áreas inundables, comprar propiedades específicas ubicadas en la zona de amenaza y remover los edificios ahí existentes, incentivar, mediante subsidios de ser necesario, a la población a renovar sus casas e incorporar medidas de mitigación en sus propiedades, etc.

Por otra parte, la reconstrucción luego de un evento catastrófico es una excelente oportunidad para incorporar nuevas medidas de mitigación frente a tsunamis.

### **3.2.1.5 Considerar la localización de instalaciones y servicios críticos**

El funcionamiento de algunos servicios e infraestructura como sistemas de transporte de personas y víveres, comunicaciones, agua potable, energía y sistemas de transmisión, resultan críticos frente a una catástrofe y su funcionamiento debe garantizarse luego de ésta. Otras instalaciones, se consideran también críticas por su función o por sus ocupantes, como por ejemplo estaciones de bomberos y primeros auxilios (postas, hospitales), edificios gubernamentales, industrias peligrosas como almacenamiento de químicos o petróleo, y edificios de alta ocupación que no pueden evacuar rápidamente (hogares de ancianos, hospitales). Debido a la importancia que tienen para la comunidad los servicios que estas instalaciones prestan, o los daños que su mal funcionamiento puede causar, su desempeño necesita ser considerado como parte de los planes de mitigación del riesgo de tsunami.

Específicamente, algunas estrategias de mitigación incluyen:

- a. Localizar nueva infraestructura crítica fuera del área de amenaza o diseñar para soportar las fuerzas del tsunami.
- b. Reservar sitios específicos en el área de amenaza para las instalaciones críticas donde el riesgo puede reducirse mediante medidas factibles.
- c. Prohibir nuevas instalaciones críticas en el área inundable a no ser que: i) su funcionamiento dependa de estar ubicado frente al mar y su diseño sea el adecuado para mitigar su vulnerabilidad y funcionar frente a un evento; ii) la necesidad de instalación supere las consecuencias de su destrucción durante un tsunami.
- d. Prohibir mejoras en la infraestructura que no pueden soportar un tsunami.
- e. Considerar el impacto que una nueva infraestructura tendrá sobre la propagación del tsunami.
- f. Considerar el disponer de instalaciones y servicios alternativos fuera del área de amenaza.
- g. Proteger la infraestructura crítica existente: i) no permitiendo su expansión hacia zonas inundables sin que se consideren todas las medidas para reducir el riesgo; ii) construir estructuras que protejan las instalaciones; iii) elevando ciertas instalaciones por sobre la cota

de inundación esperada; iv) si es que la instalación ya está obsoleta, aprovechar para relocalizarla y/o modernizarla aplicando técnicas de mitigación.

h. Elaborar planes de emergencia y de recuperación frente a un evento de tsunami.

#### ***3.2.1.6 Tener un plan de evacuación establecido***

La principal medida para salvar vidas inmediatamente antes de un tsunami es evacuar a la población hacia zonas seguras. Existen dos metodologías disponibles: i) evacuación horizontal, que se refiere a movilizar a la gente lejos del área de amenaza o hacia lugares más altos; y ii) evacuación vertical, que se refiere a movilizar a las personas hacia los pisos superiores de edificios.

Como parte de este estudio se considera la elaboración de un plan de evacuación horizontal frente a tsunami, el cual fue presentado en el Informe 2.

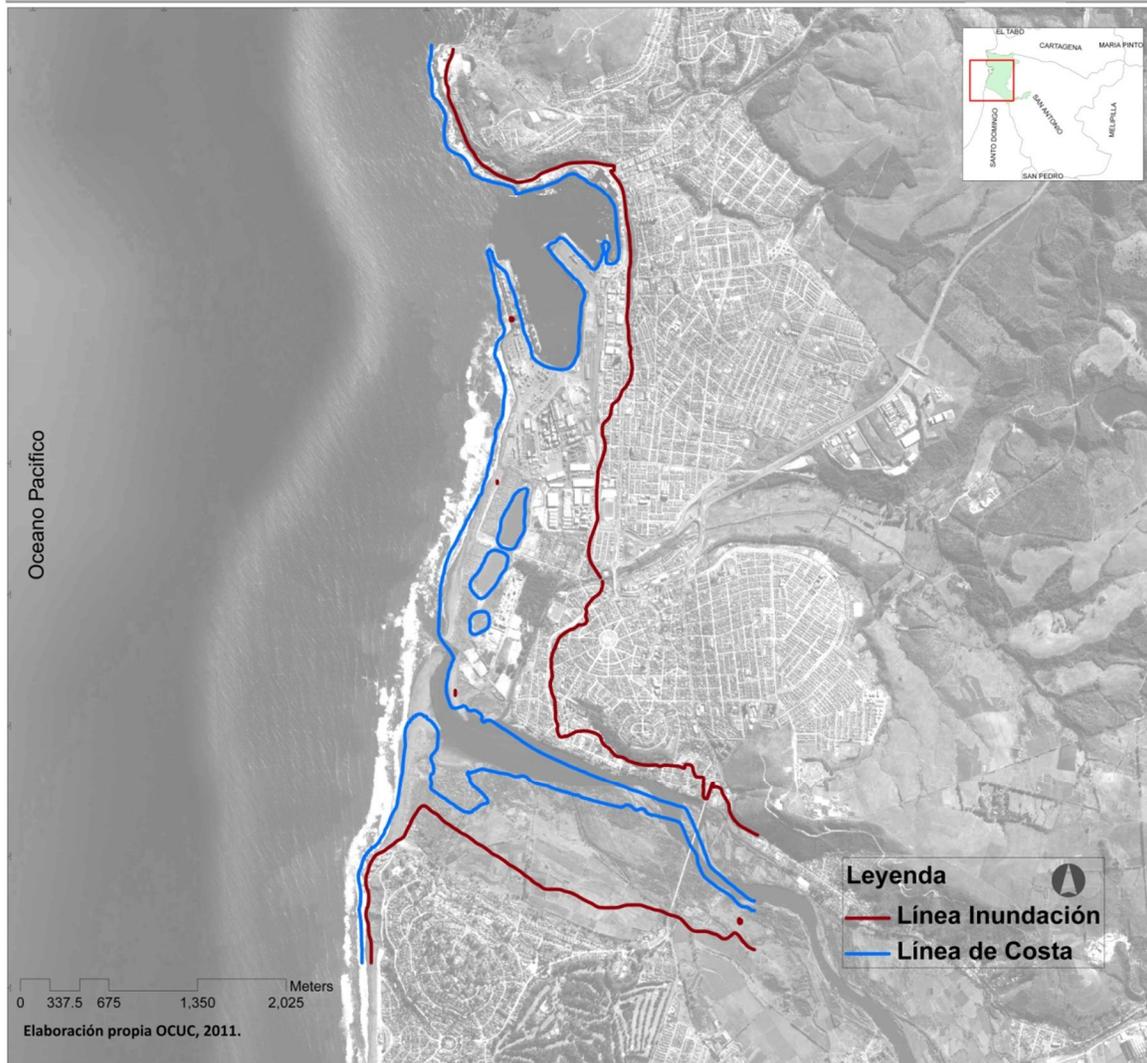
La segunda metodología, evacuación vertical, considera el trasladarse a pisos superiores o techos de edificios o estructuras especialmente diseñadas para ello. En este caso, la estructura a utilizar debe ser diseñada para soportar el impacto del tsunami. En el documento proporcionado por FEMA (FEMA, 2008), se ejemplifican diversas estructuras especialmente diseñadas para evacuación vertical. Sin embargo, debido al desempeño que éstas presentaron durante el tsunami del 11 de Marzo de 2011 en Japón, su diseño, uso e instalación debe ser reconsiderado.

### **3.2.2 Recomendaciones Específicas para San Antonio**

Lo estipulado en los puntos anteriores de este informe y los resultados de la modelación numérica de escenarios de tsunami, permiten entregar recomendaciones específicas para la Comuna de San Antonio para la mitigación del riesgo de tsunami.

En la **Figura 18** se muestra el área potencialmente inundable obtenida para un tsunami generado por un sismo de 8,8 Mw. El área inundable incluye el Puerto de San Antonio, el sector playas de Lollole y las lagunas conocidas como Ojos de Mar de Lollole, la ribera del Estero El Sauce en su desembocadura al río Maipo, el sector Tejas Verdes y la ribera del río Maipo.

**LÍNEA DE INUNDACIÓN EVENTO 8,8  
SAN ANTONIO - REGIÓN DE VALPARAÍSO**



**Figura 18: Mapa de inundación por tsunami generado por sismo 8,8Mw.**

**Fuente: Elaboración propia**

El sector de las lagunas de Lolleo correspondía a la desembocadura original del Río Maipo, luego, esta zona se rellenó a partir de aportes de sedimentos del Río Maipo formándose las dos lagunas, luego de la construcción del puerto San Antonio. Este tipo de suelo no es apto, del punto de vista sísmico, y este sector está altamente expuesto a la amenaza de tsunami. Actualmente aún existen viviendas de madera, las que de acuerdo a la experiencia internacional y nacional, son altamente vulnerables frente al impacto de un tsunami. Por lo tanto en este sector, tomando en cuenta también lo ocurrido en el tsunami del 27 de Febrero de 2010, debiesen excluirse totalmente las viviendas puesto que es improbable que medidas de mitigación duras como muros o malecones sean factibles de implementar por su alto costo económico y las eventuales externalidades

ambientales que pudieran tener sobre el entorno. En este sector se debe favorecer el desarrollo del campo dunar y el desarrollo de vegetación autóctona, la cual puede ayudar a disminuir la erosión y servir como elemento disipador frente a un tsunami.

En la ribera del estero El Sauce y el río Maipo, existe también un alto nivel de riesgo tanto por crecidas fluviales como por tsunami. Es necesario desincentivar los desarrollos urbanos en estos sectores y evitar que se sigan construyendo rellenos con el objeto de colonizar sus riberas. Para las comunidades actualmente instaladas en esos sectores se deben considerar medidas de mitigación por tsunami y por crecidas fluviales, los que pueden consistir en espigones y encauzamientos, o muros de protección.

Para la zona del puerto se recomienda que para todo proyecto de expansión se consideren estudios específicos respecto a la modificación de la amenaza frente a un tsunami. Se debe estudiar como la nueva infraestructura portuaria afectará la propagación de un tsunami, debiéndose generar nuevos estudios de amenaza y vulnerabilidad por tsunami, con el objeto de evaluar cómo se modifican las profundidades de agua máximas y las velocidades.

Los mapas proporcionados por este estudio en relación a la Inundación, profundidades de agua máximas y velocidades máximas alcanzadas por el tsunami de diseño, constituyen herramientas para la planificación urbana y el diseño de infraestructura en las zonas inundables. Esta información es de hecho requerida por la Norma de Emergencia NTM007 2010 "Diseño Estructural para Edificaciones en Zonas Inundables por Tsunami", documento que se encuentra actualmente en su última etapa de revisión. Es importante por consiguiente, considerar el instrumento anterior al momento de definir el tipo de edificaciones que pudieran ubicarse en las zonas inundables.

El mapa de inundación para el escenario más desfavorable considerado en este estudio, muestra que existe infraestructura crítica dentro de esta área. Se requieren estudios complementarios para analizar con cuidado el nivel de serviciabilidad de esta infraestructura durante eventos de tsunami, con el objeto de tomar las medidas adecuadas (relocalización, reubicación servicios o archivos y documentos importantes para no ser alcanzados por las aguas, obras de mitigación, etc.).

Para utilizar los mapas de riesgo generados de manera efectiva, es importante que la población esté bien informada sobre estos mapas. Estos, deben ser diseminados a través de boletines informativos, internet, talleres etc., y explicados a la población. Se debe promover la participación de la población con el fin de que se entiendan los mapas de riesgo, se conozcan las zonas inundables y las vías de evacuación.

### 3.3 Riesgo Sísmico

**Experto Responsable:**

**CHRISTIAN LEDEZMA ARAYA.**

**PhD, INGENIERO CIVIL, EXPERTO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA SÍSMICA, Y EN ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGO DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS.**

La metodología utilizada en este estudio ha permitido definir, en forma preliminar y aproximada, zonas de la localidad con distinta clasificación sísmica, utilizando la denominación dada en la norma NCh433, Oficial 1996, Modificada 2009. Las distintas zonas del área estudiada se han clasificado como tipo I, II, III, y IV, donde I corresponde a material de fundación tipo roca, mientras que IV corresponde a aquellos depósitos más blandos de fundación. En tal sentido, se proponen las siguientes recomendaciones generales:

- En todas las zonas, independientemente de su pre-clasificación sísmica, el estudio de Mecánica de Suelos, realizado cumpliendo con la norma NCh1508.Of2008, deberá descartar la presencia de suelos licuables, susceptibles de densificación por vibración, colapsables, orgánicos, y/o turba.
- Para aquellas zonas pre-clasificadas como tipo I o II bastará con efectuar pozos de exploración (calicatas) de acuerdo a las indicaciones de la norma NCh1508 de manera de verificar la presencia de roca y/o suelo denso.
- Para aquellas zonas pre-clasificadas como tipo III o IV, además de cumplir con las indicaciones de la norma NCh1508, se deberá verificar la clasificación sísmica del sitio de acuerdo a las indicaciones de la norma NCh433. Sin embargo, en el caso particular de estructuras clasificadas de acuerdo a su uso como A o B (NCh433), que presentan una superficie total menor a 500 m<sup>2</sup> construidos y, además, no tengan más de 2 niveles y/o pisos ni tampoco presenten una altura total mayor a 8 m, no será necesario justificar la clasificación sísmica del sitio. En tales casos, las estructuras podrán ser diseñadas considerando la condición más desfavorable de tipo de suelo. Consecuentemente, el análisis sísmico se deberá realizar mediante el método estático, utilizando el coeficiente sísmico máximo para el tipo de suelo que sea más desfavorable.

### **3.4 Riesgo de Inundación Fluvial**

#### **Expertos Responsables:**

**- JORGE GIRONÁS LEÓN.**

**PhD, INGENIERO CIVIL, EXPERTO EN HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA URBANA.**

**- CRISTIÁN ESCAURIAZA MESA.**

**PhD, INGENIERO CIVIL, EXPERTO EN MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA FLUVIAL.**

Las inundaciones por desborde de cauces son eventos naturales que han ocurrido anteriormente en la zona de estudio, como se reportó en los antecedentes para los sectores aledaños a los principales cauces de la comuna de San Antonio, como el poblado de Brisamar, La Boca, Juan Aspeé, San Pedro, Tejas Verdes, Lo Gallardo, San Juan y el centro de San Antonio. Con la excepción de las inundaciones provocadas por rompimientos de presas o derrumbes de terreno, las inundaciones fluviales típicamente son consecuencia de procesos climatológicos asociados a la precipitación o deshielos, e influenciados por la geología, la morfología, el suelo y su uso, y la vegetación de la cuenca (UN/ECE, 2000). Éstas consisten en un aumento relativamente rápido del nivel de agua en el cauce, provocando el desborde y la inundación de zonas antes secas, trayendo consigo efectos como erosión, destrucción de infraestructura y la pérdida de vidas humanas, entre otros.

Debido a su carácter natural, no es posible garantizar la prevención total de grandes inundaciones, pero sí es posible limitar o disminuir el daño potencial asociado a una inundación si se cuenta con estrategias y planes de acción adecuados. En términos generales, para la prevención, protección y mitigación de inundaciones, se debe considerar una buena combinación de medidas estructurales, medidas no estructurales (preventivas) y medidas operativas durante la inundación, dependiendo de la magnitud de las crecidas esperadas en cada zona y el daño que se pretende evitar (Water Directors, 2004). Es importante solucionar las causas de los daños (caudales o velocidades muy altos y alturas de escurrimiento excesivas urbana inundada), más que los propios daños.

Las medidas no estructurales tienden a ser más eficientes y sustentables en el largo plazo para solucionar problemas de inundación, por lo que deben ser potenciadas, en particular para reducir la vulnerabilidad de los seres humanos y bienes expuestos a riesgo de inundación (Water Directors, 2004). Por otra parte, las medidas estructurales siguen siendo elementos importantes y deben enfocarse en la protección y seguridad de las personas, de bienes valiosos y de las propiedades (UN/ECE, 2000).

Para poder determinar las acciones a tomar frente a este tipo de problemas se tradicionalmente se recomienda como primera medida realizar los estudios de diagnóstico correspondientes, para luego tomar acciones según las posibilidades socioeconómicas y los resultados del estudio. Éste, ha permitido abarcar en parte los aspectos iniciales del proceso de definición e implementación de medidas estructurales y no estructurales. En concreto, el estudio ha permitido:

- Delimitar zonas inundables.

- Determinar las principales causas de inundaciones.
- Realizar a nivel básico estudios geológicos, geotécnicos, socioeconómicos, ambientales e hidrológicos.

Las etapas faltantes que se recomiendan de manera de poder definir medidas de mitigación se listan a continuación. Solamente luego de completar estos estudios es que se puede definir el tipo, dimensiones, ubicación, costos y construcción de medidas, particularmente las estructurales:

- Realizar estudios económicos para la cuantificación de los perjuicios pasados y futuros.
- Realizar estudios hidrológicos, geomorfológicos y de hidráulica fluvial detallados de las cuencas y cauces comprometidos.

A continuación se recomiendan algunas medidas y estrategias básicas para la prevención y protección frente a inundaciones con el fin de reducir el daño potencial asociado. Es importante destacar que la aplicación de estas medidas, así como también el diseño y construcción de obras hidráulicas necesarias, debe ser realizada por ingenieros especialistas con conocimiento y experiencia en el tema. Las medidas propuestas en este trabajo se presentan de forma general como alternativas que deberán posteriormente decidirse en detalle de acuerdo a la particularidad de cada problema a resolver, y con la información apropiada para el análisis y diseño.

### ***Medidas No Estructurales***

Las medidas no estructurales buscan reducir o modificar el daño potencial de las crecidas en el largo plazo mediante cambios en la legislación, en los procesos, en la educación y en el comportamiento de las personas. Las medidas no estructurales son sustentables, reversibles, comúnmente aceptadas y amigables con el medio ambiente (Kundzewicz, 2002). Además son medidas fáciles de implementar en etapas iniciales de proyectos residenciales, como podría ser el caso del crecimiento urbano aguas arriba de los cauces. En esta sección se presentan algunas medidas no estructurales básicas para el control de inundaciones que han demostrado efectividad en situaciones similares a las que presentan las localidades estudiadas en la comuna de San Antonio.

### ***Manejo integrado de cuencas***

El manejo integrado de la cuenca involucra el uso y conservación del suelo con el objetivo de minimizar el flujo superficial, disminuir la erosión y el transporte de sedimentos. En general este manejo apunta a replicar las condiciones naturales y los procesos físicos, biológicos y químicos existentes en la zona, y a integrar operativamente a los distintos usuarios de las cuencas y sus cauces. De esta manera, la autoridad es capaz de identificar medidas y procedimientos que pueden adoptarse no necesariamente donde la crecida o inundación se hace evidente, sino más bien donde se dan las condiciones que posibilitan su generación.

Por lo tanto, dentro del manejo integrado de cuencas, se deben considerar medidas que favorezcan la infiltración del suelo, reduzcan las áreas impermeables efectivas y promuevan el almacenamiento natural de agua en lagunas o estanques de almacenamiento artificiales, con el fin de disminuir los volúmenes, caudales, sedimentos y contaminantes. Al aumentar la retención de agua y reducir la generación de escorrentía, se disminuye el caudal máximo y el volumen de la crecida, y se retrasa el tiempo en alcanzarlo (Kundzewicz, 2002), lo que permite un mejor diseño y funcionamiento de las posibles soluciones estructurales complementaria a implementar. La capacidad de almacenamiento del suelo y de la vegetación tiene un importante efecto en la mitigación de pequeñas y medianas inundaciones (Water Directors, 2004). La retención de agua en un medio natural favorece la disminución del nivel de agua en los cauces aguas abajo lo que puede no tener un gran impacto en grandes crecidas, pero sí es muy beneficioso cuando se quiere reducir la producción de sedimentos. La forestación y creación de áreas verdes aumenta el almacenamiento, disminuye la erosión y controla los sedimentos y contaminantes, teniendo un efecto significativo en el mediano y largo plazo, además de servir como áreas de recreación y de mejorar el paisaje.

Algunas de las acciones a considerar en el manejo integrado son las siguientes:

- Conservar, proteger y restaurar la vegetación en la cuenca del río y en las zonas inundables.
- Descargar el exceso de agua hacia áreas de retención de manera controlada.
- Asegurar un uso del suelo apropiado para inundaciones y erosión. Promover la conservación del suelo evitando la compactación excesiva y erosión.
- Limitar la impermeabilización excesiva del suelo. Controlar la urbanización y desconectar áreas impermeables. Se recomienda fomentar fuertemente el uso de técnicas de infiltración y almacenamiento para controlar la escorrentía de futuras áreas urbanas por desarrollar en el área de estudio. Si bien la estrategia de gestionar integradamente una cuenca corresponde a una medida no estructural, las obras puntuales de infiltración y almacenamiento son obras estructurales. Existe una amplia variedad de posibilidades técnicas conocidas como Técnicas de Gestión de Esguimientos Urbanos, o Técnicas alternativas, que permiten limitar los caudales generados por sectores urbanos antes de impermeabilizar (MINVU y DICTUC 1996). Con la aplicación de estas soluciones se evita aumentar los caudales drenados por los esteros y cauces durante épocas de crecida, y se facilitan futuras medidas tendientes a restaurar los cauces. El uso de estas técnicas es fundamental en la zona contribuyente al estero Arévalo, el cual según la modelación y el Plan Maestro de Aguas Lluvias no tendrá suficiente capacidad para conducir la escorrentía extra que originarían desarrollos futuros. Más detalles de estas obras se presentan en la sección dedicadas a las medidas estructurales.

- Se deben realizar inspecciones periódicas y mantener limpios los cauces y sus alrededores para evitar el arrastre de sedimentos y contaminantes, como desechos orgánicos y basura, y así mantener la capacidad hidráulica de transportar los caudales de crecida sin aumentar el área inundada. Esta recomendación involucra a toda la zona estudiada, según los antecedentes del Plan Maestro y las observaciones en terreno. En particular, las quebradas de la zona norte del área de estudio deben permanecer limpias de modo de no colmatar o colapsar la capacidad de los tramos canalizados y entubados aguas abajo del estero Arévalo.
- En los países en desarrollo, el 80% de las enfermedades son causadas por agua no apta para el consumo y las malas condiciones de saneamiento, por ejemplo, la presencia de fecas, aguas residuales y residuos sólidos (ONU, 2000). Las aguas lluvias son el principal agente generador de contaminación difusa. (Haster y James, 1994). El desborde de colectores unitarios, y el arrastre de contaminantes acumulados en la superficie urbana son la principal causa. La contaminación se genera por la actividad humana en periodos secos y es arrastrada por el escurrimiento de las lluvias. Se recomienda limpiar calles, techos, jardines y estacionamientos antes de empezar el periodo lluvioso. En particular se recomienda fuertemente la regularización del sistema de recolección de aguas servidas que estaría vertiéndose al estero El Sauce, y el saneamiento del mismo, ya que en terreno se constató que se encuentra fuertemente contaminado, significando un alto riesgo para la comunidad. En menor grado se aprecia esta misma situación en el estero San Juan y Arévalo.
- Mantener limpios y en buenas condiciones estructurales las obras de canalización, abovedamientos, sumideros u otras obras hidráulicas existente (barreras, puentes, badenes). Los antecedentes del informe anterior (Antecedentes y Pre-Diagnóstico) evidencian problemas en este sentido, particularmente en el estero Arévalo.

### **Uso limitado del suelo**

Las inundaciones sólo conllevan un riesgo cuando ocurren sobre áreas utilizadas por humanos. De hecho, se puede decir que en la naturaleza no hay daño por inundaciones (LAWA, 1995). Mientras más utilizada esté la zona inundable, mayor es el daño potencial asociado (Water Directors, 2004). Basado en experiencias internacionales, como las recomendaciones desarrolladas por la *International Commission for the Protection of the Rhin* (ICPR, 2002), la mejor manera de disminuir el daño potencial es limitar el desarrollo en las zonas de amenaza de inundación. Para ello se deben realizar restricciones legales de uso y relacionarlas con el riesgo de daño potencial.

Antes de establecer las limitaciones del suelo se debe considerar los siguientes aspectos técnicos:

- Identificar y reducir la vulnerabilidad de las industrias y viviendas que ya se encuentran en las zonas de amenaza mediante el análisis acabado de riesgos y pérdidas económicas, con el fin de evaluar el efecto del aumento del nivel de agua y luego proponer medidas para

reducir el daño y planes de emergencia. El presente estudio aborda en buena parte este aspecto.

- Proteger la red de drenaje natural, estableciendo restricciones que no permitan urbanizar en ella o realizar modificaciones que provoquen inundaciones en otros sectores. Se debe detener el desarrollo y construcción en las áreas inmediatas con amenaza de inundación, restringiéndose el uso de éstas sólo a aquellos estrictamente necesarios. En el caso puntual del Estero El Sauce, se debe velar por no urbanizar terrenos naturales aledaños existentes entre Lollole y San Antonio (aguas arriba de San Pedro), así como preservar la zona verde al sur de la calle "La Playa". En el caso puntual del Estero San Juan, es necesario regularizar la situación en la zona cercana a la desembocadura, donde un privado ha intervenido el cauce. Se requiere evaluar la legalidad de esas modificaciones y los potenciales efectos que podrían tener en caso de un evento de crecida.
- No ubicar los servicios básicos ni instalaciones como hospitales, bomberos y de policía ni aquellas zonas cuya eventual inundación pone en riesgo las vidas humanas en las zonas de amenaza. Éstas deben localizarse en la zona más cercana sin amenaza de inundación.
- Construir a prueba de agua. Las construcciones existentes y en riesgo, deben hacerse compatibles con las posibles inundaciones. Estructuras elevadas, ubicación cuidadosa de los enseres más vulnerables, utilización de materiales a prueba de agua, son algunas medidas para disminuir el daño potencial de inundación. Especial cuidado se debe tener con los servicios básicos (agua, luz, alcantarillado) y con las vías de evacuación.

Como parte de estas medidas se pueden también definir zonas con diferentes niveles de regulación de uso de acuerdo a la probabilidad de inundación calculada en este estudio. Esta regulación debe ser compatible con el marco normativo existente o con el plan regulador de la comuna. El siguiente es un ejemplo de regulación de estándar internacional donde se divide la zona inundable en las siguientes:

- Zona de Prohibición: zonas de cauces, inundables con crecidas menores de 2-10 años. En esta zona sólo se puede construir infraestructura propia de uso de cauces, como bocatomas, puentes, infraestructura de navegación, muelles y obras de drenaje.
- Zona de Restricción: bancos laterales, inundables con crecidas medianas de 20-100 años. En esta zona sólo se puede construir infraestructura menor no crítica, a prueba de agua, o destinada a actividades de recreación como recintos deportivos o parques, pero no a vivienda u otra infraestructura relevante.
- Zona de Advertencia: sectores bajos, potencialmente inundables con crecidas superiores a la crecida de 100 años. En esta zona generalmente no se prohíbe la construcción de infraestructura pero se advierte a los usuarios de los potenciales riesgos y su habitabilidad queda bajo su responsabilidad. Se mantiene a la población informada respecto a posibles

eventos de crecida y se dispone de vías de evacuación de fácil uso, las cuales deben ser continuamente monitoreadas y mantenidas.

Estas zonas debiesen estar correctamente delimitadas y demarcadas, con el fin de que la población reconozca el riesgo asociado a cada zona. Estas restricciones debiesen ser incluidas en los Planes Reguladores y consideradas al momento de desarrollar nuevos proyectos que cambien el uso de suelo de la comuna, de manera que un estudio hidrológico muestre que las medidas de drenaje correspondientes a proyectos futuros no implican un cambio en la zonificación de la zona de inundación. Por otra parte, se recomienda trasladar en forma gradual las viviendas que se encuentran actualmente dentro de la zona de prohibición y de restricción.

### **Sistemas de alerta y pronóstico**

La existencia de crecidas e inundaciones hace necesaria la existencia de un sistema de alerta temprana y sistema de pronóstico (Water Directors, 2004). Un pronóstico y una alerta temprana y confiables son la base de una buena preparación para la inundación (ICPR, 2002). Dependiendo de la ubicación en la cuenca y del origen de la crecida, el tiempo disponible de alerta puede variar, para crecidas rápidas y en zonas de alta montaña sólo se dispone de pocos minutos, en cambio en las zonas más planas y desembocaduras, se dispone de varias horas e incluso días para realizar un buen pronóstico y la posterior alerta (ICPR, 2002; Kundzewicz, 2002). En el caso de la zona de estudio, las cuencas son pequeñas, por lo que las crecidas son más bien rápidas.

El pronóstico puede basarse en modelos matemáticos que permiten predecir el flujo a partir de información pasada (precipitaciones, humedad, cobertura de nieve, etc.), con lo que se pueden calcular alturas de agua y posibles áreas inundables. Los pronósticos obtenidos deben traducirse en alertas confiables, ampliamente diseminadas a la comunidad en riesgo con objeto de que ellos puedan tomar las medidas necesarias para reducir los daños potenciales (Kundzewicz, 2002). La alerta puede entregarse a través de la radio local, vehículos con altavoces, mensajes a teléfonos móviles, sirenas, internet, etc.

### **Crear conciencia en la población**

La responsabilidad final para enfrentar una crecida es de cada habitante de un área de posible inundación, quien debe adaptarse y estar preparado frente a las posibles amenazas. Por lo tanto, todos estos habitantes deben conocer los potenciales riesgos de inundación y cómo actuar frente a una situación de emergencia. Para tal propósito se deben elaborar planes de comunicación que permitan a la población conocer las amenazas y entender el fenómeno de inundación. El plan debe asegurar que la información sobre prevención y protección de inundaciones sea de fácil acceso y comprensión, lo que puede lograrse mediante:

- Señales de advertencia y mapas de peligro ubicados en las zonas inundables.

- Información de alto impacto que busque mantener viva la conciencia de que una inundación puede ocurrir. Por ejemplo, marcas de anteriores inundaciones recuerdan constantemente a la población del peligro.
- Educación de la población de modo que hay una necesidad de restringir o adaptar el uso de zonas inundables, con el fin de reducir el daño potencial.
- Interacción de la población con las autoridades, y participación en la toma de decisiones y desarrollo de planes de prevención y emergencia.
- Promoción de medidas de prevención y protección a ser tomadas por la propia población. Guías prácticas de cómo protegerse y cómo actuar frente a una emergencia deben ser publicadas y distribuidas.
- Información sobre planes de prevención y protección frente a inundaciones de fácil acceso y comprensión por parte del público.

### **Plan de emergencia**

Los planes locales y regionales de contingencia para responder a eventos de inundación deben estar apropiadamente preparados y actualizados en todos aquellos lugares en que pueda ocurrir una inundación, con el objetivo de incrementar la capacidad de respuesta de la población (Water Directors, 2004). Estos planes deben cubrir el manejo de la crisis antes, durante y después del evento de inundación. Debe establecer la estructura organizacional y las responsabilidades ante el desastre, definir los medios y recursos disponibles, y realizar un seguimiento del proceso completo de la catástrofe, de modo de obtener información para mejorar planes futuros.

Dentro del plan global de emergencia, al menos se debe considerar un plan de evacuación y desalojo, planes de relocalización, seguridad, alimentación y salud, y un plan de comunicación pública durante el evento.

### ***Medidas estructurales o técnicas de protección de crecidas***

Las medidas estructurales sirven tanto para modificar las características de la crecida como para proteger las riberas de los ríos y las zonas inundables de fenómenos como erosión, sedimentación y contaminación. La aplicación de cualquier medida estructural debe ser cuidadosamente evaluada mediante estudios hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos, análisis de riesgo y evaluaciones económicas. Poulard et al. (2010) proponen tres principios para un manejo estructural sustentable de control de crecidas:

- Considerar todas las herramientas disponibles: Las medidas estructurales y no estructurales deben ser evaluadas simultáneamente mediante una política coordinada y de largo plazo.

- Establecer objetivos razonables y explícitos: El objetivo de la medida (reducción de caudal máximo, disminución de velocidad, disminución del daño global) debe ser definido cuidadosamente, tomando en cuenta restricciones como el estado actual del cauce, desarrollos futuros, etc.
- Tomar la decisión teniendo la mayor cantidad de información y evaluaciones económicas objetivas: El comportamiento, efecto y consecuencias globales de todas las medidas proyectadas debe ser estudiado. En este contexto, las evaluaciones económicas tomando en cuenta los daños evitados son una buena herramienta para objetivamente comparar diferentes soluciones.

A continuación se presentan algunas soluciones estructurales adecuadas a cauces ubicados en zonas de baja altura, las cuales se enfocan tanto en la reducción de las características hidrológicas de la crecida como en la protección de riberas.

### **Obras de Almacenamiento**

Corresponden a estructuras de almacenamiento, generalmente sin control, diseñadas para disminuir el caudal máximo de la crecida y redistribuir el volumen escurrido en el tiempo (ASCE, 2008). Estas estructuras pueden también capturar sedimentos y desechos, lo que puede afectar su funcionamiento (ASCE, 2008), pero al mismo tiempo mejora la calidad del agua que pasa hacia zonas más bajas. Un mantenimiento periódico es suficiente para garantizar su buena operación. Entre estas obras están los embalses y estanques.

#### *Embalses de regulación para el control de crecidas*

Son lagunas que tienen agua durante todo el año, no sólo en momentos de crecida. Su objetivo es regular las crecidas, entregando un caudal más bajo del que entra.

En el estero San Juan existen dos lagunas aguas arriba de la población San Juan (Figura 19). A pesar de que éstas ayudan a controlar las crecidas para la mayoría de los periodos de retorno modelados, su presencia provoca un aumento en la altura de agua y al desbordarse en forma descontrolada inundan la población aguas abajo. Lo anterior ocurre para una crecida de 100 años de periodo de retorno. Es recomendable verificar/modificar el diseño del volumen de almacenamiento y de la obra de desagüe.



**Figura 19: Lagunas en el estero San Juan.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Los principales esteros de la zona cuentan con embalses ubicados aguas arriba (embalse El Piñeño, en El Sauce, y embalses San Juan y Leyda, en San Juan). Estos embalses tienen un efecto regulador en las crecidas que pareciera no estar considerado en la modelación hidrológica del Plan Maestro de Aguas Lluvias para el cálculo de los caudales justo aguas arriba de la zona urbana. Es de importancia poder incluir este efecto, pero no existe la suficiente información para una adecuada consideración.

#### *Estanques de retención para el control de crecidas*

Estos estanques requieren de espacios y volúmenes importantes y deben ubicarse en zonas que permitan interceptar la crecida (Figura 20). También es posible construirlos en zonas urbanas y residenciales a una menor escala, como se detalla en la Guía de Diseño de MINVU y DUCTUC (1996). Entre crecidas, generalmente permanecen vacíos y sirven para recreación y/o paisajismo.



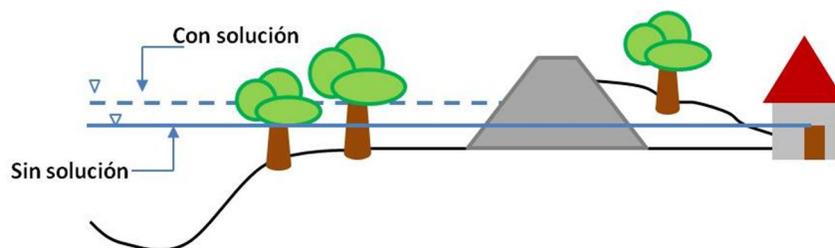
**Figura 20: Esquema de protección con estanque de retención.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **Muros de contención y pequeños diques**

Los muros de contención, contruidos en hormigón y los pequeños diques de tierra y rocas, generalmente se construyen paralelos al flujo con el fin de evitar que las aguas salgan del cauce y entren a la zona a proteger. La Figura 21, Figura 22 y la Figura 23 ilustran este tipo de obras.

El comportamiento hidráulico del río es clave en el diseño de estas estructuras, así como también ciertos efectos adversos, como la inundación de áreas adicionales no protegidas aguas arriba y/o aguas abajo de la estructura, el aumento del caudal máximo de la crecida, la inundación residual dentro del área protegida, etc. Consideraciones técnicas sobre el diseño de estas estructuras pueden encontrarse en manuales disponibles de acceso libre desarrollados en Estados Unidos por el U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 1994). Este tipo de técnica puede ser una buena solución para los problemas de desborde en la población San Juan, donde las condiciones de borde impuestas por el río Maipo tienen una relevancia similar a la magnitud de la escorrentía generada en la cuenca.



**Figura 21: Esquema de protección con dique pequeño, diagrama no a escala.  
Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 22: Fotografía de protección con dique  
Fuente: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Muro\\_de\\_Champas\\_2b.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Muro_de_Champas_2b.JPG)**

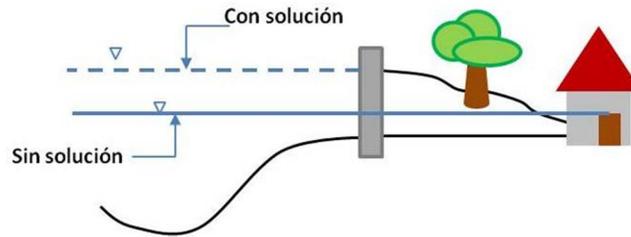


Figura 23: Esquema de protección con muro de contención, diagrama no a escala.  
Fuente: Elaboración propia.

### **Protección de riberas contra la erosión**

La protección de riberas consiste en restaurar y proteger las orillas o bordes de ríos contra la erosión, y mejorar su estabilidad mediante el aumento de la resistencia de la ribera a la erosión. Esto puede lograrse con sistemas de vegetación o estructurales de protección (USDA, 1996).

Al momento de escoger qué medida utilizar para proteger las riberas en peligro, se deben considerar aquellas medidas que sean auto-sustentables y que protegen o restauran las propiedades físicas, biológicas y químicas del río y de la ribera (USDA, 1996). A continuación se presentan algunas de estas medidas, adecuadas a las zonas a proteger. Una descripción más detallada de éstas se puede encontrar también en manuales extranjeros (e.g. USDA, 1996).

#### *- Vegetación y bio-ingeniería del suelo*

La plantación simple de vegetación nativa es una buena medida para proteger la ribera de la erosión sólo en zonas afectadas por pequeñas fuerzas erosivas. La vegetación permite atrapar sedimentos, reducir la fuerza traxtriz sobre la ribera, redirigir el flujo, disminuir su velocidad y sostener el suelo. Sin embargo, es importante mencionar que la protección proporcionada por la vegetación es mucho menor que la entregada por elementos estructurales de protección de riberas (USDA, 1996). El crecimiento de la vegetación toma tiempo, y por lo tanto la protección no será inmediata. Adicionalmente se requiere de un mantenimiento y crecimiento de las plantas. Finalmente, el suelo de las riberas podría no ser necesariamente apto para el crecimiento de vegetación.

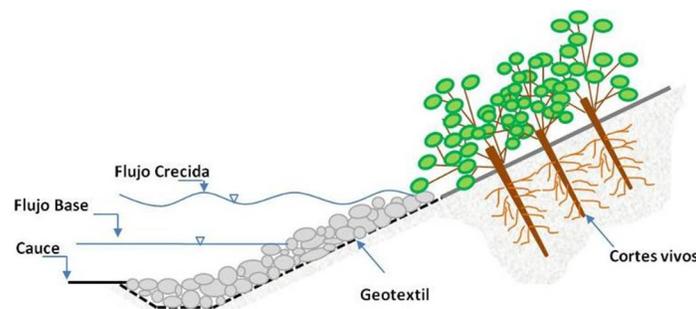


Figura 24: Esquema de protección con un sistema de bio-ingeniería del suelo, Live Stakes.  
Fuente: USDA, 1996.

Los sistemas de vegetación diseñados y construidos son más efectivos para estabilizar las riberas. Se llama “bio-ingeniería del suelo” a la práctica de diseño y construcción de obras estructurales a partir de plantas y material vegetal. (USDA, 1996). Así entonces, diferentes tipos de vegetación con madera (árboles y arbustos) pueden ser instalados siguiendo configuraciones específicas, lo que entrega protección y refuerzo inmediato a la ribera (Figura 24). Adicionalmente, estos sistemas aumentan la resistencia del suelo al deslizamiento debido al crecimiento de raíces, y traen diversos beneficios ambientales, como el desarrollo de hábitat para diversas especies, mejoramiento de la calidad del agua, adición de componentes orgánicos a la corriente, captura de sedimentos y mejoramiento de la estética de la ribera (USDA, 1996). Una completa descripción de este tipo de sistemas, sus características, diseño, aplicaciones y mantenimiento se pueden encontrar en referencias como USDA (1996) y en USDA (2002).

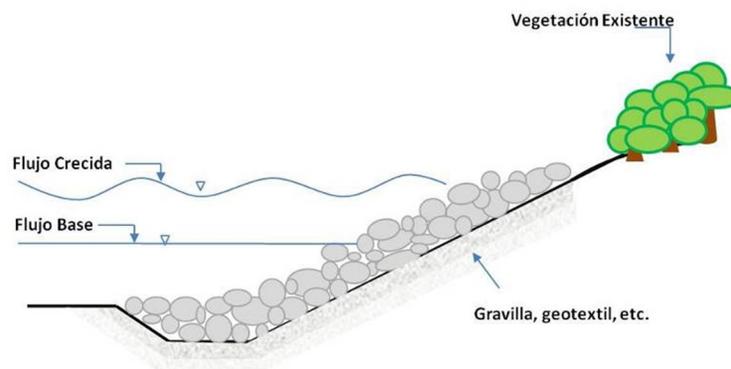
#### - *Sistemas Estructurales*

Los sistemas estructurales se usan generalmente en sectores donde el flujo de agua tiene velocidades altas para mantener la estabilidad de las orillas del cauce. En el caso particular de la zona de estudio, puede ser una buena alternativa este tipo de obras en las zonas de los cauces donde se encuentran las velocidades más altas.

#### Enrocado (*riprap*)

El enrocado o *riprap* correctamente diseñado e implementado es un método eficiente para la protección de la ribera del río (Figura 25). Este tipo de protección provee estabilidad en el largo plazo en ríos con altas velocidades, su diseño es estructuralmente flexible, necesita de bajo mantenimiento y tiene larga vida útil, y no depende de las condiciones climáticas del lugar (USDA).

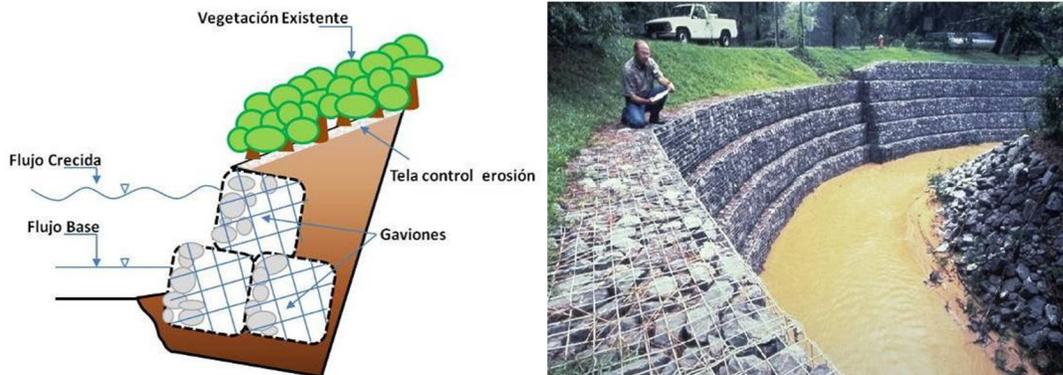
La habilidad del enrocado para resistir las fuerzas erosivas depende de los siguientes factores: forma, tamaño, peso y durabilidad de la roca; espesor del enrocado; alineación del cauce, forma de la sección transversal, gradiente y distribución de velocidades. Para mayor detalle sobre criterios de diseño de enrocado se pueden consultar los documentos USACE (1994) y USDA (1996).



**Figura 25: Esquema de protección con enrocado, no a escala.  
Fuente: Elaboración propia.**

## Gaviones

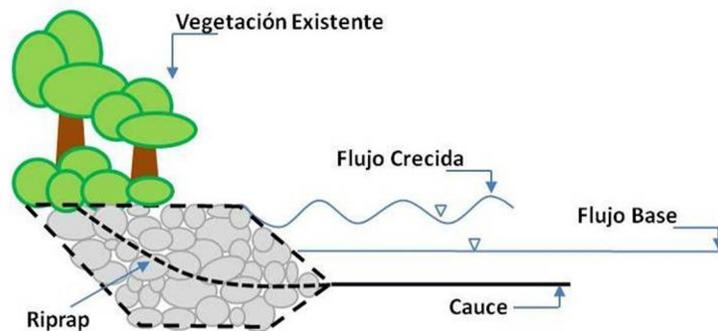
Los gaviones son una alternativa al enrocado y consisten en contenedores rectangulares fabricados con una malla hexagonal de acero galvanizado, los cuales se ubican en la posición requerida para luego ser rellenos con piedras (Figura 26). Son útiles cuando el enrocado necesita un tamaño de roca mayor al disponible en amigable con el entorno, se propone la incorporación de vegetación sobre el sitio y efectivos en riberas de pendiente fuerte y con poco espacio (USDA, 1996). Para un diseño más los gaviones si se desea (Figura 26).



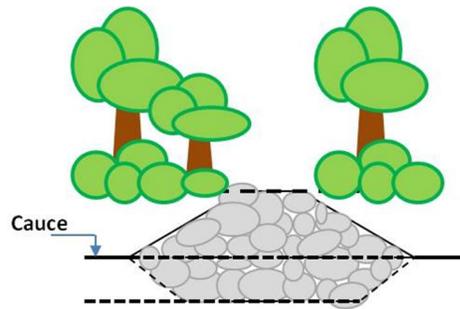
**Figura 26: Protección con gaviones, esquema no a escala y fotografía.**  
Fuente: Elaboración propia.

## Espigones

Son pequeñas estructuras similares a un dique pequeño que se proyecta desde la ribera hacia el cauce, en distinto ángulo con respecto a la dirección del cauce (Figura 27 y Figura 28). Los espigones pueden actuar cambiando la dirección del flujo u obstaculizándolo, de modo de alejarlo de la zona erosionable. Su diseño y construcción es complejo, requiriéndose estudios hidráulicos acabados sobre su funcionamiento, el cual dependerá de las características del flujo y de la geomorfología de la zona. Son efectivos en curvas de ríos, pero pueden provocar socavación justo aguas abajo y al final del espigón.



**Figura 27: Esquema de protección con espigones, corte transversal al cauce, no a escala**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 28: Esquema de protección con espigones, corte longitudinal, no a escala**  
**Fuente: Elaboración propia.**

### Estructuras de control de sedimentación

Existen diferentes estructuras que ayudan a acumular sedimentos y desechos durante grandes crecidas. Las trampas de sedimentos son depresiones construidas en el mismo cauce o zona inundable que fomentan la acumulación de sedimentos durante flujos altos, los cuales pueden ser luego removidos sin alterar el medio ambiente local. Por otra parte, las estructuras de retención de sedimentos son aquellas que detienen o reducen el movimiento de los sedimentos y se diseñan para capturar, almacenar y asentar los sedimentos de grandes crecidas (ASCE, 2008). Los humedales artificiales y los filtros de vegetación también controlan los sedimentos.

### **Canales de drenaje urbanos**

La obras previamente mencionadas para la conservación y mejoramiento de cauces naturales al interior de una urbanización puede eventualmente hacerse de manera poco invasiva, respetando al máximo el trazado original del cauce y la estabilidad de su sección. El objetivo es tener un cauce urbano al cual se le puede dar el uso de área verde en los momentos que no funcione como área inundable. Esto es posible sólo si se reducen los caudales aportantes al cauce con otras técnicas de manera de no someter su lecho a fuerzas erosivas muy grandes. Puede ser interesante considerar una opción de este tipo para el estero Arévalo, incorporando obras para la protección de erosión y disipación de energía dada las altas pendientes. La Figura 29 muestra un ejemplo de este tipo de cauces y las correspondientes obras de disipación.



**Figura 29: Canal disipador de energía.**  
Fuente: MINVU, 2005.

### **Técnicas de disposición local**

Como ya se mencionó, es extremadamente recomendable el uso de técnicas de disposición local (conocidas también como técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias) en zonas urbanizadas o con desarrollos futuros proyectados. Obras y diseños de este tipo, recomendadas en la Guía de Diseño del MINVU y DICTUC (1996), permiten controlar en forma distribuida la contribución urbana a las crecidas a través de técnicas de infiltración, almacenamiento y de desconexión de áreas impermeables. Estas técnicas son de bajo costo y tamaño reducido, buscan aprovechar el espacio disponible en la zona urbana y controlan aportes de zonas pequeñas (casas, calles o estacionamientos). Bien concebidas y mantenidas constituyen herramientas de gran eficiencia y efectividad, que debiesen ser consideradas como una componente relevante en estrategias de mitigación de inundaciones y crecidas.

Es recomendable utilizar este tipo de técnicas en la zona estudiada para disminuir el flujo de los cauces naturales pero sólo en zonas de baja pendiente y para evitar eventos de remoción en masa. Algunas de estas obras son:

#### *i. Obras de infiltración*

El objetivo de estas obras es facilitar la infiltración del escurrimiento, disminuyendo el flujo superficial. Entre estas obras están las zanjas de infiltración (Figura 30), franjas de infiltración (Figura 31) y pozos de infiltración. En el caso de las zanjas, estas están concebidas para permitir el transporte del flujo y proporciona un volumen de retención sobre la superficie.



**Figura 30: Zanja de pasto.**  
Fuente: MINVU, 2005.



**Figura 31: Franja de pasto.**  
Fuente: MINVU, 2005.

En el caso de San Antonio, este tipo de técnicas puede no ser recomendable ya que la saturación de los suelos potencia la ocurrencia de eventos de remoción en masa. En las zonas de menor pendiente, es decir, en las zonas más bajas aledañas al estero El Sauce y San Juan, este problema no es relevante. Aún así, es muy posible que en estos lugares la napa subterránea esté muy cercana a la superficie por lo que tampoco sería recomendable el uso de infiltración.

*ii. Obras de almacenamiento*

Similares a los estanques de retención descritos anteriormente, pero implementados a una escala local. Estos estanques también pueden permitir la infiltración del agua.

***Legislación Vigente Relativa a Cauces Naturales***

***Decreto supremo n°850 del Ministerio de Obras Públicas***

En base a la ley 15.840, el Decreto Supremo N°850 del Ministerio de Obras Públicas declara en su artículo 97° que: "Se prohíbe construir casas para viviendas y con mayor razón formar poblaciones

en suelos periódicamente inundables, aún cuando la inundación se presente en período de hasta diez años” (art. 97°, D.S. 850). Este decreto indica a nivel nacional que los límites de construcción deben quedar fuera del área de inundación para un periodo de retorno de 10 años. Ésta es la normativa mínima que se debe seguir en la planificación futura y en el desarrollo urbano y rural de las localidades estudiadas.

Si comparamos esta reglamentación con leyes norteamericanas es una restricción baja. Por ejemplo, en Weston, Estados Unidos, se define como Base Flood Elevation (Flujo Base de Elevación) una crecida de 100 años de periodo de retorno, la cual tiene un 1% de probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera. Algo similar es definido para todo los EE.UU. Las nuevas construcciones y edificaciones residenciales y no residenciales en ese país deben estar al menos 1 pie (30.5 cm) sobre la altura de flujo base de elevación (Jianmig et al., 2010).

Esta medida norteamericana es una buena sugerencia de planificación para ser adaptada al ámbito nacional. Esto garantizaría un mayor respeto por los cauces naturales sin tener la necesidad de intervenir posteriormente con medidas estructurales para mitigar las inundaciones. De esta manera, se puede concluir que una buena planificación tomada con cautela y privilegiando la prevención, genera ahorros futuros para las autoridades locales y evita pérdidas y problemas asociados directamente a las crecidas.

#### **Decreto supremo n°47 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo**

El Artículo 2.1.17 del Decreto N° 47 que fija el nuevo texto de la Ley General de Urbanismo y Construcción indica: “En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos....En zonas no edificables, sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias...En áreas de riesgo, se limita el tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales... Para autorizar estos proyectos, se requerirá de un permiso que acompañe un estudio fundado, elaborado por un especialista y aprobado por el organismo competente”. Entre las áreas de riesgo se encuentran las zonas inundables o potencialmente inundables debido a la proximidad de ríos, esteros o quebradas.

#### **Decreto supremo n°609 del Ministerio de Tierras y Colonización<sup>3</sup>**

Este Decreto declara que “corresponde al Ministerio de Tierras y Colonización, fijar los deslindes de los bienes nacionales de uso público que constituyen los cauces de los ríos, lagos y esteros”. Para la fijación de deslindes este Ministerio recibe asesoría del Departamento de Defensas Fluviales, quien informa sobre la materia y agrega un informe técnico y un plano de la zona del río, lago o estero cuyo deslinde se trata de fijar. Con estos antecedentes el Ministerio de Tierras y Colonización hace decreta los deslindes.

Además, se consideran los siguientes aspectos en las definiciones:

---

<sup>3</sup> Actual Ministerio de Bienes Nacionales

- Lecho es aquella sección de tierra por donde habitualmente corre el flujo de agua.
- Cauce es aquella sección de tierra que ocupa y desocupa el agua en sus crecidas periódicas ordinarias.
- Los terrenos ocupados y desocupados en crecidas extraordinarias no se consideran cauce.

### **Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS)**

A continuación se describe el contenido en el título N°8 del Plan Regulador Metropolitano de Santiago donde se norman aspectos referidos a áreas de alto riesgo para el asentamiento humano, por ejemplo las zonas amenazadas por crecidas fluviales. Esto se realiza a modo de recomendación para considerarse el uso de una herramienta legal similar en la zona del estudio de la comuna de San Antonio.

#### *- Áreas De Amenaza Natural Por Inundación*

Las áreas de amenaza natural por inundación se dividen en tres grupos: recurrentemente inundables, amagadas por inundación y quebradas.

- **Áreas Recurrentemente Inundables:** En las áreas recurrentemente inundables sólo se permitirá las instalaciones mínimas complementarias a las actividades al aire libre, excepto que los propietarios de terrenos afectados por estas normas desarrollen estudios específicos, debidamente aprobados por el Ministerio de Obras Públicas, en los cuales se determine en detalle los límites del área inundable que afecte a su predio, así como las obras que deben realizarse para protegerlo.
- **Sectores Amagados por Inundación:** Son terrenos consolidados con edificaciones adyacentes a puntos de desborde de cauces permanentes, con peligro de inundación. Los planes de regulación comunales deben reconocer estas zonas y contemplar condiciones para minimizar el riesgo de inundación.
- **Quebradas:** Las construcciones y urbanizaciones que se ejecuten en quebradas deberán contar con los estudios y proyectos que aseguren el normal escurrimiento de las aguas. Estos estudios deberán ser aprobados por los organismos que corresponda, además que la recepción municipal se efectuará previa conformidad de las obras derivadas de dichos proyectos.

#### *- Áreas De Amenazas Geofísicas Asociadas a Inundaciones*

Los sectores con amenazas geofísicas asociadas a inundaciones corresponden a áreas con riesgo de erosión o socavamiento, producido por aumento de volumen y velocidad del caudal de agua.

A menos que exista un estudio aprobado por un organismo competente que indique lo contrario, en estas áreas sólo se permitirá el equipamiento de áreas verdes.

### ***Otras recomendaciones***

El Plan Maestro del cual se extrajo gran parte de la información debiera ser actualizado para este tipo de fines. En el año 2003 no se incluye la planta de tratamiento de aguas servidas que inició su operación el año 2006. También existen diferencias en la infraestructura de puentes y badenes de los cauces, las cuales fueron observadas en terreno.

También es recomendable una revisión y actualización de los Planos Hidrográficos del Plan Maestro de Aguas Lluvias, ya que se observaron incongruencias entre éstos y los informes del mismo documento. Por ejemplo, la ubicación de los puentes en los perfiles 6 y 7 del estero El Sauce según los planos del Plan Maestro, no coinciden con lo señalado en el informe escrito. También se observaron diferencias de cotas entre los perfiles entregados por el Plan Maestro y las mediciones en terreno realizadas especialmente para este estudio. Además, el perfil longitudinal de los cauces y los perfiles transversales no están georreferenciados.

Por otro lado, sería recomendable incluir el efecto regulador de los embalses en la modelación hidrológica aguas abajo del cauce, ya que ésta no se encuentra desarrollada en el Plan Maestro. Falta información para poder desarrollar esta modelación en otros estudios.

### **3.5 Riesgo de Remoción en Masa**

**Experto Responsable:**

**CARLOS BONILLA MELÉNDEZ.**

**PhD, INGENIERO AGRÓNOMO, EXPERTO EN BIOFÍSICA AMBIENTAL.**

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 inestable, 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).

Los procesos de remoción en masa tienen importantes consecuencias sobre el medioambiente y la infraestructura. En términos ambientales, estos procesos incrementan dramáticamente la erosión del suelo, producen sedimentación en ríos y embalses, bloquean el drenaje en ríos y cuencas, y producen la pérdida de porciones valiosas de la cuenca. En infraestructura, los procesos de remoción en masa tienen un efecto negativo si ocurren en lugares donde hay caminos, tuberías de agua y gas, puentes, túneles, etc. La fractura o desprendimiento de terreno puede sepultar dichas obras con los bloques de tierra removidos (USGS, 2000). Por otra parte, las construcciones en terrenos escarpados generalmente aumentan la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa al alterar el paisaje, modificar la red de drenaje de la cuenca y canalizar la escorrentía (USGS, 2000).

Las pérdidas producidas por procesos de remoción en masa aumentan si continúa el desarrollo de infraestructura en áreas de peligro y la deforestación en áreas propensas (USGS, 2000). Sin embargo, los daños esperados pueden reducirse a través del conocimiento de la amenaza a través de mapas de peligro y mejorando los procesos de mitigación y respuesta frente a la amenaza (USGS, 2000).

El Estudio de Riesgos de la comuna de San Antonio ha considerado en sus etapas anteriores el análisis de la amenaza de remoción en masa elaborando mapas de amenaza que asocian una probabilidad de ocurrencia del fenómeno a cada punto de la zona de estudio, incluyendo la zona urbana de San Antonio, Cuncumén, Leyda y Malvilla. En este capítulo se entregan

recomendaciones generales para la mitigación del riesgo de remoción en masa, así como también recomendaciones específicas considerando los resultados de la modelación y antecedentes históricos recopilados. Esta información ayudará a la comunidad en el diseño de futuros planes y medidas de prevención y mitigación.

### 3.5.1 Medidas de mitigación

En este capítulo se presentan una serie de recomendaciones de estrategias generales para mitigar el riesgo en sectores susceptibles de sufrir procesos de remoción en masa.

Para generar un plan completo de mitigación de riesgo por procesos de remoción en masa el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2000), propone considerar al menos los siguientes aspectos:

- a. **Investigación.** Estudiar y entender los diferentes procesos de remoción en masa y los mecanismos de desencadenamiento.
- b. **Mapas.** Generar mapas de áreas susceptibles a sufrir procesos de remoción en masa con el fin de ser utilizados en planificación urbana y en la toma de decisiones. Generar mapas de antecedentes históricos de procesos de remoción en masa.
- c. **Monitoreo.** Monitorear procesos activos de remoción en masa que representan un riesgo substancial. Esto permite advertir a la población previo a un evento de remoción en masa y así evitar pérdidas mayores.
- d. **Estimación de pérdidas.** Evaluar económicamente los impactos que tiene la amenaza de remoción en masa.
- e. **Recopilación de información, interpretación y diseminación.** Establecer un sistema de transferencia de información efectivo.
- f. **Pautas y entrenamiento.** Desarrollar guías y entrenar a científicos, ingenieros y a quien toma las decisiones en temas de remoción en masa.
- g. **Conciencia pública y educación.** desarrollar información para educar a la población.
- h. **Implementación de medidas de mitigación.** fomentar la aplicación de medidas de mitigación.
- i. **Prepararse para la emergencia, respuesta y recuperación**

Las medidas de mitigación de riesgo se pueden clasificar en medidas no-estructurales y en medidas estructurales. Las primeras corresponden a un conjunto de medidas preventivas orientadas generalmente a la planificación del uso del suelo y a la educación de la población, mientras que las segundas se enfocan en la protección de la infraestructura existente, de personas y bienes, mediante obras de mitigación. A continuación se presenta un conjunto de medidas no-estructurales y medidas estructurales para la mitigación del riesgo asociado a procesos de remoción en masa causados por precipitaciones.

#### 3.5.1.1 Medidas no-estructurales

##### a. **Restringir el desarrollo en áreas de amenaza**

La planificación del uso del suelo es una de las medidas más efectivas y económica de reducir las pérdidas asociadas a remociones en masa al evadir la amenaza y por ende minimizar el

riesgo (USGS, 2000). Esto se lleva a cabo mediante la regulación del uso del suelo desincentivando nuevas urbanizaciones en zonas de amenaza o trasladando viviendas e infraestructura fuera de las áreas de amenaza. El objetivo es construir nueva infraestructura y viviendas en zonas libres de amenaza o en zonas que hayan sido adecuadamente estabilizadas.

**b. Códigos para excavación y construcción**

Se pueden desarrollar códigos específicos para la construcción y excavación en zonas de amenaza que consideren ésta variable, además de considerar en el diseño la mitigación del riesgo asociado.

**c. Protección de viviendas e infraestructura existente**

Si el desarrollo en zonas de amenaza es inminente, se deben considerar medidas para protegerse frente a un evento. Controlar el flujo superficial y subterráneo es la metodología más exitosa para la estabilización de pendientes, la cual permite prevenir la ocurrencia de un evento de remoción en masa.

**d. Monitoreo y sistemas de alerta**

Esta medida es utilizada para proteger vidas y la propiedad pública y privada, no para prevenir la ocurrencia de un evento. El monitoreo consiste en estar constantemente verificando la estabilidad de taludes inestables y así emitir una alerta anticipada que permita la construcción de obras de mitigación que reducirán el riesgo en el largo plazo. Algunas técnicas de monitoreo incluyen observación en terreno y el uso de instrumentos de movimiento de tierra como radares o medidores de vibraciones. Por otro lado, debido a que la ocurrencia de un evento se asocia a la precipitación crítica que lo desencadena, se puede monitorear en tiempo real la precipitación caída y emitir una alerta cuando se observen precipitaciones acumuladas en un instante de tiempo definido cercanos a esta precipitación umbral.

**e. Análisis de eventos históricos y remediación**

Para remediar las zonas históricamente afectadas por remociones en masa se debe llevar a cabo un completo análisis geotécnico que incluya la descripción de los suelos, la geología, la hidrología y la topografía del sector afectado. Análisis de estabilidad numéricos considerando los factores predisponentes y desencadenadores del fenómeno permitirán determinar la estabilidad presente y futura y así diseñar medidas para incrementar la estabilidad del terreno afectado.

**f. Reconocer signos de actividad y potenciales eventos**

Una medida muy efectiva de protección y de disminución de daños por eventos de remoción en masa es educar a la población para reconocer signos de potenciales remociones en masa. Por ejemplo sitios de alta pendiente, sitios con evidentes grietas en el suelo y escarpes donde se han producido anteriormente pequeñas remociones en masa, ondulaciones en el pavimento y grietas indicaría que el terreno bajo el pavimento puede estar cediendo, estructuras que comienzan a deformarse, árboles que se inclinan en diferentes direcciones indicaría la ocurrencia de un evento anterior, etc. Algunos de estos signos se ilustran en la Figura 32.



**Figura 32: Signos de potenciales eventos de remoción en masa.**  
Fuente: FEMA, N.D.

### **3.5.1.2 Medidas Estructurales**

Las medidas estructurales pueden clasificarse en las que tienen por objetivo reducir las fuerzas generadoras de una remoción en masa y en aquellas cuyo objetivo es hacer más resistente el talud inestable.

#### **a. Reducción de las fuerzas desencadenadoras**

Entre estas medidas se encuentra la remoción de peso desde la parte superior de los taludes inestables y el reducir el drenaje de agua sub-superficial que saturará el suelo y desencadenará el proceso de remoción en masa (Machan, 2006).

La reducción del peso se lleva a cabo extrayendo las porciones de material inestable para aumentar el margen de estabilidad, esto se puede llevar a un extremo de remover completamente el material inestable y formar taludes estables en terrenos adyacentes (Machan, 2006). De esta forma entonces se debe evitar recargar la parte superior del talud inestable. Esto se ilustra en la Figura 33.

Reducir la infiltración de agua para prevenir la saturación del suelo puede llevarse a cabo mediante el uso de capas impermeables e interceptando el flujo sub-superficial. El uso de capas impermeables debe ser cuidadosamente estudiado de manera de no incrementar la amenaza por inundación. Para la intercepción del flujo de agua hacia capas inferiores del suelo se pueden utilizar plantas y árboles nativos que absorban los excesos de agua, y también pequeñas obras de drenaje del agua infiltrada, como se muestra en la Figura 34.

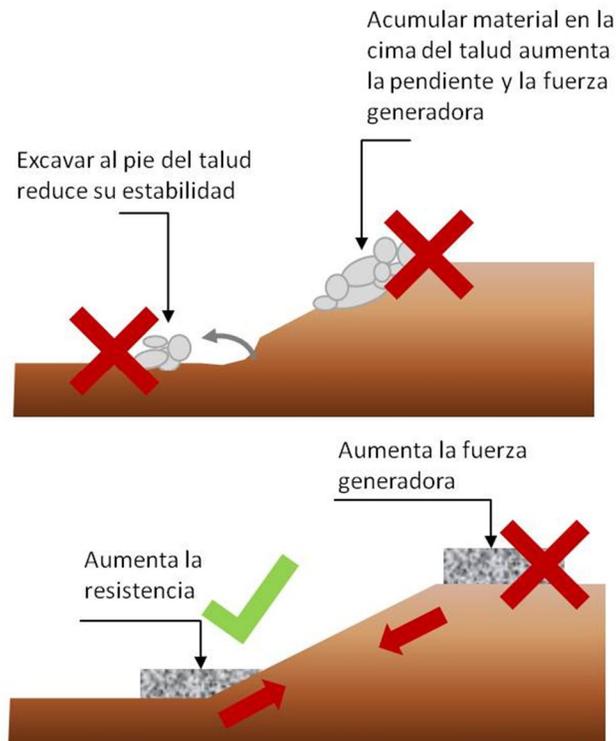


Figura 33: Fuerzas generadoras y resistencia en la estabilidad de un talud.  
Fuente: Elaboración propia con datos de PDC, N.D.

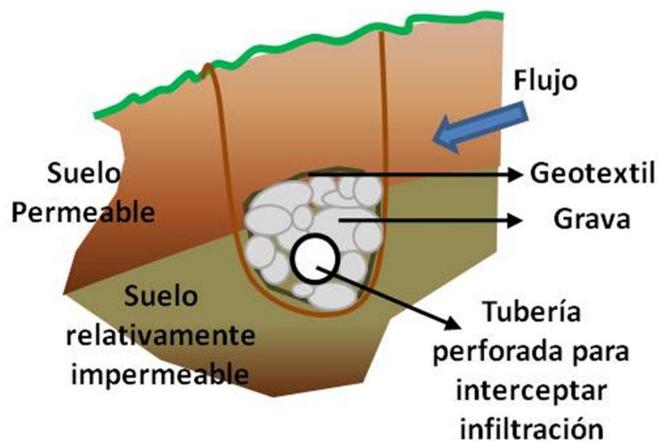
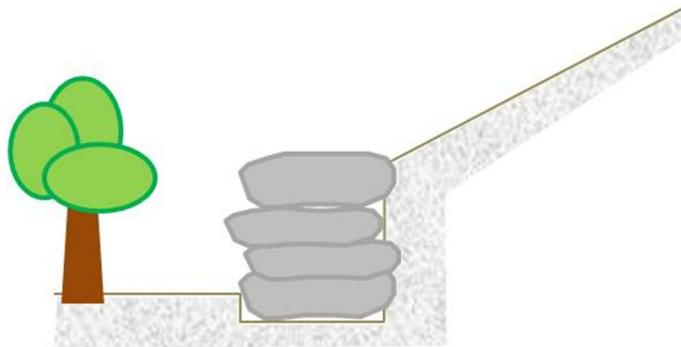


Figura 34: Ejemplo de tubería para interceptación de la infiltración.  
Fuente: Elaboración propia con datos de PDC, N.D.

**b. Incrementar la resistencia del terreno:**

La estabilidad de un talud se puede aumentar reforzando su parte inferior adhiriendo o reemplazando porciones del terreno con materiales más fuertes como rocas o reforestando el terreno. Alternativas más caras incluyen el uso muros de contención y anclajes.

Las paredes de roca son esencialmente un acopio gravitacional de grandes rocas, éstas protegen la erosión del pie del talud y soportan el suelo que está más arriba (Figura 35). La estabilidad de la pared de rocas depende de la pendiente del talud, la profundidad a la que se coloquen las rocas y la altura de la pared.



**Figura 35: Pared de roca.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

En taludes donde no hay viviendas o infraestructura, pero que son sitios de poca estabilidad, el uso de vegetación puede ser la medida más razonable. Los diferentes tipos de sistemas de raíces pueden aumentar la cohesión del suelo y crear una estructura de suelo más grande y más resistente. Muchas plantas y árboles son útiles para estabilizar un talud, pero se deben considerar, de preferencia, especies nativas adecuadas para cada zona. Esta medida se ilustra en la Figura 36.



**Figura 36: Uso de vegetación para estabilizar.**  
**Fuente: PDC, N.D.**

Los muros de contención pueden ser construidos para soportar una gran variedad de cargas estructurales. Son particularmente útiles en situaciones donde se necesita protección cerca de la parte alta del talud o en la base de un talud de alta pendiente. La resistencia de un muro de contención depende de la resistencia del material con que se construye y en la forma en que se

construye. Se requiere de un diseño detallado para cada talud específico, porque lo que se deben realizar estudios geotécnicos y estructurales antes de su instalación.



**Figura 37: Muro de contención.**  
Fuente: PDC, N.D.

### **3.5.2 Recomendaciones Específicas San Antonio**

De acuerdo con los resultados de la modelación de remoción en masa asociada a precipitaciones en San Antonio, se han establecido sectores de amenaza en los que se recomienda aplicar medidas de mitigación. Estos sectores corresponden a: los taludes ubicados en los caminos San Antonio – Cartagena y Lo Gallardo – San Juan, donde hay evidencia de eventos históricos, talud 21 de Mayo, quebradas de la comuna (Huallipén y afluentes de estero Arévalo), y ladera de la Av. Circunvalación Los Aromos que drena hacia estero el Sauce.

En los caminos San Antonio – Cartagena y Lo Gallardo – San Juan, se recomienda no aumentar la carga en los taludes evitando la instalación de nueva infraestructura en la cima de los taludes, evitar construcción de caminos e instalación de tuberías de agua potable y gas, las que pueden colapsar durante un posible evento. Como medida de mitigación se recomienda monitorear estas zonas y verificar el estado del pie de los taludes en los lugares donde ya hay instalaciones industriales y viviendas. Antes de aplicar cualquier medida estructural de mitigación, se recomienda realizar estudios de suelo detallados e hidrogeológicos para identificar el tipo de obra de mitigación adecuada.

En la zona urbana céntrica de San Antonio, específicamente en el Talud 21 de mayo y la Av. Núñez de Fonseca frente a los restaurantes del puerto, se recomienda no sobrecargar la parte superior de los taludes y verificar signos de potencial remoción en masa como grietas u ondulaciones en el pavimento de las calles superiores. A demás en el talud 21 de Mayo, se recomienda verificar el estado de la vegetación ahí existente y el estado del muro de contención.

### **3.6 Equipamiento crítico e infraestructura pública vital**

#### **3.6.1 Equipamiento crítico**

Los equipamientos con algún grado de riesgo fueron explicitados en los “Mapas de Riesgo”, por lo que en este apartado se especificarán aquellos que necesariamente deban ser recomendados con mayor especificidad.

El equipamiento crítico que presenta niveles de riesgo alto está Municipio (alcaldía) el cual tiene un riesgo alto de tsunami y de sismos. Por la importancia que este edificio tiene para la comunidad en respuesta a eventos catastróficos se recomienda disminuir su vulnerabilidad mejorando la materialidad y diseño de la construcción para enfrentar de mejor manera ambas amenazas.

Para el caso de la 1<sup>ra</sup> Compañía de Bomberos, que alcanza niveles altos de riesgo de tsunami y sismo, se recomienda buscar una nueva localización, por su rol fundamental ante las catástrofes, por lo cual se debe relocalizar en sectores fuera de riesgo.

La 2<sup>da</sup> Compañía de Bomberos también presenta un riesgo alto de amplitud sísmica, y la recomendación para este equipamiento también sería relocalizarse en sectores con baja amenaza de sismicidad.

El recinto militar que se encuentra en Llolleo presenta riesgo alto de la amenaza de tsunami y de remoción en masa, por lo que se recomienda hacer un estudio de mecánica de suelo específico del recinto y considerando los resultados de éste, mejorar las condiciones para enfrentar un eventual movimiento de suelo por precipitaciones. Con respecto al tsunami, tomar en cuenta que sus construcciones estén preparadas para una eventual catástrofe por esta amenaza.

La Gobernación Marítima presenta un alto riesgo de tsunami por lo que se recomienda buscar una nueva localización para la edificación de esta institución, en donde esté fuera de la amenaza de tsunami o también es recomendable que la edificación esté diseñada para enfrentar eventos de tsunami.

Hay 11 establecimientos de educación que tienen riesgo alto con respecto a las amenazas analizadas, para todos ellos se recomienda buscar una nueva localización en la ciudad y de esta manera bajar sus niveles de vulnerabilidad.

Con respecto al equipamiento de salud, todos los servicios catastrados están localizados en zona de riesgo medio alto de amplitud sísmica, por lo que se recomienda mantener y/o mejorar la calidad de las construcciones para bajar sus niveles de vulnerabilidad.

### **3.6.2 Infraestructura Pública Vital**

Para el caso de las vías, se debe considerar que para disminuir los niveles de vulnerabilidad que presentan frente a las amenazas de inundaciones (fluvial o por tsunami) se recomienda pavimentar todas aquellas vías que la carpeta sea de tierra y en zonas de riesgo.

Con respecto a los distintos elementos de la infraestructura analizados en este estudio se concluye que no presentan problemas frente a las distintas amenazas analizadas, es decir: antenas, plantas de tratamiento de agua, subestación eléctrica, planta relevadoras de agua potable y planta de distribución de agua potable. Se recomienda mantener niveles bajos de vulnerabilidad y localizados en zonas de baja o nula amenaza.

### 3.7 Recomendaciones al Plan de Evacuación de Tsunami

Si bien en el presente estudio se definen y recomiendan zonas seguras para el borde costero de San Antonio que presentan amenaza de tsunami, éstas se proponen sólo como una referencia, y se recomienda que sean evaluadas por la respectiva Oficina de Protección Civil municipal debido al conocimiento en detalle del propio territorio. Para ver en detalle esta propuesta ver anexos.

En el plan de evacuación, es clave la definición de vías de evacuación y que éstas conformen un sistema de calles integrado y continuo, accesible desde todos los sectores con potencial de ser afectados por tsunami, y que conecten de la manera más directa posible con las zonas seguras. Este sistema dependerá tanto de la estructura vial de la localidad como también de la topografía.

En este informe, se proponen vías de evacuación y zonas seguras, para aquellas áreas de San Antonio que están bajo amenaza de tsunami, según una estructura de vías longitudinales, vías ascendentes, vías principales, nodos y zonas seguras.

- a. Vías ascendentes: Son aquellas vías cuyo trazado es contra la pendiente y perpendicular a la cota de amenaza de tsunami, por lo tanto son las vías que permiten que la población se aleje de la amenaza de la manera más directa posible.
- b. Vías principales: Entre las vías ascendentes, son aquellas que conectan directamente con una zona segura.
- c. Vías longitudinales: van paralelas a la modelación de la amenaza de tsunami, por lo tanto no alejan a la población de la amenaza, sino que sirven para acceder a una vía ascendente.
- d. Nodos de encuentro: cruces donde se encuentran diferentes vías de evacuación (por lo general, una longitudinal y una ascendente), por lo que son lugares donde la población evacuada deberá cambiar de calle para continuar evacuando.
- e. Zonas Seguras: fuera de amenaza, que pueden acoger a la población evacuada en caso de amenaza de tsunami mientras sucede el evento.

#### 3.7.1 Vías de Evacuación Ascendentes y Principales.

- a. TRAZADO.

Para definir cuáles serán las vías de evacuación ascendentes, se debieran utilizar, al menos, los siguientes criterios:

- Priorizar vías jerárquicas según el Plan Regulador Comunal, ya que éstas casi siempre presentan perfiles más anchos que el resto de las calles, lo que implica

mayor capacidad de acogida para la población evacuada, y son en general más reconocibles por ésta.

- Priorizar vías que conecten directamente con las zonas afectadas por la amenaza de tsunami donde se concentre población.
- Priorizar vías que en la menor distancia posible, conecten con territorio sobre la cota 10.
- Que presenten pendientes no mayores a 12%. En muchos casos, debido a la pendiente del terreno es necesario definir un trazado en zig-zag para lograr pendientes menores a 12%. Esto es más recomendable que proponer escaleras, ya que permite la evacuación de personas en sillas de rueda o con coches, y es más fácil para ancianos.

#### b. CARACTERÍSTICAS.

El mejoramiento de la estructura vial seleccionada como vías de evacuación ascendentes resulta clave, considerando la gran extensión del borde costero de la comuna.

Al examinar el perfil de las distintas calles ascendentes, se plantean distintas modificaciones que permitan identificarlas como vías prioritarias para acceder a las zonas de seguridad.

Las recomendaciones destinadas a permitir una rápida evacuación a través de estas vías son:

- Señalización clara, tanto de las vías como de las zonas seguras, ubicando infografía en lugares públicos de reunión (playas, caletas, plazas, etc.) y en el circuito de evacuación y nodos, indicando la dirección hacia donde se deben dirigir las personas, y si es necesario, la distancia faltante.
- Indicación de las rutas de evacuación a través de acciones visibles y reconocibles, como la indicación en pavimentos, ya sea con flechas o a través de pavimento pintado de un color reconocible y que no interfiera con la señalética de tránsito.
- El ordenamiento del mobiliario urbano presente en las veredas de las calles seleccionadas como vías de evacuación, así como el despeje de letreros, plantas y adornos, permitiendo el tránsito fluido de personas. Se recomienda mantener el mobiliario básico necesario (basureros, bancas, postes, árboles), en un costado de la vereda, a una misma distancia de la línea oficial.

- Implementar un sistema de iluminación independiente del alumbrado público, y que permita tanto indicar las rutas de evacuación, como iluminar de mejor forma en caso de un corte eléctrico general.
- En el caso de vías de menor tamaño, se recomienda su mejoramiento y priorización en planes de pavimentación y ensanchamiento a un mínimo de 8 metros entre línea oficial.
- Al igual que el punto anterior, se recomienda que las rutas seleccionadas como vías de evacuación tengan prioridad en planes de mejoramiento vial, arreglo de veredas y parchado.
- En aquellos casos donde la evacuación deba ser hacia laderas de cerros de alta pendiente y no habitados, donde es difícil y poco justificada la construcción de calles vehiculares, evaluar la construcción de caminos peatonales que conecten con las zonas seguras. Estas vías y zonas seguras pueden habilitarse como miradores y caminos recreativos.

### 3.7.2 Vías de Evacuación Longitudinales.

#### a. TRAZADO.

Para definir cuáles serán las vías de evacuación longitudinales, se recomienda utilizar los siguientes criterios:

- Priorizar vías jerárquicas según el Plan Regulador Comunal, ya que éstas casi siempre presentan perfiles más anchos que las otras calles, lo que implica mayor capacidad de acoger personas evacuadas, y son en general más reconocibles por la población.
- Priorizar vías que conecten directamente las zonas afectadas por la amenaza de tsunami donde se concentre población, con vías ascendentes. La idea es que cada lugar que está dentro de amenaza de tsunami y deba evacuar, tenga cerca una vía longitudinal que conecte a las personas con la vía ascendente más cercana.

#### b. CARACTERÍSTICAS.

Lo más importante en las vías longitudinales es informar a la población en qué dirección está la vía ascendente más cercana. Para esto, debiera localizarse señalética informativa en las esquinas principales y fuera de aquellos programas que acogen población masiva.

Esta señalética puede ser complementada con pintado del pavimento en estos cruces, de manera de mejorar el reconocimiento de las vías ascendentes, y evitar el bloqueo de los cruces.

### 3.7.3 Nodos de Encuentro.

Se definen como todos aquellos puntos donde es necesario informar a la población evacuada de la dirección a seguir. En general, serán cruces donde las personas que están evacuando por una vía longitudinal deben tomar una ascendente. También es recomendable en aquellos puntos donde comienza una vía de evacuación, por ejemplo en playas.

Se recomienda instalar señalética en los nodos de encuentro donde se informe la localización de la zona segura más cercana, y la dirección a seguir.

### 3.7.4 Zonas Seguras.

El objetivo de definir zonas seguras delimitadas dentro del área fuera de riesgo, es asegurar la existencia de aquella infraestructura y servicios básicos para las personas evacuadas, para las horas inmediatamente posteriores al evento de emergencia. Será parte de los planes de emergencia estimar el tiempo para el cual están diseñadas las Zonas Seguras para albergar a la población evacuada, antes de movilizar a la población cuya vivienda fue dañada, hacia los albergues.

Según la Guía de tsunami de la Comisión Oceanográfica de la UNESCO, "La selección de una zona segura debe realizarse por su topografía y altura y fuera del área estimada de inundación. El sitio de evacuación debe poseer una capacidad suficiente tanto para la distribución como para la cantidad de viviendas evacuadas, ser accesible desde las vías de evacuación y tener un sistema de orientación para los evacuados. A menudo los sitios de evacuación empleados cuentan con escuelas, salones comunitarios, templos o santuarios, jardines infantiles y parques. Es preciso verificar que los sitios designados sean seguros y que resistan terremotos"<sup>4</sup>.

Estas zonas seguras debieran estar bajo la responsabilidad municipal, con la asesoría de la ONEMI, en períodos fuera de emergencia, asegurando su mantención y correcto funcionamiento de la infraestructura y servicios. En los eventos de emergencia, debiera quedar bajo la responsabilidad del Comité de Emergencia, que en conjunto con carabineros, inmediatamente después de dada la alerta de tsunami, velarán por la correcta organización e información de la población a medida que ésta vaya llegando a la zona segura.

#### A. DEFINICIÓN DE ZONAS SEGURAS

La metodología propuesta en el presente estudio, contempla una primera etapa donde se reconocen las áreas fuera de amenaza, dentro de las cuales se podría localizar una Zona Segura. Se determinaron las áreas fuera de amenazas según los siguientes criterios:

---

<sup>4</sup> PREPARACIÓN PARA CASOS DE TSUNAMI, Guía informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes. UNESCO. Septiembre 2008.

Criterios para definición de Áreas fuera de Amenaza	
Variable	Criterio
Pendiente	Zonas de baja pendiente (entre 0° - 8°)
Riesgo de tsunami	Zonas fuera cota máx de inundación tsunami peor escenario
Remoción en masa	Zonas sin amenaza de remoción en masa según modelación
Inundación fluvial	Zonas sin amenaza de inundación fluvial según modelación
Licuefacción	Zonas fuera de alto riesgo de licuefacción según modelación
Límites	Zonas dentro de límite de área de estudio

**Tabla 39. Criterios Áreas fuera de Amenaza Natural.**  
 Fuente: elaboración propia.

De las áreas fuera de amenaza, se determinan las zonas seguras entre aquellos terrenos que se presenten como más viables y seguros, según los siguientes criterios:

Criterios para definición de Zonas Seguras	
Variable	Criterio
Fuera de Amenaza	Dentro de Áreas fuera de amenaza
Factor de seguridad	Sobre cota 20m
Accesibilidad y conectividad	Se priorizan terrenos cercanos a vías estructurantes e integrados a trama urbana
Capacidad de Público	Terrenos de grandes dimensiones
Viabilidad	Se priorizan terrenos sin construcciones
Equipamiento	Se prioriza Cercanía a hospitales, comisarias, bomberos
Evacuación	Terrenos cercanos a construcciones en riesgo de tsunami
Viabilidad	Se priorizan terrenos de propiedad fiscal y/o área verde en PRC

**Tabla 40. Criterios definición Zonas de seguridad.**  
 Fuente: elaboración propia.

## B. CONDICIONES DE LAS ZONAS SEGURAS

### - Construcción y características generales.

- Deberá asegurarse que las construcciones localizadas en las zonas seguras sean resistentes a sismos.
- Deberán ser zonas cuya extensión asegure la cabida de la población evacuada.
- Idealmente, debieran localizarse en sectores conocidos por la población.
- Deberán contar con un acceso visible y expedito, libre de estacionamientos, que permita la entrada de gran cantidad de personas.

- **Comunicación.**

- Contar con la infraestructura que asegure una comunicación directa con autoridades responsables del Plan de Emergencia, a través de los sistemas de comunicaciones determinados en éste.
- Contar con los equipos necesarios para la correcta comunicación de información a la población evacuada (por ejemplo, altavoces o megáfonos).
- Las zonas seguras debieran estar dentro de la cobertura de antenas de telefonía celular.

- **Servicios básicos.**

- Autonomía de la red eléctrica.
- Asegurar la iluminación del lugar, de manera independiente de la red eléctrica general.
- Abastecimiento de agua potable, con una reserva suficiente para suplir las demandas de la población evacuada durante el tiempo máximo de estadía en la zona segura.
- Insumos de primeros auxilios.

**C. ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS CON POSIBILIDAD DE SER ZONA SEGURA**

Dado que las zonas seguras se utilizan como tales sólo en casos de eventos de emergencia, además de que deben estar en buen estado de mantención, es recomendable que se localicen en establecimientos de equipamientos comunitarios que puedan cumplir con este rol en casos de emergencia. Pueden ser de propiedad municipal o privada. En el segundo caso, debiera existir un acuerdo entre los propietarios y las autoridades locales de manera de que cumpla con todas las condiciones y se esté disponible en caso de emergencia. Ejemplos de equipamiento que pueden ser zonas seguras:

- Plazas y Estadios Municipales
- Equipamientos comunitarios
- Clubes deportivos
- Patios de escuelas
- Patios de iglesias

## 4 ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES PARA NORMATIVA LOCAL

### 4.1 Definición de Conceptos

El artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en adelante OGUC, establece el procedimiento y requisitos que deben cumplirse durante la elaboración del plan regulador con el objeto de definir diferentes tipos de zonas que se incluirán en las áreas de riesgo, además dicho artículo establece las condiciones aplicables para la aprobación de todo tipo de anteproyectos o permisos en dichas zonas.

Si bien las disposiciones de éste artículo se aplican para la elaboración tanto de los IPT de nivel Intercomunal o Metropolitano según corresponda como del Comunal debe tenerse presente que en el artículo 2.1.7. de la OGUC referido al Plan Intercomunal o Metropolitano se establece que *"mediante estudios de mayor detalle, los planes reguladores comunales podrán precisar o disminuir dichas áreas de riesgo y zonas no edificables."*

Para los efectos indicados el artículo 2.1.10. de la OGUC establece que el plan regulador comunal requiere la elaboración del "Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental" mediante el cual se deberá establecer áreas de restricción y las condiciones en que éstas pueden ser utilizadas de acuerdo a las disposiciones de los artículos 2.1.17. y 2.1.18. ambos de la OGUC.

Las condiciones y exigencias establecidas por las regulaciones indicadas generan obligaciones adicionales para los propietarios del suelo y se entiende que corresponden a requerimientos especiales para la ocupación de áreas en que existe un riesgo significativo para las actividades y edificaciones que allí se proyecten.

Siguiendo el espíritu de lo señalado el estudio y modelación de amenazas, que forma parte del estudio de riesgos del plan regulador comunal, permite identificar diferentes grados de amenazas que afectan a los territorios que forman parte del área sometida a la planificación urbana. En esta definición de amenazas se identifica áreas afectadas por amenazas que generan riesgos menores y leves como también aquellas afectas a riesgos mayores y extremos.

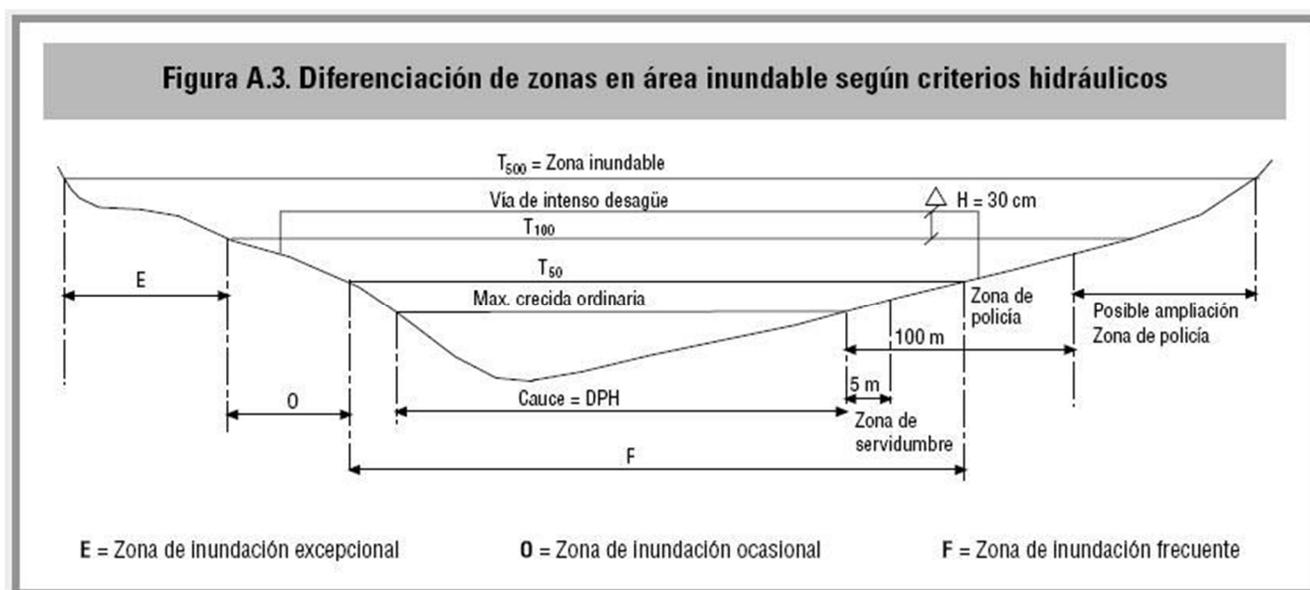
Conforme a los resultados de las diferentes modelaciones realizadas en los capítulos correspondientes de este estudio se han generado planos de amenazas de inundación, tsunami y remoción en masa que identifican las áreas que pueden ser afectadas por los fenómenos indicados con diferentes períodos de ocurrencia o tasas de retorno.

En consideración a estas áreas de retorno o probabilidad de ocurrencia del fenómeno y a la gravedad de los efectos de la amenaza, a continuación se propone diferenciar aquellas áreas que deben incluirse en la norma local como de riesgo y áreas que presentan amenazas de un menor riesgo.

Estas últimas, no necesariamente clasificadas como de riesgo, pueden ser sometidas a condiciones que se respaldan por atribuciones indicadas en diferentes artículos de la OGUC tales como limitar los proyectos excluidos de presentar proyecto de cálculo estructural en el artículo 5.1.7., aplicar exigencias establecidas en el artículo 5.1.15. relacionado con un informe sobre calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas que se adoptarán, o en el artículo 5.7.13. sobre proyectos en terrenos húmedos, o en los que existan aguas subterráneas a poca profundidad.

#### 4.2 Áreas con amenazas de inundación y potencialmente inundables.

Con el propósito de fijar criterios de regulación cuya aplicación sea gradual de acuerdo al grado de amenaza a que se encuentra sometido el lugar y concordante con los términos del marco normativo vigente que diferencia dos niveles, a saber para amenazas de inundación, inundables y potencialmente inundables se han adoptado los criterios hidráulicos expresados en el siguiente gráfico extraído de DOLLING, OSCAR R. 2006<sup>5</sup>.



**Figura 38. Criterios Hidráulicos.**  
**Fuente: DOLLING, OSCAR R, 2006.**

Con arreglo a la imagen anterior; el cauce, que es Bien Nacional de Uso Público conforme al ordenamiento jurídico y consecuentemente corresponde a una zona no edificable, es el área que es ocupada por las aguas en sus creces periódicas (ordinarias). Para la determinación de éstas el Ministerio de Bienes Nacionales (DS 609/78 - art. 4 c) las define complementariamente al establecer que: "Se considerarán creces extraordinarias, aquellas de rara ocurrencia y que se deban a causas no comunes, producidas sin regularidad, durante períodos, en general, mayores de cinco años." Como consecuencia de éstas definiciones se entiende que el cauce se define como el área ocupada por las aguas en las crecidas máximas registradas en periodos de cinco años (TR=5 años).

5 DÖLLING OSCAR R, *seminario de postgrado - Diha – 2006*, Ingeniería DICTUC Pontificia Universidad Católica de Chile.

Para las áreas amenazadas por crecidas extraordinarias, es decir que se sucedan con tasas de retorno de más de 5 años, se propone adoptar para la definición de zonas inundables que éstas corresponden a áreas con amenaza de inundación en periodos con una TR=25 años, y como área potencialmente inundable áreas que se encuentran con amenaza de inundación en periodos TR=100 años.

Las zonas inundables conforme a lo señalado son aquellas que se encuentran amenazadas por crecidas de cauces con tasa de retorno TR=25 años y adicionalmente por amenazas que generan riesgos de mayor magnitud como consecuencia de crecidas que afectan a zonas potencialmente inundables. Como consecuencia de lo indicado sobre dichas áreas, sin perjuicio de establecer la obligación de aplicar las disposiciones y procedimientos indicados en el artículo 2.1.17. de la OGUC, se propone fijar restricciones para los usos de suelo permitidos. Para estos efectos, de fijar los usos excluidos, se propone seguir el criterio de clasificación por categoría de ocupación<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Tabla 4.1 Categoría de Ocupación de edificios y otras estructuras

**Categoría de Ocupación I:**

Edificios y otras estructuras aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las Categorías de Ocupación II, III y IV que representan un bajo riesgo para la vida humana en el caso de falla, incluyendo, pero no exclusivamente:

- 1 Instalaciones agrícolas.
- 2 Ciertas instalaciones provisorias.
- 3 Instalaciones menores de almacenaje.

**Categoría de Ocupación II:**

Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las Categorías de Ocupación I, III y IV, y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las Categorías de Ocupación I, III y IV.

**Categoría de Ocupación III:**

Edificios y otras estructuras cuyo contenido es de gran valor, incluyendo, pero no exclusivamente: bibliotecas; museos. Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente:

- Salas destinadas a asambleas para 100 o más personas;
- Estadios y graderías al aire libre para 2000 o más personas;
- Escuelas, parvularios y recintos universitarios;
- Cárceles y lugares de detención;
- Locales comerciales con una superficie mayor o igual que 500 m<sup>2</sup> por piso, o de altura mayor que 12 m;
- Centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total mayor que 3000 m<sup>2</sup> sin considerar la superficie de estacionamientos.

Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de Ocupación IV (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen cantidades suficientes de sustancias peligrosas para el público en caso que se liberen. Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II si se demuestra satisfactoriamente ante la Autoridad Competente mediante una estimación del riesgo, según NCh3171, que la liberación de la sustancia peligrosa no presenta una amenaza para el público.

**Categoría de Ocupación IV:**

Edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, incluyendo, pero no exclusivamente:

- Cuarteles de policía;
- Centrales eléctricas y telefónicas;
- Correos y telégrafos;
- Radioemisoras;
- Canales de televisión;

establecido en las normas sobre edificaciones sismo resistentes (NCH 433 – 1996) fijando así una prohibición a las ocupaciones y edificaciones descritas en las categorías III y IV.

Adicionalmente para las edificaciones y como medida complementaria a las obras de mitigación y contención de cauces que se originen en los estudios fundados que deben elaborarse es recomendable establecer coeficientes de ocupación de suelo bajas con la finalidad de no generar aumentos en la altura de las aguas.

Como zonas potencialmente amenazadas por inundación, que no corresponderían a áreas de riesgo, se incluyen las áreas amenazadas por presencia de quebradas y cursos de agua no canalizados. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos corresponden a quebradas y cursos de agua que son parte del sistema de drenaje de la cuenca y que son ocupadas por las aguas frecuentemente.

Con el mismo carácter de zona potencialmente amenazada por inundación se considera las áreas ocupadas por crecidas de cauces (TR=100 años). Para las zonas indicadas se propone incluir, entre las condiciones urbanísticas que corresponden a las zonas del plan regulador afectadas por éstos fenómenos, las disposiciones del artículo 5.1.15. que hace exigible para la solicitud de permiso de edificación un informe sobre calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas de protección que se adoptarán en su caso.

Se incluye en esta categoría de potencialmente amenazadas por inundación las áreas con presencia de napas freáticas superficiales, sobre las cuales se propone incluir entre las condiciones urbanísticas fijadas a la zona del plan regulador las exigencias establecidas en el artículo 5.7.13 de la OGUC.

#### **4.3 Áreas con amenaza de ser afectada por Tsunami.**

Las definiciones indicadas de acuerdo a la periodicidad o frecuencia con que se puede producir la amenaza se han aplicado también a las amenazas de Tsunami.

Se observa que el último gran sismo de carácter tsunamigénico ocurrido en la zona central corresponde al terremoto de 1906, de una magnitud estimada entre 8.5 y 8.6 Mw, y que causó daños en Valparaíso. Tanto éste como el terremoto de 27 de febrero de 2010 presentaron largos de ruptura de aproximadamente 500km en la dirección norte-sur (PRDW-AV, 2011). Adicionalmente, los registros indican una baja actividad sísmica reciente entre las regiones de

---

- Plantas de agua potable y de bombeo.

Edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, incluyendo, pero no exclusivamente:

- Hospitales;
- Postas de primeros auxilios;
- Cuarteles de bomberos;
- Garajes para vehículos de emergencia;
- Estaciones terminales.

Valparaíso y Coquimbo, lo que indicaría la presencia de una eventual “laguna sísmica” en la zona central de Chile (PRDW-AV, 2011).

Sobre la base de estos antecedentes, se propuso un sismo de diseño que considera una ubicación correspondiente a la zona donde se espera un gran terremoto en los próximos 100 años, entre San Antonio y La Serena. Adicionalmente, se considera un segundo caso que consiste en una sensibilización sobre la magnitud del deslizamiento de la falla para obtener un sismo de mayor magnitud (PRDW-AV, 2011). Los parámetros de falla de ambos sismos de diseño se detallan en el informe de modelación pertinente.

En consideración a los graves efectos que pueden ser originados por un Tsunami en los escenarios modelados se propone que para el desarrollo de actividades y construcciones en las áreas amenazadas por este tipo de fenómenos se consideren éstas como áreas de riesgo y se aplique las disposiciones y procedimientos indicados en el artículo 2.1.17. de la OGUC. Adicionalmente, en consideración al riesgo que se produce sobre actividades y edificaciones, se considera pertinente establecer restricciones a usos de suelo prohibiéndose los usos de suelo incluidos en las categorías III y IV. El área que quedaría sometida a dichas regulaciones corresponde al escenario de mayor intensidad, que corresponde a la condición que se aplica también para el diseño de estructuras.

Conforme a los informes de los expertos, la ocupación de suelo por edificaciones e instalaciones en estas áreas genera un efecto sobre la ola haciendo que la altura de ésta se aumente produciendo, en consecuencia, otros efectos sobre las áreas inundadas.

#### **4.4 Áreas con amenaza de remoción en masa.**

La modelación de la amenaza indicada identifica áreas en que la probabilidad de ocurrencia de éste fenómeno natural es frecuente, entre 5 y 10 años, y otras áreas más extensas y que afectan a diversas zonas del plan regulador en que el fenómeno es de ocurrencia menos frecuente, sobre 20 años.

En consideración a los riesgos que se origina por este fenómeno se propone incluir como zona en área de riesgo aquellos territorios en que la TR sea igual a 10 años o menos, y para el resto del territorio afectado por un riesgo menor se genere condiciones en las zonas pertinentes del plan regulador haciendo exigible el informe indicado en el artículo 5.1.15. de la OGUC.

Para la mitigación de la amenaza se debería considerar el empleo de plantaciones mediante arborización con especies nativas y en las faenas constructivas remover un bajo porcentaje del suelo. La consideración de lo señalado hace recomendable restringir la subdivisión del suelo y autorizar coeficientes de ocupación de suelo bajos.

La aplicación de los criterios indicados genera conceptualmente la siguiente tipología de zonas que forman parte de las “Áreas de Riesgo” que deberían contemplarse en el Plan Regulador.

### Tipo de áreas de riesgo:

- 1 Zonas inundables o potencialmente inundables.
  - 1.1 Zonas inundables por cercanía a cauces permanentes. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos son amenazadas de inundación por las aguas de los cauces permanentes en crecidas frecuentes con una TR 25 años.
  - 1.2 Zonas inundables por Tsunami. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos se encuentran amenazadas de ser afectadas por salidas de mar ante un sismo de intensidad de severa magnitud.
- 2 Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
  - 2.1 Zonas con amenaza de remoción en masa cuya frecuencia de ocurrencia es de 10 años o menos.
- 3 Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas. En el caso en estudio no se identifican.

Complementariamente se generan condiciones aplicables en diferentes zonas del plan regulador que tienen una baja probabilidad de ser afectadas por fenómenos que generan riesgos menores o leves, en que se reconocen los siguientes casos.

### Tipos de áreas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales.

- 4 Potencialmente amenazadas por fenómenos naturales.
  - 4.1 Zonas potencialmente amenazadas por inundación por presencia de quebradas y cursos de agua no canalizados. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos corresponden a quebradas y cursos de agua que son parte del sistema de drenaje de la cuenca y que son ocupadas por las aguas frecuentemente.
  - 4.2 Zonas potencialmente amenazadas por inundación por cercanía a cauces permanentes. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos son ocupadas ocasionalmente por las aguas de los cauces permanentes con una TR 100 años.
  - 4.3 Zonas potencialmente amenazadas por inundación por presencia de napas freáticas superficiales.
  - 4.4 Potencialmente amenazadas por remoción en masa.

#### **4.5 Clasificación sísmica de suelos.**

La metodología utilizada en este estudio ha permitido definir, en forma preliminar y aproximada, zonas de la localidad con distinta clasificación sísmica, utilizando la denominación dada en la norma NCh433, Oficial 1996, Modificada 2009.

Sin perjuicio de haber realizado esta zonificación de acuerdo a los antecedentes disponibles ello constituye una información orientadora que no exime del cumplimiento de las normas vigentes entre otras, Nch1508. Of 2008 relativa a Mecánica de suelos para la elaboración de Proyectos de Cálculo Estructural y norma Nch433 relativa al Cálculo Estructural.

La clasificación permite identificar zonas con suelos de calidades III y IV en que se estima complejo autorizar edificaciones que conforme al artículo 5.1.7. de la OGUC no requieren ejecutarse conforme a un proyecto de cálculo estructural, elaborado y suscrito por un profesional competente. Al respecto es recomendable exigir para los proyectos referencia que se localicen en áreas con las calidades de suelo III y IV el cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 5.7.18 de la OGUC esto es, efectuar “un reconocimiento del suelo para determinar el tipo de fundación, la profundidad más conveniente y la carga unitaria admisible”.

Adicionalmente, conforme a las recomendaciones del presente estudio, en estos casos se estima que las exigencias dispuestas en el Capítulo 6 del Título 5 de la OGUC y por tanto se debiera exigir un proyecto de cálculo simplificado en que no sería necesario justificar la clasificación sísmica del sitio y para el diseño estructural se debería considerar la condición más desfavorable de tipo de suelo de acuerdo a un reconocimiento de éste conforme a lo expresado en el párrafo anterior. Consecuentemente, el análisis sísmico se deberá realizar mediante el método estático, utilizando el coeficiente sísmico máximo para el tipo de suelo que sea más desfavorable. Para implementar lo señalado se requeriría una complementación del artículo 5.7.18 de la OGUC.

## **4.6 Aplicación de conceptos**

### **4.6.1 Normas generales sobre áreas de riesgo y áreas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales.**

Artículo X1 Las zonas que pertenecen a áreas de riesgo son aquellas afectadas por amenazas significativas y son las señaladas en el artículo 26 de la presente ordenanza.

Artículo X2 En las áreas de riesgo por amenaza de inundación o Tsunami se prohíbe los usos y edificaciones de la categoría A establecida por la norma Nch 433 de 1996.

Para la aprobación de anteproyectos o permisos localizados en las zonas de riesgo antes señaladas y que se indican en el artículo 27 de la presente Ordenanza el interesado deberá acompañar la solicitud correspondiente de un estudio fundado que defina las acciones de mitigación elaborado conforme a las disposiciones de la OGUC.

Artículo X3 En las zonas indicadas en el artículo 27 de la presente ordenanza que corresponden a áreas de riesgo por amenazas de remoción en masa, para la aprobación de anteproyectos o permisos, el interesado deberá acompañar la correspondiente solicitud de un estudio fundado que defina las acciones de mitigación elaborado conforme a las disposiciones de la OGUC.

Artículo X4 Las áreas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales son aquellas que corresponden a cauces de quebradas, a áreas potencialmente amenazadas de remociones en masa o a áreas potencialmente amenazadas a inundación por presencia de napas freáticas superficiales. Los trazados de quebradas, áreas de amenazadas por potenciales remociones en

masa y áreas potencialmente amenazadas por inundación por presencia de napas freáticas superficiales según corresponda se grafican en el plano.

Artículo X5 Para la aprobación de anteproyectos o de permisos en terrenos ubicados parcial o totalmente en quebradas el interesado deberá incluir en las correspondientes solicitudes un informe sobre calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas de protección que se adoptarán en su caso conforme a la OGUC.

Artículo X6 Los proyectos que conforme a la OGUC no requieren un proyecto de cálculo estructural y que se proyecten en las zonas potencialmente amenazadas por fenómenos de remoción en masa que se indican en el artículo 27 de la presente ordenanza deberán incluir el informe sobre calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas de protección que se adoptarán en su caso conforme a la OGUC.

Artículo X7 En las zonas potencialmente amenazadas de inundación por cercanía a cauces permanentes indicadas en el artículo 27 de la presente ordenanza para la aprobación de anteproyectos o de permisos el interesado deberá incluir en las correspondientes solicitudes los informes sobre la calidad del subsuelo o sobre posibles riesgos provenientes de las áreas circundantes y las medidas que se adoptarán de acuerdo a lo señalado por la OGUC.

Artículo X8 En las zonas potencialmente amenazadas de inundación por presencia de napas freáticas superficiales indicadas en el artículo 27 de la presente ordenanza para la aprobación de anteproyectos o de permisos el interesado deberá incluir en las correspondientes solicitudes el informe sobre medidas adoptadas para impedir que la humedad ascienda por los muros de los edificios o que el agua socave las fundaciones de acuerdo a lo señalado en la OGUC.

Artículo X9 La autorización de rebajes de terreno en predios que presenten pendientes promedio superiores al 20% se otorgará mediante permiso de obra menor.

Para solicitar los permisos indicados en el inciso anterior el interesado deberá acompañar un informe elaborado por un profesional competente en que cuando corresponda se señale los refuerzos estructurales necesarios para mitigar riesgos de remoción de suelo.

Artículo X10 Para la construcción de edificios que conforme a la OGUC no requieran proyecto de cálculo estructural elaborado por un profesional competente y que se localicen en zonas con suelo de calidad III o IV de acuerdo al Estudio de Riesgos, el Director de Obras exigirá efectuar un reconocimiento del suelo para determinar el tipo de fundación, la profundidad más conveniente y la carga unitaria admisible.

Modificar el artículo 26 conforme se indica a continuación.

Cambiar denominación del párrafo "C. ÁREAS DE RIESGO, RESTRICCIÓN Y ESPECIALES" pasando a ser párrafo "D: ÁREAS DE RESTRICCIÓN Y ESPECIALES".

Eliminar en el actual párrafo C la zona ZP 2.

Insertar a continuación del párrafo B un nuevo párrafo “C. ÁREAS DE RIESGO Y ÁREAS POTENCIALMENTE AMENAZADAS POR FENÓMENOS NATURALES”.

Insertar las siguientes zonas en el nuevo párrafo C:

- 1 Zonas inundables o potencialmente inundables.
  - 1.1 Zonas inundables por cercanía a cauces permanentes.
  - 1.2 Zonas inundables por Tsunami.
- 2 Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
  - 2.1 Zonas con amenaza de remoción en masa.
- 3 Zonas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales.
  - 3.1 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por cercanía a cauces permanentes.
  - 3.2 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por quebradas.
  - 3.3 Zonas potencialmente amenazadas por remoción en masa.
  - 3.4 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por napas freáticas superficiales.

Modificar el actual artículo 27 conforme se indica a continuación.

Cambiar denominación del párrafo “ÁREAS DE RIESGO, DE PROTECCIÓN Y ESPECIALES” por “ÁREAS DE RIESGO Y ÁREAS POTENCIALMENTE AMENAZADAS POR FENÓMENOS NATURALES”.

Insértense las siguientes zonas que forman parte del nuevo párrafo “ÁREAS DE RIESGO Y ÁREAS POTENCIALMENTE AMENAZADAS POR FENÓMENOS NATURALES”.

- 1 Zonas inundables o potencialmente inundables.
  - 1.1 Zonas inundables por cercanía a cauces permanentes. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos son amenazadas de inundación por las aguas de los cauces permanentes en crecidas frecuentes con una TR 25 años y que se grafican en el Plano.

Los proyectos que den cumplimiento al artículo X2 de la presente ordenanza podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Usos de suelo permitidos.

Equipamiento de las clases comercio, deporte y esparcimiento

Infraestructura

Espacio Público

Área Verde

### Usos de suelo prohibidos.

Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente: salas destinadas a asambleas para 100 o más personas; estadios y graderías al aire libre para 2.000 o más personas; locales comerciales con una superficie mayor o igual que 500 m<sup>2</sup> por piso, o de altura mayor que 7 m; centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total mayor que 3.000 m<sup>2</sup> sin considerar la superficie de estacionamientos.

Edificaciones destinadas instalaciones o edificaciones de infraestructura.

### Condiciones de subdivisión y edificación.

Superficie. Predial Mínima	Coficiente de Constr.	Coficiente Ocupación Suelo	Rasante	Altura máx edificable	Ante jardín.	Distancia-miento	Adosamiento
500 m <sup>2</sup>	0,2	0,1	OGUC	7 m.	5 m.	OGUC	OGUC

1.2 Zonas inundables por Tsunami. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos se encuentran amenazadas de ser afectadas por salidas de mar ante un sismo de intensidad de severa magnitud se desglosan en las siguientes sub zonas (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos):

#### 1.2.1 Sub zona Puerto inundable por Tsunami.

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Transcribir normas “Zona Portuaria” con las siguientes consideraciones: prohibir usos tales como infraestructura energética y telecomunicaciones y actividades de equipamientos de las clases salud y seguridad.

Respecto de las normas de edificación es recomendable revisar la ocupación de suelo.

#### 1.2.2 Sub zona Equipamiento Comercial inundable por Tsunami.

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Transcribir normas “Zona Equipamiento Comercial” con las siguientes consideraciones: prohibir usos tales como actividades de equipamientos de las clases educación, salud y seguridad.

Respecto de las normas de edificación es recomendable revisar la ocupación de suelo, eliminar o reducir las áreas con edificación continua y bajar las densidades máximas a 200 hab/há.

1.2.3 Sub zona Industrial 1 inundable por Tsunami.

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Transcribir normas “Zona Industrial 1” con las siguientes consideraciones: prohibir usos tales como infraestructura energética y telecomunicaciones y actividades de equipamiento de la clase educación.

Respecto de las normas de edificación es recomendable revisar la ocupación de suelo.

1.2.4 Sub zona Deportes y Recreación inundable por Tsunami.

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Transcribir normas “Zona Deportes y Recreación” y establecer entre las actividades prohibidas los estadios y graderías al aire libre para 2.000 o más personas que forman parte del equipamiento de la clase deporte.

1.2.5 Sub zona Especial 4 inundable por Tsunami.

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Transcribir normas “Zona Especial 4”; prohibir actividades que corresponden a equipamiento de salud y seguridad.

1.2.6 Sub zona inundable por Tsunami. (parte de actual zona Residencial 3)

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X2 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

Usos de suelo permitidos.

Equipamiento de las clases comercio, deporte y esparcimiento

Infraestructura

Espacio Público

Área Verde

### Usos de suelo prohibidos.

Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente: salas destinadas a reuniones para 20 o más personas; estadios y graderías al aire libre para 200 o más personas; locales comerciales con una superficie mayor o igual que 100 m<sup>2</sup> por piso, o de altura mayor que 3,5 m; centros comerciales de todo tipo.

Edificaciones destinadas instalaciones o edificaciones de infraestructura.

### Condiciones de subdivisión y edificación.

Superficie. Predial Mínima	Coficiente de Constr.	Coficiente Ocupación Suelo	Rasante	Altura máx edificable	Ante jardín.	Distancia-miento	Adosamiento
500 m <sup>2</sup>	0,1	0,1	OGUC	3,5 m.	5 m.	OGUC	OGUC

## 2 Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

2.1 Zonas con amenaza de remoción en masa corresponden a áreas en que la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos es cada 10 años o menos (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos).

Los proyectos que den cumplimiento cuando corresponda a las condiciones indicadas en los artículos X3 y X9 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

### Usos de suelo permitidos.

Vivienda

Equipamiento de las clases comercio, deporte y esparcimiento

Infraestructura

Espacio Público

Área Verde

### Usos de suelo prohibidos.

Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente: salas destinadas a reuniones para 20 o más personas; estadios y graderías al aire libre para 200 o más personas; locales comerciales con una

superficie mayor o igual que 100 m<sup>2</sup> por piso, o de altura mayor que 3,5 m; centros comerciales de todo tipo.

Edificaciones destinadas instalaciones o edificaciones de infraestructura.

Condiciones de subdivisión y edificación.

Superficie. Predial Mínima	Coficiente de Constr.	Coficiente Ocupación Suelo	Rasante	Altura máx edificable	Ante jardín.	Distancia-miento	Adosamiento	Densidad máxima
5000 m <sup>2</sup>	0,1	0,2	OGUC	7 m.	5 m.	OGUC	OGUC	60 hab/ha

### 3 Zonas potencialmente amenazadas por fenómenos naturales.

- 3.1 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por cercanía a cauces permanentes. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos son ocupadas ocasionalmente por las aguas de los cauces permanentes con una TR 100 años (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos).

(Corresponde a parte de la Zona Residencial 3 situada adyacente al río Maipo).

En esta sub zona los proyectos que den cumplimiento a lo señalado en el artículo X7 de la presente ordenanza, podrán acceder a las siguientes normas urbanísticas.

(Transcribir normas de “Zona Residencial 3”)

- 3.2 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por quebradas. Son aquellas áreas que conforme al estudio de riesgos corresponden a quebradas y cursos de agua que son parte del sistema de drenaje de la cuenca y que son ocupadas por las aguas (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos). Los anteproyectos o proyectos que cumplan con las condiciones del artículo X5 y del artículo X9 cuando corresponda podrán acceder a las normas urbanísticas señaladas para la zona del plan regulador a la que se superpone la zona indicada.
- 3.3 Zonas potencialmente amenazadas por remoción en masa. Son aquellas áreas en que la probabilidad de ocurrencia de éste fenómeno natural es eventual (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos). Los anteproyectos o proyectos que cumplan con las condiciones del artículo X6 y del artículo X9 cuando corresponda podrán acceder a las normas urbanísticas señaladas para la zona del plan regulador a la que se superpone la zona indicada.

- 3.4 Zonas potencialmente amenazadas a inundación por napas freáticas superficiales. Son aquellas áreas en que la napa freática se encuentra a baja profundidad (considerar como ejemplo Mapas de Consolidado de Amenazas y Potenciales Amenazas – ver Anexos). Los anteproyectos o proyectos que cumplan con las condiciones del artículo X8 podrán acceder a las normas urbanísticas señaladas para la zona del plan regulador a la que se superpone la zona indicada.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- DÖLLING OSCAR R. *Seminario de postgrado - Diha – 2006* , Ingeniería DICTUC Pontificia Universidad Católica de Chile.
- FEMA. N.D. *Homeowner's guide to landslide recognition, prevention, control and mitigation.*
- FEMA. 2005. *Coastal Construction Manual.* Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C
- FEMA. 2008. *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis.* Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C
- GRUNDY, P. 2007. *Strategies for disaster risk reduction on coasts.* International forum on engineering decision making, Australia.
- HAUSER, A. 1993. *Remociones en masa en Chile.* Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 45.
- 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.
- MACHAN, G. 2006. *Landslide Mitigation. 34<sup>th</sup> Symposium on Engineering Geology and Geotechnical Engineering.*
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.*
- MUNICIPALIDAD DE SAN ANTONIO, 2006. *Plan Regulador Comunal.*
- NORMA CHILENA NCh 1508c.2008, Mecánica de suelos y fundaciones.
- NTHMP. 2001. *Designing for Tsunamis. Seven Principles for Planning and Designing for Tsunami Hazards.*
- PDC (Pacific Disaster Center). N.D. *Homeowners landslide guide for landslide control hillside flooding debris flows soil erosion.*
- PRDW-AV. 2011. *Estudio de la Propagación Regional de Tsunamis basados en el Evento de 1730.*
- SHUTO, N. 1994. *Building damage evaluation for the 1993 Okushiri tsunamis,* Tsunami Engineering Technical Report No.11, DCRC, Tohoku University, 11-28 (in Japanese).
- UNESCO, 2008. *Preparación para casos de Tsunami, Guía informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes.*
- USGS. 2000. *National Landslide Hazards Mitigation Strategy: a framework for loss reduction.*
- WINCKLER, P., Reyes, M. y Contreras, M. 2010. *Recomendaciones de diseño de obras marítimas y terrestres sometidas a cargas de tsunami.* Universidad de Valparaíso.
- YEH, H., Robertson, I. y Preuss, J. 2005. *Development of design guidelines for structures that serve as tsunami vertical evacuation sites.* Washington State Department of National Resources.