



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA DE GEOGRAFÍA**

**ESTUDIO ÁREAS DE RIESGO GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA URBANA Y  
DE EXPANSIÓN DE LA COMUNA DE SAN ANTONIO, V REGIÓN.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
GEÓGRAFO**

**CLAUDIO FELIPE GONZÁLEZ FLORES.  
Autor**

**MARÍA VICTORIA SOTO.  
Profesora Guía**

**Santiago, Chile 2005.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme vivir y disfrutar de la vida.

A los pilares fundacionales de mi vida Víctor Israel y Rosa Ester, mis Padres. A mis hermanos y hermanas que han soportado mis ánimos en todo este periodo, especialmente a Pedro, gracias por el apoyo incondicional. A ellos mis mejores deseos.

A mis compañeros de siempre Erick Wiederhold y Juan Pablo Armisen, por su ayuda prestada en este proyecto y los muchos que vendrán. A Silvia Gómez por el apoyo brindado y a todos los compañeros de la generación del 98.

A las personas del Departamento de Obras de la I. Municipalidad de San Antonio, por su apoyo desde el inicio de mi Práctica Profesional, acogiéndome e integrándome al que hacer de la DOM, especialmente a Don Claudio Padilla Villarroel y su equipo.

Muy especialmente quiero agradecer al equipo de trabajo de la Unidad del Sistema de Información Geográfica, con quienes actualmente trabajo, Rosita González, Don Arturo Sepúlveda gracias por el apoyo brindado en estos tres últimos años. Agradecer también a Milton Vidal por su Amistad y apoyo informático en todo momento y al reciente Esteban Mesa. A todos ellos mis sinceros agradecimientos.

Finalmente agradecer el apoyo brindado a los Profesores de la Escuela de Geografía María Victoria Soto, Enrique Zarate, para el desarrollo de este trabajo y a los funcionarios de la Facultad que me apoyaron en todo el periodo de estudio.

**SINCERAMENTE GRACIAS A TODOS**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulos		Paginas
1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Área de Estudio	8
1.2	Planteamiento del problema	8
1.3	Objetivos	10
2	ESTADO DEL ASUNTO	12
2.1	Formación del relieve costero	12
2.2	Los procesos geodinámicos y los riesgos geomorfológicos	16
2.3	Riesgos naturales: Amenazas y Vulnerabilidad	20
3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	24
3.1	Pasos metodológicos	27
4	RESULTADOS	28
4.1	Análisis Físico	28
4.1.1	Análisis Geológico	28
4.1.2	Análisis Geomorfológico	34
4.1.3	Análisis de los Suelos	41
4.1.4	Análisis de las Precipitaciones	49
4.1.5	Análisis de la Hidrología	53
4.2	Síntesis de los resultados	62
4.3	Generación de las unidades homogéneas y localización de los lugares con riesgos geomorfológicos potenciales.	65
4.4	Fichas de observación de los procesos de remoción en masa e inundación a escala local	69
5	DISCUSIÓN	87
6	CONCLUSIONES	90
7	BIBLIOGRAFÍA	92

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura nº 1: Ciudad de San Antonio y Alrededores.	11
Figura nº 2: Tipos de Flujos.	18
Figura nº 3: Tipos de Deslizamientos.	19
Figura nº 4: Mapa Geológico de San Antonio.	29
Figura nº 5: Amplificación sísmica por zonas de la ciudad de San Antonio.	33
Figura nº 6: Carta Geomorfológica de San Antonio.	37
Figura nº 7: Modelo de elevación de las terrazas marinas de la ciudad de San Antonio.	38
Figura nº 8: Mapa de Pendientes.	39
Figura nº 9: Carta de suelos.	47
Figura nº 10: Cartografía de los Grupos Hidrológicos.	48
Figura nº 11: Hidrología de la Comuna de San Antonio.	55
Figura nº 12: Cuenca del Estero Arévalo.	57
Figura nº 13: Unidades homogéneas y Localización de los lugares con riesgo geomorfológico.	68

## **INDICE DE CUADRO**

Cuadro nº 1: Cronología de los niveles de terrazas marinas para Chile semiárido.	14
Cuadro nº 2: Incrementos de intensidad sísmicas por efecto de la calidad del suelo y pendiente del terreno.	32
Cuadro nº 3: Incremento de las intensidades sísmicas por efecto de la napa freática.	32



Cuadro nº 4: Incremento de intensidades sísmica por efecto de la estratigrafía.	32
Cuadro nº 5: Umbrales de Pendientes en la Manifestación de Procesos Morfodinámicos.	36
Cuadro nº 6: Precipitaciones mensuales y total anual en la ciudad de San Antonio, para el año 2002.	49
Cuadro nº 7: Cuenca Estero San Juan.	54
Cuadro nº 8: Cuenca Estero El Sauce.	56
Cuadro nº 9: Cuenca del Estero Arévalo y sus Quebradas urbanas.	57
Cuadro nº 10: Tiempo de concentración de las subcuencas.	59
Cuadro nº 11: Caudales de crecidas en m <sup>3</sup> /s y las precipitaciones asociadas en mm/24 hrs, según los periodos de retorno en años.	60
Cuadro nº 12: Generación de sedimentos.	60
Cuadro nº 13: Características morfométricas de las cuencas en la comuna de San Antonio.	61

## **INDICES DE GRAFICOS**

Grafico nº 1: Superficies de las series de suelo.	45
Grafico nº 2: Intensidad de las precipitaciones en horas.	51
Grafico nº 3: Intensidad de las precipitaciones en minutos.	51
Grafico Nº 4: Precipitaciones según periodo de retorno.	52

## RESUMEN

El presente trabajo aborda el tema de la definición de los sectores con riesgos geomorfológicos en la ciudad de San Antonio y su zona de expansión. Busca identificar áreas vulnerables frente a los riesgos geomorfológicos, a través del análisis de las variables físicas como la Geología, Geomorfología, Suelos, Hidrología y precipitaciones. Se analiza la geodinámica externa y sus procesos de remoción en masa asociados, mediante la integración cartográfica de las variables antes descritas y las coberturas urbanas.

Se generaron fichas de observación especialmente para el trabajo en terreno. Se catastraron 17 sectores bajo amenazas de procesos geodinámicos, 14 de los cuales se localizan dentro del área urbana. Se concluye que la ciudad de San Antonio presenta condiciones que favorecen el desarrollo de procesos geodinámicos amenazantes, como los sistemas vertientes – talwegs (quebradas) asociados y depósitos dunarios en laderas de fuerte pendiente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad Puerto de San Antonio, presenta un relieve compuesto principalmente por unidades cuaternarias. Es posible distinguir terrazas marinas, formaciones dunarias y elementos propios de la tectónica, como las gargantas epigénicas y escarpes entre los niveles de terrazas.

Estos elementos geomorfológicos presentan limitaciones al desarrollo urbano, en la medida que este no tome en cuenta las particularidades del relieve. Es así como en el área urbana consolidada se presentan sectores vulnerables a fenómenos geodinámicos, generando áreas de riesgos geomorfológicos.

En este sentido se aborda el estudio del territorio con una visión dinámica y en constante evolución, centrando la discusión en la geodinámica externa, los procesos de remoción en masa asociados y los potenciales riesgos presentes en la ciudad de San Antonio.

Para ello se describen los diferentes tipos de fenómenos naturales capaces de transformarse en amenazas y generar condiciones de riesgo en la ciudad. Se analizan las precipitaciones especialmente su intensidad, ya que es el principal agente desencadenador de los procesos geodinámicos en laderas de fuerte pendiente.

Es importante conocer el comportamiento hidrológico de los cauces principales y secundarios de carácter urbano, variable que está en directa relación con las precipitaciones, desencadenando inundaciones en los sectores bajos de la ciudad.

Se presenta una descripción y análisis de los componentes físicos como la geología, geomorfología y suelos del área de estudio, con el objetivo de definir la localización y cuantificación de los sectores con potenciales riesgos geomorfológicos.

## **1.1 ÁREA DE ESTUDIO**

La comuna de San Antonio es la capital de la Provincia de San Antonio, la cual se localiza al sur oeste de la Región de Valparaíso. La ciudad de San Antonio limita por el sur con la comuna de Santo Domingo, siendo la divisoria natural el río Maipo, principalmente su desembocadura, por el norte limita con la ciudad de Cartagena (fig. 1).

La población comunal según el Censo del 2002 alcanza a 87.205 habitantes, correspondiendo el 95.68% a la población urbana y el restante 4.32% a la población rural.

La ciudad de San Antonio presenta aproximadamente un área urbana consolidada de 16,817 Km<sup>2</sup>, mientras el área urbana propuesta por el Plan Regulador Comunal de San Antonio (en etapa de aprobación), abarca 43,326 Km<sup>2</sup>.

El gran porcentaje de población urbana y las proyecciones de crecimiento de la ciudad, justifica un estudio del medio físico orientado a la definición de áreas de riesgo geomorfológico.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las ciudades tienen estrechas relaciones con las condiciones del sitio sobre las que se emplazan, provocando una serie de impactos identificables y cuantificables, destacando la geomorfología de las áreas costeras (Manríquez, 1997).

La condición en el sistema económico chileno de las ciudades puertos es privilegiada, proyectándose una importante demanda territorial, lo que se refleja en los instrumentos de planificación territorial comunal, que triplica el área urbana consolidada.

En este sentido, el incremento de las actividades portuarias, industriales y el crecimiento urbano en la comuna de San Antonio, ha implicado una demanda y competencia de espacio por las actividades propias del equipamiento urbano (servicios públicos comerciales, residenciales, esparcimiento, entre otras), y las actividades industriales y portuarias.

Es así como la Ciudad de San Antonio se ha expandido fundamentalmente sobre formaciones dunarias y terrazas marinas escalonadas, alcanzando los 200 m.s.n.m. en la terraza alta. Entre estos niveles de terrazas destaca la fuerte incisión del relieve a través de gargantas epigénicas, formando un paisaje accidentado, con fuertes pendientes .

Estas formas del relieve pueden ser vulnerables a procesos de erosión lineal y de remoción en masa, provocando por ejemplo, pérdida de suelo e inestabilidad de cubiertas dunarias antiguas, favoreciendo de esta manera tales procesos geodinámicos. Ello puede generar condiciones de riesgo como la destrucción de caminos y diversas instalaciones de equipamiento urbano (Castro & Vicuña, 1990; Hausser, 1993).

La necesidad de conocer los procesos geodinámicos es la base para identificar los espacios construidos en áreas vulnerables frente a las amenazas naturales, así como poder definir las áreas de expansión y donde no se debe construir, debido a que son espacios con potenciales riesgos geomorfológicos.

En este sentido, se aborda el estudio del territorio con una visión dinámica y en constante evolución, centrandó la discusión en la geodinámica externa, los procesos de remoción en masa asociados y los potenciales riesgos presentes en la ciudad de San Antonio.

Los componentes del subsuelo son importantes frente a las amenazas naturales como los sismos y en el caso particular de la ciudad son relevantes, ya que se presentan diferencias frente a la amplificación sísmica provocando procesos externos en sectores puntuales.

En las zonas costeras este tipo de fenómenos Sísmicos puede provocar Tsunamis, incrementando los riesgos en zonas bajas. Para la ciudad de San Antonio Claret (1982) y el SHOA (2000), zonificaron las zonas potenciales frente a inundaciones por Tsunamis, información clave en la definición de áreas de riesgo.

En consecuencia se plantea la necesidad de conocer la dinámica actual del relieve costero, con el fin de ocupar el territorio de una forma sustentable, que permita el desarrollo social y económico de las ciudades puerto.

### 1.3 OBJETIVOS

#### **General:**

Identificar Áreas de Riesgo Geomorfológico en la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, como base de la planificación territorial.

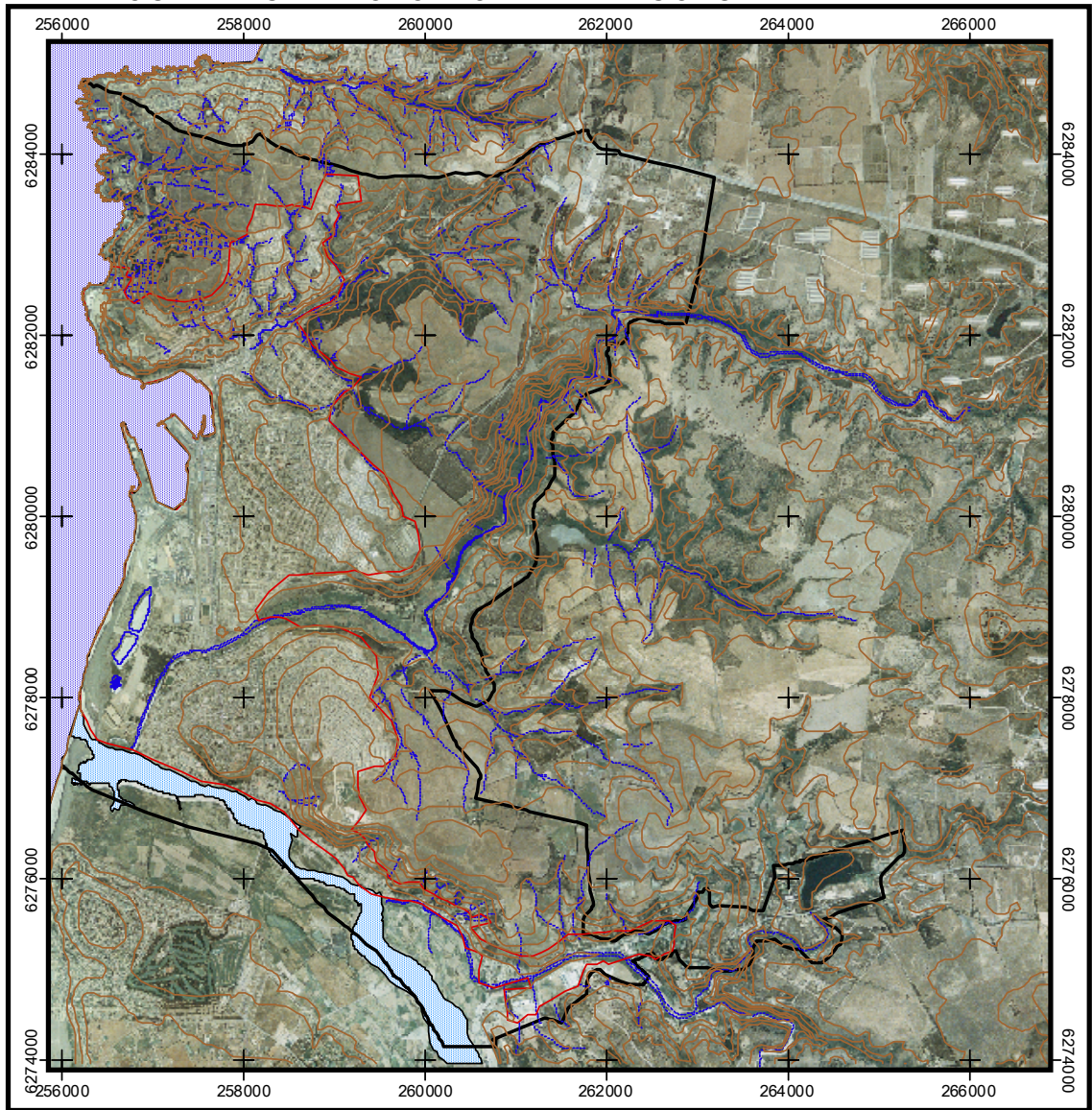
#### **Específicos:**

- 1- Analizar los componentes físicos del territorio :

Geología  
Geomorfología  
Pedología  
Hidrología

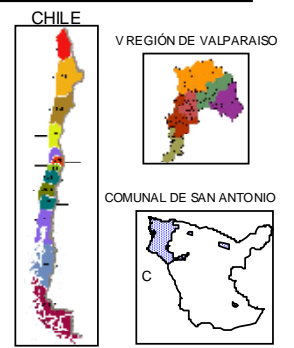
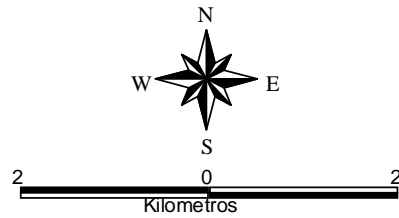
- 2- Caracterizar el comportamiento de las precipitaciones y su influencia en el sistema de drenaje, analizando el ambiente de desembocadura del río Maipo y la dinámica de los talwegs.
- 3- Identificar potenciales lugares vulnerables, con sus usos de suelo actual, su grado de consolidación urbana y los usos propuestos en la zona urbana y de expansión , en función del riesgo geomorfológico.

AREA DE ESTUDIO  
CIUDAD DE SAN ANTONIO Y ZONA DE EXPANSION URBANA



SIMBOLOGIA

- Área Urbana Consolidada
- Área Expansión Urbana Propuesta  
Plan Regulador Comunal 2005
- ~ Hidrología
- Río Maipo
- ~ Curvas de Nivel  
Cada 20 mt



Fuente: Cartografía Digital Ciudad de San Antonio. Unidad SIG (IMSA, 2005)

Fig. 1: Ciudad de San Antonio y Área de Expansión Urbana

## 2 ESTADO DEL ASUNTO

### 2.1 FORMACIÓN DEL RELIEVE COSTERO

Dentro de los ambientes costeros de Chile Central es posible distinguir un relieve característico, como son las planicies de abrasión marina escalonadas y fuertemente incididas a través de gargantas epigénicas y talweg de cuencas menores. Estas formas del relieve dan cuenta de los procesos geológicos y climáticos que lo modelaron a través del Terciario y Cuaternario.

Es en este último Periodo donde la acción geodinámica de las transgresiones marinas formó las planicies o terrazas marinas escalonadas, características del relieve actual de la costa. Sin embargo, la importancia del Terciario y específicamente del Mioceno en el modelado de todo el relieve costero, es reconocida, por Paskoff (1970) y Araya – Vergara (2000), quienes coinciden en que la superficie del continente cercana a la costa fue aplanada, antes de la primera transgresión marina ocurrida en el Mioceno superior en el caso de la Formación Coquimbo y en el Mioceno Plioceno para la Formación Navidad, según Gana et al., (1996) o a principios del Cuaternario como plantea Araya – Vergara (2000).

Este último autor explica el aplanamiento como el resultado de la descomposición profunda de las rocas graníticas, producto de un clima más húmedo. En este sentido, Martínez (1968, en Araya Vergara, 2000), sugiere que en el Mioceno superior, hay evidencias de un clima tropical neto en el cinturón costero.

Este zócalo granítico en San Antonio (ver Anexo 1), se presenta con una descomposición de la roca en profundidad (Araya – Vergara, 2000). Este regolito se presenta con bloques y grus, es decir el grado de reducción es alto. Este material se presenta como arena gruesa (Grus ó localmente Maicillo).

Paskoff (1970) plantea que las rocas cristalinas en estado de grus no oponen resistencia verdadera al aplanamiento marino y sostiene además que las rocas graníticas, aún donde no han podido ser descompuestas por la grusificación, permiten igualmente la elaboración de plataformas, porque están fuertemente fisuradas a través de planos de debilidad (diaclasas). Esta fracturación, a menudo ortogonal, es favorable a la remoción en bloques por las olas de tempestad, en ambientes ribereños.

Araya – Vergara (2000), plantea que la descomposición o grusificación se generó en el Mioceno, lo que provocó un aplanamiento en la cordillera de la costa. Este autor analizó la posición estratigráfica de este material en las cercanías de San Antonio, donde se presenta bajo las areniscas de la Formación Navidad y los depósitos de las terrazas marinas.



Finalmente concluye el autor, que el regolito profundo no solo subyace al Plioceno, sino que ya había sido disectado y aplanado al producirse esta época. Posteriormente al producirse la primera transgresión marina, su acción abrasiva retoca cepillando las plataformas precedentes, perfeccionando el aplanamiento (Paskoff, 1970).

Cada ciclo oceánico del plio-cuaternario, producto de una inestabilidad crónica del nivel marino, desarrolló su propia plataforma a partir de la precedente. Así se comprenden las terrazas escalonadas que acompañan el litoral de Chile Central en toda su longitud (Paskoff, 1970).

Este autor presentó un modelo cronológico (Cuadro 1), que muestra los diferentes niveles de terraza, para el área de Coquimbo, con sus alturas, fauna característica y un ensayo de correlación con las glaciaciones del hemisferio norte. En esa Región del país las terrazas marinas presentan alturas que van desde los 200; 130-120; 80-75; 40-35; 20-15 hasta 0 m.s.n.m.

Las alturas actuales de los diferentes niveles de terraza no corresponden a las alturas de la línea de costa a través del Mioceno - Plioceno - Pleistoceno - hasta el Holoceno (Paskoff, 1970; Paskoff et al, 2000; Hervé et al, 2003). Battistini (1968, en Paskoff, 1970) afirma que en ningún momento del Pleistoceno el nivel de los océanos ha sobrepasado en más de algunos metros su posición actual. En cambio en el momento de la glaciación máxima, cuando existían grandes conjuntos glaciales actualmente desaparecidos, este nivel estuvo debajo de los 100 metros del nivel del mar actual aproximadamente.

En un margen continental activo, como es el caso de la costa de Chile, las alturas actuales de los niveles de terrazas Plio – cuaternarias, se explican por la tectónica y la neotectónica. Según Paskoff (1970), estos movimientos del relieve son posteriores a la última gran fase orogénica, que ocurrió a fines del Oligoceno, o a inicios del Mioceno.

Cuadro 1: Cronología de los niveles de terrazas marinas para Chile semiárido.

Los ciclos marinos cuaternarios de Chile semiárido, según Herm y Paskoff ( 1967), en Paskoff (1970)

	Ciclos Marinos	Movimientos del Océano	Altura sobre formas y depósitos	Fauna	Arqueología	Ensayo de correlación con Europa	
Holoceno	VEGUIENSE	Regresión	0 mt Orilla actual		Diaguitas	FLANDRIENSE (Versiliano)	
	medio	ligera transgresión o estacionamiento	2 mt dunas. Cordones litorales	Sin cambios	El Molle	Dunkerquiano	Post-
		Regresión	Sedimentos	apreciables			glaciarío
		Máxima transgresión	4 - 5 mt sobre la baja terraza		Anzuelo de concha	Calaisiano	
	inferior	Transgresión					
		<b>Máxima regresión</b>					<b>Wurm II</b>
Pleistoceno superior	CACHAGUIENSE	Regresión	Baja terraza			Neotirreniano	III, IV
		Máxima transgresión	5 - 7 mt acantilado				-----
		Transgresión	5 - 7 mt				
		<b>Máxima regresión</b>					<b>Wurm I</b>
Pleistoceno medio	HERRADURIENSE II	Regresión					
		Máxima transgresión	15 - 20 mt Segunda	Abundancia de		Eutirreniano	-----
		Transgresión	terrazza media	Transennella pannosa.			
		<b>Máxima regresión</b>					<b>Riss</b>
	HERRADURIENSE I	Regresión		Desaparición			
		Máxima transgresión	35 - 40 mt Primera	de Ostrea ferrarisi		Paleotirreniano	-----
		Transgresión	terrazza media				
		<b>Máxima regresión</b>					<b>Mindel</b>
Pleistoceno inferior	SERIENENSE II	Regresión	Gran duna	Aparición de			
		Máxima transgresión	75 - 80 mt Terraza	Mesodesma donacium (machas)		Siciliano	-----
		Transgresión	alta transennella	Mulinia dis.sp.,			
		<b>Máxima regresión</b>		<b>Laevicardium grande,</b>			<b>Gunz</b>
Plioceno	SERIENENSE I	Regresión		Protothaca thaca (almejas)			
		Máxima transgresión	120 - 130 mt Terraza	Turitella cingulata		Calabriano	-----
		Transgresión	Superior				
		<b>Máxima regresión</b>					<b>Pre - Gunz</b>
Mioceno superior	FORMACIÓN DE COQUIMBO	Regresión	De clastos	Chlamys vidali;			
		Máxima transgresión	200 mt (Tongoyense)	Chlamys calderensis Chlamys hupeanus			

Los efectos de los movimientos neotectónicos pueden ser analizados a partir de los depósitos de la Formación Navidad, correspondientes al Mioceno – Plioceno (Gana et al, 1996), ya que estos movimientos son posteriores a esta formación. Cecioni (1970), plantea que el embahiamiento de Navidad se desarrolló en un ancho de 25 kilómetros en sentido este - oeste y su desarrollo longitudinal norte – sur abarcó como mínimo 50 kilómetros, mientras el espesor de sus depósitos según datos geosísmicos interpretados por ENAP (Cecioni 1970), indican una profundidad de 600 metros.

Araya Vergara (2000), observó la elevación tectónica a través de los diferentes niveles de terrazas marinas, producto del escalonamiento tectónico, alcanzando los 200 - 220 metros para la terraza alta principal en las cercanías de San Antonio.

Otro elemento del paisaje que muestra el sollevamiento del área de estudio en el Cuaternario, es la comunicación epigenética a través del Estero El Sauce y San Juan, que conectan las depresiones internas del sector de Leyda con la costa mediante gargantas excavadas, tanto en la superficie del zócalo aplanado como en la terraza alta principal, que es la más antigua (Araya Vergara, 2000).

Hervé et al. (2003) estimó el alzamiento de la costa frente a Algarrobo, en 11.5 metros, al analizar la altura actual de un depósito marino de ambiente estuarial, producto de la transgresión marina del holoceno medio hace 6500 años. Este autor además plantea que en la Región se producen sismos de magnitud similar al ocurrido el 3 de marzo de 1985, que produjo un sollevamiento de  $0.4 \pm 0.7$  metros, cada  $85 \pm 6$  años, según registros históricos desde el siglo 16.

Paskoff et al. (2000), asoció el sollevamiento de la costa en el Holoceno a la formación de los cinco cordones de dunas en la playa de Santo Domingo, producto de desplazamientos verticales bruscos de tipo cósmico, en el borde costero, como el que ocurrió en esta región durante el terremoto del 3 de marzo de 1985 (I.G.M., 1985, en Paskoff et al., 2000; Hervé et al., 2003).

Otro elemento importante en la formación de los cordones dunares y las dunas transgresivas, son los fenómenos de sedimentación. Estos fueron de tal magnitud, que generaron por ejemplo la gran duna transgresiva de San Antonio. Paskoff et al. (2000), plantea que episódicamente, voluminosos pulsos de sedimentos volcánicos, principalmente cenizas, han tenido que llegar hasta este sector, acarreados a partir de las desembocaduras de los ríos Rapel, al sur de Santo Domingo y el Maipo en la localidad de Lilloe.

Pasoff et al. (2000) plantea que la regresión del mar, tuvo como consecuencia la emersión de la terraza baja donde se depositaron por la acción eólica las arenas que forman las dunas costeras. En este sentido Hervé et al. (2003), plantea que desde el último período glacial, el nivel del mar ha subido 120 metros hasta su posición actual. Por lo tanto es posible que al estar descubierta la plataforma continental en este período de tiempo, los depósitos emergidos fueran

transportados por la acción del viento, formando las dunas transgresivas de San Antonio y Cartagena.

Estos fenómenos sedimentarios, la acción de la deriva litoral, que distribuye los sedimentos hacia el sur, alimentó las playas de Santo Domingo, Lolleo y Cartagena, que presentan arenas grises. Al norte de esta playa cambia la composición de las arenas, ya que no existe influencia de los ríos Rapel y Maipo. Los principales aportes de sedimentos de estas playas provienen de cuencas locales, compuesta de la descomposición del granito, es decir Gruss. Este tipo de arena es característico desde Las Cruces a Algarrobo.

La evolución del relieve costero de Chile central es compleja, ya que resulta de la interacción de varios factores, como la transgresión postglacial, la tectónica con el sollevamiento de la costa y los fenómenos sedimentarios con aportes de materiales volcánicos que han permitido la progradación de la línea de costa.

## **2.2 LOS PROCESOS GEODINÁMICOS Y LOS RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS**

Las severas modificaciones climáticas y tectónicas que tuvieron lugar al término del Terciario y a comienzos del Cuaternario, sumado a una intensa actividad volcánica y glacial, crearon ambientes geomorfológicos, propicios al desarrollo de remociones en masa (Hauser, 1993; Rebolledo et al., 2004).

Teniendo en cuenta los mecanismos y procesos que originaron el relieve actual de la costa, en las cercanías de la ciudad de San Antonio, junto con los elementos climáticos, geológicos, geomorfológicos, suelos y vegetacionales, constituyentes del relieve actual, es posible la determinación de los riesgos geomorfológicos.

En este sentido, los riesgos geomorfológicos estarán en directa relación con las condiciones actuales del proceso evolutivo de la superficie y su interacción con los espacios habitados. Por lo tanto, interesa conocer la geodinámica externa actual del lugar que se habita.

Dentro de la geodinámica externa hay que determinar las características y alcance de todo los procesos que tengan incidencia sobre el relieve, capaces de generar daños a las personas y sus bienes (Chardon, 2002). Sin embargo, también es necesario analizar fenómenos de origen interno, como los terremotos, ya que producen efectos en la superficie, desencadenando procesos geodinámicos externos.

Estos fenómenos externos denominados remociones en masa, se generan principalmente por el transporte de materiales rocosos, suelos y agua, en todos sus estados (Hauser, 1993). El agua es el principal elemento activador, junto a la gravedad, siendo capaces de modificar el paisaje y convertirse en una amenaza

cuando se trata de grandes volúmenes y por la cercanía a áreas ocupadas por el hombre.

Los fenómenos de remoción en masa, se asocian genéticamente a la interacción en el tiempo y en el espacio, de una serie de factores geográficos, orográficos, climáticos, hidrológicos, geológicos y tectónicos (Hauser, 1993), y corresponden, intrínsecamente a procesos gravitatorios, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original, transportando materiales hacia las partes inferiores de las vertientes.

Rebolledo et al. (2000), plantea que los factores que condicionan los fenómenos de remoción en masa son las pendientes abruptas, la ubicación y características de importantes volúmenes de suelo residual y transportado, el intenso fracturamiento y descomposición de la roca en laderas de valles, que condicionan deslizamientos y desprendimientos de bloques. Considera además que otro factor importante es la presencia de arcillas expansivas, ya que estas son consideradas como causantes de inestabilidad mayor de los sustratos que les sobreyacen, produciendo inestabilidad de los depósitos del talud en épocas de lluvias

Estos fenómenos independientes de su tipología y magnitud, provocan un severo deterioro en el relieve comprometido. A la alteración del elemento paisajístico se une un grave daño al suelo y la vegetación. En ciertas áreas, puede adquirir carácter irreversible, agravado por el hecho que una remoción puntual constituye el punto de partida para el desarrollo de remociones posteriores de mayor alcance (Hauser, 1993).

En la generalidad de los casos, los terrenos con compromiso histórico de remociones en masa resultan proclives a reactivaciones, imponiendo claro riesgo respecto de la seguridad humana y de la operación de variadas obras civiles. Su cabal localización y descripción orienta las actividades de prevención espacial, asumiendo que el estudio de los fenómenos geodinámicos ocurridos en el pasado reciente, proporciona claves efectivas para conocer la situación de riesgo presente y futuro.

Los fenómenos de remoción en masa más frecuentes en Chile fueron descritos por Hauser (1993). A continuación se describen estos fenómenos a partir de lo planteado por el autor antes citado, en una aplicación al ambiente costero de Chile central:

- Flujos: de Barro y Detritos.
- Deslizamientos: Rotacionales; Multirrotacionales
- Desprendimientos
- Subsistencia y Hundimientos

2.2.1 Los flujos son movimientos de masa, propios de materiales sin cohesión, que tienen lugar en suelos muy susceptibles de experimentar una considerable pérdida de resistencia con el movimiento; los materiales involucrados actúan, temporalmente, como un fluido, experimentando una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definida (Ferrer, 1987, en Hauser, 1993). Los flujos invariablemente se asocian con agua y esta es el principal agente desencadenante de los flujos, su incorporación induce una pérdida de resistencia en los materiales comprometidos.

- Flujos de Barro: el volumen del material movilizado y su velocidad de escurrimiento es variable, dependiendo del contenido de agua producto de la intensidad de las precipitaciones, la pendiente local y del material fragmentario disponible en el lecho, para ser arrastrado. Su trayectoria ocupa cauces preexistentes, por lo tanto presenta trayectorias preestablecidas (Fig. 2).
- Flujos Detríticos: es un flujo local y repentino o torrente de volumen relativamente grande y de corta duración que desborda los cauces de ríos en valles secos en zonas semiáridas, transportando una enorme carga de barro y fragmento rocosos. Generalmente se desarrollan vinculados a lluvias muy esporádicas, de corta duración y gran intensidad, cubriendo una zona reducida, con morfología empinada. Los aluviones son parte de los flujos de detritos (Fig. 2).

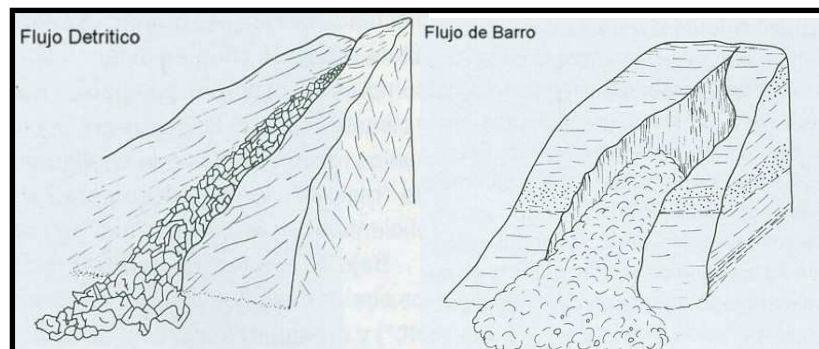


Fig. 2 : Tipos de Flujos según Hauser (1993).

La excesiva incorporación de agua de lluvia en terrenos permeables en los cauces o en los flancos de numerosos talwegs locales, provistos de fuerte pendiente, determina el desarrollo de súbitos procesos de fluidificación, vinculados a reducciones instantáneas de esfuerzos cortantes.

2.2.2 Los deslizamientos corresponden a remociones en los que la masa de roca o suelo, se desliza de acuerdo a superficies de roturas más o menos netas, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en conjunto (Fig. 3). Los escarpes, grietas y deformaciones frescas, constituyen signos irrefutables de deslizamientos recientes. Las causas que desencadenan los deslizamientos pueden ser, precipitaciones intensas, fallas, foliación, pliegues y

sismos, que constituyen efectivos mecanismos desencadenantes o contribuyentes.

- Deslizamientos rotacionales: se refiere a deslizamientos en los que la ruptura profunda o superficial ocurre a través de superficies curvas que pueden ser o no circulares, dependiendo de la uniformidad del material. Se desarrollan normalmente en suelos cohesivos uniformes o en macizos rocosos muy fracturados, carentes de estructura. Se han presentado deslizamientos rotacionales en terrenos de paleodunas en Chanco VII región.
- Deslizamientos multirrotacionales: es una rotación múltiple que ocurre cuando se desarrollan varios deslizamientos que van englobándose sucesivamente de acuerdo a superficies de rotura curvas; se presentan principalmente en arcillas duras y fracturadas, junto a arcillas blandas muy sensitivas, conformando morfologías con pendientes cercanas al ángulo de equilibrio (Fig. 3).

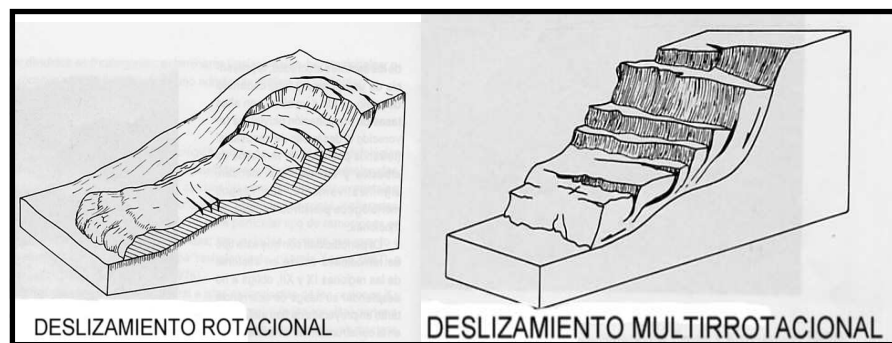


Fig. 3: Tipos de Deslizamientos según Hauser (1993).

2.2.3 Desprendimientos: es la caída de bloque de roca o suelo semi consolidado a partir de una ladera con fuerte pendiente, cornisa o acantilado rocoso, de acuerdo con una caída libre, al menos en parte de su trayectoria. Genéticamente la gran mayoría de los desprendimientos se vinculan a la pérdida de resistencia de los planos de discontinuidades, asociada tanto a la presencia de agua, con desarrollo de presiones intersticiales actuando sobre tales estructuras.

2.2.4 : Subsistencia y hundimientos: se entiende por subsistencia un descenso lento y paulatino del suelo mientras, el hundimiento o colapso es un movimiento brusco en la vertical, más o menos puntual de una porción del terreno, conocido también como asentamientos de terreno.

Los sismos son parte de la geodinámica interna, pero sin embargo es importante tener presente, su influencia en los procesos externos, especialmente en la costa de Chile, considerándose para este estudio como parte de los riesgos geomorfológicos.

El contacto entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana en la Fosa Chilena se extiende paralelo a la costa aproximadamente a 100 Km. del continente, pero la zona comprometida en el proceso de subducción es bastante ancha

extendiéndose hacia el este, conformando un margen continental sísmicamente activo, estimándose su desplazamiento de 10 Cm/año (Figuroa, 1997).

La convergencia de las Placas de Nazca y Sudamericana, produce fuerzas compresionales y fallamientos a lo largo del contacto, lo que puede ser transmitido desde el margen oceánico en dirección al continente. El fallamiento de empuje está asociado a la ubicación de los focos sísmicos, la mayor parte de los cuales se localizan a profundidades de 30 Km, o más bajo el bloque continental.

Para el caso de la costa de Chile Central los focos sísmicos se concentran especialmente en el tramo comprendido entre Los Vilos y San Antonio. Esta área tiene una nutrida historia sísmica, cuyos focos han sido ubicados frente a la costa entre Papudo y San Antonio y en la zona de la Ligua y Petorca (Claret, 1982).

### **2.3. RIESGOS NATURALES: AMENAZAS Y VULNERABILIDAD**

Dentro de los diferentes tipos de riesgos naturales, se encuentran implícitos varios conceptos parecidos, que comúnmente son tomados como sinónimos. Los desastres naturales, la amenaza, la vulnerabilidad y finalmente los riesgos, son conceptos relacionados, que es necesario conocer y manejar para entender este último, especialmente los riesgos geomorfológicos, a los que se refiere este estudio.

Un desastre puede definirse como un evento que ocurre en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente ( Cardona, 1995).

Los desastres producen la desorganización de los patrones normales de vida, generan adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente; lo anterior determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata.

Chardon (2002), plantea que los desastres naturales constituyen eventos que, mostrando características excepcionales, se presentan súbitamente de forma cataclísmica, y afectan a uno o más sectores productivos. Estos eventos causan daños de consideración a la infraestructura física y de servicios, empeorando las condiciones de vida de amplios sectores de la población, lo que se traduce en un retroceso en el proceso del desarrollo.

La amenaza está relacionada con el peligro que significa la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre. Este es el factor de riesgo externo de un sistema urbano o rural y puede manifestarse en un sitio y durante un tiempo de exposición prefijado.



Técnicamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia, de un evento con un nivel de intensidad y severidad, en un sitio específico y durante un período de tiempo (Cardona, 1995).

Es importante diferenciar la amenaza del evento que la caracteriza, puesto que la amenaza significa la potencialidad de la ocurrencia de un evento con cierto grado de severidad, mientras que el evento en sí mismo representa al fenómeno en términos de sus características, su dimensión y ubicación geográfica.

Es un evento probable ya que existen razones o argumentos técnico-científicos para creer que ocurrirá o se verificará en un tiempo determinado (Cardona, 1995). Chardon (2002), plantea que la capacidad de transformación de una amenaza generalmente está en relación con el volumen de energía liberada, y se caracteriza por su:

- naturaleza,
- recurrencia,
- probabilidad de ocurrencia en un momento y espacio determinado y
- su capacidad destructiva en este mismo espacio.

La realización de mapas de amenaza de diferentes escalas, cuantifica la amenaza y llevan a cabo una "zonificación" en la cual, mediante un proceso de determinación del peligro en varios sitios, delimitan áreas homogéneas o zonas de amenaza constante, siendo un insumo de fundamental importancia para la planificación territorial.

La vulnerabilidad puede entenderse, como la predisposición intrínseca o susceptibilidad de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas, por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso (Chardon, 2002; Cardona, 1995).

La vulnerabilidad física básicamente esta relacionada con el grado de exposición y la fragilidad o capacidad de los elementos expuestos a resistir la acción de los fenómenos. La diferencia de vulnerabilidad de los elementos determina el carácter selectivo de la severidad de los efectos de un evento externo sobre los mismos, en un contexto geográfico.

En consecuencia, un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica. La vulnerabilidad es el factor interno, compuesto por la sociedad amenazada susceptible a sufrir daños. Se contribuye al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso, considerando los aspectos preventivos o los recursos para la minimización de sus consecuencias (Cardona, 1995).

El riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos, sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento.

En la actualidad, desde el punto de vista metodológico, el riesgo se obtiene relacionando la probabilidad de ocurrencia del fenómeno que lo genera, denominada amenaza, con la predisposición que ofrecen los elementos amenazados a ser afectados por el fenómeno, denominada vulnerabilidad. El riesgo puede ser de carácter geológico, hidrológico, atmosférico, geomorfológico o, también, tecnológico, dependiendo de la naturaleza de la amenaza a la cual está referido (Chardon, 2002; Cardona, 1995; ONEMI 2003).

Éste concepto implica la interacción entre el proceso natural como agente detonante externo y la sociedad afectada o paciente. Sin esta última, un proceso natural no puede dar lugar a riesgo, por violento que sea, puesto que éste, por definición, existe en relación con el hombre. Por tanto, riesgo natural implica la proximidad o contingencia de un daño para las personas o sus bienes en un lugar concreto debido a un proceso natural (Marco et al., 2000).

Cuando el riesgo se manifiesta en un hecho concreto conduce a un acontecimiento que puede culminar en desastre. Por lo tanto se define el riesgo como la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos (ONEMI, 2003)

Es posible evitar parte de los daños ocasionados por estos riesgos, ya que la magnitud de los daños causados por ellos, no es en su totalidad el resultado de las condiciones climáticas, geológicas, oceanográficas o geomorfológicas, sino que también de las decisiones tomadas durante la instalación de los asentamientos humanos (Figueroa, 1997).

El riesgo se incrementa cuando se combinan las fuerzas de la naturaleza con decisiones erróneas en el uso del espacio, las que tienen un fundamento político, cultural, económico y social, por ejemplo edificaciones en espacios inadecuados, concentración de población en sitios vulnerables, infraestructura y construcciones de mala calidad, servicios colapsados, etc (Chardon, 2002).

Existen condiciones que favorecen la ocurrencia de la crisis, aumentando las condiciones de riesgo, que no son exclusivamente las condiciones de vulnerabilidad física sino de vulnerabilidad social (Cardona, 1995).

A diferencia de la amenaza que actúa como detonante, la vulnerabilidad social es una condición que permanece en forma continua en el tiempo y esta íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades (Maskrey (1989) y Medina (1992), en Cardona, 1995).

Finalmente Chardon (2002) plantea que la noción de riesgo resulta entonces de la acción de un evento probable que amenaza, a un sistema susceptible de estar más o menos afectado (sociedad) y conlleva a cuatro conceptos:

- la amenaza.
- la probabilidad (ligada al lugar, el momento de ocurrencia, el impacto del fenómeno, que es de carácter coyuntural).
- la complejidad (ligada al sistema).
- las pérdidas.

Consecuentemente, el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno y de los daños asociados (Chardon, 2002).

Cardona (1995), plantea que desde el punto de vista físico, el riesgo específico es la pérdida esperada en un período de tiempo, que puede ser expresada como una proporción del valor o costo de reemplazo de los elementos bajo riesgo.

Para evaluar el riesgo deben seguirse tres pasos:

- la evaluación de la amenaza o peligro;
- el análisis de la vulnerabilidad y
- la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores.

Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en si mismo.

### 3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

La variedad de riesgos naturales es tan diversa como los enfoques con que se aborda el tema, sin embargo, cuando se trata de riesgos geodinámicos la base conceptual es la geomorfología, ya que permite el reconocimiento de las formas y los depósitos correlativos (Castro et al, 2002).

Dentro de todo proceso evolutivo el tiempo es el primordial factor en el desarrollo del relieve, mientras el clima es el agente modelador y en definitiva el principal agente morfogenético, formando paisajes característicos. Es así como el concepto de zona morfoclimática nos permite entender los procesos naturales que formaron el relieve y su dinámica actual.

Los procesos erosivos que van modelado el relieve, pueden ser clasificados como parte de un proceso evolutivo de la superficie, y su efecto en la difusión de masa producto de la dinámica actual es capaz de generar riesgos en las áreas urbanas actuales y en sus zonas de expansión.

La necesidad de definir claramente los procesos geodinámicos y sus trayectorias, debe ser abordada a partir del conocimiento de los procesos del pasado, especialmente los ocurridos a partir del Cuaternario. En esta línea Paskoff (1970) reconstruyó la historia geomorfológica del Valle del Elqui, en Chile semiárido, dando las bases para el estudio de la geodinámica actual del territorio.

Con estos antecedentes de la formación del relieve y el estudio acabado de las particularidades del paisaje y sus componentes, es posible entender la dinámica de los procesos geodinámicos actuales y su relación con la ocupación del territorio, especialmente en las áreas urbanas.

Para el caso puntual del área de estudio, los procesos o agentes morfogenéticos están principalmente relacionados con las variaciones del nivel del mar durante el Cuaternario y la elevación tectónica, generando planicies escalonadas, fuertemente incididas en rocas graníticas descompuestas, características de la Cordillera de la Costa en Chile centro sur.

La identificación y localización de las áreas que presentan potenciales condiciones de generación de procesos de remoción en masa, se relacionan con los procesos respuesta de los sistemas de vertientes, donde la pendiente es el principal factor desencadenante (Araya Vergara, 1966; Castro et al., 1995; Araya V. & Borgel 1972, en Mesina, 2003).

Lo anterior da cuenta de la importancia de contar con una carta de pendientes, que permita reconocer los umbrales de manifestación de los procesos morfodinámicos. Consecuentemente se utilizó la clasificación propuesta por Castro et al. (1995), ya que fue creada y aplicada en la Isla Róbinson Crusoe (33°

37°s y 78° 53'), con características morfoclimáticas más cercanas a la costa de San Antonio, en relación a otras clasificaciones para zonas montañosas de Chile.

Young (1975) plantea otro antecedente importante en relación a dos propiedades fundamentales en la evolución de las pendientes, el espesor del regolito y su grado de reducción. En este sentido Araya Vergara (2000) sostiene que el grado de reducción del regolito en el área de estudio, es alto.

Las áreas de riesgo resultan entonces de espacios poblados vulnerables a procesos naturales englobados dentro de los fenómenos de remoción de masa (Hauser 1993 ; Chardon, 2002), y aquellos de carácter natural pero de inducción antrópica, como la ocupación no planificada y la no consideración de los elementos naturales y su comportamiento (Manríquez, 1997).

El manejo de la gran cantidad de información generada a partir del análisis de las variables físicas y sociales presentes en los espacios con riesgos, puede ser administrada con los Sistemas de Información Geográfica. Estas herramientas permiten manejar de forma dinámica las capas de información que se derivan de las variables anteriormente expuestas, entregando resultados de forma gráfica y alfanumérica, información necesaria para apoyar la toma de decisiones en aplicaciones multidisciplinarias, en este caso, en el manejo del riesgo geomorfológico en la ciudad de San Antonio.

Los diferentes niveles de información de las variables físicas y la localización de áreas pobladas, se analizaron con el fin de definir las características del territorio desfavorables frente a la ocupación y expansión de las actividades del sistema urbano. Las variables analizadas son las que se describen a continuación:

- **Geología:** esta componente permite el reconocimiento de la naturaleza, edad y estado de conservación de los materiales, junto con identificar las fallas y lineamientos presentes en el área. Rebolledo et al. (2000), plantea que dentro de los factores geológicos que condicionan la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, esta la ubicación y característica de importantes volúmenes de suelo residual y transportados que forman depósitos de suelo suelto poco compactado, el intenso fracturamiento y la fuerte meteorización de las rocas que conforman las laderas de los valles.
- **Geomorfología:** en el análisis geomorfológico cobra importancia aquellos lugares donde se presentan condiciones de inestabilidad, como pendientes abruptas con suelo residual poco consolidado y depósitos dunares, bordes de plataformas, escarpes rocosos, entre otros elementos capaces de generar inestabilidad de laderas. Se analizó la relación entre los tres niveles de terraza marinas (Araya – Vergara, 2000), formas características de fenómenos interglaciares y tectónicos, su relación con las formas de interacción fluvio – tectónica como las gargantas epigénicas y cursos de aguas intermitentes, que han producido una fuerte incisión de las plataformas de abrasión marinas, donde las formas y procesos de

remoción en masa (Hauser, 1993), son desencadenadas por las condiciones climáticas actuales.

- **Suelos:** se abordó el análisis de las unidades de suelo presentes en la zona de expansión urbana a través de los estudios realizados por CIREN (2000), donde se entregan las series de suelo con su capacidad de uso, pendiente, clase de drenaje, erosión, profundidad, textura y permeabilidad. Estos antecedentes son importantes en la medida que explican el comportamiento geodinámico de la unidad geomorfológica a la que pertenecen. Además se incorpora el antecedente del comportamiento del suelos frente a la escorrentía, a través de la clasificación en grupos hidrológicos extraída del Plan Maestro de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena (MOPTT, 2003). Los extremos de esta clasificación está dada por suelos con arcillas expansivas, ya que son consideradas como causante de inestabilidad de los estratos que la sobreyacen por su carácter expansivo y su máxima escorrentía, y los suelos arenosos de máxima infiltración.
- **Hidrología y Precipitaciones:** Las precipitaciones son el principal agente desencadenador de los procesos de remoción en masa. Zaruba et al. (1982, en Jaque, 1995) reconocen una estrecha relación entre inestabilidad de laderas y precipitaciones y estas están en directa relación con los aumentos de caudales de las cuencas locales, capaces de generar condiciones de riesgo en las áreas bajas de la ciudad. En este sentido es importante determinar el concepto de lluvia umbral, definido por una cierta intensidad - duración que determina el momento en que se produce el proceso (Tricart y Killian, 1982, en Jaque, 1995). La hidrología se concibe como la estructura que canaliza los flujos de masa y como agente desestabilizador de las formas cuando ésta socava las bases de las terrazas fluviales o formas basales de las laderas.

Los diferentes niveles de información de las variables físicas y la localización de áreas pobladas, se analizaron de forma georeferenciada a través del SIG Arc View 3.3, con el fin de definir áreas homogéneas, que de forma interna presentan similares características frente a procesos geodinámicos.

Estas áreas homogéneas contienen en su interior sectores con evidencias claras de procesos desencadenantes de riesgos geomorfológicos. Estas características del territorio desfavorables frente a la ocupación y expansión de las actividades del sistema urbano, serán identificadas y analizadas a partir de las fichas de observación, especialmente diseñadas para el trabajo de terreno.

Esto plantea que ciertos espacios actualmente ocupados por la ciudad y los futuros sectores de expansión urbana, presentan limitaciones y vulnerabilidad frente a la ocupación urbana, producto del sistema geomorfológico funcional.

### 3.1 PASOS METODOLÓGICOS

Etapa uno: En la primera etapa se definió los límites del área de estudio (fig. N°1), que está dado por la zona urbana y de expansión de la ciudad de San Antonio, definida por los Plan Regulador Comunal 2004 (en proceso de aprobación) e Intercomunal. Además de la recopilación de antecedentes bibliográficos de territorio comunal y su cartografía básica del Instituto Geográfico Militar.

Posteriormente se desarrolló la cartografía de las variable físicas como Geomorfología, modelo de elevación de las terrazas marinas, pendientes e hidrología (figuras n° 6,7 y 8 respectivamente), en base a la cartografía digital de la ciudad (Plano Aerofotogramétrico, 1998), el mapa geológico (Gana et al., 1996; figura n° 4 ) y el mapa de suelos (CIREN, 2000; figura n° 9).

Estos antecedentes cartográficos se llevaron a formato digital a través del SIG Arc View 3.3 donde se georeferenciaron las diferentes capas de las variables físicas, complementando la información cartográfica digital de la ciudad a escala predial, con que cuenta el Municipio.

Etapa dos: En esta etapa se realizó trabajo de observación en terreno, con el fin de corroborar la fotointerpretación de los vuelos SAF de 1990 escala 1: 8.000; 1992 escala 1:20.000 y 1998 escala 1: 5000, e imágenes aéreas provenientes del Sistema Nacional de Información Ambiental ([www.Sinia.cl](http://www.Sinia.cl) ,2000) y las cartografías digitales de la ciudad.

Después del reconocimiento general y posterior detalle del área y la definición de los sectores críticos a partir de la fotointerpretación y su posterior ratificación en terreno, se complementó la carta geomorfológica de detalle de la ciudad y sus alrededores, definiendo la cartografía de unidades homogéneas y los lugares con amenazas de procesos geodinámicos, con la ubicación de los puntos con riesgos, a escala 1:30.000 (figura n° 13).

Etapa tres: Para cada sector crítico definido anteriormente, se confeccionó una ficha de observación de los lugares con procesos de remoción en masa e inundación, donde se evalúa la vulnerabilidad de los espacios habitados. Estas fichas cuentan con información cartográfica y datos de cada sector a escala local, además de la fotografía aérea y fotografía convencional, con los que se analiza el tipo de amenaza.

## **4.0 RESULTADOS**

### **4.1 ANÁLISIS FÍSICO**

#### **4.1.1 GEOLOGÍA**

La comuna de San Antonio se enmarca en la vertiente occidental del batolito costero o Cordillera de la Costa, constituido por un complejo granítico de edad paleozoica (Del Canto & Paskoff, 1983). Entre esta unidad y el océano se localizan las planicies costeras, correspondientes a remanentes de terrazas marinas escalonadas, las que se encuentran muy disectadas por la red de drenaje local, producto de los sollevamientos generados por la tectónica en el Cuaternario y los depósitos marinos poco consolidados.

Gana et al (1996), sostienen que las unidades más antiguas presentes en el área de estudio corresponden al Paleozoico, destacando por su extensión el complejo metamórfico de Valparaíso (fig. 4). Esta unidad se encuentra inyectada por las rocas intrusivas, que componen los cerros de la Cordillera de la Costa y por una unidad de menor extensión, que corresponden al Triásico y Jurásico respectivamente.

Es importante destacar que estas tres unidades corresponden al zócalo o base estructural donde se localiza la ciudad de San Antonio, destacando su composición granítica en su generalidad y los componentes gnéissicos. Este zócalo se presenta con regolito profundo (Araya Vergara, 2000), producto de la descomposición de la roca, reduciéndolas a arena gruesa, material conocido internacionalmente como Gruss y localmente maicillo.

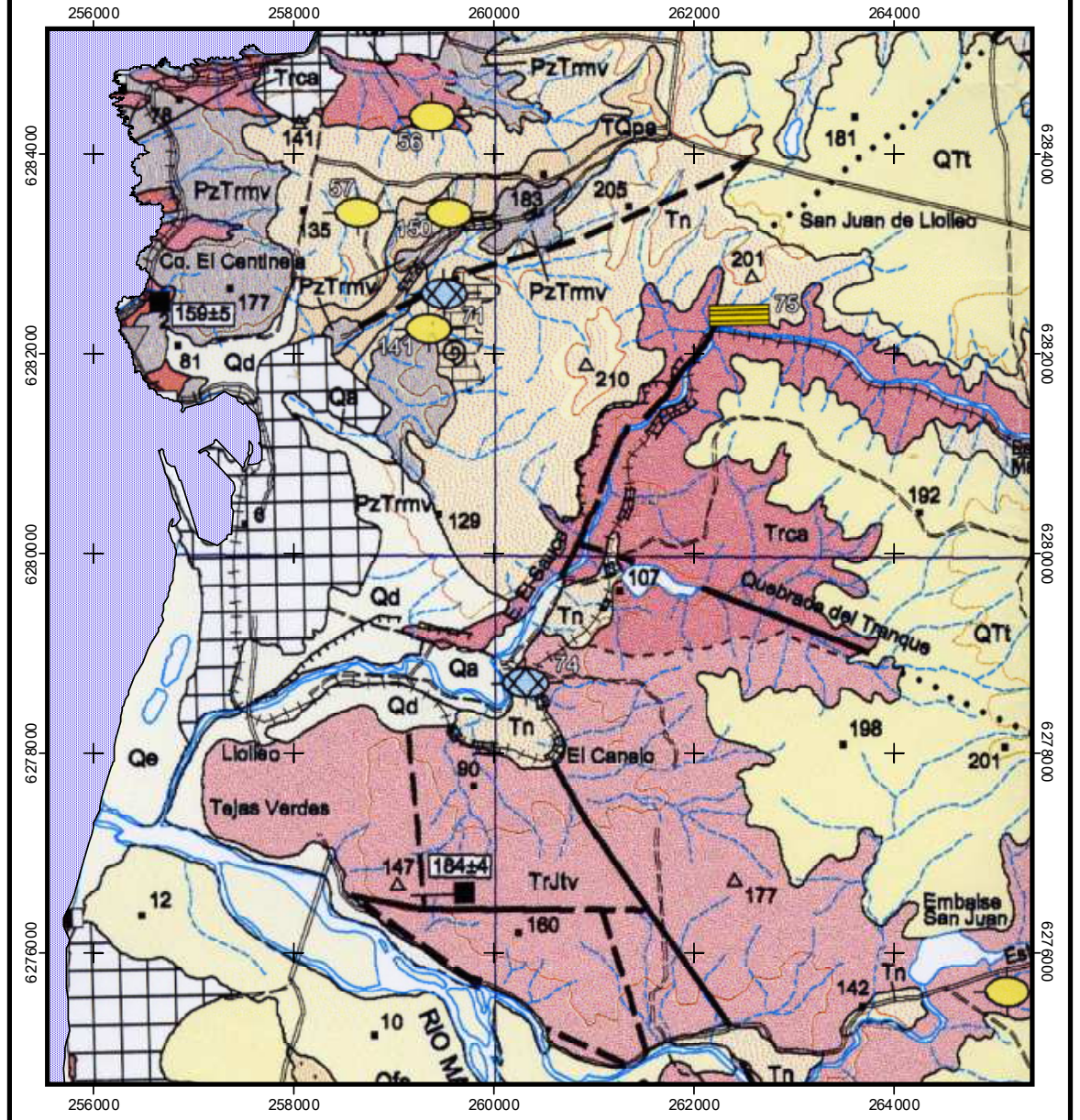
Este relieve maduro, constituido por rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico – Triásico, están cubiertas por depósitos aterrazados subhorizontales, bajo la cota de los 300 metros. Estos depósitos de origen marino corresponden a la Formación Navidad (Cecioni, 1970), de edad Mioceno – Plioceno y depósitos sedimentarios continentales ínterdigitados con facies transicionales litorales, denominados Estratos Potrero Alto, del Plioceno - Pleistoceno (Gana et al, 1996).

Las unidades morfológicas más características son las terrazas de abrasión marina, labradas sobre las unidades paleozoicas Triásico - Jurásicos y terciarias (Gana et al, 1996; Araya Vergara, 2000). Este último autor plantea que esta unidad incluye terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria, terrazas con una cubierta de arenas cuarzosas, posiblemente marinas, arenas negras con acumulación de minerales pesados, de origen litoral, y terrazas con cubierta aluvial, que corresponden al Plioceno - Pleistoceno.

Sobre las unidades descritas se localizan los depósitos holocénicos litorales, eólicos, coluviales y aluviales, que forman el suelo de fundación de la ciudad de San Antonio y alrededores.



# MAPA GEOLÓGICO DE SAN ANTONIO



## Leyenda

- Qe : Depósitos Litorales y Eólicos Actuales. Holoceno.
- Qd : Depósitos Eólicos Sub actuales. Holoceno.
- Qc : Depósitos Coluviales. Holoceno.
- Qa : Depósitos Aluviales. Holoceno.
- Qf : Depósitos Fluviales. Holoceno.
- Qfs : Depósitos Fluviales Sub actuales. Holoceno.
- QTt : Terrazas de Abrasión. Plioceno - Pleistoceno.
- TQpa : Estratos de Potrero Alto. Mioceno-Plioceno-Pleistoceno.
- Tn : Formación Navidad. Mioceno - Plioceno.
- TrJtv : Rocas Intrusivas. Triásico superior - Jurásico inferior.
- Trca : Rocas Intrusivas. Diorita Gnéisicas de Cartagena. Triásico.
- PzTrmv : Complejo Metamórfico Valparaíso. Paleozoico Superior -Triásico.
- Pzmg : Rocas Intrusivas. Paleozoicas.

ESCALA: 1:60000



- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— Contorno geológico observado inferido</li> <li>— Falda observada, interrumpida o totalmente interrumpida</li> <li>— Falda normal, indicación bloque hundido</li> <li>— Falda cubierta</li> <li>— Rumbo y sentido de estratos</li> <li>— Rumbo de estratos verticales</li> <li>— Rumbo e inclinación de la roca principal</li> <li>— Rumbo de foliación vertical</li> <li>— Localidad fosilífera (ver leyenda, resalta en rojo); Ft: referenciada en leyenda</li> <li>— Dique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Escarpa indicando área caprítica</li> <li>— Laguna o embalse</li> <li>— Centro urbano</li> <li>— Curva de nivel</li> <li>— Carretera</li> <li>— Camino pavimentado</li> <li>— Camino sin pavimento</li> <li>— Sonchón</li> </ul> |
|--|---|

FUENTE: MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE SAN ANTONIO MELIPILLA, 1996. SERNAGEOMIN

Fig.4: Mapa Geológico de la Ciudad de San Antonio

Las unidades geológicas presentes en el área de estudio, se presentan a continuación, desde los depósitos modernos del Holoceno hasta las más antiguas. El detalle de cada unidad se presenta en el anexo nº 1, a partir de lo planteado por Gana et al (1996):

- Qe : Depósitos Litorales y Eólicos Actuales. Holoceno.
- Qd : Depósitos Eólicos Sub actuales. Holoceno.
- Qc : Depósitos Coluviales. Holoceno.
- Qa : Depósitos Aluviales. Holoceno.
- Qf : Depósitos Fluviales. Holoceno.
- Qfs : Depósitos Fluviales Sub actuales. Holoceno.
- QTt : Terrazas de Abrasión. Plioceno - Pleistoceno.
- TQpa : Estratos de Potrero Alto. Mioceno - Plioceno - Pleistoceno.
- Tn : Formación Navidad. Mioceno - Plioceno.
- TrJtv : Rocas Intrusivas. Triásico superior - Jurásico inferior.
- Trca : Rocas Intrusivas. Diorita Gnéisicas de Cartagena. Triásico .
- PzTrmv : Complejo Metamórfico Valparaíso. Paleozoico Superior –Triásico.
- Pzmg : Rocas Intrusivas. Paleozoicas.

### **Lineamientos y Fallas**

La comuna de San Antonio está inserta dentro del bloque alzado Leyda (Gana et al., 1996), delimitado por un sistema de fallas regionales inactivas. Por el norte se encuentra la Falla de Melipilla, que se desplaza paralela al estero Lo Zarate; por el sur la falla del Río Maipo y por el este con la Falla Puangue.

Esta estructura de carácter regional tienen componentes en los principales talwegs del sector cercano a la zona urbana, presentándose una falla en el estero El Sauce en el tramo de aguas buenas al fondo de Lollole con dirección norte-sur y otra en el talweg El Tranque con dirección este - oeste, como se muestra en la fig. 4.

Otra falla se localiza paralela al Estero Arévalo, probablemente inversa, llegando al centro de San Antonio, posiblemente esté asociada al cañón submarino de San Antonio. Claret (1982), planteó que esta falla es la más moderna de todas, con una edad Post – Pleistoceno. Esta es una zona de debilidad a la que se asocia el alineamiento del estero y una topografía abrupta. Es una falla inversa que monta a rocas del basamento rocoso sobre rocas más jóvenes, con un relleno de 50 cm de espesor constituido por roca molida y alterada, de granulometría arenosa, con escasa arcilla.

El estudio de Análisis Microzonificación Sísmica de San Antonio, realizado por Geotécnica Consultores (MINVU, 1988), plantea que existe una falla inferida denominada Lineamiento Santo Domingo – Cartagena, localizada paralela a la Av. Barros Luco. Aparentemente se trataría de una falla sellada y relativamente antigua que por tanto no tendría actividad en caso sísmico.

### **Actividad Sísmica y efectos asociados**

Se estima que en la costa de Valparaíso se han producido 25 sismos de gran magnitud desde el siglo XVI (Figueroa, 1997). En esta línea Hérve et al (2003), plantea que el sismo de 1985 de 7.5 grados en la escala de Richter, corresponde al evento más reciente de una secuencia que regularmente se ha registrado en la región cada 82+6 años, desde la existencia de registros históricos del siglo XVI, siendo este el tiempo de recurrencia histórico de los sismos de similar magnitud.

El foco submarino es el más peligroso en lo que concierne al puerto de San Antonio, por originar terremotos violentos y a menudo asociado a Tsunamis. Ejemplos de esos terremotos son los de 1730, 1822 y 1906, que se han estimado con magnitud de 8 a 8.5 grados en la escala de Richter y cuya intensidad, para los terremotos del centro de San Antonio, pueden estimarse con grado 9 en la escala de Mercalli – Modificada (Geotécnica Consultores, en MINVU, 1988).

En el terremoto de 1985 el plano de fallas abarcó principalmente la fosa marina entre la fosa y la costa, desde los 32.7° sur hasta los 34.4° sur. Por esta razón las intensidades mayores se hicieron sentir a lo largo de la costa. Las intensidades en San Antonio y Lolleo registraron grado 8 en la escala de Mercalli - Modificada y localmente grado 9 (Geotécnica Consultores, en MINVU, 1988).

La modulación del movimiento vibratorio por la estratigrafía del suelo entre la roca y la superficie es la amplificación sísmica, que implica variaciones de intensidad de zona a zona dentro de la ciudad de San Antonio (Geotécnica Consultores, en MINVU, 1988). Este estudio de Microzonificación Sísmica definió los incrementos de intensidad por efecto de la calidad del suelo de fundación y la pendiente (cuadro nº 2), la profundidad de la napa (cuadro nº 3) y la estratigrafía (cuadro nº 4).

A continuación se presentan los cuadros con el incremento de la intensidad sísmica (Mercalli Modificada), según los atributos físicos de los suelos de

fundación de la ciudad de San Antonio (fig. 5), desarrollados por el Estudio de Microzonificación Sísmica realizado por Geotécnica Consultores (MINVU, 1988):

Cuadro nº 2: Incrementos de intensidad sísmicas por efecto de la calidad del suelo y pendiente del terreno = A<sub>sp</sub>.

Tipos de suelo	Pendientes en grados		
	0 - 5°	5 - 15°	15 - 25°
C: grabas arenosas	0	1/4	1/2
A3: arena SPT > 30	0	1/4	1/2
A2: arena SPT ≤ 30	1/2	1/2	3/4
A1: arena SPT < 10	3/4	3/4	1
B3: fino Su > 1,0	0	1/4	1/4
B2: fino 0,25 ≤ Su ≤ 1,0	1/4	1/2	1/2
B1: fino Su < 0,25	1/2	1/2	3/4

Fuente: Geotécnica Consultores (MINVU, 1988).

Cuadro nº 3; Incremento de las intensidades sísmicas por efecto de la napa freática = A<sub>in</sub>.

Profundidad de la napa (m)	Tipos de suelo	
	Arena	Finos
0 - 3	1/2	3/4
3 - 10	1/4	1/2
> 10	0	0

Fuente: Geotécnica Consultores (MINVU, 1988)

Cuadro nº 4: Incremento de intensidades sísmicas por efecto de la estratigrafía (según definición de NCH 433) = A<sub>is</sub>

Tipo de estratigrafía	Intensidad Modificada Mercalli
S1	0
S2	1/4
S3	1/2

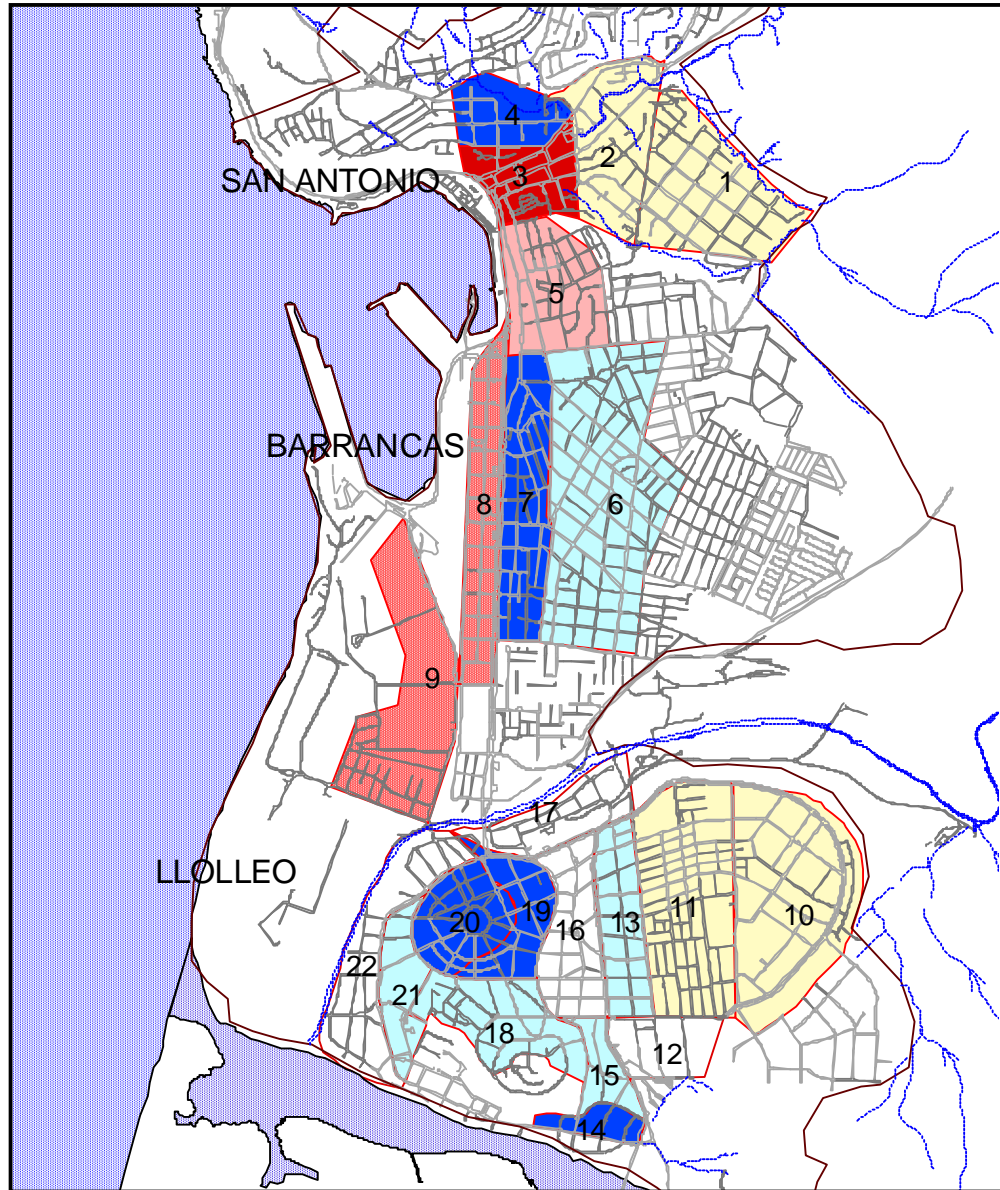
Fuente: Geotécnica Consultores (MINVU, 1988)

Con estos antecedentes se determinó las amplificaciones sísmicas producto de los atributos físicos del suelo de fundación, de las 22 zonas en las que fue dividida la ciudad. El cálculo se realizó con una intensidad base de 7 ¼ grados Mercalli modificada, en suelo firme, sin presencia de napa freática y sin pendiente, para el sismo de 1985, a través de la siguiente ecuación:

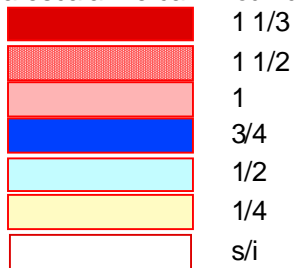
$$IMM = 7 \frac{1}{4} + A_{sp} + A_{in} + A_{is}$$

Las diferentes zonas sísmicas de la ciudad de San Antonio se presentan en la fig. 5.

### AMPLIFICACIÓN SÍSMICA POR ATRIBUTOS FÍSICOS

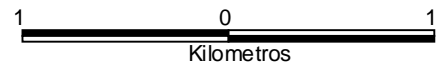
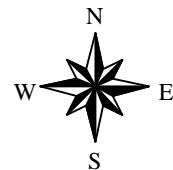


Amplificación Sísmica por zonas , según la escala Mercalli Modificacda



### SIMBOLOGÍA

- área Urbana Consolidada
- Trama Urbana Actual
- Río Maipo



Escala 1: 1:35000

Fuente: Estudio Zonificación Sísmica de la Ciudad de San Antonio, Geotecnia Consultores (MINVU, 1988).

Fig. 5: Amplificación Sísmica de la Ciudad de San Antonio y



#### 4.1.2 GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se localiza dentro del sistema morfogénico del dominio templado seco de Chile Central, sin embargo la evolución y formación del paisaje actual, se debe a condiciones climáticas diferentes a las actuales.

En este sentido las condiciones ambientales anteriores al Cuaternario, más húmedas y torrenciales que en la actualidad, fueron propicias para la descomposición profunda de las rocas cristalinas del cinturón orogénico costero. Esto produjo las superficies de aplanamiento del zócalo granítico, que en la actualidad son superficies culminantes de erosión (Araya – Vergara, 2000).

Posteriormente se produjeron los fenómenos de transgresión marina que dan cuenta de los depósitos marinos de la Formación Navidad y las terrazas de abrasión características de las zonas costeras de Chile.

Es así como en la Ciudad de San Antonio es posible distinguir tres niveles de terrazas de abrasión marina, con alturas relativas del orden de los 200 – 250 m.s.n.m., para la terraza alta; 100 – 150 m.s.n.m., para la terraza media y 30 – 50 m.s.n.m., para la terraza baja (Araya – Vergara, 2000).

Los diferentes niveles de terrazas marinas corresponden a las máximas transgresiones de mar hacia el continente, producto del descongelamiento de los glaciares a nivel planetario. Sin embargo las alturas actuales de estas terrazas marinas, se debe al solevantamiento neo – tectónico (Araya – Vergara 2000; Paskoff, 2000). Esto causó la activación de los procesos erosivo de las vertientes hacia los talwegs, aumentando también la capacidad de incisión de estos, producto del cambio del nivel de base, generando las gargantas epigénicas.

Hay consenso entre los autores en definir la altura del nivel medio del mar, en no más de un par de metros por sobre su posición actual, en las máximas transgresiones. Sin embargo en los periodos de glaciación máxima el nivel del mar retrocedió alrededor de 100 metros de su posición actual (Cecioni, 1970; Hervé, 2003).

Este retroceso de la línea de costa dejó descubierta la plataforma continental, donde la acción del viento constituyó las grandes formas eólicas del área, como las dunas transgresivas de San Antonio y Cartagena, ya que al quedar descubiertos los sedimentos transportados al mar por los ríos Rapel y Maipo, fueron movilizados por acción eólica hacia las terrazas marinas.

A continuación se presenta La carta geomorfológica de la ciudad de San Antonio (figura nº 6), donde se reconocieron y clasificaron los siguientes taxones o unidades mapeadas:

## Taxones de la carta geomorfológica de la ciudad de San Antonio

1. Cara Litoral y Post Litoral
  - 1.1 Erosional rocoso
    - 1.1.1 Acantilado con orla de arrecifes
  - 1.2 Deposicional
    - 1.2.1 Playa de trampa de saliente
    - 1.2.2 Barrera
    - 1.2.3 Flecha
  
2. Post Litoral Superior
  - 2.1 Deposicionales
    - 2.1.1 Duna Anterior
      - 2.1.1.1 Paralela
      - 2.1.1.2 Transgresivas
  - 2.2 Laguna Litoral
  
3. Costa
  - 3.1 Formas polifásicas (terrazas marinas)
    - 3.1.1 Terraza Marina Baja
    - 3.1.2 Terraza Marina Media
    - 3.1.3 Terraza Marina Alta
  
4. Vertientes
  - 4.1 Escarpe
  
5. Formas de interacción fluvio – tectónica
  - 5.1 Garganta epigénica
  
6. Formas de interacción fluvio – marina
  - 6.1 Terraza fluvio marina
  - 6.2 Estuario micromarinal
    - 6.2.1 Bancos estuariales
  
7. Superficies culminantes de erosión del Cinturón Orogénico Costero.

Los sectores entre los diferentes niveles de terraza, separados por alturas del orden de los 30 a 40 metros, se encuentran enmascarado o cubiertos producto de los procesos coluviales, que han sepultado parte del nivel de terraza más baja, suavizado lo que originalmente pudo ser un borde de terraza escarpado.

En la actualidad estos sectores intermedios entre las superficies de terrazas mejor conservadas, se pueden apreciar en la Figura nº 7. Este modelo de elevación permite aclarar la distribución y extensión de esta unidad de vertiente y la extensión de las plataformas de abrasión marinas.

No obstante lo anterior es posible apreciar bordes de terrazas marinas escarpadas, producto de la interacción Fluvio – tectónica, destacando las gargantas epigénicas de los esteros El Sauce, San Juan y Ñanco, los escarpes de la terraza media que drenan hacia el río Maipo y los escarpes de la terraza baja en San Antonio centro.

En este sentido el área se caracteriza por una sucesión de plataformas y suaves lomajes, que se encuentran fuertemente incididas. Estos sectores de fuerte pendiente son importantes en el desarrollo y desencadenamiento de fenómenos de remoción en masa. Se presenta un mapa de pendientes (figura nº 8), y su relación con los procesos geodinámicos asociados. Castro et al. (1995), definió estos umbrales con el fin de identificar unidades geográficas sensibles en la Isla Róbinson Crusoe, como lo muestra el cuadro nº 5:

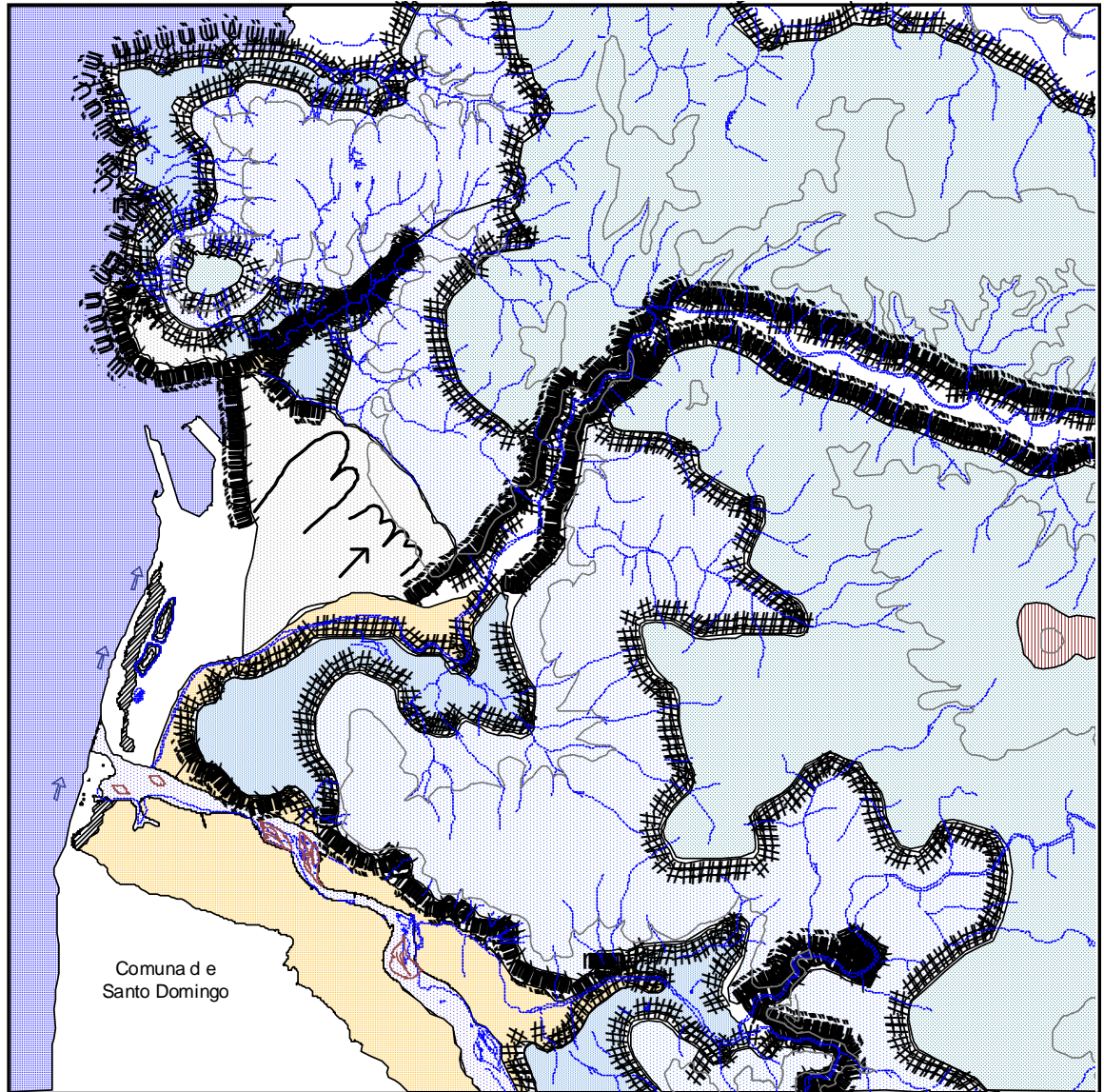
Cuadro nº 5: Umbrales de Pendientes en la Manifestación de Procesos Morfodinámicos

Pendiente en grados	Denominación	Proceso
0 - 2	Plana	
3 - 7	Débilmente inclinado	Erosión laminar
8 - 12	Moderadamente inclinado	Inicio de la erosión lineal. Comienza la reptación
13 - 24	Inclinado	Erosión lineal intensa Disminución de la erosión laminar
25 - 32	Muy inclinado	Comienza los deslizamientos. La erosión lineal deja de ser importante
33 - 38	Fuertemente inclinado	Intensificación de los deslizamientos Comienzan los desprendimientos
39 y más	Inclinación vertical	Predominio de los desprendimientos

Fuente: Castro et al (1995).



# CARTA GEOMORFOLÓGICA DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO



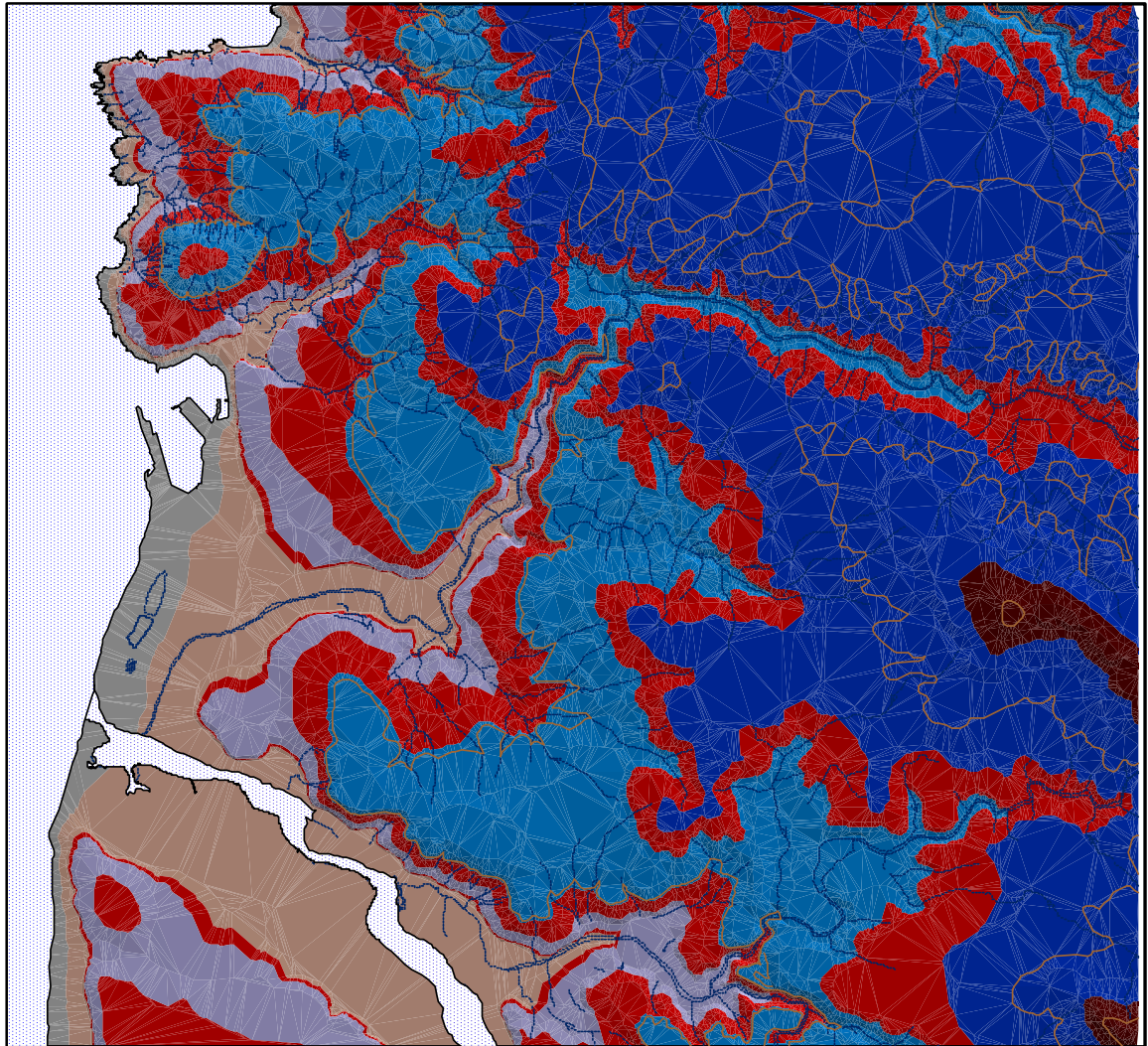
**SIMBOLOGÍA**

<p><b>Cara y Post Litoral</b></p> <p>1. Erosional Rocoso</p> <p>Acantilado con Orlas de Arrecifes</p> <p>Playa de Trampa de Ropiente</p> <p>Barra</p> <p>2. Depositional</p> <p>Flеча</p>	<p>2. Post Litoral Superior</p> <p>2.1. Depositionales</p> <p>2.1.1. Duna Anterior</p> <p>Paralela</p> <p>Transgresiva</p> <p>2.2. Laguna Litoral</p>	<p>3. Costa</p> <p>3.1. Formas Polifásicas</p> <p>Terraza Marina Alta</p> <p>Terraza Marina Media</p> <p>Terraza Marina Baja</p> <p>4. Vertiente</p> <p>Escarpe</p>	<p>5. Formas de Interacción Fluvio - Tectónica</p> <p>Garganta Epigénica</p> <p>6. Formas de Interacción Fluvio - Marina</p> <p>6.1. Terraza Fluvio - Marina</p> <p>6.2. Estuario Micromarital</p> <p>6.2.1 Bancos Estuariales</p> <p>7. Cinturon Orogénico Costero</p> <p>Superficie Culminante de Erosión</p>	<p>N</p> <p>W E</p> <p>S</p> <p>1 0 1</p> <p>Kilómetros</p> <p>ESCALA : 1:65000</p>
---	---	---	---	---

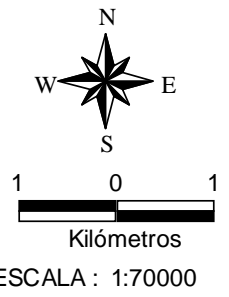
Fuente: Cartografía Digital de la Comuna de San Antonio: Unidad SIG, IMSA (2005).  
 Elaboración: Claudio González Flores

Fig. n° 6: Carta Geomorfológica de San Antonio

MODELOS DE RANGOS DE ELEVACIÓN EN METROS, DE LAS TERRAZAS MARINAS DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO.



Rango de Elevación		SIMBOLOGÍA	
0 - 10	Depósitos de Playa		Mar
10 - 25	Terraza Fluvio - Marina y Duna Transgresiva		Río Maipo
25 - 30	Borde Terraza Marina Baja		Esteros
30 - 60	Superficie Terraza Marina Baja		Curvas de nivel cada 100 metros
60 - 95	Borde Terraza Marina Media		
95 - 150	Superficie Terraza Marina Media		
150 - 180	Borde Terraza Marina Alta		
180 - 250	Superficie Terraza Marina Alta		
250 - 2000	Superficie Cinturon Orogenico Costero		

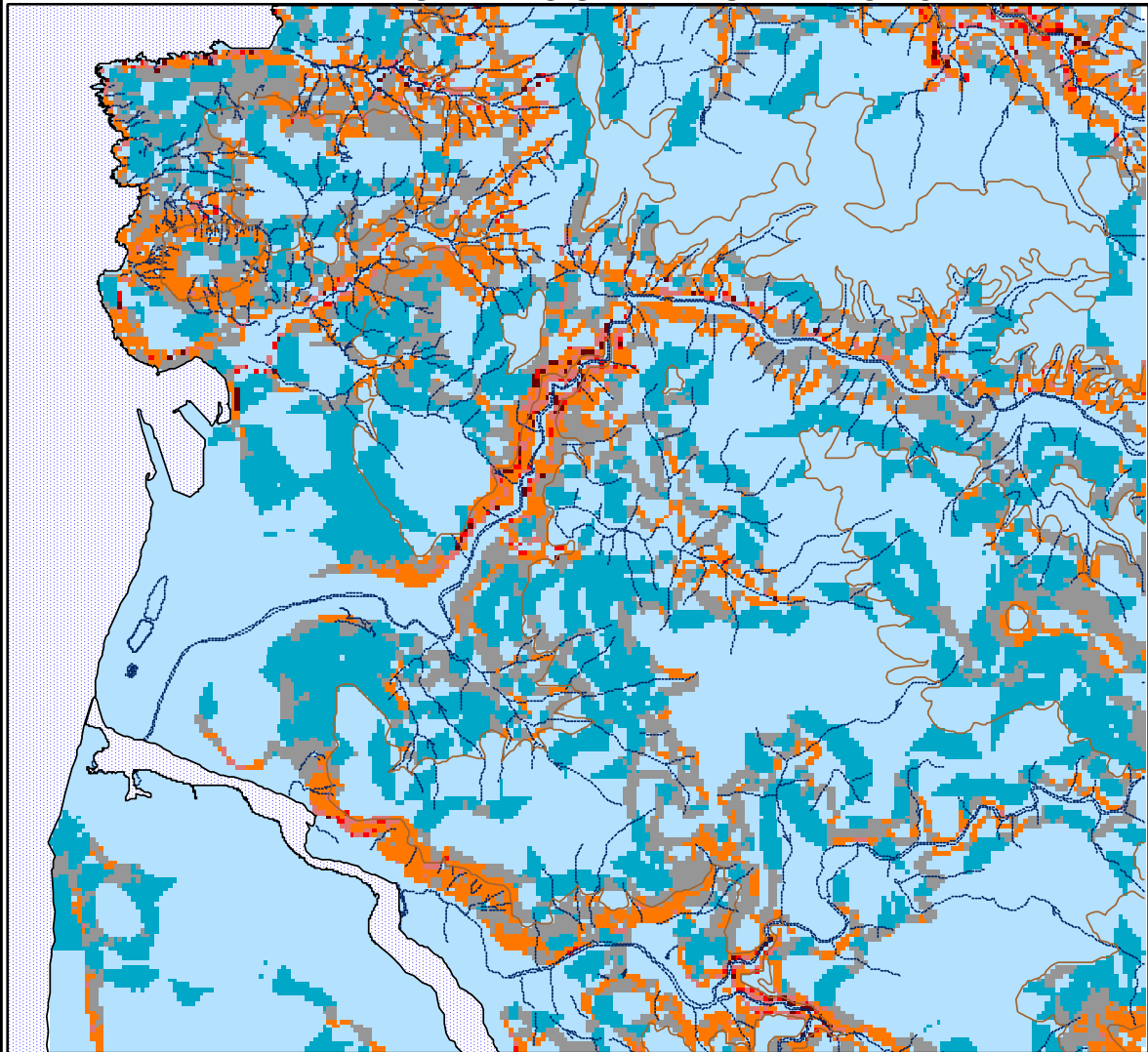


Modelo Generado a partir de la cobertura de curvas de nivel cada 20 mt.

Fuente: Cartografía Digital de la Comuna de San Antonio: Unidad SIG, IMSA (2005).  
Elaboración: Claudio González Flores

Fig. 7: Modelo de Elevación de Terrazas Marinas de la Ciudad de San Antonio.

# MAPA DE PENDIENTES DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO



## SIMBOLOGÍA

### Pendientes

	0 - 3
	3 - 7
	7 - 12
	12 - 24
	24 - 32
	32 - 38
	38 - 90
	Sin Datos

Rangos Según Castro et al., (1995).

	Mar
	Río Maipo
	Esteros
	Curvas de nivel cada 100 metros



1 0 1  
Kilómetros  
ESCALA : 1:70000

Cuadrícula de cálculo de pendientes 50 x 50 mt., a partir de curvas de nivel cada 20 mt.

Fuente: Cartografía Digital de la Comuna de San Antonio: Unidad SIG, IMSA (2005).  
Elaboración: Claudio González Flores

Fig. 8: Mapa de Pendientes

Las áreas con mayores pendientes están asociadas a las gargantas epigénicas, donde predominan las pendientes del orden de los 25 – 32° y en menor medida los segmentos de 33 – 38° y más. El sector de Lo gallardo que corresponde al escarpe de la terraza media presenta mayoritariamente pendientes del orden 13 – 24° y en menor medida pendientes de 25 – 32°.

Destaca por su carácter de urbano consolidado San Antonio centro y sus alrededores, donde se presentan pendientes del orden de los 13 – 24°, producto de las laderas del cerro Centinela, cuya cumbre corresponde a un remanente de la terraza marina alta (TMA). Gran parte de estas laderas, especialmente las de exposición sur y suroeste, se encuentran cubiertas por depósitos eólicos.

En San Antonio centro se desarrolla un escarpe de la terraza baja, con pendientes locales de 24 – 32°, en contacto con la estrecha terraza fluvio – marina del Estero Arévalo. Claret (1982) clasificó esta unidad como suelos de escombros de faldas con depósitos de fragmentos de rocas, producto de la desintegración física y acumulada por la acción del transporte gravitacional, que posteriormente fueron reacomodados por acción de la última transgresión marina.

La terraza fluvio - marina presenta pendientes del orden de los 0 – 3° y alturas cercanas a los 10 m.s.n.m., desarrollándose con mayor extensión en la Ría del Maipo. Hervé (2003), presenta la datación de un depósito Fluvio – marino ubicado en el estero San Jerónimo a 7 m.s.n.m., en Algarrobo, con una edad de 6640 – 6300 años antes del presente, correspondiendo a la transgresión marina del Holoceno medio. Con estos antecedentes es posible extrapolar la edad de este depósito, a la formación de la terraza fluvio – marina, que corresponde al relleno óptimo de la Ría del Maipo y los esteros Arévalo y El Sauce.



### 4.1.3 SUELOS

Se ha expuesto los componentes físicos del área de estudio, a través de las formaciones geológicas, los procesos de descomposición profunda de las rocas, los depósitos marinos y continentales que se originaron a partir de finales del Mioceno. Esto es fundamental para entender y conocer el origen de los suelos, ya que la relación entre la morfogénesis y la formación del suelo o pedogénesis es directa (Llona, 2000).

Las características de los suelos son importantes para el sostenimiento de las actividades humanas, ya sea en relación a las actividades que utilizan el suelo como recurso productivo y aquellas que lo utilizan como soporte para el desarrollo de las actividades residenciales.

En este sentido la revisión de las diferentes unidades de suelos presentes en el área de estudio, está enfocada a poder determinar su comportamiento frente a los fenómenos de remoción en masa, capaces de generar riesgos geomorfológicos, en la ciudad de San Antonio.

A continuación se presenta una descripción de las diferentes características de las unidades de suelo, de la zona de expansión urbana de la comuna de San Antonio (figura nº 9). El Estudio Agrológico de la V región (CIREN, 2000), ha identificado 7 series de suelo , con 12 sub clases, que se describen a continuación (Anexo nº 2) :

**Lvz:** La serie Lo Vásquez es un miembro de la familia franca fina, mixta térmica de los Ultic haploxerels (Alfisol).

Suelos evolucionados derivados de rocas graníticas, moderadamente profundos, de los suelos de la cordillera de la costa de Chile Central. De color pardo rojizo oscuro en el matiz SYR y la textura franco arcillo arenosa en la superficie, arcillosa en profundidad, con un contenido de gravilla de cuarzo que se incrementa junto con la proximidad de la roca descompuesta, donde toma un color rojizo amarillento en el matiz SYR y pardo amarillento oscuro en el matiz 7.5 TR, siendo la textura arcillo arenosa. Los materiales se encuentran bien estructurados en los primeros 40 o 50 centímetros, y no presentan estructura en profundidad. El sustrato está constituido por rocas graníticas descompuestas.

#### **LVZ-1** **Vlle**

Corresponde a suelos moderadamente profundos, de textura franco arcillo arenosa en la superficie y arcillosa en profundidad. Ocupa una posición de lomajes con pendientes de 20 a 30%, de permeabilidad lenta, con erosión ligera y buen drenaje. Su aptitud es preferentemente forestal. Corresponde al grupo hidrológico C; es decir suelos con alto contenido de arcillas y gran potencial de

escurrimiento y pequeña infiltración. Esta unidad se desarrolla en el sector de la Quebrada El Tranque en la zona alta de San Antonio.

### **LVZ-7**

#### **VIIe**

Suelos moderadamente profundos, de textura superficial franco arcillosa y arcillosa en profundidad. Presenta una topografía de cerros con pendientes de 30 a 50%, de permeabilidad moderada, con erosión moderada de manto y zanjas ocasionales y buen drenaje. Su aptitud principal es forestal. Corresponde al grupo hidrológico C, es decir margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla. Baja capacidad de infiltración cuando están saturados. Esta unidad se concentra al sur este del área de estudio, en el sector del estero San Juan, en la confluencia de éste y el estero Ñanco.

**BOC:** serie Bochínche es un miembro de la familia fina, mixta, térmico de los TYPIC HAPLOXEROLLS (MOLLISOL).

Suelos de origen sedimentario, moderadamente profundo, en posición de terraza litoral y de topografía suavemente ondulada. Textura superficial franco arenosa y color pardo oscuro en la matiz 7.5 YR. En profundidad se presenta con textura franco arcillosa arenosa y arcillo arenosa. Descansa sobre un sustrato de gravas redondeadas, donde se distingue la presencia de gravilla de cuarzo y ortosa abundante. En profundidad y quiebres de pendiente se observa que esta terraza descansa sobre la formación granítica. Estos suelos (BOC-1,3,4,5 y 6v) se presentan bien drenados, con una topografía ondulada y pendientes en su mayor parte, inferiores al 15%.

### **BOC-1**

#### **IVs**

Suelos moderadamente profundos de textura franco arenosa en todo el perfil. Presenta una topografía suavemente ondulada con pendientes de 5 a 8%, de permeabilidad moderada rápida, erosión leve y buen drenaje. Su aptitud es agrícola con limitaciones, debido a su topografía. Corresponde al grupo hidrológico B, siendo la unidad de esta familia, la que presenta una mayor extensión sobre las terrazas marinas Alta y Media.

**BOC-3**  
**IVs**

Suelos moderadamente profundos de textura franco arenosa, en la superficie y en el subsuelo. Su topografía es moderadamente ondulada de 8 a 15% de pendiente, de permeabilidad rápida, erosión ligera y buen drenaje. Corresponde al grupo hidrológico C.

**BOC-4**  
**VIs**

Suelos moderadamente profundos de textura franco arenosa en todo el perfil. Presenta topografía moderadamente ondulada, que se encuentran disectadas, con pendientes de 8 a 15%, de permeabilidad rápida, con moderada erosión, buen drenaje. Su aptitud es preferentemente para plantaciones forestales y praderas. Corresponde al grupo hidrológico B; es decir suelos pocos profundos, marga arenosa con tasas de infiltración moderadas a rápida. Se localiza en el sector de la Población la Campiña, en Lollole alto, en la vertiente que drena hacia el valle del Estero del Sauce, en las cercanías del Fundo de Lollole.

**BOC-5**  
**VIIe**

Suelos moderadamente profundos de textura franco arenosa, tanto en la superficie, como el subsuelo. Presenta topografía escarpada con pendientes de 25 a 45% y se ubican en las caídas de las quebradas que disectan este grupo. Permeabilidad rápida, con erosión moderada y buen drenaje, pertenece al grupo hidrológico B. Su aptitud forestal y de protección. Esta unidad se localiza en la garganta epigénica o cañón del Estero El Sauce, desde Malvilla hasta el Fundo de Lollole, en las laderas del estero Arévalo, donde se localizan plantaciones o bosques introducidos. La característica principal de esta unidad es la gran disección.

**BOC-6v**  
**IIIs**

Suelos moderadamente profundos de texturas arcillo arenosas, Tiene una topografía ligeramente ondulada con pendientes de 1 a 3%, de permeabilidad moderada, no presenta erosión, buen drenaje. Su aptitud es agrícola en base al cultivo de cereales y praderas artificiales. Pertenece al grupo hidrológico C, destacando su bajo contenido orgánico y alto contenido de arcillas. Se desarrolla en la zona alta de la ciudad, correspondiendo a la terraza Marina Alta, localizándose en el sector del cruce de Malvilla y la zona alta de San Juan. Presentando vegetación de bosque introducido y praderas.

**SRC:** La serie Santa Rita de Casablanca es un miembro de la familia franca arenosa mixta, térmica de los Typic Xérochrepts (inceptisol).

Suelos de origen aluvio coluvial profundos, en posición suavemente inclinada, con pendientes dominantes de 2 a 3%. Corrientemente se presenta un nivel freático entre 100 a 110 Cm., en invierno y en los años lluviosos sube a 80 a 85 Cm.

**SRC-6**  
**Illw**

Suelos de origen coluvial estratificados, profundos, de texturas, predominantemente franco arenosa en la superficie y en profundidad. Su topografía es plana de 1 a 3% de pendiente, de permeabilidad moderada, sin erosión y de drenaje moderado. En algunos sectores deprimidos el drenaje varía a imperfecto y las texturas son más finas. Los suelos de este grupo se han originado a partir de sedimentos aluviales y coluviales, provenientes de la formación granítica, que domina el área de estudio. Constituyen terrazas planas en los márgenes de los esteros. Su aptitud es agrícola intensiva. Se localiza en los valles del Estero El Sauce. Corresponde al grupo hidrológico C, es decir presenta un alto contenido de arcillas.

**LNR:** Serie Loncura es un miembro de la familia arenosa mixta, térmica de los TYPIC XEROPSAMMENTS (ENTISOL).

**LNR-5**  
**VI s**

Suelo ligeramente profundo formado a partir de dunas antiguas (paleodunas) estabilizadas, de textura superficial areno francosa fina y color pardo oscuro. Descansa sobre arenas graníticas. Ocupa una posición de fuertemente ondulada, con pendientes de 15 a 20%. Suelos de permeabilidad rápida, drenaje excesivo y desarrollo incipiente del perfil. Corresponde al grupo hidrológico A.

**Suelos Misceláneos**

**E**  
**VIII**

Corresponde a suelos con topografía de quiebres abruptos con pendientes superiores a 60%, gran parte de esta unidad esta cubierta de vegetación arbustiva, especialmente en sectores con influencia de clima marítimo. Son terrenos muy delgados de texturas arenosas, permeabilidad rápida y erosión moderada. Su aptitud es para la conservación de la vida silvestre y protección de riberas. Esta unidad se localiza en la ribera norte del Río Maipo, en la localidad de Lo Gallardo, donde se localizan algunas canteras y urbanizaciones. Corresponde al grupo hidrológico B.



## MD-1 VIIe

Corresponde a terrazas ocupadas por arenas estabilizadas (dunas) de tipo andesítico basáltico, con textura superficial areno francosa fina. De topografía suavemente ondulada con pendientes de 5 a 8%, de permeabilidad muy rápida y erosión ligera. Su cobertura vegetal está constituida por escasos pastos y su aptitud es forestal. Sobre esta unidad de suelo se emplaza todo el sector urbano de Barrancas y playa de Lollole, donde su pendiente disminuye. Este suelo corresponde a la duna transgresiva descrita anteriormente y es clasificada dentro del grupo hidrológico A.

**MR:** Corresponde a terrenos en posición de terraza aluvial reciente, de escaso desarrollo de sus perfiles, con alto contenido de gravas y bolones y con vegetación arbustiva escasa.

El área total de los suelos de la ciudad de San Antonio y su zona de expansión, que cuentan con información (CIREN, 2000), abarca 6259 hectáreas. La serie Bochínche abarca el 77% de los suelos del área, destacando los suelos BOC-1 que concentran el 44.9% de la superficie total (grafico nº 1).

En relación a la pendiente destacan los suelos Boc-5 y Lvz-7, que se desarrollan en pendientes entre 30 a 50%, concentrando ambos el 23% de la superficie total de los suelos presentes en la cartografía (figura nº 9).

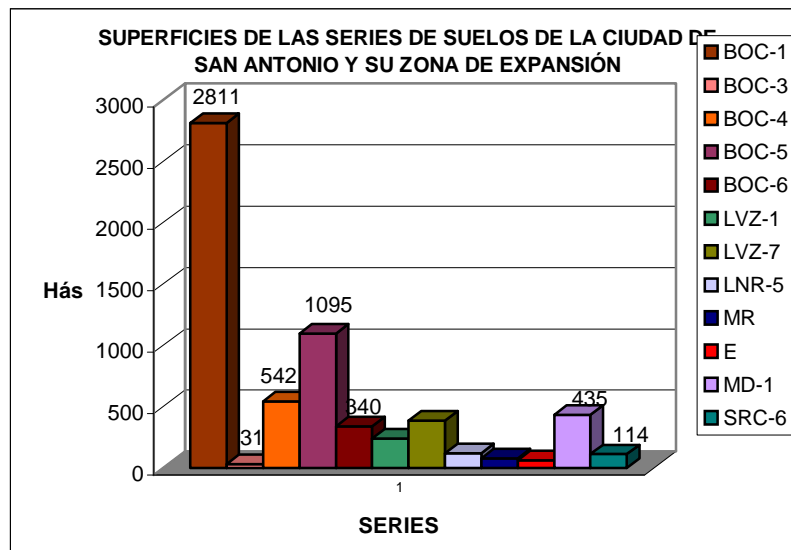


Grafico nº 1: Superficies de las series de suelo.

En el marco de la realización del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias (MOPTT, 2003), se realizó una clasificación según el grupo hidrológico. Esta clasificación define el comportamiento de los suelos en función de las precipitaciones, según su permeabilidad, lo que ayuda a entender la generación

de la escorrentía superficial, para la zona de expansión urbana de San Antonio (MOPTT, 2003).

Las unidades de suelos según el grupo hidrológico corresponden a las siguientes cuatro categorías:

**Grupo A:** Arenas profundas, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados. Bajo potencial de escurrimiento superficial, suelos con buen drenaje y conductividades hidráulicas del orden de 7 mm/hr.

**Grupo B:** Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa. Tasa de infiltración moderadas, con conductividades hidráulicas del orden de 3 a 6 mm/hr.

**Grupo C:** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla. Baja capacidad de infiltración cuando están saturados.

**Grupo D:** Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos, pequeña infiltración y conductividades hidráulicas del orden de 1 mm/hr

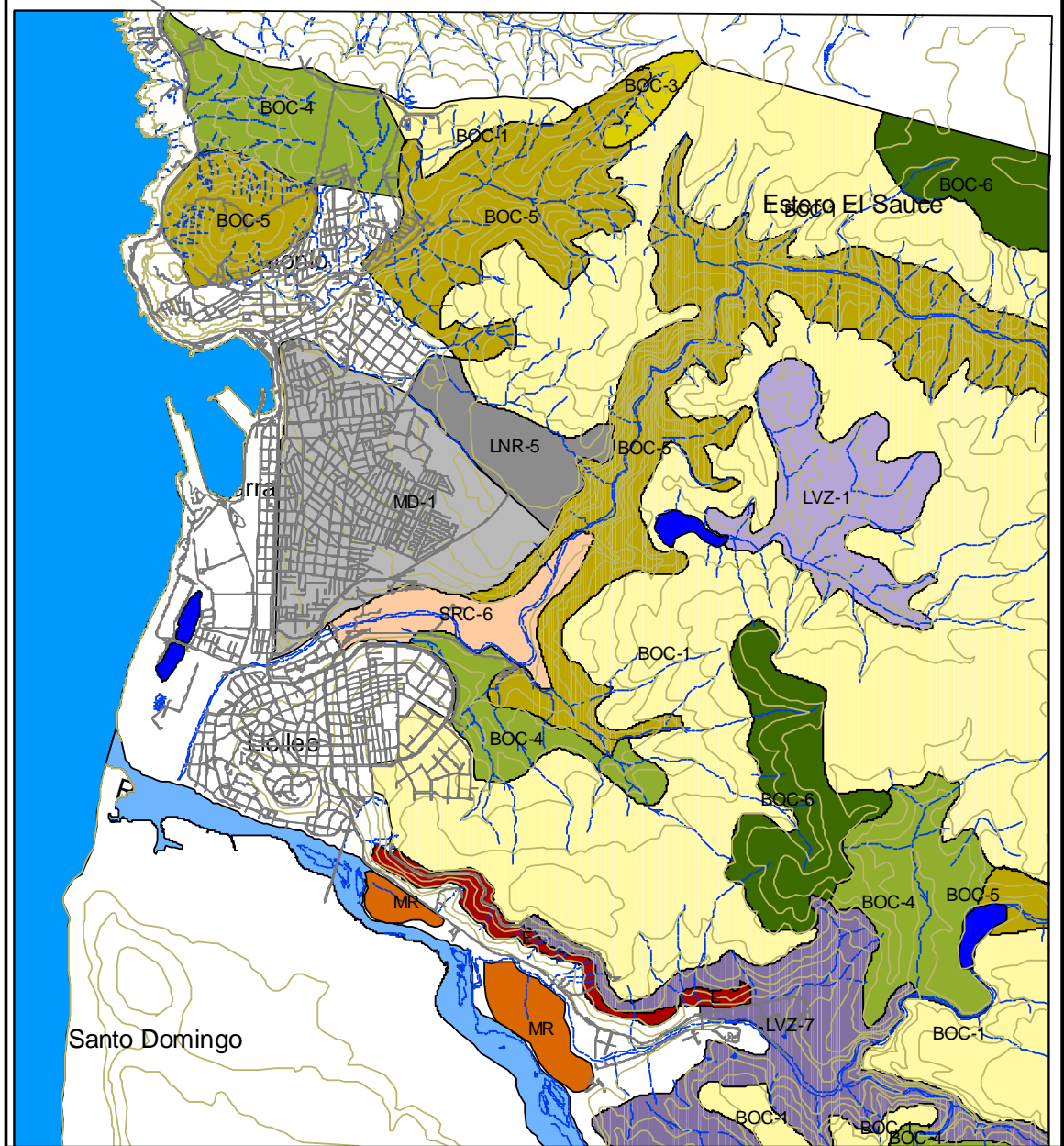
Los suelos del grupo C abarcan el 18.19% de los suelos mapeados, localizándose en las zonas altas y planas de la Terraza Marinas Alta y Media y el fondo de valle del estero El Sauce aguas abajo de la garganta epigénica del mismo estero.

Los suelos del grupo B, representan un 72.71%, y abarcan la Terraza Marinas Alta y Media en sectores de lomajes suaves y en áreas de fuerte pendiente, como las laderas del cañón formado por el estero El Sauce y las vertientes de la cuenca del estero Arévalo.

Los suelos del grupo A corresponden a los suelos arenosos de la gran duna transgresiva en el sector Barrancas, con un 9%. Sin embargo este porcentaje es mayor, ya que gran parte de esta unidad se encontraba urbanizada antes del levantamiento cartográfico por parte de CIREN. Estos sectores corresponden a Barrancas bajo y el sector de Playa de Lolleo (figura nº 10).

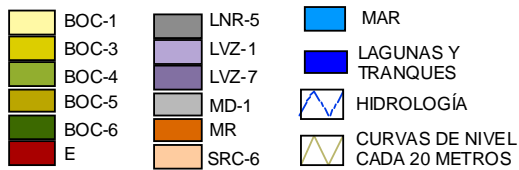
El grupo hidrológico D es el que presenta mayores limitaciones como sustento de actividades urbanas, sin embargo no se presenta dentro del área de estudio. El Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias (MOPTT, 2003), ha clasificado la unidad Lvz-1 como parte del Grupo D, pero con los antecedentes texturales y topográficas del sector analizados en este trabajo, se ha clasificado dentro el Grupo Hidrológico C.

CARTA DE SUELOS DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO Y ZONA DE EXPANSIÓN URBANA



SIMBOLOGÍA

SERIES DE SUELO

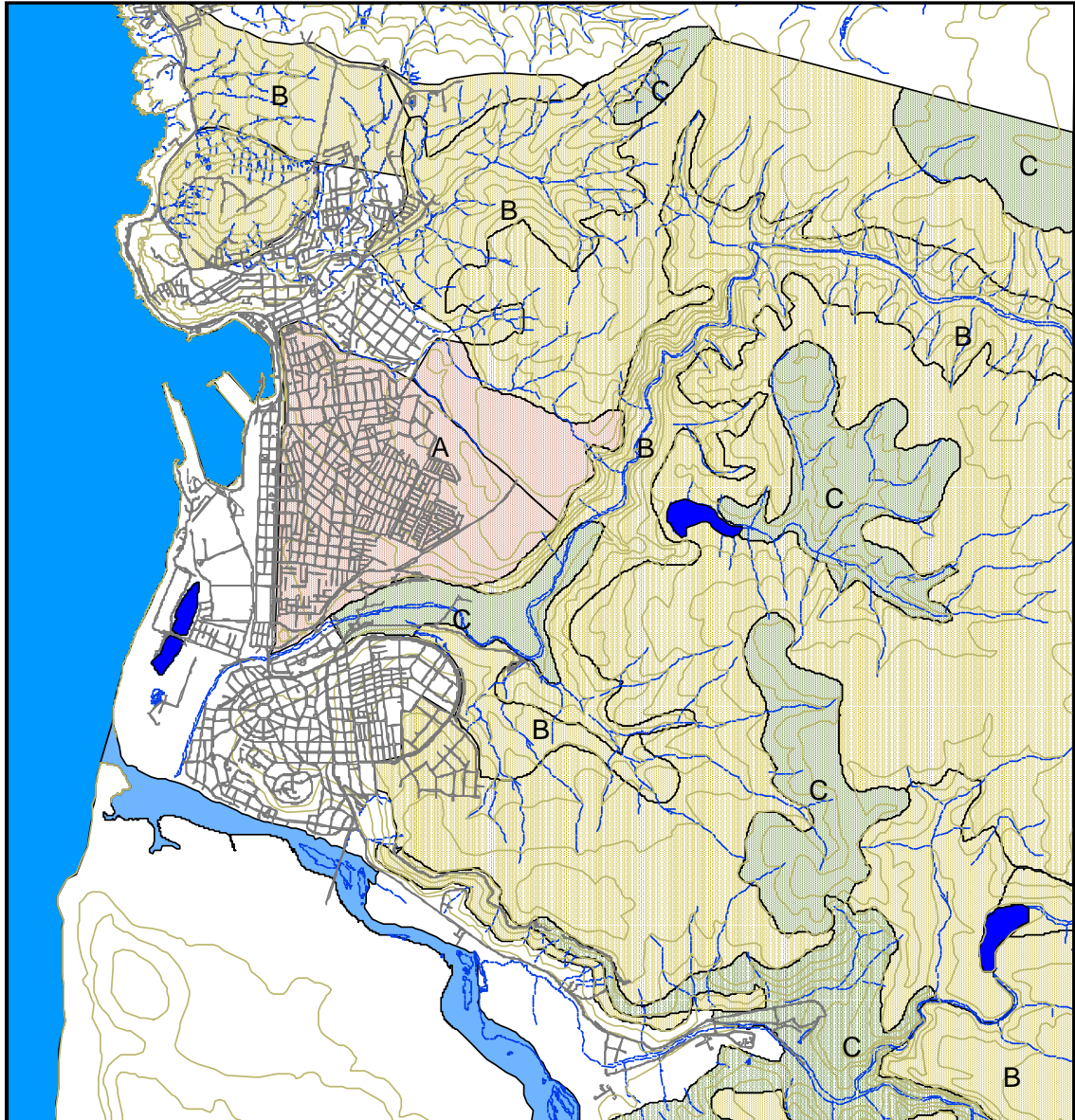


Serie de suelos	Área háts	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
BOC-1	2811	44,91	
BOC-3	31	0,50	45,41
BOC-4	542	8,66	54,07
BOC-5	1095	17,49	71,56
BOC-6	340	5,43	76,99
LVZ-1	242	3,87	80,86
LVZ-7	386	6,17	87,03
LNR-5	121	1,93	88,96
MR	79	1,26	90,22
E	63	1,01	91,23
MD-1	435	6,95	98,18
SRC-6	114	1,82	100,00
Total	6259	100,00	

Fuente: Digitalización de ortofotos del proyecto "Estudio Agrológico de V Región, CIREN, 2000.  
Elaboración: Claudio González Flores

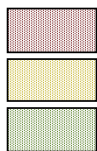
Fig. 9 : Carta de Series de Suelos

MAPA DE LOS GRUPOS HIDROLÓGICOS DE LOS SUELOS DE LA ZONA DE EXPANSIÓN URBANA DE SAN ANTONIO.



Simbología

Grupo Hidrológico

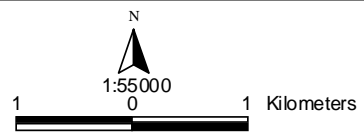


Lagunas y Tranques

Hidrología

Curvas de nivel cada 20 metros

Mar



Grupo hidrológico	Superficie Hás	Porcentaje
A	556	9.0
B	4511	73.0
C	1113	18.0
TOTAL	6180	100.0

Fuente: MOPTT. Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio y Cartagena (2003).  
Elaboración: Claudio González Flores

Fig. 10 : Grupos Hidrológicos.

#### 4.1.4 PRECIPITACIONES

Los elementos del clima modelan la superficie de la tierra, siendo las precipitaciones el principal agente desencadenador de los procesos de remoción en masa. En este sentido se realiza un análisis de las precipitaciones del área de estudio, enfocado hacia la determinación de áreas de riesgo, producto de las alteraciones que provoca un evento meteorológico, en los espacios urbanos de la comuna.

Las características climáticas de San Antonio corresponden a las de Chile Central, con un clima de tipo mediterráneo con estación estival seca. En la zona costera las precipitaciones medias anuales alcanzan entre los 350 - 450 mm, concentrándose el 63.5% de las precipitaciones en los meses de mayo, junio y julio (Ver cuadro N° 6)

Castro et al. (1990), afirman que el clima mediterráneo con estación seca prolongada que alcanza los 8 o 9 meses sin precipitaciones (octubre a marzo), es característico de las localidades de San Antonio y Lillo. Además se presenta una baja frecuencia de días con precipitaciones, del orden de 33 días al año como promedio, que ocurren principalmente en los meses de mayo a agosto. Esta situación provoca que ocurran eventos de gran intensidad, del orden de 50 mm, en 24 horas por lo menos una vez al año como promedio (MOPTT, 2003).

La intensidad de la lluvia y el grado de concentración estacional de ésta, proveen condiciones favorables para la generación de procesos de erosión lineal y remoción en masa en las planicies costeras. Si consideramos que la lluvia es el factor más importante en la erosión de la roca alterada (Araya – Vergara, 1966), y que el principal agente erosivo en los climas mediterráneos es el escurrimiento superficial (Castro, 1976), resulta interesante el análisis del comportamiento de las precipitaciones a través del año, como lo muestra el cuadro N° 6.

Cuadro N° 6: Precipitaciones mensuales y total anual en la ciudad de San Antonio, para el año 2002.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
mm	3,3	4,8	6,1	20,5	88,6	107,6	87,6	74,7	26,	14,90	7,0	5,0	447.0
%	0,74	1,07	1,36	4,59	19,8	24,1	19,6	16,7	6,02	3,33	1,57	1,12	100

Fuente: MOPTT, 2003.

La torrencialidad de las precipitaciones, permiten afirmar que la evolución morfodinámica actual, ligada al escurrimiento superficial, se realiza en formas de pulsaciones diarias, correspondientes a los días en los que se producen precipitaciones de carácter torrencial (Andrade et al., 1989). En este sentido el MOPTT (2003), propone como umbral de precipitaciones que provoca daños en la ciudad de San Antonio, 35 mm/24hrs, monto que se presenta con un periodo de retorno de 1 año.



El Porcentaje de precipitación mensual presente en el cuadro N° 6, muestra que los meses de mayo, junio y julio, son meses críticos en lo que se refiere a la erosión producida por las lluvias, ya que presentan un importante porcentaje de las precipitaciones anuales de 19.8, 24.1 y 19.6% respectivamente, concentrando el 63.5% de las precipitaciones anuales.

Castro et al. (1990), calculó el índice de intensidad de la lluvia para la ciudad de San Antonio, que es la relación del promedio mensual de las precipitaciones en un mes, con el número de días que llovió en ese mes. Este índice muestra que la intensidad promedio de las precipitaciones en estos días fue 17.1 mm/día para julio, 14.1 y 11.7 mm/día, para los meses de mayo y junio respectivamente.

En este sentido cabe destacar que las lluvias de otoño juegan un papel importante en la degradación del relieve, donde el terreno ha sido preparado durante la prolongada estación estival, con lo cual la vegetación herbácea ha desaparecido, siendo la variable más agresiva que favorece a la generación de condiciones de desequilibrio geomorfológico (Andrade et al., 1989).

Esto demuestra que el otoño es una estación crítica desde el punto de vista de la agresividad de la lluvia como agente erosivo, ya que en dicha estación se miden comparativamente con otras estaciones elevados índices de intensidad y concentración estacional de la lluvia (Castro et al., 1990). Las primeras lluvias otoñales son las más intensas por la falta de saturación que alcanzan los suelos a raíz del verano, aumentando la carga sólida de las aguas salvajes (Araya – Vergara, 1966).

Con respecto a la cantidad de precipitaciones necesaria para desencadenar procesos erosivos en un tiempo determinado, Patiño (1992) asumió que 6 mm/hr, es el umbral a partir del cual se produce erosión en San Antonio. Del análisis de 30 años de registros mensuales, plantea que el 33.3 % de las precipitaciones del mes de julio son mayores a 6 mm/hrs, seguido de junio con un 25.9%. Es interesante resaltar el salto que se produce entre abril y mayo, 2.7% y 19.4% respectivamente.

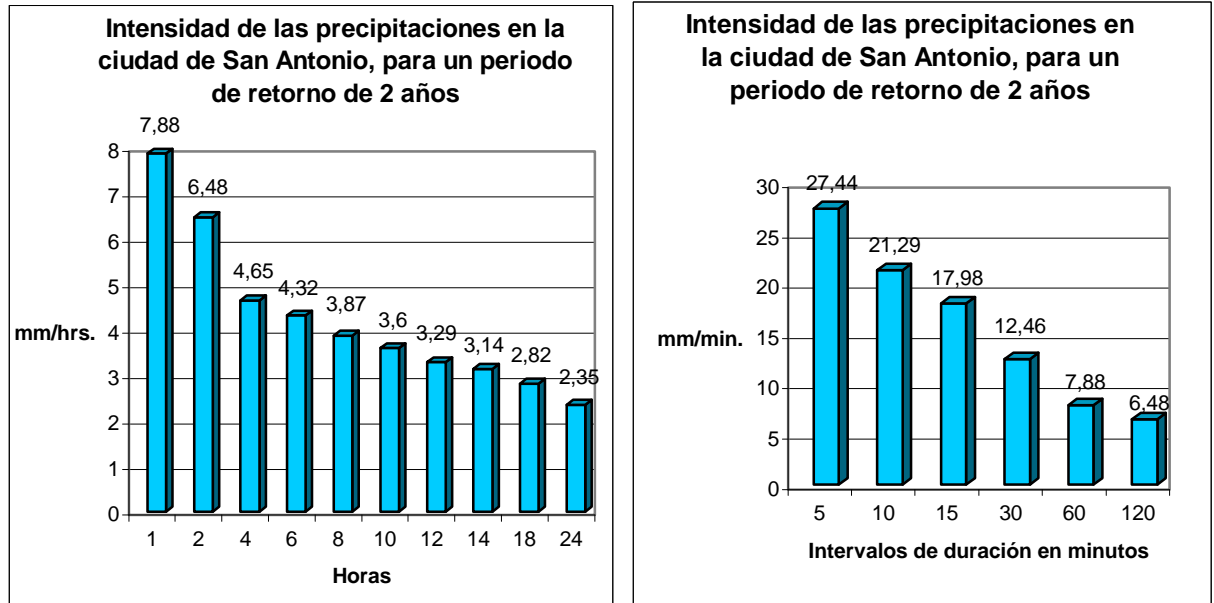
En términos anuales, julio concentra el mayor número de máximas mayores o iguales a 6mm/hr anual, con el 38% de ellos, lo sigue junio con el 26% y mayo el 19%. Esto reafirma lo expuesto anteriormente con respecto a la importancia de las precipitaciones otoñales en el desencadenamiento de los procesos erosivos.

Sin embargo es indiscutible que son muchos los factores que intervienen en la erosión del suelo, tales como, pendiente, cobertura vegetal, textura del suelo, permeabilidad, usos del suelo, etc.

El umbral de 6mm/hr definido por Patiño (1992), es similar a la intensidad de las precipitaciones calculadas por el MOPTT (2003) para esta ciudad (gráficos n° 2 y 3), 7.88mm/hrs, en la primera hora de lluvia.

A continuación se presenta los gráficos 2 y 3 con la intensidad de las precipitaciones según los intervalos de tiempo en minutos y horas, para una precipitación con un periodo de retorno de 2 años.

Gráficos N° 2 y 3: Intensidad de las precipitaciones



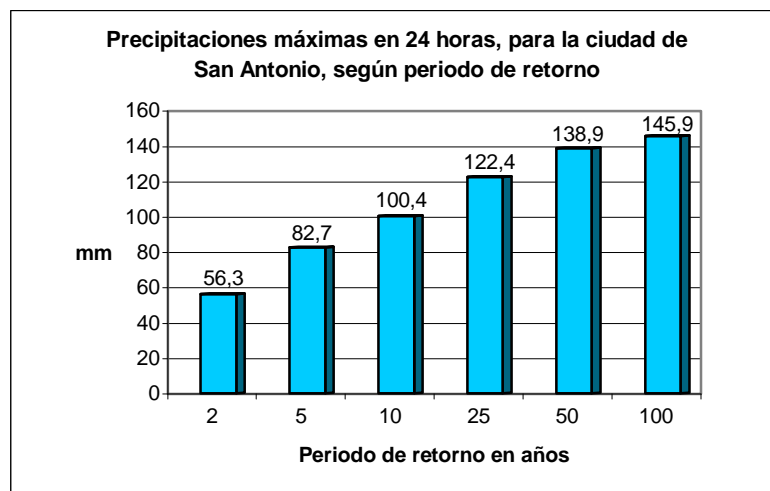
Fuente: Elaboración propia a partir de MOPTT (2003).

Los gráficos n° 2 y 3 muestran la cantidad de precipitaciones para períodos de retorno de 2 años, destacando que la intensidad de la lluvia aumenta cuando el intervalo de tiempo disminuye. El monto de las precipitaciones corresponde a 56.3 mm/24hrs, a partir del cual se calcula las precipitaciones en intervalos menores de minutos y horas.

Cabe destacar que la máxima intensidad de la lluvia que se puede presentar en San Antonio, en un intervalo de 15 minutos es el 9% de las precipitaciones de 24 horas. Este porcentaje es representativo para cualquier período de retorno y con este parámetro se dimensionaron las redes futuras de evacuación de aguas lluvias de la ciudad (MOPTT, 2003).

El gráfico N° 4, presenta las precipitaciones esperadas en la ciudad de San Antonio, para los diferentes períodos de retorno.

Gráfico N° 4: Precipitaciones según periodo de retorno.



Fuente: Elaboración propia a partir de MOPTT (2003).

Estos valores son representativos para toda el área de estudio, ya que el registro de las estaciones pluviométricas, muestra que las precipitaciones máximas diarias no son mayores ni menores al promedio de alguna subcuena de la comuna (MOPTT, 2003).

Desde el punto de vista de la morfoconservación, esta variedad climática y específicamente los fenómenos de precipitaciones torrenciales son muy agresivos y favorecen el establecimiento de condiciones de desequilibrio geomorfológico, traduciéndose en riesgos que se pueden presentar en periodos de retorno muy cortos.



#### 4.1.5 HIDROLOGÍA

##### **Sistema Hidrológico de la comuna de San Antonio**

En la ciudad de San Antonio, se presentan de sur a norte, el Río Maipo en su tramo final, las cuencas locales de San Juan y El Sauce, que desembocan en este río. Al norte de la ciudad se presentan cuencas menores como el Estero Arévalo, que desemboca directamente al mar, como se muestra en las figuras 11 y 12.

**El río Maipo** destaca por el mayor caudal y superficie, al ser una gran cuenca, donde se desarrolla la Región Metropolitana y parte de la V Región de Valparaíso. En el área de estudio el análisis de este cauce, se centra en la dinámica de su desembocadura, es decir, el sistema estuarial del Maipo.

El río Maipo nace a 3.135 m.s.n.m al pie occidental del volcán del mismo nombre, presentando un régimen hidrológico mixto, junto a sus afluentes, de allí que tenga fuerte crecidas en invierno, primavera y comienzos del verano. Sin embargo, un análisis del comportamiento de ellas permite decir que hay primacía del régimen nival, ya que los caudales máximos estivales duplican los gastos medios de invierno, por lo queda demostrado que existe una tendencia a la torrencialidad en el régimen de las estaciones estivales (Araya – Vergara, 1981).

En la desembocadura del río Maipo se presenta un sistema estuarial, que se caracteriza por ser regulado por la dinámica litoral y fluvial, ya que las corrientes de marea ingresan aguas arriba hasta alcanzar el mismo nivel de la pleamar y luego se produce una circulación contraria, provocada por la bajamar, fenómeno conocido como corriente de flujo y reflujo. En períodos de crecidas moderadas y extremas es cortada la barra de la desembocadura, reordenándose los sedimentos en la plataforma inmediata a través de la deriva litoral.

Este proceso de regulación entre la dinámica fluvial y litoral, da paso a geoformas típicas de este ambiente, las que pueden ser efímeras o más estables según las fuerzas morfodinámicas del estuario. Por lo tanto las formas resultantes de esta interacción, indican un balance entre la acción dinámica fluvial y marina, presentándose una marcada estacionalidad en la predominancia de la acción de una u otra.

Este estuario se enmarca dentro de una unidad geomorfológica mayor, como es la ría (Araya Vergara, 1981), que es un valle costero anegado, debido a una transgresión marina. Ésta es la forma del terreno sobre la cual se desarrolla el estuario, encontrándose colmatadas de sedimentos debido a los depósitos fluvio-marinos Holocénicos.

Dentro de este sistema González (2002), reconoció las diferentes zonas con sus elementos o formas típicas, que conforman el Estuario del Maipo, a partir de lo planteado por Araya Vergara (1981):

Una zona fluvial: con meandros estuariales, con bancos laterales cuspidales.

Una zona deltaica interior: con bancos medios y canales distributarios.

Una zona lagunar con: laguna distal semi bloqueada por una barra litoral o flecha exterior (spit).

En San Antonio la marea astronómica tiene una amplitud media de 0.9 metros y un rango de amplitud de sicigias de 1.71 metros. Para fines de diseño de cálculo de ejes hidráulicos y descargas de obras al mar, el MOPTT. (2003) recomienda tener presente la posibilidad de una marea de temporal de 0.5 metros por sobre el nivel de la marea astronómica, la cual puede ser asociada a una tormenta marina de período de retorno de 10 años.

En este caso, podría ocurrir que esta anomalía de marea de 0.5 metros, sea coincidente con una sicigia de 1.0 m.s.n.m., resultando una cota de diseño en periodos de tormenta de 1.5 metros sobre el nivel medio del mar, valor recomendado como valor de diseño (MOPTT. 2003).

### Cuencas Locales

Existen tres cuencas importantes en la comuna que se desarrollan en la zona urbana y de extensión, la cuenca del estero San Juan, estero El Sauce y Estero Arévalo. Las dos primeras nacen en los faldeos de la cordillera de la costa, mientras el Estero Arévalo nace a partir de la terraza marina alta, con alturas cercanas a los 200 m.s.n.m. (figuras nº 11 y 12).

**La cuenca del estero San Juan** se ubica en el extremo sur este de la comuna de San Antonio y se desarrolla en su mayoría fuera del área de estudio. Su último tramo, corresponde al sector aguas abajo del embalse de San Juan, el que forma parte del radio urbano propuesto de la comuna. En este tramo del cauce principal se llama Estero San Juan, mientras que aguas arriba el embalse se llama Estero Leyda, sector donde se presenta la mayor superficie drenada de la cuenca (cuadro nº 7). El estero Ñanco pertenece a esta cuenca y descarga sus aguas en el último tramo.

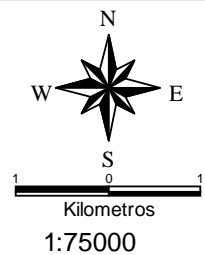
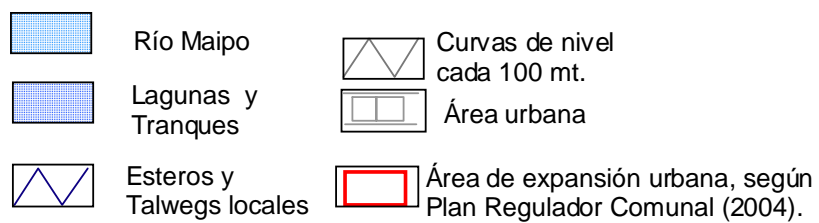
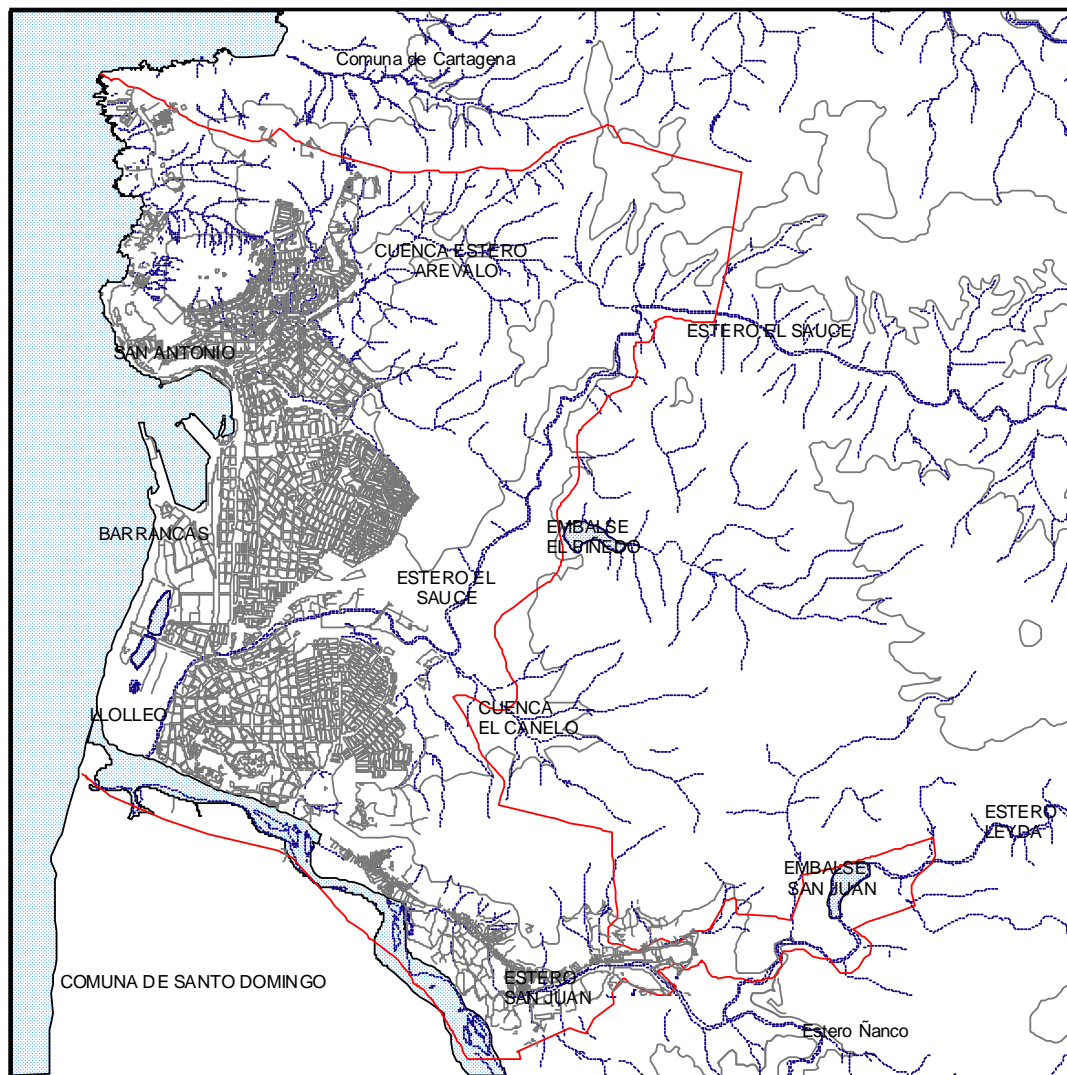
El estero San Juan descarga sus aguas en el río Maipo, a 4 kilómetros aguas arriba de la desembocadura de éste al mar, y sus descargas se encuentran gobernadas por las crecidas del río Maipo, presentándose problemas de inundación en este sector de confluencia.

Cuadro Nº 7: Cuenca Estero San Juan

Estero	Longitud Km	Superficie Km <sup>2</sup>	Pendiente promedio
San Juan	6,8	8,9	1,8
Leyda	10,7	40,1	0,9
Ñanco	10,9	57,5	1,3
Superficie total de la cuenca		116	

Fuente: MOPTT, 2003.

## HIDROLOGÍA DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO



Fuente: Cartografía Digital de la comuna de San Antonio, Unidad SIG, IMSA (2004).

Elaboración : Claudio González Flores

Fig 11: Hidrología de la Ciudad de San Antonio

**El estero El Sauce** tiene su origen en el sector denominado Marquesa, al oriente de la localidad de Leyda. En este tramo es conocido como estero Marquesa, hasta la intersección con la Autopista del sol. Desde éste punto se llama Estero El Sauce, que como tal desemboca en el Río Maipo, en Llolleo sector Tejas Verdes.

En este segundo tramo su principal afluente es la cuenca Quebrada El Tranque, que descarga sus aguas a unos 2 Km aguas arriba de Llolleo, siendo regulada por el embalse El Piñedo de una capacidad estimada de 250.000 m<sup>3</sup> (MOPTT, 2003).

Otro afluente importante corresponde a la microcuenca ubicada al oriente de Llolleo, que se denomina cuenca El Canelo, que se presenta colindante a las áreas residenciales de Llolleo Alto.

El estero El Sauce drena una superficie mayoritariamente rural (cuadro nº 8), sin embargo, en el ultimo tramo recibe las aguas lluvias provenientes de las zonas urbanas de Barrancas y Llolleo. En este tramo se presenta una baja pendiente longitudinal y su capacidad de evacuación está influenciada por las mareas y las crecidas del río Maipo (MOP, 1991).

Cuadro Nº 8: Cuenca Estero El Sauce

Estero	Longitud Km	Superficie Km <sup>2</sup>	pendiente promedio %
El Sauce	22,4	80,3	0,8
Marquesa	8,7	46,4	0,6

Fuente: MOPTT, 2003.

La influencia de las mareas en la circulación de las aguas de este estero se debe a que el eje hidráulico está gobernado por los niveles de marea debido a su baja pendiente longitudinal (MOP, 1991).

El estudio citado plantea que se producen inundaciones en el sector provenientes del río Maipo, produciéndose una incapacidad de descarga en la desembocadura de este Estero en el área de Tejas Verdes.

El Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias (MOPPTT, 2003), plantea que se presentan problemas de inundación en el estero El Sauce, con caudales de crecidas superiores a 40 M<sup>3</sup>/seg. Este caudal se presentaría con un período de retorno inferior a 5 años, ya que, en este período de recurrencia se esperan caudales del orden de 62.8 m<sup>3</sup>/seg, según se muestra en el cuadro Nº 11, producto de precipitaciones cercanas a 82.7 mm en 24 horas (MOPTT, 2003).

**El estero Arévalo** es la cuenca que drena la zona norte da la ciudad de San Antonio. Su cabecera presenta una altura inferior a los 200 m.s.n.m., siendo su longitud y superficie, muy inferior a las cuencas antes descritas. Su último tramo de 1500 metros atraviesa la zona urbana, siendo canalizado unos 510 metros, y los últimos 730 metros antes de descargar sus aguas en el mar, se encuentra

abovedado, producto de la localización del centro comercial de la ciudad en la caja de este estero.

El cauce principal es receptor de los talwegs menores de carácter urbano, de los sectores de Bellavista, Placilla y Cerro Alegre, como se muestran el cuadro n° 9 y en la figura n° 12:

Cuadro N° 9: Cuenca del Estero Arévalo y sus Quebradas Urbanas.

Nombre de la subcuenca	Área Km <sup>2</sup>	Longitud	Canalizado	Abovedado
Esteros Arévalo	6,01	4,9 Km	510 Mt	730
Quebrada Huallipén	1,95		120 Mt	300
Quebrada Bruselas	0,65			
Quebrada Holanda	0,144	680 mt		
Quebrada Víctor D. Silva	0,4	1,07 km		
Quebrada Los Perales	0,51	1,35 km		
Quebrada La Feria	2,4	1,07 Km		
Quebrada Placilla		2,06 Km		

Fuente: MOPTT, 2003.

Los talwegs de esta cuenca presenta fuertes pendientes que producen escurrimientos muy rápidos, que afectan a la ciudad (MOP, 1986), como el episodio de inundación en el centro de San Antonio, ocurrido el 27 de mayo de 1986, producto del rebasamiento del acueducto del tramo abovedado.

Gran parte de la superficie de la cuenca del Estero Arévalo en la actualidad, no presenta usos urbanos, concentrando plantaciones de *Eucaliptus* y *Pinus radiata*. Sin embargo, en los talwegs menores presentes en el cuadro N° 9, todos dentro del radio urbano actual, se localizan asentamientos precarios, que habitan sectores de altas pendientes, generando condiciones de riesgo, como se muestra en la figura N° 12. En el futuro próximo, ésta cuenca será parte en su totalidad, del radio urbano propuesto, según el Plan regulador Comunal (2005).

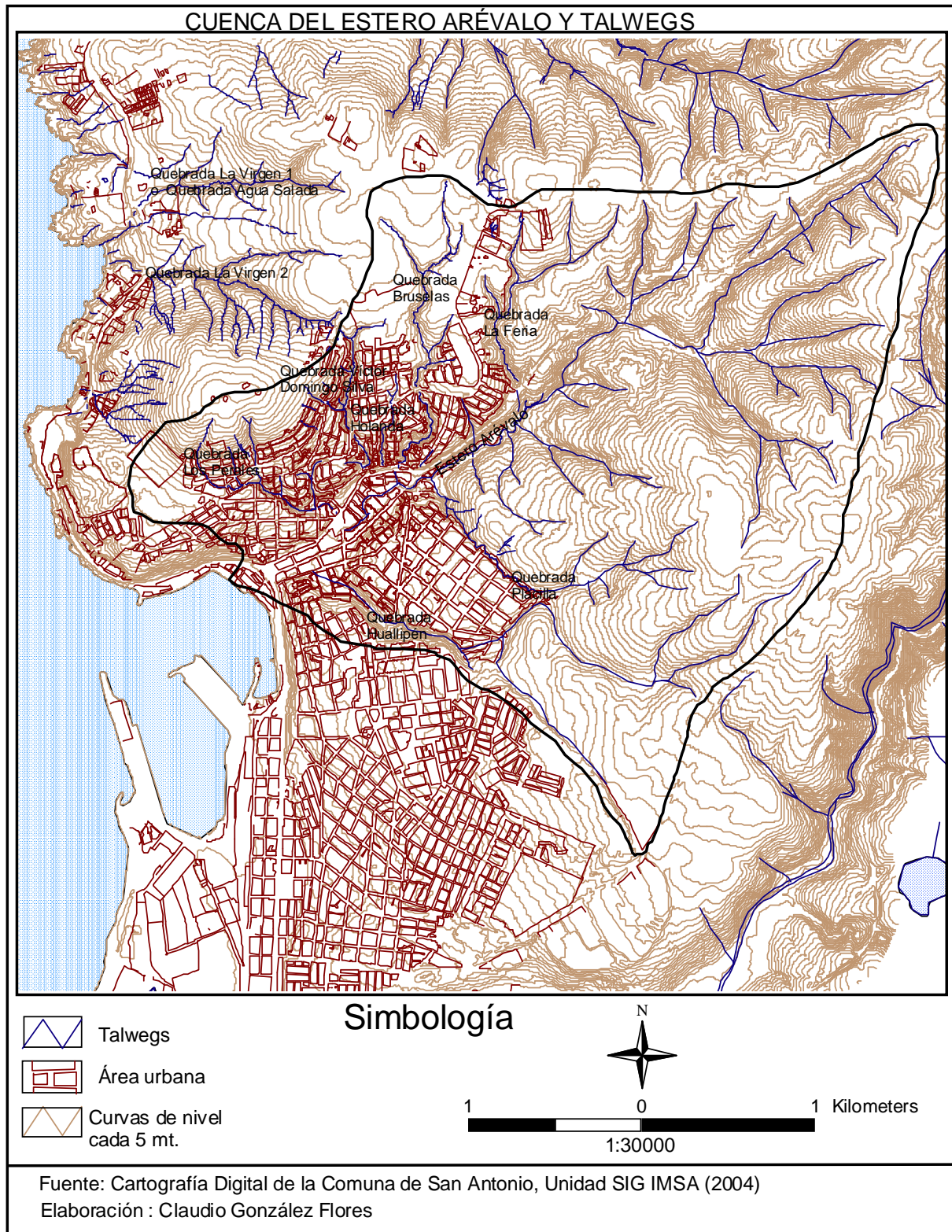


Fig. 12: Cuenca del Estero Arévalo

Todas las descargas de los talwegs menores de este estero, se presentan en el centro comercial de San Antonio, tramo canalizado y abovedado, siendo susceptible de ser sobrepasada su capacidad hidráulica, producto de la acumulación de sedimentos y basura, arrastrados desde las zonas urbanas más elevadas y los tiempos de concentración de las aguas lluvias son bajos (cuadro nº 10 y 12).

Como se aprecia en el cuadro nº 10, los tiempos de concentración que es el tiempo que demora en canalizarse y llegar al centro de la cuenca las aguas lluvias, están en directa relación con la superficie de cada cuenca. Destacan las quebradas con tiempos de 15 a 25 minutos, lo que genera rápidamente un aumento de caudal y carga de sedimentos, en el último tramo del estero Arévalo y las calles céntricas de la ciudad.

Cuadro Nº 10: Tiempo de concentración de las subcuencas

Cuenca	Tiempo de concentración (minutos)
Estero Arévalo	55
Quebrada Los Perales	15
Quebrada Víctor Domingo Silva	15
Quebrada Holanda	15
Quebrada Bruselas	25
Quebrada Huallipén	45
Estero El Sauce	615
Estero San Juan	375

Fuente: MOPTT, 2003.

En el área de estudio ninguna cuenca es controlada por la Dirección General de Aguas, por lo que no existen mediciones de caudales, a excepción del río Maipo. Por esto los diferentes estudios realizados por el MOPTT, (1986,1991 y 2003), han recurrido a métodos indirectos para la determinación de las crecidas.

En el cuadro nº 11 se presentan los caudales esperados para los diferentes períodos de retorno, de las cuencas presentes en el área de estudio y de los talwegs menores del Estero Arévalo. Éstas se incorporan producto de su importancia en la generación de condiciones de riesgo, dentro del área urbana consolidada, especialmente en el centro de San Antonio. Además se presentan las precipitaciones asociadas a cada período de retorno, variable que está directamente relacionada con la cantidad de agua en cada cuenca.



Cuadro N° 11: Caudales de crecidas en m<sup>3</sup>/s y las precipitaciones asociadas en mm/24 hrs, según los periodos de retorno en años

Periodo de retorno	2	5	10	25	50	100
Precipitación Máx. mm/24hrs.	56,3	82,7	100,4	122,4	138,9	145,9
Caudales m <sup>3</sup> /seg por cuencas						
Estero San Juan	28,3	73,5	150,4	206,7	250,6	293,8
Estero El Sauce	25,7	62,8	119,3	154,1	198,8	232,9
Quebrada Huallipén	1,87	2,74	3,86	4,71	5,35	5,96
Estero Arévalo	5,64	8,29	11,59	14,12	16,05	17,87
Quebrada Bruselas	0,87	1,28	1,79	2,19	2,48	2,75
Quebrada Holanda	0,28	0,41	0,58	0,71	0,81	0,9
Quebrada Víctor D. Silva	0,74	1,08	1,55	1,88	2,14	2,38
Quebrada Los Perales	0,97	1,42	2,02	2,46	2,8	3,12
Río Maipo	578	1307	2087	3547	5087	7123

Fuente: MOPTT, 2003.

El cuadro n° 11 muestra los eventos extremos de precipitaciones esperados para la ciudad de San Antonio y los caudales asociados para cada cuenca. Son los montos máximos de precipitaciones y caudales, que deberán soportar la infraestructura urbana, en la evacuación de las aguas lluvias de la ciudad.

En este contexto, el Estudio del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de San Antonio (MOPTT, 2003), estimó la producción media anual de sedimentos (cuadro N° 12), parámetro relacionado con las condiciones de los suelos, pendientes y vegetación, a demás de las precipitaciones y caudal asociado de cada una de las cuencas locales antes descritas:

Cuadro N° 12: Generación de sedimentos.

Subcuenca	Área Km <sup>2</sup>	Producción media anual (Ton/año)
Estero Arévalo	60,1	3005
Estero El Sauce	119,4	59700
Estero San Juan	116	58000

Fuente: MOPTT, 2003.

Finalmente el cuadro N° 13 presenta un resumen de las características morfométricas de las cuencas y subcuencas de la comuna de San Antonio.



Cuadro N° 13: Características morfométricas de las cuencas en la comuna de San Antonio.

Características Geomorfológicas	Estero Arévalo	Queb. Los Perales	Queb. Víctor Dgo. Silva	Queb. Holanda	Queb. Bruselas	Queb. Huallipén	Estero El Sauce	Estero San Juan
Área de la cuenca (Km <sup>2</sup> )	6,01	0,51	0,4	0,144	0,65	1,95	119,4	116
Longitud del cauce principal Km	4,1	1,27	1,12	0,626	2,06	3,5	36,6	22,8
Longitud de escurrimiento Km	12,6	2,77	1,92	0,726	3,06	4,5	90,6	106,8
Distancia entre el centro de gravedad y la salida de la cuenca (Km)	1,8	0,53	0,67	0,45	1,15	1,8	15,4	9,1
Cota del punto más alto de la cuenca (m)	210	165	160	115	142	212	711	563
Cota del punto de salida (m)	18	18	24	24	24	15	0	6
Altura de la cuenca (m)	192	147	136	91	118	197	711	557
Pendiente media del cauce principal (%)	4,2	10,39	8,57	11,34	5,63	5,14	1,94	2,44
Pendiente 1/2 de la cuenca, determinada mediante fórmula de Mociornita (%)	15,67	21,8	12,5	11,74	9,6	7,77	12,3	13,14
Tiempo de concentración (min)	55	15	15	15	25	45	615	375

Fuente: MOPTT, 2003.

Además de las cuencas y subcuencas descritas anteriormente, se presentan dos cuencas costeras de carácter local, al norte del cerro Centinela de esta ciudad (figuras 11 y 12), denominadas La Virgen 1 y 2. Estas cuencas nacen a partir de alturas de 130 m.s.n.m, en la terraza marina TM2, con superficies menores a 1 Km<sup>2</sup> y longitud del cauce menores los 1500 metros. Se presenta con una cobertura vegetal relativamente densa con especies nativas y eucaplitus. No presentan construcciones dentro de su área de drenaje, pero esta condición cambiará pronto producto de la expansión de las áreas residenciales en las planicies de Bellavista y Pelancura.

## 4.2 SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS

La geomorfología de la ciudad de San Antonio se caracteriza por presentar una sucesión de planicies y fuertes escarpes. Destacan claramente tres niveles de terrazas marinas y sus respectivos escarpes suavizados, producto de procesos geodinámicos que han cubierto la superficie con depósitos dunarios y depósitos coluviales.

Se presentan sectores con suelos delgados que corresponde a depósitos de la duna transgresiva sobre rocas paleozoicas, con pendientes variables entre 13° y 24°. Estos suelos presentan problemas de amplificación sísmica de frecuencia altas (Geotécnica Consultores, en MINVU, 1988).

Esto ha generando una condición de amenaza en las laderas del sector de San Antonio centro, que corresponden a los escarpes de la terraza marina baja. En este sector se encuentra el contacto entre los estratos de areniscas, depósitos dunarios y conglomerados con el basamento rocoso, que Claret (1982) clasificó como escombros de falda trabajados por la acción marina.

Estos escombros de falda son la característica principal de las laderas norte del centro de San Antonio, mientras en la ladera sur se desarrolla la vertiente de precipitación de la gran duna transgresiva, delimitada por el estero Guallipén. Ambas laderas presentan evidencias históricas de deslizamientos y desprendimientos, producidos por movimientos sísmicos y precipitaciones intensas.

Esta zona que comprende parte de las laderas y el fondo de valle donde se desarrolla la zona comercial del sector de San Antonio centro, fue clasificada como el área con mayor amplificación sísmica de la ciudad por las condiciones del suelo antes descritas (Geotécnica Consultores, en MINVU, 1988), además de ser un área amenazada por potenciales inundaciones fluviales del estero Arévalo (MOP, 1986).

Las vertientes y talwegs asociados son consideradas como una unidad independiente por su alto grado de vulnerabilidad frente a procesos de remoción en masa. Destaca la cuenca del estero Arévalo donde se localiza San Antonio centro, los sectores urbanos de Bellavista, cerro Centinela y Placilla. Cabe destacar que la zona de expansión urbana propuesta en el Plan regulador Comunal, abarca en su totalidad esta cuenca, dejando como zona de protección los talwegs.

En las vertientes y talwegs asociados, que actualmente son parte del radio urbano, se concentra la mayor cantidad de asentamientos irregulares, en condiciones precarias en cuanto a coberturas de servicios básicos y vulnerabilidad física, además por asentarse en áreas de fuerte pendiente.

Estas condiciones se desarrollan principalmente en San Antonio norte, especialmente en las laderas del cerro Centinela y en el sector de Bellavista. En el resto de la ciudad no se presenta gran concentración de población asentada en estas áreas, pero producto de la ampliación de la ciudad este fenómeno se observa en menor medida en el sector de Placilla y Lollole alto (ficha nº 9 y 16 respectivamente).

En estos últimos sectores se concentraría la expansión urbana propuesta el Plan regulador Comunal, razón por la cual se recomienda tomar atención en la protección de las vertientes y talwegs (quebradas), donde se concentra la escasa vegetación nativa, moderadora de los procesos geodinámicos. Esto con el fin que no se localicen asentamientos irregulares precarios, como los presentes en el sector norte de la ciudad.

La red de drenaje principal presenta una orientación a partir de fallas geológicas de carácter regional y local. El estero Arévalo, el estero El Sauce y el río Maipo, presentan fallas geológicas en el tramo estudiado. Destaca la dirección norte sur del estero El Sauce en el tramo que va desde Agua Buena a Lollole, donde se concentran las más altas pendientes del área estudiada, asociadas a la falla geológica del sector (figura nº 4 y 8). Esta característica se repite en el sector de Lo Gallardo donde se desarrolla el escarpe de la terraza marina media y/o la vertiente norte de la ría del río Maipo.

Claret (1982), planteó que la falla del estero Arévalo es la más moderna de todas, con una edad Post – Pleistoceno. Sostiene además que esta falla se emplaza en una zona de debilidad a la que se asocia el alineamiento del estero y una topografía abrupta. Según este autor es una falla inversa que monta a rocas del basamento rocoso sobre rocas más jóvenes, con un relleno de 50 cm de espesor constituido por roca molida y alterada, de granulometría arenosa, con escasa arcilla.

En el área de estudio predominan los suelos de profundidad moderada (anexo nº II), solamente se presenta dos unidades de suelos profundos, el MD-1 que corresponde a la duna transgresiva y la unidad SRC-6, que se localiza en el fondo del valle del último tramo del estero El Sauce.

Destacan las texturas Franco Arenosas en superficie y texturas sub superficiales franco - arcillosa y arcillosa. En los suelos de la terraza alta y media predominan los suelos con texturas franco - arenosa, las que corresponden al 72.7% de los suelos cartografiados clasificados dentro del grupo hidrológico B.

La Terraza Marina Alta presenta áreas que se caracterizan por presentar lomajes suaves con pendientes predominantes del orden de los 1º y 4º, éstas áreas se componen por suelos residuales graníticos, con un alto contenido de arcilla que corresponde al grupo hidrológico C

Estas características de los suelos deben tenerse presente frente a la expansión urbana, ya que son limitantes a dicha expansión. Cabe destacar que el instrumento de planificación urbana de la ciudad, contempla la ocupación de la planicie de Lollo alto, el sector de la planicie de Bellavista y Placilla alto, sectores que corresponden a la Terraza Marina Media (Anexo n° IV).

El área de estudio se presentan con una baja frecuencia de días con precipitaciones distribuidas entre mayo y agosto, con 33 días como promedio, presentándose eventos de gran intensidad del orden de los 50 mm, en 24 horas, por lo menos una vez al año. Estas precipitaciones de carácter torrencial producen daños a partir del umbral de 35 mm/24 horas, monto que se presenta con un periodo de retorno de 1 año (MOPTT, 2003).

Finalmente las áreas de inundación por crecidas de los cauces se presentan en la unidad geomorfológica más baja, como lo es la terraza fluvio marina, que corresponde a los fondos de valles de la desembocadura del río Maipo, y los esteros Arévalo y El Sauce. Los tres sectores se presentan con asentamientos vulnerables frente a inundaciones, sin embargo destaca el centro de San Antonio, por su carácter comercial y su grado de consolidación.

### **4.3 GENERACIÓN DE LAS UNIDADES HOMOGÉNEAS Y LOCALIZACIÓN DE LOS LUGARES CON RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS POTENCIALES.**

Las unidades homogéneas se definieron como forma de sintetizar y agrupar la superficie del área de estudio, a partir de la superposición cartográfica. Dentro de las variables físicas analizadas se han seleccionado las variables con mayor carga explicativa en función de la delimitación de las áreas de riesgo geomorfológico.

Es así como las pendientes elevadas, el grupo hidrológico del suelo, especialmente el C y la geomorfología fueron las variables más importantes en la zonificación propuesta, dando paso a 13 unidades homogéneas. Cada una de las unidades definidas presentaría internamente similares respuestas frente a procesos geodinámicos desencadenantes de riesgos geomorfológicos.

Se presenta la descripción de cada unidad homogénea presente en la fig. N° 13:

- I. Vertientes y talwegs (quebradas) asociadas, donde se presentan las mayores pendientes, destaca su componente estructural. Concentra vegetación nativa e introducida y en el área urbana se localizan asentamientos irregulares. Se presentan amenazas del tipo flujos de barro y desprendimientos, tal como se observa en detalle en las fichas de terreno, n° 4 , 5 y 6.
- II. Terraza fluvio marina y desembocaduras de los esteros El Sauce y Arévalo, y río Maipo. Corresponde a zonas de inundación y a plataformas en contacto con laderas de fuerte pendiente, especialmente en San Antonio centro y las localidades de Lo Gallardo San Juan. Se presentan amenazas del tipo inundación por desborde fluvial e inundación por tsunami, se presentan los suelos con mayor amplificación sísmica. Las características de esta unidad homogénea puede ser observada en las fichas n° 7, 11 y 14.
- III. Playa activa y plataforma de inducción antropica generada a partir de la construcción del puerto. Corresponde a la zona más deprimida de la ciudad, con suelo que corresponden a playas antiguas y dunas transgresivas. Se presentan amenazas del tipo inundación por tsunami y subsidencias y amplificación sísmica. Las características de este sector, de muy baja pendiente esta expuesta a inundación por tsunami según estimaciones del SHOA (ficha n° 10).
- IV. Garganta epigénica y escarpes de terrazas marinas media y alta, corresponde al último tramo del estero El Sauce, donde se presentan las mayores pendientes, del orden de los 33° y mayores, asociadas a una falla geológica en dirección norte sur. Se presentarían potenciales áreas con flujos de barro y deslizamientos.

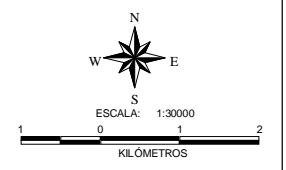
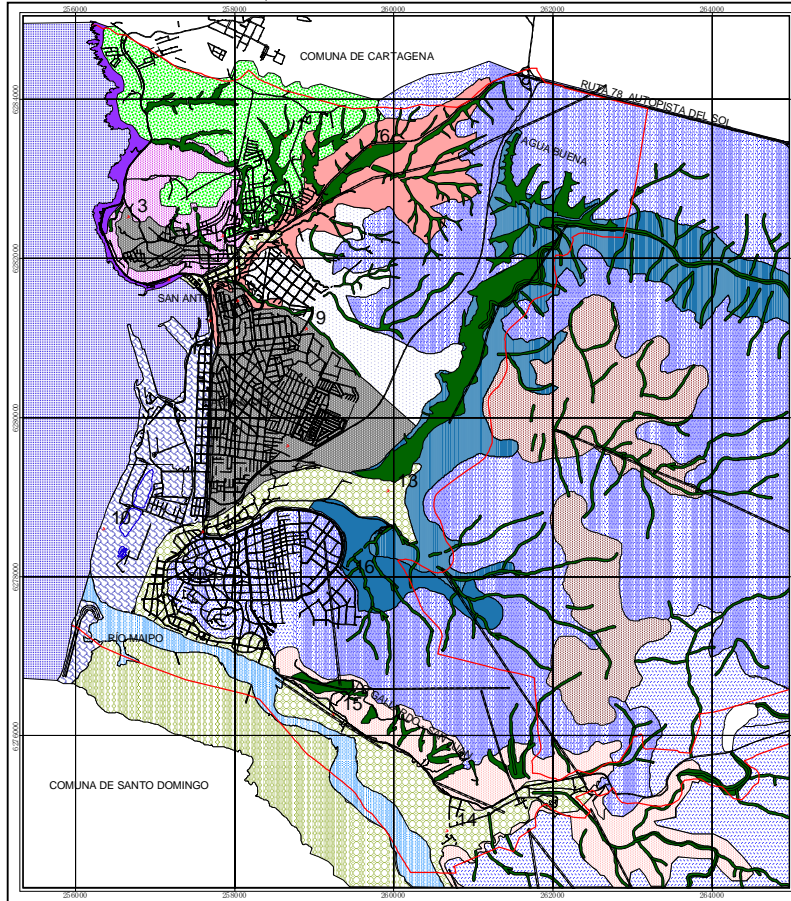
- V. Escarpes de terrazas marinas fuertemente incididas en la cuenca del estero Arévalo, con pendientes predominantes superiores a los 13°, se presenta una falla geológica inversa en sentido este – oeste. Se presentan depósitos marinos antiguos de la Formación Navidad y depósitos de playas más modernos, mezclados con depósitos coluviales de gruss (maicillo). Gran parte de esta unidad esta ocupada por asentamientos irregulares y en su totalidad quedará comprendida dentro del área urbana propuesta. Se presentan amenazas de remoción en masa del tipo deslizamiento multirrotacional y flujos de barro (ficha nº 6).
- VI. Terraza marina alta, se localiza al este de la ciudad y comprende las planicies con alturas entre los 200 a 250 m.s.n.m. Los suelos corresponden al grupo hidrológico B. No se presentan amenazas catastradas, sin embargo los sectores con potenciales amenazas estarían al borde de estas terrazas marinas, siendo del tipo cárcavas y regueras.
- VII. Terraza marina alta compuesta de suelos con alto contenido de arcillas, clasificado como parte del grupo hidrológico C, está fuera del área de expansión urbana propuesta. Este alto contenido de arcillas especialmente en el sub suelo, condiciona potenciales inestabilidades de los estratos que la subyace.
- VIII. Terraza marina media localizada al norte de la ciudad, se proyecta como parte del radio urbano, presenta pendientes suaves a excepción de los sectores de los drenes locales correspondientes a la unidad I, de vertientes y talwegs asociados. Presenta Cárcavas y regueras que se transforman en deslizamientos multirotacionales, en las cabeceras de las cuencas locales (ficha nº 1).
- IX. Duna transgresiva donde se localiza el sector urbano de Barrancas bajo y alto, son suelos con una alta infiltración compuesto de arenas sin ningún grado de compactación; esta duna sepulta parte de las terrazas marinas baja y media. Se localiza también en las laderas del cerro Centinela en San Antonio centro. Se presentan amenazas del tipo deslizamiento y flujos de barro (ficha nº 2, 8 y 17).
- X. Escarpe terraza marina media y borde de la ría del río Maipo, se presentan fuertes pendientes entre la terraza fluvio marina del Maipo y la terraza media. Este escarpe se presenta con gruss en la zona alta y canteras de roca fresca en la base. Se emplaza en el sector de Lo Gallardo y San Juan. Se presentan amenazas de remoción en masa del tipo deslizamiento y flujos de barro (ficha nº 15 ).

- XI. Escarpes de los tres niveles de terrazas marinas presentes en el cerro Centinela. Corresponde a las laderas norte que delimitan el centro de San Antonio y los sectores urbanos al norte de éste, fueron clasificados por Claret (1982) como escombros de faldas trabajados por la acción marina y arenas de talud inestables (anexo III). Se presentan amenazas de remoción en masa, del tipo deslizamiento y flujos de barro, además de la presencia de cárcavas y regueras (ficha nº 2, 3 y 5).
- XII. Costa rocosa entre el Puerto de San Antonio y la ciudad de Cartagena, abarca el sector de Pelancura, límite entre la terraza marina baja y la costa, compuesta de playas de bolsillo con orlas de arrecifes.
- XIII. Terraza baja y media correspondiente al sector urbano de Placilla y su zona alta, se emplaza sobre suelos desarrollados a partir de las areniscas de la Formación Navidad. Está delimitada por los esteros Guallipén y Placilla, ambos pertenecientes a la cuenca del Arévalo. Se presentan amenazas del tipo cárcavas y regueras (ficha nº 9).

La figura nº 13 corresponde a la agrupación de las unidades homogéneas antes descritas y presenta además los sectores donde se identificó las amenazas dentro del radio urbano actual y las áreas de expansión urbana propuesta. Se definieron a partir del análisis de las variables físicas, 17 sectores con evidencias claras de procesos de remoción en masa e inundaciones.

El cuadro nº 1, inserto al interior de la figura nº 13 muestra la posición geomorfológica de cada unidad homogénea, definiendo sus límites naturales. Mientras el cuadro nº 2 es la descripción de cada punto, 17 en total, de los lugares con potenciales riesgos geomorfológicos y la identificación de los procesos de remoción en masa e inundación, los que corresponde a los tipos de amenazas.

UNIDADES HOMOGÉNEAS DE AMENAZAS NATURALES Y LOCALIZACIÓN DE LOS SECTORES CON RIESGOS NATURALES POTENCIALES, DE LA CIUDAD DE SAN ANTONIO Y SU ZONA DE EXPANSIÓN URBANA



Fallas geológicas  
 Límite área de expansión urbana  
 Plan Regulador 2005  
 (En Etapa de Aprobación)

TABLA Nº 1: ÁREAS HOMOGÉNEAS

U. H.	Nº	Unidad y Posición Geomorfológica	Nº de puntos con riesgos Catastrados
I	I	Vertientes y Talwegs asociadas	7
II	II	Terraza fluvio marina, desembocaduras	2
III	III	Playa Activa y planicie de inducción antropica	1
IV	IV	Carganta epigenica, escarpe terrazas marinas	
V	V	Terrazas marinas fuertemente inclinadas	1
VI	VI	Terraza marina alta	
VII	VII	Terraza marina alta	
VIII	VIII	Terraza marina media	
IX	IX	Duna Transgresiva	2
X	X	Escarpe terraza marina media y borde de la ría	1
XI	XI	Escarpe TM alta, media y baja	2
XII	XII	Costa rocosa	
XIII	XIII	Terraza baja y media	1

TABLA Nº 2: LOCALIZACIÓN DE LOS SECTORES CON POTENCIALES AMENAZAS NATURALES (FICHAS 1-17)

Sector	Tipo de amenaza												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1 Camino Viejo a Cartagena con San Antonio de las Bodegas													
2 Av. Antonio N. De Fonseca (Huella Panul)	X												
3 Norte de Cementerio San Antonio													
4 San Antonio de las Bodegas	X												
5 San Antonio de las Bodegas	X												
6 Camino a Santiago Ruta 78													
7 Estero Ardoval con Av. Laura Barros													
8 Estero Huallipán con Nueva Ruta Tapia	X												
9 Estero Huallipán con José Angel Ortúzar													
10 Playa de Lillo													
11 Estero el Sauce en Pob. San Pedro													
12 Calle El Maule con Manuel Montt Torres	X												
13 Estero El Sauce Sector Gallineros Fundo de Lillo	X												
14 Confluencia estero San Juan con río Maipo	X												
15 Lo Gallardo - San Juan	X												
16 Francisco de Paula Ginebra y Dpto. García Huidobro	X												
17 Talud 21 de Mayo	X												

Fig. 13: Unidades Homogéneas y Localización de los lugares con potenciales riesgos geomorfológicos



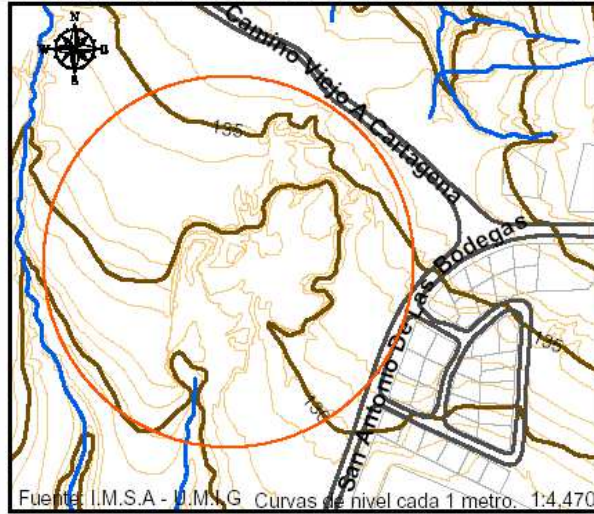
#### **4.4 FICHAS DE OBSERVACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA E INUNDACIÓN A ESCALA LOCAL**

Se presenta a continuación la localización de los lugares con potenciales riesgos geomorfológicos, a través de las fichas de observación de los procesos de remoción en masa e inundación, donde se describen las condiciones de las variables físicas del territorio a escala local, junto a las fotografías aéreas y fotografías tomadas en terreno.

Para cada lugar se calculó la pendiente local y la pendiente de la ladera en la que se enmarca, además de identificar la unidad geológica, geomordológica y de suelo presente en el sector.

Se levantó la información de 17 lugares con evidencias de procesos de remoción en masa e inundación. La imagen nº 13 muestra la ubicación de estos lugares dentro del radio urbano actual y la zona de expansión.

# 1. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:5000. 1998



Ficha N°:	1
Unidad Vecinal	5
Población	
Dirección	Intersección de Av. San Antonio de las bodegas con Camino Viejo a Cartagena

Unidad Geológica	Tn sobre PzTrMv
Unidad Geomorfológica	Planicie TM media
Unidad de suelo	Boc - 1
Vegetación	Arbustos escasos y dispersos
Pendiente	2 a 3°

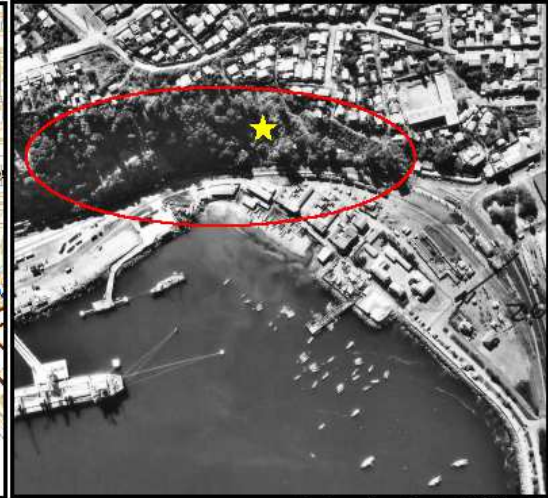
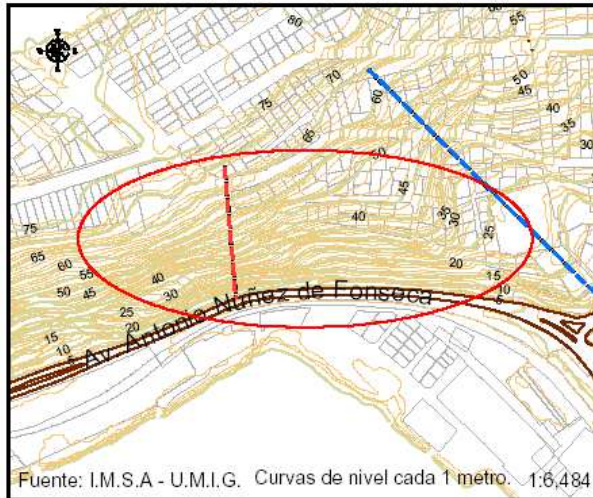
Las planicies de Bellavista. Este sector geomorfológicamente corresponde a la Terraza Marina Media. Se presenta una depresión del terreno con escarpes del orden de los 2 metros, donde se aprecian grietas y desnivelación de bloques, que corresponden a evidencias de Deslizamientos Rotacionales. El lugar se emplaza en a la cabecera de la micro cuenca Bruselas

En este lugar no hay población afectada, pero aproximadamente 1.5 Km aguas abajo, se localizan viviendas (sector 2 de Bellavista) muy cerca al cause.

Los suelos de este sector presenta una bajo contenido de material orgánico y una textura franco arcillo arenosa, que corresponden al grupo hidrológico B.



## 2. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Ficha N°:	2
Unidad Vecinal	2
Población	Plantación Forestal
Dirección	Av. Antonio Núñez de Fonseca desde Caleta a Puerto Panul.

Unidad Geológica	Qd sobre PzTrMv y Pzmg (figura N° 1)
Unidad Geomorfológica	Escarpe Duna Transgresiva
Unidad de suelo	MD - 1
Vegetación	Plantación de eucaliptus y gramíneas
Pendiente Local	31°
Pendiente Total de la ladera	11°
	10°

Puerto Panul, corresponde a acantilados en rocas del tipo gneises paleozoicos, cubiertas por depósitos eólicos (Qd), correspondientes a las arenas de las dunas transgresivas. Estas arenas presentan una nula cementación, una fuerte pendiente, cercana o mayor a su ángulo de reposo 30 y 35% (Claret, 1982. Perfil n°1, en Anexo III), generando riesgos de Deslizamientos Multirrotacionales y Flujos de Arenas.

La roca descompuesta o regolito se presenta con bloques que pueden generar desprendimientos o derrumbes. El espesor de las arenas en el escarpe es de un par de metros, mientras por sobre la cota de 70 m.s.n.m., y con pendientes muy inferiores al acantilado, estos depósitos eólicos superan los 35 metros (Claret, 1982).

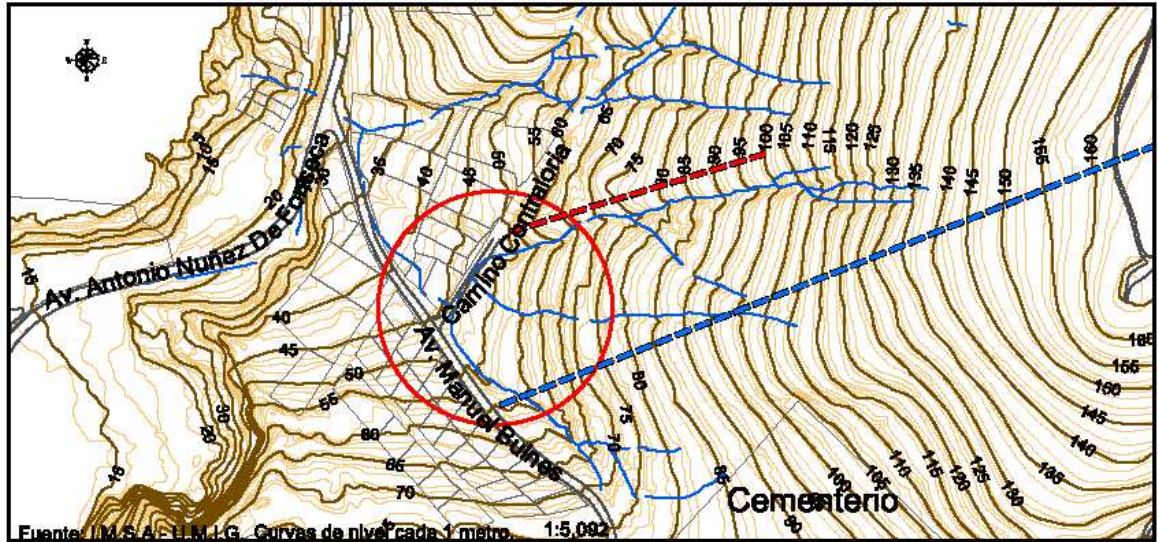
Estos materiales en el acantilado son muy vulnerables a sollicitaciones sísmicas y a precipitaciones intensas, ya que al ser estos muy permeables, el agua se infiltra hasta la roca subyacente impermeable, comportándose como superficie de corte. Con estos antecedentes Claret (1982), clasificó este sector como Talud Inestable.

Este sector presenta un incremento de intensidad de 1 3/4 grados (MM), en relación con suelos planos, sin napa y firmes de la ciudad (MOPTT, 1988).

La población más vulnerable, corresponde aproximadamente a 15 viviendas de material ligero, que se localizan en sectores con pendientes cercanas a 30° y alturas de alrededor de los 40- 60 metros s.n.m.m.. La Av. Antonio Núñez de Fonseca, es vulnerable a los riesgos de remoción en masa descritos, afectando la normal circulación desde San Antonio al resto del Litoral Central y al sector de descarga de gráneles del Puerto Panul.



### 3. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:5000. 1998.

Ficha N°:	3
Unidad Vecinal	1
Población	Loteo Pelancura
Dirección	Av. Manuel Bulnes Prieto entre Cementerio y Av. Antonio Núñez de Fonseca.

Unidad Geológica	PzTrMv
Unidad Geomorfológica	Escarpe TM baja
Vegetación	Plantación de <i>Pinus radiata</i> dispersos
Pendiente total promedio de la ladera	12°
Pendiente local	15°

Este sector de la ciudad, presenta erosión severa en las laderas del cerro Centinela, hacia Pelancura. Producto de la pendiente y la escasa cobertura vegetal, se han producido regueras y cárcavas considerables, algunas de ellas muy cerca de infraestructura vial.

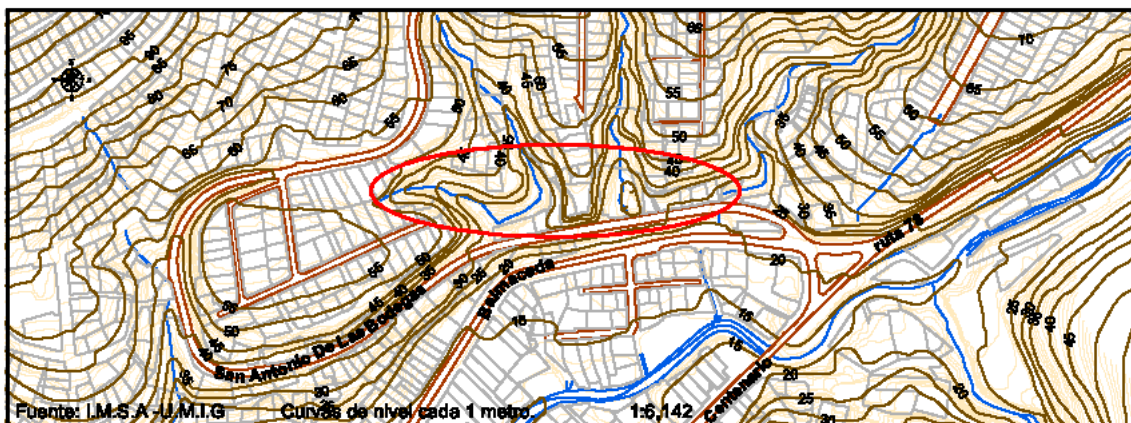
En este lugar se presenta el límite de las dunas del sector del Faro. Al otro lado de la Av. Manuel Bulnes se observa un suelo rojizo compuesto por arcillas y afloramientos de la roca madre. Es en este último sector donde se presentan las evidencias de erosión, con drenes secundarios que muestran en su talweg la roca fresca.

Es posible estimar que el espesor de material descompuesto "Gruss", varía con la altura, ya que en la zona alta de la ladera, 100 a 150 m.sn.m., es posible observar afloramientos rocosos, aparentemente estables. En la zona baja aumenta el espesor del subsuelo, presentando cárcavas, regueras, agrietamiento y de forma reducida desprendimientos en paquete.

Es posible observar en las imágenes y constatar en terreno, que se ha obstruido el flujo natural de tres quebradas por la construcción del Camino Contraloría, en la intersección con Av. Manuel Bulnes y 5 casas podrían presentar problemas de inundación por esta situación.



#### 4. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:5000. 1998

Ficha N°:	4
Unidad Vecinal	
Población	Bellavista sector 2 y 3
Dirección	Primer tramo de Av. San Antonio de las Bodegas y Camino a Santiago ruta 78

Unidad Geológica	Tapa sobre PzTmrv
Unidad Geomorfológica	Falla geológica
Pendiente promedio	Escarpe TH1 baja
Pendiente total de la ladera	48°
	4°

Este punto es representativo de las laderas al norte del Estero Arévalo en San Antonio centro y también aguas arriba de este estero. Se caracteriza por corresponder al escarpe de la Terraza Marina Baja, la que se compone de conglomerados graníticos, arenas y arcillas que Claret (1982), clasificó como escombros de falda trabajados por la acción marina.

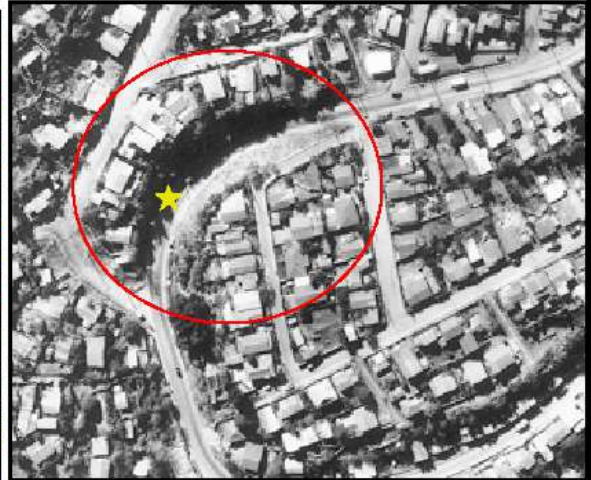
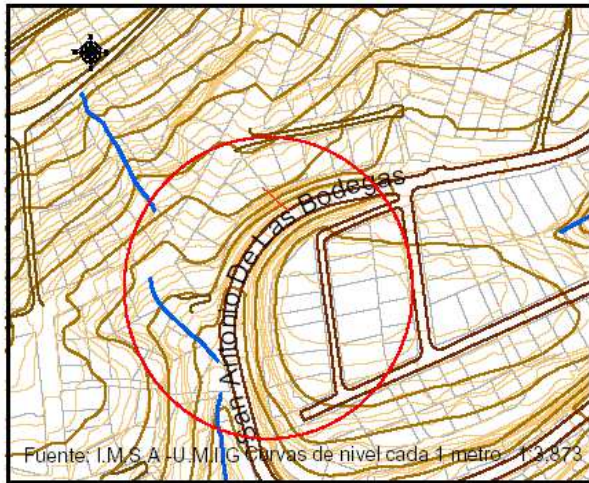
Paralelo a este escarpe se localiza una falla geológica moderna, estimándose movimientos Post-Pleistoceno que presenta un riesgo moderado, según el Estudio de Micro zonificación Sísmica de la Ciudad (MINVU, 1988).

Las características del suelo, pendiente del escarpe y geología de este sector de la ciudad, sugiere que frente a fenómenos sísmicos estos suelos de fundación son vulnerables, al ubicarse cerca de la zona céntrica de la ciudad, donde se presentan las mayores amplificaciones sísmicas (Claret, 1982). Cabe destacar que gran parte de las viviendas son de un piso y material ligero, lo que disminuye la vulnerabilidad frente a sismos.

Por lo tanto en condiciones de riesgo geomorfológico se encuentran las viviendas ubicadas inmediatamente por sobre el escarpe y aquellas que se ubican bajo éste y en los talwegs, aumentando las condiciones de riesgo frente a inundaciones y crecidas de caudal de las micro cuencas del Estero Arévalo.

Las precipitaciones intensas han generado desprendimientos en el escarpe producto de la escorrentía y la saturación de los materiales. Esta situación se presenta de forma muy clara en el sector de Bellavista frente al Camino a Santiago ruta 78 y primer tramo de Av. San Antonio de las Bodegas.

## 5. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:5000. 1998



Ficha N°:	5
Unidad Vecinal	5
Población	Rene Schneider
Dirección	Av. San Antonio de las bodegas entre Variante Manuel Bulnes y Pedro Aguirre Cerda

Unidad Geológica	Tqpa encajado con PzTrMv
Unidad Geomorfológica	Escarpe de TM media
Unidad de suelo	Boc - 5
Vegetación	Gramineas Escasas
Pendiente Local	
Pendiente Total	

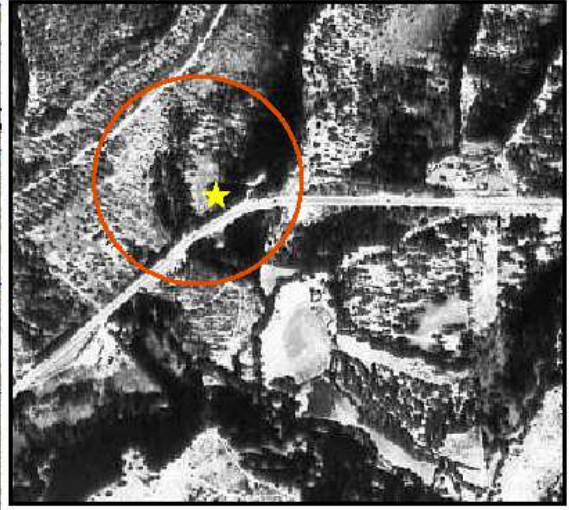
El punto N° 5 es un corte con un desnivel de 10 a 15 metros en la Av. San Antonio de las bodegas, producto de la construcción de este camino. El corte de esta ladera está compuesto de regolito, es decir grus y bloques rocosos, posiblemente transportados y reacomodados por acción marina, correspondientes a escombros de falda (Claret, 1982).

Este sector es vulnerable a procesos de Remoción en Masa del tipo Flujo de Barro desencadenado por intensas lluvias y por Desprendimientos desencadenado por un evento sísmico.

Estos procesos afectarían alrededor de 10 viviendas de material ligero, frente al pasaje 10 de Noviembre, afectando las fundaciones producto de la erosión del escarpe. La trayectoria de estos materiales se dirige hacia la Av. San Antonio de las Bodegas, generando problemas al tránsito.



## 6. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:20000. 1992.



Ficha N°:	6
Unidad Vecinal	6
Dirección	Camino a Santiago ruta 78

Unidad Geológica	Topa sobre PzTmrv
Unidad Geomorfológica	Escarpe TM media
Unidad de suelo	Boc - 5
Vegetación	Plantación de Eucaliptus
Pendiente Local promedio	34°
Pendiente Promedio de la Ladera	10°

Este sector se localiza fuera del radio urbano consolidado, en la zona alta de la cuenca del Estero Arévalo, al costado del camino a Santiago desde el centro de San Antonio. La construcción de este camino generó cortes en las laderas del sector Nor-Este de la cuenca, aumentando la inestabilidad del sector, que corresponde depósitos marinos intercalados con depósitos aluviales.

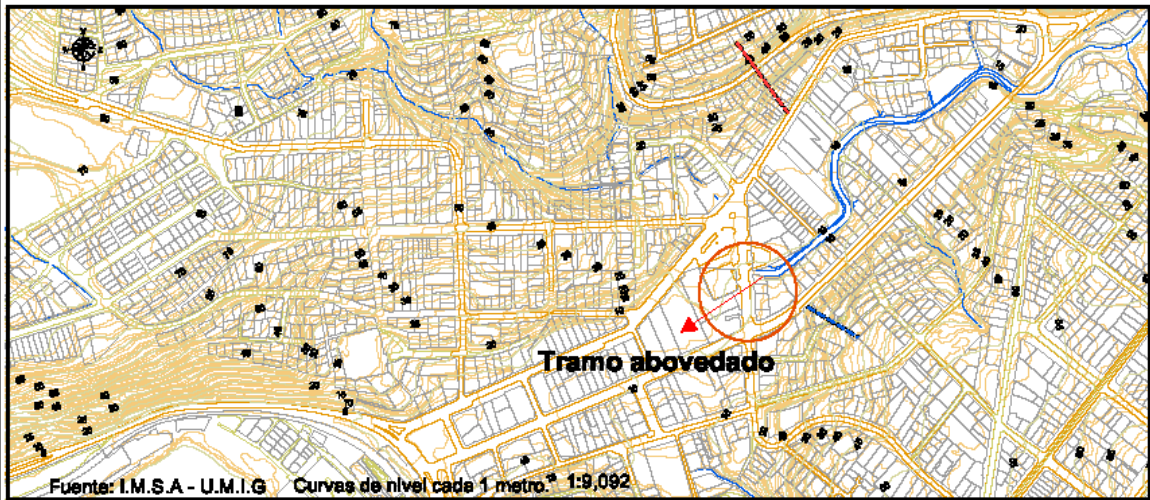
Claret (1982), clasifica el suelo de fundación como "Intercalaciones de ripio y arenas", depósito bien consolidado pero no cementado, siendo inestable frente a sismo y fácilmente erosionable cuando se presentan taludes. Actualmente en el lugar se aprecia un perfil compuesto por un suelo delgado, depósitos de playa, grava y la roca fresca.

En este lugar se ha presentado un fenómeno de remoción en masa, posiblemente del tipo Deslizamiento Multirotacional, desencadenado por la extracción de material y por precipitaciones intensas, cortando la carretera y descargando los materiales a través de la red hídrica existente.

En la actualidad no existe población en el lugar, por lo que no se genera riesgo a espacios habitados directamente. Sin embargo es importante considerar, que los flujos del material transportado (flechas rojas), pueden afectar en algún grado, a la población Estero Arévalo, que se encuentra aguas abajo. Con relación a la infraestructura vial, el riesgo es directo, afectando el funcionamiento normal de la ciudad.



## 7. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1:8000. 1990.

Ficha Nº:	7
Unidad Vecinal	7 y 8
Población	Centro de San Antonio
Dirección	Av. Laura Barros con Pedro Montt

Unidad Geológica	Topa cubriendo a PeTrmv Falla geológica
Unidad Geomorfológica	Terraza fluvio marina
Pendiente Local	Plana
Pendiente Ladera norte	27°
Ladera sur	12°

La zona central de San Antonio se emplaza sobre la terraza fluvio marina del Estero Arévalo (figura nº 6), por esta razón los sedimentos presentan un espesor aproximado de 40 metros de profundidad, compuesto por arenas limosas y arcillosas en la parte superior y limos y arcillas en la parte inferior (Claret, 1982).

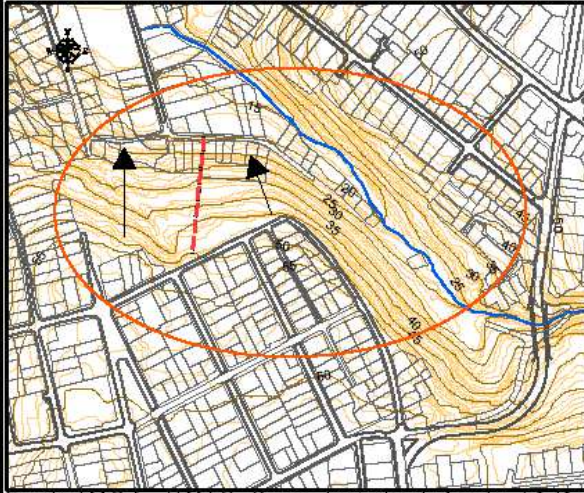
Según este autor la humedad de estos sedimentos es alta y presentan una baja resistencia a la penetración y la napa freática se presenta a una profundidad de 4 a 2 metro, además en este sector se localiza una falla geológica (Gana et al, 1996). Con estos antecedentes Claret (1982) y el MOP (1988), plantearon que ésta zona presenta problemas de amplificación sísmica, lo que quedó corroborado por el terremoto de marzo de 1985, con 1 3/4 grados Mercalli Modificado por sobre los suelos planos y sin napa.

Este estrecho valle presenta laderas con materiales inestables como arenas de dunas y escombros de faldas, donde la ladera norte presenta una pendiente y altura mayor (mayor información en las fichas 2, 4 y 8). Antecedentes históricos plantean que en 1906 se produjo un terremoto que provocó el desplazamiento del "cerro de arena hacia la playa, distante a 100 metros, quedando sepultadas las casas bajo una capa de arenas de 5 a 8 metros de espesor. El curso de las aguas del Estero quedó obstruido y formó una laguna cause arriba" (Diario "Los tiempos San Antonio" Septiembre 1º de 1906 – Junio 13 de 1909; "El Mercurio de Santiago" Agosto 25 de 1906 – Marzo 29 de 1965. Citado por Claret, 1982).

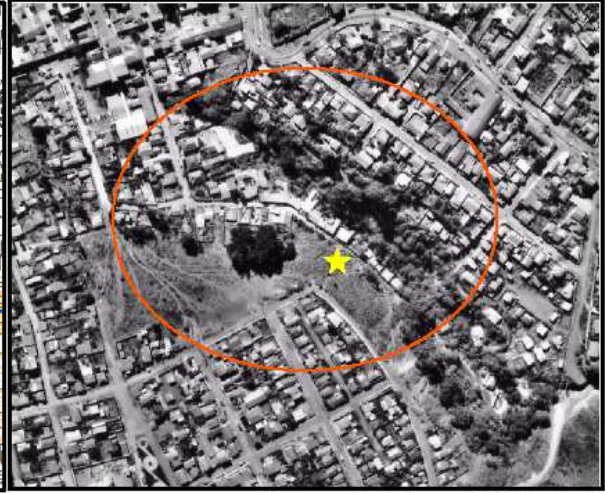
El paso del estero por el centro de San Antonio se encuentra abovedado. Esta situación colapsó el 27 de mayo de 1986, producto de un aluvión (MOP, 1986), generado por precipitaciones intensas del orden de 20 mm/hora, precedido de varios días de lluvia. La topografía del lugar descrita anteriormente, y la confluencia de la escorrentía superficial con tiempos de concentración menores a una hora (MOPTT, 2003), genera una potencial amenaza de inundación e incapacidad de captación de la bóveda del último tramo del Estero Arévalo, frente a lluvias intensas y prolongadas.



## 8. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fuente: I.M.S.A. - U.M.I.G. Curvas de nivel cada 1 metro. 1:6,485



Fotografía Aérea 1:5000- 1998.



Ficha N°:	8
Unidad Vecinal	11
Población	12 de Noviembre 1981
Dirección	Entre Nueva Ruiz Tagle y Domingo Fernández Concha

Unidad Geológica	Qd
Unidad Geomorfológica	Vertiente de precipitación de la duna transgresiva
Unidad de suelo	Md-1
Vegetación	Arbustos escasos y gramíneas
Pendiente local promedio	22°
Pendiente Total de la ladera	4 a 5°

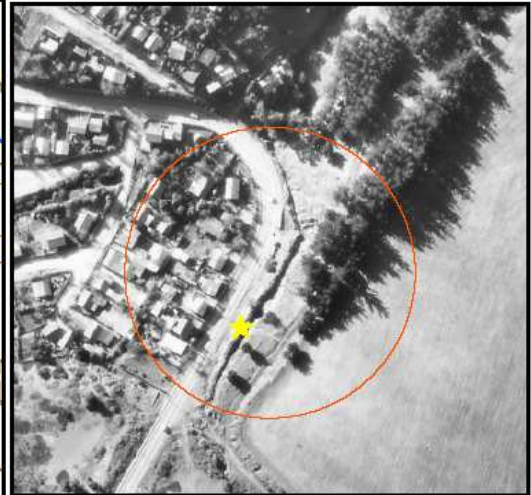
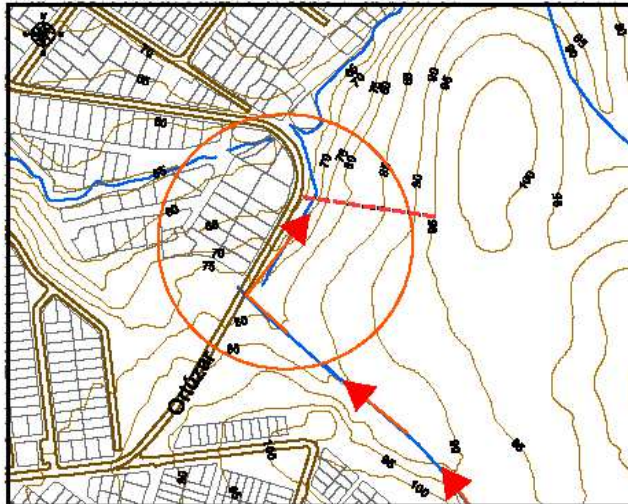
Corresponde a la vertiente de precipitación de la gran duna transgresiva de San Antonio, que termina en el Estero Huallipén. Esta vertiente de precipitación esta compuestas por arenas sin cohesión y con pendientes promedio de 22°, sin embargo hay tramos de alrededor de 30°, con un desnivel de 35 metros.

Es posible que se desarrollen potenciales desencadenamientos de flujos de arenas por fenómenos sísmicos y precipitaciones intensas. Estos fenómenos amenazan aproximadamente 20 viviendas localizadas en la zona distal de la ladera muy cerca del cauce menor del estero Huallipén, aumentando la vulnerabilidad a inundaciones frente a crecidas del estero, que en este tramo comienza su bóveda.

El espesor de la duna fue estimado por Claret (1982), en 25 metros, bajo estas se presenta la roca descompuesta (grus) con espesores indeterminados.



## 9. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fuente: I.M.S.A. - U.M.I.G. Curvas de nivel cada 5 metro. 1:7,058

Fotografía Aérea 1:5000- 1998.



Ficha N°:	09
Unidad Vecinal	18
Población	Augusto Elgueta
Dirección	José Ángel Ortúzar con el Estero Huallipén

Unidad Geológica	PzTrMv y Qd
Unidad Geomorfológica	Escarpe TM media y vertiente de precipitación de la duna transgresiva
Unidad de suelo	LNR-6 y MD-1
Vegetación	Plantaciones de <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucaliptus</i> .
Pendiente Local	13°
Pendiente total de la ladera	4°

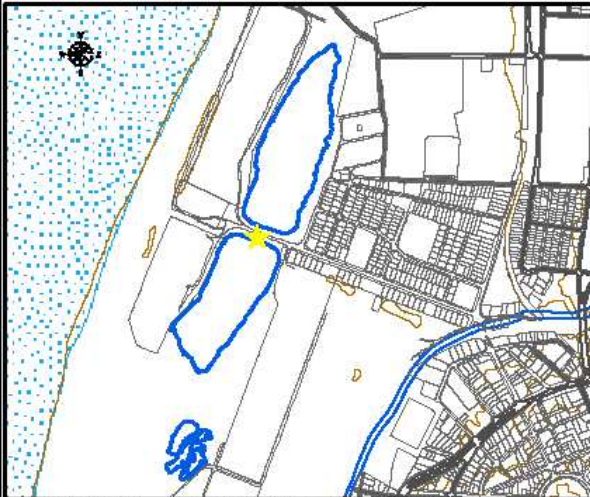
Este sector se emplaza en la vertiente de precipitación de la gran duna Transgresiva de San Antonio, con características similares al punto N°8. Es una zona de contacto entre esta unidad y la Terraza Marina Media y Terraza Marina Baja, correspondiente al sector de Placilla.

Interesa destacar el desvío del cause natural (flechas rojas) producto de la construcción de la calle Ortúzar, que ha generado un surco paralelo a la calle. Este surco está produciendo un socavamiento en la base del escarpe de la TM Media, que se presenta con una pendiente promedio de 13° y plantaciones de *Pinus radiata*.

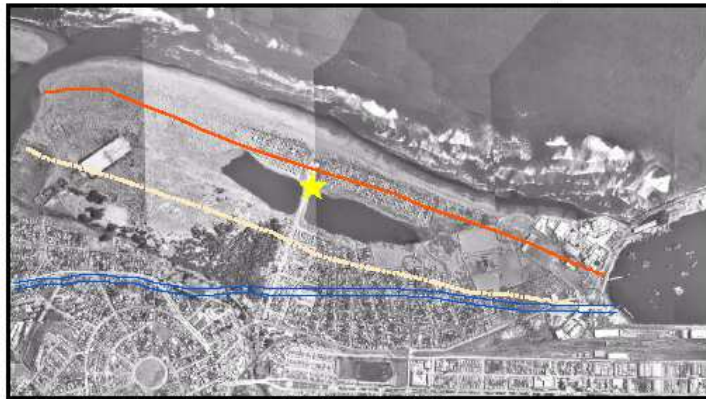
Claret (1982) plantea que los suelos de este sector son "arenosos" que en superficie presenta una capa arcillosa y limosa de 1 a 1.5 metros, con permeabilidades medianas a bajas, aumentando la escorrentía superficial. Sin embargo plantea que una vez erosionado esta capa, el resto de la unidad es de rápida erosión, especialmente en sectores de taludes fuertes.



## 10. Ficha de Observación de los Procesos de Inundación por Tsunami Escala Local.



Fuente: I.M.S.A. - U.M.I.G. Curvas de nivel cada 1 metro. 1:18,315



Mosaico Fotografía aérea 1990 Escala 1: 8000.

Ficha N°:	10
Unidad Vecinal	20
Población	Ampliación Boca del Maipo
Dirección	Playa de Llolleo

Unidad Geológica	Depósitos litorales y eólicos actuales
Unidad Geomorfológica	Dunas anteriores y Lagunas de cordón litoral
Unidad de suelo	MD-1
Vegetación	<i>Ambrosia chamissonis</i> y <i>Carpobrotus aequilaterus</i> (doca).

Esta zona de la ciudad corresponde a la Playa de Llolleo, generada después de la construcción del Puerto y sus materiales fueron aportados por el Río Maipo y transportados por la deriva litoral. La Línea de costa es un espacio dinámico en cuanto a su geomorfología, esta condición grafica la formación de esta playa y variación de los perfiles anualmente.

Este sector no presenta buenas condiciones para asentamientos humanos, ya que la napa freática se encuentra a 1.5 metros de la superficie y la densidad de las arenas es baja a mediana ( Claret, 1982) a medida que se aleja de la costa, condición favorable a subsidencias de terrenos.

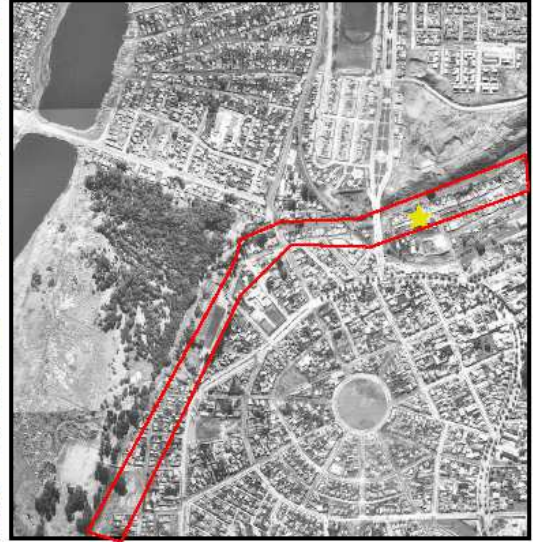
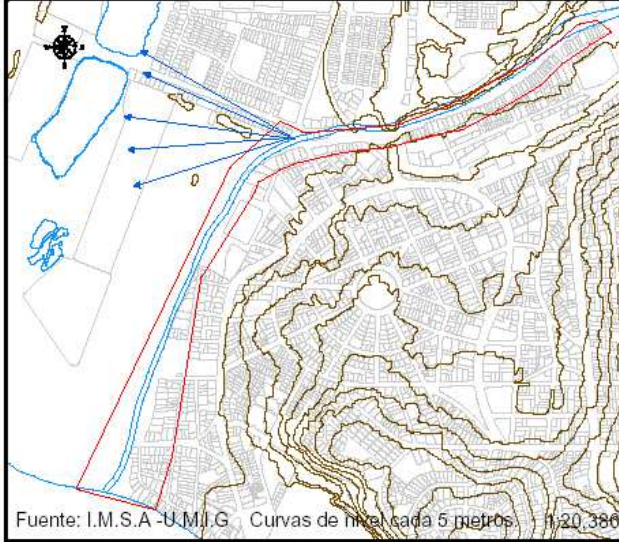
Frente a Tsunamis esta zona esta directamente expuesta Claret ( 1982). Este autor plantea dos áreas de inundación; Zona de peligro de inundación inminente por Tsunami, correspondiente a la línea roja y la costa, y una zona de peligro potencial de inundación, ubicada entre la línea segmentada amarilla y línea roja de la fotografía área. Sin embargo el Shoa (2000), plantea que la zona de máxima inundación esta dada por la línea azul.

Con estos antecedentes se considera vulnerable las viviendas ubicadas en la zona baja de Tejas Verdes, en la cercanía del río Maipo y el estero El Sauce. Mientras el sector de la playa de Llolleo, específicamente la población Ampliación Boca del Maipo, también se encuentra bajo riesgo.

Cabe destacar sin embargo, que la probabilidad que se presente un Tsunami es muy baja (Claret, 1982), sólo se registra un tsunami producto del sismo del año 1906, estimándose en grado 2, con daños a viviendas en el sector de la desembocadura, la cual se encontraba alrededor de 600 metros aguas arriba de la posición actual, producto de la progradación de la playa.



## 11. Ficha de Observación de los Procesos de Inundación a Escala Local.



Fotografía aérea 1:8000- 1990.



Ficha N°:	11
Unidad Vecinal	21 y 22
Población	San Pedro y Boca del Maipo

Unidad Geológica	Qa
Unidad Geomorfológica	Terraza Fluvio Marina
Unidad de suelo	SRC
Pendiente Hidráulica del último tramo del Estero El Sauce	0.26° 0.45% (Claret, 1982)

En este sector la característica principal es la inundación que se presentan con alta frecuencia, producto del aumento de caudal del estero El Sauce. Este tramo del estero presenta una pendiente muy baja, cercana al 0.26°, lo que genera una baja capacidad de evacuación. Además se producen contra corrientes producto de las influencias de las mareas y las crecidas del estuario del Maipo, incrementándose la baja capacidad de evacuación del estero.

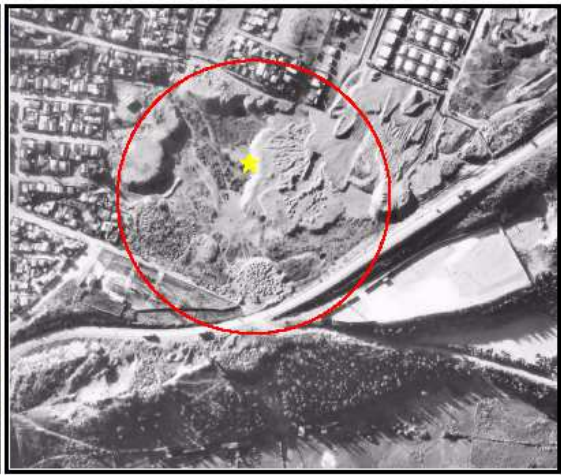
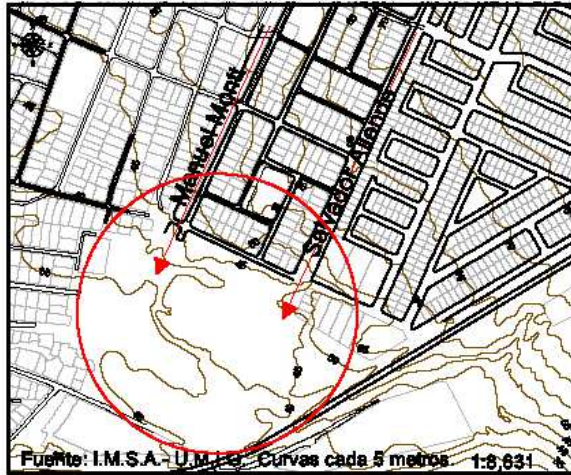
Los sectores urbanos directamente afectados se emplazan en el lecho menor y en la terraza fluvio marina del estero El Sauce, con alturas entre los 5 a 10 m.s.n.m.. El primer sector se verían afectados con caudales por sobre los 40 m<sup>3</sup>/segundo. Este caudal se presenta con un periodo de retorno entre 2 y 5 años, según MOPTT (2003).

Un elemento importante en el análisis de las inundaciones de este tramo del estero, corresponde al desvío que presenta éste, hacia la desembocadura del Río Maipo. Cartografías anteriores a la construcción del puerto muestran la desembocadura de este estero, directamente en el mar (Broekman, 1908).

En temporales con precipitaciones de gran intensidad el cauce se desborda en dirección perpendicular al mar, afectando a la población Ampliación Boca del Maipo (Flechas azules). Finalmente este sector de la ciudad presenta un elevado riesgo frente a movimientos sísmicos, producto de la baja profundidad a que se encuentra la napa freática y los suelos de fundación, que corresponde a arenas fluvio marinas holocénicas. Presenta un incremento de intensidad de 1 1/2 grados (MM), en relación a suelos planos, sin napa y firmes de la ciudad (MINVU, 1988).



**12. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.**



Fotografía aérea 1:8000-1998.

Ficha Nº:	12
Unidad Vecinal	15
Poblaciones	Sor Teresa – Nueva Esperanza – Villas Las Araucarias
Dirección	Manuel Montt y calle El Maule

Unidad Geológica	Qd
Unidad Geomorfológica	Duna Transgresiva
Unidad de suelo	MD
Pendiente	2 a 3°

En este sector se presenta una depresión donde confluyen las aguas lluvias, provenientes del sector alto de Barrancas, a través de las calles Manuel Montt Torres y Dr. Salvador Allende (flechas rojas), entre otras.

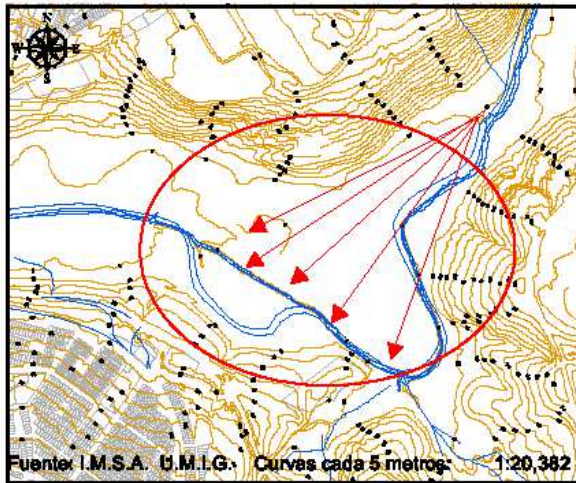
Esta depresión está contenida por la construcción del camino acceso al Puerto, ya que éste limita los flujos provenientes desde la zona alta de la duna de alrededor de los 100 m.s.n.m., hacia el valle del estero El Sauce.

Los suelos de fundación en esta unidad son arenas con gran permeabilidad, sin embargo por su carácter netamente urbano, un porcentaje importante de las aguas lluvias se transforma en escorrentía superficial, generando erosión avanzada en este punto.

Estos elementos son potenciales generadores de riesgo de inundación en las poblaciones Villa La araucarias y Nueva esperanza, pudiendo afectar en eventos con precipitaciones extremas, a la planta de distribución eléctrica que se ubica en el sector.



### 13. Ficha de Observación de los Procesos de Inundación a Escala Local.



Fotografía aérea 20000, 1992.



Ficha N°:	13
Unidad Vecinal	40
Dirección	Fundo Lilloco

Unidad Geológica	Cl u Tn
Unidad Geomorfológica	Terraza Fluvio - Marina TM'
Unidad de suelo	SCR - 6
Vegetación	Cultivos agrícolas
Pendiente del valle	0.25°
Pendiente del cauce	0.8° (Claret, 1982)
Pendiente promedio de las laderas	20° ladera norte 14° ladera sur

El punto n° 13 se localiza en la zona de contacto entre la garganta epigénica del estero El Sauce y su terraza fluvio marina. En este sector el estero El Sauce desarrolla un meandro, característico de la disminución de la pendiente del eje hidráulico.

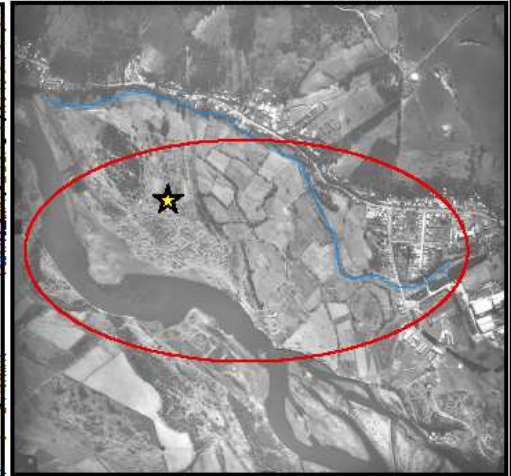
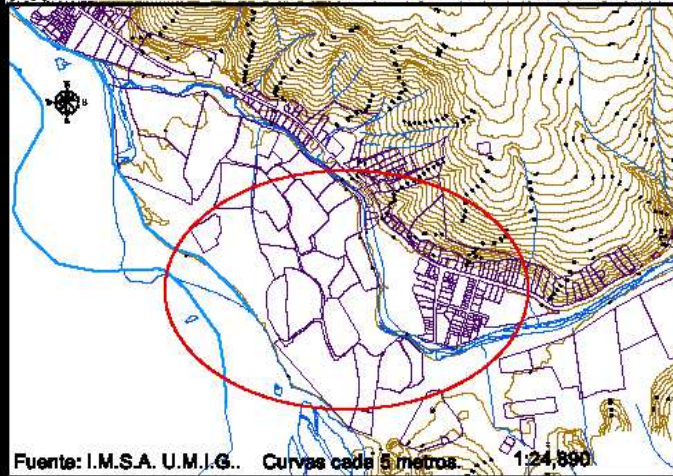
Los suelos de esta terraza presentan texturas franco arcillo arenosas y franco arenosa en profundidad, sin embargo en sectores se presenta con problemas de drenaje, ya que corresponde al grupo hidrológico C (MOPTT, 2003). Ciren (2003), plantea que esta unidad de suelo SCR, se originó a partir de sedimentos aluviales y coluviales de las laderas locales. La profundidad de la napa freática fluctúa entre los 2 a 4 metros y condiciones sísmicas desfavorables (Claret, 1982).

Se presenta un dominio por parte de las mareas, en la evacuación de las aguas del estero al estuario del Maipo (MOP, 1991). Estos elementos son importantes en la explicación de las áreas inundables del último tramo de este estero, abarcando los puntos 11 y 13 de las presentes fichas.

Otro elemento importante que potencialmente puede generar riesgos, frente a Flujos de Barro (representado por las flechas rojas), es el Embalse El Piñedo, con una Capacidad de almacenamiento de 250.000 mt<sup>3</sup>. Este embalse se localiza 1.5 Kilómetros aguas arriba de este punto, con una altura por sobre los 100 m.s.n.m., presentando un desnivel de 90 metros con una pendiente entre 15 a 20 grados, entre su exutorio y el Estero El Sauce.



**14. Ficha de Observación de los Procesos de Inundación a Escala Local.**



<b>Ficha N°:</b>	<b>14</b>
<b>Unidad Vecinal</b>	<b>38</b>
<b>Población</b>	<b>Lo Gallardo – San Juan</b>
<b>Dirección</b>	<b>Camino a San Juan</b>

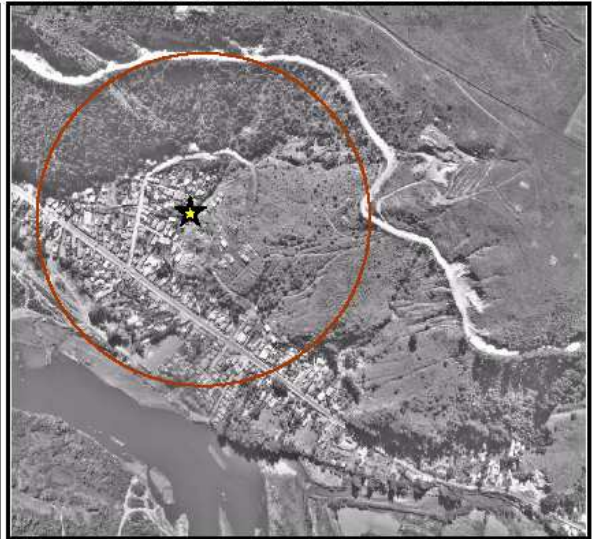
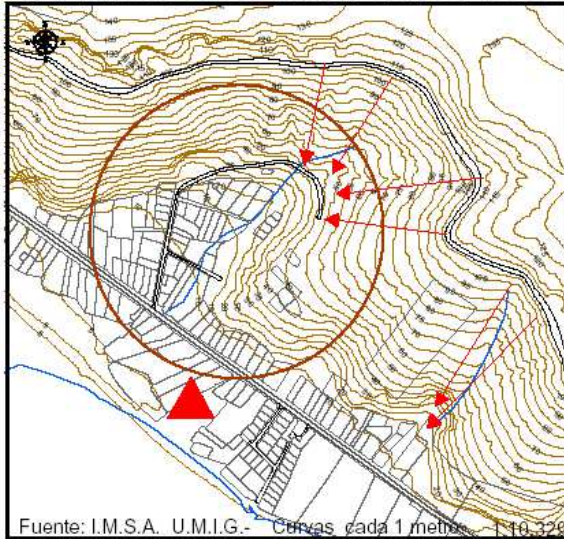
<b>Unidad Geológica</b>	<b>Qfe y Qa</b>
<b>Unidad Geomorfológica</b>	<b>Terraza fluvio marina y bancos Laterales</b>
<b>Unidad de suelo</b>	<b>MR</b>
<b>Vegetación</b>	<b>Cultivos agrícolas</b>
<b>Pendiente</b>	<b>2 a 3°</b>

La zona de la confluencia del estero San Juan en el Río Malpo, presenta frecuentes inundaciones como lo muestra la fotografía, provocadas por las aguas de la gran cuenca del Malpo. Esta condición limita la capacidad de evacuación del Estero San Juan, provocando la inundación de este sector de la ciudad.

Las fotografías muestran la magnitud de estos fenómenos ( mayo, 2002), amenazando la localidad de San Juan, donde se localiza la planta de agua potable de la provincia. Los terrenos agrícolas ubicados en la terraza fluvio marina, son inundados totalmente, mientras las zonas pobladas de San Juan y Lo Gallardo son afectadas parcialmente



## 15. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Ficha N°:	15
Unidad Vecinal	38
Población	Lo gallardo
Dirección	Entre Camino San Juan y Camino del Agua

Unidad Geológica	TrJtv Falla presunta
Unidad Geomorfológica	Escarpe de TM2 y Ladera norte de la Ría
Unidad de suelo	E (suelos de escarpes)
Vegetación	Matorral Esclerófilo muy intervenido
Pendiente Local promedio	22°

Esta zona de la ciudad se caracteriza por presentar un sector urbano ubicado en la estrecha franja entre el río Maipo y las laderas de fuerte pendiente, hacia el norte.

Las laderas presentes al norte del río Maipo, presentan pendientes promedio de 22°, con un desnivel que va desde los 10 a 140 m.s.n.m, desde donde se desarrolla TM media. Este escarpe se compone de rocas graníticas, en sectores con espesores importantes de regolito, producto de la descomposición de la roca.

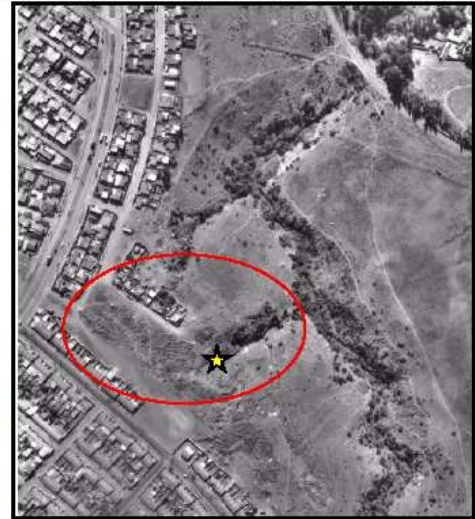
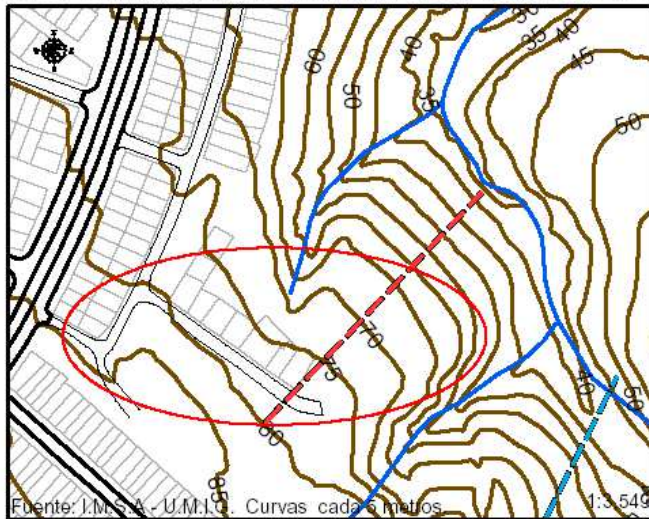
En la zona alta de estas laderas se extrae Maicillo (grus), específicamente en el sector del Camino del Agua, ubicado en una cota superior a la zona poblada de Lo Gallardo. Estos cortes de la ladera han dejado expuestos estos materiales a la acción de las aguas lluvias, dando paso a fenómenos de remoción en masa del tipo flujos de barro, (flechas rojas), generando potenciales condiciones de riesgo para la población.

Los suelos de este escarpe son muy delgados de textura arenosa, donde la vegetación de tipo arbustiva matorral abierto, es muy importante para evitar procesos erosivos acelerados (Ciren, 2003).

Esta condición geomorfológica genera limitaciones en cuanto a la expansión urbana, producto de las frecuentes inundaciones del río Maipo, produciendo un socavamiento lateral de la terraza fluvio marina (triángulo). En esta unidad se encuentra la Escuela Lo Gallardo F - 476 y casas aledañas, que han sido afectadas por 17 inundaciones desde 1962 (MINVU, 1998).



16. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



Fotografía aérea 1: 8000- 1998.



Ficha N°:	16
Unidad Vecinal	36
Población	Viuda VI
Dirección	Entre Dgo. García Huidobro y Fco. De Paula Ginebra

Unidad Geológica	TrJtv y Tn (figura N° 1)
Unidad Geomorfológica	Escarpe de la Planicie TM media
Unidad de suelo	Boc - 1
Vegetación	Arbustos escasos y dispersos
Pendiente Local	15°
Pendiente total de la ladera	4° a 5°

El punto 16 se localiza en la zona alta de Llolleo, en la ladera que drena hacia el Estero El Sauce. Se caracteriza por el emplazamiento de viviendas cerca de quebradas con pendientes elevadas, del orden de los 15 grados. Esta condición no se presenta en el resto de Llolleo y Barrancas, siendo muy característico de San Antonio norte.

En este lugar se presentan viviendas básicas de SERVIU y puntualmente un grupo de viviendas de material ligero, asentadas de formas irregular, que presentan los mayores niveles de riesgo del sector. Esto por su ubicación en relación a la ladera, ya que, este sector recibe gran parte de las descargas de aguas lluvias, que son encausadas de forma natural por las quebradas. Sin embargo estos cauces naturales están obstruidos, producto de rellenos artificiales y la localización de estas viviendas.

Los suelos de esta área son arenosos (Claret, 1982), presentando una capa arcillosa en superficie, lo que favorece la escorrentía superficial, además están clasificados dentro del grupo hidrológico B (MOPTT, 2003) . Sin embargo cuando se ha erosionado esta capa arcillosa el subsuelo se compone de arenas muy fáciles de erosionar. Esto se observa de forma muy clara en el lugar, presentando grandes cárcavas, que producto de su erosión remontante, puede generar condiciones de riesgo para la infraestructura urbana del sector.



## 17. Ficha de Observación de los Procesos de Remoción en Masa a Escala Local.



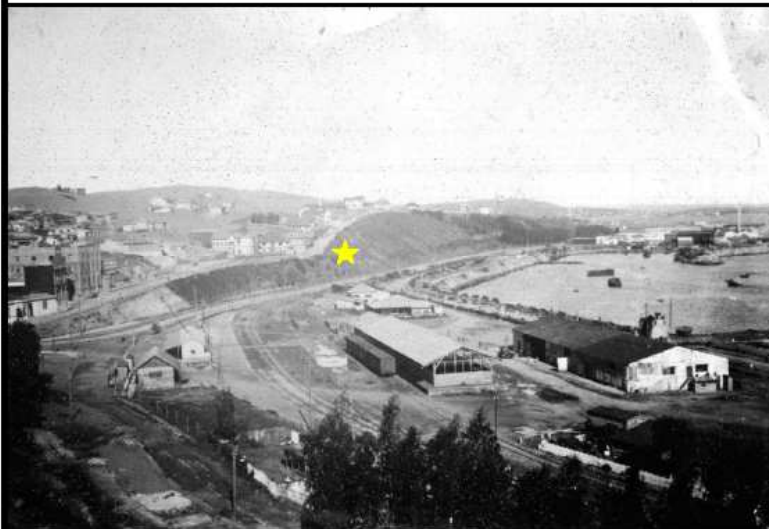
Fuente: I.M.S.A - U.M.I.G.



Fotografía aérea 1:5000- 1998.



Ficha N°:	17
Unidad Vecinal	11
Dirección	Entre 21 de mayo y Av. Ramón Barros Luco



Unidad Geológica	Qd
Unidad Geomorfológica	Acantilado muerto
Unidad de suelo	MD
Vegetación	Plantación de Eucaliptus
Pendiente Local	37°
Pendiente de la ladera	14°

El punto N° 17 corresponde al talud ubicado entre las calles 21 de Mayo y Av. Barros Luco, que presenta una gran pendiente con un desnivel aproximado de 50 metros y alturas que fluctúan entre los 10 a 60 m.s.n.m. Este talud es similar y cercano al talud descrito en la ficha N°2, correspondiendo a suelos arenosos con vegetación introducida con fin de contener la inestabilidad de la ladera, que corresponde a un talud de arenas inestables (Claret, 1982).

Este sector corresponde a un acantilado muerto, que posiblemente antes de la construcción del Puerto, era parte de la playa, siendo erosionado ocasionalmente por marejadas. Es decir, es parte de la gran duna transgresiva de San Antonio, siendo en este sector erosionada por acción marina en tiempos históricos.

En este sector se producirían flujos de arenas producto de movimientos sísmicos, como el ocurrido en el terremoto de 1985, donde parte de calle 21 de Mayo se derrumbó, quedando en la actualidad reducida a una calzada, además se produjeron un número elevado de derrumbes de viviendas en este sector de la ciudad.

## 5. DISCUSIÓN

Es indudable la necesidad de estudiar los procesos geodinámicos especialmente en áreas urbanas y de expansión, debido al elevado costo económico y social que implican los riesgos geomorfológicos. La literatura especializada muestra planteamientos metodológicos diversos para delimitar las áreas de riesgo y definir las amenazas naturales y antrópicas.

Gran parte de los autores analizados para esta investigación plantean que existen diferentes factores condicionantes de los procesos de remoción en masa, como la posición estratigráfica de los materiales componentes de la superficie, su génesis, composición y estado de conservación, pendiente, entre otras.

Estas son las variables más importantes en el comportamiento del suelo y subsuelo, frente a fenómenos desencadenantes de procesos geodinámicos. En este sentido Young (1975), plantea dos propiedades fundamentales en la evolución de las pendientes, como el espesor del regolito y su grado de reducción. Mientras Rebolledo et al., (2000), sostiene que la ubicación y características de importantes volúmenes de suelo residual y transportado, pueden constituir zonas inestables.

Dentro del área de estudio fue posible localizar sectores que presentan estas condiciones, lo que fue corroborado por Araya Vergara (2000), quien plantea que en San Antonio se presenta una profunda descomposición de la roca granítica. Esto es posible observarlo en las vertientes y talwegs asociadas de las cuencas locales, especialmente las tributarias del estero Arévalo, El Sauce y la ladera norte del río Maipo, sector de extracción de gruss (maicillo) en la zona alta de la vertiente y canteras en la base.

Es importante resaltar que la estratigrafía del área de estudio está compuesta por el basamento rocoso, que a su vez presenta un importante volumen de suelo residual, producto de la descomposición de la roca, formando gruss y posteriormente se depositan sobre ésta, las diferentes capas de sedimentos marinos y continentales, que dan cuenta de los procesos del Cuaternario.

Los depósitos cuaternarios en la zona costera corresponden a depósitos marinos, fluvio marinos, fluviales, fluvio aluviales, aluviales, escombros de talud y los depósitos de remoción en masa (Clarest, 1982; Rebolledo et Al., 2000). Los estratos de estos sedimentos presentan baja cementación, con alto contenido de arenas y bloques trabajados por la acción marina, que ha reacomodando el regolito, intercalándolo con los depósitos de playas.

La cuenca del estero Arévalo concentra la mayor cantidad de sectores inestables con potenciales riesgos geomorfológicos, concentrando 5 sectores en el área urbana consolidada, de los 17 sectores descritos. Sin embargo son 8 los sectores con potenciales riesgos geomorfológicos en la cuenca. Cabe destacar que ésta

cuenca quedará en su totalidad dentro del área urbana del nuevo Plan Regulador Comunal, que se encuentra en etapa de aprobación (Anexo nº IV).

La cuenca del Arévalo destaca por su topografía extremadamente accidentada, entre el estrecho fondo de valle y las extensas planicies costeras. Estas vertientes corresponden a los escarpes suavizados o desgastados de dichas terrazas marinas. Tanto las terrazas como sus escarpes están fuertemente incididas por talwegs locales, donde gran parte de los sectores catastrados son vulnerables a procesos geodinámicos, producto de la inestabilidad de las laderas.

En sectores donde predominan los suelos residuales a partir de la descomposición de la roca, se presentan concentraciones importantes de arcillas (CIREN, 2000). Esta característica es común en las áreas de las planicies costeras media y alta que en su mayoría corresponde al grupo hidrológico B de gran extensión y un área que corresponde al grupo hidrológico C, con mayores limitaciones .

Ésta última esta fuera del área de expansión urbana propuesta y presenta suelos con arcillas expansibles (MOPTT, 2003) del grupo hidrológico C. Rebolledo et al., (2000), sostiene que esta característica es un factor relevante en los procesos geodinámicos, ya que produce inestabilidad a los depósitos superiores producto del ciclo de expansión y contracción según su contenido de humedad.

Estos componentes estratigráficos se presentan en combinaciones diversas dentro del espacio estudiado, presentando una heterogeneidad geológica y geomorfológica, producto de los procesos cuaternarios como las transgresiones marinas y la neotectónica.

La neotectónica ha producido un sollevamiento diferencial, dando paso incluso a trasposición estratigráfica, como el planteado por Claret (1982), en un sector de la falla del estero Arévalo. Estas capas han quedado expuestas a los procesos de remoción en masa, producto de la reactivación de la incisión de los talwegs o cursos de agua, aumentando su capacidad de arrastre.

El sollevamiento diferencial de la ciudad ha sido importante en la composición del relieve actual, incluso Paskoff et al., (2000) y Hervé et al., (2003), plantean que en la actualidad se han producido alzamientos, del orden de los 0.3 a 0.5 metros en Algarrobo, a partir del terremoto de marzo 1985 (Barrientos y Kausel, 1990, en Hervé et al., 2003). Estos hechos habían sido previamente establecidos para la costa central por Castilla (1988) y Monje (1986) con motivo del terremoto de marzo de 1985.

Estos antecedentes son concordantes en la explicación de los graves daños ocurridos en esta ciudad producto del terremoto de 1985, donde se produjeron hundimientos por los movimientos bruscos en la vertical. Este fenómeno se presentó de forma puntual en el centro de San Antonio y en el sector de la playa de Lollole, donde se presentaron hundimientos de terrenos (Hauser, 1993) y la

mayor amplificación sísmica de la ciudad (Geotectónica Consultores, en MINVU, 1988).

En las zonas bajas y planas formadas por la terraza fluvio marina y terrenos de antiguas playas, el riesgo sísmico es mayor, asociado además al riesgo por inundación de Tsunami. Cabe destacar que estos tipos de riesgos no corresponden a la geodinámica externa, pero se incorporó en el análisis producto de su alto impacto en la población.

La definición de los procesos de remoción en masa según clasificación realizada por Hauser (1993), han permitido reconocer satisfactoriamente estos fenómenos y su delimitación en la zona costera de la ciudad de San Antonio. Lo anterior sumado a los antecedentes de carácter físico del área, aportado por los estudios de Castro et al., (1990), Araya Vergara (2000), Paskoff et al., (2000), entre otros, han favorecido el reconocimiento de una geomorfología dinámica de detalle.

Cabe destacar que los resultados de esta investigación son de carácter cualitativo, a partir del análisis de las variables físicas de territorio. Sin embargo la localización de los sectores con riesgos geomorfológicos fueron localizados con cartografías de gran detalle y un fuerte trabajo de observación en terreno.

Dentro de las limitantes surgidas en la investigación cabe destacar la falta de acceso a información social, para trabajar las variables propias de la vulnerabilidad, componente del concepto de Riesgo. Sin embargo el conocimiento del funcionamiento y ubicación de las amenazas a partir del análisis de las variables físicas del territorio, como la geología, geomorfología, suelos, hidrología y precipitaciones, fue la base en la definición de los sectores poblados vulnerables.

Se plantea el desarrollo de futuros estudios centrados en las variables sociales, para definir grados de vulnerabilidad, con el objetivo de trabajar de una forma más integral los posibles planes de prevención y acción, frente a los riesgos geomorfológicos en particular y los diferentes riesgos en general.

Una primera zonificación del riesgo geomorfológico está dada por este estudio, que se ha desarrollado a partir de la utilización del Sistema de Información Geográfica Arc View v. 3.3. Esto permitirá en un periodo cercano vincular esta información física a las variables sociales, económicas, de infraestructura, constructibilidad, entre muchas otras, de la ciudad de San Antonio.

## 6. CONCLUSIONES

Del análisis de las variables físicas se desprende que los depósitos que conforman el suelo y subsuelo de la ciudad de San Antonio, presentan características que favorecen los procesos de remoción en masa, especialmente en los sistemas vertiente y talwegs con fuertes pendientes, que disectan las planicies de las terrazas marinas.

La red de drenaje está asociada directamente a la localización de los sectores con amenazas de procesos de remoción en masa, ya que, se presentan las mayores pendientes y el encauzamiento de las aguas lluvias. Estos sectores se concentran en la cuenca del Estero Arévalo, que abarca el centro de la ciudad. Se concluye que esta cuenca y sus afluentes, presenta la mayor vulnerabilidad frente a riesgos geomorfológicos. Destacan sus fuertes taludes con depósitos trabajados por la acción marina, fuertemente disectados por la hidrología, y la presencia de una falla geológica en la zona alta de la cuenca, posiblemente asociada al cañón submarino de San Antonio.

Esta cuenca concentra la mayor cantidad de drenes secundarios que confluyen en el centro de la ciudad, destacando su carácter mayoritariamente urbano y la concentración de asentamientos precarios. Estos se han localizado sin ningún tipo de planificación por parte de las autoridades, aumentando la vulnerabilidad a los riesgos geomorfológicos

Esto no se repite en los dos sub centros de Barrancas y Llolleo, delimitados por el estero El Sauce y río Maipo respectivamente, donde destaca la escasa presencia de drenes secundarios o talweg, en los sectores urbanos.

En menor medida destaca el último tramo del estero El Sauce que corresponde al área urbana actual, donde se presentan problemas de inundación asociados a las lluvias intensas y las crecidas del río Maipo. La mayor parte de los asentamientos afectados presentan el mismo patrón de poblamiento antes descrito.

Las áreas homogéneas definidas a partir de las pendientes, que corresponden a los sectores de sistemas vertiente - Talwegs (quebradas), concentra la mayor cantidad de lugares catastrados con riesgos geomorfológicos, específicamente del tipo remoción en masa. Mientras los sectores planos y deprimidos de la ciudad son afectados por inundaciones y se encuentran vulnerables frente a un evento de tsunami.

Las áreas con menor amenaza corresponden a las planicies de las terrazas marinas media y alta, aunque las series de suelo de estos sectores presentan restricciones a la ocupación urbana, producto de su alto contenido de arcillas.

Finalmente se localizaron diecisiete sectores con potenciales riesgos geomorfológicos, ocho corresponden a la zona norte de la ciudad, ubicados en

laderas de la cuenca del estero Arévalo (fichas nº 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9), de los cuales cinco se localizan en centro de San Antonio. Cinco sectores corresponden al estero El Sauce y el río Maipo (fichas nº 11, 13, 14, 15, 16), asociados a sectores inundables y socabamiento de la terraza Fluvio marina en el sector de San Juan Lo Gallardo, al sur de la ciudad y la playa de Lollole con un sector catastrado (ficha nº 10) asociado a inundación por Tsunami y Amplificación sísmica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Andrade B., y Castro C., 1989. La carta fisiográfica aplicada al manejo de la zona costera. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 31. Pag: 87 – 96.

Araya Vergara J. F., 1966. Estudio de los procesos morfogenéticos actuales en la Cordillera de la Costa del Huenchullami (Chile Central). Memoria para optar al Título de Profesor de Estado en Historia, Geografía y Educación Cívica. Universidad de Chile. Santiago.

Araya Vergara J. F. 1981. El concepto de “Delta en Ría” y su significado en la evolución litoral (ejemplo en Chile central). *Inf. Geogr. Chile.* (28): 71 – 102.

Araya Vergara J. F. 1996. Sistema de interacción oleaje – playa frente a los Ergs de Chanco y Arauco, Chile. *Gayana Oceanol.* 4 (2): 159 – 167.

Araya Vergara J. F., 2000. Desarrollo de superficies de aplanamiento disectadas sobre coast range en la Región del Maule, Chile Central. *Investigaciones Geográficas*, 34. Santiago Chile.

Barragán J., 1997. Medio ambiente y desarrollo de las áreas litorales. Editorial OIKOS-TAU, S.A. Barcelona, España.

Broekman Van M. G., 1908. Puerto de San Antonio Atlas del Proyecto.

Cardona A. O., 1995. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo "Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo". Compilador Andrew Maskrey “los desastres no son naturales” Tercer Mundo Editores, Bogotá 1995.

CASTILLA J.C., 1988. Earthquakes caused coast uplift and its effects on rockies intertidal help comiunites. *Science V 242: 440-442*

Castro C., 1976. Ensayo y método para determinar unidades morfodinámicas en las planicies litorales entre el Estero de Casa Blanca y el Río Maipo. Memoria de título de la carrera de Geografía, Universidad de Chile.

Castro C. y Vicuña P., 1990. Caracterización de la erosión lineal en planicies costeras de Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande.* 17: 37-45.

Castro C., Brignardello L., Cereceda T., 1995. Determinación de áreas con riesgo morfodinámico en San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe, comuna de Juan Fernández, V Región. *Revista geográfica de Chile Terra Australis*, 40: 46 –61.

Castro P. Y Soto m. V., 2002. Análisis comparativo de los riesgos geomorfológicos de alta montaña. Valles de los ríos Limari y Cachapoal. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas.*



Cecioni G., 1970. Esquema de Paleogeografía de Chile. Editorial Universitaria S.A.

Chardon A., 2002. Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas expuestas a amenazas naturales. Ejemplo Andino de Manizales Colombia. Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.

CIREN, 2000. Estudio Agrológico de la V región de Valparaíso.

Claret J., 1982. "Estudio del subsuelo de San Antonio". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Corvalán & Dávila, 1964. Mapa geológico de la hoja de Valparaíso –San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas. SERNAGEOMIN.

Del Canto S. & Paskoff R. 1983. Características y evolución geomorfológica actual de algunas playas de Chile central, entre Valparaíso y San Antonio (V, región). Rev. Geog. Norte Grande. 10: 31 – 41.

Delucchi H., 1973. Consideraciones geológicas y geotécnicas de los terrenos ubicados entre los balnearios de Lolleo y Santo Domingo. Instituto de investigaciones geológicas. SERNAGEOMIN.

Figueroa H., 1997. Geomorfología de los riegos naturales en la cuenca del estero Marga Marga, Viña del Mar. Revista geográfica de Valparaíso N°28.

Gana P.; Gutiérrez A.; Wall R., 1996. Mapa geológico del área de San Antonio – Melipilla. Mapa geológico n° 2. Regiones de Valparaíso, Metropolitana y Del Libertador G. B. O'Higgins. Escala 1:100000. SERNAGEOMIN.

González F. C., 2002. Análisis territorial de la desembocadura del río Maipo. Informe practica profesional, Escuela de Geografía. Universidad de Chile.

Hervé, F., Encinas, A., Valla - Martínez, R., Sven, N., Finger, K., Peterson, D., 2003. Registro sedimentológico de la transgresión marina del holoceno medio en el área de Algarrobo (33° 22' sur), Chile Central. Implicaciones tectónicas y Paleoecológicas. 10° Congreso Geológico Chileno, 2003

Hauser Y. A., 1972. Reconocimiento geológico aéreo sector San Antonio – Lolleo, para ubicación zona construcción planta elaboradora de cobre. Instituto de Investigaciones Geológicas. SERNAGEOMIN.

Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. SERNAGEOMIN, boletín N° 45. Santiago.

Llona C. M., 2000. Relación entre morfogénesis y pedogénesis en la cuenca del río Clarillo, Santiago Chile. Memoria para optar al título de Geógrafo Universidad de Chile.

Manríquez H., 1997. Evolución morfológica en la zona costera de la ciudad de San Antonio. Revista Geográfica de Valparaíso. 28: 267-273.

Marco, J., Matarredona E., Padilla A., 2000. La dimensión espacial de los riesgos geomorfológicos. Boletín de la A.G.E. N.º 30 - 2000. Departamento de Análisis Geográfico Regional, Universidad de Alicante.

Mesina A. A., 2003. Análisis del sistema físico natural en la detección de peligros naturales: Definición de áreas de riesgo natural. Corredor Comercial paso Doña Rosa, IV Región de Coquimbo. Memoria para optar al título de Geógrafo Universidad de Chile.

MINVU, 1988. Análisis Microzonificación sísmica de San Antonio. GEOTECNICA CONSULTORES.

MINVU, 2001. Proyecto Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, Macro Área Borde Costero Sur. Seremi de Vivienda y Urbanismo V Región.

MONJE J.1986. (Ed.) El Sismo del 3 de Marzo de 1985, Chile. Fac. Cien. Fís. Y Mat. Universidad de Chile. Santiago, 1-264.

MOP, 1986. Proyecto mejoramiento acueducto Arévalo. San Antonio. Dirección de riego. Departamento de construcción.

MOP, 1991. Diagnostico hidrogeomorfológico Estero El Sauce, Provincia de San Antonio. BF ingenieros civiles.

MOPTT, 2003. Plan Maestro de Aguas Lluvias de San Antonio Cartagena. Conif – bf, Ingenieros Consultores.

ONEMI, 2003. (En línea) Santiago Chile. <http://www.onemi.cl> (consulta en diciembre 2003).

Patiño L., 1992. . Efectos del proceso de urbanización sobre el medio natural. Caso de estudio San Antonio – Lolleo. Memoria de título de geógrafo. Departamento de Geografía Universidad Católica de Chile.

Paskoff R., 1970. Le Chili Semi-Aride. Traducción de Novoa Jose, 1993 "Geomorfología de Chile semiárido". Universidad de la Serena.

Paskoff R., Manríquez H., Cuitiño L., Petiot R. 2000. Características, origen y cronología de los cordones dunares de la playa de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile. Revista Geológica de Chile vol.27 n.1 Santiago 2000.

Peña Monne j., 1997. Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Geoforma ediciones.

Rebolledo S., Elgueta S., Carrasco N., valentin Perignon N., Kieffer G. 2000. Zonificación del peligro de remoción en masa en San José de Maipo, Valle del río Maipo, Región Metropolitana. IX Congreso Geológico Chileno. Vol. 1: 102-106.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 2000. Cartas de Inundación por Tsunamis. Puerto de San Antonio y rada de Algarrobo, Chile (TSU - 5115 Y TSU- 5130).

YOUNG, A. 1977. Slopes. Geomorphology Text 3. General Editor K.M. Clayton, Universiyt of east Anglia. Longman. Great Britain.

## ANEXOS

### Anexo I: Geología

A continuación se describen las diferentes unidades o formaciones geológicas presentes en el área de estudio, según Corvalán y Dávila (1964), Delucchi H., (1973), Hauser A., (1972) y Gana et al., (1996), unidades presentes en el mapa Escala 1: 100.000, de 1996; que se muestra en la Imagen N° 1.

**Qe : Depósitos Litorales y Eólicos Actuales.** Sedimentos no consolidados, compuesto por arenas y gravas de bolones bien redondeados, con estratificación plana - horizontal predominante y estratificación cruzada de bajo ángulo; incluye láminas arenosas negras que concentran minerales pesados; a: dunas activas compuestas por arenas grises de buena selección, con estratificación cruzada de gran ángulo y ondulitas superficiales. Morfología de dunas transversales indica dirección del viento predominante hacia el nor – noreste. Estos depósitos alcanzan su mayor desarrollo en la Playa de Lolleo. Deben, además presentar gran saturación de agua, por lo tanto ser potencialmente peligrosos ante eventos sísmicos. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**Qd : Depósitos Eólicos Subactuales.** Sedimentos no consolidados de paleodunas inactivas, compuesta por arenas grises bien seleccionadas, con estratificación cruzada de gran ángulo, cubiertos por vegetación y desarrollo urbano. Corresponde a la Duna Transgresiva de San Antonio, donde se emplaza la totalidad de Barrancas. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**Qc : Depósitos Coluviales.** Sedimentos no consolidados, ubicados en las cabeceras de las quebradas; comprenden principalmente depósitos gravitacionales correspondientes a flujos en masa, matriz - soportados, de muy mala selección granulométrica, que puede incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos. Se presentan en las laderas del Estero El Sauce, en la localidad de Malvilla. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**Qa : Depósitos Aluviales.** Sedimentos no consolidados, ubicados en zonas de llanura; comprenden principalmente depósitos fluviales con depósitos gravitacionales interdigitados (flujos de barro, flujo de detritos), compuestos por gravas, arenas y limos. Corresponde al valle del Estero El Sauce en el tramo que pasa por la Ciudad y los suelos de Tejas Verdes, Lo Gallardo y parte de San Juan. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**Qf : Depósitos Fluviales.** Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastos - soportadas, compuesta por bolones redondeados a bien redondeados, de baja esfericidad, en partes imbricados. Lentes de arenas con

estratificación plana - horizontal y cruzada y escasos limos finalmente laminados. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**Qfs : Depósitos Fluviales Subactuales.** Sedimentos no consolidados de cursos fluviales abandonados, compuesto por gravas, arenas y limos, con desarrollo de cubierta vegetal. Corresponde a los depósitos del río Maipo en la ribera sur. Estos depósitos corresponden al Holoceno.

**QTt : Terrazas de Abrasión.** Unidades morfológicas de origen marino, labradas sobre intrusivos paleozoicos y triásico - jurásicos (Pzgm, TrJtv), y unidades sedimentarias volcánicas terciarias (Tn, Tqpa, Tlp), preservadas en la zona costera, a cotas variables entre los 60 y 290 m.s.n.m. Se incluye terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria, terrazas con una cubierta arenas cuarzosas, posiblemente marinas, arenas negras con acumulación de minerales pesados, de origen litoral, y terrazas con cubierta aluvial. Plioceno - Pleistoceno. Se localiza en la zona alta de la Ciudad, en el sector de Aguas Buenas y en las cercanías de la Quebrada El Tranque y el Embalse de San Juan.

**TQpa : Estratos de Potrero Alto.** Depósitos sedimentarios medianamente a bien consolidados de conglomerados, areniscas, limonitas, arcillolitas con restos vegetales mal conservados, limonitas grises y niveles de diatomitas, limonitas verdosas con trazas fósiles. Facies predominantemente continentales aluviales (cono aluvial, río, llanura de inundación) interdigitadas con facies transicionales litorales, que engranarían con los estratos marinos superiores de la Formación Navidad. Esta unidad de posición subhorizontal tiene potencias variables desde escasos metros hasta aproximadamente 140mt. Cubre a intrusivos paleozoicos a jurásicos y está cubierta a su vez, por sedimento aluviales y suelos cuaternarios. Mioceno - Plioceno - Pleistoceno. Se localiza en la cuenca del Estero Arévalo.

**Tn : Formación Navidad.** Secuencia sedimentaria marina fosilífera, medianamente consolidada, constituidas por limonitas, areniscas arcillosas, areniscas de grano muy fino a muy grueso, banco de conglomerados, areniscas muy finas grises, y bancos de coquinas y calizas (a). De carácter litoral en la base, evidencia una tendencia transgresiva. La parte inferior corresponde a areniscas finas algo arcillosas; por la parte superior se compone de arcillas a veces arenosas, de fractura concoidea, fragmentosas o areniscas arcillosas de color gris oscuro a gris azul, que al meteorizarse adquieren un color amarillento.

Se dispone sobre granitoides paleozoicos y triásicos - jurásicos (Pzmg, TrJtv) y, a su vez, está cubierta por depósitos eólicos, aluviales y suelos cuaternarios. Presenta fuertes variaciones verticales y laterales de facies de disposición subhorizontal y una potencia máxima estimada de 500 mt., al sur del río Rapel. Esta unidad engrana hacia el este con depósitos transicionales y continentales de la unidad TQpa. Esta unidad geológica se localiza en la zona alta de Placilla hasta Aguas Buenas y en las Planicies de Bellavista. Corresponden al Mioceno - Plioceno.

**TrJtv : Rocas Intrusivas.** Sionogranito de biotita. Son rocas de color gris claro a amarillo rosáceo, de grano medio a fino, con frecuente de formación cataclástica. Son rocas calcoalcalinas (granodioritas y pórfidicos granodioríticos). Estos intrusivos se ubican en el lapso Triásico superior - Jurásico inferior. Hospedan vetas de cuarzo y de cuarzo - feldespato. Corresponde al Batolito de la Costa descrito por Corvalán y Dávila (1964). Se localiza en la zona alta de Lollole y Barrancas, extendiendo hasta los Cerros del Cordón montañoso Costero.

**Trca : Rocas Intrusivas. Diorita Gnéisicas de Cartagena.** Rocas de color gris oscuro a negro verdoso, grano fino a medio. Son rocas calcoalcalinas (granodioritas y pórfidicos granodioríticos). Presentan foliación gnéica de orientación oeste - noroeste con inclinación hacia el sur. Litológicamente, estas rocas constituyen un plutón de exposición continua entre los esteros Cartagena y El Sauce. Es decir rocas intrusivas inyectadas a granito ideas del Paleozoico Superior (Pzmg). Corresponden a parte de la Formación Quintay de Corvalán y Dávila (1964). Se localiza en la zona de la quebrada El Tranque y en el sector del Estero El Sauce desde Malvilla hasta el Fundo de Lollole.

**PzTrmv : Complejo Metamórfico Valparaíso.** Gneises tonalíticos de biotita, gneises porfiroblásticos de microclina y migmitas, con intercalaciones de anfíbolita. Son rocas de color gris claro a medio y rosáceo, excepto las anfíbolitas, gris oscuras verdosas. Presentan grano medio a fino, de protolito ígneo intrusivo: textura foliada a bandeada ocelar. Están intruidos por diques leucocráticos y pegmatitas de microclina. Deformados en amplios pliegues mesoscópicos. Estas rocas corresponden probablemente, al ultimo evento térmico registrado. Fueros originalmente asignadas a la Formación Quintay por Corvalán y Dávila (1964). Afloran entre Cartagena y norte de San Antonio, específicamente entre Punta Vera y el Cerro Centinela. Corresponden a edades del Paleozoico Superior - Triásico Superior.

**Pzmg : Rocas Intrusivas.** Tonalitas y granodeoritas de biotitas y anfíbolita de color gris medio, verdoso, grano grueso, con textura granular. Presentan Foliación magmática, afectada por foliación milonítica. Son rocas calcoalcalinas. Solo se localizan en pequeñas unidades en los Acantilados Rocosos entre San Antonio y Cartagena, correspondiendo también a las Rocas de Santo Domingo. Corresponden a edades Paleozoicas.

## Anexo II: Suelos

### Cuadro N° 1: CLASIFICACION DE LOS SUELOS

ANEXO N° II: CUADRO RESUMEN CARÁCTERÍSTICAS DE LAS SERIES DE SUELO DE LA ZONA DE EXPANSIÓN URBANA DE SAN ANTONIO

SERIE	Area mt2	Area has	Grupo Hidrológico	Unidad carto P.M.A.U	Profundidad	Textura superficial	Textura Sub-superficial	Pendiente (%)	Permeabilidad	Capacidad sarcicola	Erosion	Aptitud fruticola	Categoria riesgo	Clase drenaje
MR	590746.0	59								VIII	0 E	6	6	6
MR	199872.4	20								VIII	0 E	6	6	6
E	111661.6	11 B		D-1	Muy Delgada	Arenosa	Arenosa	mas de 60	Rapida	VIII	2 E	6	6	5
BOC-5	1341795.9	134 B		B-5	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	30 a 50	Moderada	VIIe 1	2 E	6	6	5
BOC-4	2016141.8	202 B		B-4	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	9 a 15	Rapida	VIIe 3	1 E	6	6	5
LVZ-1	2417293.7	242 C		A-1	Moderada profunda	Franco arcillo arenosa	Arcillosa	20 a 30	Lenta	VIIe 1	1 E	6	6	5
E	520083.0	52 B		D-1	Muy Delgada	Arenosa	Arenosa	mas de 60	Rapida	VIII	2 E	6	6	5
BOC-6	1252886.2	125 C		B-1	Moderada profunda	arcillo arenosa	Franco arcillo areno	1 a 3	Moderada	IIIe 5	0 E	3w	2	2
LNH-5	1210823.0	121 A			Ligeramente profund	Arenosa francosa fina		15 a 20	Rapida	VIs0	1 E	6	6	6
LVZ-7	3863718.2	386 C		A-4	Moderada profunda	Franco arcillosa	Arcillosa	30 a 50	Moderada	VIIe 2	1 E	6	6	5
BOC-6	2146041.3	215 C		B-1	Moderada profunda	arcillo arenosa	Franco arcillo areno	1 a 3	Moderada	IIIe 5	0 E	3w	2	2
BOC-5	291831.5	29 B		B-5	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	30 a 50	Moderada	VIIe 1	2 E	6	6	5
BOC-4	130420.2	13 B		B-4	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	9 a 15	Rapida	VIIe 3	1 E	6	6	5
BOC-4	2148562.6	215 B		B-4	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	9 a 15	Rapida	VIIe 3	1 E	6	6	5
BOC-5	3231838.9	323 B		B-5	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	30 a 50	Moderada	VIIe 1	2 E	6	6	5
BOC-3	310703.9	31 C		B-3	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	9 a 15	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	4t	5	5
BOC-1	214740.3	21 C		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
BOC-1	328370.9	33 B		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
BOC-1	6803023.5	680 B		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
BOC-1	1894196.1	189 B		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
BOC-1	589432.0	59 C		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
BOC-1	18285356.1	1829 B		B-2	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arcillo areno	5 a 8	Moderada rapida	Ivs 3	1 E	3t	5	5
MD-1	4351203.2	435 A		D-2	Profunda	Arenosa francosa fina	Arenosa francosa	5 a 8	Muy rapida	VIIe 1	0 E	6	6	6
SNC-6	1135276.0	114 C		C-1	Profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	1 a 3	Muy rapida	IIIw 2	0 D	3w	3	3
BOC-5	6092764.6	609 B		B-5	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	30 a 50	Moderada	VIIe 1	2 E	6	6	5
BOC-4	1122437.3	112 B		B-4	Moderada profunda	Franco arenosa	Franco arenosa	9 a 15	Rapida	VIIe 3	1 E	6	6	5

FUENTE: CIREN, 2000.

Fuente: CIREN, 2000.

Cuadro N° 2: TEXTURAS DE SUELOS

CLASES TEXTURALES		TEXTURAS
Suelos arenosos	Texturas gruesas	Arenas Areno francosas
Suelos francos	Texturas moderadamente gruesas	Franco arenosa Franco arenosa fina
	Texturas medias	Franco arenosa muy fina Franca Franco limosa
	Texturas moderadamente finas	Franco arcillosa Franco arcillo arenosa Franco arcillo limosa
Suelos arcillosos	Texturas finas	Arcillo arenosa Arcillo limosa Arcilla

Fuente CIREN, 2000.

Cuadro N° 3: PROFUNDIDAD DE SUELOS

CARACTERISTICA	PROFUNDIDAD EFECTIVA (cm)
Profundo	Más de 100
Moderadamente Profundo	75 - 100
Ligeramente Profundo	50 - 75
Delgado	25 - 50
Muy Delgado	menos de 25

Fuente CIREN, 2000.

Cuadro N° 4: RANGOS DE PENDIENTE

DESIGNACION	%
Plana a casi plana	1 - 3
Ligeramente ondulada	3 - 5
Suavemente ondulada	5 - 8
Moderadamente ondulada	8 - 15
Fuertemente ondulada	15 - 20
De Lomajes	20 - 30
De Cerros	30 - 50
De Montañas	+ 50

Fuente CIREN, 2000.



Las clases de permeabilidad se determinan en función de la velocidad con que el agua penetra a través del perfil del suelo. Estas clases son:

Muy lenta.

Lenta.

Moderada.

Moderadamente Rápida.

Rápida.

Muy Rápida.

Los grados de erosión de los suelos se establecieron de acuerdo a los siguientes parámetros:

Sin erosión.

Ligera.

Moderada.

Severa.

Muy Severa.

**Anexo III: Perfiles de la ladera norte del centro de San Antonio (Claret, 1982).**

