ILUSTRE MUNICIPALIDAD
DE OVALLE

PLAN REGULADOR COMUNAL DE OVALLE, REGIÓN DE COQUIMBO

ESTUDIO DE RIESGOS

Enero 2013

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. ESTUDIOS DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL 1

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO 1
1.2 ANTECEDENTES GENERALES REGIONALES 2
- **MARCO GEODINÁMICO** 2
- **MARCO GEOLÓGICO REGIONAL** 3
- **MARCO GEOLÓGICO DE OVALLE** 3
- **SUELOS DE FUNDACIÓN** 6
- **MARCO GEOMORFOLÓGICO** 6
- **GEOMORFOLOGÍA LOCAL** 7
- **RED HÍDRICA E HIDROLOGÍA** 11
- **CLIMA** 14

1.3 PELIGROS RECONOCIDOS 18
A) **FLUJOS DE DETRITOS Y BARRO** 18
B) **DESLIZAMIENTOS** 19
C) **DESPRENDIMIENTOS O CAÍDA DE ROCAS** 20
D) **INUNDACIONES** 21
E) **SISMICIDAD.** 22

1.4 DETERMINACIÓN DE ZONAS DE PELIGROS SEGÚN LOCALIDAD. 31
A) **DESLIZAMIENTOS Y CAÍDA DE BLOQUES O DESPRENDIMIENTOS.** 31
B) **FLUJOS DE DETRITOS Y DE BARRO O INUNDACIONES** 35
C) **LICUEFACCIÓN** 42

REFERENCIAS. 47

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 1-1: Cuencas de la IV Región de Coquimbo y su superficie. 11
CUADRO Nº 1-2: Principales Crecidas en el Período 1952 a 2002 15
CUADRO Nº 1-3: Compilación de Principales Eventos de Precipitación en La Serena, Santiago y los eventos recopilados por Pulso S.A. En rojo destacan los años en que se ha reportado el fenómeno del Niño. 16
CUADRO Nº 1-4: Comparación Meteorológica entre Ovalle y La Serena. 17

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1-1: Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33ºS. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas. 2
FIGURA Nº 1-2: Mapa Geológico de la IV Región de Coquimbo. El círculo blanco indica la ubicación de la ciudad de Ovalle 4
FIGURA Nº 1-3 Mapa Geológico de la Ciudad de Ovalle 5
FIGURA Nº 1-4 Modelo de Elevación de Terreno 7
FIGURA Nº 1-5 Perfil Transversal de la Ciudad de Ovalle, para ubicación ver FIGURA Nº 1-6. 8

FIGURA Nº 1-6 Vista 3D Hacia el NE del Área Urbana de Ovalle 8
FIGURA Nº 1-7: Carta de Pendientes en Porcentaje, Zona Urbana de Ovalle. La línea Rosada indica la traza del perfil topográfico NW-SE. 9
FIGURA Nº 1-8: Carta de Pendientes en Grados, Valle del Limarí en Ovalle. 10
FIGURA Nº 1-9: Cuencas de la IV Región y Ubicación de las Estaciones Fluviométricas de la Dirección General de Aguas. 12
FIGURA Nº 1-10: Cuenca del río Limarí. 13
FIGURA Nº 1-11: Variación estacional del río Limarí en Panamericana 14
FIGURA Nº 1-12: Promedio de precipitaciones 1961-2005 en estación meteorológica de DGA, en la confluencia del río Limarí con el estero Punitaqui, aguas abajo de la ciudad de Ovalle. 15
FIGURA Nº 1-13: Precipitación Anual y Máxima en 24 horas de cada año para el periodo 1919-2006, Estación La Serena – La Florida. 17
FIGURA Nº 1-14: Sismicidad Histórica Región de Coquimbo, para sismos con Magnitud >4. La estrella roja muestra la ubicación del área de estudio, la linea discontinua naranja la ubicación aproximada de la fosa de Chile – Perú, las líneas continuas rojas muestran la ubicación aproximada de los perfiles mostrados en la FIGURA Nº 5-71. Catalogo USGS/NEIC, 1973 – al presente. 23
FIGURA Nº 1-15: Perfil de sismicidad a los 30° S. Las estrellas rojas marcan la sismicidad reportada durante el mes de noviembre de 2009. Los círculos verdes muestran los sismos de magnitud >4 registrados entre 1964 y 1995. 23
FIGURA Nº 1-16: Zonas de Ruptura y áreas afectadas por sismos desde el año 1.647 hasta 1985. La elipse roja muestra la posible zona de ruptura del Terremoto de Constitución del 27 de Febrero de 2010 24
FIGURA Nº 1-17: Principales terremotos del Siglo 20. Los puntos rojos con borde negro destacan los Epicentros. 28
FIGURA Nº 1-18: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos y Caída de Bloques del Sector de Ovalle. 32
FIGURA Nº 1-19: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos, Sector La Chimba. 33
FIGURA Nº 1-20: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos, Sector Centro de la Ciudad. 34
FIGURA Nº 1-21: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle. 37
FIGURA Nº 1-22: Áreas de Inundación del Río Limarí 38
FIGURA Nº 1-23: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle. 39
FIGURA Nº 1-24: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle.. 40
FIGURA Nº 1-25: Mapa Suceptibilidad a flujos e inundación con Proyecto Costanera y Defensa Fluvial 41
FIGURA Nº 1-26: Mapa de Susceptibilidad de Licuefacción de Ovalle. 44
FIGURA Nº 1-27: Plano de Riesgos Naturales 45

1. ESTUDIOS DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

1.1 Conceptos Básicos y Alcance del Estudio

- **Definiciones**

Los procesos geodinámicos que afectan la superficie terrestre dan lugar a movimientos de terreno de diferente magnitud que pueden constituir peligros geológicos, los que pueden afectar de forma directa o indirecta las actividades humanas. Asociados a los peligros geológicos se reconocen cuatro conceptos principales: susceptibilidad, vulnerabilidad, amenaza o peligrosidad (hazard) y riesgo (risk).

La **susceptibilidad** se define como la **posibilidad** de que una zona quede afectada por un determinado proceso, y se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos de los materiales geológicos o controlados por un factor externo (precipitación, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de inventario (áreas que sufren o han sufrido procesos) y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de los procesos.

Los distintos **elementos expuestos** (personas, infraestructura, actividades económicas) en zonas susceptibles son agrupados dentro del concepto de **vulnerabilidad** que se define como el grado de daños o pérdidas potenciales como consecuencia de un fenómeno de intensidad determinada. La vulnerabilidad puede ser de carácter social (pérdida de empleo, epidemias y enfermedades, muertos y heridos, etc.), estructural (Daños a edificios y estructuras) o económico, ya sea directo (costos de reposición, reparación, etc.) o indirecto (reducción de valor de los bienes, interrupción del sistema de transporte, etc.). En general, la vulnerabilidad dependerá de diversos factores: intensidad y velocidad del fenómeno, densidad de la población, tiempo de aviso, sistemas de emergencia y respuesta, tipo y características de las construcciones, y la pérdida de ingresos (impuestos, productividad, desempleo y cesantía, etc.).

El concepto de **amenaza** o **peligrosidad** (hazard*) corresponde a la **probabilidad de ocurrencia** de un proceso, con un nivel de intensidad determinado dentro de cierto período de tiempo y en un área específica. Finalmente el concepto de **riesgo** (risk) se define como las potenciales pérdidas económicas ante la ocurrencia de un determinado fenómeno.

- **Metodología, alcance y limitaciones**

Para este trabajo se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas (en distintos períodos de tiempo), y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos y geológicos, de cuyo análisis se obtuvo como producto los mapas de susceptibilidad de determinados peligros geológicos.

Cabe recordar que en este trabajo se realizó un estudio para definir las zonas que pueden ser afectadas por diversos peligros geológicos que fueron reconocidos. Sin embargo, no se llevó a cabo ningún análisis de períodos de retorno (peligrosidad) o de consideraciones socio-económicas (riesgo), por lo que los mapas entregados corresponden a mapas de susceptibilidad, de factores condicionantes y de vulnerabilidad. La única excepción corresponde al mapa de susceptibilidad de inundaciones, donde se utilizaron los datos recopilados por Pulso S.A. (2004), en que se estudiaron los períodos de retorno de inundaciones.

* La traducción literal corresponde a peligro, pero para evitar confusiones se le denominará peligrosidad.

1.2 Antecedentes Generales Regionales

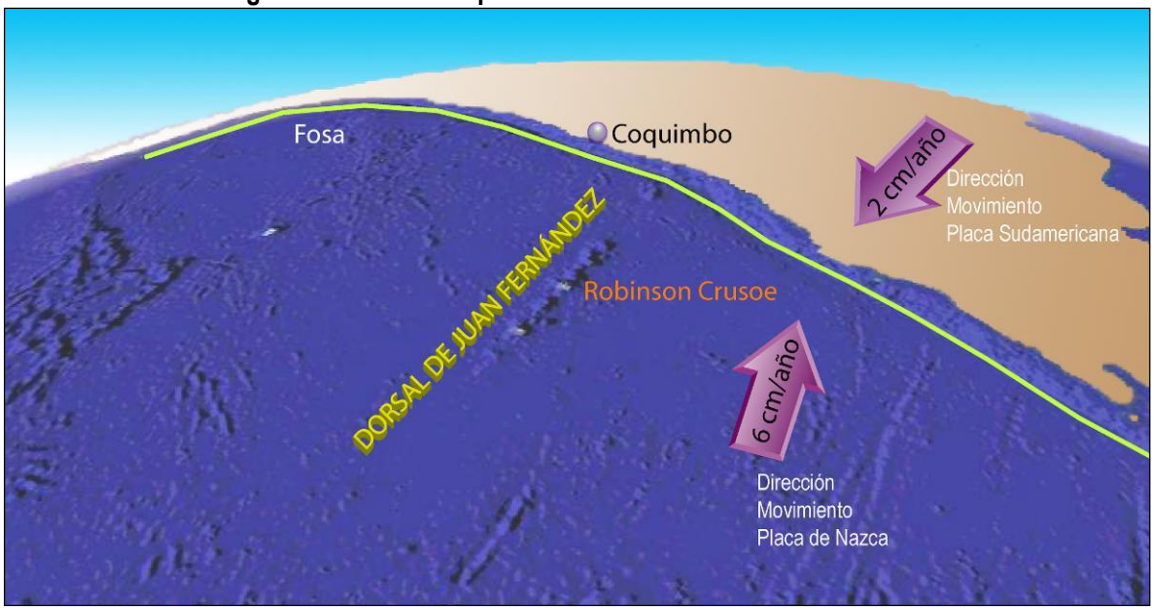
- **Marco Geodinámico**

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente, donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental (Uyeda y Kanamori, 1979). Esta subducción, cuya tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (Demets et al., 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Mpodozis y Ramos, 1989) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Pardo-Casas, 1987; Somoza, 1998).

La zona entre los 27º y los 33º S (ver FIGURA Nº 1-1) se identifica, dentro del esquema de segmentación andina de Mpodozis y Ramos (1989), como una zona de subducción subhorizontal, que aparentemente se encuentra controlada por la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernández, y en la que se destacan las siguientes características:

- La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado NS, mientras que al sur de los 33º la costa posee un rumbo aproximado N20ºE
- No se aprecia el desarrollo de una depresión central, en cambio se presentan valles transversales en el antearco.
- No hay registro de volcanismo cuaternario (últimos 5 millones de años) en la Cordillera Principal
- En Argentina se desarrollan las Sierras Pampeanas, que están asociadas a una intensa sismicidad cortical superficial en Argentina y al ensanchamiento del orógeno.

FIGURA Nº 1-1: Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33ºS. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas.



La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto del régimen de subducción es la causa de que todo Chile, al norte de la península de Taitao, sea afectado frecuentemente por terremotos, como será explicado en el Capítulo de Sismicidad. De estos la mayor parte, y los más grandes en magnitud, se originan en la zona del contacto de placas y corresponden a la liberación súbita de la mayor parte de la energía acumulada durante el proceso de subducción (Ej. Sismos del 6 de abril de 1943 que afectó a la IV Región, 3 de Marzo de 1985 de la V región). Los esfuerzos causados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de menor magnitud pero más destructivos localmente. (Ej. Sismo de Las Melosas de 1958, Sismo de Chuzmisa de 2001). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos en la Placa de Nazca una vez subductada, estos sismos pueden ser muy destructivos a pesar de no tener las mayores magnitudes (Ej. Sismo de Chillán de 1939, sismo de Punitaqui de 1997 y sismo de Tarapacá 2005).

- **Marco Geológico Regional**

La geología de la parte central de la Región de Coquimbo está constituida por rocas y sedimentos cuyo rango de edades va desde el Paleozoico hasta depósitos no consolidados producto de los procesos erosivos actuales (Thomas, 1967; Moscoso et al., 1982; Rivano y Sepúlveda, 1991; Emparán y Pineda, 2000 y 2006).

La geología del área de estudio (FIGURA Nº 1-2) se puede describir de manera general por un basamento metamórfico paleozoico, el que se encuentra cubierto discordantemente por rocas volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, que van desde el triásico inferior hasta el jurásico en el área de estudio. Tanto las secuencias paleozoicas y triásico- jurásicas se encuentran intruídas por franjas de orientación aproximada NNW de rocas intrusivas, cuya composición varía de gabros a granitos y con edades radiométricas que van desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior, decreciendo su edad desde la costa hacia el oriente (Thomas, 1967; Moscoso et al., 1982; Rivano y Sepúlveda, 1991; Emparán y Pineda, 2006).

Finalmente, tanto las rocas metamórficas paleozoicas, las rocas sedimentarias y volcánicas triásico-jurásicas y los intrusivos jurásicos – cretácicos se encuentran cubiertos en discordancia por depósitos marinos, fluviales y eólicos del Neógeno Superior a la actualidad (Paskoff et al., 1995; Benado, 2000; Emparan y Pineda, 2000 y 2006), los que a su vez, se encuentran disectados por los actuales cauces fluviales y aluviales que se reconocen en la zona.

- **Marco Geológico de Ovalle**

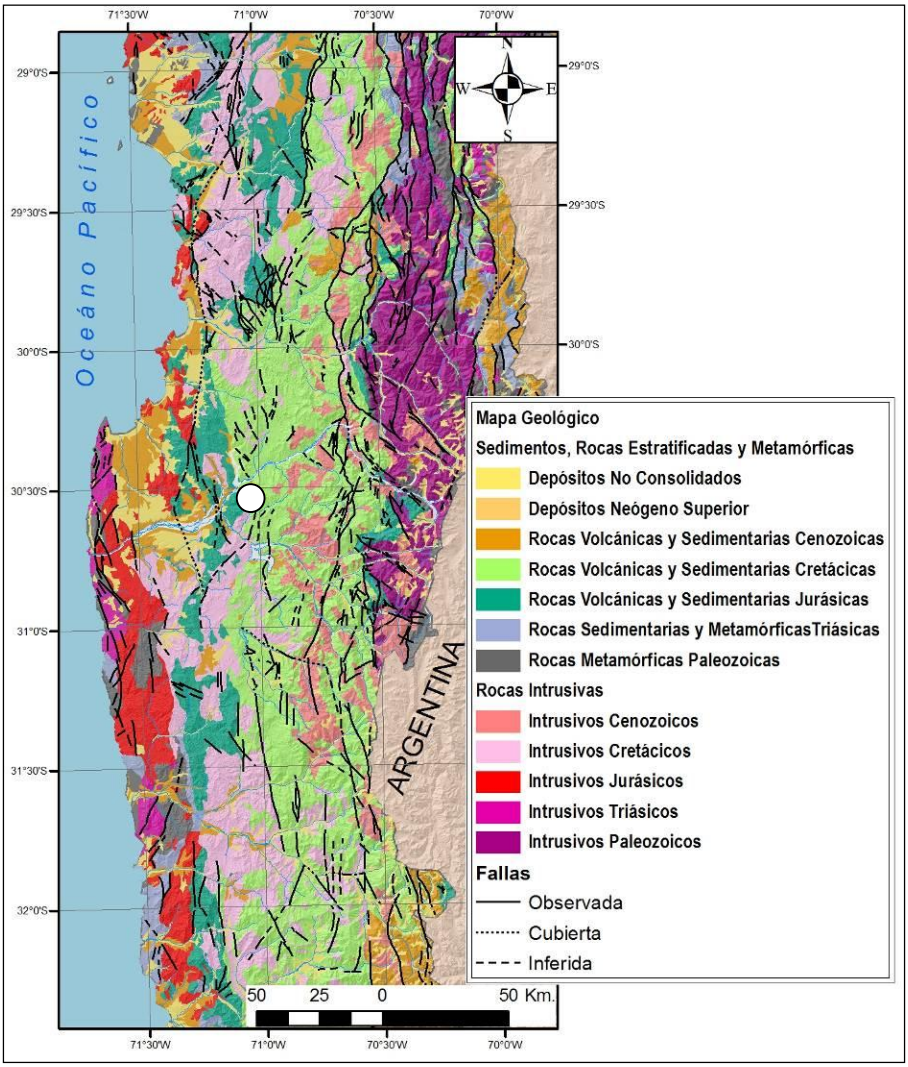
En general, la geología del área de estudio está constituida por rocas y sedimentos cuyo rango de edades va desde el Cretácico Inferior hasta depósitos no consolidados producto de los procesos erosivos actuales (Thomas, 1967), de origen fluvial y aluvial (FIGURA Nº 1-3). Las rocas volcánicas e intrusivas cretácicas se encuentran cubiertas en discordancia angular por depósitos fluviales aterrazados y fluvio-aluviales consolidados y semiconsolidados del Neógeno hasta la actualidad. Los depósitos fluviales aterrazados corresponden a sedimentos asociados al Río Limarí.

  - Rocas estratificadas e intrusivas.

El basamento de la cuenca, corresponde a lo que Thomas (1967) llamó Grupo Ovalle. En el área de estudio, se encuentran dos de las tres unidades volcánicas definidas para este Grupo en la Región de Coquimbo. La primera unidad son los llamados Estratos del Reloj (Thomas, 1967), los que consisten en lavas andesíticas y andesitas porfíricas ocoíticas, con escasas intercalaciones de rocas calcáreas hacia el techo de la secuencia, de pocos metros de espesor. Basado en su contenido faunístico (fósiles), Corvalán (1966) determinó una edad Valanginiana para los Estratos del Reloj.

La segunda unidad descrita en el Grupo Ovalle en las cercanías del poblado homónimo corresponde a la Formación Arqueros (Aguirre y Egert, 1965), que consiste en lavas andesíticas porfíricas con escasas intercalaciones de areniscas rojas. Thomas (1967) le asigna una edad Hauteriviano – Barremiano.

FIGURA Nº 1-2: Mapa Geológico de la IV Región de Coquimbo. El círculo blanco indica la ubicación de la ciudad de Ovalle



Fuente: Modificado a partir de SERNAGEOMIN. 2002.

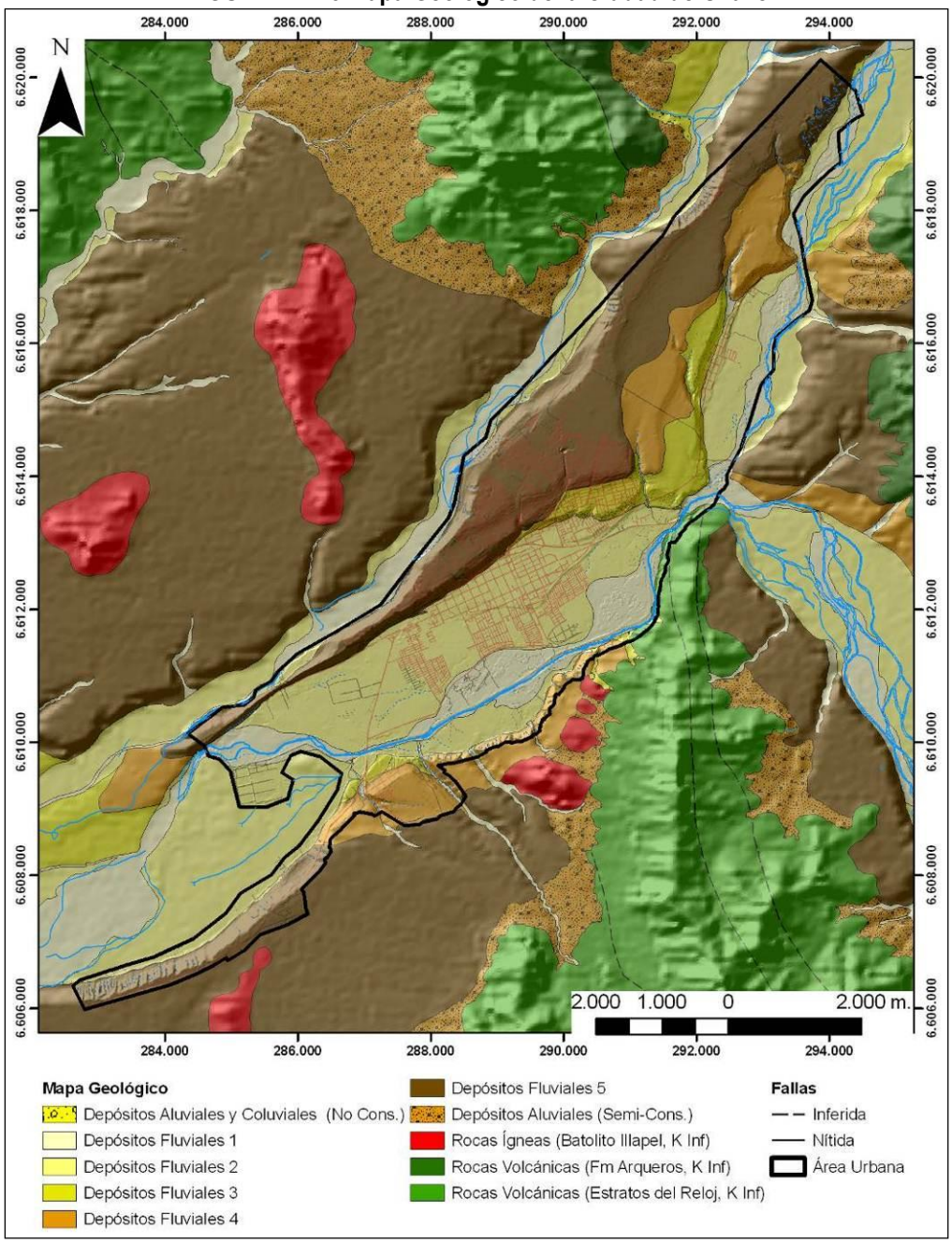
Intruyendo a las dos unidades nombradas, se observan las rocas ígneas del Batolito Illapel (Rivano et al, 1985), que consisten granodioritas a tonalitas de anfíbola y biotita, monzogranitos de biotita, y monzodioritas a dioritas de anfíbola, de grano medio a grueso. Dataciones K – Ar en roca total realizadas en plutones al sur del área de estudio (cercano a la localidad de Punitaqui), indican edades de 105 + 5 Ma y 109 + 7 Ma (Aptiano – Albiano; Gana, 1991), mientras que dataciones K – Ar de Adriasola (1997) indican una edad de 114 + 3 Ma (Aptiano).

El basamento de la cuenca corresponde a rocas volcánicas con pequeñas intercalaciones sedimentarias calcáreas de los llamados Estratos del Reloj, y rocas volcánicas de la Formación Arqueros. A estas dos unidades nombradas, más una tercera que no aflora en la zona de estudio (Estratos de Tamaya), Thomas

(1967) le asigna el nombre de Grupo Ovalle, con una edad Valanginiano – Barremiano (Neocomiano). Estas rocas se encuentran intruidas por rocas ígneas del Batolito Illapel (Rivano et al, 1985), de edad Cretácico Inferior tardío. También se reconocen sedimentos semiconsolidados de origen aluvial, depósitos de origen fluvial, dentro de los cuales se han reconocido al menos 5 niveles aterrazados, y el relleno cuaternario en el valle principal y quebradas aledañas, de origen fluvial y aluvial.

En el área se reconocen fallas antiguas que afectan a las rocas volcánicas, cuya edad probable es Cretácico Inferior, con una orientación general N-S, y que a pesar de no mostrar movimientos recientes, presentan un control estructural en la morfología actual, ya que actúan como zonas de debilidad que facilitan la erosión.

FIGURA Nº 1-3 Mapa Geológico de la Ciudad de Ovalle



Fuente: Modificado a partir de Thomas, 1967.

- Depósitos No consolidados

Disectando a las unidades de roca ya descritas se encuentran los depósitos fluviales, fluvio-aluviales y coluviales del área de estudio.

Los depósitos fluviales, que tienen su origen en los sedimentos transportados por el Río Limarí, poseen una morfología aterrazada, distinguiéndose al menos 5 niveles de terrazas en el área de estudio. La terraza más antigua (Depósito Fluvial 5, FIGURA Nº 1-3) es posible correlacionarla (al menos en altitud) con los depósitos semiconsolidados de la Formación Limarí definida por Gana (1991) al occidente de la zona estudiada, y a la que se asigna una edad Plioceno, obteniéndose así una cota inferior para la edad de estos depósitos. Mientras que el nivel de terraza inferior (Depósito Fluvial 1) corresponde a los depósitos actuales del Río Limarí.

Los depósitos de origen aluvial y coluvial fueron separados en semiconsolidados y no-consolidados. Los primeros tendrían una edad similar o inmediatamente anterior al nivel de terraza fluvial más alto (Depósito Fluvial 5), dada sus relaciones de contacto con ésta. Desde un punto de vista netamente morfológico, estos depósitos semiconsolidados corresponden a depósitos de piedemonte, cuyo origen sería por conos de aluviones, y se localizan al pie de las montañas o grandes elevaciones. Los segundos, es decir, los depósitos de origen aluvial no-consolidados, se ubican en pequeñas quebradas y en zonas de contacto entre dos niveles de terrazas fluviales.

- **Estructuras**

Se observan lineamientos fotogeológicos de orientación NNW-SSE, los que Thomas (1967) interpreta como fallas, en general sin ubicar el lugar exacto donde éstas aparecen en superficie. A pesar de no mostrar movimientos recientes, presentan un control estructural en la morfología actual, ya que actúan como zonas de debilidad que facilitan la erosión, como quebradas y contactos de unidades. En la zona norte del área de estudio una de estas fallas pone en contacto a los Estratos del Reloj con la Formación Arqueros, por lo que la edad de la falla sería al menos Cretácico Inferior.

- **Suelos de Fundación**

La ciudad de Ovalle, se encuentra fundada en su totalidad sobre depósitos fluviales aterrazados más altos del Río Limarí (Depósitos Fluviales 3, 4 y 5, FIGURA Nº 1-3), mientras que solo algunas viviendas se edifican sobre rocas volcánicas e intrusivas de la zona de estudio.

- **Marco Geomorfológico**

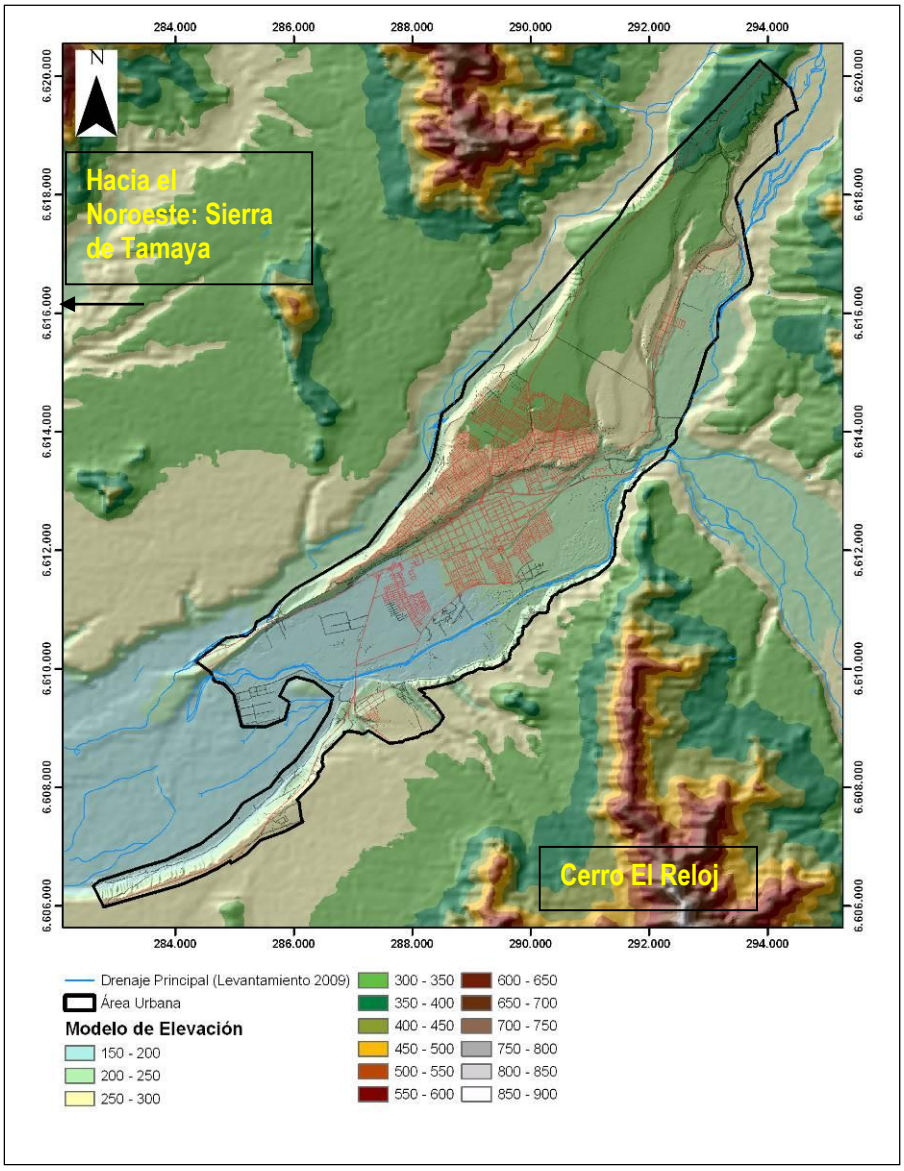
El segmento andino chileno comprendido entre los 29º S y los 32º S, muestra 3 unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas norte – sur. De oeste a este estas son: Planicies Litorales, Cordillera de la Costa y Cordillera Principal

El segmento previamente nombrado, en Chile recibe el nombre de Valles transversales, ya que no se desarrolla la depresión central, como ocurre al sur de los 33º S (Cuesta de Chacabuco) o al norte de los 28º S (Copiapó). En este segmento se encuentran bien desarrolladas las Cordilleras Principal y de la Costa, siendo el límite entre ambos cordones montañosos poco nítido debido a la ausencia de la depresión central. Uno de estos valles transversales corresponde al valle del Río Limarí, donde está emplazada la ciudad de Ovalle, objeto de este estudio.

- **Geomorfología Local**

La ciudad de Ovalle se emplaza adyacente al cauce del Río Limarí, y construida sobre las terrazas fluviales más altas. La ciudad se encuentra construida entre los ~190 m s.n.m en sus partes bajas hasta los ~320 m s.n.m. en sus partes altas. (Ver FIGURA Nº 1-4). Las principales cumbres corresponden a los cerros de la Sierra Tamaya (1.235 m s.n.m) ubicada hacia el noroste y el cordón de los Cerros del Reloj, hacía el sur (1.090 m s.n.m).

FIGURA Nº 1-4 Modelo de Elevación de Terreno



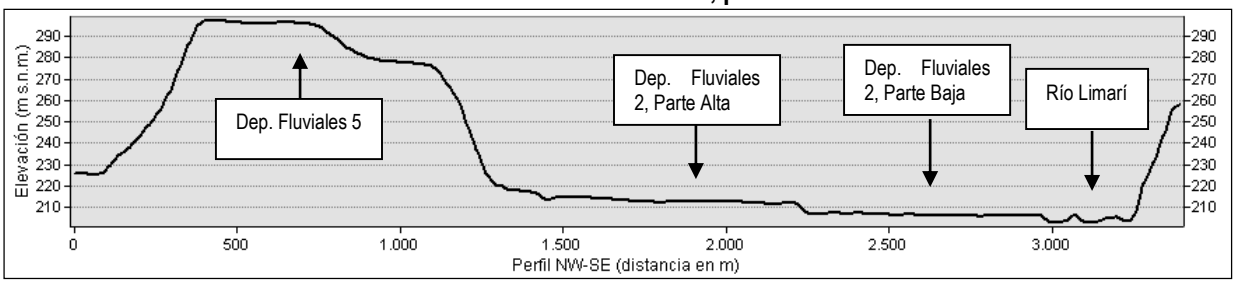
Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos del SRTM (fuera del área urbana) y de las de Curvas de Nivel del levantamiento topográfico realizado para este estudio (en el área urbana).

La principal morfología reconocida en la ciudad corresponde a las Terrazas Fluviales, que se dividen en 4 terrazas principales, asociadas a los depósitos descritos en el marco Geológico. La terraza más baja

corresponde a la que se encuentra asociada a los depósitos fluviales 2, que se desarrolla muy cercana al nivel base actual del río, mientras que la terraza más alta se encuentra asociada a los Depósitos Fluviales 5.

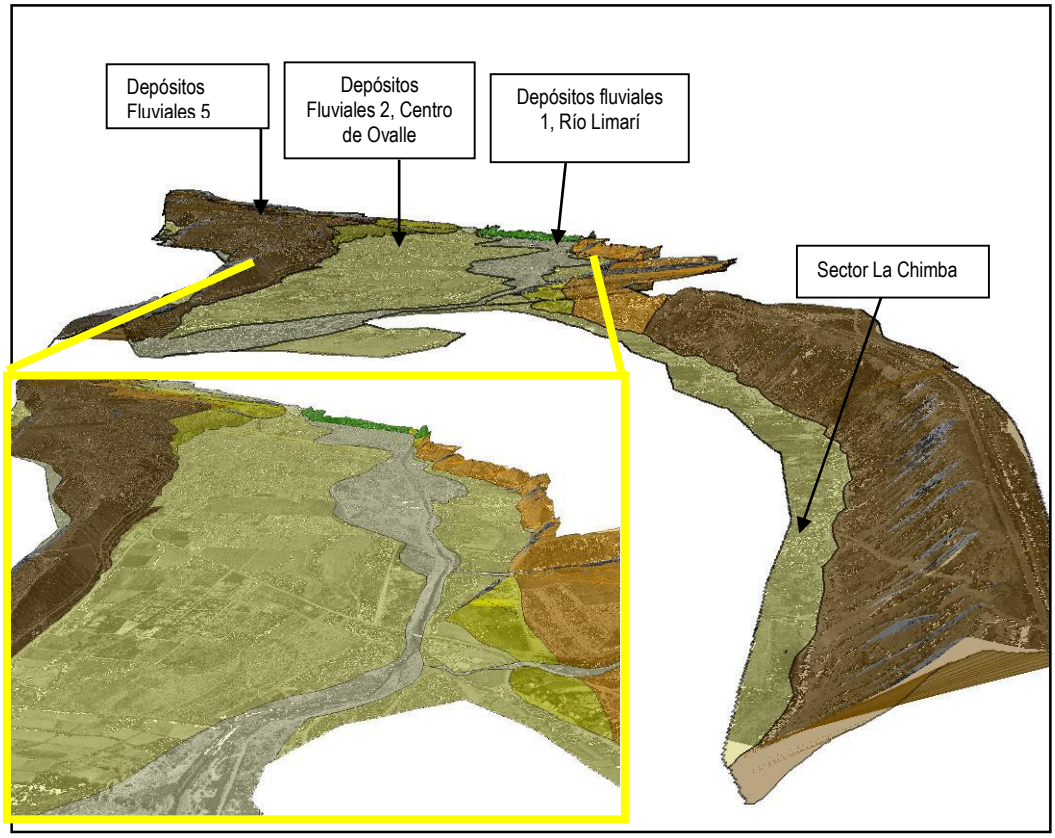
Además las terrazas fluviales controlan los escarpes y las pendientes de la ciudad.

FIGURA Nº 1-5 Perfil Transversal de la Ciudad de Ovalle, para ubicación ver FIGURA Nº 1-6



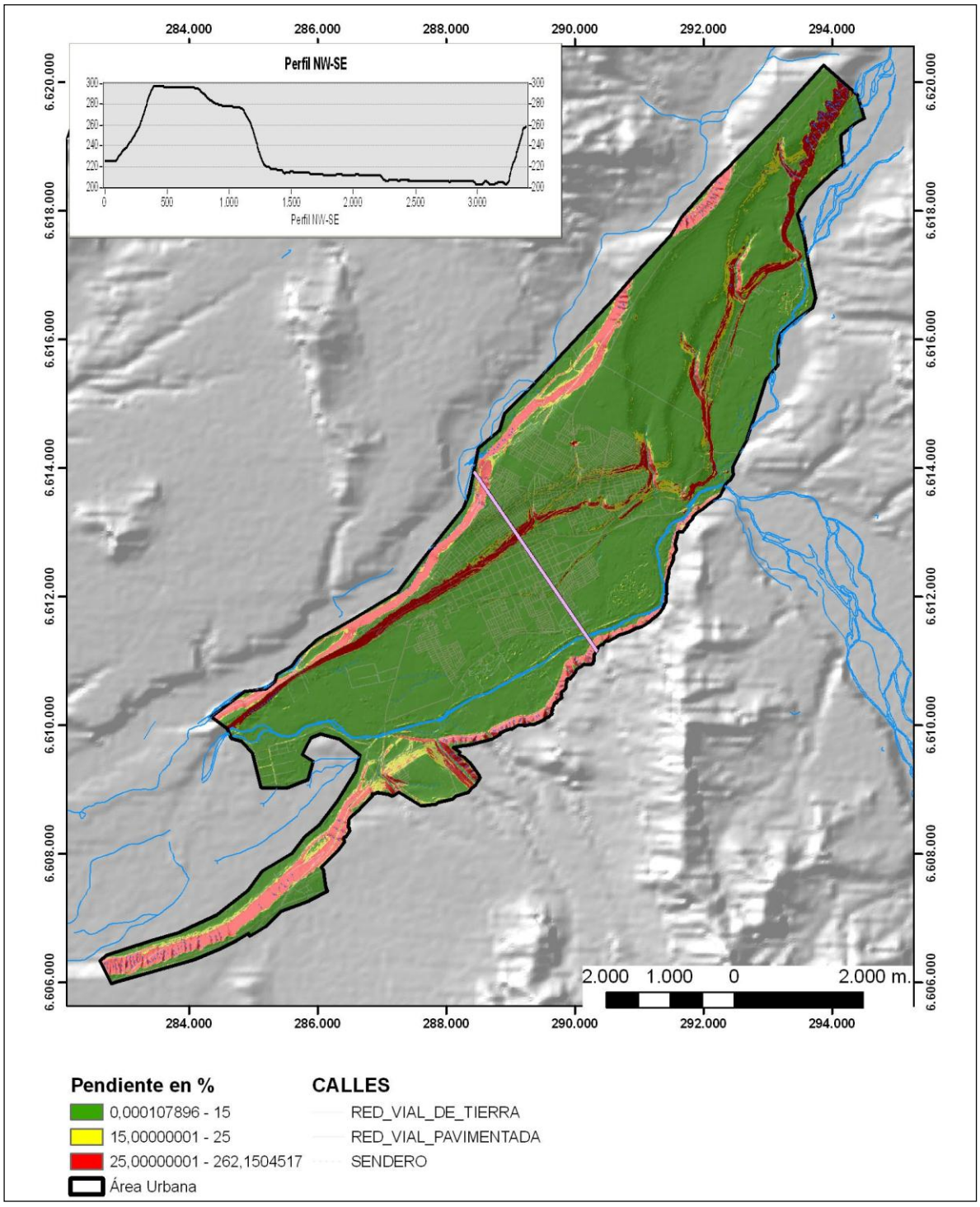
Fuente: Elaboración Propia a partir de Curvas de Nivel del levantamiento topográfico realizado para este estudio.

FIGURA Nº 1-6 Vista 3D Hacia el NE del Área Urbana de Ovalle



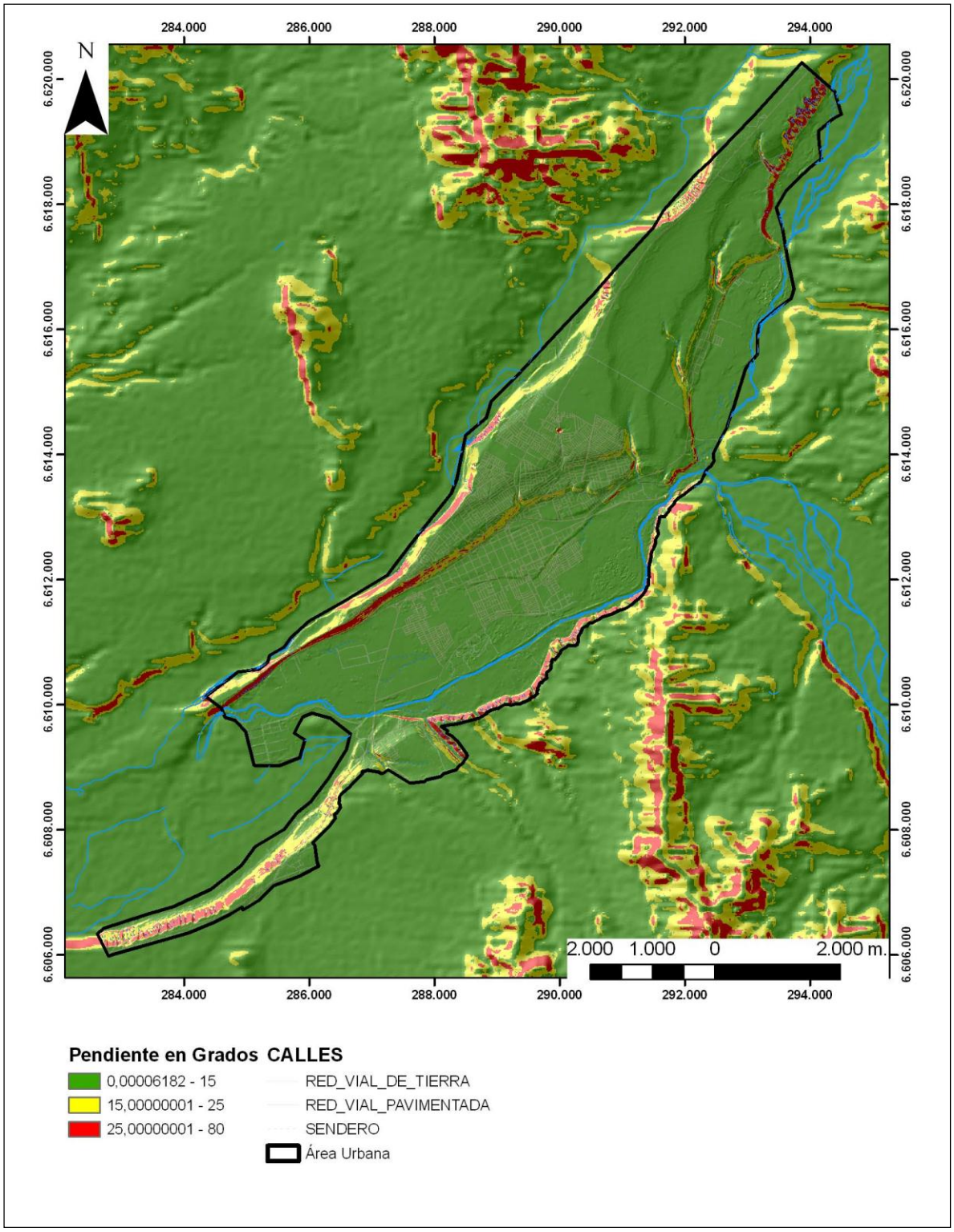
Fuente: Elaboración Propia a partir de Curvas de Nivel del levantamiento topográfico y mapa geológico realizado para este estudio.

FIGURA Nº 1-7: Carta de Pendientes en Porcentaje, Zona Urbana de Ovalle. La línea Rosada indica la traza del perfil topográfico NW-SE.



Fuente: Elaboración Propia a partir de Curvas de Nivel del levantamiento topográfico realizado para este estudio.

FIGURA Nº 1-8: Carta de Pendientes en Grados, Valle del Limarí en Ovalle.



Fuente: Elaboración Propia, a partir de los datos del SRTM (fuera del área urbana) y de las de Curvas de Nivel del levantamiento topográfico realizado para este estudio (en el área urbana).

- **Red Hídrica e Hidrología**

El drenaje de las aguas de la IV Región de Coquimbo hacia el mar está dominado por cuatro cuencas principales: Río Los Choros, río Elqui, río Limarí y río Choapa, las que en conjunto estas corresponden a un 83% de la superficie de la Región, y son de características nival. El restante 17% de superficie de la Región lo cubren las llamadas cuencas costeras de régimen netamente pluvial, siendo sus caudales mucho más episódicos (ver CUADRO Nº 1-1 y FIGURA Nº 1-9)

En general, las cuencas de los ríos mayores presentan una red de drenaje dendrítica (formas de ramas de árbol), en la que los tributarios desembocan al estero principal en ángulos agudos. Generalmente, este tipo de redes de drenaje se desarrollan en regiones donde el basamento es homogéneo, esto es, que la geología en sub-superficie tiene una resistencia a la meteorización uniforme y no hay control estructural o litológico aparente sobre la dirección de ríos y esteros.

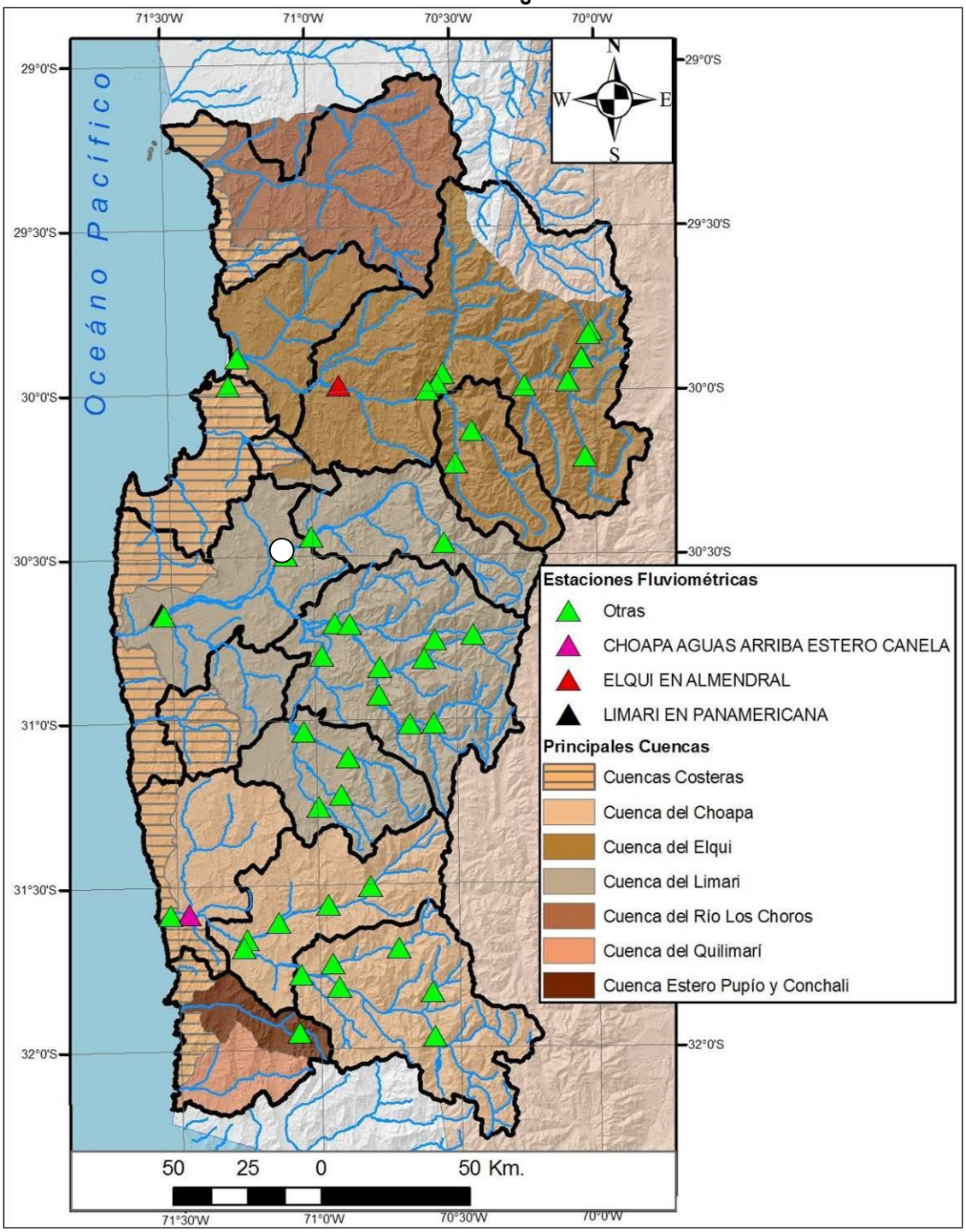
De las cuatro cuencas mayores, las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa presentan regímenes de alimentación mixtos, con la presencia de dos máximos anuales, uno en el invierno y otro en primavera verano, debido a los deshielos cordilleranos, mientras que la cuenca del río Los Choros tiene un régimen principalmente pluvial.

CUADRO Nº 1-1: Cuencas de la IV Región de Coquimbo y su superficie.

Nombre de Cuenca	Área Km^2
Río Los Choros	3837,95
Costeras E Islas Cuarta Región - Qda. Los Choros	229,88
Costeras Río Los Choros – Río Elqui	440,82
Río Elqui	9826,00
Costeras Río Elqui - Río Limarí	2299,56
Río Limarí	11696,45
Costeras Río Limarí - Río Choapa	1666,89
Río Choapa	7630,99
Costeras Río Choapa - Río Quilimarí	600,35
Estero Pupío – Conchali	692,27
Río Quilimarí	782,48
Total Región	**39704,16**

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA Nº 1-9: Cuencas de la IV Región y Ubicación de las Estaciones Fluviométricas de la Dirección General de Aguas.



Fuente: Elaboración Propia.

Los recursos hídricos de la IV región de Coquimbo han sido siempre considerados escasos, lo que ha radicado en la elaboración de numerosos estudios con el fin de asegurar un aprovechamiento sustentable de estos, siendo además necesario proteger los cuerpos de agua, tanto superficiales y como subterráneos. Las características climáticas y orográficas de la región son determinantes para la conformación de las cuencas de drenaje fluviales, de gran importancia ya que son las únicas que cruzan todas las unidades de relieve

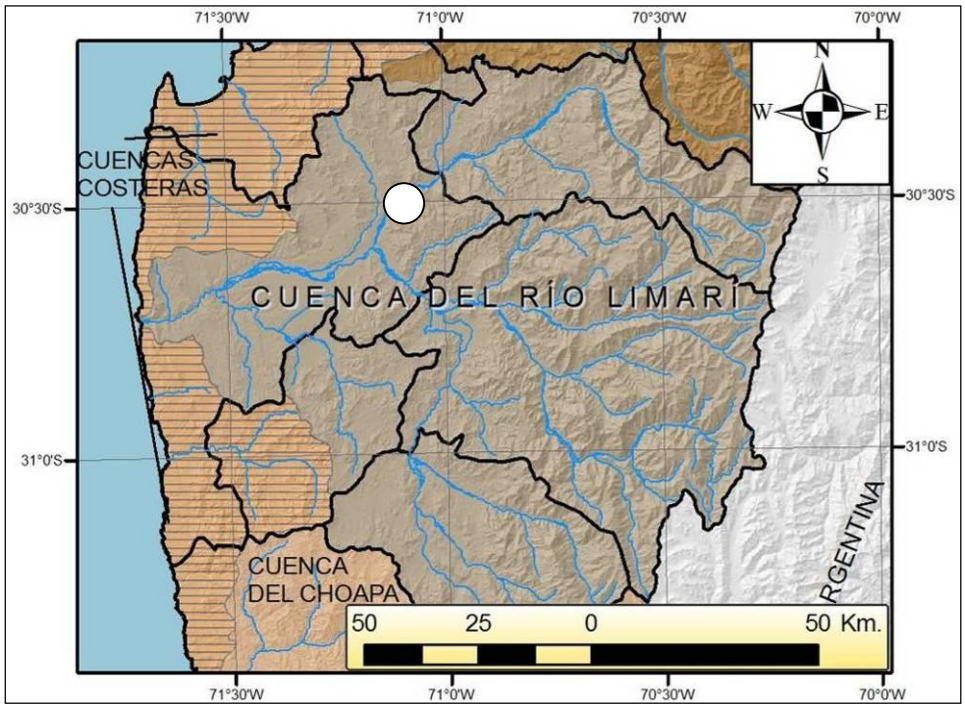
desde la Cordillera de Los Andes hasta su desembocadura en el mar. Por otro lado, las características climáticas de la zona, de largos períodos secos y ocasionales fenómenos de lluvias intensas, hacen necesario estudios para minimizar los efectos provocados por precipitaciones de gran intensidad.

La red hídrica de la IV Región ha sido objeto de numerosos estudios, principalmente llevados a cabo por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (por ejemplo: Modelo de simulación Quebrada Los Choros, 2004; Diagnósticos y clasificaciones de los cuerpos y cursos de agua, según objetivos de calidad de las cuencas de los ríos Choapa, Elqui y Limarí, todos 2004; Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Valle del Elqui, 2006). Además existen numerosas memorias de título y tesis sobre la red hídrica de la región (por ejemplo; Aravena, 1997; Brinck, 1986; Cánepa, 2001; Terán, 1983). A continuación se resumen las principales características.

La cuenca del río Limarí (ver FIGURA Nº 1-10) se sitúa entre los valles de los río Elqui por el norte y Choapa por el sur. Es la hoya hidrográfica que cubre más área de la región (11.696 km2), y se forma por la unión de los ríos Grande y Hurtado. Ambos ríos nacen en partes de la cordillera donde las cumbres alcanzan en promedio hasta los 4.500 m s.n.m. y reciben una abundante precipitación nival, con un caudal promedio medido en el río Limarí de 25 m3/s (CADE-IDEPE-DGA, 2004b).

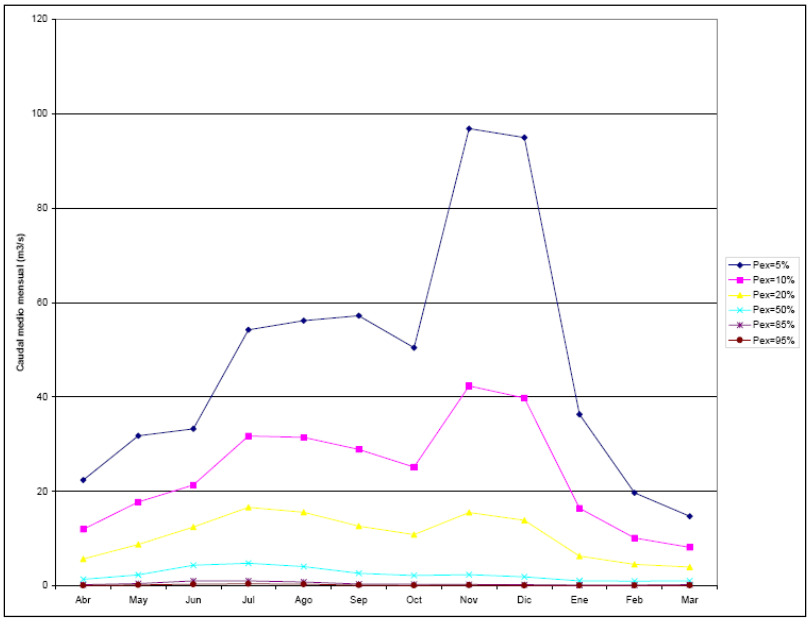
La cuenca del río Limarí presenta un regimén mixto nival – pluvial (ver FIGURA Nº 1-10), predominando el régimen nival sus afluentes de cabecera, mientras que en la parte baja de la cuenca la influencia pluvial se hace importante, hasta el punto que el último afluente de importancia del Limarí antes de su desembocadura, el estero Punitaqui, presenta un claro régimen pluvial.

FIGURA Nº 1-10: Cuenca del río Limarí.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA Nº 1-11: Variación estacional del río Limarí en Panamericana



Fuente: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de Calidad. Cuenca del río Limarí. DGA-CADE-IDEPE, 2004

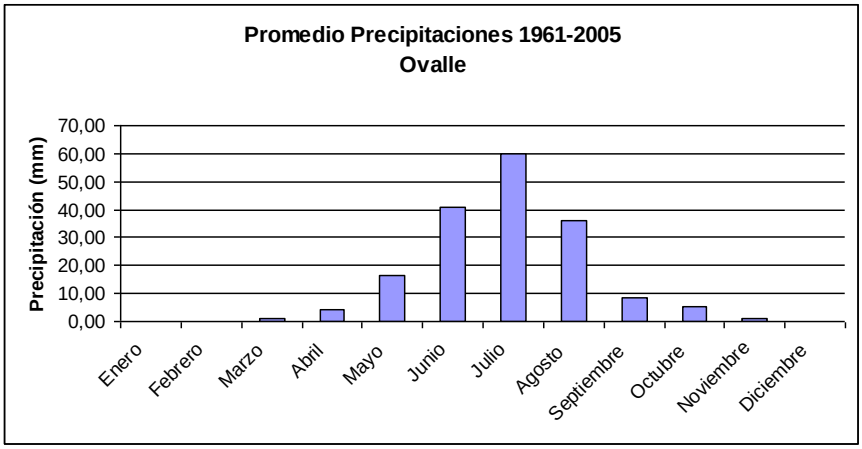
- **Clima**

El clima de la región de Coquimbo está fuertemente dominado por la acción del anticiclón del Pacífico, y corresponde a un clima transicional entre el Desierto de Atacama y la zona central de Chile, por lo que se le considera como semiárido. Sus temperaturas promedio son 14ºC en la costa, subiendo a 16ºC hacia el continente.

Las precipitaciones en la zona de estudio en general son escasas, siendo su promedio cercano a los 160 mm/año, con fuertes variaciones anuales inducidas por la acción de los vientos desde el W, que se correlacionan con los años donde actúa el fenómeno del Niño (Veit, 1996). La FIGURA Nº 1-12 muestra datos de precipitaciones entre los años 1961 y 2005, medidos en la estación meteorológica de la DGA ubicada en la confluencia del Río Limarí con el Estero Punitaqui, aguas debajo de la ciudad de Ovalle. En ésta se puede observar que las precipitaciones se concentran en los meses invernales (mayo-agosto), mientras que entre los meses de Noviembre y Marzo se aprecia una ausencia casi total de lluvias. Cabe destacar que el caudal del Río Limarí tiene un origen nival.

Las principales crecidas descritas por Pulso S.A. (2004) (ver CUADRO Nº 1-2) coinciden en su mayoría con períodos de precipitación intensa (ver CUADRO Nº 1-3) en La Serena, donde se posee un registro de precipitación más completo que el de Ovalle (ver FIGURA Nº 1-3 y CUADRO Nº 1-4). Además, se observa que en promedio, Ovalle es más lluvioso que La Serena, y que en general, para años en que se presenta el fenómeno del Niño y precipitaciones mayores a 50 mm en 24 pueden esperarse inundaciones y procesos de remoción en masa asociados a estos.

FIGURA Nº 1-12: Promedio de precipitaciones 1961-2005 en estación meteorológica de DGA, en la confluencia del río Limarí con el estero Punitaqui, aguas abajo de la ciudad de Ovalle.



Fuente: Dirección General de Aguas.

CUADRO Nº 1-2: Principales Crecidas en el Período 1952 a 2002

Año	Fecha 1		Fecha 2		Fecha 3		Fecha 4		Motivo
1952	23	Jun							1,3
1953	22	Ago							1,3 y 4
1957	21	May							3 y 4
1961	8	Jun	28	Ago					3 y 4
1965	18	Jul	11	Ago	23	Sep			4
1966	11	Jul							3 y 4
1972	9	Jun	16	Ago	25	Sep			3 y 5
1974	26	Jun							2 y 5
1977	23	Jul							2, 3 y 5
1978	20	Jul							2, 3 y 5
1980	11	Abr	25	Jul					1,2, 4 y 5
1982	25	Jun	1	Jul	23	Ago			1,3, 4 y 5
1983	8	Jul							3, 4 y 5
1984	2	Jul	4	Jul	10	Jul			1 y 2
1986	28	May							4
1987	16	Jul	25	Jul	15	Ago	25	Sep	1, 4 y 5
1991	20	Jun							4 y 5
1992	2	Abr	7	Jun	25	Jun			3, 4 y 5
1993	7	May							3
1997	21	Jun	17	Ago					1, 3, 4 y 5
2000	23	Jul	23	Sep					3 y 5
2001	19	Jul							3 y 5
2002	25	May	4	Jun	23	Jul			1 y 2

Motivo : Eventos Extremos Observados en :

1. Embalse Recoleta
2. Embalse La Paloma
3. Río Grande en Puntilla de San Juan
4. Río Hurtado en Angostura de Pangue
5. Estación Pluviométrica Ovalle

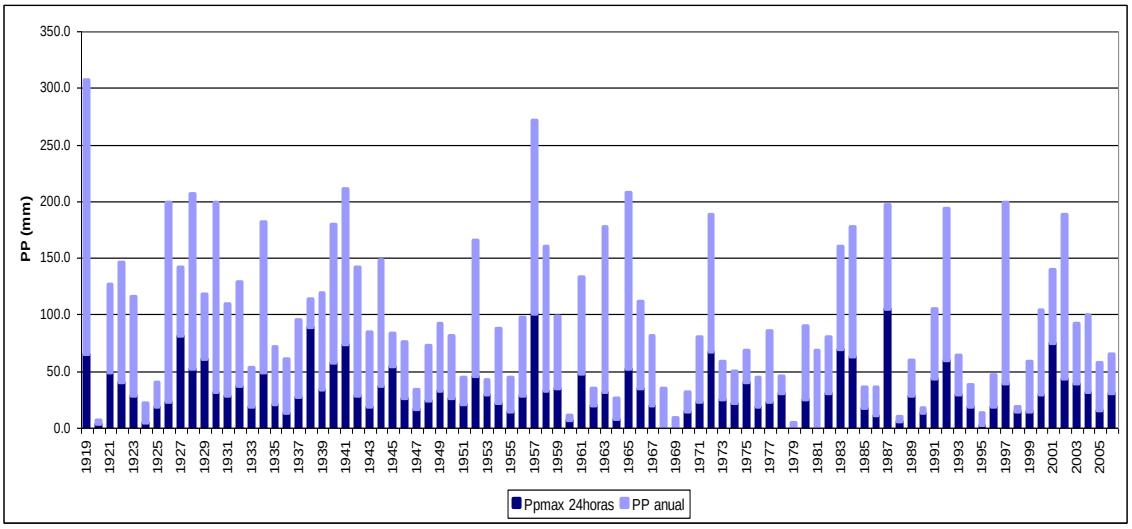
Fuente: Pulso S.A.

CUADRO Nº 1-3: Compilación de Principales Eventos de Precipitación en La Serena, Santiago y los eventos recopilados por Pulso S.A. En rojo destacan los años en que se ha reportado el fenómeno del Niño.

	La Serena	Santiago	Eventos Extremos	Reportes en Prensa
AÑO	PP máx. 24 h	Precipitación (mm)	Pulso S.A.	PULSO S.A.
1902		505.9		
1905		615.9		
1911		170.0		
1914		700.5		
1918		376.8		
1919	64.8			
1925		258.6		
1927	80.9			
1929	61.0	354.2		
1930	30.7			
1938	89.0			
1939		322.6		
1940	57.0			
1941		671.9		
1945	54.3			
1952			Si	Si
1953		583.0	Si	
1957	100.0	310.4	Si	Si
1961			Si	Si
1965	52.2	413.4	Si	Si
1966			Si	
1972	66.7	573.0	Si	
1974			Si	
1976		200.5 *		
1977			Si	
1978			Si	
1982		623.4	Si	
1983	69.5		Si	Si
1984	62.8		Si	Si
1986		311.3 *	Si	
1987	104.7		Si	
1991			Si	
1992	59.4	464.0	Si	
1993			Si	
1997	32.2	709.3	Si	Si
2000			Si	
2001	74.1		Si	
2002			Si	Si

Fuente: Dirección Meteorológica, Pulso S.A.

FIGURA Nº 1-13: Precipitación Anual y Máxima en 24 horas de cada año para el periodo 1919-2006, Estación La Serena – La Florida.



Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

CUADRO Nº 1-4: Comparación Meteorológica entre Ovalle y La Serena.

Variable	La Serena		Ovalle	
	Valor	Meses	Valor	Meses
Temperatura Media Anual °C	13,5		16,6	
Máx. Media mes más cálido °C	21,0	Enero	28,5	Enero
Mín. Media mes más frío °C	7,0	Julio	6,3	Julio
Período libre de heladas	12 meses	Sep.-Ago.	10 meses	Sep.-Jun.
Suma Anual de Temperatura :				
Base 5°C	3.106		4.220	
Base 10°C	1.281		2.390	
Horas de frío	342	Abr.-Nov.	1.000	Abr.-Nov.
Temperatura Media				
Mensual	10°C	Ene.-Dic.	10°C	Ene.-Dic.
Precip. Anual	104,4 mm		125,7 mm	
Mes más lluvioso	25,9 mm	Junio	35,7 mm	Junio
Evaporación	1.220 mm		1.676 mm	
Máx. Mensual Evap.	172 mm	Enero	254 mm	Feb.
Mín. Mensual Evap.	47 mm	Junio	52 mm	Jul.
Estación Seca	9 meses		10 meses	Ago.-May.
Lluvia de lavado	0 mm		0 mm	

Fuente: www.siar.cl Sistema Interactivo de Apoyo al riego.

1.3 Peligros Reconocidos

a) Flujos de Detritos y Barro

- **Descripción del Peligro**

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao et al. 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina a los flujos se les conoce como flujos de barro.

Las partículas sueltas que cubren pendientes denudadas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento, removiendo depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas, donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente a medida que aumenta la distancia desde su fuente los flujos van perdiendo su carga sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados, donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson y Scott, 1985).

- **Factores condicionantes y/o desencadenantes:**

Para la ocurrencia de flujos de detritos es necesario que exista una cuenca donde se colecten los aportes de lluvia y una zona de acumulación de material donde los detritos se acumulen para ser posteriormente transportados en el caso de que se cumpla alguna condición desencadenante.

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. En Chile existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Sólo durante las últimas décadas se han instalados pluviografos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Sólo se disponen de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis de relación de estas variables ya a veces basta una lluvia "corta" pero extremadamente intensa para generar un flujo de detrito.

Como ejemplo de eventos que han suscitado el interés nacional, por el alto grado de daños materiales y de vidas humanas, y que han sido un aporte para el conocimiento de los umbrales de intensidad de precipitaciones mínimas para la generación de flujos de detritos en Chile, destacan los flujos o "aluviones" del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta y del 3 de Mayo de 1993 en la Quebrada de Macul en Santiago Oriente. Para el caso de Antofagasta, en una de las zonas más secas del país, se estimaron precipitaciones mínimas de 30 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1997). En el caso de Santiago Oriente, se contó con datos pluviográficos más precisos, donde se registraron casi 10 mm en una sola hora (Naranjo y Varela, 1996). Anteriormente, para la Región Metropolitana se estimó un mínimo de 60 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1985).

Si bien los casos anteriores se encuentran fuera de la IV Región, cabe destacar que corresponden a los pocos eventos donde se han relacionado la ocurrencia de estos fenómenos y la intensidad de precipitaciones. Además, al ocurrir estos casos tanto al norte y al sur de la IV Región, respectivamente, nos entregan datos valiosos en cuanto a los umbrales de intensidad de precipitaciones para la IV Región.

- **Efectos en la población y sus actividades**

El grado de daño producido por un flujo, dependerá de varios factores:

1) Tiempo de Aviso
    a. Los sistemas de emergencia y alerta a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social.
2) Distancia al origen del fenómeno
    a. Mientras más alejado sea el origen, y si se cuenta con sistemas de emergencia y alerta a la población se puede disminuir la vulnerabilidad social.
3) La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno (tamaño del flujo)
    a. Un flujo de mayor tamaño y rápido tiene mayor capacidad de afectar a una población que uno más pequeño y lento.
4) Densidad de Población en la zona susceptible a ser afectada.
    a. En caso de que la población se encuentre directamente en el cauce del flujo, los daños pueden ser catastróficos, ya que pueden producirse muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales mayores, etc., como se observó en los casos de Antofagasta (1991) y Quebrada de Macul (1993). Si el cauce no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) o un consto económico en reparaciones y medidas de mitigación.

b) Deslizamientos

- **Descripción del Peligro**

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 1993). Los volúmenes incluidos en estas remociones varían desde algunas decenas hasta varios millones de metros cúbicos y pueden adquirir magnitud catastrófica.

Los deslizamientos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno: rotacionales y traslacionales. Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

- **Factores condicionantes y/o desencadenantes**

Además de los factores intrínsecos como las características geológicas (litología, estructuras, etc.), geomorfológicas y pendiente entre otros, estos fenómenos pueden ser generados por factores externos, como eventos hidrometeorológicos, sísmicos y actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

- **Efectos en la población y sus actividades**

Los deslizamientos que afectan a un área determinada, producirán daños de acuerdo al volumen desplazado durante el proceso, y estos afectarán a la población dependiendo de

1) Distancia al origen del fenómeno
    a. Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m.) Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
2) La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
    a. En general, dada la velocidad de estos procesos, son bastante rápidos, por lo que los daños potenciales son altos.
3) Densidad de Población
    a. A mayor densidad de población mayor cantidad en la zona susceptible de ser afectada, mayores son los daños esperados. Si la población se encuentra directamente en el área de alcance de un deslizamiento, la vulnerabilidad, estructural y económica son muy altas, ya que la pérdida de vidas, viviendas y productividad son efectos típicos de este peligro geológico. Por otro lado, si un deslizamiento afecta a caminos, acueductos o líneas eléctricas puede producir aislamiento, enfermedades gastrointestinales y pérdidas económicas en general para la población.
4) Tiempo de Aviso
    a. En este proceso, sin estudios de detalle, el tiempo de aviso es casi nulo.

c) Desprendimientos o Caída de Rocas

- **Descripción del Peligro**

Los desprendimiento o caída de rocas son remociones en masa en las cuales bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas de fuertes pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, que luego describen una caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, 1993). Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Entre las zonas susceptibles a sufrir desprendimientos o caídas de rocas destacan los flancos de quebradas profundas, labradas en secuencias estratificadas con niveles más duros hacia el techo, expuestas a erosión fluvial, o acantilados costeros expuestos a erosión marina.

- **Factores condicionantes y/o desencadenantes**

Como este proceso es gravitacional, depende de leyes de fricción, por consiguiente es caótico. Como factores desencadenantes destacan los grandes sismos que pueden generar numerosos desprendimientos a partir de laderas con fuerte inclinación y con condiciones geológicas y estructurales favorables.

- **Efectos en la población y sus actividades**

La caída de bloques o desprendimientos, puede producir una serie de efectos en personas, desde contusiones menores, hasta la muerte, dependiendo del tamaño del bloque y la fuerza con que cae. En el caso de estructuras, por lo general los daños son casi nulos, pero puede producirse la rotura de vidrios o daños a muros en función del tamaño del bloque y la distancia recorrida por este. Además, al caer un bloque en el camino, puede producirse un accidente debido a maniobras para evitar el bloque.

En general, este peligro presenta una vulnerabilidad social, económica y estructural menor que otros peligros geológicos, además afecta a escala local, pero tiene una mayor incidencia debido a que su recurrencia es mucho mayor. En este peligro, el tiempo de aviso es mínimo, pero se puede mitigar indicando que la zona es susceptible a ser afectada por caída de bloques.

d) Inundaciones

Las inundaciones pueden originarse por varios factores, uno de los principales, obviamente, es la presencia de lluvias durante temporales. Sin embargo, también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

Para efecto de este estudio, se describen las inundaciones causadas directamente por desbordes de cauces fluviales, cuya causa primaria son las precipitaciones líquidas.

- **Inundación por Desborde de Cauces**

Como su nombre lo indica, estos tipos de fenómenos ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. Estos fenómenos se producen generalmente debido a eventos de precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo. Pero los valores que pueden alcanzar los caudales así como el tamaño del cauce, dependen también de otros factores como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

En la zona de estudio se pueden distinguir dos tipos de cauces:

- Perennes: ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas (cuencas del Elqui, Choapa y Limarí, Los Choros y Quilimarí). Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente están ocupadas por actividades agrícolas o asentamientos humanos. Además, algunas de estas cuencas están influenciadas por deshielos cordilleranos durante los meses de verano, cuando se producen los máximos caudales. En general, estas cuencas poseen estaciones de pluviométricas por lo que es posible estimar frecuencia de caudales máximos.

- Intermitentes: Esteros y quebradas de escurrimiento temporal como consecuencia directa de precipitaciones intensas. En general, algunas de estas quebradas pueden presentar amenaza por fenómenos de remociones en masa del tipo flujos de detritos, existiendo una estrecha relación entre estos fenómenos e inundaciones por escorrentía torrencial de gran velocidad. Como se explicó anteriormente, los flujos de detritos, al perder su carga sólida, van transformándose paulatinamente en inundaciones torrenciales. No existen estaciones fluviométricas en estos cauces, por lo que la estimación de caudales máximos se debe hacer con modelos matemáticos y estadísticas de precipitaciones máximas de gran intensidad.

- **Efectos en la población y sus actividades**

El grado de daño producido por una inundación, dependerá de varios factores:

1) Tiempo de Aviso
    a. Los sistemas de emergencia y aviso a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Por lo demás, por lo general los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
2) La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
3) Densidad de Población.
    a. En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura

sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) o un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

e) Sismicidad.

- **Descripción el peligro**

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde oriental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a su encuentro con la placa tectónica de Nazca. Existe una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y profundidad variable (entre 5 y 150 Km. de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile (ver FIGURA Nº 1-14 y FIGURA Nº 1-15.)

La zona del Norte-Central de Chile (27° S- 33° S), se caracteriza por una sismicidad intensa y por la ocurrencia de tsunamis destructivos, cada 20 años, durante el siglo pasado. Los eventos más importantes ocurrieron el 8 de julio de 1730, el 11 de abril de 1819, el 11 de noviembre de 1922, el 6 de abril de 1943 y el 9 de abril de 1955. Los eventos de 1730 y 1922 generaron tsunamis que causaron daños en lugares tan alejados como Japón.

Tres son los peligros principales existentes, en relación con la actividad sísmica que se pueda producir:

1) Generación de intensidades superiores a VII en la escala de Mercalli que originan un riesgo directo sobre las estructuras y sobre las personas
2) Generación de Licuefacción del terreno.
3) Generación de tsunami de altura de inundación superior a 2 m, con un fuerte impacto sobre las poblaciones ubicadas en el borde
4) Deslizamientos o derrumbes en la zona costera, provocados por la ocurrencia de un sismo de alta intensidad.

- Antecedentes Históricos de Terremotos en Chile entre los 30° y 40° S.

A continuación se detalla el catastro realizado de sismos reportados entre los 30° y 40° S. Los mayores sismos son destacados en la FIGURA Nº 1-16 y la FIGURA Nº 1-17, donde se muestran las zonas de ruptura asociadas a estos terremotos. Además, se recopilaron sismos menores percibidos en la IV Región y Sismos mayores al norte de los 30º S que fueron percibidos en la Región de Coquimbo.

SIGLO XVI

No se han reportado registros para Chile Central, solo se tiene registro los terremotos de Lebu (1562), de Concepción (1570) y Valdivia (1575), los que generaron maremotos en gran parte de la costa de Chile.

SIGLO XVII

Terremoto de la Serena, 17 de Junio 1604. Se reporta pánico en La Serena, junto con la , destrucción de casas edificaciones, Iglesia Matriz y otros.

Temblor de Santiago, 13 de Mayo de 1647. Terremoto en Santiago y sus alrededores. Hay informes de fuertes movimientos del mar a lo largo de toda la costa, cuyas ondas fueron lo suficientemente altas para sumergir los cerros costeros. El epicentro del terremoto se estima que fue cercano a la latitud 33,0 (Valparaíso) y con una magnitud estimada: 8,5 Richter

FIGURA Nº 1-14: Sismicidad Histórica Región de Coquimbo, para sismos con Magnitud >4. La estrella roja muestra la ubicación del área de estudio, la línea discontinua naranja la ubicación aproximada de la fosa de Chile – Perú, las líneas continuas rojas muestran la ubicación aproximada de los perfiles mostrados en la FIGURA Nº 1-15. Catalogo USGS/NEIC, 1973 – al presente.

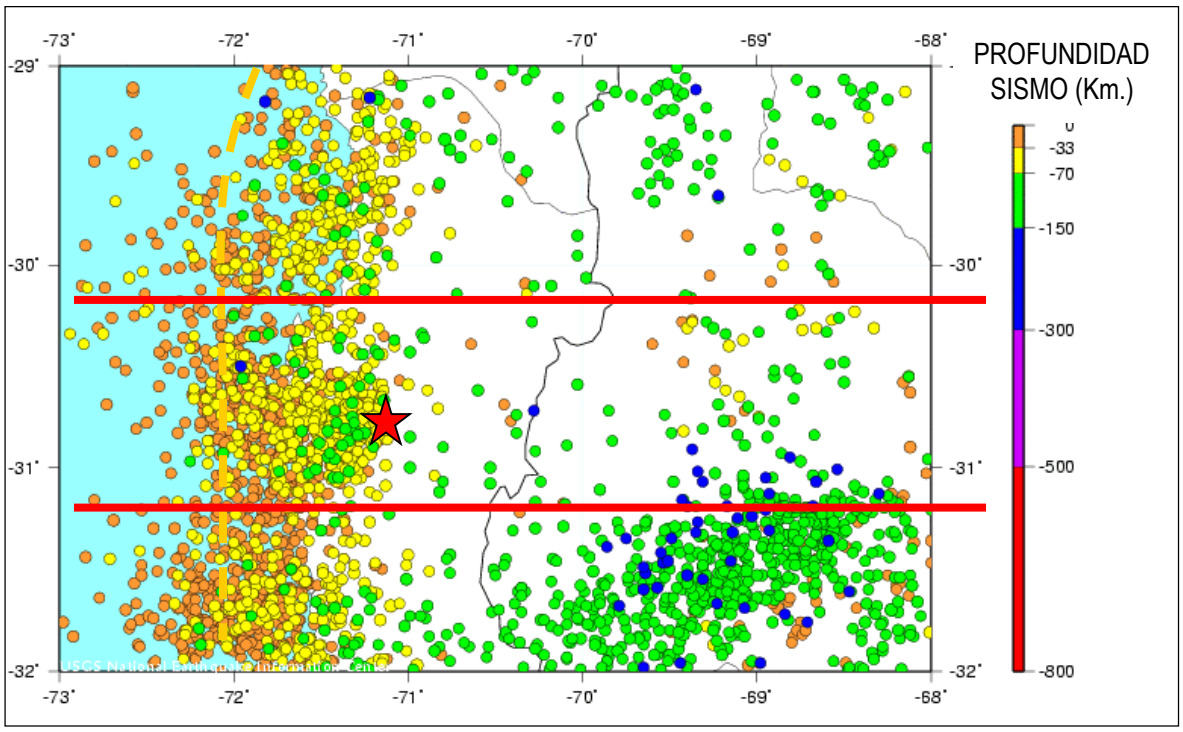
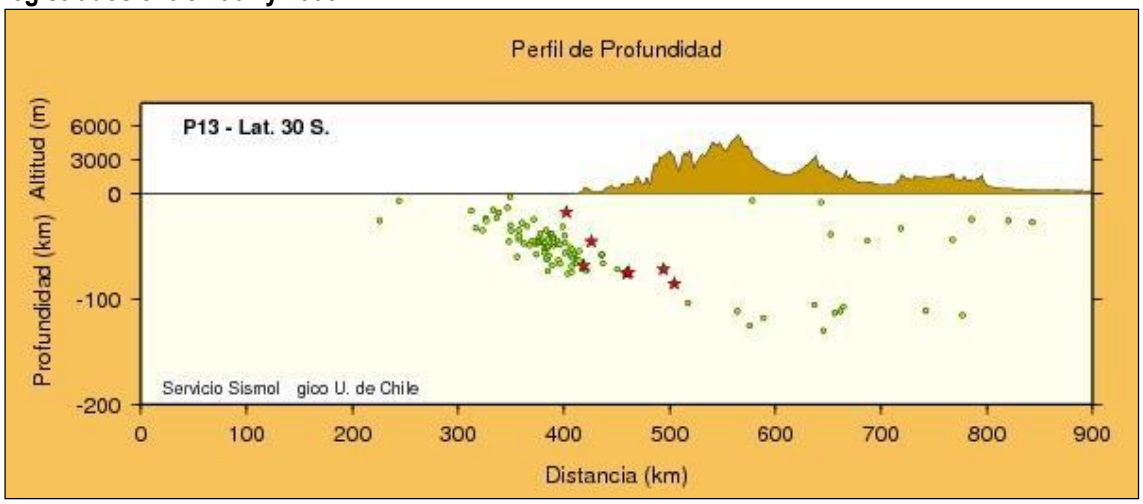


FIGURA Nº 1-15: Perfil de sismicidad a los 30° S. Las estrellas rojas marcan la sismicidad reportada durante el mes de noviembre de 2009. Los círculos verdes muestran los sismos de magnitud >4 registrados entre 1964 y 1995.



Fuente: Servicio Sismológico de la Universidad de Chile.

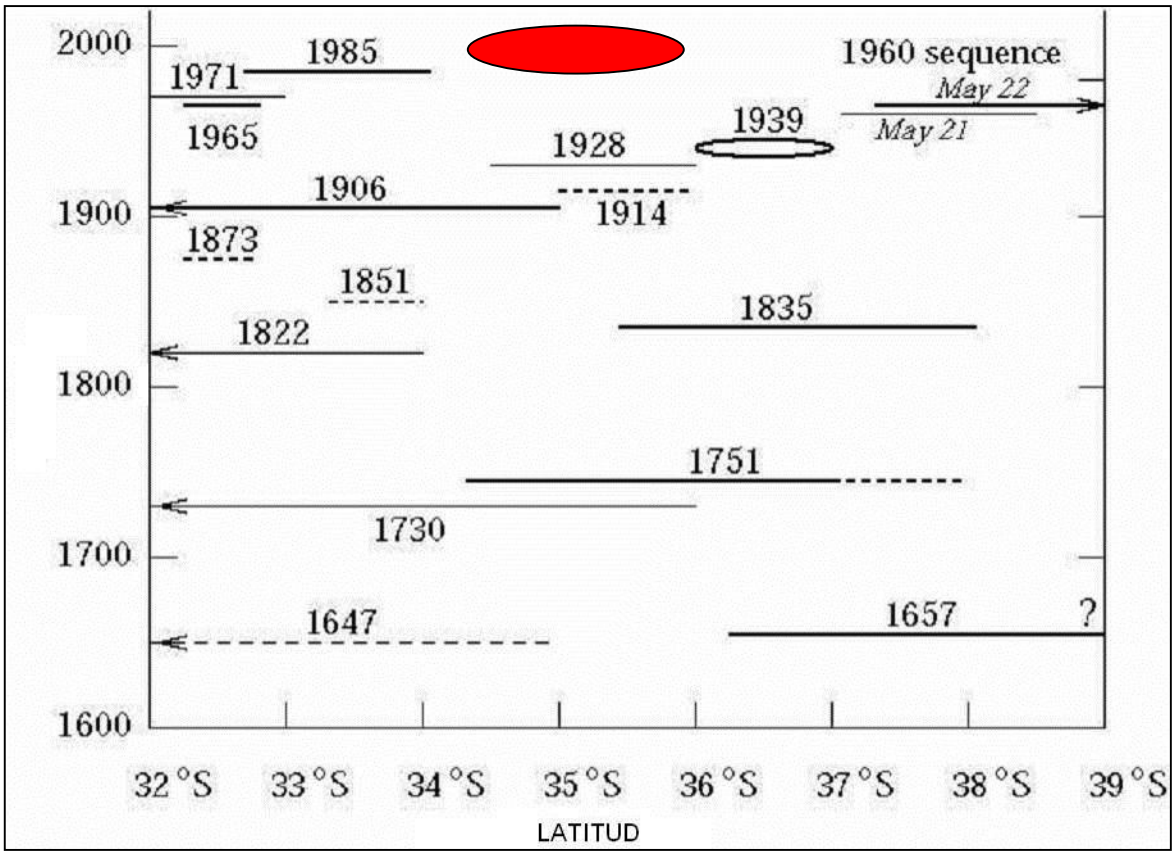
De acuerdo al a crónica, abarcó desde los valles de Limarí y Choapa por el norte, Cauquenes y Maule por el sur. Se le asigna el epicentro a las cercanías de Santiago, principalmente debido a la destrucción observada en la capital. Destrucción de edificios, derrumbe de muros, desnivelado y caída de ventanas. Caída de grandes peñascos desde el cerro Santa Lucía, abertura de grietas en el suelo, algunas muy profundas, con

salida de arena y/o aguas nauseabundas. Destrucción de iglesias y edificios públicos, comercio, industria y otros. Gran cantidad de muertos. Algunos ríos quedaron secos por varios días (Teno, Aconcagua). Duración aproximada (según antecedentes de la época): 7 min. El terremoto estuvo acompañado por fuertes marejadas, destrucción total de un navío en Arica. Frecuentes réplicas hasta fines de julio.

Terremoto de Concepción, 15 de Marzo de 1657, fuerte terremoto ocurrió entre las provincias de Maule y Cautín, aproximadamente entre las latitudes 36° S y 39° S, alrededor de las 20:00 horas. No se encontraron reportes para la VI Región.

Epicentro del terremoto: latitud 37° S; longitud 72,8° W
Magnitud estimada: 8,0 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 4metros en Concepción (Penco)

FIGURA Nº 1-16: Zonas de Ruptura y áreas afectadas por sismos desde el año 1.647 hasta 1985. La elipse roja muestra la posible zona de ruptura del Terremoto de Constitución del 27 de Febrero de 2010.



SIGLO XVIII

Terremoto de Valparaíso, 8 de julio de 1730. Sismo que afecto a toda el área central, causando daños en Valparaíso, La Serena, Coquimbo, Illapel, Petorca y Tiltil. El tsunami resultante fue muy grande y afectó alrededor de 1.000 kilómetros de costa, desde Callao a Valdivia, dañando las ciudades de Concepción y se reportaron efectos en la ciudad de Honshu, Japón. Al llegar a la Bahía de Concepción desde el norte el fenómeno se manifestó de manera similar a los anteriores, el mar se retiró aproximadamente un kilómetro de

la playa y cuatro olas gigantescas seguidas destruyeron los 2/3 de Concepción, arrastrando los objetos al mar. La ciudad de Concepción fue una de las más afectadas por el tsunami. En Valparaíso, el tsunami sólo inundó las partes bajas y arrasó las bodegas más inmediatas a la playa.

Epicentro del terremoto: latitud 32,5° S; longitud 71,5° W
Magnitud estimada: 8,7 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 16 metros en La Concepción

Terremoto de Concepción, 25 de mayo de 1751. Tercer terremoto y tsunami destructores en La Concepción. la mayor parte de los daños causados por el sismo ocurrieron desde Curicó a La Concepción, e incluso se reportaron daños en Santiago, destruyéndose además Chillán, Cauquenes y Talca. No se reportaron daños en la parte sur de la IV región.

Epicentro del terremoto: latitud 36,5° S; longitud 74,0° W
Magnitud estimada: 8,5 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 3,5 metros en La Concepción

Terremoto de Valdivia, 24 de Diciembre de 1737. Desde Valdivia hasta Chiloé se sintió el terremoto del 24 de diciembre, el cual según fuentes de la época sobrepasó los 8,5 grados en la escala de Mercalli. No se reportaron daños en la IV Región.

Terremoto de Copiapó, 30 de Marzo 1796. Huasco, Coquimbo y Copiapó (epicentro en este último), perceptible hasta Santiago. En Copiapó, daños en Iglesia, viviendas, cárcel. Réplicas hasta Agosto.

SIGLO XIX

Terremoto de La Serena, 1 de enero 1801 Se reportan viviendas destruidas, especialmente las de menores recursos.

Terremoto de Concepción, 20 de Enero de 1816, Un sismo produce significativos daños en Concepción provocando muchas trizaduras en edificios. Es el primero que afecta a la ciudad en su nueva ubicación. Tuvo una intensidad de VIII en la escala de Mercalli en esa ciudad.

Terremoto de Copiapó, 3,4 y 11 Abril 1819 Epicentro cercano a la ciudad de Copiapó. Destrucción de casas y edificios, luego de los tres remezones sucesivos y con intensidad creciente (que se interpretan como precursores), culminando el último de ellos con la devastación Maremoto desde Caldera hasta Constitución.

Sismos del 5 noviembre 1822 Copiapó-Coquimbo Destrucción casi total de viviendas

Terremoto de Valparaíso, 19 de noviembre de 1822. Terremoto en Valparaíso precedido por varios sismos precursores que ocurrieron desde el día 14 al 17 y con numerosas réplicas durante los tres días posteriores al terremoto. En Valparaíso se destruyeron la mayor parte de los edificios públicos y alrededor de 700 casas particulares. También hubo gran destrucción en Casablanca y Quillota. Al menos 200 muertos y heridos, destrucción edificaciones, hendiduras en el suelo, salida de agua oscura y pestilente. Duración aproximada: 2 min, 30 seg., seguido de 20 temblores fuertes y 150 menos fuertes en lapso de 2 meses. Edificios fundados en roca resistieron mejor.

Epicentro del terremoto: latitud 33,0° S; longitud 72,5° W
Magnitud estimada: 8,3 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 3,5 metros en Valparaíso

Terremotos de Concepción, 1831 y 1832, El 24 de Diciembre de 1831 se reportó un sismo con una intensidad de VIII en la escala de Mercalli. Un mes más tarde, el 21 de Enero de 1832, se produjo un remezón similar.

Terremoto de Concepción, 20 de febrero de 1835. Por cuarta vez en su historia, la zona de Concepción fue impactada por un fuerte terremoto y posterior tsunami. Hubo 50 muertos y 30 desaparecidos en la ciudad de Concepción, pero también hubo víctimas en Talcahuano, Chillán, Constitución, Cauquenes y Talca. Todas las ciudades al sur de Rancagua sufrieron daños. No hubo estragos en los edificios de Santiago, pero se observaron ondulaciones periódicas del agua en numerosas zanjas de irrigación. La ciudad de Chillán fue destruida en su totalidad. Se decidió reconstruirla en un lugar más seguro unos 3 km del sitio anterior. No todos los vecinos se cambiaron al nuevo lugar, por lo que la ciudad quedó dividida en Chillán Viejo y Chillán Nuevo. Se estima una magnitud de 8 para este terremoto cuyo epicentro estaría a menos de 30 km de la ciudad de Concepción. Se generó además un tsunami de proporciones que agregó más destrucción. Dentro de la historia de Chile, el terremoto del 20 de Febrero de 1835 se conoce como "La Ruina"

Epicentro del terremoto: latitud 36,8° S; longitud 73,0° W
Magnitud estimada: 8-8,2 Richter
Largo estimado de la dislocación: 210 kilómetros
Variación máxima del nivel del mar: 13 metros en isla Quiriquina

Terremoto de Valdivia, 7 de Noviembre de 1837. De acuerdo a los escritos dejados por Claudio Gay, el terremoto de Valdivia afecto a las ciudades de Talca, Concepción, Valdivia y Osorno, y reporta un gran daño a los edificios fiscales. De acuerdo a las crónicas, este terremoto no produjo un tsunami con grandes efectos en Chile, si se propagó por el océano Pacífico, siendo registrado en Samoa, Archipiélago Tuamotu, islas Tonga, Hilo, Hawai, donde murieron alrededor de 50 personas y en Honshu, Japón.

Epicentro del terremoto: latitud 42,5° S; longitud 74,0° W
Magnitud estimada: >8,0 Richter
Largo estimado de la dislocación:
Variación máxima del nivel del mar: 2 metros en Ancud

Copiapó, 19 de enero 1847 Derrumbes y serios daños en casas

La Ligua y Petorca, 8 de marzo Pánico y daños en viviendas Movimientos telúricos hasta 3 días después del terremoto

La Serena e Illapel, 8 de octubre 1847 Pánico, daños y derrumbe total de varios edificios y viviendas

La Serena, Ovalle y Coquimbo, 18 noviembre 1849 Pánico (no hay reporte acerca de otros daños) Maremoto en Coquimbo ½ hora después del sismo.

Copiapó y Alrededores, 5 octubre 1859 Casas destruidas y dañadas, destrucción de edificios públicos; intendencia, cárcel, Iglesias. Grietas en el suelo. Interrupción del ferrocarril. Terremoto acompañado de maremoto en Caldera.

Terremoto de Arica, 13 agosto 1868 Rodados en montañas, grietas en el suelo con emanación de vapores sulfurosos y grietas en el Morro, destrucción de caminos y ferrocarril. En Pisagua el mar entró a la ciudad. En Coquimbo el mar arrasó con un muelle y dañó seriamente tres buques mercantes. Maremoto en toda la costa Pacífica, hasta Chiloé.

Terremoto de Petorca – La Ligua, 7 de julio 1873 Principales daños en Petorca, La Ligua y alrededores. Interrupción del servicio telegráfico entre Copiapó y Lota por caída de postes. Daños principales en los alrededores de Valparaíso, Quillota, Viña del Mar, Limache.

Terremoto de Illapel, 11 noviembre1876 Afecta desde Vallenar hasta Santiago. Se reportan derrumbes y daños en techos y muros de viviendas, la cárcel, capillas, etc. Grietas en el suelo.

Terremoto de Iquique, 9 mayo 1877 Perceptible desde Arica hasta Valparaíso. Destrucción de edificios, línea férrea, viviendas, etc. Terremoto con maremoto (hasta Chiloé y costas de Nueva Zelandia)

Terremoto de Illapel, 15 de agosto 1880 Serios daños en edificaciones. Fuertes marejadas en Coquimbo, destrucción de cables submarinos.

SIGLO XX

A continuación se detallan los principales terremotos y sismos registrados durante el siglo XX (ver FIGURA Nº 1-17)

Terremoto de La Serena, 19 marzo 1904 Gran alarma en la población, destrucción de edificios, caminos y vía férrea.

Terremoto de Valparaíso del 16 de Agosto de 1906, Gran terremoto en la zona de Valparaíso con intensidades IX en la escala Mercalli desde Papudo a la desembocadura del río Rapel. El tsunami generado fue relativamente menor con alturas máximas de poco más de 1 metro sobre el nivel de la marea alta. No hubo daños en la bahía de Valparaíso causados por este tsunami. De acuerdo El tsunami fue registrado en Hawai, Japón, Estados Unidos e islas Marquesas donde produjo daños a una iglesia.

Epicentro del terremoto: latitud 33,0° S; longitud 72,0° W
Magnitud calculada: 8,3 Richter
Largo estimado de la dislocación: 340 kilómetros
Variación máxima del nivel del mar: 1,5 metros en Valparaíso

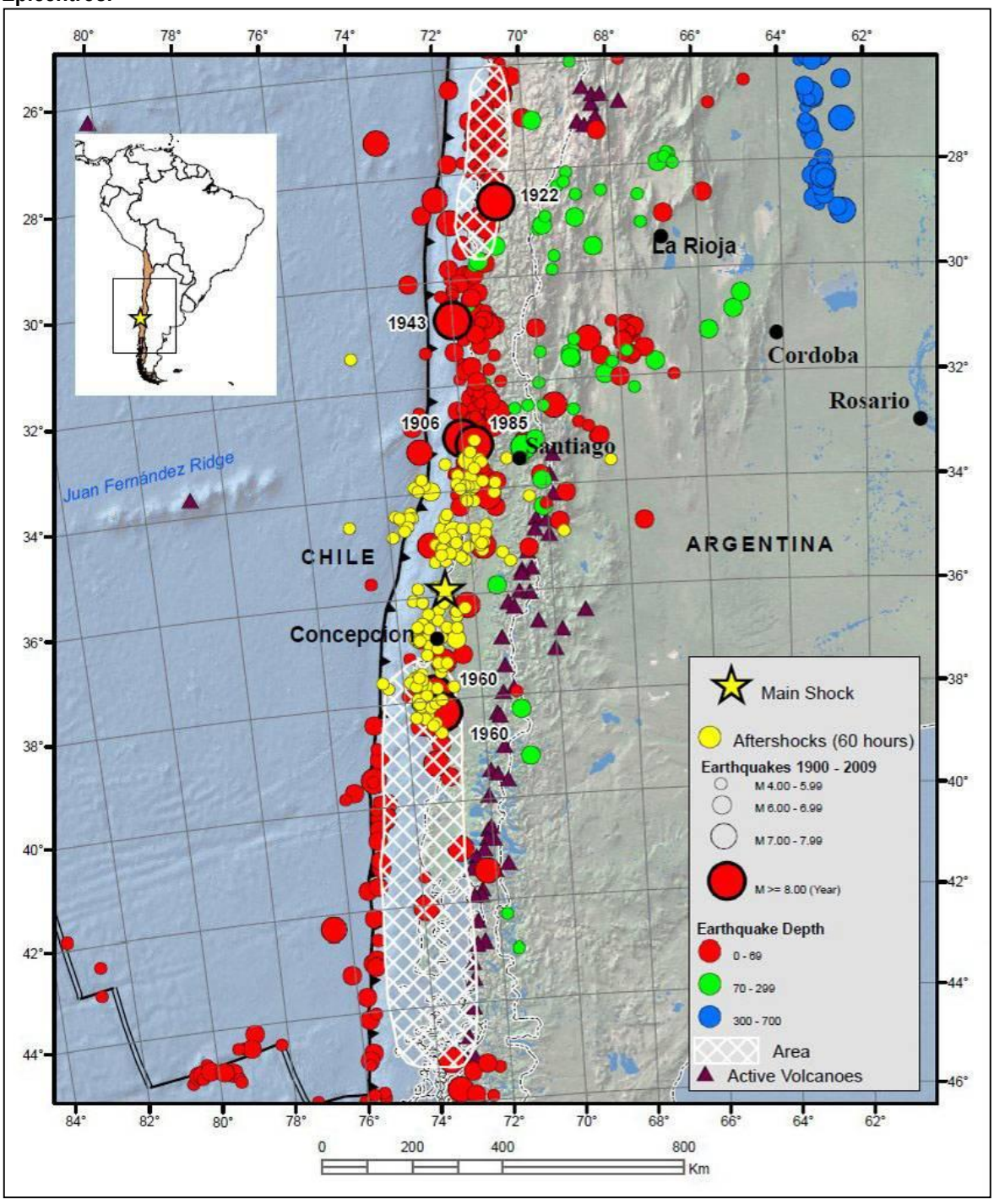
Valle del Elqui, 21 de mayo 1918 Epicentro en el Valle de Elqui Derrumbe y grietas en viviendas, cortes de energía eléctrica, telégrafo y teléfono. Deslizamientos de tierra, grietas en el suelo y salida de agua. Réplicas por varios días

Sismo en el área de Copiapó-Caldera. 4 Diciembre 1918

Sismo que se siente entre Coquimbo y Malleco, 26 Julio 1920 Epicentro en valle del Aconcagua. Pánico en la población, destrucción de edificios

Sismo que se siente entre Copiapó y Vallenar, 28 de octubre 1920 Daños en edificios, derrumbes de casas viejas

FIGURA Nº 1-17: Principales terremotos del Siglo 20. Los puntos rojos con borde negro destacan los Epicentros.



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés.

Terremoto de Coquimbo, 10 noviembre1922 Percibido entre Antofagasta y Santiago, con el epicentro entre Vallenar y Coquimbo. Murieron 880 personas. Aproximadamente 550 sólo en Vallenar. Diferentes ciudades y poblados del norte con destrucción de viviendas y edificios. Interrupción de las comunicaciones, destrucción caminos y líneas del ferrocarril. Caída de postes. Cuantiosos daños de edificios públicos, iglesias y otros. Maremoto registrado en Antofagasta y Chañaral. Según informes técnicos de la época, la mayor intensidad se

reportó en Copiapó, Vallenar y Freirina asociado a terrenos de acarreo y pantanos. Mayores daños en casas de adobe, mejor resistencia edificios de concreto.

Copiapó-Vallenar, 4 de mayo 1923 Caída y agrietamiento de murallas. Interrupción del servicio telegráfico.

Terremoto de Talca y Constitución, 1 de Diciembre de 1928, Terremoto que provoca destrucción desde Valparaíso a Concepción, ocurrido a las 00:07 horas. Hubo 108 muertos en Talca, 67 en Constitución y alrededor de 50 en los pueblos aledaños y 500 heridos. Durante toda la mañana del 1 de diciembre se observaron inundaciones inusuales a lo largo de la costa de Chile central. No se reportaron daños en Ovalle.

Epicentro del terremoto: latitud 35,0° S; longitud 72,0° W
Magnitud calculada: 7,9 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 1,5 metros en Constitución

Terremoto de Chillán, 24 de Enero de 1939. Sismo que sacudió a Chillán y a todas las ciudades colindantes, con una intensidad registrada de 7,8º en la Escala Richter. Ostenta el record de la mayor cantidad de muertos en un sismo en la historia de Chile, con alrededor de 30.000 víctimas fatales. A diferencia de los otros sismos nombrados, corresponde a un terremoto de intraplaca, asociado al quiebre de la placa de Nazca en profundidad. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo las siguientes intensidades: Arica III, Iquique y Antofagasta IV, La Serena VI, Valparaíso, Santiago y Rancagua VII, Talca VIII, Parral IX, Cauquenes, Quirihue, Bulnes y Concepción, X; Chillán XI, Arauco IX, Los Ángeles y Angol VIII, Temuco VIII, Valdivia VI, Puerto Montt V y Aysén IV. Además la crónica detalla que en Curanipe se derrumbaron todas las casas del lado sur de la calle Arturo Prat y hace referencia al fenómeno de licuefacción “No quedan dudas que a causa del terreno que ha sedimentado el Estero del Cementerio, el que debe tener serias deficiencias de solidez, se han producido esos desastres”.

Sismo del 29 de junio, 1942 Se sintió desde Illapel hasta San Fernando.

Sismo del 6 de abril 1943 Coquimbo-Talca Considerables daños en viviendas de Sotaquí, Ovalle, Illapel. También cuantiosos daños en el puerto de Coquimbo, hospital de Illapel, en ruinas El instituto de sismología de la Universidad de Chile, informó de nueve terremotos con epicentro en Chile, entre el 21 de Mayo y 6 de Junio.

Terremoto de Lebu e Isla Mocha, 20 de Abril de 1949. Terremoto de magnitud 7,3, destruye el 80% de la ciudad de Angol provocando un ambiente de pánico y confusión en la población. Tuvo una intensidad de IX en la escala de Mercali Modificada, VIII en Concepción, Temuco y Los Ángeles y VII en Chillán, Valdivia y Talca. No se reportan daños en Ovalle.

*Terremoto de Tomé, 6 de Mayo de 1953***.** Terremoto frente a las costas de Tomé, alcanzando una magnitud de 7,6 en la escala de Richter y provocando 12 muertes. La zona más afectada, fue la misma del terremoto de 1939, es decir, Concepción y Chillán.

*Terremoto de Las Melosas, 4 de Septiembre de 1958***,** correspondió a tres terremotos que se produjeron en seis minutos y el epicentro se localizó en la confluencia de los ríos Maipo y Volcán. Su magnitud Richter fue 7 y su intensidad Mercalli modificada fue IX. Cuatro muertos se registraron, a pesar de todo, y varias decenas de heridos, especialmente a causa de los derrumbes de los cerros de la zona, ya reblandecidos por una abundante lluvia y nieve que por esos días cayó. Este sismo fue superficial y asociado al movimiento de fallas ubicadas en la alta Cordillera.

Terremotos del 21 y 22 de Mayo de 1960 en Valdivia y en otras ciudades del sur de Chile, Terremotos que causaron gravísimos daños en las provincias comprendidas entre Concepción y Chiloé, siendo las ciudades

más afectadas las de Valdivia, Puerto Montt, Ancud, Castro y Corral, y fue percibido desde el Norte Chico hasta la península de Taitao. Este terremoto originó un tsunami de tales proporciones que asoló todos los puertos de esa zona produciendo enormes daños y alrededor de 1.000 víctimas. El tsunami se propagó por toda la cuenca del océano Pacífico causando daños y víctimas en Hawai, Oceanía y Japón.

Epicentro del terremoto: latitud 38,5° S; longitud 74,5° W
Magnitud calculada: 9,5 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 15 metros en Ancud

Terremoto de La Ligua, 28 de Marzo de 1965 terremoto de Magnitud Richter 7.6 (e Intensidades de Mercalli entre VI y IX) se dejó sentir entre las provincias de Copiapó por el norte, Osorno por el sur e incluso pudo ser percibido en Mendoza y Buenos Aires por el oriente. El epicentro se ubicó en las coordenadas 32°33" de latitud S y 71°10' de longitud W, esto es, muy cerca de las ciudades de La Ligua y Petorca, V Región (en la entonces provincia de Aconcagua). El hipocentro se habría localizado a 50 o 60 km de profundidad, y en Santiago fue de Intensidad VII e interrumpió las comunicaciones por cerca de 60 minutos. En la IV Región, el 90% de las 532 casas que tenía Salamanca fueron dañadas, 65% en Illapel y el 20% en Los Vilos.

Sismo en Norte Chico, 26 septiembre 1967 La Serena y Coquimbo Pánico en la población, principales daños en edificios antiguos y viviendas de laderas de cerros. Epicentro: 32º27'S/71º34'E

Terremoto de Illapel, 8 de julio 1971 Se percibe en Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago. Muertos y heridos, daños en viviendas, industrias, hospitales y otros edificios públicos, ferrocarriles, corte suministro de energía y comunicaciones sanitarias, sector, energético minero, agropecuario, obras de riego y portuarias, aeropuertos. Epicentro frente a las costas de Coquimbo.

Sismo en Norte Chico, 13 de marzo 1975 Norte Chico y Zona Central. 2 muertos, 30 heridos y cuantiosos daños en edificios públicos y privados. En La Serena y Coquimbo: viviendas agrietadas o destruidas por completo.

Sismo en Norte Grande, 4 de octubre 1983 Desde Arica a Santiago 200 millas frente a las costas de Chañaral y Copiapó Principales daños en Diego de Almagro, deterioro de casas, derrumbes, murallas agrietadas, 800 damnificados. Derrumbe en piques mineros: 4 muertos.

Terremoto del 3 de Marzo de 1985. Terremoto en Valparaíso. Extenso daño en Valparaíso y pueblos aledaños. Hubo 177 muertos y miles de heridos, , 2575 heridos, 979 damnificados por daños y destrucción de viviendas. Deslizamientos de tierra, ruptura del pavimento, caída de puentes, e interrupción de comunicaciones. Se produjo un pequeño tsunami que no produjo daños, pero fue registrado a lo largo de la costa de Chile.

Epicentro del terremoto: latitud 33,11° S; longitud 71,61° W
Magnitud calculada: 8,0 Richter
Variación máxima del nivel del mar: 1,2 metros en Valparaíso

Terremoto de Punitaqui, 14 de Octubre de 1997. Su epicentro se localizó en la comuna de Punitaqui, y afectó a gran parte de la Región de Coquimbo, Chile, y tuvo una magnitud de 7,1 grados en la escala de Richter. La ciudad de Punitaqui fue prácticamente derribada por un terremoto que tuvo lugar a las 22:03 horas, con una intensidad de 8 grados en la escala de Mercalli. Se percibió desde la II hasta la IX regiones, Tanto en Santiago como en la V Región hubo cortes en el servicio telefónico y una suspensión en la emisión de las radioemisoras. En La Serena hubo histeria en la población que salió a las calles y avenidas como medida precautoria. En el casco antiguo de la ciudad se registraron desprendimientos de cornisas y quebrazón de vidrios. El movimiento telúrico dejó ocho personas muertas, 360 heridas y 59.913 damnificadas.

El número de viviendas que se vieron afectadas ya sea derrumbadas o afectadas seriamente fueron 8,194 y hubo 8 muertos. Hospitales afectados: Hospital de Salamanca, Hospital de Illapel, Hospital de Ovalle, Hospital de Andacollo. Edificios públicos dañados, casas cuarteadas, muros caídos, cortes de energía eléctrica y suspensión del servicio telefónico en la IV Región. Además caída del Puente del viaducto el teniente, derrumbes en camino a Illapel y Salamanca, corte en la vía a Pisco Elqui y a Río Hurtado, desmoronamiento de murallas en el Palqui.

1.4 Determinación de Zonas de Peligros según localidad.

a) Deslizamientos y Caída de Bloques o Desprendimientos.

Las zonas con mayor susceptibilidad de deslizamientos y caída de bloques (ver FIGURA Nº 1-18) se ubican principalmente en zonas de pendientes altas de los cordones montañosos y contactos de 2 niveles de terrazas del área de estudio. Los criterios para determinar la zonificación son muy similares para ambos tipos de peligros, en los que se consideró la pendiente y la geología de la zona.

Para el área urbana de Ovalle, se clasificó de la siguiente manera.

Muy Baja: No se reconocieron factores condicionantes favorables a la ocurrencia de este peligro, es decir, zonas de pendientes entre 0 y 15%.

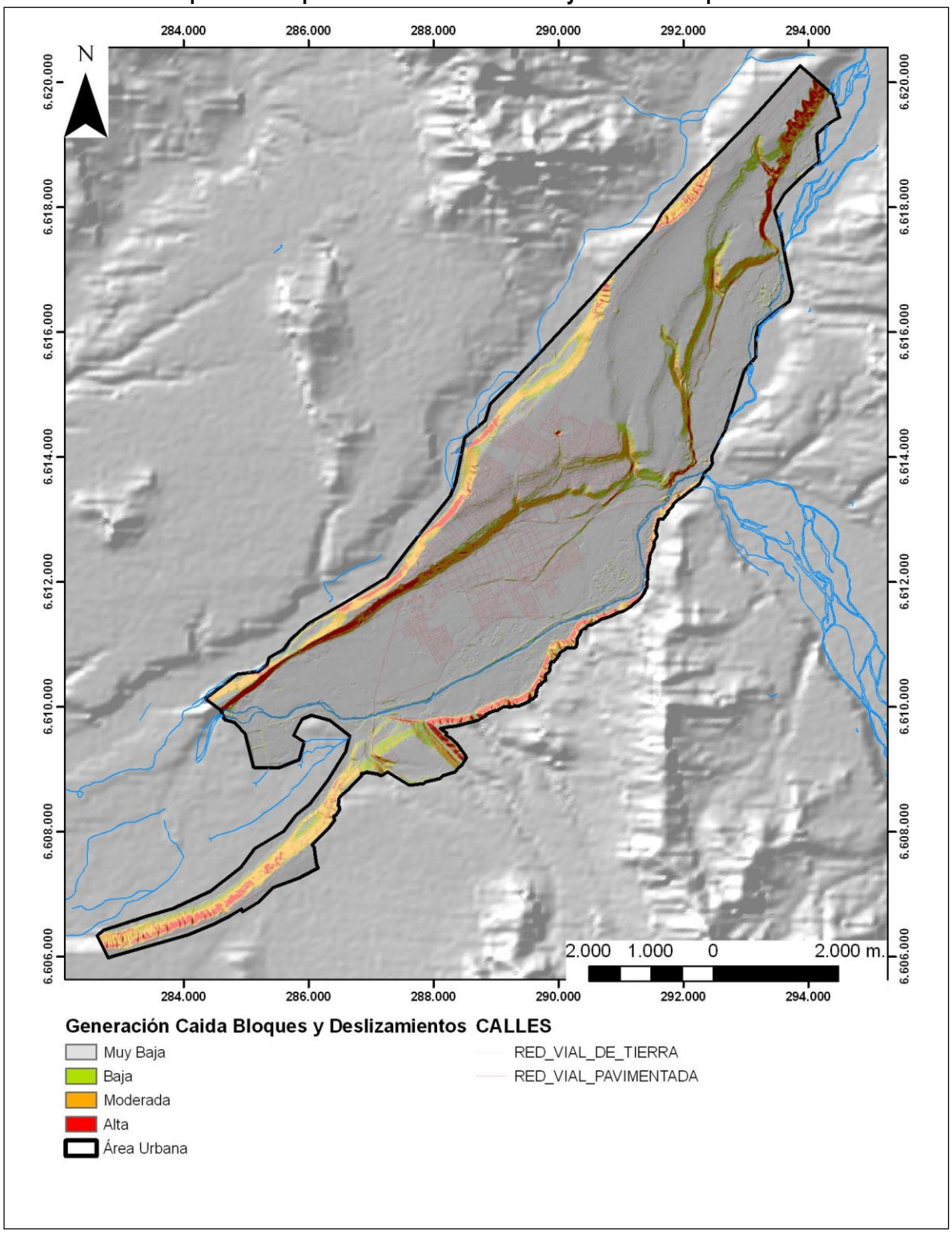
Baja: Corresponde a sectores donde la pendiente se encuentra entre 15% y 25%. En estos sectores es poco probable que se generen deslizamientos y/o caída de bloques, pero sí podrían verse afectados por alcance de uno de estos peligros.

Moderada: En sectores de moderada a alta pendiente (de 25% a 50%). Áreas con una alta probabilidad de verse afectada por alcance de un deslizamiento o caída de bloques, y que bajo ciertas condiciones podrían corresponder a un sector donde se genere un deslizamiento.

Alta: En sectores de alta pendiente (escarpes), es decir, zonas de pendientes sobre al 50%, y sectores de depósitos coluviales no consolidados.

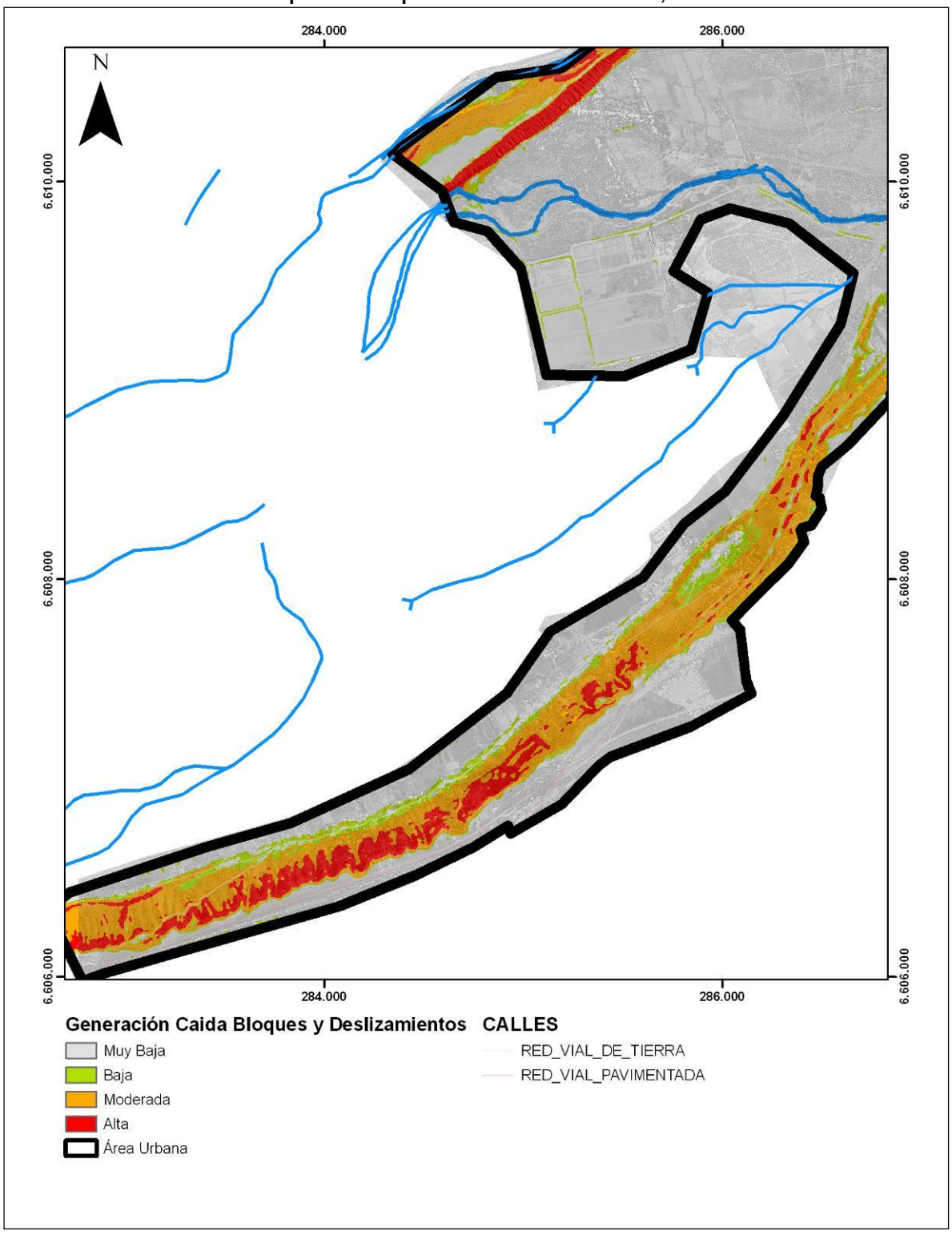
En general el centro de la Ciudad es poco susceptible a ser afectado por este peligro, pero en los sectores aledaños a escarpes (por ejemplo, el Sector La Chimba FIGURA Nº 1-19), las calles que bordean el escarpe asociado a los Depósitos Fluviales 5 (Diagonal Bellavista, Miraflores, Manuel Peñafiel Olivares, ver FIGURA Nº 1-20) y la ribera sur de la Quebrada El Ingenio podrían ser afectados en casos de precipitaciones intensas o sismos por estos peligros geológicos.

FIGURA Nº 1-18: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos y Caída de Bloques del Sector de Ovalle.



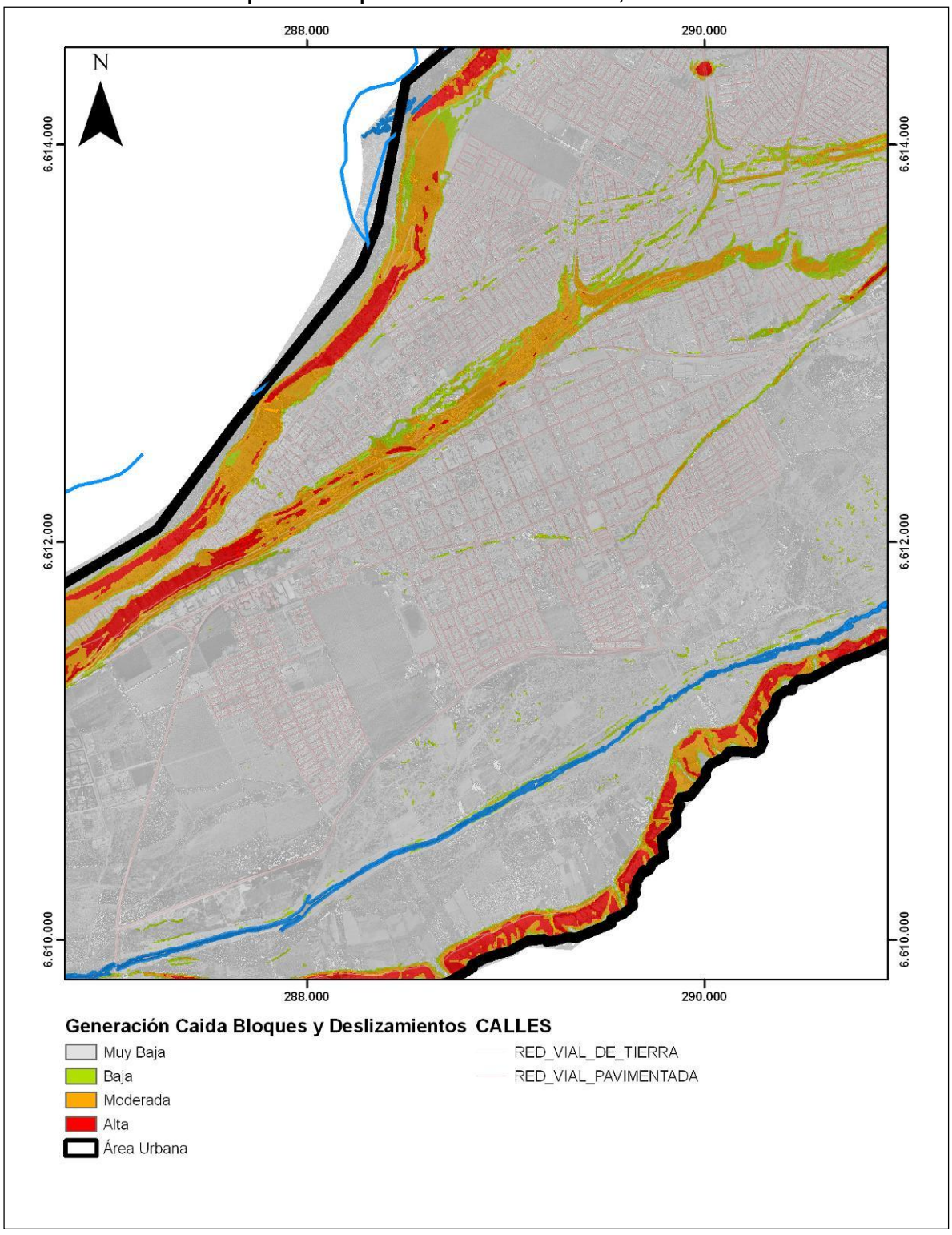
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA Nº 1-19: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos, Sector La Chimba.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA Nº 1-20: Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos, Sector Centro de la Ciudad.



Fuente: Elaboración Propia.

b) Flujos de detritos y de barro o Inundaciones

Los Flujos de Barro y Detritos, además de las inundaciones se encuentran concentrados en los cauces de quebradas mayores y el cauce principal del Río Limarí (FIGURA Nº 1-21). Para determinar las zonas susceptibles se utilizó la siguiente metodología:

- Las áreas de inundación y sus períodos de retorno definidos por Pulso S.A. (2004) (FIGURA Nº 1-22) fueron georeferenciadas y digitalizadas.
- En los sectores que no fueron cubiertos por Pulso S.A. (2004), se procedió a interpretar las fotografías aéreas de la zona (Vuelo realizado para este trabajo, año 2009, Imágenes Satelitales publicadas por Google (sin año de referencia, pero durante la última década), y Fotografías Hycon (Febrero 1955)
- En los sectores que no se disponía información de Pulso S.A. (2004), por ejemplo, la Quebrada El Ingenio, Río Grande y Río Hurtado, se utilizó el mapa geológico elaborado para este estudio.
- Los peligros reconocidos corresponden a inundaciones por desborde de cauce y flujos de detritos.

En función de lo anterior se definieron las siguientes 4 grandes categorías de susceptibilidad para el área urbana de Ovalle:

Zonas de Susceptibilidad Baja: Principalmente zonas cuya hoya hidrográfica aportante no permite la acumulación de sedimentos o líquido durante fenómenos de precipitaciones intensas, o que se encuentran a una cota elevada con respecto a los cauces actuales. Por ejemplo, la parte alta de la ciudad: Cementerio de Ovalle, calles Blanco Encalada, Tarapacá, etc; en la parte baja destacan los sectores cercanos a la municipalidad o la plaza de armas de la ciudad.

Zonas Susceptibles con un Período de Retorno (PR) dado, basado en Pulso S.A. (2004): de acuerdo al estudio de Pulso S.A. (2004) se estimaron los siguientes períodos de Retorno: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Esto quiere decir, por ejemplo, que las áreas zonificadas con un período de retorno de 5 años, tienen una probabilidad de excedencia de ser inundadas una vez cada 5 años, es decir, es muy probable que en la vida de una persona observe este fenómeno. En cambio, una zona con un período de retorno de 100 años significa que es muy poco probable que una persona observe este fenómeno.

Las áreas de inundación asociadas, para crecidas de distintos períodos de retorno, en el tramo del río Limarí adyacente a la ciudad de Ovalle, presentan los siguientes aspectos:

- Crecida de período de retorno 5 años tiende a mantenerse razonablemente dentro del cauce principal del río, en aproximadamente un 70% del tramo de interés. Sólo en la última parte del tramo se aprecian desbordes, hacia ambas riberas, en la zona inmediatamente aguas arriba del Puente La Chimba.

- Crecidas de 10 y 25 años de período de retorno, producen áreas de inundación ya muy significativas, a partir aguas abajo del puente Las Palmas (o Las Palmeras), manifestándose por la ribera norte del río.

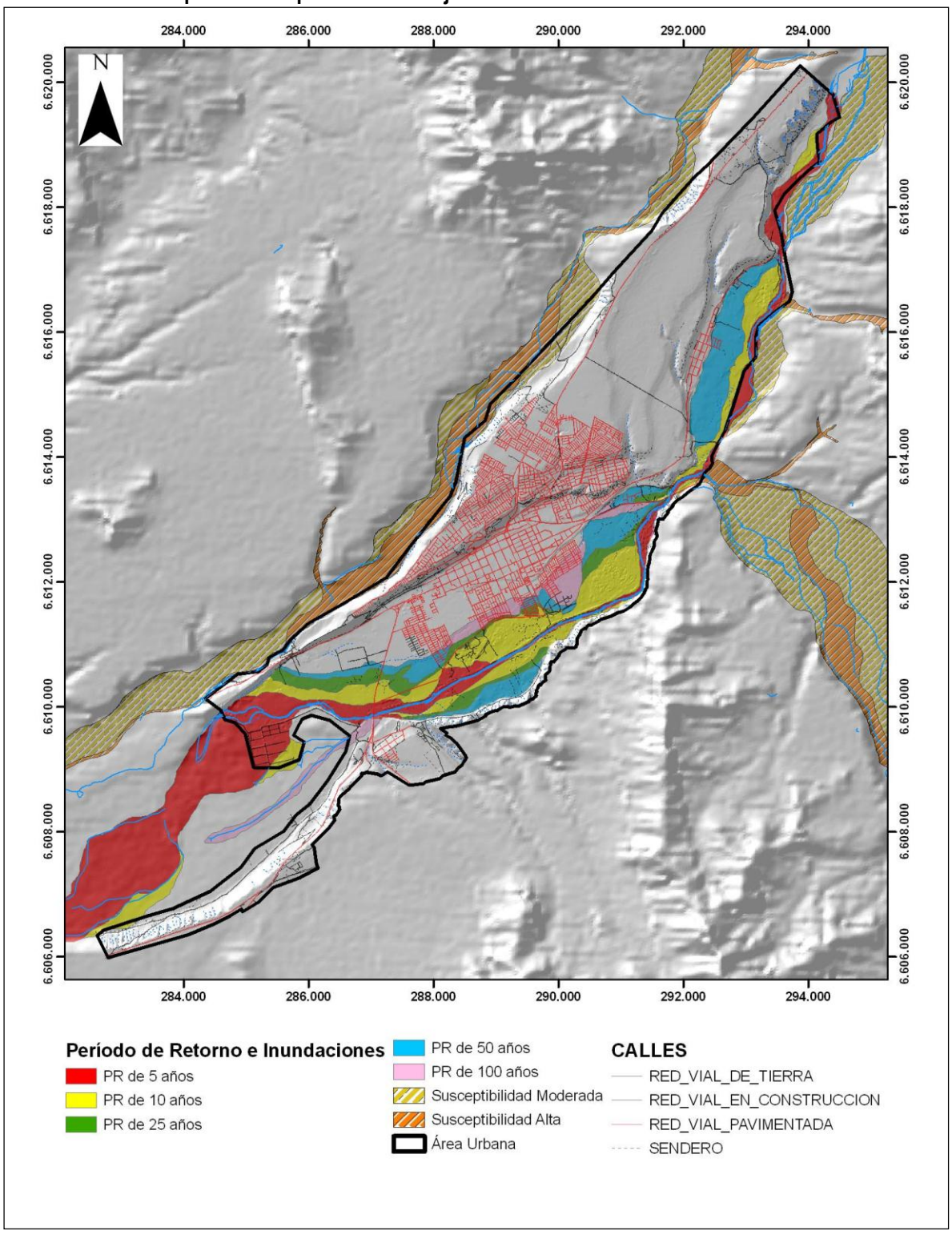
- Crecidas de períodos de retorno 50 y 100 años, abarcan áreas más extensas de inundación, llegando en varios lugares a comprometer áreas ya urbanizadas.

Moderada (inundación y flujo de detritos): Afecta a los depósitos fluviales recientes, propensos a inundación e incluye zonas de depósitos semiconsolidados de origen aluvial, que presentan evidencias de haber sido afectadas por flujos de barro y/o detritos durante el Pleistoceno-Holoceno. Dentro de estas zonas destacan las llanuras de inundación de los ríos Grande y Hurtado, además de la quebrada El Ingenio. Cabe destacar que no se realizaron estudios del período de retorno en esta zona, y no se consideró la altura de las terrazas, dado que no se sabe cuál sería la cota máxima de inundación.

Alta (Inundación o Flujos): Corresponde las áreas inmediatamente cercanas los cauces de las principales quebradas y ríos. Ademàs incluye zonas presentan evidencias de haber sido afectadas por flujos de barro y/o detritos durante el Pleistoceno Superior - Holoceno.

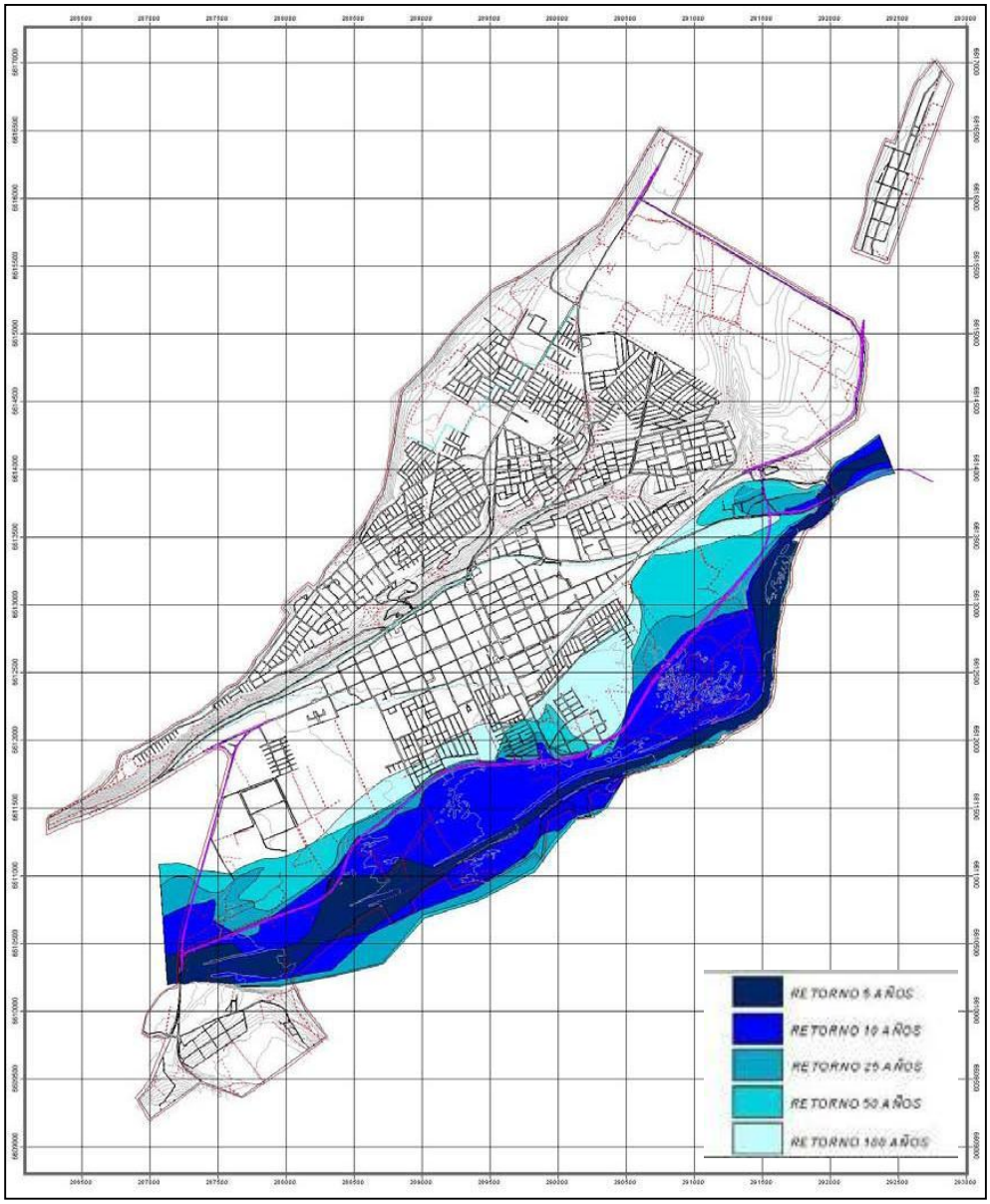
Cabe destacar que las partes más bajas de la ciudad se encuentran en zonas que fueron zonificadas por Pulso S.A. (2004) como susceptibles a ser afectadas por inundaciones en períodos de retorno de 50 y 100 años (ver FIGURA Nº 1-23 y FIGURA Nº 1-24), quedando bajo el área de inundación las viviendas entre la Calle Costanera y Alberto Blest-Gana.

FIGURA Nº 1-21: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle.



Fuente: Elaboración Propia, basado en Pulso S.A., 2004.

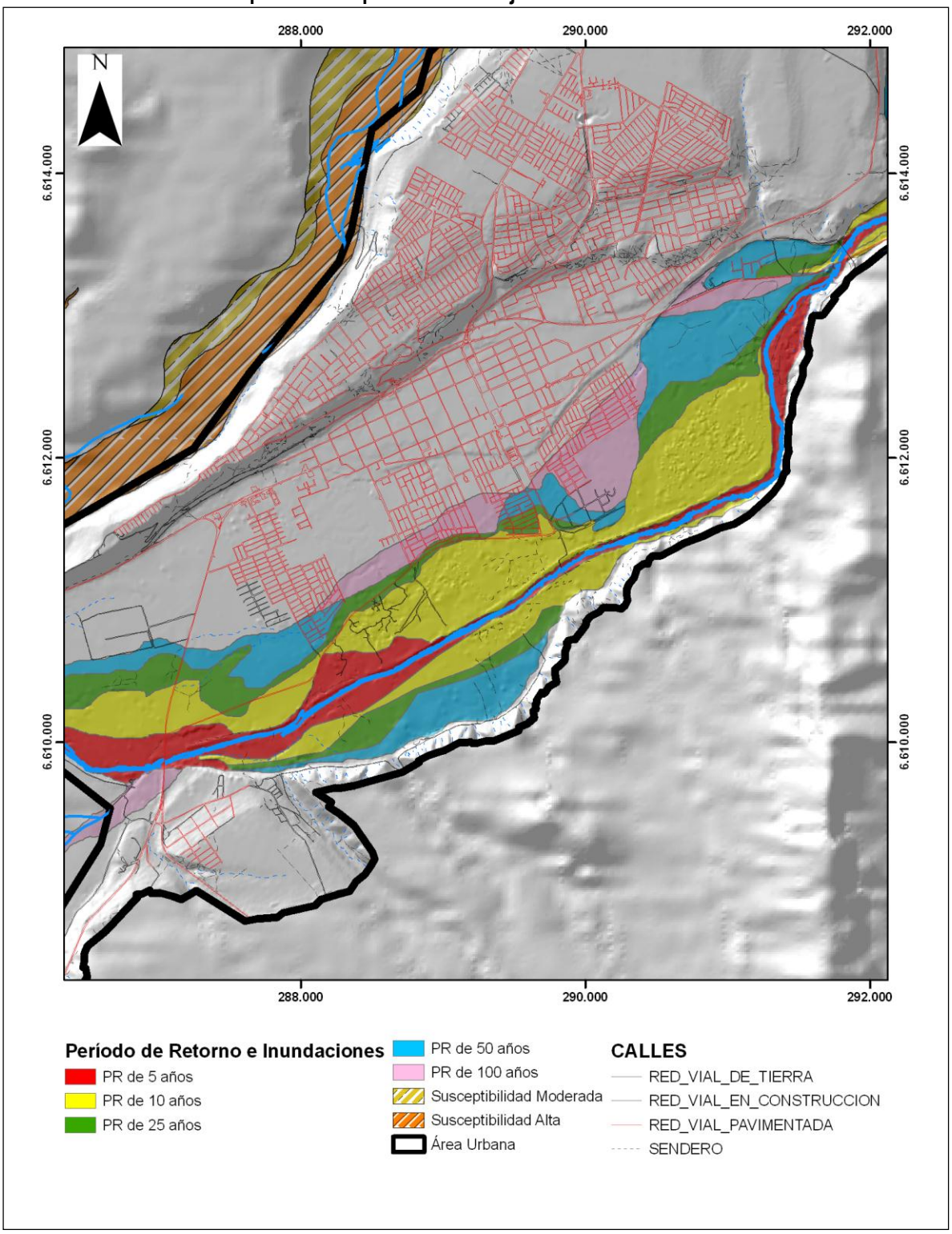
FIGURA Nº 1-22: Áreas de Inundación del Río Limarí



Fuente: Pulso S.A., 2004

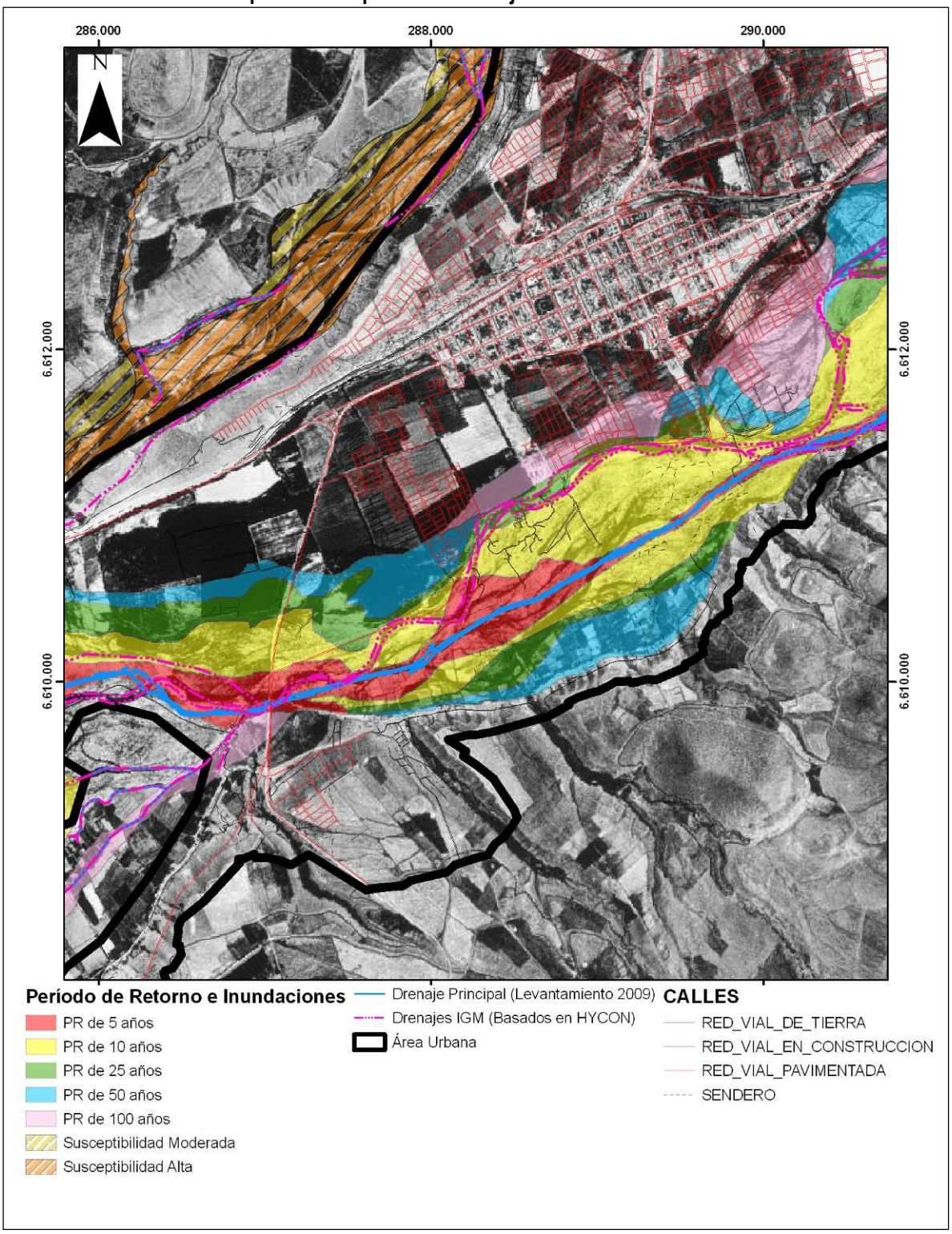
Además se comparó las fotografías áreas tomadas para este estudio con el vuelo HYCON tomado en 1955 (ver FIGURA Nº 1-24). En la figura se ve que todos los terrenos aguas abajo de la calle Blest-Gana corresponden a antiguas llanuras de inundación del río Limarí. Esto sugiere que esos sectores de la ciudad deben ser considerados cómo área de restricción de futuras ampliaciones del área urbana.

FIGURA Nº 1-23: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle.



Elaboración Propia, basado en Pulso S.A., 2004

FIGURA Nº 1-24: Mapa de Susceptibilidad de Flujos e Inundaciones del Sector de Ovalle.



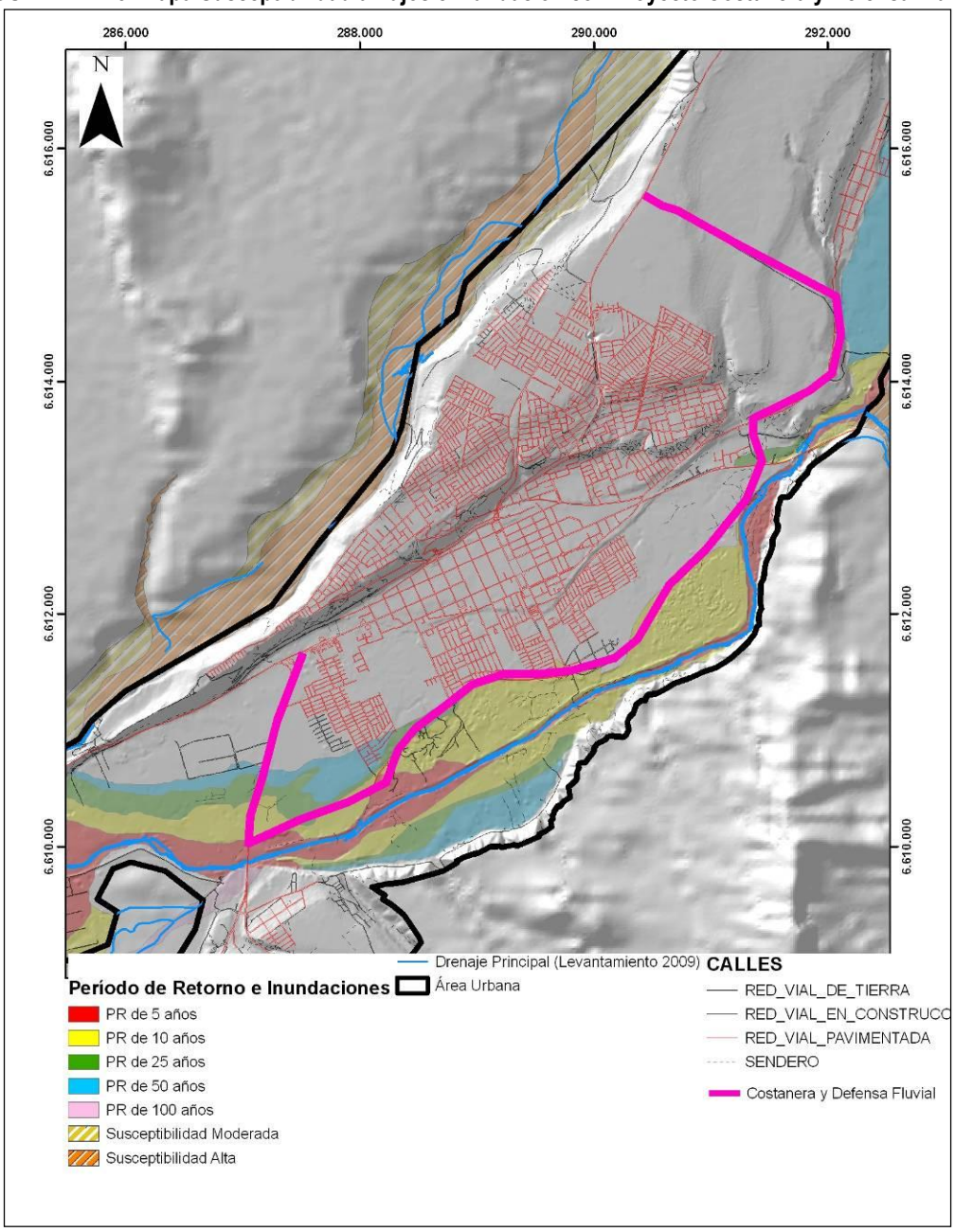
Elaboración Propia, basado en Pulso S.A., 2004.

Un punto importante a considerar es evaluar si se materializará el proyecto "By-Pass y la Costanera Río Limarí", pues el emplazamiento de este proyecto permitirá reducir considerablemente el área de inundación de la ribera norte del río Limarí, tal como se puede observar en las figuras anteriormente presentadas con

los periodos de retorno calculados. Lo anterior, gracias a que este proyecto considera la construcción de una defensa fluvial en base a enrocados a lo largo de toda la ciudad entre el puente La Chimba y el sector Balneario El Peñón. De esta forma, y sólo si se materializa dicho proyecto, el área de inundación disminuirá considerablemente en este sector, de acuerdo a la FIGURA Nº 1-25.

Cabe señalar que el Estudio de Construcción de defensas fluviales, Río Limarí, Sector Puente La Chimba – Balneario El Peñón elaborado por el Ministerio de Obras Públicas (2009), señala como recomendación que el área al sur y al oriente de la defensa fluvial sólo tenga usos agrícolas, deportivos o recreacional y en ningún caso destinado a viviendas.

FIGURA Nº 1-25: Mapa Susceptibilidad a flujos e inundación con Proyecto Costanera y Defensa Fluvial



Fuente: elaboración del estudio.

c) Licuefacción

Se entiende como licuefacción el fenómeno donde un material sólido se comporta como líquido bajo solicitaciones sísmicas. Las ondas sísmicas hacen aumentar la presión de agua presente en sedimentos, de forma que los granos de arena o limo pierden el contacto entre ellos, esto causa una pérdida de resistencia del sólido y lo lleva a comportarse como un líquido. El suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías.

Para la ocurrencia de licuefacción se requiere de tres factores condicionantes y/o desencadenantes:

1. Depósitos o suelos, granulares poco consolidados (sueltos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (p.ej. puertos y tranques de relaves), depósitos eólicos (dunas), depósitos de playas, o de cursos de agua lo suficientemente jóvenes para estar sueltos. Suelos con partículas de diferentes tamaños son menos propensos a sufrir licuefacción, debido a que las partículas menores tienden a rellenar los espacios entre las mayores, reduciendo la tendencia a densificación del suelo y evitando los efectos del aumento de presión de agua. También influye la forma de las partículas que conforman el suelo, siendo un depósito de partículas redondeadas más susceptible de sufrir licuefacción.

2. Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.

3. Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Todo Chile, en especial de la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos, como se explicó previamente.

De acuerdo con Martin et al (1999), y con respecto a los criterios mencionados anteriormente las zonas susceptibles de sufrir licuefacción son las que cumplen con uno o más de las siguientes condiciones:

1. Áreas donde ha ocurrido licuefacción durante terremotos históricos.

2. Áreas de rellenos poco, o no, compactados que contengan materiales susceptibles a sufrir licuefacción que estén saturados, semi-saturados o que puede esperarse que se saturen en algún momento.

3. Áreas donde existan suficientes datos geotécnicos que señalen que los suelos son potencialmente susceptibles a sufrir licuefacción.

4. Para áreas donde no haya suficiente información geotécnica, las zonas se pueden delinear usando uno o más de los siguientes criterios:

- Áreas de suelos de edad Holoceno superior (menor a 1000 años, cursos de agua actuales y sus planicies de inundación históricas, humedales, pantanos y estuarios). Donde el agua subterránea está a una profundidad menor a 15 metros y donde la aceleración máxima esperada para un sismo pueda exceder 0.1g.

- Áreas de suelos de edad holocena (menor a 11000 años). Donde el agua subterránea está a una profundidad menor a 12 metros y donde la aceleración máxima esperada para un sismo pueda exceder 0.2g.

- Áreas de suelos de edad pleistoceno superior (126000 a 11000 años). Donde el agua subterránea está a una profundidad menor a 6 metros y donde la aceleración máxima esperada para un sismo pueda exceder 0.3g.

Vale la pena destacar que como la profundidad de agua subterránea es variable, se debe toma en cuenta el valor histórico más somero (más alto) registrado en estudios de aguas subterráneas. Períodos de precipitaciones intensas pueden hacer que los depósitos de los fondos de quebradas y valles se saturen.

Durante un sismo, al producirse el fenómeno de licuefacción, el suelo se comporta como un líquido. El suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías. Esto implica en una alta vulnerabilidad estructural, social (potenciales pérdidas de vidas humanas, heridos, etc., por derrumbe de estructuras, además de enfermedades gastrointestinales y epidemias) y económica.

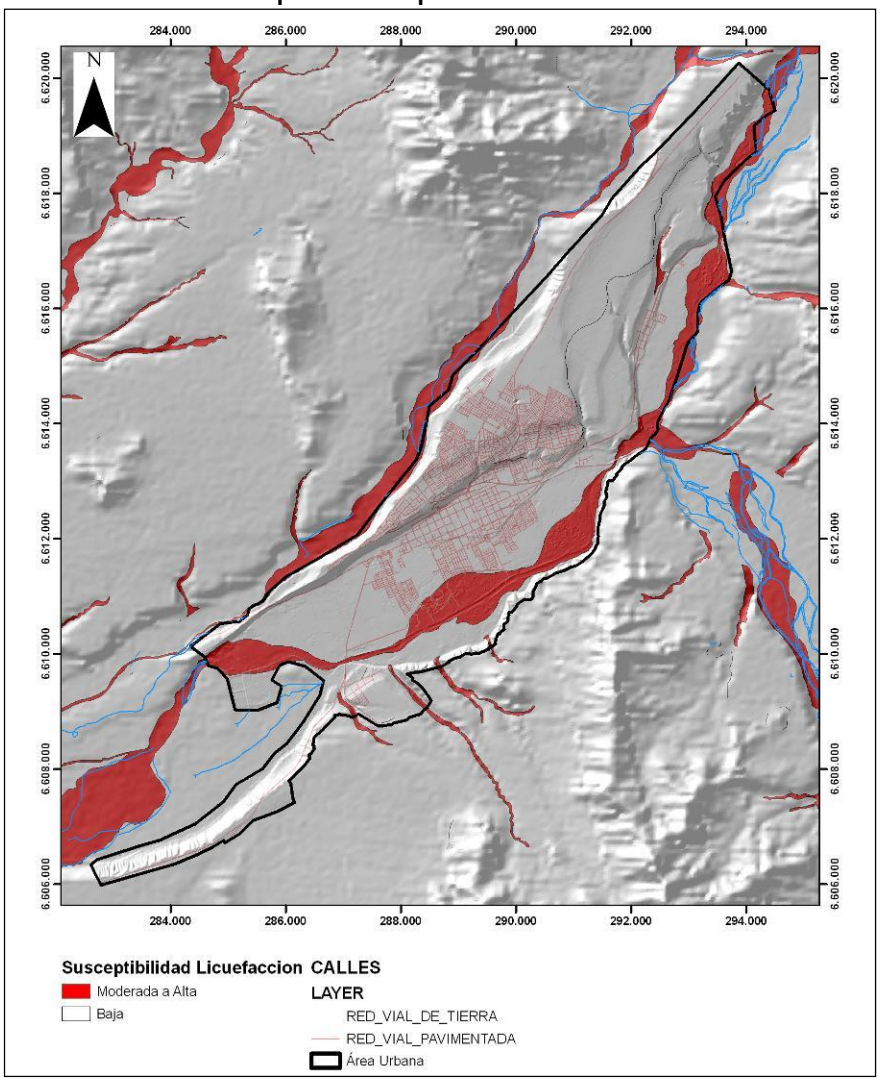
En general, en este peligro, el tiempo de aviso es mínimo, el daño será proporcional a población que habita y a la infraestructura presente en la zona afectada. Normalmente, las zonificaciones de riesgos sísmicos son muy generales y deben cubrir amplios sectores. Cabe destacar que es fundamental realizar microzonificaciones sísmicas apoyadas por estudios geológicos de áreas delimitadas, complementadas con tecnologías sofisticadas en terreno como la inducción artificial de eventos sísmicos. Sin embargo, se realizó una zonificación general del peligro de licuefacción, lo que se ve reflejado en la FIGURA Nº 1-26.

Se clasificó como zonas de susceptibilidad baja a todas las unidades rocosas reconocidas en el área de estudio (es decir, donde afloran las rocas volcánicas e intrusivas del Cretácico Inferior), ya que dada su condición, no deberían presentarse este proceso debido a que no cumple ninguna de las condiciones nombradas previamente.

Las zonas de susceptibilidad alta corresponden a todos los depósitos no consolidados o parcialmente consolidados, pero con un nivel freático relativamente somero y que se encuentran, generalmente saturados en agua, los que en este caso corresponden a los depósitos fluviales actuales y antiguos saturados en agua de los ríos Limarí, Hurtado y Grande, así como los de la quebrada el ingenio. Estos sectores son susceptibles a sufrir este proceso durante un sismo de magnitud considerable (FIGURA Nº 1-26). Las restantes unidades geológicas no presentan a la escala del estudio condiciones para este tipo de procesos, sin embargo, se recomienda realizar posteriormente estudios de detalle de mecánica de suelos y microzonificación sísmica para definir con mayor detalle las zonas susceptibles dentro del área urbana.

Finalmente, cabe destacar que esta clasificación corresponde a una caracterización regional, pero dan un buen indicio de donde realizar estudios de microzonificación sísmica para las zonas urbanas.

FIGURA Nº 1-26: Mapa de Susceptibilidad de Licuefacción de Ovalle.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA Nº 1-27: Plano de Riesgos Naturales sin defensa fluvial

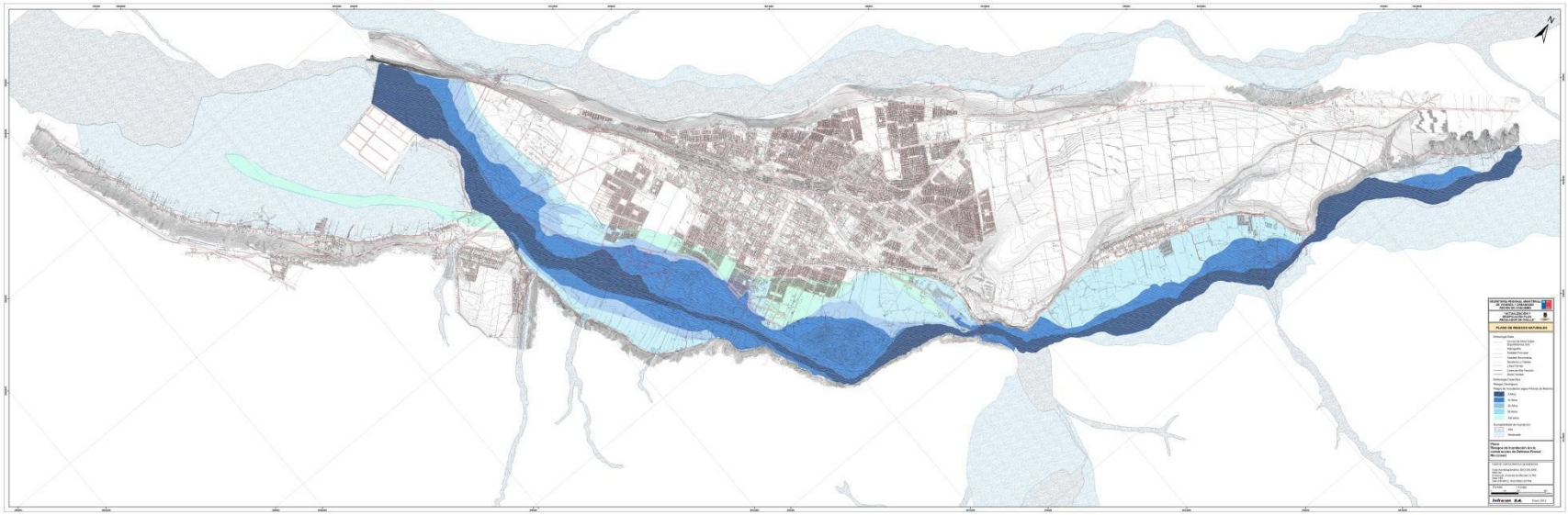


FIGURA Nº 1-28: Plano de Riesgos Naturales con defensa fluvial

1.5 Conclusiones

En el marco de la actualización del Estudio de Riesgos de la Comuna de Ovalle, se ha revisado una serie de antecedentes proporcionados por el mandante y otros estudios científicos. En esta etapa se evaluó la ocurrencia de los procesos geológicos internos de la tierra (endógenos), que incluyen sismicidad y volcanismo, y los procesos geológicos externos (exógenos) que corresponden a inundaciones y remociones en masa. Para esto se realizó una línea base geológica y geomorfológica, identificación de los factores condicionantes y factores desencadenantes de los peligros analizados. A partir de esta información se generaron mapas de susceptibilidad para cada uno de los peligros zonificables a escala 1:5.000.

Las inundaciones por desborde de cauce y por acumulación de aguas lluvias han sido recurrentes en el área de estudio afectando diversos sectores, principalmente asociados al río Limarí y a quebradas menores. Estas inundaciones son producto de altas precipitaciones las cuales, en algunos casos, se deben al Fenómeno de El Niño. La ocurrencia de deslizamientos y flujos de barro y/o detritos han afectado tanto sectores poblados como laderas despobladas de la comuna. Estos procesos de remoción en masa fueron reconocidos en varios sectores de la comuna y generados por principalmente a precipitaciones intensas en los casos asociados a quebradas de la zona.

A partir de los antecedentes recopilados se definió la siguiente zonificación de susceptibilidad de peligros geológicos.

Peligro de Remociones en Masa: Las zonas con mayor susceptibilidad de deslizamientos y caída de bloques (ver FIGURA Nº 1-18) se ubican principalmente en zonas de pendientes altas de los cordones montañosos y contactos de 2 niveles de terrazas del área de estudio. Se definieron las siguientes áreas de susceptibilidad:

> **Muy Baja**: No se reconocieron factores condicionantes favorables a la ocurrencia de este peligro, es decir, zonas de pendientes entre 0 y 15%.
> **Baja**: Corresponde a sectores donde la pendiente se encuentra entre 15% y 25%. En estos sectores es poco probable que se generen deslizamientos y/o caída de bloques, pero sí podrían verse afectados por alcance de uno de estos peligros.
> **Moderada**: En sectores de moderada a alta pendiente (de 25% a 50%). Áreas con una alta probabilidad de verse afectada por alcance de un deslizamiento o caída de bloques, y que bajo ciertas condiciones podrían corresponder a un sector donde se genere un deslizamiento.
> **Alta:** En sectores de alta pendiente (escarpes), es decir, zonas de pendientes sobre al 50%, y sectores de depósitos coluviales no consolidados.

Para efectos de la zonificación del Plan, las áreas amenazadas por este tipo de peligro donde debe aplicarse el artículo 2.1.17 de la OGUC llevan el código AR2 y se denominan Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas

En el área de estudio no se identificaron volcanes activos, por lo que no se analizó este tema.

Peligro de Inundación: Los Flujos de Barro y Detritos, además de las inundaciones se encuentran concentrados en los cauces de quebradas mayores y el cauce principal del Río Limarí (FIGURA Nº 1-21). Para determinar las zonas susceptibles se utilizó la siguiente metodología:

> **Zonas de Susceptibilidad Baja**: Principalmente zonas cuya hoya hidrográfica aportante no permite la acumulación de sedimentos o líquido durante fenómenos de precipitaciones intensas, o que se encuentran a una cota elevada con respecto a los cauces actuales. Por ejemplo, la parte alta de la ciudad: Cementerio de Ovalle, calles Blanco Encalada, Tarapacá, etc; en la parte baja destacan los sectores cercanos a la municipalidad o la plaza de armas de la ciudad.

Moderada (inundación y flujo de detritos): Afecta a los depósitos fluviales recientes, propensos a inundación e incluye zonas de depósitos semiconsolidados de origen aluvial, que presentan evidencias de haber sido afectadas por flujos de barro y/o detritos durante el Pleistoceno-Holoceno. Dentro de estas zonas destacan las llanuras de inundación de los ríos Grande y Hurtado, además de la quebrada El Ingenio. Cabe destacar que no se realizaron estudios del período de retorno en esta zona, y no se consideró la altura de las terrazas, dado que no se sabe cuál sería la cota máxima de inundación.

Alta (Inundación o Flujos): Corresponde las áreas inmediatamente cercanas los cauces de las principales quebradas y ríos. Además incluye zonas presentan evidencias de haber sido afectadas por flujos de barro y/o detritos durante el Pleistoceno Superior - Holoceno.

Cabe destacar que las partes más bajas de la ciudad se encuentran en zonas que fueron zonificadas por Pulso S.A. (2004) como susceptibles a ser afectadas por inundaciones en períodos de retorno de 50 y 100 años (ver FIGURA Nº 1-23 y FIGURA Nº 1-24), quedando bajo el área de inundación las viviendas entre la Calle Costanera y Alberto Blest-Gana. La susceptibilidad presentada NO CONSIDERA las obras de mitigación asociadas al río Limari, y son presentados en el Plano Fuera de Texto "Riesgos de Inundación sin la construcción de la defensa fluvial". Sin embargo, para la definición de áreas de riesgo se consideró la defensa fluvial propuesta por el MOP que defendería la ciudad para períodos de retorno, resultados presentados en el Plano Fuera de Texto "Riesgos de Inundación sin la construcción de la defensa fluvial"

Con respecto a las inundaciones, se recomienda realizar estudios hidrológicos detallados para los cauces naturales, con el fin de complementar la cartografía de las zonas susceptibles a ser afectadas por inundaciones, con los períodos de retornos asociados, lo que permitiría definir zonas de riesgo. Para las áreas altamente susceptibles a estos fenómenos se debe condicionar la utilización a resultados de estudios de detalle, realizados por profesionales especializados en el tema, que determinen el tipo de medidas de mitigación y su adecuado dimensionamiento a los factores locales y tamaño de proyecto. En terrenos de alta susceptibilidad de ser afectados por estos peligros se deberá proponer usos sólo con fines recreativos y prohibir la utilización de estas áreas con fines habitacionales. Se recomienda zonificar como no edificables los sectores de anegamiento.

Para efectos de la zonificación del Plan, las áreas amenazadas por este tipo de peligro donde debe aplicarse el artículo 2.1.17 de la OGUC llevan el código AR1 y se denominan Zonas inundables o potencialmente inundables.

Se recomienda con respecto a los peligros geológicos que se implementen sistemas de alerta temprana y evacuación en caso de eventos meteorológicos que puedan generar inundaciones o remociones en masa (flujos de detritos, deslizamientos y caídas de bloques). Este sistema debe contemplar un plan de emergencia que debe ser comunicado adecuadamente a la comunidad y debe ser periódicamente practicado, bajo la responsabilidad y coordinación de encargados comunales y provinciales de protección civil, con la participación de las comunidades.

Para mitigar los riesgos asociados a remociones en masa e inundaciones, se recomienda controlar el escurrimiento de aguas superficiales, su intercepción, captación, conducción y descarga controlada hacia cauces establecidos. Todo esto con una asesoría técnica-profesional apropiada. Sería importante realizar estudios geotécnicos detallados para zonas de remoción en masa a escala 1:500, analizando los parámetros físicos de las rocas en cada sector susceptible. La escala de trabajo de este estudio es 1:2.500, por lo tanto, se entrega un análisis general del área dentro del límite urbano de Molina que es útil como primer resultado, pero no se considera dentro de los objetivos de este informe una evaluación de detalle como la que sería necesaria. Se recomienda zonificar como no edificables los sectores ubicados sobre zonas de susceptibilidad muy alta y alta de generación y alcance de deslizamientos y caída de bloques, y las zonas de susceptibilidad muy alta y alta de retroceso de laderas asociado a los escarpes.

Con respecto al peligro de licuefacción, se sugiere que en todo el ámbito del área urbana se aplique la norma chilena NCh 433. de 1996, modificada en 2010 por el Decreto Ex. 406, “Diseño sísmico de edificios”, en particular en las áreas definidas como susceptibles, debiendo en este caso el Director de Obras Municipales informar en el certificado de Informaciones Previas la presentación de un informe sobre calidad del subsuelo de acuerdo al artículo 5.1.15 de la OGUC.”

Andrés Fock Kunstmann
Geólogo, MSc en Ciencias, Mención Geología

REFERENCIAS.

Adriasola, A. 1997. Relación entre estructura y mineralización en el distrito minero Los Mantos de Punitaqui. Memoria de Título. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 149 p y anexos. Santiago, Chile.

Aguirre, L., Egert, E. 1965. Cuadrángulo Quebrada Marquesa, Provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Nº 15. 92p.

Antinao, J.L., Fernández, J.C., Naranjo, J.A., Villarroel, P. 2002. Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.

Benado, D., 2000. Estructuras y estratigrafía básica de terrazas marinas en sector costero de Altos de Talinay y Bahía Tongoy : implicancia neotectonica. Memoria para optar al Título de Geólogo, Dpto. de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 90 p

Costa, J.E. 1984. Physical geomorphology of debris flows. *In* Developments and Applications of Geomorphology, Costa, J.E., Fleischer, P.J., edits. Springer Verlag, Berlín, p. 268-317.

Corvalán, J. 1966. Fauna de las calizas del área del Reloj al sur de Ovalle. Inst. Invest. Geol., informe inédito, Santiago, Chile.

DGA - Cade-Idepe Consultores, 2004b. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Limarí. Dirección General de Aguas, Diciembre 2004. 143 pág.

DeMets, C.; Gordon, R.; Argus, D.; Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. Geophysical Research Letters, Vol. 21, No. 20, p. 2191-2194.

Emparán, C.; Pineda, G., 2000. Geología del área La Serena-La Higuera, región de Coquimbo, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, Nº 18.

Emparán, C.; Pineda, G., 2006. Geología del área Andacollo-Puerto Aldea, región de Coquimbo, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. Documento en Edición. 68 p.

Gana, P. 1991. Mapa Geológico de la Cordillera de la Costa entre La Serena y Quebrada El Teniente, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Documentos de Trabajo, No 3, escala 1:100.000. Santiago.

Hauser, A. 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: características, causas, efectos y medidas preventivas. Revista Geológica de Chile, No. 24, p. 75-92.

Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 45, 75 p. Santiago.

Hauser, A. 1997. Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 49, 47 p. Santiago.

Moscoso, R., Nasi C., Salinas P., 1982. Geología de la hoja Vallenar y parte norte de La Serena: Regiones de Atacama y Coquimbo, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, n.55, 100 p.

Mpodozis, C.; Ramos, V.A., 1989. The Andes of Chile and Argentina, In: Eriksen, G.E., Cañas, M.T. and Reintmund, J.A. (Editors). Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and energy resources; Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, Earth Sciences Series, Houston, Texas, Vol. 11, pp. 59-90.

Naranjo, J.A; Varela, J. 1996. Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de Mayo de 1993. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 p. Santiago.

Paskoff, Roland ; Leonard, E.M. colab ; Novoa, José E. colab ; Ortlieb, Luc, colab. ; Radtke, U. colab ; Wehmiller, J.F. colab. 1995. Field meeting in the La Serena - Coquimbo Bay area, Chile: Guidebook for fieldtrip 27-28 November 1995, organized during the 1995 Annual meeting of the International Geological Correlation Program Project 367, Antofagasta, Chile. ORSTOM, 69 p.

Pardo-Casas, F., Molnar, P., 1987. Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American Plates since late cretaceous time. Tectonics, Vol. 6, Nº 3, p. 233-284.

Pierson, T., Scott, K. 1985. Downstream dilution of Lahar: Transition from debris flow to Hyperconcentrated Streamflow. Water Research, Vol. 21, No. 10, pp. 1511-1524.

Pulso, S.A., 2004. Estudio básico Diagnóstico Integral de Recuperación de la Ribera Urbana del Río Limarí, Comuna de Ovalle. Informe 1, Etapa 1.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Hervé, M., Puig, A. 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. Revista Geológica de Chile, N° 24, p. 63-74.

Rivano S., Sepúlveda, P., 1991. Hoja Illapel, región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica ; no. 69, 132 p. : il., 2 mapas(anexo)

Somoza, R., 1998. Updated Nazca (Farallón) – South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean region. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 11, Nº 3, p. 211 -215.

Thomas, H. 1967. Geología de la Hoja Ovalle y Carta Geológica (1:250.000). Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 23, 58 p. Santiago, Chile.

Urrutia,,, R y Lanza,, C.. 1993. Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria. 440p. Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Veit, H. 1996. Southern Westerlies durin Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in Norte Chico, northern Chile. Palaeogeogr. Palaeocl. Palaeoecol. 123, 107-119.

Uyeda, S., Kanamori, H., 1979. Back-Arck Opening and the Mode of Subduction. Journal of Geophysical Research, vol. 84, NO B3, pp 1049-1059.