

La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción¹

María Mardones²
Claudia Vidal³

Abstract

Concepción city, situated at the central south of Chile, is an urban center that in the course of his history has been affected frequently by natural risks. In this article, we have separated and evaluated the areas exposed at risks: seismic; of overflowing; of fluvial inundation and removal in mass. For that objective we have adapted the methodology of aggregation of charts of risks factors: danger, vulnerability and exposition, proposed by the NU. As a result we obtained a natural risks letter and we suggest it is application in the preparation of plans and programs prevention and natural risks correction and also in the programs organization of emergencies administration.

Key Words: Natural Risks, Danger, Vulnerability, Urban Planning.

Resumen

La ciudad de Concepción, localizada en el Centro Sur de Chile, es un centro urbano que en el curso de su historia ha sido afectado recurrentemente por riesgos naturales. En este artículo, se zonifican y evalúan las áreas expuestas a riesgos: sísmico, de anegamiento, de inundación fluvial y de procesos de remoción en masa. Para tal finalidad se adaptó la metodología de agregación cartográfica de los factores de riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, propuesta por la O.N.U. Como resultado se obtuvo una carta de riesgos naturales y se sugiere su aplicación en la preparación de planes y programas de prevención y corrección de riesgos naturales y en la organización de programas de gestión de las emergencias.

Palabras Clave: Riesgos naturales, peligrosidad, vulnerabilidad, planificación urbana.

¹ Esta investigación se desarrolló en el marco del Proyecto Fondecyt 92-0251. Se agradece el financiamiento otorgado por CONICYT para este efecto y la colaboración de los profesionales Fabiola Herrera del Centro EULA de la Universidad de Concepción, Lilian Lagos, Juan Espinoza y Miguel Yáñez del Laboratorio de Estudios Urbanos de la Universidad del Bío-Bío.

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Chile.

³ Laboratorio de Estudios Urbanos, Departamento de Planificación y Diseño Urbano, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

1. Introducción

El riesgo natural es definido, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado, de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes. Más específicamente, la O.N.U. (Ayala-Carcedo, 1993) lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad en tanto por uno y la exposición. La peligrosidad o amenaza para los efectos de esta investigación será entendida como un fenómeno natural, cuya dinámica puede desbordar sus umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo ocasionar daños a las personas y a sus bienes. La vulnerabilidad, en cambio, es estimada como la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de una amenaza y la exposición, alude a la población medida en número de habitantes o de bienes por unidad de superficie, situados al interior de una zona de peligro. Si un proceso potencialmente peligroso se activa se está en presencia de un desastre o catástrofe natural, entendiéndose como tal, aquella situación en la que la vida de las personas puede sucumbir masivamente, produciéndose una desorganización social que excede la capacidad de reacción ordinaria de la comunidad social afectada (Ayala-Carcedo *et al.*, 1988).

Un desastre natural de tipo geomorfológico se genera cuando los factores que regulan el estado morfogenético de un lugar franquean en cascada los umbrales de estabilidad (Anguita y Moreno, 1994). El umbral correspondería a una situación límite en torno a la cual los factores o variables que controlan el proceso geomorfológico se modifican, superan valores críticos de ritmo, de intensidad, de sentido o de naturaleza (Coque, 1977). La evaluación de la peligrosidad como

factor de riesgo natural, supone entonces la identificación de los valores umbrales de las variables que controlan el proceso.

Los peligros naturales condicionan la capacidad de acogida del territorio, dado que al activarse pueden producir efectos indeseados en las actividades humanas. Razón por la cual y con el fin de contribuir al ordenamiento sustentable del territorio, éstos debieran ser inventariados, valorados y cartografiados para evitar el poblamiento de zonas de riesgo o para utilizar las tecnologías adecuadas para soportarlos (Gómez, 1994).

Cada año ocurren en el mundo desastres naturales que ocasionan graves pérdidas económicas y humanas. Solo para el periodo 1970-1989 los daños económicos fueron estimados en aproximadamente 50.000 millones de dólares y se registraron más de 1,6 millones de víctimas, considerando los episodios con más de 20 bajas (Ayala-Carcedo, 1993). En los últimos 50 años, los desastres naturales han provocado la pérdida de más de 2,8 millones de vidas humanas en el planeta, incrementándose desde 1960 el número de personas afectadas en un 6% cada año, el doble de la tasa de crecimiento demográfico mundial (DIRDN, 1996).

Como consecuencia del explosivo crecimiento demográfico, de la concentración de la población en ciudades y de las condiciones caóticas del proceso de urbanización especialmente en los países subdesarrollados, se prevé a nivel mundial un incremento cada vez mayor de los niveles de riesgo natural y por lo tanto de la ocurrencia de desastres. Ya en 1994, alrededor del 45% de la población mundial habitaba en zonas urbanas, de este porcentaje el 68% lo hacía en las regiones menos desarrolladas, ciudades en las cuales se manifiesta una drástica desigualdad social, insuficiencia en los niveles de equipamiento e infraestructuras,

mala calidad de las viviendas, ocupación de sectores poco aptos para ser habitados, todos factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad humana frente a un evento natural (Larraín y Simpson, 1994).

Idénticos factores han contribuido en nuestro país a aumentar el número de víctimas y las pérdidas económicas, frente a eventos riesgosos de la misma intensidad (Ribas, Roset, y Pujadas, 1995; Anguita y Moreno, 1994; Larraín y Simpson, 1994). En efecto, las pérdidas en vidas humanas y económicas por efecto de catástrofes naturales han sido recurrentes a lo largo de su historia; especialmente impactantes han sido los impactos ocasionados por sismos, inundaciones y avalanchas. Citando solo los desastres más recientes: el sismo grado 7 de la escala de Richter, que afectó a la Región Central de Chile y especialmente a la ciudad de Santiago el 3 de marzo de 1985, generó pérdidas económicas por un monto de 186 millones de dólares, más de 195.000 viviendas dañadas, 178 muertos y 2.575 heridos graves (ODEPLAN, 1985). El terremoto del mismo grado que ocurrió el 30 de julio de 1995 en la ciudad de Antofagasta, ocasionó daños en las viviendas evaluados en 615.000 millones de pesos. Las pérdidas económicas ocasionadas por las inundaciones que afectaron a la Región Metropolitana el año 1982, fueron estimadas en 2.000 millones de pesos (Larraín, 1992). Últimamente, las inundaciones y anegamientos ocurridas el mes de junio del 2000, dejaron más de 88.000 damnificados en Chile Central y Sur. En la última década, las mismas ciudades precedentemente citadas, fueron impactadas por aluviones relacionados con la ocurrencia repentina de lluvias concentradas en un par de horas (20-40 mm en < de tres horas). El aluvión registrado en la ciudad de Antofagasta el 18 de junio de 1991, dejó un saldo de 64 muertos, 48 desaparecidos, 750 per-

sonas lesionadas, 6.000 viviendas dañadas y miles de damnificados; los daños superaron los 2.000 millones de pesos. El aluvión arrastró 5 millones de toneladas de agua y lodo que arrasaron el centro y norte de la ciudad a una velocidad de 30 km/hora (Hauser, 1991). El aluvión que arrasó el sector oriente de Santiago el 3-05-1993 y que fue provocado por una crecida de la Quebrada de Macul, dejó 950 damnificados y ocasionó pérdidas por 5.000 millones de pesos, 16 personas fallecidas, 200 casa inutilizadas y 4.000 personas afectadas (Naranjo y Varela, 1996).

La ciudad de Concepción y su área metropolitana, situada en el litoral de la Región del Bío-Bío (Chile), es una de las áreas urbanas más afectadas por variados tipos de riesgos naturales. Ella es considerada por su peso demográfico, el segundo conglomerado urbano de Chile. Un ritmo acelerado de crecimiento se experimentó en el periodo 1982-1992, cuando su población creció más del 20%; luego la tasa de crecimiento disminuye a un 6% entre 1992-2000 y se espera una tasa de 1% para el periodo 2000-2005 (INE, 1999). Esto conlleva a un aumento de la densidad de población, especialmente en la comuna de Concepción donde se ha estimado una densidad media de 945.0 hab/km² para el año 1992 y de 991.4 hab/km² para el año 2000 (INE, 1998), siendo el sector más poblado el distrito N° 24 con 1.595 hab/km². A causa de este acelerado crecimiento, las ciudades de la intercomuna y especialmente Concepción, saturan los buenos sitios de fundación y desbordan hacia áreas con grandes dificultades para su manejo y expuestas a fuertes índices de peligrosidad natural; aumentando con ello la probabilidad de ocurrencia de catástrofes. A lo anterior se suma la vulnerabilidad de las viviendas e infraestructuras, que no tienen la capacidad para resistir con eficacia los efectos de la naturaleza.

Estudios realizados por Alarcón (1995) y Essmann (1997) han documentado la frecuencia de desastres registrados en esta

área metropolitana desde fines del siglo XIX hasta las primeras décadas del s. XX y en la segunda mitad del siglo XX (Cuadro 1).

Cuadro 1. Desastres naturales en las comunas de Concepción y Talcahuano.
 1885-1920 y 1960-1990.

Tipo de desastre	Incendios forestales		Derrumbes		Anegamientos		Inundación	
	Concepción	Talcahuano	Concepción	Talcahuano	Concepción	Talcahuano	Concepción	Talcahuano
Comunas								
Período								
1885-1920	9	0	10	6	35	17	53	4
1960-1990	77	16	24	31	132	67	33	5

Fuente: Casos registrados por el Diario El Sur.

Comparando los dos periodos se aprecia un incremento notable en el número de casos registrados en el periodo 1960-1990. Como no existen cambios importantes en el sistema físico del emplazamiento de dicho centro urbano, se asume que el incremento de los desastres registrado por el Cuadro 1, se relaciona principalmente con el aumento de la población y su emplazamiento en áreas expuestas a amenazas naturales; con excepción de las inundaciones en Concepción, cuya disminución podría justificarse por el manejo de la ribera Norte del Bío-Bío, desde el año 1960 a la fecha.

En nuestro país, la planificación de las ciudades es regulada por un marco general denominado Política Nacional de Desarrollo Urbano y particularmente, a través de la Ley General de Construcciones y Urbanización, conformada por diversos cuerpos normativos, los que abarcan un espectro que comienza en el nivel nacional y termina en el nivel local. La planificación y gestión de los asentamientos humanos se centraliza en el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU) y a nivel comunal, la planificación urbana le corresponde a la Dirección de Obras de la Municipalidad respectiva, quien debe preparar un Plan Regulador comunal el cual

debe ser definitivamente aprobado por la Secretaría Regional Ministerial de la Vivienda y Urbanismo. Dicho plan tiene como finalidad ordenar el crecimiento de la ciudad y fijar las normas de urbanización; aunque la normativa más general y más cercana a dilucidar las relaciones de las obras con su espacio físico, se encuentran contenidas en la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización.

Aunque está en preparación el nuevo Plano Regulador, la urbanización de la comuna de Concepción se rige hasta el presente por el Plano Regulador del año 1981 inspirado en la Política Nacional de Desarrollo Urbano estructurada el año 1979; aunque éste ha sufrido una serie de modificaciones durante su periodo de vigencia, se reconocen en él la débil voluntad planificadora de dicha política, cuya normativa reguladora de edificación se basa principalmente en un manejo de los roles de las áreas, más que en un reconocimiento real de la capacidad de acogida del suelo para el emplazamiento urbano (Utz, 1992). Por otra parte, la normativa vigente para la construcción y urbanización establece en la mayoría de los casos estándares mínimos generales que aseguren niveles aceptables de habitabilidad; estos estándares se adop-

tan como patrones de diseño de cualquier emplazamiento urbano, en circunstancias de que muchas veces son sobrepasados por la dinámica de los procesos naturales locales. A esto se agrega una cantidad no determinada de población irregular, edificaciones de tipo espontáneo que también forman parte del proceso urbano y que generalmente ocupan los sitios menos seguros de la ciudad.

Los recurrentes desastres naturales registrados en los principales centros urbanos del país, dejan en evidencia la necesidad de incorporar con mayor fuerza en la normativa local, las características propias de cada comuna. Un primer intento a este respecto aparece en la modificación de la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización del año 1993 (Art. 2.1.5), que establece la obligatoriedad de efectuar estudios de riesgos en la confección de los futuros Planos Reguladores Comunales. Estudios de riesgos naturales a gran escala, como el desarrollado en la presente investigación podrían ser de gran utilidad para la futura planificación y gestión de las ciudades.

1.1. Objetivos y metodología

El propósito de este trabajo es zonificar y evaluar los sectores expuestos a riesgo sísmico, de anegamiento, de inundación fluvial y procesos de remoción en masa de la ciudad de Concepción, con el fin de que esto contribuya a una planificación preventiva y correctiva de los riesgos naturales y al diseño de políticas e instrumentos a favor de un desarrollo urbano sustentable.

Para este efecto, se adaptó el método propuesto por la ONU (Ayala-Carcedo, 1993). La aplicación de este método consistió en la agregación cartográfica manual de los tres factores de riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición.

La peligrosidad fue analizada y evaluada mediante el levantamiento geomorfológico detallado del área, a través de fotointerpretación de los vuelos OEA-1961 escala 1:10000 y SAF-FONDEF-1992 escala 1:20000 y levantamiento en terreno de los aspectos morfométricos y morfológicos. Se recopiló y analizó la información de los pozos y sondajes existentes en el área, con los cuales se realizaron perfiles estratigráficos para gran parte de los tipos geomorfológicos y se definieron en forma preliminar, los niveles freáticos superficiales. El estudio de la granulometría y composición mineralógica de algunos sedimentos, se efectuó en diferentes laboratorios (Centro EULA, GEA y Laboratorio de Suelos de la Universidad de Concepción). La determinación de umbrales de intensidad de lluvia, en la ocurrencia de peligros en que este factor actúa como detonante, se logró mediante la revisión de 30 años de información (1960-1990) en el Diario El Sur, sobre desastres naturales en el sector y al análisis durante el mismo período, de los datos meteorológicos diarios de la Estación Meteorológica Bellavista de la Universidad de Concepción.

La jerarquización de los diferentes peligros naturales o amenazas, se ha obtenido aplicando una matriz de evaluación de los factores genéticos asociados a cada tipo; procediéndose finalmente a una agregación cartográfica de éstos mediante el SIG SPANS 5.2. Los factores de riesgo investigados son los siguientes: tectónica, topografía y morfometría de pendientes, morfología, morfogénesis, sedimentología, aspectos hídricos (fluctuaciones de napa subterránea y variación de caudales fluviales), condiciones climáticas (intensidad de la lluvia) y alteraciones antrópicas de los sistemas naturales (obstrucciones). Finalmente, los riesgos se han jerarquizado como alto, medio o bajo, se han

zonificado en una carta a escala 1:10000 y se ha estimado la superficie expuesta a cada tipo de catástrofe. También, se han definido ciclos de recurrencia para cada fenómeno y umbrales de intensidad de sus detonantes.

La zonificación y evaluación de la vulnerabilidad, se logró mediante el análisis del comportamiento de las estructuras y materiales en eventos catástroficos anteriores (Watanabe y Karzulovic, 1960; Cruz *et al.*, 1990 y diarios El Sur y Mercurio de Santiago). Fundamentados en estas experiencias se definieron y ponderaron los siguientes factores de vulnerabilidad: material de construcción, antigüedad, morfología y número de pisos, orientación y estado de conservación de la construcción. El levantamiento de cada uno de estos factores se efectuó directamente en terreno el año 1996 y la información fue actualizada el 2001, para cada unidad habitada (casa o edificio) de la ciudad; datos que fueron vaciados en la carta base a escala 1:10000. Tras la aplicación de matrices de evaluación y agregación cartográfica de los factores de vulnerabilidad para cada tipo de peligro, se definieron unidades territoriales de alta, media y baja vulnerabilidad frente a los distintos procesos. En la cartografía final se promedió la vulnerabilidad dominante por manzana para cada tipo de peligro estudiado.

El factor de riesgo exposición de la población se estimó considerando el número de habitantes por manzana a partir de la información recogida en el Censo de Población 1992 (INE, 1998). Una vez ordenada y tabulada la información por unidad mínima censal, fue cartografiada diferenciándose sectores de alta (> 200 h/manzana), media (100-200 h/manzana) y baja (<100 h/manzana) exposición.

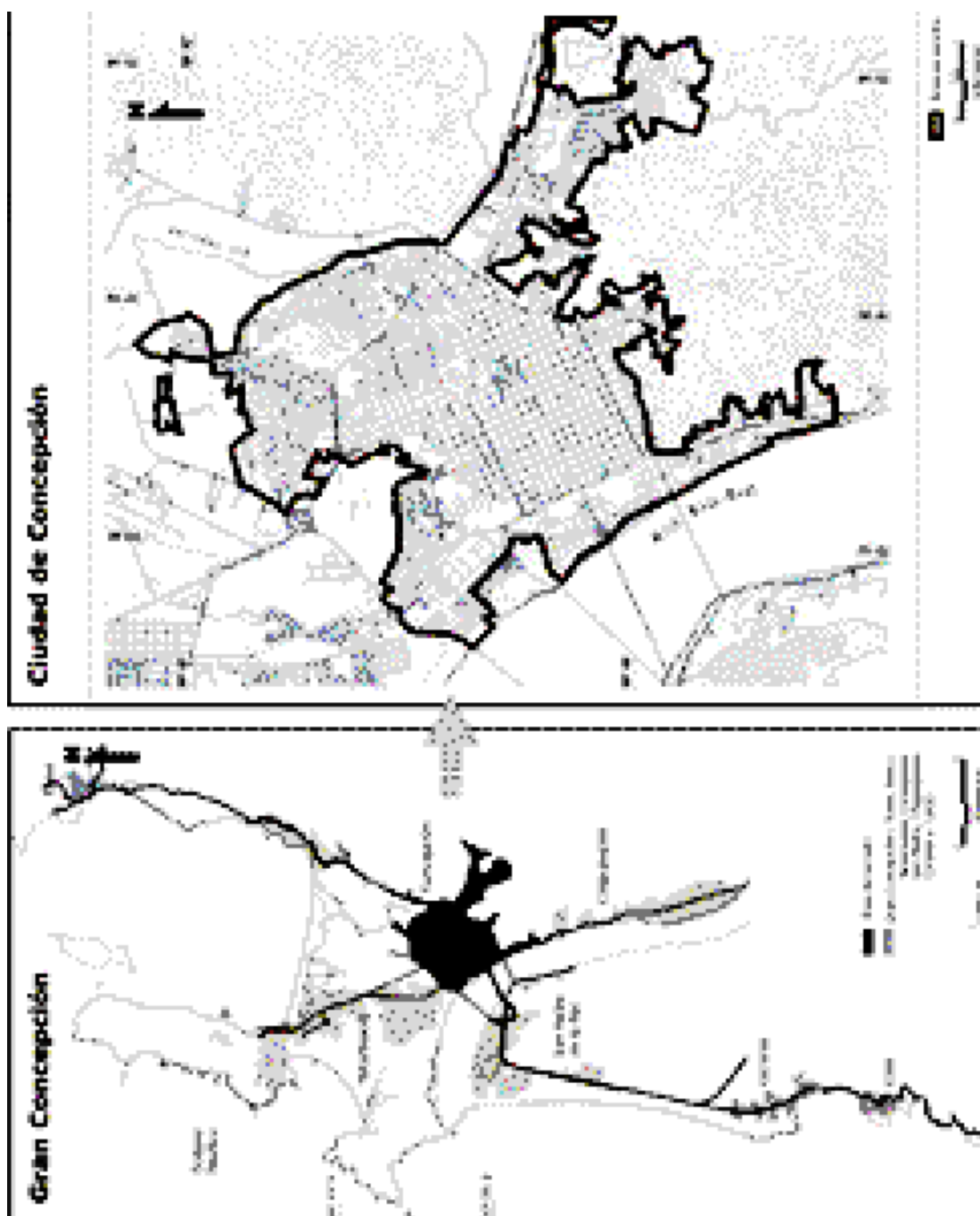
La zonificación y evaluación integrada de los riesgos se logró a través del método de agregación cartográfico propuesto por Tarlet (1984).

2. Localización y características físicas del área de estudio

Quinientos kilómetros al Sur de Santiago, la conurbación denominada Gran Concepción se desarrolla a lo largo de un eje litoral de 60 km con centro en la desembocadura del Bío-Bío, sobre los espacios litorales que se estrechan en el margen occidental de la Cordillera de la Costa. Sobre estos sitios menguados y difíciles, valorizados históricamente por su posición litoral, diez ciudades (Concepción, Talcahuano, Penco, Lirquén, Tomé, San Pedro, Coronel, Lota, Chiguayante y Hualqui) que agrupan la población de nueve comunas (Concepción, Talcahuano, Penco, Tomé, San Pedro de la Paz, Coronel, Lota, Hualqui y Chiguayante), se disponen en un agrupamiento abierto que constituye una conurbación heterogénea y distendida, formada por unidades funcional y socialmente especializadas que se separan sobre el espacio a distancias que no superan los 30 km para las más distantes. Este conjunto urbano, que actualmente concentra el 95% de la población urbana de la provincia de Concepción y el 58% de la población urbana de la Región del Bío-Bío, hoy es actualmente un polo de desarrollo de importancia nacional e influencia multirregional. La ciudad de Concepción, objeto de este estudio, ejerce el rol de centro direccional de este conjunto urbano y de la región (Hernández, 2001).

Las limitantes físicas derivan de las características geomorfológicas y climáticas.

Figura 1. Localización Área de Estudio



Desde el punto de vista morfológico, la ciudad de Concepción se emplaza en el margen interno de una fosa de origen tectónico, al interior de la cual se modelan llanuras y terrazas de origen fluvial.

Desde el punto de vista climático, Devynck (1970) y Romero (1985) reconocen en el área un clima templado mediterráneo, con una estación invernal lluviosa y una estación estival seca y cálida. Son las condiciones pluviométricas, el principal detonante para algunas amenazas naturales en el sector, tales como: anegamiento, inundación fluvial y derrumbes.

3. Resultados

3.1. Zonificación y evaluación del factor peligrosidad o amenaza

3.1.1. Peligro de anegamiento

Un anegamiento es la acumulación de un volumen de agua/lluvia sobre la superficie del suelo. Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos (Cuadro 2) entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria), las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la ca-

⁴ En el sitio de la ciudad, la tectónica de falla del Plioceno superior ha configurado tres unidades morfoestructurales: al Este, la Cordillera de la Costa compuesta de granito Paleozoico, intensamente meteorizado, se eleva a más de 100 m.s.n.m. a través de un escarpe de falla de dirección NNO-SSE; al Oeste, una cadena de plataformas de estructura monoclinial y fallada constituida por roca sedimentaria de edad Terciaria y altitud media de 70 m.s.n.m, enmarca la ciudad en dirección SSO-NNE. Entre ambas unidades se modela una llanura fluvial y deltaica conformada por depósitos de arenas negras basálticas, de más de 80 m de potencia. Las arenas han sido transportadas por el Bío-Bío y su origen se vincula con el volcanismo andino desarrollado en el alto valle del Laja (Mardones y Jaque, 1991). En el presente, los ríos Bío-Bío y Andalién, fluyen sobre los márgenes Sur y Norte de la ciudad, construyendo terrazas inferiores y llanuras de inundación. Durante el Holoceno, el río difuyó en el delta modelando paleocanales orientados hacia las bahías de San Vicente, Concepción y hacia el río Andalién Este último, el más desarrollado en la ciudad de Concepción, dispuesto en la misma dirección de la calle Los Carrera hacia el NE, se encuentra constelado de pequeños sistemas lacustres (Laguna Las Tres Pascualas, Lo Galindo, Lo Méndez) que testimonian dicha evolución. Como dichos paleocanales presentan fuertes dificultades para el drenaje de aguas/lluvia han sido progresivamente rellenados y colonizados por la ciudad durante el siglo XX.

Pendientes topográficas sobre 20° y rocas muy alteradas en los cerros, sedimentos arenosos incoherentes y paleocanales con dificultades de drenaje en las llanuras, son factores morfogenéticos que favorecen la ocurrencia de desastres naturales.

⁵ El promedio anual de lluvias para un período de 30 años, en la estación Bellavista de la ciudad de Concepción, es de 1.222 mm, de los cuales más del 70% se concentra en los meses de mayo a agosto, con valores promedios mensuales que varían entre 149 mm y 245 mm. A esta estacionalidad, hay que agregar la irregularidad interanual de las lluvias: existen años muy secos como 1968, que recibe un monto de 830 mm de precipitaciones, y años muy húmedos como 1992, fecha en que la lluvia recibida es de 1.653 mm. Esta irregularidad también se expresa en los promedios mensuales y diarios; mientras que los promedios no superan los 245 mm, entre 1965 y 1992 se ha registrado en dos oportunidades intensidades de precipitación mensual superior a 500 mm, montos que pueden concentrarse en algunos días, como ocurrió en el mes de junio de 1974 donde precipitaron >200 mm en 72 horas. Gran parte de los riesgos estudiados por esta investigación se asocian a la ocurrencia de ciclos con intensidades de lluvia diaria superior a 50 mm.

pacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas). Gran importancia se atribuye también a las intervenciones antrópicas tales como: rellenos artificiales y construcciones que obstruyan el drenaje natural o artificial.

Elemento detonante de los anegamientos son las lluvias diarias. Según Peña *et al.* (1993), intensidades de precipitación diaria superior a 80mm y acumulación de lluvia en 3 días consecutivos superior a 140 mm, producen graves procesos de anegamiento en la ciudad. Los autores estiman además, que al menos una vez al año ocurren lluvias con montos superiores a 60 mm en 24 horas. El proceso de anegamiento

depende principalmente de las características físicas del suelo y subsuelo: permeabilidad, posición de la napa freática, características topográficas, morfológicas, presencia de sistemas de drenaje artificial y obstrucciones al escurrimiento superficial, sean de origen natural o artificial. La irregularidad topográfica de la llanura y especialmente la impermeabilización del suelo debido a la pavimentación, favorecen la acumulación de aguas/lluvia. Por otra parte, los sedimentos aluviales de las terrazas inferiores y llanuras de inundación fluvial y los fondos de los paleocauces, contienen sedimentos arcillosos que dificultan la infiltración y napas freáticas relativamente superficiales, lo que expone estacionalmente a vastas áreas de la ciudad al riesgo de anegamiento.

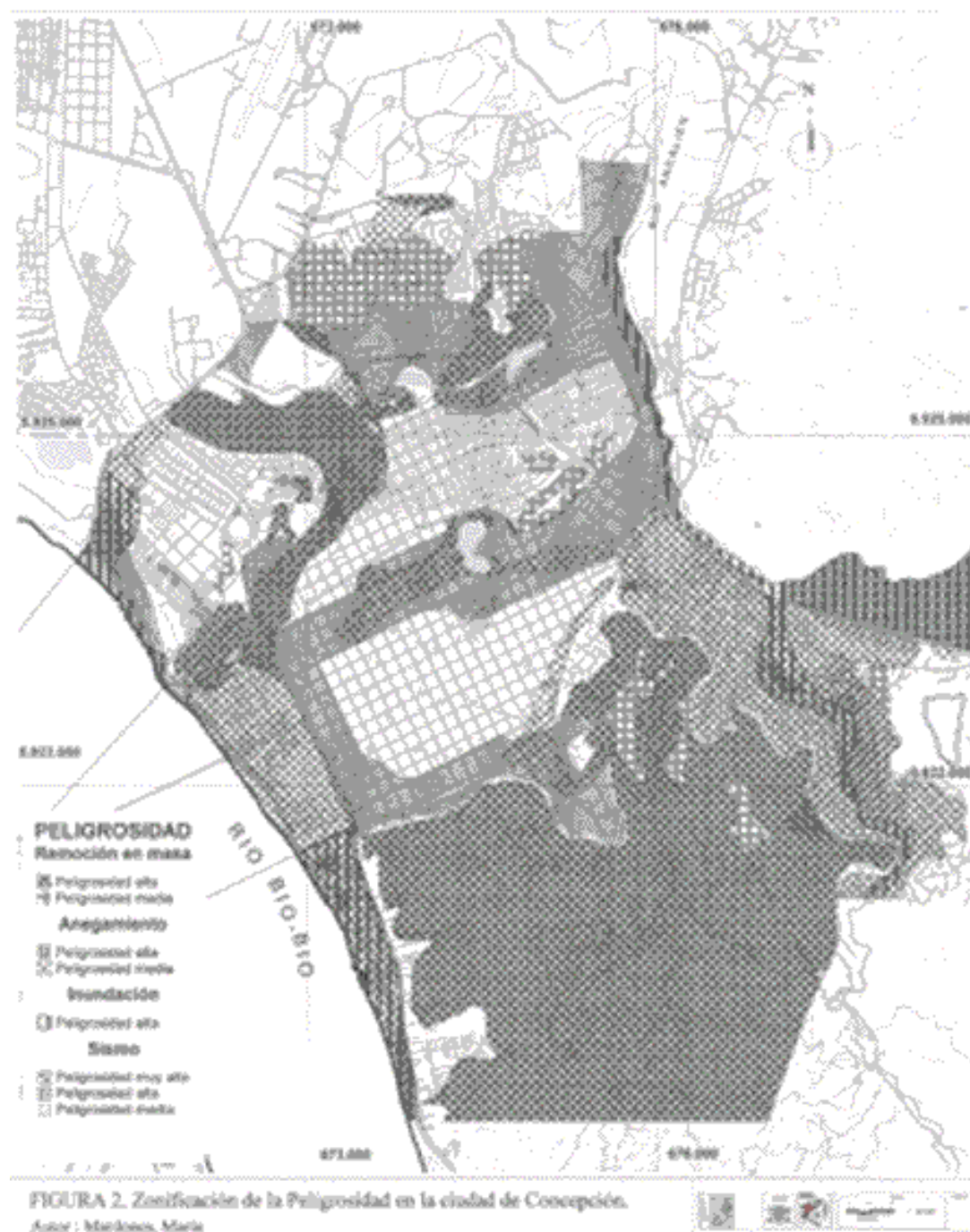
Cuadro 2. Matriz de evaluación riesgo de anegamiento (peligrosidad).

Evaluación/ factores	1	2	3
litología (tipo de sedimento)	Arenas medias-gruesas, suelo permeable	arenas finas	limos, arcillas, roca o suelo impermeable
pendiente	> 1°	1° - 0.1°	<0.1°
morfología	plataformas, cordones y escarpes rocosos	terrazza media	paleocauce, terraza inferior, depresión interdunaria
obstrucciones naturales/artificiales	sin obstrucciones	obstrucción débil	obstrucción total

De la agregación de los factores evaluados en el Cuadro 2, se deduce que los sectores con más alto peligro de anegamiento, se localizan en el paleocauce Bío-Bío-Andalién, en los bordes de las lagunas, en la terraza inferior

y llanuras de inundación de los ríos Bío-Bío y Andalién y en todos los sectores topográficamente deprimidos donde no existe un sistema de drenaje artificial de aguas/lluvia (Figura 2).

Figura 2. Zonificación de la peligrosidad de Concepción.



3.1.2. Peligro de inundación fluvial

Se entiende por inundación fluvial, la invasión de un territorio por el escurrimiento descontrolado de un flujo fluvial, debido a una crecida. Las aguas desbordan de su cauce habitual, invaden el lecho mayor del río o las llanuras de inundación y terrazas inferiores, paleocauces, etc., lugar donde decantan los aluviones generalmente finos. En Concepción, las inundaciones son los desastres más frecuentes (Urrutia y Lanza, 1993; Alarcón, 1995; Essman, 1997), acusándose dos orígenes: desbordes de cursos naturales (ríos o esteros) y rebalse de cursos artificiales (canales, sistemas de alcantarillado). Entre los factores que explican la ocurrencia de inundaciones en un punto determinado, se distinguen: la topografía y morfometría de pendientes, características geomorfológicas y sedimentológicas del entorno del lecho que sufre la crecida, influencia antrópica en las riberas del río y factores externos, como intensidad de lluvia, características hidrológicas y estado del suelo y de la vegetación de la cuenca de drenaje.

En cuanto a la topografía estarían expuestos a riesgo de inundación, todas las áreas ribereñas cuya altitud es inferior a 8 m.s.n.m., cota que corresponde a la altitud máxima alcanzada por el borde del cauce. La morfología ribereña puede facilitar el encauzamiento del flujo desbordado; los modelados de mayor exposición a este tipo de riesgo son: las llanuras aluviales, los lechos mayores episódicos y estacionales de los ríos y los paleocauces. La amenaza es mayor para aquellas formas construidas con sedimentos impermeables que dificultan la infiltración, ya que la inundación puede durar varios días. La modificación antrópica de la morfología ribereña, puede reforzar o disminuir la acción de los factores naturales; por ejemplo la ruptura de dunas que permiten la canalización natural del flujo podrían incrementar el riesgo de inundación.

Es el caso de los sectores de dunas borderas de la ribera Norte del Bío-Bío que están siendo explotadas por empresas areneras, lo que ha aumentado considerablemente el riesgo de inundación principalmente en la comuna de Talcahuano en los últimos 5 años. Si a la inversa, el manejo de las riberas está orientado a rellenar y a elevar el nivel topográfico de éstas, el riesgo de inundación disminuirá notablemente, como ha sucedido con la ribera Norte del mismo río que ha sido remodelada y protegida, en la ciudad de Concepción.

En relación a los canales de drenaje contruidos en el interior de la ciudad, éstos generan riesgo cuando su capacidad de evacuación ha sido calculada solo para rangos medios de lluvia, o cuando no se les aplica mantención y limpieza (ejemplo sistema de drenaje del estero Agüita de La Perdiz situado en el Barrio Universitario).

La cobertura vegetal es un factor que regula el régimen hidrológico, sea controlando la infiltración y el escurrimiento superficial de aguas-lluvia, sea protegiendo el suelo contra la erosión. La falta de cobertura aumenta la escorrentía superficial, intensifica la erosión del suelo y los sedimentos erosionados pasan a formar parte del flujo fluvial. Mientras mayor sea la carga sólida de un río, mayor será el riesgo de crecida con el mismo monto de precipitaciones, ya que los sedimentos tienden a elevar el fondo de los lechos y con ello el espejo de agua del curso. En los ríos Bío-Bío y Andalién, se ha constatado especialmente en la segunda mitad del siglo XX un aumento notable del transporte de sólidos (Parra *et al.*, 1994). Este último, asienta su cabecera en una de las comunas más afectadas por erosión en manto y cárcava de nuestro país: la comuna de Florida. Por su parte, el Bío-Bío se nutre de sólidos en suspensión a través de las cuencas afluentes costeras (Hualqui, San-

ta Juana, Quilacoya, etc.) y de aquellas que drenan el borde occidental de la depresión central (Vergara, Tavoleo, Río Claro, etc.)

Factor detonante de las inundaciones es la intensidad diaria de las lluvias locales y a nivel de la cuenca. Se estima que en el área de estudio las inundaciones se relacionan principalmente con ciclos de tres días de lluvia consecutiva y umbrales de intensidad semejantes a los calcula-

dos para los anegamientos (>140 mm en 72 horas), para caudales *peak* con periodos de retorno de 5 años (Aros *et al.*, 1995). Teniendo como constante este caudal *peak*, las zonas expuestas a alto riesgo de inundación, evaluadas con los factores sistematizados en el Cuadro N°3, serían las siguientes: terraza inferior del Bío-Bío que ha sido solo parcialmente rellenada (sector Pedro de Valdivia) y llanuras aledañas al estero Nonguen y río Andalién (Figura 2).

Cuadro 3. Matriz de evaluación riesgo de inundación fluvial (peligrosidad).

Evaluación/factores	1	2	3
topográfico	>8m	7-8m	<7m
morfológicos	terracea fluvial superior, cordones, plataformas	terracea fluvial media	terracea fluvial inferior, llanura de inundación
litología (tipo de sedimento)	arenas medias a gruesas	arenas finas	limos y arcillas
antrópicos	riberas totalmente protegidas	riberas medianamente protegidas	riberas explotadas y desprotegidas

3.1.3. Riesgo de procesos de remoción en masa

Derrumbes y deslizamientos son las manifestaciones morfodinámicas más frecuentes de la inestabilidad de laderas. Los deslizamientos consisten en un descenso en masa de materiales rocosos sobre una ladera, a través de un plano de deslizamiento (plano de falla, estratigráfico, contacto litológico, etc). Los derrumbes, en cambio, se originan por el desplome gravitacional de una masa considerable de material rocoso, que da como resultado una acumulación caótica de rocas en el pie de vertiente (Flageollet, 1989; Guerey, 1987). Destacan entre los factores que explican la ocurrencia de este tipo de desastre: las condiciones climáticas,

morfométricas, morfológicas, litológicas, procesos hídricos, cobertura vegetal e intervención humana (Cuadro 4).

Los movimientos en masa obedecen a la fuerza de la gravedad, en cuya acción tiene importante participación el agua líquida contenida en el suelo y almacenada principalmente por alimentación pluvial. El umbral de intensidad de lluvia a partir del cual se desencadenan derrumbes y deslizamientos depende fundamentalmente del tipo de roca y de las condiciones de cobertura del suelo. Estudios realizados en California han mostrado que los deslizamientos en rocas sedimentarias terciarias, pueden ser causados por lluvias estacionales de hasta 250 mm. En Portland, Oregón, se ha observado que

sobre roca basáltica descompuesta, los deslizamientos antiguos pueden reactivarse con lluvias invernales que exceden los 200 mm por mes. En Japón se ha establecido que el número de deslizamientos aumenta, cuando existen tres días consecutivos de lluvias que exceden los 150 mm y con una intensidad de más de 20 a 30 mm por hora (Flageollet, 1989). Esta investigación ha comprobado que en el área metropolitana de Concepción, los derrumbes se intensifican cuando existen más de 100 mm de lluvia acumulada en 72 horas.

La ocurrencia de procesos de remoción en masa asociados a lluvias intensas, se relaciona directamente con la capacidad de retención de agua del suelo. Particularmente expuestos están los suelos con alto contenido de arcillas hidrófilas, los que luego de una lluvia se saturan siendo fácilmente movilizados por la acción de la gravedad. En este caso se encuentran los suelos derivados de la descomposición del granito y de la alteración de algunos estratos de lutitas intercaladas en las rocas Terciarias.

En cuanto a los factores morfométricos, la pendiente y forma de la ladera son factores genéticos relevantes. Los umbrales

de manifestación del fenómeno varían según la naturaleza de la roca (Flageollet, 1989; Gueremy, 1987). En las rocas graníticas y rocas sedimentarias del tipo arenisca, la pendiente umbral o pendiente de riesgo puede variar entre 25 y 30°, rango que muchas veces resulta por la intervención humana para emplazar redes viales, infraestructuras o habitaciones. Observando la forma, las pendientes que presentan menor riesgo son las pendientes regulares y las de mayor riesgo son las laderas convexas, con mayor declive en la base de ladera. Igualmente importantes son los escarpes de falla, puesto que éstos generalmente presentan pendientes topográficas fuertes y pueden tener mayor movilidad en caso de terremotos. Por último, también influye el manto de las capas en los relieves estructurados por rocas sedimentarias; los deslizamientos podrían intensificarse si la pendiente topográfica es conforme al manto (cerros situados en el margen occidental de la ciudad).

Finalmente, los terremotos a través de sus vibraciones, pueden ser el detonante para la ocurrencia de grandes derrumbes y deslizamientos, como los ocurridos en la Región de Los Lagos durante el terremoto de 1960 (Weischet, 1960).

Cuadro 4. Matriz de evaluación riesgo de derrumbe (peligrosidad)

Evaluación/factores de riesgo	1	2	3
pendientes	< 10°	10-20°	> 20°
morfología	terrazas, escarpe débil, plataforma, llanura	escarpe mediano	Escarpe fuerte
litología	roca sana, roca coherente	roca fracturada, semicoherente	roca alterada, roca incoherente
cobertura vegetal	cob. >75%	cob. 75-50%	cob. <50%

De la combinación de los factores de riesgo señalados en el Cuadro N°4 se deduce, que los sectores más amenazados por derrumbes en la zona estudiada son: las laderas y escarpes de la Cordillera de la Costa y de las plataformas Terciarias, cuyas pendientes superan los 20° (Figura 2).

3.1.4. Riesgo sísmico

Los sismos son fuertes e inesperadas vibraciones de la corteza terrestre que se producen principalmente en los sitios de roce de placas tectónicas. En el sector investigado, los terremotos son provocados por el desplazamiento de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana; se ha registrado al menos un terremoto de magnitud superior a grado 7 por siglo, con epicentro en el sector litoral de Concepción.

La magnitud del sismo se expresa en superficie con diferente intensidad, ya que

múltiples factores locales pueden modificar (ampliar o disminuir) la señal vibratoria. El método de microzonificación sísmica de Bard *et al.* (1988) y Warlitzky (1979), considera dos tipos de factores para la evaluación del riesgo sísmico: por una parte la modificación que el relieve y los estratos superficiales producen en la señal vibratoria y en segundo lugar, los efectos hídricos y morfológicos que el sismo tiene sobre los suelos (proceso de licuación, deslizamientos y derrumbes).

En cuanto al efecto producido por las características de los suelos, se tomaron en consideración las características sedimentológicas y estratigráficas del depósito o de la roca, presencia de fallas y fracturas, posición de la napa freática en relación a la superficie del suelo, ausencia o presencia de relleno artificial y pendiente topográfica (Cuadro 5).

Cuadro 5. Matriz de evaluación de riesgo sísmico (peligrosidad)

Evaluación/factores de riesgo	1	2	3
litología	roca sana, sedimentos homogéneos/coherentes	sedimentos finos, coherentes, roca semialterada	arcillas, limos, sedimentos heterogéneos/incoherentes roca alterada
estructuras (cercanía a la zona de falla)	> 200m de zona de falla	100-200m de zona de falla	<100m de zona de falla
pendiente topográfica	<20°	20-25°	> 25°
posición de la napa freática (profundidad desde la superficie)	>6m	3-6m	1-3m
presencia de relleno artificial	sin relleno	relleno poco potente y homogéneo	relleno potente y heterogéneo

De la agregación de los factores seleccionados, resultan con alto riesgo sísmico las siguientes áreas: paleocauces y humedales localizados en las llanuras de inundación de los ríos principales o en los bordes de las lagunas locales, cuya napa freática se sitúa cerca de la superficie y cuyos sedimentos son variados en el perfil vertical, dominando lechos de arcillas. Extremadamente riesgosas son las áreas húmedas que han sido además rellenadas artificialmente, como es el caso de las llanuras aluviales del río Andalién (Figura 2).

También presentan amenaza importante los sectores situados en las cercanías de los escarpes de falla, sea de la Cordillera de la Costa (cerro Caracol) o de las plataformas sedimentarias Terciarias. El riesgo en éstos, se asocia a la presencia de sedimentos variados donde alternan depósitos fluviales alóctonos tipo arenas medianas a finas de naturaleza volcánica, y coluvios de arenas y arcillas, procedentes de los afloramientos locales. A esto se agrega la cercanía de líneas de falla, el efecto inducido por el contacto entre el borde rocoso y la cuen-

ca sedimentaria y la posible ocurrencia de procesos de remoción en masa.

3.2. Zonificación y evaluación del factor vulnerabilidad

3.2.1. Vulnerabilidad sísmica

El área total vulnerable a los diferentes tipos de amenaza equivale al 75% del área de estudio y cubre una superficie de 1515 ha. (Figura 3). En caso de sismo, las áreas que se clasifican como de alta vulnerabilidad (Cuadro 6), presentan edificaciones en base a materiales mixtos (albañilería-madera; madera-internit), con evidentes problemas de deterioro en sus estructuras y en su mayoría se trata de viviendas de antigua data, que corresponden a la primera fase de expansión urbana de Concepción. Estas han sufrido los efectos del sismo de 1960 y en algunos casos incluso del terremoto de 1939, herencia de lo cual se observan señales de deterioro en sus materiales, lo que potencia una mala respuesta frente a un evento sísmico. Estos sectores ocupan una superficie de 429.7 hás. (Cuadro 7).

Cuadro 6. Matriz de evaluación de vulnerabilidad al riesgo sísmico.

Factor de vulnerabilidad	Evaluación			
	1	2	3	4
Material de construcción	Hormigón Acero	Madera	Albañilería	Mixta
N° de pisos	1	2-4	> de 4	
Edad (en años)	< 5	5 a 40	> de 40	
Estado de conservación (x2)	Bueno	Regular	Muy deteriorado	
Morfología (x2)	Recta	Curva		

Cuadro 7. Área vulnerable por cada tipo de amenaza o peligrosidad (en há.).

Amenaza/ Vulnerabilidad	Sismo	Inundación	Anegamiento	Procesos de remoción en masa
Alto	429.7	24.5	60.8	77.6
Medio	717.95	48.303	66.7	51.8
Bajo	367.5	4.6	28.3	48.1
Total	1.515,15	48.332,1	155.8	177.5

Evaluación

Las áreas de vulnerabilidad media obedecen a la presencia de viviendas antiguas, edificadas en base a materiales mixtos y albañilería, con más de dos pisos, que presentan un buen estado de conservación. En total alcanzan una superficie de 717.95 há. En tanto que los sectores de baja vulnerabilidad corresponden a edificaciones recientes, construidas en líneas simples, materiales homogéneos (acero, hormigón armado, albañilería y madera), en buen

estado de conservación y comprenden una superficie total de 367.5 há (Figura 3).

3.2.2. Vulnerabilidad a las inundaciones fluviales

Las áreas de alta vulnerabilidad frente a la amenaza de inundación, se caracterizan por la presencia de viviendas de madera de un piso, con señales de deterioro y una orientación perpendicular a la corriente fluvial desbordada. Abarcan una superficie total de 24.5 há (Cuadro 8).

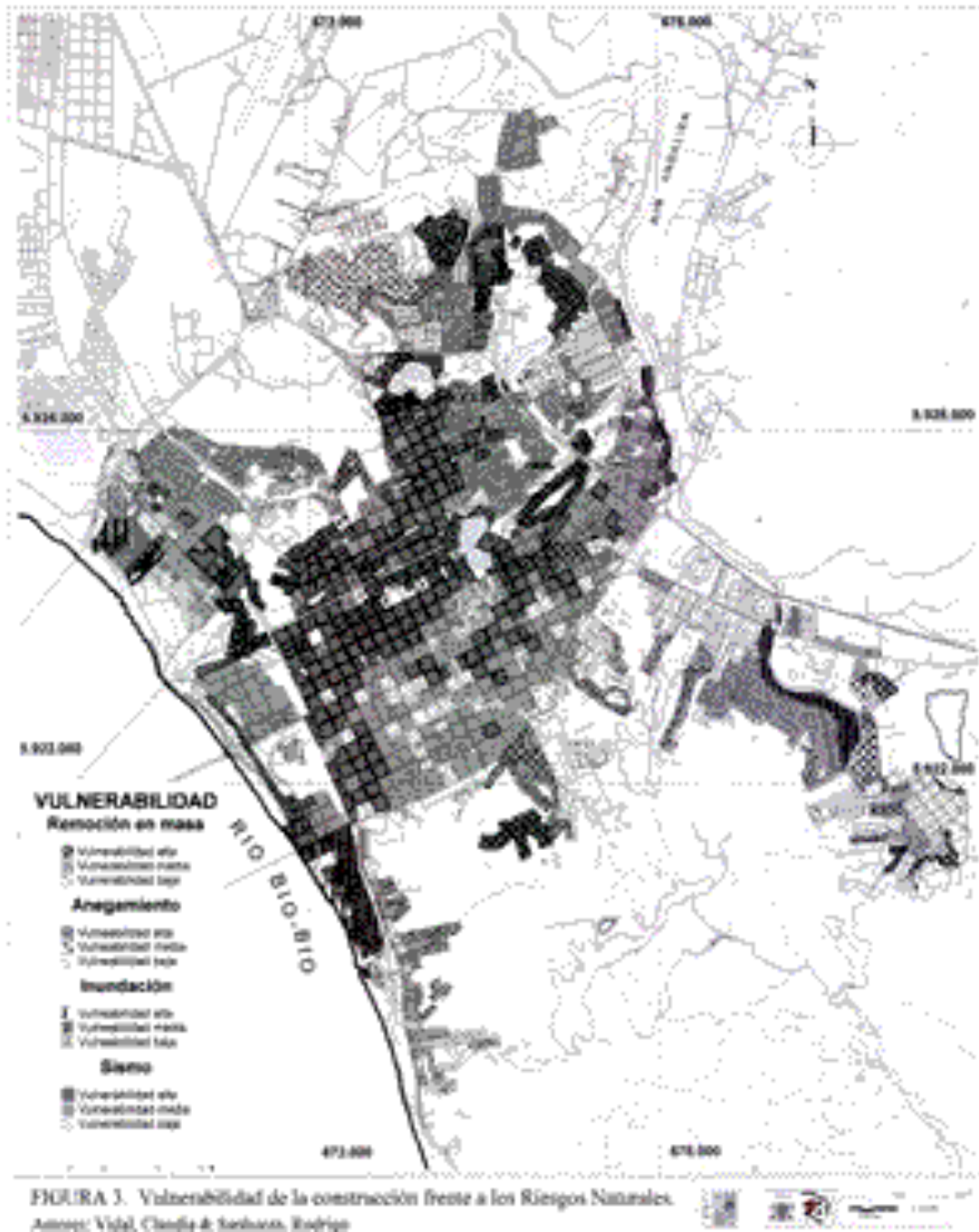
Cuadro 8. Matriz de evaluación de la vulnerabilidad al riesgo inundación.

Factor de vulnerabilidad	Evaluación		
	1	2	3
Material de construcción	Hormigón Acero	Albañilería Mixta	Madera
N° de pisos	>de 4	2-4	1
Edad (en años)	<5	5 a 40	>de 40
Estado de conservación (x2)	Bueno	Regular	Muy deteriorado
Orientación (x2)	Paralela al flujo desbordado	Oblicua al flujo desbordado	Perpendicular al flujo desbordado

La vulnerabilidad media está determinada por viviendas de madera y mixtas, de uno y dos pisos, en regular estado de conservación con una disposición oblicua a un probable flujo desbordado. Cubre una superficie de 48.3 há. Por último, las áreas de vulnerabilidad baja frente a inundación fluvial se presentan en pequeños

núcleos del radio urbano, donde predominan edificaciones de hormigón armado y acero, asociadas a más de cuatro pisos, que por su volumen y características, cuentan con sólidas bases de sustentación. Comprenden una superficie total de 4.6 há.

Figura 2. Vulnerabilidad de la construcción frente a los riesgos naturales



3.2.3. Vulnerabilidad frente a anegamientos

Se detectaron núcleos de alta vulnerabilidad en sectores donde predominan viviendas de madera, de un piso, antiguas y con un estado de conservación de regular a malo (Cuadro 9). En su estructura se observan vestigios de eventos anteriores, tales como manchas y presencia de hongos en las paredes. Esta zona abarca una superficie de 60.8 hás. Las áreas de vulne-

rabilidad media están asociadas a viviendas de albañilería y materiales mixtos, de un piso, con señales de deterioro producto de eventos anteriores. La superficie afectada se estima en 66.7 hás. Edificaciones en buen estado de conservación, construidas en materiales sólidos como: hormigón, acero y albañilería, se han registrado como sectores de baja vulnerabilidad. Células de este último tipo se dispersan en el radio urbano sobre una superficie de 28.3 hás.

Cuadro 9. Matriz de evaluación de vulnerabilidad al riesgo de anegamiento

Factor de vulnerabilidad	Evaluación		
	1	2	3
Material de construcción	Hormigón, Acero	Albañilería Mixta	Madera
Nº de pisos	>4	2-4	1
Edad (en años)	< 5	5 a 40	>de 40
Estado de conservación (x2)	Bueno	Regular	Muy deteriorado

3.2.4. Vulnerabilidad frente a procesos de remoción en masa

En relación a la vulnerabilidad de las construcciones ante procesos de remoción en masa, se estableció que células de alta vulnerabilidad están definidas por viviendas de madera y material mixto, de un piso, muy deterioradas y con una orientación perpendicular a la dirección del proceso de remoción. La superficie vulne-

rable es de 77.6 hás. Las viviendas evaluadas con vulnerabilidad media se caracterizan por estar construidas en albañilería o material mixto, de 2 a 4 pisos y presentar un regular estado de conservación. El factor que determina su nivel de vulnerabilidad es la orientación oblicua a la ladera. Viviendas con estas características suman una superficie de 51.8 hás. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Matriz de evaluación de la vulnerabilidad al riesgo de remoción en masa

Factor de vulnerabilidad	Evaluación		
	1	2	3
Material de construcción	Hormigón Acero	Albañilería Mixta	Madera
Nº de pisos	>de 4	2-4	1
Edad (en años)	< 5	5 a 40	>de 40
Estado de conservación (x2)	Bueno	Regular	Muy deteriorado
Orientación (x2)	Paralela	Oblicua	Perpendicular

La baja vulnerabilidad de las viviendas está definida por construcciones resistentes, generalmente de estructuras metálicas, de dos pisos que presentan un buen estado de conservación y una orientación paralela al proceso de remoción en masa; éstas se extienden sobre una superficie de 48.1 hás. (Sanhueza y Vidal, 1996)

En la Figura 3 se distinguen claramente los sectores de mayor vulnerabilidad frente a los distintos riesgos estudiados. Estos se localizan preferentemente en los sectores de contacto del río Andalién con los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa o con las plataformas sedimentarias, Barrio Norte, sectores Laguna Las Tres Pascualas y Santa Sabina; dichos sectores presentan alta vulnerabilidad frente a sismos, inundaciones fluviales, anegamientos y/o derrumbes. A ello se suma la alta peligrosidad del sitio de emplazamiento de dichos sectores y el bajo nivel socioeconómico de la población que los habita, situación que dificulta la posibilidad de introducir mejoras en sus viviendas a objeto de reducir las condiciones de vulnerabilidad.

3.3. Zonificación y evaluación del factor exposición

El área de estudio comprende un total de 1404 manzanas (unidad mínima censada) y 195.442 habitantes (Censo 1992), cifra que aumentó según estimaciones recientes del INE (1998) a 219.700 habitantes. Al interior de ella, se distinguen tres áreas de exposición: exposición baja (manzanas con menos de 100 habitantes), media (entre 100 y 200 habitantes) y alta (más de 200 habitantes). La Figura 4 muestra la distribución de los distintos tipos identificados; de su interpretación se puede destacar lo siguiente:

Los sectores de alta exposición ocupan una superficie de 694.96 hás. involucrando a 83.994 personas. Estas áreas se carac-

terizan por presentar agrupaciones de manzanas que concentran más de 2.000 hab. por unidad. Ellas se dispersan de manera irregular, preferentemente en los márgenes del casco urbano y están potencialmente expuestas a varios tipos de amenazas naturales (inundación, remoción de masa, anegamiento y sismicidad). Las altas densidades se explican por la presencia de numerosos pasajes y viviendas pequeñas ocupadas generalmente por varias familias.

Las áreas de exposición media, en general corresponden a poblaciones nuevas, con viviendas unifamiliares, planificadas, con características homogéneas en la distribución de los sitios y tipos de viviendas. Abarcan una superficie de 596.8 hás. y concentran una población de 71.302 habitantes. Las áreas de exposición baja se localizan en los barrios tradicionales del centro de la ciudad, donde predominan viviendas unifamiliares amplias. También se observan en sectores periféricos donde el uso agrícola del suelo (presencia de chacras y huertos) frena la densificación poblacional. Abarcan una superficie de 223.4 hás. y comprenden una población de 40.146 habitantes.

3.4. Evaluación y zonificación de las áreas de riesgo natural de carácter geomorfológico en la ciudad de Concepción

De la agregación cartográfica de los tres factores de riesgo: peligrosidad, vulnerabilidad y exposición se ha obtenido la zonificación y evaluación de los riesgos naturales en la ciudad de Concepción. El Cuadro 11 muestra los umbrales que fueron utilizados para este propósito. La Figura N°5 contiene la cartografía integrada de los riesgos naturales: áreas de riesgo sísmico, inundación fluvial, anegamiento y procesos de remoción en masa, expresadas en cuatro categorías. Extremo, Alto, Medio y Bajo. El Cuadro N°12 sintetiza la superficie y número de habitantes afectados.

Figura 4. Exposición frente a los riesgos naturales.

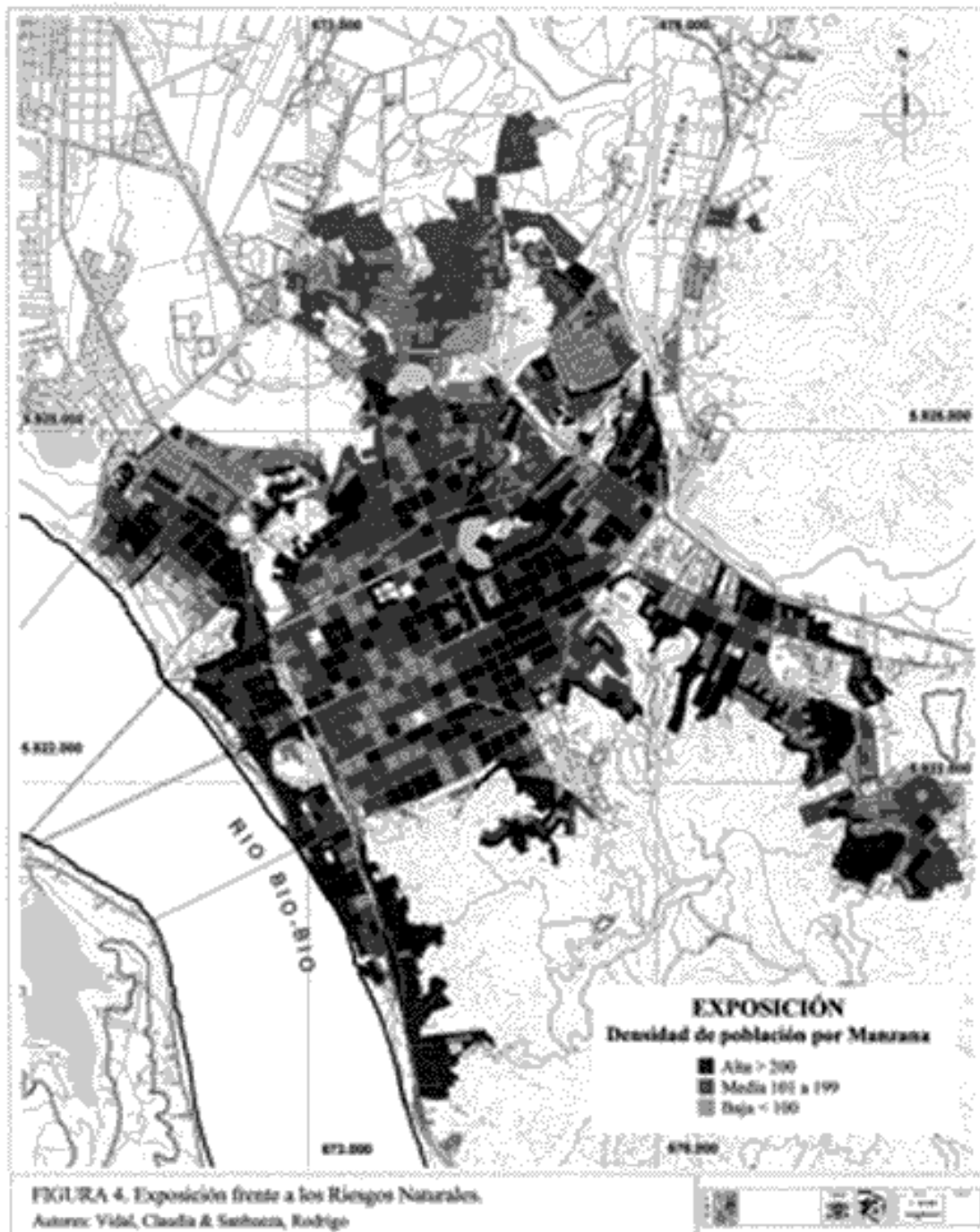
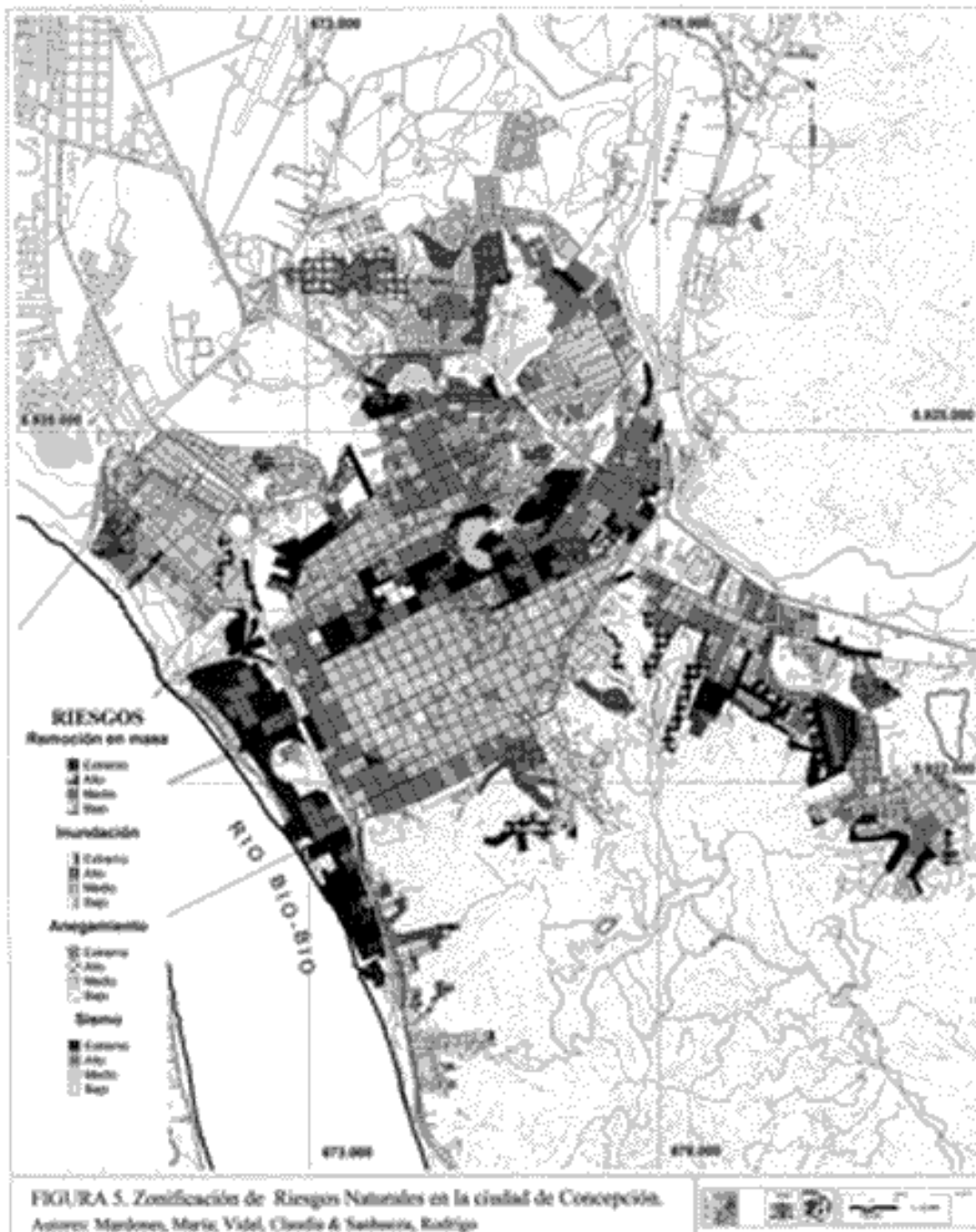


Figura 5. Zonificación de riesgos naturales de la ciudad de Concepción



Cuadro 11. Categorización y umbrales de Riesgo

TIPO DE RIESGO	EVALUACIÓN (agregación de puntajes de cada factor)			
	Bajo	Medio	Alto	Extremo
Sismo	6-9	10-14	15-17	18-21
Inundación	9	10-14	15-17	18
Anegamiento	9	10-14	15-17	18
Procesos de remoción en masa	9	10-14	15-17	18

Cuadro 12. Superficie y población expuesta a riesgo natural

Riesgo	Sismo		Inundación		Anegamiento		Procesos de remoción en masa	
	Sup.(hás)	Hab.	Sup.(hás)	Hab.	Sup.(hás)	Hab.	Sup.(hás)	Hab.
Extremo	142.53	31.500	42.0	6.706	18.8	3.548	29.0	3.363
Alto	328.28	54.021	81.723	9.460	40.9	8.372	39.9	5.441
Medio	578	83.720	14.5	959	38.1	5.296	95.57	7.223
Bajo	300	26.201	-	-	17.4	1.234	13.1	1.969
Total	1348.8	195.442	138.22	17.125	115.2	18.450	177.57	17.996

Se evaluó como de riesgo sísmico extremo sectores de alta peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, principalmente localizados en áreas depresionarias constituidas por materiales sedimentarios poco consolidados, rellenos artificiales y cuya napa freática se encuentra cercana a la superficie; se emplazan allí casas antiguas, con serios problemas de deterioro y una exposición de más de 200 personas por manzana. Un total de 31.500 hab. serían afectados por este tipo de amenaza.

Las áreas expuestas a riesgos de inundación son bastante limitadas en la ciudad de Concepción; se emplazan preferentemente en las cercanías del río Andalién (Universidad del Bío-Bío), riberas del Estero Nonguén y ribera del Bío-Bío al Este del Puente Viejo (sector Pedro de

Valdivia Bajo). El manejo reciente de la ribera Norte del Bío-Bío ha disminuido notablemente el riesgo de inundaciones estacionales, para caudales *peak* de 5 años. El riesgo extremo y alto se presenta en áreas ribereñas donde la geomorfología y topografía dificultan el escurrimiento; estas zonas pueden ser afectadas por crecidas con períodos de retorno en 20 años, que afectarían a sectores con gran densidad de población (>200 hab./manzana) y económicamente deprimidos. El riesgo se intensifica por la alta vulnerabilidad de las viviendas de madera, de un piso.

Los anegamientos presentan un nivel de riesgo extremo en sectores de terrenos bajos, con napa freática superficial y presencia de suelos impermeables que de-

terminan su alta peligrosidad. A esto se agrega la alta vulnerabilidad que otorgan al sector el predominio de viviendas de madera, de un piso y mal conservadas, y una exposición de más de 200 habitantes por manzana. El riesgo alto se presentó en sectores populosos donde la principal razón de los frecuentes anegamientos es la insuficiencia de los colectores de aguas lluvias para su evacuación.

Los riesgos extremos asociados a procesos de remoción en masa, se observaron fundamentalmente en las laderas y escarpes de cerro, donde a la fragilidad de las viviendas de madera, de un piso, se une una densidad poblacional alta y alta peligrosidad natural, explicada por las fuertes pendientes ($>20^\circ$), estructuradas en roca meteorizada en profundidad, suelos arcillosos y presencia de fallas geológicas (Galli, 1967; Mardones, 1978; Mardones *et. al.* 1995).

4. Conclusión

Del análisis precedente, se concluye que el sitio de emplazamiento de la ciudad de Concepción presenta una compleja concurrencia de riesgos naturales. A la gran variedad de factores naturales que confluyen a detonar la amenaza: intensidad de lluvia diaria con grandes fluctuaciones interanuales y grandes y recurrentes terremotos, se agregan factores de peligrosidad como: geomorfología asociada a una tectónica de bloque, presencia de una zona deltaica cuyos drenes testimonian divagaciones de sus cauces, variedad de depósitos y de procesos morfogenéticos, etc. La acción humana y las características de la población que ocupa el territorio, contribuyen a hacer efectiva la potencialidad de los desastres, al incrementar los factores vulnerabilidad y exposición. En efecto, la mayor parte de los sectores evaluados con riesgo extremo, coinciden con áreas densamente pobladas y económicamente desmedradas y

cuyas viviendas se presentan vulnerables a la mayor parte de las amenazas.

Este estudio muestra que los riesgos se incrementan como consecuencia de una urbanización que ignora la capacidad de acogida del territorio. Para los organismos públicos y privados, tanto como para los particulares, se trata de urbanizar como si el cuadro físico fuera indiferente a esta brutal mutación de la ocupación humana, lo que lleva a evadir incluso las mínimas prescripciones legales existentes. Las razones de esta situación son financieras, jurídicas y/o políticas. El uso de los escasos presupuestos municipales principalmente destinados a la solución de problemas sociales, de vialidad y urbanización, no deja lugar a un trabajo sistemático correctivo y de prevención del riesgo, por lo cual se actúa solo en las situaciones de emergencia.

Ciertamente la comparación entre las zonas de riesgo y los procesos urbanos verificados en la segunda mitad del siglo XX son preocupantes: se estima que en el periodo 1954-2000, la ciudad se expande 11.94 km² de los cuales el 71% (8.46 km²) corresponden a áreas expuestas a diferentes tipos de amenazas naturales de carácter geomorfológico y de vulnerabilidad y exposición alta a media. Sin duda, el crecimiento futuro de la ciudad continuará esta misma tendencia, puesto que las zonas no expuestas a peligros naturales ya están densamente pobladas.

Los resultados precedentemente descritos pueden ser útiles para la elaboración de una política general de actuaciones encaminada a reducir los riesgos, a través de medidas correctivas y de prevención, a la vez que facilitarían la selección de prioridades al momento de concretar inversiones orientadas a mejorar el ordenamiento territorial de la ciudad de Concepción.

Se han delimitado las zonas con distintos niveles de peligrosidad a fin de que sirvan como instrumento preventivo en la planificación de usos. Dado que no es factible controlar la amenaza, es conveniente mejorar la respuesta de la sociedad frente a la activación de ésta, por medio de una estrategia de prevención y de actuación en emergencia, ya que se ha comprobado que los costos de elaboración y ejecución de un plan de prevención, son menores que los esfuerzos económicos que se requieren para la reconstrucción tras una catástrofe.

Se propone evitar todo tipo de uso con instalaciones permanentes o construcción de poblaciones en las zonas estimadas como de alta peligrosidad. En las zonas de peligrosidad intermedia se puede autorizar ciertos tipos de uso, señalando la necesidad de diseños especiales o la aplicación de medidas de corrección y/o de prevención para disminuir los efectos indeseados.

La eficacia de las medidas de reducción de la vulnerabilidad, depende de la consideración que se haga del período de retorno, por cuanto mientras menor es el período de retorno del diseño, menos costoso resulta éste y menor es el período cubierto, con lo que aumenta la vulnerabilidad de las edificaciones y por ende el impacto, magnitud e intensidad de la catástrofe (Ayala-Carcedo, 1993). Por ello, es necesario diseñar construcciones que estén de acuerdo con los umbrales máximos de los peligros naturales del área. Junto a esto, es fundamental que la estrategia preventiva contemple que determinados servicios y centros vitales queden a resguardo, como son: hospitales, bomberos, carabineros y especialmente, aquellos que tienen bajo su tuición la aplicación de los planes de emergencia.

En cuanto a la exposición de la población, es fundamental la aplicación de planes de ordenamiento del territorio, que

consideren las áreas de peligrosidad, con umbrales máximos históricos de amenazas naturales, privilegiando el uso recreacional y de áreas verdes en éstas. Al mismo tiempo, se debe incentivar la densificación en aquellas áreas exentas de peligro, ya que con ello se disminuye en gran medida la exposición de la población.

Este estudio es además útil para la preparación de planes de protección civil que debieran incluir la estructuración de planes de actuación frente a emergencias y la programación de actividades de educación y divulgación entre los grupos de intervención y público en general. Este problema de organización está a cargo de instituciones gubernamentales (Ministerio del Interior, ONEMI, OREMI). En un plan de emergencia debiera disponerse un procedimiento de evaluación inmediata de la situación, así como de su evolución; un análisis previo de la vulnerabilidad en las zonas de alto riesgo facilitará la evaluación de los recursos necesarios para hacer frente a los efectos adversos de la emergencia (servicios de rescate y salvamento, áreas de resguardo y alojamiento, preparación de hospitales, etc.)

Para que las actuaciones en esta materia sean eficaces, es importante contar con un organismo local con fuerte capacidad de gestión para establecer canales y sistemas de información con las autoridades locales y el público en general (educación), a fin de que se adopten las medidas legislativas y de prevención que sean viables a nivel colectivo e individual.

Se espera finalmente, que estos resultados orienten la elaboración de una normativa de construcción y urbanización más acorde con las características locales, que contribuyan a tomar conciencia por parte de las autoridades acerca de la presencia de una dinámica natural que estará siempre presente en el sitio urbano de Concepción y que los métodos aquí emplea-

dos estimulen investigaciones preventivas del riesgo en ésta y en otras ciudades del país.

5. Referencias bibliográficas

- Alarcón, Fabiola (1995). "Evaluación de los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción, a través de la información del Diario El Sur", Memoria para optar al título de Licenciado en Educación, Concepción: Universidad de Concepción.
- Anguita, Francisco y Fernando Moreno (1994). *Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental*, Madrid: Editorial Rueda.
- Aros, V.; Vargas, J. y M. Condemarin (1995). "Rastreo de crecidas en el bajo Bío-Bío. Aplicación a problemas de inundación", Memorias XII Congreso de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago: Tomo 2, Vol. 1: 257-271.
- Ayala-Carcedo, Francisco (1993). "Estrategias para la reducción de desastres naturales", *Investigación y Ciencia* 200: 6-13.
- Ayala-Carcedo et al. (1988). *Riesgos Geológicos*, Madrid; Instituto Geológico y Minero de España.
- Bard, P.; Meneroud, J. y P. Mouroud (1988). "Microzonage sismique: Application aux plans d'exposition aux risques", París: Informe PER-Francia.
- Cruz, E. et al. (1990). *Lecciones del sismo de marzo de 1985*, Santiago: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
- Coque, Roger (1977). *Geomorfología*, París: Editorial Armand Collin.
- Devynck, Jean L. (1970). "Contribución al estudio de la circulación atmosférica en Chile y el clima de la VIII Región", Concepción: Universidad de Concepción.
- DIRDN (1996). "Día Internacional para la reducción de los desastres", 09 de octubre de 1991.
- Endlicher, W. (1985). "Geookologische Untersuchungen zur Landschaftsdegradation in kustenberofand von Concepción, Chile", Tesis Doctoral, Universität Freiburg.
- Essmann, Cecilia (1997). "Zonificación, análisis y evaluación de los desastres naturales en el área metropolitana de Concepción, entre los años 1985-1920", Memoria para optar al título de profesor de Historia y Geografía, Concepción: Universidad de Concepción.
- Flageollet, J.C. (1989). *Les mouvements de terrain et leur prevention*, París: Editorial Masson.
- Galli, Carlos (1967). "Geología Urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano", Concepción: Universidad de Concepción.
- Gómez, Domingo (1994). *Ordenación del territorio. Una aproximación desde el Medio Físico*, Madrid: Editorial Agrícola Española.
- Gueremy, P. (1987), «Rapport introductif. Actes de Premier Forum française de Geomorphology», *Revue de Geomorphology Dynamique*, 36,3: 30-45.
- Hauser, A (1991). "Aluviones que afectaron a la ciudad de Antofagasta, II Región, el día 18 de junio de 1991", Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minas, Informe inédito.
- Hernández, Hilario (2001). "El sistema urbano regional", Instituto Geográfico Militar, *Geografía de la VIII Región del Bío-Bío*, Santiago: Instituto Geográfico Militar: 313-420.
- INE (1998). *Chile: División Política, Administrativa y Censal*, Santiago: INE.
- INE (1999). *Panorama Comunal. Síntesis Estadística*, Santiago: INE.
- Larraín, Patricio y Housley Simpson (1994). *Percepción y Prevención de catástrofes naturales en Chile*, Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Larraín, Patricio (1992). "El sistema natural en la planificación urbana chilena", *Revista Geografía Norte Grande*, 19:58-68.
- Mardones, María (1978). *El sitio geomorfológico de las ciudades de Concepción y Talcahuano*, Instituto de Antropología, Historia y Geografía, Concepción: Universidad de Concepción.

- Mardones, M. y E. Jaque (1991). «Geomorfología del valle del río Laja», Extensos de Ponencias y Seminarios Congreso Ciencias de la Tierra, Santiago: Instituto Geográfico Militar: 115-121.
- Mardones, M. et al. (1995). "Zonificación y evaluación de riesgos naturales, en el área metropolitana de Concepción. Informe Final Fondecyt 92-0251.
- Naranjo, J. y J. Varela (1996). "Flujos de detritos y barro que afectaron al sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993", *Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minas*, 47: 5-42.
- ODEPLAN (1985). *Plan de reconstrucción sismo de marzo de 1985*, Santiago: Editorial Oficina de Planificación Nacional, Tomo I.
- Parra, O. et al. (1994). "Caracterización física y química y evaluación de la calidad para uso múltiple del agua del río Bío-Bío (Chile Central)", *Serie Monografías Científicas EULA*, 12:15-159.
- Peña, F.; Tavares, C. y M. Mardones (1993). "Las condiciones climáticas como factor de riesgo en la comuna de Talcahuano", *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 38: 83-107.
- Ribas, Anna; Roset, Dolors y Montserrat Pujadas (1995). "Planeamiento urbanístico y zonificación de espacios inundables. Una aplicación a la ciudad de Girona", *Ciudad y Territorio*, III, 106: 841-859.
- Romero, Hugo (1985). "Geografía de los climas", Instituto Geográfico Militar, *Co-lección Geografía de Chile. Tomo XI*. Santiago: Instituto Geográfico Militar.
- Sanhueza, Rodrigo y Claudia Vidal (1996). "Análisis integrado de Riesgos naturales en la ciudad de Concepción", Tesis para optar al título de Licenciado en Historia y Geografía, Concepción: Universidad de Concepción.
- Tarlet, J. (1984). *La planification ecologique. Méthodes et Techniques*, París: Editorial Económica.
- Urrutia, Rosa y Carlos Lanza (1993). *Catástrofes en Chile, 1541-1992*, Santiago: Editorial La Noria.
- Utz, Ricardo (1992). "Normativa de edificación y urbanización en el área metropolitana de Concepción", Informe elaborado para el Proyecto Fondecyt 92-0251, inédito.
- Watanabe, T. y J. Karzulovic (1960). "Los movimientos sísmicos del mes de mayo en Chile", *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, 17: 43-87.
- Warlitzky, S. (1979). "Un estudio de los factores de amplificación sísmica de los suelos", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Weischet, Wolfrang (1960). "Contribución al estudio de las transformaciones geográficas en la parte septentrional del Sur de Chile, por efecto del sismo del 22 de mayo de 1960", *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile*, 17:95-128.