



Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana
de Geografía

ISSN: 0121-215X

rcgeogra_fchbog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Espinoza Lizama, Claudia

Propuesta metodológica para establecer áreas de riesgo por remoción en masa, Chile Proposta
metodológica para estabelecer áreas de risco por remoção em massa, Chile
Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía, vol. 22, núm. 2, julio-diciembre, 2013,
pp. 145-169
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281826970006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Propuesta metodológica para establecer áreas de riesgo por remoción en masa, Chile*

Proposta metodológica para estabelecer áreas de risco por remoção em massa, Chile

A Methodological Proposal for the Establishment of Areas at Risk for Landslides in Chile

Claudia Espinoza Lizama**

Universidad del Bío Bío, Chile

Resumen

Este estudio propone una metodología para delimitar áreas susceptibles al riesgo por remoción en masa, para ello se hace un análisis de los estudios llevados a cabo por la Universidad del Bío Bío: Estudio de riesgos de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío, Chile y Estudio de riesgo-informe antisísmico PRC de Renaico, región de la Araucanía, Chile. Los Planes Reguladores Comunales (PRC), en Chile son los instrumentos normativos más importantes dentro de la planificación de las áreas de riesgo del territorio nacional, sin embargo, estos instrumentos carecen de metodologías específicas que determinen de forma adecuada las áreas susceptibles al riesgo por remoción en masa.

Palabras clave: áreas de riesgo, planes reguladores, planificación territorial, remoción en masa, usos del suelo.

Resumo

Este estudo propõe uma metodologia para delimitar áreas suscetíveis ao risco por remoção em massa, para isso se faz uma análise dos estudos realizados pela Universidad Del Bío Bío: Estudo de riscos de terremotos e maremotos para comunidades ribeirinhas da região do Bío Bío, Chile e Estudo de relatórios de riscos antissísmico PRC de Renaico, região da Araucanía, Chile. O Plano Diretor Comunal (PRC), no Chile, é o instrumento normativo mais importante dentro do planejamento das áreas de risco do território nacional; no entanto, estes instrumentos carecem de metodologias específicas que determinem de forma adequada às áreas suscetíveis ao risco por remoção em massa.

Palavras-chave: áreas de risco, planos diretores, planejamento territorial, remoção em massa, usos do solo.

Abstract

This study proposes a methodology to delimit areas at risk for landslides, on the basis of the analysis of the following studies carried out by the University of Bío-Bío: "Study of Earthquake and Tsunami Risks for the Coastal Communities of the of Bío-Bío Region, Chile" and "PRC Risk Study-Anti-seismic Report for Renaico, Araucanía Region of Chile". In Chile, the Communal Regulatory Plans (PRC), the main regulatory instruments for risk-planning in the national territory, lack specific methodologies to adequately identify areas at risk for landslides.

Keywords: risk areas, regulatory plans, territorial planning, landslides, land uses.

RECIBIDO: 20 DE ENERO DEL 2012. ACEPTADO: 6 DE SEPTIEMBRE DEL 2012.

Artículo de investigación sobre la forma en que se delimitan áreas potenciales en riesgo por remoción en masa en Chile. Se toman en cuenta las variables que desencadenan y facilitan el hecho. Es de considerar que, entre los instrumentos legales que ordenan el territorio chileno, no existe una metodología clara de trabajo para determinar las zonas en riesgo por este fenómeno.

* El presente artículo se basa en los siguientes estudios realizados para delimitar zonas de riesgo por remoción en masa: el *Estudio de riesgos de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío*, desarrollado por la Universidad del Bío Bío y patrocinado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE), entre mayo del 2010 y enero del 2011, en el que la autora participó como jefe de proyecto del tema de estudio; y el *Estudio de riesgo-informe antisísmico: anteproyecto Plan Regulador Comunal (PRC) de Renaico, localidades de Renaico y Tijeral, región de La Araucanía, Chile, 2010-2011*, elaborado por la Universidad del Bío-Bío, y patrocinado por la Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo (SEREMI MINVU), desarrollado entre octubre del 2010 y mayo del 2011; en el que la autora participó como jefe de proyecto de riesgos.

** Dirección postal: La Castilla s/n, Chillán, región del Bío Bío (Chile).
Correo electrónico: cespinoza@ubiobio.cl

Introducción

Uno de los riesgos geofísicos más estudiados y con mayor registro histórico en un país como Chile, ubicado en una zona de subducción de placas, y que tiene miles de kilómetros de costa, es el asociado con los maremotos (tsunamis). Sin embargo, como quedó en evidencia en el terremoto del 27 de febrero del 2010, la *remoción en masa* constituye otro de los fenómenos geofísicos más recurrentes, con sismos de gran intensidad; los cuales, en general, causan grandes daños a las viviendas, equipamiento e infraestructura, y pérdidas en vidas humanas.

La ‘remoción en masa’, *landslide*, se define como el deslizamiento de una parte del material superficial (suelos, agregados, rocas) de una ladera, por la acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta encontrar un nuevo punto de reposo en el que el material alcanza un estado de equilibrio. El concepto de remoción en masa engloba una serie de procesos geofísicos, conocidos como: flujos (de barro, de detritos, laháricos, rep-tación y solifluxión), deslizamientos (bloques rocosos, detritos), desprendimientos y aludes (Cruden 1997).

Los principales factores que influyen en los procesos de remoción en masa están asociados con la litología-geología de un lugar; el tipo de suelo, la pendiente (a mayor pendiente, mayor amenaza); las precipitaciones y condiciones climatológicas (intensidad y cantidad de precipitaciones); los sismos intensos; la cobertura y tipo de vegetación, y las actividades ejercidas por el hombre (deforestación, construcción sin medidas de mitigación, entre otras) (Mardones y Vidal 2001).

Dadas las graves pérdidas en infraestructura, viviendas, equipamiento y vidas humanas que eventualmente pueden generar los movimientos de remoción en masa, los instrumentos de planificación territorial, principalmente los Planes Reguladores Comunales —en adelante, PRC—, llevan a cabo estudios de riesgos geofísicos, en los que se definen zonas con riesgo alto, medio y bajo de remoción en masa, para que sean consideradas en la zonificación final de usos del suelo (Términos de referencia de la SEREMI-MINVU de la Araucanía 2011).

Se considera que:

El Ordenamiento Territorial (OT) es más que la Planificación Territorial, es un proceso continuo e iterativo que integra, tanto instrumentos de planificación territorial y sectorial, como la planificación con la gestión. En este sentido el OT no es simplemente una herramienta

de administración territorial, sino pretende ser un instrumento de gestión del desarrollo territorial. (Alarcón Fuentes 1995, 49)

Por tanto, es fundamental realizar una adecuada zonificación de las áreas en riesgo por remoción en masa en los PRC, para lo cual es necesario establecer un proceso metodológico aplicable en todas las áreas comunales.

El presente artículo, propone un modelo metodológico para establecer áreas de riesgo por remoción en masa, en el marco de la elaboración de PRC, a través del estudio de los casos de las investigaciones realizadas por la Universidad del Bío Bío: *Estudio de riesgos de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío, Chile* (que se enmarca en el Plan Nacional de Reconstrucción, dirigido a enfrentar los daños ocasionados por el sismo del 27 de febrero del 2010 en las comunas costeras de la región), y *Estudio de riesgo-informe antisísmico Anteproyecto PRC de Renaico, localidades de Renaico y Tijeral, región del Bío Bío, Chile*.

Metodología

Las regiones más avanzadas del planeta han desarrollado diversos medios de defensa en caso de ocurrencia de un desastre natural, lo que funciona de manera relativamente eficaz. Esto no sucede en países menos desarrollados, pues la mayoría de los países en vías de desarrollo —como en el caso de Chile— no cuentan ni con una adecuada planificación para los asentamientos humanos, ni con medidas de seguridad y sistemas de alerta temprana (medidas de mitigación) (Lavell 1997).

Los desastres naturales corresponden al efecto perturbador que provoca sobre un territorio un episodio natural extraordinario y que, a menudo, supone la pérdida de vidas humanas (Ayala Carcedo y Olcina 2002). Una forma de medir la incidencia de estos fenómenos sobre el paisaje cultural es evaluando el ‘riesgo natural’, definido como la probabilidad de ocurrencia en un lugar y en un momento determinados de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad, capaz de causar daño a las personas y a sus bienes. La magnitud del riesgo de los desastres naturales depende de la amenaza y del grado de vulnerabilidad de la población, los cuales no pueden considerarse de manera independiente; es decir, la amenaza no existe sin que un elemento presente vulnerabilidad ante ella, y viceversa (Chardon 2002).

Para la evaluación del riesgo se ha propuesto una gran cantidad de ecuaciones, siendo la más utilizada por la comunidad científica aquella que define el riesgo en función de la amenaza y la vulnerabilidad:

$$\text{Riesgo (R)} = \text{Amenaza (A)} \times \text{Vulnerabilidad (V)}$$

La ‘amenaza’ es considerada como el peligro latente, o factor de riesgo externo, de un sistema expuesto; puede ser expresada matemáticamente como la probabilidad de exceder el nivel de ocurrencia de un suceso con cierta intensidad, en un sitio específico y en un período de tiempo dado (ONEMI 1996).

La ‘vulnerabilidad’, en tanto, puede definirse como la susceptibilidad al daño o destrucción de los elementos culturales por un fenómeno extremo. Está condicionada por el grado de exposición al fenómeno (que alude a la población medida en número de habitantes o de bienes por unidad de superficie, situados al interior de una zona de peligro) y por la resistencia a este (ONEMI 1996).

Para realizar este estudio se establecieron tres etapas:

En primer lugar, una revisión de antecedentes generales y específicos de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones —en adelante, OGUC—, específicamente del título II, capítulo I, artículo 2.1.17, en el que se establece que los PRC deben delimitar las áreas de riesgo para la planificación territorial.

Una segunda etapa, en la que se analizaron los pasos metodológicos empleados para delimitar las áreas de riesgo por remoción en masa en los ya mencionados estudios realizados por la Universidad del Bío Bío.

Finalmente, en una tercera etapa, se estableció un modelo metodológico para realizar estudios de remoción en masa, según lo que contempla la ordenanza OGUC y lo que se indagó en los estudios desarrollados por la Universidad del Bío Bío.

Resultados

Primera etapa: análisis de la OGUC para los PRC

Los instrumentos encargados del ordenamiento territorial en Chile, a nivel nacional y local, son indicativos y normativos:

Instrumentos indicativos orientadores del desarrollo:

- La estrategia regional de desarrollo (nivel meso)
- Los planes de desarrollo comunal (nivel local)
- La zonificación de uso del borde costero (nivel micro)

Instrumentos normativos de planificación territorial:

- Plan regulador metropolitano (nivel meso)
- Planos reguladores comunales (nivel local)
- Límite urbano (nivel local)
- Planes seccionales (nivel micro)

Los instrumentos indicativos que ordenan el territorio y que están contemplados en la legislación vigente son de gestión, y tienen por objetivo contribuir a ordenar, sistematizar y orientar el proceso de desarrollo de los territorios según las demandas de la sociedad, para entregar un marco de referencia en el proceso de toma de decisiones. Mientras que los instrumentos normativos reglamentan o regulan el uso del suelo, tanto de los territorios bajo régimen de propiedad privada como de los de propiedad pública. Estas regulaciones restringen o permiten el desarrollo de determinados usos del suelo, siendo los estudios de riesgos la base para cualquier proceso de ordenamiento territorial.

A escala local, el instrumento normativo más importante en Chile son los PRC, debido a que poseen —indicado en la Ley General de Urbanismo y Construcciones que se desglosa en la OGUC, modificado en su artículo por la Dirección de Desarrollo Urbano (DDU) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el 1 de diciembre del 2009— la atribución privativa de definir áreas potenciales de riesgo; para ello, clasifica los tipos de riesgo en:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables: debido, entre otras causas, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgo generado por la actividad o intervención humana. (OGUC 2010, t. II c. I a. 2.1.17)

Además, contempla otras actividades peligrosas, tales como: industrias químicas, plantas de tratamiento de aguas servidas, vertederos y zonas de relleno de escombros, entre otros; en las cuales se restringe la ocupación del suelo para la construcción de viviendas y equipamiento (colegios, centro de salud y otros).

De esta forma, los PRC son definidos como instrumentos normativos que definen el uso de los suelos a escala local, estableciendo, inicialmente, para ello zonas potenciales de riesgo, cuyas áreas susceptibles al proceso de remoción en masa se etiquetan como *zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas*.

Sin embargo, el marco jurídico chileno no hace referencia al procedimiento metodológico adecuado para establecer las zonas de riesgo, ni tampoco define las variables y los factores desencadenantes que deben ser considerados. Por lo que los PRC se transforman en instrumentos que delimitan de forma reactiva, y no de forma predictiva, las áreas de riesgo, al no contar con un procedimiento óptimo para hacerlo. Lo que deriva en una continua pérdida de información de las zonas latentes a la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa.

Segunda etapa: análisis para delimitar áreas de riesgo por remoción en masa en los estudios realizados por la Universidad del Bío Bío

A. Estudio de riesgo de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío, Chile

La metodología utilizada para realizar este estudio se detalla en la figura 1.

Capítulo I: “Revisión y análisis de antecedentes preterremoto”. Esta etapa tuvo como finalidad rea-

lizar un diagnóstico detallado del fenómeno de remoción en masa en las comunas costeras de la región del Bío Bío; para lo cual, en primer término, se localiza el área de estudio: 48 localidades emplazadas en las 15 comunas costeras de la región, más la comuna de Concepción (figura 2).

Se analizaron y verificaron de la siguiente forma los hechos detonantes del fenómeno de remoción en masa ocurridos en el área de estudio:

- Análisis histórico:** se efectuó una descripción histórico-analítica de los terremotos ocurridos en la región del Bío Bío, desde el siglo XVI hasta la actualidad. Se consideró la revisión exhaustiva del material bibliográfico y documental:
 - Indagación del estado del arte del tema, a través de un registro (anexo 1).
 - Lectura documental-bibliográfica (fuentes de interés e información: periódicos, revistas especializadas, libros de historia, anuarios estadísticos, cartografías y fotografías, entre otros).
 - Análisis documental (contraste de fuentes, narrativa).

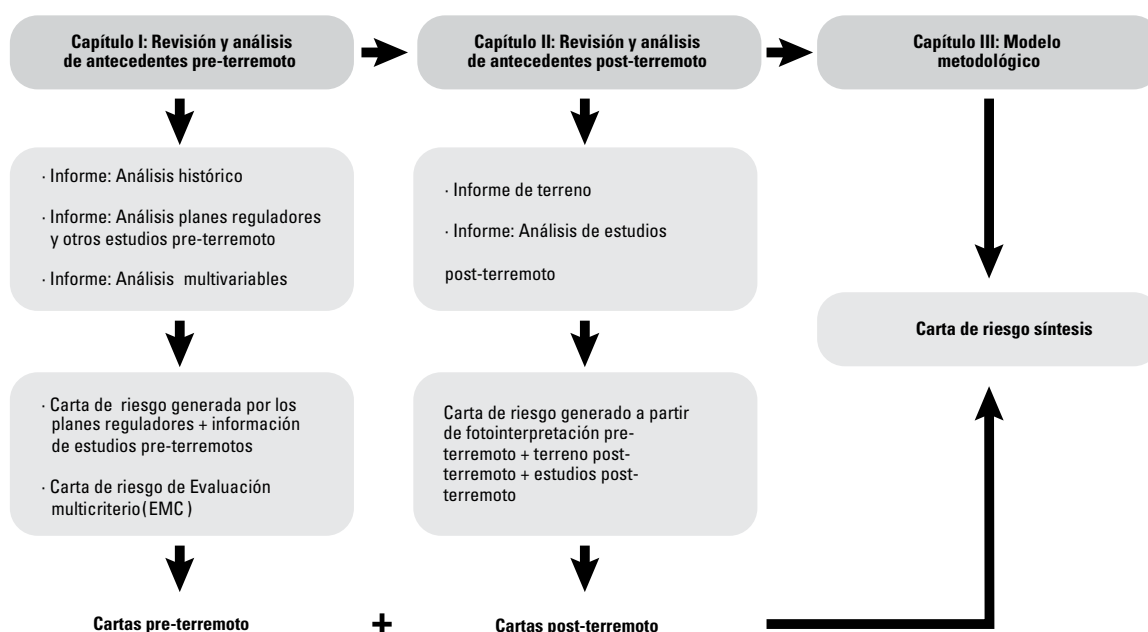


Figura 1. Síntesis metodológica del Estudio de riesgos de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío, Chile. Datos: Universidad del Bío Bío 2010.



Figura 2. Área de estudio.

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

- Análisis de los registros de sismos del Departamento de Sismología de la Universidad de Chile.
- Entrevistas abiertas hechas a actores relevantes, a especialistas en el tema sísmico y a involucrados en acontecimientos de esta naturaleza, para llegar a la elaboración de una carta sobre los fenómenos sísmicos ocurridos en la región del Bío Bío desde el siglo XVI hasta el año 2010 (figura 3).

El tipo de investigación realizada fue de carácter descriptivo analítico; por consiguiente, los resultados dependieron de las fuentes de información y del trabajo intelectual de los investigadores.

- b. Análisis de los planes reguladores: se realizó un análisis detallado de los PRC de cada una de las comunas costeras de la región del Bío Bío, enfatizando los siguientes aspectos:
 - Revisión de los estudios de riesgo relacionados con remoción en masa, desarrollados en cada uno de los PRC; información que fue sistematizada a través de una ficha de registro (anexo 2).
 - Análisis de la incorporación de los estudios de riesgo en la zonificación final de los PRC, para así determinar si los estudios y las recomendaciones fueron total o solo parcialmente consideradas.



Figura 3. Síntesis de sismos históricos en la región del Bío Bío, Chile.
Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

- Análisis de la ordenanza de cada uno de los PRC, especialmente de la zonas que, a pesar de existir ciertos riesgos geofísicos, han sido definidas como zonas habitacionales o de equipamiento. Se enfatizó en las normas de construcción y de uso de suelo establecidas, así como también en la obligación de construir obras de mitigación, en el caso de la edificación en terrenos con pendientes (muros de contención, obras de evacuación de agua lluvias, entre otros).

- Determinación de la pertinencia de la metodología utilizada para la definición de áreas de riesgo por remoción en masa en cada uno de los PRC, en términos de considerar los factores que inciden en la ocurrencia de la remoción en masa. Además, se identificó si en estos procesos se habían incluido visitas al terreno para reconocer los asentamientos existentes y los peligros latentes de remoción en masa, principalmente en las viviendas localizadas en laderas o taludes.

- Elaboración de carta de síntesis de las zonificaciones de áreas de riesgo definidas en los PRC, estableciendo la magnitud del riesgo.
- c. Revisión de estudios de riesgo: en esta etapa se efectuó una detallada revisión bibliográfica de cada uno de los estudios de riesgo geofísico asociado a la remoción en masa ejecutados en las localidades estudiadas. Para ello se diseñó una ficha de registro (anexo 3) y se revisaron las siguientes fuentes de información:
 - Estudios realizados por municipalidades.
 - Estudios realizados por escuelas e institutos de Geografía de universidades chilenas (seminarios de títulos, investigaciones, entre otros).
 - Estudios y antecedentes levantados por del Instituto Geográfico Militar.
- Proyectos de centros de investigación nacional e internacional.
- Estudio de riesgos de remoción en masa realizados por el Servicio Nacional de Geología y Minería — en adelante, SERNAGEOMIN—.
- Registros de documentales históricos.
- Cartas de riesgos definidas en los PRC.
- Registros fotográficos.
- Registros de otros servicios de gobierno.
- d. Análisis de los estudios sobre los factores de la remoción en masa (análisis multivariable): se elaboró un registro de la información existente sobre las variables que inciden en el proceso de remoción en masa (anexo 4). Posteriormente se analizó dicha información de la siguiente manera (tabla 1):

Tabla 1. Análisis multivariables.

Variables	Descripción
Climatología	Se revisaron los principales aspectos relacionados con la climatología del área de estudio, registros de precipitaciones y temperaturas en cada una de las comunas costeras de la región. Para ello se usaron los registros de las estaciones meteorológicas más próximas, principalmente precipitaciones anuales, precipitaciones mensuales y precipitaciones máximas en 24 horas, a efecto de determinar las relaciones entre las precipitaciones y los fenómenos de remoción en masa. Se analizaron, asimismo, los registros de temperaturas diarias y temperaturas medias mensuales (oscilaciones térmicas diarias y mensuales), para determinar la relación que existe entre los cambios de temperatura y los procesos de meteorización física de las rocas (termoclastia).
Suelos	Se revisaron los estudios de suelos y las clasificaciones de los suelos de cada una de las comunas de estudio (cartas de tipo de suelo del Centro de Información de Recursos Naturales —en adelante, CIREN—, de la Corporación de Fomento de la Producción —en adelante, CORFO— y otras), con el fin de determinar los suelos que presentan mayor susceptibilidad a que se produzca remoción en masa (suelos arcillosos, suelos disgregados y suelos no cohesionados). También se analiza de forma integrada las variables de pendientes y cobertura vegetal.
Geología-litología	Se consideraron las cartas geológicas del SERNAGEOMIN, a distintas escalas (1:100.000 y 1:250.000), así como los estudios detallados de las formaciones geológicas de cada una de las localidades de estudio —correspondientes a informes geológicos, mapas preliminares y boletines y publicaciones de la <i>Revista Geológica de Chile</i> —, con la finalidad de identificar zonas en las que las formaciones presentaban mayor vulnerabilidad y, por consiguiente, mayor probabilidad de que se produjeran remociones en masa. En esta etapa fue importante determinar el estado de meteorización física y química de las rocas, e identificar las fallas locales y el grado de diaclasamiento de las rocas.
Inclinación-pendiente	Se utilizaron cartas topográficas digitales del Instituto Geográfico Militar, escala 1:50.000, para levantar mapas de pendientes a partir de las curvas de nivel. Se complementó la información con datos detallados y curvas de nivel generadas a partir de imágenes Lidar. Además, se recopilaron todos los estudios relacionados con pendientes y remoción en masa desarrollados por centros de investigación, universidades y otros organismos.
Exposición	A partir del modelo de elevación digital, se analizó la exposición de la ladera, con el fin de determinar aquellas zonas que presentaban condiciones de mayor humedad, en relación con la exposición a lluvias y radiación solar.
Hidrogeología	Se analiza la red de drenaje, el nivel freático y los coeficientes de infiltración, como factores que condicionan la generación de remociones en masa, ya que están directamente relacionados con la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos.
Tipo y cobertura vegetal	El análisis de la cobertura vegetal se realizó con base en imágenes de satélites y fotografías aéreas de cada una de las localidades en estudio. Se utilizaron fotografías de vuelos del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile —en adelante, SAF— a escala 1:20.000. A partir de este análisis se determinaron zonas con eventual riesgo de remoción en masa, debido al tipo y cobertura de vegetación. Se hizo especial énfasis en el análisis de las laderas colindantes con asentamientos poblados. De igual manera, se revisaron estudios relacionados con pendientes, cobertura, tipo de vegetación y remoción en masa, desarrollados por centros de investigación y otros organismos.

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

- e. Distribución y asentamiento de la población: en esta etapa se analizaron los patrones de crecimiento de la población de las localidades de las comunas costeras; para esto se llevaron a cabo los siguientes pasos:
- Revisión de los PRC, planos de loteo y subdivisión y de cartografías en general, para identificar la extensión territorial que ocupan los asentamientos poblados.
 - Revisión y análisis de imágenes de satélites y de fotografías aéreas del SAF, a escala 1:20.000, y de otros servicios, nacionales y extranjeros, para realizar una cartografía de los emplazamientos de cada una de las localidades.
 - Análisis de los antecedentes demográficos de cada una de las localidades para determinar las tendencias de crecimiento. Para ello, se analizó el crecimiento medio anual y la variación intercensal — entre el censo del año 1992 y el del 2002 (INE 1992 y 2002)— de cada una de las localidades. Además, se recopiló información acerca de futuros proyectos habitacionales, de loteo de terrenos y subdivisiones, que dan indicios acerca del crecimiento futuro de los asentamientos poblados (anexo 5).

Durante esta etapa se generó información relevante para el proceso de zonificación y delimitación de áreas en riesgo por remoción en masa en cada una de las localidades de las comunas costeras de la región del Bío Bío. Esto permitió obtener como producto del capítulo una cartografía preterremoto de las áreas de riesgo en las localidades estudiadas, la cual fue usada como insumo para el terreno de levantamiento de información de primera fuente, realizado en la siguiente etapa.

Capítulo II: “Revisión y análisis de antecedentes posterremoto”. Esta etapa se abordó básicamente a través de tres métodos de trabajo:

- a. Revisión de información registrada por investigadores posterremoto: se revisó y analizó toda la información registrada por expertos, nacionales e internacionales (anexo 6), con respecto a los fenómenos de remoción en masa producidos durante el terremoto del 27 de febrero del 2010. Para ello se llevó a cabo lo siguiente:
- Se examinó la información registrada por investigadores nacionales e internacionales en los días posteriores al terremoto. Se recopiló la información de los resultados publicados en internet, en periódicos y en revistas especializadas, a través de fichas.

- Se realizaron entrevistas a investigadores que levantaron información directamente en el área de estudio, con el fin de determinar y localizar las zonas con frecuencia de procesos de remoción en masa ocurridos como consecuencia del terremoto.

- b. Análisis de fotografías aéreas y de imágenes satelitales: se desarrolló un trabajo de fotointerpretación comparativo, con el fin de identificar, registrar y mapear zonas en las que se produjeron procesos de remoción en masa. Esta información permitió aportar antecedentes para la delimitación precisa de áreas con eventuales riesgos de remoción en masa. Para la fotointerpretación se utilizaron fotografías aéreas del SAF a escala 1:20.000 e imágenes satelitales disponibles, como Google Earth. El análisis se realizó mediante el método de fotointerpretación con lentes estereoscópicos y a través de la observación directa de imágenes de satélite.
- c. Visita de reconocimiento a terreno, registro y medición de fenómenos de remoción en masa: se visitó cada una de las localidades de las 15 comunas costeras de la región del Bío Bío más la comuna de Concepción, contempladas en el estudio, con el fin de corroborar, medir y dimensionar los fenómenos de remoción en masa acaecidos como consecuencia del sismo del 27 de febrero del 2010. El procedimiento empleado es el siguiente:
- Se realiza una visita por fenómeno de remoción en masa detectado en gabinete, se toma registro fotográfico, se georreferencia el sector y se cuantifica la remoción en masa, registrando el tipo de material (arcillas, arenas, lodos, conglomerados, regolitos, roca, etc.) y se determinan los principales factores que incidieron en el proceso. De igual modo, se verificó la existencia de obras de mitigación, como muros de contención, terrazas y vegetación, entre otras. Para registrar cada uno de los sitios se empleó una ficha de levantamiento de información para cada fenómeno de remoción en masa observado (anexo 6).
 - Se comparó la información con lo registrado en el proceso de fotointerpretación, con el fin de delimitar claramente las áreas homogéneas que eventualmente pueden tener riesgo por remoción en masa.
 - Se elaboró una carta de los fenómenos de remoción en masa ocurridos a consecuencia del terremoto del 27 de febrero del 2010 y se definieron áreas circundantes homogéneas que pudiesen

tener una respuesta similar ante un evento sísmico de gran magnitud (homogéneas en cuanto a pendiente, geología, suelos y cobertura vegetal, entre otros factores).

Al finalizar esta etapa se generó una carta de riesgo posterremoto a partir de la información generada por la fotointerpretación, la observación del terreno y los estudios de expertos en el área tras el terremoto del 2010.

Capítulo III: “Modelo metodológico”. En esta etapa se confeccionó un modelo para la zonificación de áreas de riesgo de remoción en masa. Así se tomaron en consideración los antecedentes y la información recopilada y levantada en el terreno de las 49 localidades.

Se incorporó en la modelación los productos cartográficos generados en los capítulos I y II. Cada una de estas coberturas se trabajó con los Sistemas de Información Geográfica (*Environmental Systems Research Institute* [SIG ESRI]), ArcView-ArcGis, a través de la utilización de procesos que permitieran sumar espacialmente la información. El método utilizado se basó en una evaluación multicriterio —en adelante, EMC—, que permitió definir las áreas más susceptibles de desencadenar fenómenos de remoción en masa, ya sean de origen sísmico o por lluvias extremas. Por tanto, se crearon dos modelos (de sismos y de lluvias), que incluyeron una serie de criterios superpuestos, denominados *factores y restricciones* (Gómez Delgado y Barredo Cano 2006).

Por lo tanto, se debió asignar peso a cada factor relevante en el proceso de remoción en masa, para lo que se utilizó la información generada en la segunda fuente y corroborada a través del estudio de campo. Esto generó un proceso que combina la teorización de un modelo y su aplicación a la realidad.

Una vez aplicado el modelo, se llevó a cabo un terreno posterior de verificación de los resultados obtenidos. Asimismo se efectuó un proceso de fotointerpretación de fotografías aéreas a escala 1:20.000 para identificar unidades geomorfológicas asociadas a deslizamiento de materiales —como conos de deyección y derrubios, así como líneas de quiebre de pendientes— y definir áreas de alcance de remoción en masa. Se usó como criterio un *buffer* de 50 metros, lo que generó zonas de *runout*, es decir áreas de alcance potencial de fenómenos de deslizamiento.

El resultado final del estudio realizado en estas 15 comunas es un mapa de amenaza del fenómeno de remoción en masa; en el cual se combinan los criterios

propuestos —de alta, media y baja amenaza— a través de una tabulación cruzada de los resultados de la modelación por sismos y lluvias. Mediante la aplicación de la metodología descrita, se pudo confrontar el resultado de la modelación con la información levantada en terreno y corroborada en gabinete.

B. Estudio de riesgo—informe antisísmico anteproyecto PRC de Renaico, localidad de Renaico y Tijeral, región de la Araucanía, Chile

Este estudio se llevó a cabo en la comuna de Renaico, región de La Araucanía, Chile (figura 4). Esta comuna tiene una superficie de 27.591,82 hectáreas y un poblamiento disperso del área rural, con áreas despobladas, plantaciones forestales y asentamientos urbanos que han surgido en torno a los caminos principales, siendo los principales Renaico y Tijeral.

Para realizar el estudio de riesgos del PRC de Renaico se dispusieron tres etapas metodológicas, según lo estipulado en los términos de referencia de la SEREMI-MINVU de la Araucanía: levantamiento, diagnóstico y modelación (figura 5).

A continuación se describe cada una de estas etapas:

a. Levantamiento: esta etapa contempló todos los levantamientos necesarios, como el estudio del terreno, la síntesis cartográfica, la georreferenciación y el desarrollo de la plataforma SIG.

Para ello se efectuaron visitas de reconocimiento en terreno de procesos peligrosos, identificando las causas generadoras o facilitadoras de procesos (como, por ejemplo, el corte de talud, la pérdida de suelos aterrazados y la obstrucción o dimensión inadecuada de canal de evacuación de aguas lluvias), el tipo de suelo, pendiente, litología, estructura, entre otros factores. Se registró esta información en fichas de terreno (anexo 7). De igual forma, se realizó un levantamiento del estado de las viviendas (anexo 8), así como también se aplicaron entrevistas abiertas a actores claves de la comunidad con respecto de la ocurrencia de otros fenómenos naturales y antrópicos que han afectado a las localidades en los últimos años (anexo 9).

Se elaboró un registro histórico de riesgo y/o procesos de peligrosidad natural y antrópica, definiéndose procesos de peligrosidad natural, vulnerabilidad y exposición. En esta etapa, solo se identificaron las variables consideradas para la modelación con plataforma SIG.

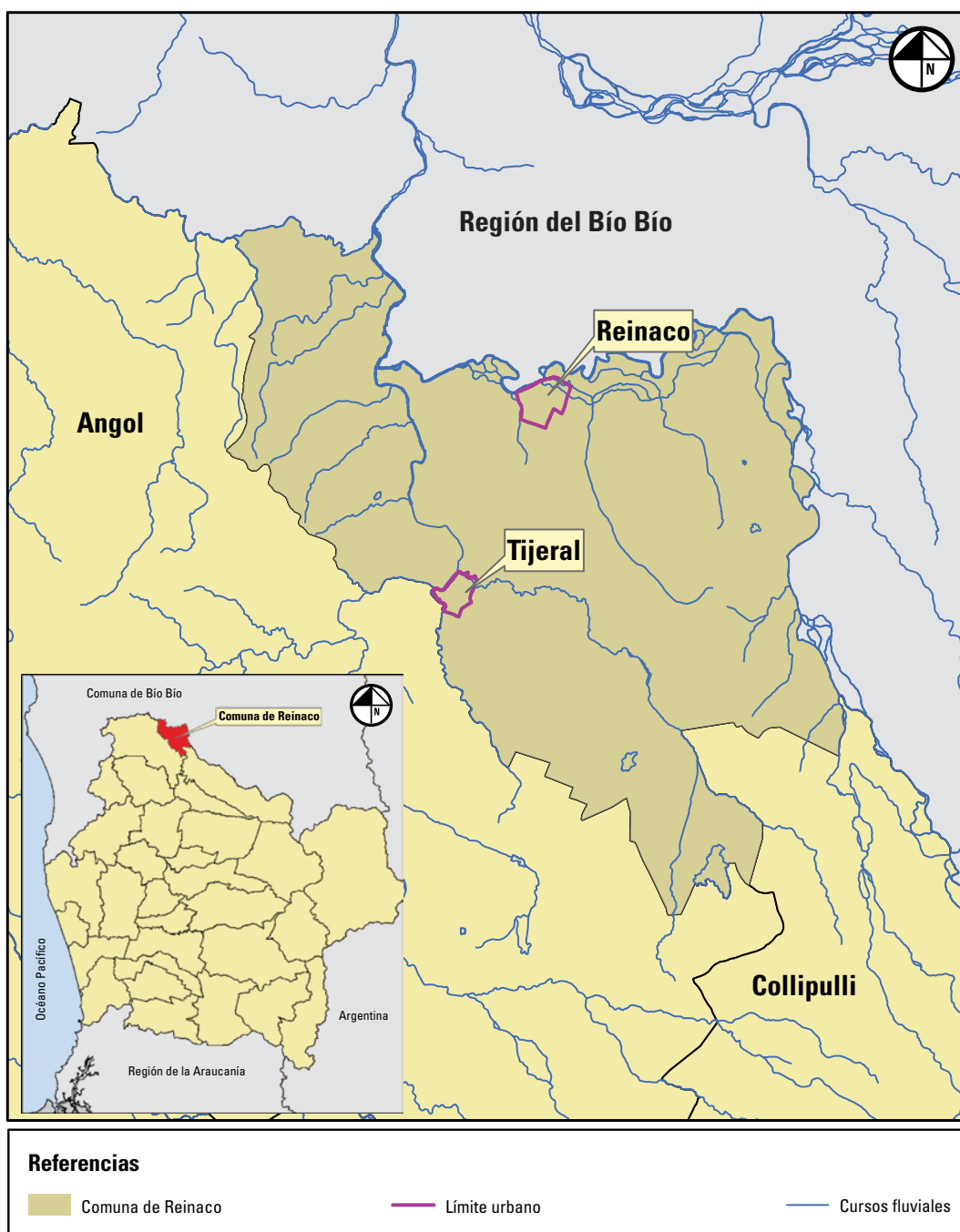


Figura 4. Localidades de Renaico y Tijeral.
 Datos: Universidad del Bío Bío. 2011

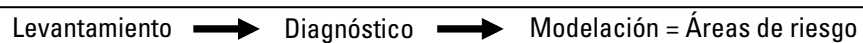


Figura 5. Síntesis metodológica del Estudio de riesgo-informe antisísmico anteproyecto PRC de Renaico, localidad de Renaico y Tijeral, región de La Araucanía, Chile.
 Datos: bibliografía consultada.

- b. Diagnóstico: consistió en la verificación de los antecedentes existentes, más la integración de la nueva información originada en los acontecimientos ocurridos durante el terremoto del 2010. Con dichos antecedentes se estructuró un diagnóstico, una descripción y un análisis de las variables que caracterizaron el estudio. Las principales variables consideradas fueron (tablas 2 y 3):

Tabla 2. Factores desencadenantes.

Climatología	Registro de sismos
Se realizó un análisis de los registros de precipitaciones del área de estudio. Para ello se revisaron los registros de las estaciones meteorológicas más próximas, concentrándose en precipitaciones anuales, precipitaciones mensuales y precipitaciones máximas en 24 horas, a fin de determinar relaciones entre las precipitaciones y los fenómenos de remoción masa.	Se analizaron los registros de sismos del Departamento de Sismología de la Universidad de Chile del área de estudio, y se relacionaron con los registros existentes de fenómenos de remoción en masa. Con esta información se pretendió asociar los sismos de gran intensidad con remociones en masa ocurridas en el pasado. Para ello, además, se revisaron archivos fotográficos y registros de remociones en masa de organismos gubernamentales y centros especializados de estudio.

Datos: Universidad del Bío Bío 2011.

Tabla 3. Variables condicionantes (facilitadoras).

Variables	Descripción
Suelos	Se revisaron los estudios de suelos y las clasificaciones de los suelos de cada una de las localidades, con el fin de determinar cuáles suelos presentan mayor susceptibilidad a que se produzca remoción en masa (suelos arcillosos, suelos disgregados, suelos no cohesionados). Importante fue en esta etapa hacer un análisis en el que se integraron las variables de pendientes y de cobertura vegetal.
Geología Litología	Se revisaron las cartas y mapas geológicos del SERNAGEOMIN, a distintas escalas, así como los estudios detallados de las formaciones geológicas del área de estudio —correspondientes a informes geológicos, mapas preliminares, boletines y publicaciones de la <i>Revista Geológica de Chile</i> —, con la finalidad de identificar zonas en las que las formaciones presenten mayor susceptibilidad y, por consiguiente, mayor probabilidad de que se produzcan eventos de remoción en masa. Se determinó en esta etapa el estado de meteorización física y química de las rocas, la identificación de fallas locales, y el grado de diaclasamiento de las rocas.
Pendiente	A partir de cartas topográficas digitales del Instituto Geográfico Militar, escala 1:50.000, y de la información de curvas de nivel del anteproyecto del PRC del 2001, se confeccionó un modelo de elevación digital de la zona de estudio con el fin de clasificar los distintos grados de pendiente de esta.
Exposición	A partir del modelo de elevación digital elaborado, se graficó y analizó la exposición de ladera, con el fin de determinar las zonas que presentan condiciones de mayor humedad, en relación con la exposición a lluvias y radiación solar.
Geomorfología	Mediante fotointerpretación, cartas geomorfológicas y verificación en terreno, se identificaron depósitos de antiguos deslizamientos o flujos, principalmente de los que se encuentran en estado suelto, y se identificaron depósitos coluviales, que se ubican en general a los pies de laderas y quebradas, en donde su condición de equilibrio los hace muy propensos a generar deslizamientos (o flujos).
Hidrogeología	Se analizó la red de drenaje, nivel freático y coeficientes de infiltración, como factores que condicionan la generación de remociones en masa, ya que están directamente relacionados con la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos.
Tipo y cobertura vegetal	Se realizó sobre la base de imágenes de satélites y fotografías aéreas de cada una de las localidades en estudio. Se utilizaron fotografías del SAF, a escala 1:20.000. A partir de este análisis se determinaron zonas con distinto porcentaje de cobertura vegetal.

Datos: Universidad del Bío Bío 2011.

En esta etapa se realizó un análisis integrado de los factores que influyen en el proceso de remoción en masa en las localidades de Renaico y El Tijeral. Se hizo especial énfasis en determinar, a través de cartografías preliminares, las áreas susceptibles a la ocurrencia de remoción en masa ante eventos de precipitaciones intensas o sismos de gran magnitud.

Desde el punto de vista de la vulnerabilidad, se consideraron: uso del edificio (habitacional, equipamiento, comercial u otro), tipologías constructivas (hormigón-acero, albañilería y madera), estado de las viviendas (bueno, regular o malo), peculiaridades de las viviendas, densidad de población y el catastro estructural de la edificación existente. También se consideró, en el diagnóstico, la legislación vigente aplicable a los instrumentos de planificación territorial, y se hizo un análisis histórico de otros eventos catastróficos ocurridos en la región.

Finalmente, se realizó un diagnóstico integral, en el cual se analizaron los factores de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición para la generación de las cartas de riesgo.

c. Modelación: esta etapa consistió, básicamente, en la construcción de un modelo para la obtención de cartas de riesgo para las dos localidades en estudio, y la construcción de planos que señalaran las áreas de riesgos eventuales, susceptibles de ocurrencia, en la localidad identificada. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

- Se analizaron las cartas generadas, los fundamentos técnicos, el factor dominante o “gatillante” del proceso, los niveles de riesgo definido por el proceso y las alternativas de manejo y mitigación, separando las situaciones actuales de las potenciales.
- Con los productos del análisis se definieron las áreas de amenaza o peligro, para lo cual se utilizó el método de EMC; esto es, una superposición ponderada de variables espaciales a través del SIG ArcGis 9.3.
- Los mapas de peligro y vulnerabilidad resultantes clasificaron los niveles de riesgo (alto, medio y bajo), considerando para ello la siguiente ecuación:

$$R = P \times V$$

Donde,

R: riesgo

P: peligro o amenaza

V: vulnerabilidad

Tercera etapa: propuesta del modelo metodológico para realizar estudios que delimiten áreas factibles de riesgo por remoción en masa

Para determinar áreas de riesgo en los PRC, según lo que establece la ordenanza OGUC —en el t. II, c. I, a. 2.1.17—, los fenómenos de remoción en masa se deben clasificar en: “zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas”; lo que es factible de asociar al proceso de los fenómenos geofísicos que apunta Cruden, y que, además, son capaces de causar erosión en cualquiera de sus formas (CIREN 2005).

Comparando los dos estudios analizados, en cuanto al procedimiento metodológico que debe establecerse para delimitar áreas potenciales de riesgo por remoción en masa, se define lo siguiente:

1. Etapa de diagnóstico: el proceso de delimitación de zonas con riesgo de remoción en masa debe comenzar por levantar información del área de estudio, tanto de segunda como de primera fuente, y luego analizar los datos obtenidos de forma cuantitativa, cualitativa y espacial, enfatizando, el registro y la verificación de datos en terreno. Se deben obtener, además, productos cartográficos que lleven a una espacialización de la información.
2. Etapa de modelación: debe generarse un modelo que sume algebraicamente la información, a través de un sistema de información geográfica, para, de este modo, obtener una jerarquización de las potenciales áreas de riesgo por remoción en masa. Para esto deben asignarse pesos específicos a las variables facilitadoras y desencadenantes del fenómeno, según los resultados establecidos en la etapa de diagnóstico, pues solamente de esta forma el modelo final de representación espacial de la zonas de riesgo susceptibles al proceso de remoción en masa serán coherentes con la realidad.

En la figura 6 se sintetiza la comparación de los estudios analizados. Según esta figura, los pasos metodológicos para definir áreas de riesgo por remoción en masa deben comenzar con un levantamiento diagnóstico, para obtener un informe detallado del estado del área de estudio —de forma cualitativa y cuantitativa espacialmente—. Luego debe analizarse la información recopilada a través de un diagnóstico que implique la implementación de la EMC —tanto de las variables facilitadoras condicionantes como desencadenantes—,


Antecedentes de análisis	Análisis PRC	Variables multicriterio	Terreno verificador	Modelación	Áreas de riesgo	
<ul style="list-style-type: none"> · Antecedentes históricos · Imágenes satelitales · Fotografías aéreas · Estudios relacionados · Entrevistas a especialistas 	<ul style="list-style-type: none"> · Zonificación de las áreas de riesgo · Metodología utilizada para definir áreas de riesgo · Verificación en terreno de las áreas de riesgo · Estudio geofísico de áreas específicas 	<ul style="list-style-type: none"> · Clima · Suelo · Geología y litología · Inclinação y pendiente · Exposición · Hidrogeología · Tipo y cobertura vegetal · Registro de sismos · Distribución y asentamientos de la población 	<ul style="list-style-type: none"> - Informe de terreno - Verificación de eventos 	Evaluación multicriterio: <ul style="list-style-type: none"> · Geología · Litología · Suelo · Vegetación · Pendiente · Exposición de ladera 	Delimitación áreas de riesgo finales	Análisis Cualitativo Cuantitativo
Producto de la etapa: Cartografía 1	Producto de la etapa Cartografía 2	Producto de la etapa Cartografía 3	Productos cartográficos $1 + 2 + 3 =$ cartografía a verificar en terreno  Cartografía 4	Producto de la etapa: Cartografía 5	Suma de los productos cartográficos $4 + 5 =$ Final	
Levantamiento			Diagnóstico		Modelación	Análisis Espacial

Figura 6. Síntesis de pasos metodológicos para definir áreas de riesgo por remoción en masa.
 Datos: Universidad del Bío Bío 2010; 2011.

para, finalmente, establecer una modelación de los resultados mediante la plataforma SIG, la cual clasificará jerárquicamente las aéreas susceptibles de remoción en masa.

Conclusiones

La Ley General de Urbanismo y Construcción establece que la planificación urbana comunal se realizará por medio del Plan Regulador Comunal. En dicho plan se definen los distintos usos asignados al suelo y las restricciones correspondientes a cada uno de ellos, para lo cual es fundamental la elaboración de los estudios de riesgo. Por su parte, la OGUC define el riesgo según cuatro categorías; entre ellas el fenómeno de la remoción en masa es clasificado según sean las “zonas

propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas”.

La OGUC no contempla una aproximación metodológica que oriente la delimitación de dichas áreas de riesgo, lo cual quedó demostrado tras el terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010, puesto que se evidenció la inexactitud en la definición de áreas de riesgo por remoción en masa en los PRC vigentes.

Lo anterior da cuenta de lo relevante que es actualizar la delimitación de áreas de riesgo en los PRC para asegurar que los asentamientos humanos se desarrollen sin la amenaza de fenómenos naturales. Para tal efecto, es fundamental que los estudios de riesgo por remoción en masa se sustenten en aproximaciones metodológicas de carácter mixto, tanto de gabinete como de campo. Para lo cual es imprescindible el empleo de técnicas e

instrumentos para recabar la información en terreno, tales como: entrevistas, encuestas y fichas de observación.

Por otra parte, resulta fundamental desarrollar un análisis integrado —de forma cualitativa, cuantitativa y espacial— para establecer conclusiones predictivas, expresadas mediante un producto cartográfico elaborado en plataforma SIG.

El estudio de riesgo del PRC de Renaico, analizado en este artículo, adopta una metodología que se inicia con un levantamiento de información, seguido de un diagnóstico y finalmente de una modelación en SIG. No obstante, la integración a la modelación de información cualitativa aportada por informantes clave, con respecto a fenómenos naturales, enriquece los resultados obtenidos.

En consecuencia, para establecer áreas de riesgo por remoción en masa, el procedimiento metodológico deberá necesariamente recoger información de fuentes primarias, de manera que se asegure un proceso de planificación territorial eficiente, consignando las mejores medidas de restricción, usos especiales y/o mitigación en las áreas susceptibles de fenómenos de remoción en masa.

Por último, cabe hacer notar que para establecer de manera fehaciente la susceptibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en un territorio es indispensable realizar un estudio geotécnico, puesto que las variables desencadenantes del proceso se comportan de forma diferente, según condiciones de cada zona. Por ende, una modelación en SIG, por sí sola, no permite determinar estos alcances.

Claudia Espinoza Lizama

Geógrafa de la Pontificia Universidad Católica de Chile, magíster en Educación de la Universidad La República (Chile) y doctorante en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable de la Universidad Nacional de Cuyo (Argentina).

Referencias

- Alarcón Fuentes, Gladys Fabiola. 1995. *Evaluación de los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción, a través de la información*. Licenciatura en Educación mención Historia y Geografía. Departamento de Ciencias Históricas y Sociales, Facultad de Educación, Humanidades y Arte, Universidad de Concepción, Chile.
- Ayala-Carcedo, Francisco J. 1993. Estrategias para la reducción de desastres naturales. *Investigación y Ciencia* 200:6-13. Barcelona.
- Ayala Carcedo y Olcina. 2002. *Riesgos Naturales*. Barcelona: Ariel.
- Carrara, Antonini, Fausto Guzzetti, Mauro Cardinali y P. Reichenbach. 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. *Natural Hazards* 20:35-57.
- Carrara, Alberto y Richard J. Pike. 2008. GIS Technology and Models for Assessing Landslide Hazard and risk. *Geomorphology* 94 (3-4): 257-260.
- Cecioni Raspi, Adriano, A. Duyvestein y J. Vargas. 2002. Hydrology of the Bío Bío River. *Zeitschrift für Geomorphologie* 129:31-39.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 1999. *Estudio agrológico VIII región: descripciones de suelos, materiales y símbolos*. Chile: CIREN.
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 2005. *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: región del Bío Bío*. Chile: CIREN.
- Chardon, Anne-Catherine. 2002. *Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas expuestas a amenazas naturales. El ejemplo andino de Manizales, Colombia*. http://hdrnet.org/372/1/CHARDON_04.pdf (consultado en mayo del 2010).
- Cruden, David M. 1991. A Simple Definition of a Landslide. *Bull IAEG* 43:27-29.
- Cruden, David M. y D. J. Cayó. 1997. *Evaluación del riesgo de deslizamientos*. IUSG Grupo de Trabajo sobre Deslizamientos de Tierra, Comisión de Evaluación de Riesgos, taller 19-21 febrero, Estados Unidos, 1997.
- Eastman, J. Ronald. 2003. *IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing*. Estados Unidos: Clark University.
- Gómez Delgado, Montserrat y José I. Barredo Cano. 2006. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio: en la ordenación del territorio*. España: Alfa y Omega.
- Gorsevski, Peter V. y P. Jankowski. 2010. An Optimized Solution of Multi-Criteria Evaluation Analysis of Landslide Susceptibility Using Fuzzy Sets and Kalman Filter. *Computers & Geosciences* 36 (8): 1005-1020.
- Hoffstetter, R., H. Fuenzalida y G. Cecioni. 1957. Chile-Chili. En *Lexique Stratigraphic International* 5 (7): 444. París: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 1992. *XVI Censo Nacional de población y V de Vivienda*. Chile: Gobierno de Chile.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2002. *XVII Censo Nacional de población y VI de Vivienda*. Chile: Gobierno de Chile.
- Larraín, Patricio y Paul Simpson-Housley. 1994. *Percepción y prevención de catástrofes naturales en Chile*. Chile: Universidad Católica de Chile.
- Lavell, A. 1997. *Viviendo en riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres naturales en América Latina*. La RED: Flacso.
- Mardones, María y E. Jaque. 1996. Geomorfología del valle del río Laja. I *Taller Internacional de Geoecología de Montaña y Desarrollo Sustentable de los Andes del Sur*. The United Nations University.
- Mardones, María y Claudia Vidal. 2001. La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE* 27 (81): 97-122.
- Mardones, María, M. Rodríguez y J. Soto. 1994. Zonificación y evaluación de riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción. *VII Congreso Geológico Chileno*. Chile: Universidad de Concepción.
- Mardones, María, et ál. 2005. Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile centro sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área metropolitana de Concepción. *Revista Investigaciones Geográficas* 38:1-25.
- Ministerio de Medio Ambiente. 1998. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI). 1996. *Antecedentes preliminares estudio comparativo efectos sobre las personas: eventos de origen antrópico/eventos de origen natural, periodos 1985-1996*. Chile: ONEMI.
- Ojeda H., A. Deloire y A. Carbonneau A. 2001. Influence of Water Stress Deficits on Grape Berry Growth. *Vitis* 40:141-145.
- Rebolledo, A., H. Garretón y S. Beltrán. 1980. *Análisis cartográfico de los riesgos de incendios forestales en la octava región*. Chile: Universidad de Concepción.
- Saaty, Thomas. 1980. *The Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Estados Unidos: McGraw Hill. http://www.booksites.net/download/coyle/student_files/AHP_Technique.pdf

SEREMI-MINVU de la Araucanía 2011. *Términos de referencia Estudio de riesgo-informe antisísmico anteproyecto del PRC de Renaico, localidades de Reanico y Tijeral.*

Strahler, Allan H. y Arthur N. Strahler. 1989. *Geografía física*. España: Omega S. A.

Ulloa Bellemans, L. 2007. *Susceptibilidad de los suelos a la licuefacción en la comuna de San Pedro de la Paz*. Tesis de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.

Universidad del Bío Bío. 2010. *Estudio de riesgos de sismos y maremotos para comunas costeras de la región del Bío Bío, Chile*. Universidad del Bío Bío.

Universidad del Bío Bío. 2011. *Estudio de riesgo-informe antisísmico anteproyecto PRC de Renaico, localidad de Renaico y Tijeral, región de La Araucanía Chile 2010-2011*. Universidad del Bío Bío.

Anexo 1

Análisis histórico												
N.º		Sismos			Eventos de remoción en masa acontecidos en el pasado							
		Cartografía		Documentación	Cartografía		Documentación	Eventos de remoción en masa acontecidos en el pasado				
		Mapas	Tipo (papel/ digital)		Georreferenciación (sí/no)	Datum		Imágenes/ fotos	Tipo (papel/ digital)	Georreferenciación (sí/no)	Datum	Localización
1												
2	Pullay											
3	Buchupureo											
4	Pilicura											
5	Cobquecura											
6	Taucú											
7	Colmuyao											
8	Mela											
9	Boca-Itata											
10	Vegas de Itata											
11	Perales											
12	Pingüeral											
13	Dichato											
14	Coliumo											
15	Cocholhue											
16	Tome											
17	Talcahuano											
18	Penco											
19	Hualpén											
20	Lenga											
21	Chome											
22	Concepción											
23	San Pedro											
24	Lomas Coloradas											
25	Escuadrón											
26	Coronel											
27	I. Sta. María Puerto Norte											
28	I. Sta. María Puerto Sur											
29	Playa Blanca											
30	Lota											
31	Colcura											
32	Chivilingo											
33	Laraquete											
34	Horcones											
35	Arauco											
36	Las Peñas											
37	Tubul											
38	Llico											
39	Punta Lavapié											
40	Rumena											
41	Lebu											
42	Isla Mocha											
43	Punta Morhuilla											
44	Quidico											
	Tirúa											

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 2

Planes reguladores						
N.º		Documentación existente	Cartografía			
			Imágenes/fotos	Tipo (papel/digital)	Georreferenciación (sí/no)	Datum
1	Pullay					
2	Buchupureo					
3	Pilicura					
4	Cobquecura					
5	Taucú					
6	Colmuyao					
7	Mela					
8	Boca-Itata					
9	Vegas de Itata					
10	Perales					
11	Pingüeral					
12	Dichato					
13	Coliumo					
14	Cocholhue					
15	Tome					
16	Talcahuano					
17	Penco					
18	Hualpén					
19	Lenga					
20	Chome					
21	Concepción					
22	San Pedro					
23	Lomas Coloradas					
24	Escuadrón					
25	Coronel					
26	I. Sta. María Puerto Norte					
27	I. Sta. María Puerto Sur					
28	Playa Blanca					
29	Lota					
30	Colcura					
31	Chivilingo					
32	Laraquete					
33	Horcones					
34	Arauco					
35	Las Peñas					
36	Tubul					
37	Llico					
38	Punta Lavapie					
39	Rumena					
40	Lebu					
41	Isla Mocha					
42	Punta Morhuilla					
43	Quidico					
44	Tirúa					

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 3

N.º		Estudios de riesgo (preterremoto)				
		Documentación existente	Cartografía			Datum
			Imágenes/fotos	Tipo (papel/digital)	Georreferenciación (sí/no)	
1	Pullay					
2	Buchupureo					
3	Pilicura					
4	Cobquecura					
5	Taucú					
6	Colmuyao					
7	Mela					
8	Boca-Itata					
9	Vegas de Itata					
10	Perales					
11	Pingüeral					
12	Dichato					
13	Coliumo					
14	Cocholhue					
15	Tome					
16	Talcahuano					
17	Penco					
18	Hualpén					
19	Lenga					
20	Chome					
21	Concepción					
22	San Pedro					
23	Lomas Coloradas					
24	Escuadrón					
25	Coronel					
26	I. Sta. María Puerto Norte					
27	I. Sta. María Puerto Sur					
28	Playa Blanca					
29	Lota					
30	Colcura					
31	Chivilingo					
32	Laraquete					
33	Horcones					
34	Arauco					
35	Las Peñas					
36	Tubul					
37	Llico					
38	Punta Lavapie					
39	Rumena					
40	Lebu					
41	Isla Mocha					
42	Punta Morhuilla					
43	Quidico					
44	Tirúa					

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 4

	Diagnóstico de variables									
	Documentación existente	Clima		Cartografía		Suelo	Vegetación	Pendiente	Litología	Exposición
		Imágenes/ fotos	Tipo (papel/ digital)	Georreferenciación	Datum					
Pullay										
Buchupureo										
Pilicura										
Cobquecura										
Taucú										
Colmuyao										
Mela										
Boca-Itata										
Vegas de Itata										
Perales										
Pingual										
Dichato										
Coliumo										
Cochohue										
Tome										
Talcahuano										
Penco										
Hualpén										
Lenga										
Chome										
Concepción										
San Pedro										
Lomas Coloradas										
Escuadrón										
Coronel										
I. Sta. María Puerto Norte										
I. Sta. María Puerto Sur										
Playa Blanca										
Lota										
Colcura										
Chivilingo										
Laraquete										
Horcones										
Arauco										
Las Peñas										
Tubul										
Llico										
Punta Lavapie										
Rumena										
Lebu										
Isla Mocha										
Punta Morhuilla										
Quidico										
Tirúa										

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 5

N.º		Estudios, investigaciones etc. (posterremoto)				
		Documentación existente	Imágenes/fotos	Cartografía		Datum
				Tipo (papel/digital)	Georreferenciación (sí/no)	
1	Pullay					
2	Buchupureo					
3	Pilicura					
4	Cobquecura					
5	Taucú					
6	Colmuyao					
7	Mela					
8	Boca-Itata					
9	Vegas de Itata					
10	Perales					
11	Pingüeral					
12	Dichato					
13	Coliumo					
14	Cocholhue					
15	Tome					
16	Talcahuano					
17	Penco					
18	Hualpén					
19	Lenga					
20	Chome					
21	Concepción					
22	San Pedro					
23	Lomas Coloradas					
24	Escuadrón					
25	Coronel					
26	I. Sta. María Puerto Norte					
27	I. Sta. María Puerto Sur					
28	Playa Blanca					
29	Lota					
30	Colcura					
31	Chivilingo					
32	Laraquete					
33	Horcones					
34	Arauco					
35	Las Peñas					
36	Tubul					
37	Llico					
38	Punta Lavapíe					
39	Rumena					
40	Lebu					
41	Isla Mocha					
42	Punta Morhuilla					
43	Quidico					
44	Tirúa					

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 6

FICHA TERRENO REMOCIÓN EN MASA	
Encargado	
Localidad	
Fecha	

MOVIMIENTO EN MASA	
Tipo	
Contexto geográfico	
Fuente de información	
Causa del movimiento	
Localización (UTM)	
Altitud	
Superficie	
Fecha del evento	
Nivel de pendiente	
Cobertura y tipo vegetacional	
Tipo del suelo (granulometría)	
Tipo de detritos / roca	
Nivel de antropización	
Situación actual	
Exposición	
N.º de fotos	

DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
Nombre del encuestado
Nivel de amenaza
Nivel de vulnerabilidad
Personas afectadas
Infraestructura afectada
Observaciones

Datos: Universidad del Bío Bío 2010.

Anexo 7

Terreno: *Estudio de riesgo-informe antisísmico anteproyecto PRC de Renaico, región de La Araucanía, Chile*

FICHA TERRENO

Encargado	
Localidad	
Fecha	

MOVIMIENTO EN MASA	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
Tipo	Nombre del encuestado
Contexto geográfico	Nivel de amenaza
Fuente información	Nivel de vulnerabilidad
Causa del movimiento	Personas afectadas
Localización (UTM)	Infraestructura afectada
Altitud	Observaciones
Superficie	
Fecha del evento	
Nivel de pendiente	
Cobertura y tipo vegetal	
Tipo del suelo (granulometría)	
Tipo de detritos / roca	
Nivel de antropización	
Situación actual	
Exposición	
N.º de fotos	

Datos: Universidad del Bío Bío 2011.

Anexo 8

Ficha levantamiento de información

Estudio de riesgo–informe antisísmico anteproyecto PRC de Renaico

VULNERABILIDAD ESTUDIO DE RIESGO

MANZANA N.º: _____

N.º DE VIVIENDAS SEGÚN MATERIALIDAD

Madera y/o material ligero: _____

Hormigón: _____

Albañilería: _____

Adobe: _____

Otro Material: _____

Total _____

N.º DE PISOS PREDOMINANTES EN MANZANA

1 Piso _____ 2-4 Pisos _____ Más de 4 Pisos _____

ESTADO GENERAL DE LAS VIVIENDAS

Bueno _____ Regular _____ Malo _____

Descripción general del estado, deterioro y particularidades de las viviendas

Datos: Universidad del Bío Bío 2011.

Anexo 9

Ficha de recopilación de registros históricos de peligrosidad natural o antrópica, comuna de Renaico

1. Antecedentes generales

Encargado:

Fecha:

Localidad:

Nombre del entrevistado:

2. Preguntas

1. ¿Sabe usted de algún lugar o punto específico de la localidad en donde haya ocurrido una inundación o un desastre natural? Si su respuesta es afirmativa, por favor, indique en qué lugar y la fecha estimativa en la cual ocurrió el o los eventos.
2. ¿Sabe usted de algún lugar o punto específico de la localidad o el sector en donde haya ocurrido algún desastre, llámese incendio forestal, derrame de productos químicos, malos olores y otros? Si su respuesta es afirmativa, por favor, indique en qué lugar y la fecha estimativa en la cual ocurrió el o los eventos.

Pauta descripción microbasurales y problemas ambientales

1. Localización
2. Referencias
3. Descripción general: basuras, escombros, cierre
4. Descripción del entorno: oscuro, sin iluminación, lugar de paso, presencia de vegetación
5. Unidad geográfica donde se encuentra: lecho de río, talud, cause de canal, línea férrea

Otros problemas ambientales que se observen en terreno

1. Evacuación de aguas servidas
2. Polución
3. Contaminación por actividades agrícolas, pesticidas y otros
4. Contaminación acústica

Datos: Universidad del Bío Bío 2011.