

Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía.
Departamento de Geografía.



ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA CIUDAD DE LEBU.



MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEÓGRAFO

Ignacio Céspedes González.

Profesora Guía: Dra. Edilia Jaque

Ciudad Universitaria, Concepción enero de 2022

Índice

1. Resumen	5
2. Introducción	6
3. Planteamiento del Problema	8
5. Hipótesis	14
6. Objetivos	14
<u>a.</u> Objetivo General	14
<u>b.</u> Objetivo Específicos	14
7. Marco Teórico	15
a. Riesgo	15
b. Vulnerabilidad	16
c. Amenaza	17
d. Procesos de Remoción en Masa	18
<u>I.</u> Factores Desencadenantes de los procesos de remoción en masa	20
<u>II.</u> Evaluación de Remoción en Masa	20
e. Instrumentos de planificación territorial y procesos de remoción en masa ..	22
f. Crecimiento urbano sustentable	25
8. Metodología	26
8.1 Enfoque Metodológico	26
8.2 Área de estudio	27
8.3 Evaluación de Amenaza de Procesos de Remoción en Masa	32
8.3.1. Variables	32
8.3. Evaluación de Vulnerabilidad de Procesos de Remoción de Masa	35
8.3.1. Variables	36
8.4. Evaluación del riesgo de Procesos de Remoción en Masa	37
9. Resultados	38
9.1 Amenaza de remoción en masa en Lebu	38
9.1.1 Geomorfología del área urbana de Lebu	38
9.1.2 Las Pendientes en el área urbana de Lebu	43
9.1.3 Aspectos Climáticos	45
9.2 Evaluación de la Amenaza	49
9.3 Vulnerabilidad frente a la amenaza de procesos de remoción en masa	51
9.4 Riesgo de Procesos de Remoción en Masa	62

10.Conclusiones / Discusión	64
11.Bibliografía.....	69



Agradecimientos.

A mi familia, por su apoyo incondicional y su comprensión durante todos los años que llevaron a este momento.

A mis amistades de generación y colegas por su compañía y apoyo.

A mi profesora guía, por su paciencia y su orientación.



Resumen

La ciudad de Lebu localizada en el borde costero de la provincia de Arauco, históricamente ha presentado eventos de procesos de remoción en masa, como lo refleja el catastro realizado por ONEMI el año 2017, donde se rescatan un total de seis procesos de remoción en masa diferentes, estos fenómenos se han transformado en un riesgo latente al que se exponen los habitantes de la ciudad.

Por ello esta investigación propone evaluar la evolución de los niveles de riesgo por procesos de remoción en masa en la ciudad de Lebu, a partir de una metodología de análisis multicriterio, considerando factores condicionantes como la geomorfología, la cubierta vegetal y la pendiente y factores desencadenantes como la precipitación (Lara y Sepúlveda, 2008). Se incluye además un análisis de vulnerabilidad por exposición, usando el modelo propuesto por (Vera y Albarracín, 2017) que considera la infraestructura, los sistemas de producción y las características ambientales entre otras variables.

Nuestros resultados muestran que el sitio urbano de Lebu alcanza rangos de alta y media amenaza en más de un 54,4% del área urbana; mientras que la vulnerabilidad evidencia una importante dependencia de los sistemas de producción que rodean a la ciudad, configurando de esta manera la situación y realidad medio ambiental para la población y entregándole al área de estudio unos niveles de riesgo que llegan a más de un 66,46 %

Sostenemos que la situación de riesgo en la ciudad de Lebu, es el resultado de un crecimiento urbano insustentable, que no respeta las situaciones ambientales que configuran no solo el relieve del territorio habitado, sino también pasan a llevar regulaciones institucionales donde el Plan Regular Comunal, no logra regular claramente una orientación que tienda a disminuir el riesgo de desastre por procesos de remoción en masa en esta localidad costera.

Palabras Claves: remoción en masa, mega sismo 27F, Lebu.

1. Introducción

Los desastres socio-naturales se presentan a lo largo y ancho de todo Chile, se manifiestan de diferentes maneras y responden a diferentes criterios. El país por sus características geodinámicas y tectónicas se encuentra en un contexto que induce a la ocurrencia de eventos naturales generadores de desastres, debido a la ubicación del territorio en una zona de convergencia de placas. Esto, condiciona al país a encontrarse frente a eventos sísmicos de grandes magnitudes un ejemplo de esto es el terremoto del año 2010, donde autores como Quezada et al. (2012), hablan sobre los cambios en el relieve generados por movimientos verticales como alzamientos o subsidencias, producto del sismo, lo que termina por configurar cambios en el relieve. Dichos cambios en el relieve son efectuados también por procesos de remoción en masa que responden a ser fenómenos geodinámicos debido a la naturaleza que poseen, Fernández (2008) evalúa los procesos geodinámicos en la cuenca del río Cachapoal, de la región de O'Higgins, donde señala que las condiciones de erosión del suelo tienden a producir procesos de flujos de masa.

En Chile los procesos remoción en masa son recurrentes, autores como Hauser señalan, *“la zona andina de Chile central, el carácter morfológico, geológico, tectónico y geomecánico del relieve resulta propicio para el desarrollo de remoción en masa.”* (Hauser, 2002) lo que permite comprender que el país naturalmente se encuentra en una predisposición a la ocurrencia de estos eventos.

Por su parte una característica propia de los procesos de remoción en masa es que su ocurrencia es asociada a factores medio ambientales, como son la saturación hídrica del suelo por abundancia de lluvia caída o eventos sísmicos, sin embargo, como ocurre en todo tipo de riesgo, existe un factor humano que si bien no termina por provocar la ocurrencia del evento si termina por favorecer altos niveles de vulnerabilidad aportando así a construir un escenario de riesgo socio-natural.

La vulnerabilidad puede ser explicada por las zonas de asentamiento de los individuos o por las condiciones en que se encuentre el asentamiento; pero, en su

medida, también puede llegar a calificarse, por la percepción de la vulnerabilidad de quienes habitan dicho espacio, debido los efectos que produce el desastre socio-natural.

Los procesos de remoción en masa, existen por parte de la oficina nacional de emergencia del ministerio del interior y seguridad pública (ONEMI) en el plan específico de emergencia por variable de riesgo, remoción en masa, señala un plan de manejo cuyo objetivo es la prevención de daños, estructurales y medio ambientales, y pérdidas de vida mediante la alerta de posible desastre. En este plan, se contemplan los diferentes tipos de posibles procesos de remoción en masa y se clasifican de acuerdo a sus características, de esta manera, es posible encontrar la mención a desprendimientos, deslizamientos, flujos, reptación y/o solifluxión, entre otros incluyendo deslizamientos de arenas o de lavas.

A pesar de lo anterior, no existen medidas activas que contengan, disminuyan o prevean los siniestros mencionados, ONEMI plantea la utilización de niveles de alerta que incluye las acciones desde alertar del evento, delimitar la zona del evento, proporcionar información en caso de que existan sectores seguros hasta la movilización de recursos o evacuación de personas, dicho de otra manera, solo existe una reacción al evento no una contención del desastre o una mitigación o una prevención de los posibles daños directos que pueda provocar.

En el caso particular de la región del Biobío, existen diversos documentos por parte de SERNAGEOMIN que exponen diferentes evaluaciones de las condiciones que existen en las localidades de la región, un ejemplo de esto es el informe técnico sobre el sector caleta Cocholgüe en la comuna de Tomé; también existe el ejemplo para la comuna de Lota, donde se han elaborado evaluaciones preliminares sobre los niveles de amenaza que existe para la ciudad; a la vez de que el catastro en el plan específico de ONEMI revela un total de 124 procesos de remoción en masa ocurridos en la región desde el año 1992 hasta el año 2010; estos antecedentes presentan a la región como un espacio geográfico donde los procesos de remoción en masa se encuentran latentes y generan un gran riesgo no solo para el medio sino también para los individuos que lo habitan.

2. Planteamiento del Problema

La ciudad Lebu, ubicada en un borde costero ya ha presentado en su historia procesos de remoción en masa, esto se ve reflejado en los registros que posee ONEMI donde se señala la constante ocurrencia de procesos de remoción en masa por motivos de fuertes precipitaciones y por efecto de sismicidad

Mardones M. y Rojas J. (2012) relevan la importancia que tuvo el terremoto ocurrido el 27 de febrero del año 2010 en la ocurrencia de procesos de remoción en masa, señalando que:

“Considerando la corona de deslizamiento, se supone que los más grandes Procesos de Remoción en Masa fueron aquellos localizados en la costa de Lebu, en cerro Lo Galindo y en punta Tumbes, pero sus efectos no fueron significativos pues se produjeron en áreas deshabitadas.” (Mardones M. 2012)

Como reflejan los autores, el hecho de que aquellos procesos de remoción en masa hayan sido los más grandes ubicados en Lebu, solo recalca el riesgo latente que la zona ejerce por su configuración geomorfológica y ambiental, donde si bien los efectos se señalan como no significativos debido a la ocurrencia en áreas deshabitadas si marcan como precedente la susceptibilidad a generarse estos fenómenos y la exposición de la población de Lebu a estas amenazas.

En base a lo señalado por el catastro realizado por ONEMI el año 2017, se reflejan un total de seis procesos de remoción en masa diferentes donde la causa de estos se divide en cuatro por sismicidad, principalmente atribuido al terremoto ocurrido el año 2010; mientras que los otros dos, son atribuidos a la precipitación. Es decir, dentro de la comuna ocurren procesos de deslizamiento y a la vez flujo, lo que solo contribuye a la importancia que posee el generar mayor conocimiento de las principales áreas de ocurrencia de estos eventos.

Por otro lado, en el plan de recuperación Post desastre para la comuna de Lebu realizado el año 2011 se plantea de forma concreta 4 sectores donde la amenaza por procesos de remoción en masa es constante:

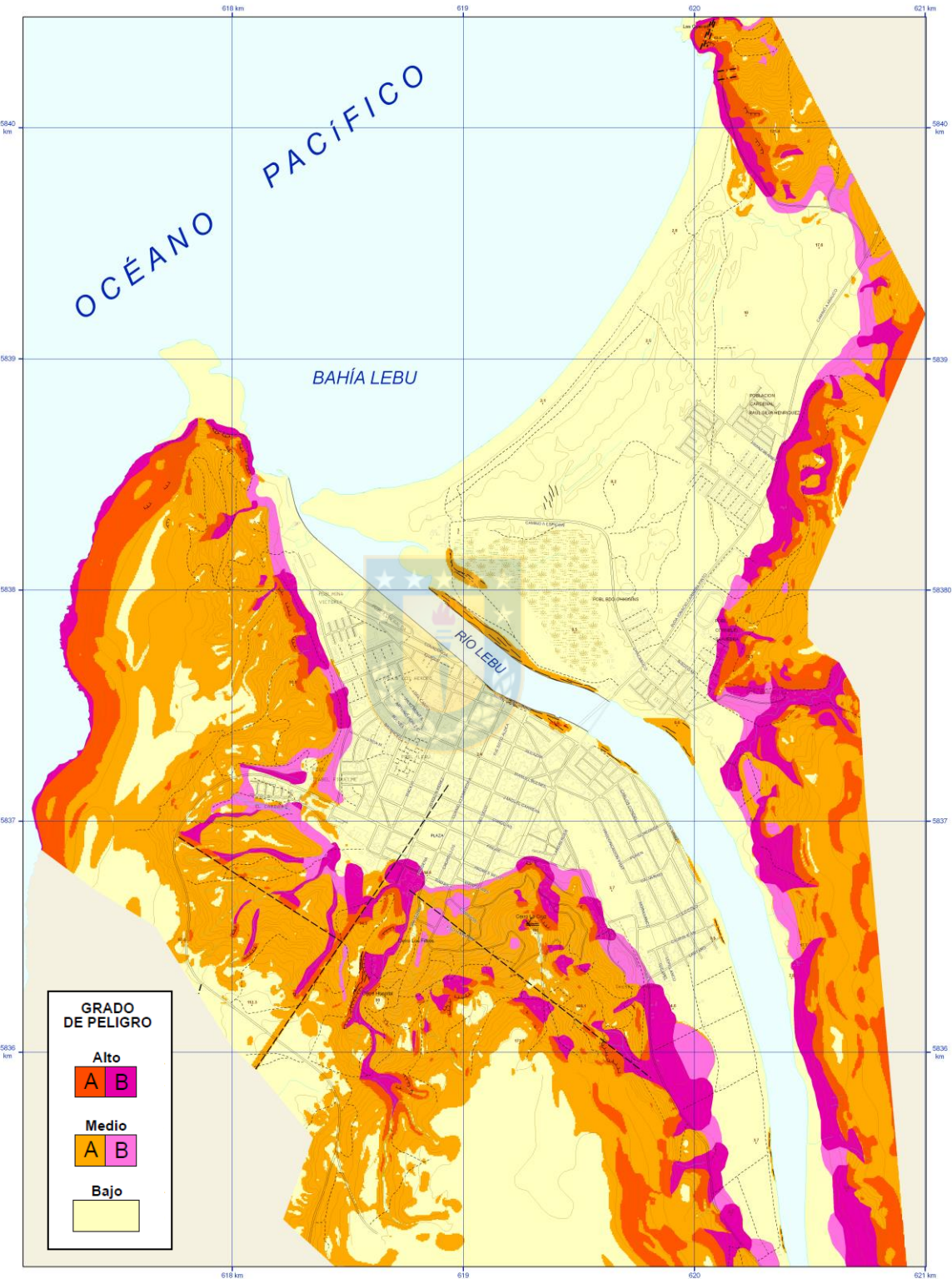
- Sector Maquehue, por la presencia de pirquenes.
- Sector Millonhue, por un estudio realizado por la universidad católica.
- El extremo norte del sector Borde Mar.
- Sector ubicado en la zona de falla geológica.

En base también a lo reflejado por el Plan de recuperación post desastre (PRPD) del año 2011 para la comuna de Lebu, los sectores presentan vulnerabilidad principalmente por las viviendas y equipamientos que están dentro de las zonas calificadas como de amenaza, además de presentar movimientos de población tanto por aspectos turísticos como laborales.

Después del terremoto del año 2010, Servicio nacional de geología y minera (SERNAGEOMIN) elabora un diagnóstico de peligrosidad para la ciudad de Lebu en el cual se concentra en los factores físicos haciendo un relevamiento de zonas de amenaza. (Figura 1). Dicho Diagnostico se centra únicamente en aspectos físicos considerando y definiendo procesos de remoción en masa en base a ciertos criterios; no toma en consideración aspectos sociales que puedan llegar a afectar los niveles de vulnerabilidad que posean quienes habitan dicho espacio geográfico, lo que termina por configurar un diagnóstico del medio físico post terremoto para generar consideraciones en relación con la probable ocurrencia de procesos de remoción en masa.

A pesar de lo anterior, las observaciones realizadas por el PRPD vinculan a la vulnerabilidad en un ámbito netamente estructural y generan líneas generales sobre diferentes riesgos asociados a la comuna de Lebu, no logrando realizar una mayor precisión en lo que respecta a las condiciones de riesgo por proceso de remoción en masa que posee el área urbana y la localidad, ni tampoco señala una posible medida de mitigación para los eventos de desastre.

Figura 1: Cartografía de peligrosidad por procesos de remoción en masa ciudad de Lebu



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010

GRADO DE PELIGRO

DESCRIPCIÓN



Áreas de Generación (A): Corresponden a las zonas con alta susceptibilidad de generación de remociones en masa. En estas áreas se observan, principalmente, deslizamientos rotacionales, flujos de barro y en menor medida, caída de rocas.

Se presentan, en general, en laderas con altas pendientes y con evidencias de remociones en masa.

Áreas de Depósito (B):

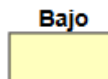
Corresponde a las zonas con alta susceptibilidad de ser afectadas por depósitos de remociones en masa, situadas inmediatamente debajo las áreas de generación (A).



Áreas de Generación (A): Corresponden a las zonas con susceptibilidad media de generación de remociones en masa, caracterizadas por pendientes moderadas y con algunas evidencias de remoción en masa.

Áreas de Depósito (B):

Corresponden a las zonas con posibilidad de ser afectada por depósitos de remociones en masa, situadas inmediatamente bajo las áreas de Peligro Medio de generación (A).



Zonas de baja a nula susceptibilidad de generación y depositación de remociones en masa. Corresponden a zonas bajas, generalmente con pendientes entre los 0° y 15°, y escasas evidencias de remociones en masa.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2010

RECOMENDACIONES

No se recomienda la construcción de viviendas, servicios básicos y de emergencia en estas zonas.

Para el caso de las construcciones ya existentes, realizar medidas de mitigación y contención para resguardar la seguridad de construcciones y habitantes. En aquellas áreas con remociones en masa declaradas y activas, se recomienda la erradicación de viviendas.

La implementación de medidas de mitigación debe ser acorde a estudios de estabilidad de taludes.

En las zonas de grietas generadas por el terremoto, se recomienda hacer un manejo de aguas lluvia, con el fin de disminuir la infiltración y, subsecuentemente, disminuir la susceptibilidad de remociones en masa asociadas a lluvias intensas.

En las Áreas de Depósito (B), se recomienda efectuar obras de mitigación, para disminuir la energía del material removido. Se recomienda, además, establecer zonas de seguridad que restrinjan las construcciones en las cercanías de estas áreas.

Efectuar medidas de mitigación y contención. Las actividades y el uso del suelo, en estas áreas, deben evitar agudizar los factores condicionantes. Así, se recomienda evitar movimientos y acopios de material sin estabilizar, desforestación, intervención de cauces y quebradas, modificación de taludes, entre otros.

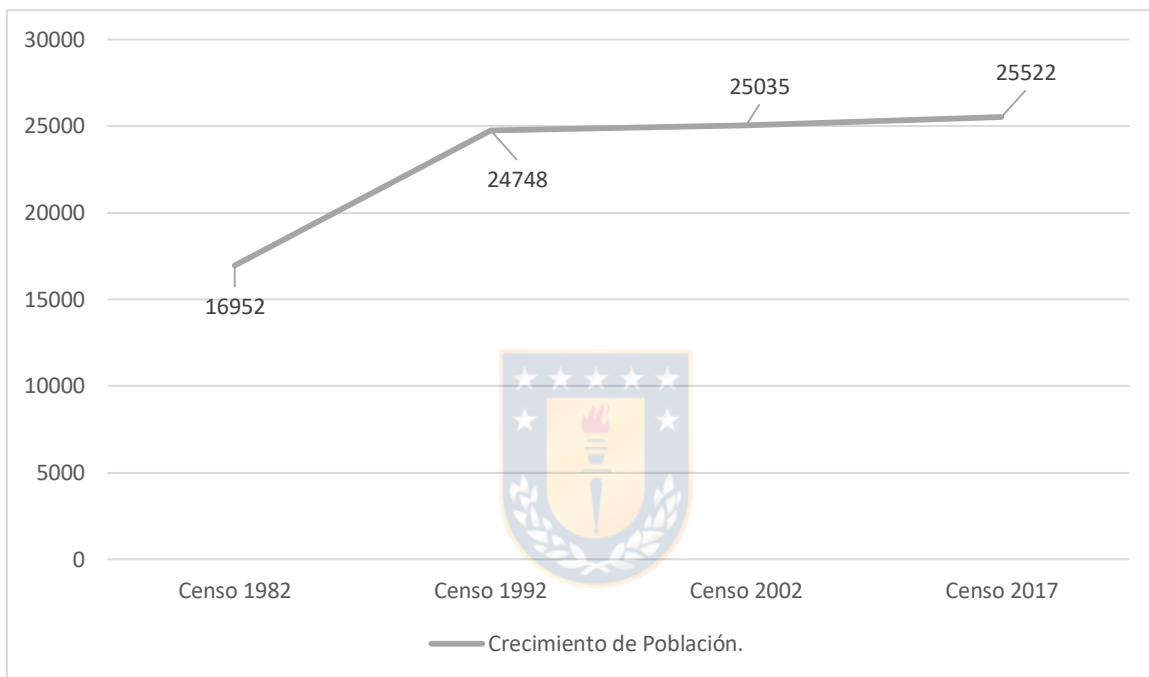
Áreas recomendables para desarrollo urbano.

Las áreas próximas a zonas de mayor peligro, deben ser evaluadas en mayor detalle, toda vez que los márgenes a cada zona, tienen limitaciones de fuentes y escala de trabajo.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2010

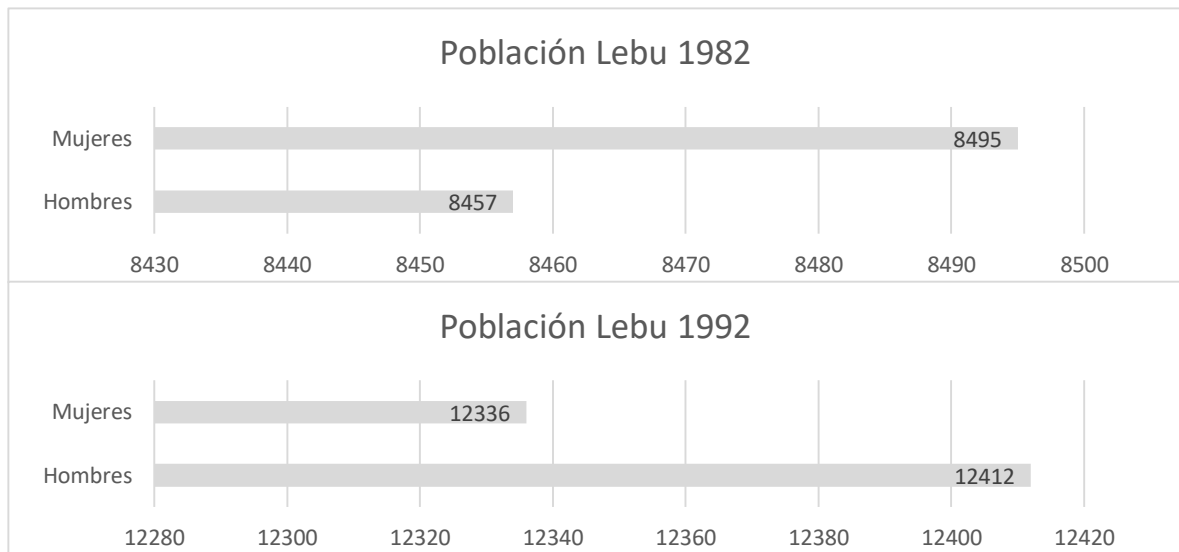
En este contexto es relevante verificar cual ha sido la evolución que ha tenido el área urbana de Lebu las zonas efectivamente susceptibles a procesos de remoción en masa y evaluar si el crecimiento de la ciudad ha producido nuevas o ampliado las ya existentes zonas de riesgo ante estos fenómenos. Lo que se puede evidenciar con el crecimiento de la población en la comuna de Lebu que de acuerdo a la información censal se ha mantenido en crecimiento constante.

Grafico 1: Crecimiento de Poblacional Comuna de Lebu



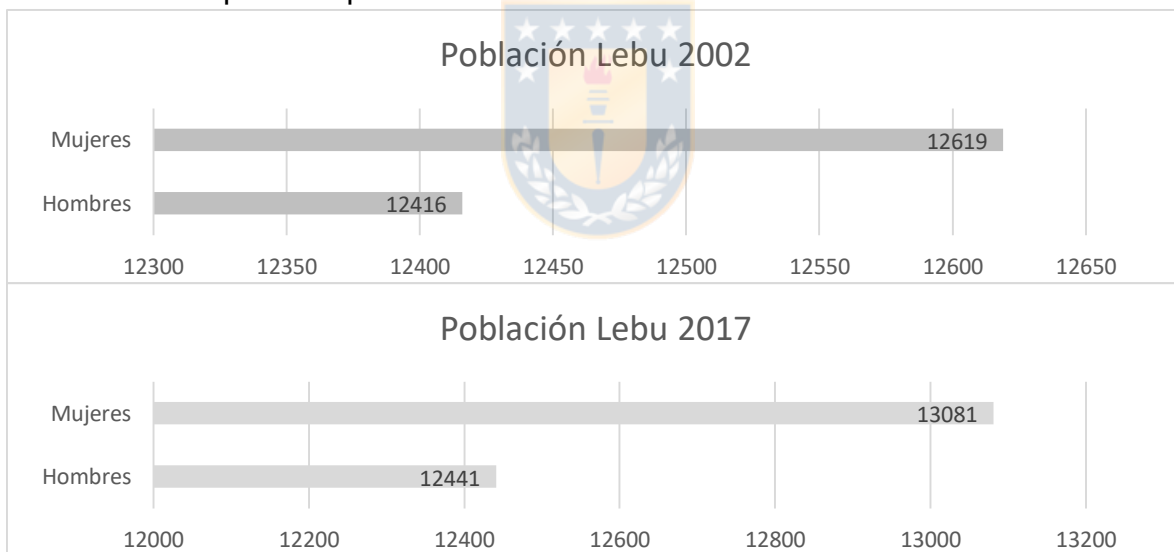
Fuente: Reporte comunal Biblioteca del Congreso plataforma online

Grafico 2: Comparativa población Lebu años 1982-1992



Fuente: Extraído de plataforma online memoria chilena

Grafico 3: Comparativa población Lebu años 2002-2017



Fuente: Extraído de plataforma online memoria chilena

Se hace entonces necesario identificar las zonas de mayor probabilidad de evento de RM y a la vez evaluar, la situación de vulnerabilidad de la población que habita esas zonas. Esto permitirá generar medidas que puedan llegar a ser preventivas y de mitigación ante los efectos negativos que pudieran ocurrir de manera precisa y enfocando el estudio en la única temática de remoción en masa. Aportando a la gestión del riesgo desde la perspectiva de actualizar el plan regulador comunal.

3. Preguntas de investigación

- a. ¿Cuáles son los niveles de amenaza por procesos de remoción en masa en la ciudad de Lebu?
- b. ¿Qué tan vulnerable es la población de la ciudad de Lebu frente a la remoción en masa?
- c. ¿Han aumentado los niveles de riesgo por procesos de remoción en masa desde el año 2010 en el área urbana de Lebu?

4. Hipótesis

El riesgo frente a procesos de remoción en masa en la ciudad de Lebu ha aumentado en la última década, fundamentalmente por un crecimiento urbano que aporta a un aumento de la vulnerabilidad frente a esta amenaza.

5. Objetivos



a. Objetivo General

- Evaluar la evolución de los niveles de riesgo por procesos de remoción en masa en la ciudad de Lebu.

b. Objetivo Específicos

- a) Zonificar las zonas de amenaza del área urbana de Lebu.
- b) Evaluar la vulnerabilidad de la población que habita las zonas de amenaza la ciudad de Lebu.
- c) Comparar y contrastar el crecimiento urbano de la Ciudad de Lebu con las áreas de amenaza de remoción en masa.
- d) Definir los niveles de riesgo por procesos de remoción en masa de la ciudad de Lebu.

6. Marco Teórico

a. Riesgo

El riesgo es un concepto muy complejo de definir, y que según diversos autores puede marcar ciertos enfoques en sus definiciones debido a las consideraciones que estos toman para lograr una definición. Dentro de su complejidad el riesgo, se fragmenta en dos partes: una natural asociada a la como amenaza y una social que se asocia a la vulnerabilidad.

Esto puede relacionarse a través de lo planteado por (Echemendía, 2011) donde señala comentarios a la definición del riesgo como: *“El riesgo de una actividad puede tener dos componentes: la posibilidad o probabilidad de que un resultado negativo ocurra y el tamaño de ese resultado. Por lo tanto, mientras mayor sea la probabilidad y la pérdida potencial, mayor será el riesgo.”*

Esta definición que si bien no pertenece al concepto de la geografía si permite generar la idea de que el riesgo señala no solo la probabilidad del evento sino también el nivel de daños que este puede generar, esto puede ser aproximado hacia los procesos de remoción en masa, donde a mayor probabilidad de este evento mayor será el daño generado.

Sin embargo, en esta concepción del riesgo no se señala la idea de la vulnerabilidad, ambas aproximaciones de probabilidad y el tamaño, no contemplan a la vulnerabilidad directa que poseen los individuos sobre el riesgo al que se encuentran expuestos.

Por lo que es importante señalar que se debe tener en consideración dentro del riesgo los factores antrópicos que son causantes de que la seguridad de los habitantes como la de sus bienes se encuentre en estado de vulneración. Como menciona (Romero & Vidal, 2015: 345), *“que lo más sobresaliente de la construcción social de la vulnerabilidad”* debido a que cuando en las áreas de concentración de estas amenazas se superponen especialmente con la localización de los grupos humanos más vulnerables, se crean las condiciones propicias para que se

trasformen a su vez en desastres socio naturales, visto como uno de los problemas más relevantes ante la imposibilidad de controlar las amenazas naturales. (Romero & Vidal, 2015, pág.323).

Por lo cual, el riesgo puede ser comprendido en una dimensión socio-natural donde no solo la peligrosidad del medio natural definirá el nivel de riesgo, sino que también los niveles de vulnerabilidad contribuirán al riesgo general, de un espacio geográfico en específico, donde el mismo riesgo de manera matemática puede transformarse en una probabilidad o desde una perspectiva cuantitativa puede convertirse en un daño para quien habita dicho espacio comprendiendo la violencia del evento como un factor que se impone sobre la realidad de un espacio socio-natural.

b. Vulnerabilidad

Podemos definir a la vulnerabilidad dentro del espectro del estudio de riesgos como *“la susceptibilidad intrínseca de un individuo o elemento a sufrir daños debido a la ocurrencia de posibles acciones externas, y por lo tanto su evaluación contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso”* (Cardona, 1992).

Desde un punto de vista netamente social, acorde a la definición descrita por Ruiz, 2012, *“la vulnerabilidad se establece como las características de una persona o grupo y su situación, que influyen su capacidad de anticipar, lidiar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza”* (Ruiz, 2012). A esto, se agrega *“la pertinencia de un enfoque normativo para definir y medir la vulnerabilidad, entendida como las condiciones de individuos, hogares o colectivos que limitan su capacidad de evitar un serio daño para ellos en una situación de riesgo.”* (Ruiz, 2012).

En complemento a esto, se agrega lo referente a lo social, de donde se desprende que la vulnerabilidad es una característica de los sujetos que habitan un territorio y que se relaciona con la capacidad de estos a superar situaciones adversas y que representan una amenaza a la integridad del individuo, el territorio y los elementos contenidos en este.

Esta capacidad de resiliencia está dada a su vez por la disponibilidad y acceso a distintos elementos y factores como el manejo óptimo del territorio, la planificación urbana, condiciones habitacionales favorables, educación y formación de consciencia ante la posibilidad de amenazas. Donde su presencia o ausencia, condiciona la capacidad de resistir ante estas eventualidades de forma favorable o desfavorable, haciendo importante la medición de esta característica a través de indicadores de umbrales que miden la probabilidad de amenaza y pérdida, con el fin de establecer de forma precisa niveles de vulnerabilidad que inciden en quienes habitan un determinado territorio.

c. Amenaza

El concepto de amenaza dentro de la dimensión del riesgo forma la mitad del concepto, por lo mismo, es relevante el lograr su comprensión para entender lo que puede o no abarcar el concepto.

Una posible definición es, *“el peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural que puede presentarse en un lugar y tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y período de tiempo”* (García J., 2014).

La definición anterior, es relevante al poder señalar el origen de la amenaza como el medio natural, siendo este quien en un principio termina por definir qué tipo de amenaza será la que puede o no ocurrir, de acuerdo al medio, entonces un río será asociado a procesos de anegamiento, cercanías a monocultivos a incendios forestales, pendiente elevadas a procesos de remoción en masa, etc. Sin embargo, las consecuencias que entrega García, 2014 permiten comprender las dimensiones de lo que es afectado por la amenaza, donde se llegan a incluir en amen de sus características no solo una dimensión física, sino también una social y económica.

Por otro lado, García solo incluye en su definición matemática de la probabilidad de ocurrencia del evento por lo que se requiere un autor como Suarez, (2008), que señala, *“La facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.”* (Suarez, 2008). Suarez nuevamente toma en consideración el medio físico, por lo que a la sólida definición entregada por García debe incluirse nociones de probabilidad de ocurrencia no solo basadas en cálculos matemáticos, sino que también en la lógica natural del paisaje sobre el cual se está produciendo la amenaza.

Sin embargo, esta definición es mejorable, Vargas señala, *“la amenaza depende de la energía o fuerza potencialmente peligrosa, de su predisposición a desencadenarse y del detonador que la activa.”* (Vargas, 2002) Al mencionarse un detonador, se puede mencionar que para la existencia de la amenaza es estrictamente necesario la ocurrencia de un detonante que provoque el evento sobre el cual ocurre dicha amenaza.

Si se consideran los discursos de estos tres autores es posible llegar a una definición más concreta de lo que resulta ser una amenaza, un peligro constante que posee estricto origen y relación en las condiciones del medio donde se inserta, cuya ocurrencia depende del medio y de factores inductores del evento.

d. Procesos de Remoción en Masa

A modo de completo sobre la definición de amenaza resulta imperante el lograr definiciones en relación con los procesos de remoción en masa, sin embargo, existe una decente cantidad de bibliografía que permite tratar estos procesos con diferentes aproximaciones. Pese a lo anterior, el proyecto multinacional andino, logra generar definiciones generales para los tipos de procesos de remoción en masa:

- a) Caídas: *“La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el*

material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento” (PMA: GCA, 2007)

- b) Deslizamiento de roca o suelo: *“Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.” (PMA: GCA, 2007)*
- c) Propagación lateral: *“La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material.” (PMA: GCA, 2007)*
- d) Flujo: *“Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída” (PMA: GCA, 2007)*
- e) Reptación: *“La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo” (PMA: GCA, 2007)*
- f) Deformaciones gravitacionales profundas: *“Estos tipos presentan rasgos de deformación, pero sin el desarrollo de una superficie de ruptura definida y usualmente con muy baja magnitud de velocidad y desplazamiento.” (PMA: GCA, 2007)*

Estas definiciones permiten lograr clasificar el tipo de proceso de remoción en masa que ocurre en la zona de estudio al mismo tiempo de entender que factores son los que inducen la ocurrencia del evento.

I. Factores Desencadenantes de los procesos de remoción en masa.

Dentro de la naturaleza de estos procesos geodinámicos existen sus factores desencadenantes o también identificados como las causas de las remociones en masa, donde se puede realizar una distinción entre los de tipo pasivo y otros de carácter activo.

Por su lado los factores pasivos, hacen relación a las características propias de la naturaleza, su estructura y también la forma del terreno (González de Vallejo, 2002) todo esto, dentro de un espacio geográfico en específico que termina por configurar la probabilidad de que ocurran procesos de remoción en masa.

Por otro lado, los factores activos o también llamados detonantes, son donde condicionantes externos terminan por provocar una respuesta en el espacio geográfico que genera los procesos de remoción en masa, esto dentro de un corto periodo de tiempo entre lo que se determina como la causa (factor activo) y el efecto (proceso de remoción en masa) (Lara y Sepúlveda, 2008).

II. Evaluación de Remoción en Masa.

La evaluación de los procesos de remoción en masa puede ser realizada en base a criterios cualitativos y cuantitativos, donde se plantean escenarios para lograr generar un análisis completo del desastre natural.

Las metodologías cualitativas presentan evaluaciones en base a la representación en forma de por ejemplo cartografías, Paraise, (2001), utiliza cuatro tipos de mapas para lograr una representación del movimiento de laderas, donde se consideran zonas preliminares, mapas de actividades, mapas de susceptibilidad y finalmente un mapa de vulnerabilidad.

Para Ercnaglu & Gokceoglu, (2002)s consideran la generación de dos cartografías una de susceptibilidad y peligro mediante lo que consideran la llamada "Fuzzy Logic" este estudio fue aplicado en Yenice, Turquía. Se basa en lograr una identificación de factores condicionantes para generar una ponderación de cada uno de estos

sobre las cuales se plantean reglas con el objetivo de generar mapas de susceptibilidad en base a las propiedades del área de estudio.

Una metodología cualitativa que aplica sistemas de información geográfica (SIG) corresponde a la aplicada por Donatti & Turrini, 2002 en el cual se plantea la ponderación de acuerdos a los factores de influencia, mencionan a la litología, orientación de la ladera, presencia de lineamientos y fallas.

Las tres metodologías planteadas pueden ser vinculadas al concepto de análisis multicriterio, una técnica clave para la medición del riesgo considerando que es de suma importancia el lograr considerar cada uno de los factores que generan un efecto en la ocurrencia del desastre socio-natural.

En lo que respecta a metodologías cuantitativas, como señalan Lara y Sepúlveda (2008) poseen un enfoque de carácter probabilístico y/o determinísticas, en relación con estadística. Un ejemplo de esto resulta la evaluación de riesgo geológico realizado en Hong Kong por Kong (2002) donde se plantea un trabajo de estimación de ocurrencia de muerte debido a las remociones en masa por deslizamientos o por derrumbes, Kong (2002) plantea a la vez un enfoque de costo/beneficio para la realización de mitigación y prevención de eventos.

Para el caso de Chile, en particular la zona oriente de Santiago, Padilla (2006) construye una metodología de tipo estadística multivariable que busca identificar la probabilidad de ocurrencia de un evento de remoción en masa producto de factores meteorológicos, donde si bien se especifica criterios como el nivel de nieve y la evolución del área de estudio en plazos de tiempo medidos en días existe una simplificación de los factores de desencadenantes dándole única importancia a los criterios metodológicos.

Luzi (2000) genera una metodología estadística que es aplicada a la región Toscana, Italia donde se realiza un enfoque en base a la sismicidad que termina por ser asociada a las fallas de laderas de la zona. Para este caso el enfoque metodológico se centra en características geológicas y una relación geométrica de la zona de estudio sin pasar a considerar otro factor desencadenante.

Es importante mencionar la existencia de metodologías de enfoque mixto, donde tanto criterios estadísticos como consideraciones cualitativas son consideradas

dentro de este enfoque permitieron una mirada holística de la evaluación del desastre, (Sepúlveda & Rebolledo, 2000) aplican una metodología de tipo mixta en su estudio de la Quebrada Lo Cañas para la zona oriente de Santiago, posee la base de consideraciones cualitativas para los principales factores gatillantes y su vez, un criterio cuantitativo al otorgar a cada factor considerado una ponderación lo que termina por permitir obtener un grado de susceptibilidad, considerando a las precipitaciones como factor gatillante.

Por su parte, Pelletier (2005) genero un modelo de tipo numérico para generar una predicción de flujos e inundaciones en base a abanicos fluviales a través de modelos de elevación digital. Dicha metodología fue aplicada en Arizona, E.E.U.U. donde se realizó un diagnóstico de la geología superficial y un análisis completo a través de imágenes satelitales lo que termino por arrojar la probabilidad de ocurrencia de flujos.

Las metodologías revisadas para la evaluación de los procesos de remoción en masa acusan que los enfoques multicriterios logran abarcar de mejor manera las características a las que responden estos factores geodinamicos, recalcando que las consideraciones que toman las metodologías mixtas implican tanto un enfoque centrado en valores como en el contexto que posee el espacio geográfico en cuestión logrando generar escenarios para estos desastres naturales que reflejan de manera más verídica la realidad.

e. Instrumentos de planificación territorial y procesos de remoción en masa.

Los instrumentos de planificación territorial (IPT) pertenecen a la idea del ordenamiento territorial y a la planificación urbana, estas herramientas poseen niveles de intervención desde una escala macro hasta un nivel micro, lo que termina por permitir configurar espacios de acuerdo a los planes que se tengan para los territorios en cuestión.

En el marco nacional, la Subsecretaria de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) define al ordenamiento territorial como *“la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad (...) cuyo*

objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector.” (SUBDERE, 2011).

Estas políticas de diferentes criterios también deberán considerar al riesgo como un tipo de política dentro del ordenamiento territorial consideración que puede ser apreciado en ciertos planes reguladores comunales a través de la caracterización diferentes usos de suelo donde se establecen zonas seguras o de alto riesgo para la población que habita el territorio.

Dentro la legislación nacional, la ley general de urbanismo y construcciones (LGUC) es lo que prima sobre los diferentes instrumentos junto con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) donde en el artículo 2.1.2. Establece a los instrumentos de planificación territorial, estos en base al territorio abarcado son:

- Plan Regional de Desarrollo Urbano. (PRDU)
- Plan Regulador Metropolitano. (PRM)
- Plan Regulador Intercomunal. (PRI)
- Plan Regulador Comunal. (PRC)
- Plan Seccional.
- Limite urbano.

Sin embargo, también es posible mencionar a nivel regional a las estrategias regionales de desarrollo (ERD) líneas que si bien no son un instrumento vinculante sus lineamientos son aplicados para las consideraciones por gobiernos regionales para la aprobación de diferentes proyectos que son sometidos al servicio de evaluación de impacto ambiental (SEIA).

A la vez, es muy importante señalar el reemplazo de los PRDU por los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT) como señala Maturana (2017) los PROT poseen componentes directamente asociados al ámbito social, rural, urbano, costero, a las cuencas hidrográficas y al riesgo.

En relación directa con el PRC la OGUC entrega directivas claras de lo que debería poseer dicho instrumento esto señalado en el artículo 2.1.10. donde se señalan:

- Una Memoria explicativa.
- El Estudio de Factibilidad.
- La Ordenanza Local.
- Planos a escalas 1:10.000, 1:20.000 y 1:50.000.

Pero una definición concreta del PRC es entregada por la LGUC en el artículo 41 donde dicta, *“conjunto de disposiciones sobre adecuadas condiciones de edificación, y espacios urbanos y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento.”* (Artículo 41, LGUC)

Es en base a la definición de la LGUC que se puede comprender lo dictado en el artículo 2.1.17 de la OGUC donde se plantea la vinculación de los planes reguladores con la planificación y riesgos del territorio, donde estos pueden llegar a definir zonas restringidas al desarrollo urbano por generar un peligro potencial (Amenaza) para los asentamientos humanos. Estas zonas restringidas son nombradas como “zonas no edificables” y se determina en base a la existencia de un riesgo sobre el espacio donde es requerido un estudio previo. Estas zonas de riesgo son tratadas dentro de la OGUC e identificadas como:

- ✓ Zonas inundables o potencialmente indudables, debido a maremotos, o a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de aguas, etc.
- ✓ Zonas propensas a avalanchas, rodadas, aluviones o erosiones acentuadas.
- ✓ Zonas con peligro de ser afectadas por actividades volcánicas, ríos de lava o fallas geológicas.
- ✓ Zonas o terrenos con riesgo generados por la actividad intervención humana.

f. Crecimiento urbano sustentable.

Con base en los objetivos de desarrollo sustentable (ODS) se puede mencionar claramente la vinculación con el objetivo número 11, es decir, ciudad y comunidades sostenibles, el crecimiento urbano sustentable tiene una vinculación directa con los planes reguladores debido a que ambos plantean el desarrollo urbano de zonas pobladas, sin embargo, el crecimiento urbano sustentable plantea el crecimiento sin comprometer los recursos para futuras generaciones. Esto es mencionado por Lezama & Domínguez (2006) los autores señalan a la sustentabilidad urbana como una característica fundamental, recalcando que debe ocupar un lugar privilegiado al permitir el soporte para otros tipos de crecimientos urbanos, dando una vital importancia a la relevancia que poseen los actores y autoridades locales en los planes de desarrollo.

También, Lezama & Domínguez (2006) recalcan la planificación urbano-ambiental, donde se plantea la coordinación entre ambas partes, enfocando como resultado el manejo de riesgos y de la vulnerabilidad de la población frente a ellos, generados en un principio por la propia ciudad habitada; con el objetivo fundamental de evitar desastres socio-naturales.

Dichos desastres socio-naturales deben ser abordados desde una perspectiva de la multi-amenaza, para lograr identificar en las áreas expuestas cuales son las amenazas reales que afectan dicha población y la relación que tengan estas. Esto, debe ser abordado de manera local, debido principalmente a que, *“Los procesos de gestión territorial no consideran adecuadamente el riesgo multi-amenaza en la planificación del uso del suelo ni lo integran con la protección ciudadana; en consecuencia, al producirse un evento, las personas y la sociedad sufren pérdidas humanas y económicas que no han sido previstas ni cuantificadas.”* (Salazar & Urbano, 2014). Las palabras de estos autores encaminan la visión de coordinación que debe existir para el llamado crecimiento urbano sustentable, donde la coordinación urbano-ambiental deba permitir la correcta aproximación de los planes reguladores hacia la gestión del riesgo, bajo la perspectiva de la multi-amenaza, con la conciencia de la sustentabilidad urbana.

8. Metodología

8.1 Enfoque Metodológico

Se plantea el uso de una metodología cuantitativa para la obtención de las variables de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Cada una de las variables poseerá criterios propios para su obtención y su evaluación, buscando la normalización de las variables para lograr un resultado lo más acertado posible. Por lo anterior, se presenta una metodología de 3 partes, una para la amenaza donde se considerarán factores físicos; una para vulnerabilidad, donde se considerarán factores sociales y finalmente una para riesgo, donde ambos criterios anteriores presentarán el producto final.

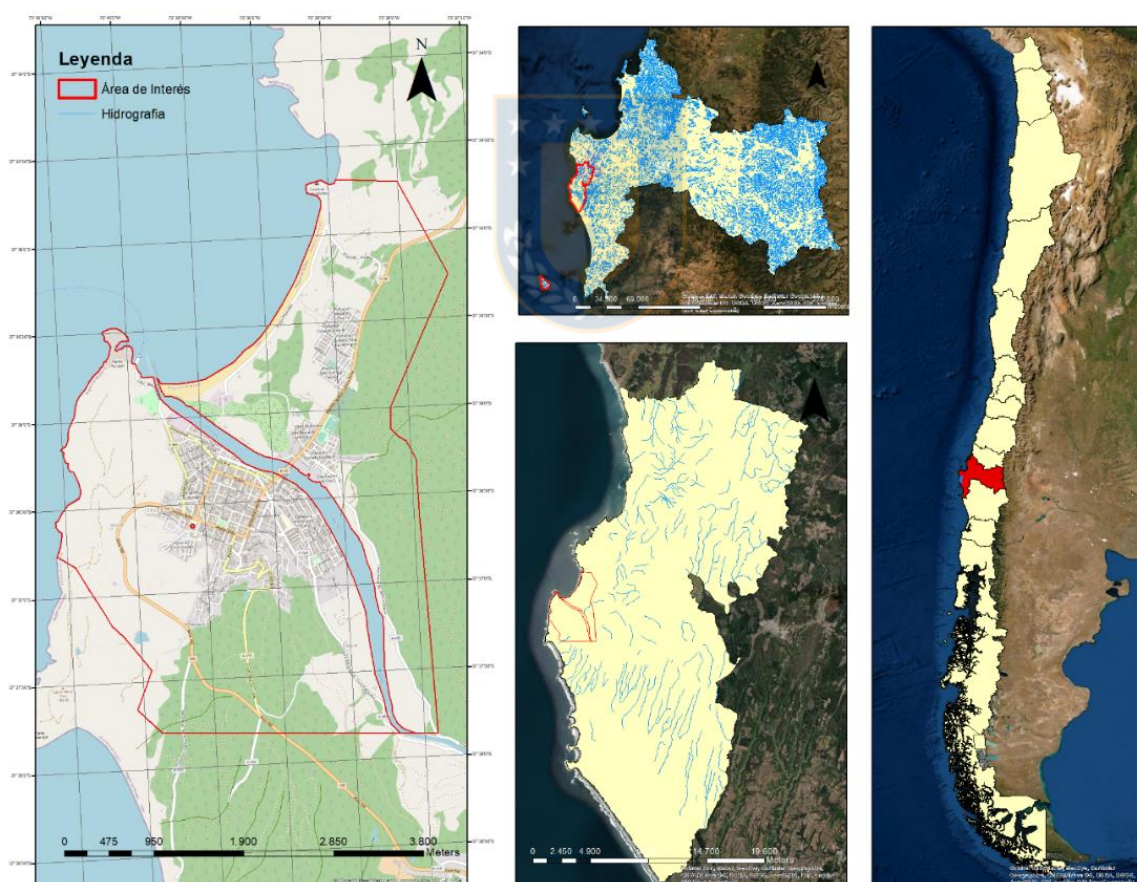
Como herramientas se plantea el uso de ArcGis 10.5 para el trabajo con algebra de mapas y con diferentes geoprocursos que permitan la obtención de productos, esta herramienta será utilizada en las partes de la investigación tanto para la recopilación de insumos como para el tratamiento de la información, su procesamiento y la obtención de resultados. Se sugiera la revisión del esquema metodológico donde se expresan las fases de las tareas metodológicas realizadas. (figura 3)

8.2. Área de estudio

El área de aplicación de la investigación se radica en la ciudad de Lebu, ubicada concretamente en el borde costero de la región del Biobío, concretamente entre $73^{\circ}40'$ y $73^{\circ}38'W$ y $37^{\circ}35' S$ y $37^{\circ}37'S$ dentro de la comuna de Lebu siendo esta ciudad la capital de la provincia de Arauco, esta comuna posee un total de población de 25.522 personas de acuerdo a censo aplicado el año 2017.

En la figura 2 es posible observar el área urbana consolidada de Lebu, en conjunto con el borde comunal y la ubicación de estas en la región del Biobío; la cartografía fue generada en ArcGis 10.5, posee el datum geográfico UTM WGS 84 huso 18 sur.

Figura 2. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Geología del área de estudio:

En relación a las características geológicas sobre las cuales se encuentra inserta el área de estudio y la comuna. Se reconocieron dos unidades geológicas distintas para la ciudad de Arauco, ellas son: Rocas Terciarias y Sedimentos Cuaternarios (Figura 4).

Rocas Terciarias

Las rocas terciarias corresponden a la formación Millongue Muñoz (1946), con características que corresponden a rocas sedimentarias de diferentes tamaños (conglomerados, areniscas y arcillas) separadas por capas y con un espesor total de aproximadamente 270 m. formados en ambientes marinos originados por una transgresión marina importante (avances del nivel del mar hacia dentro del continente). Esta unidad presenta abundante fauna fósil de invertebrados marinos y microfósiles que sugieren una edad de 52-43 ma.

Figura 3: Plataforma de abrasión elevada en la zona del Fm. Millongue

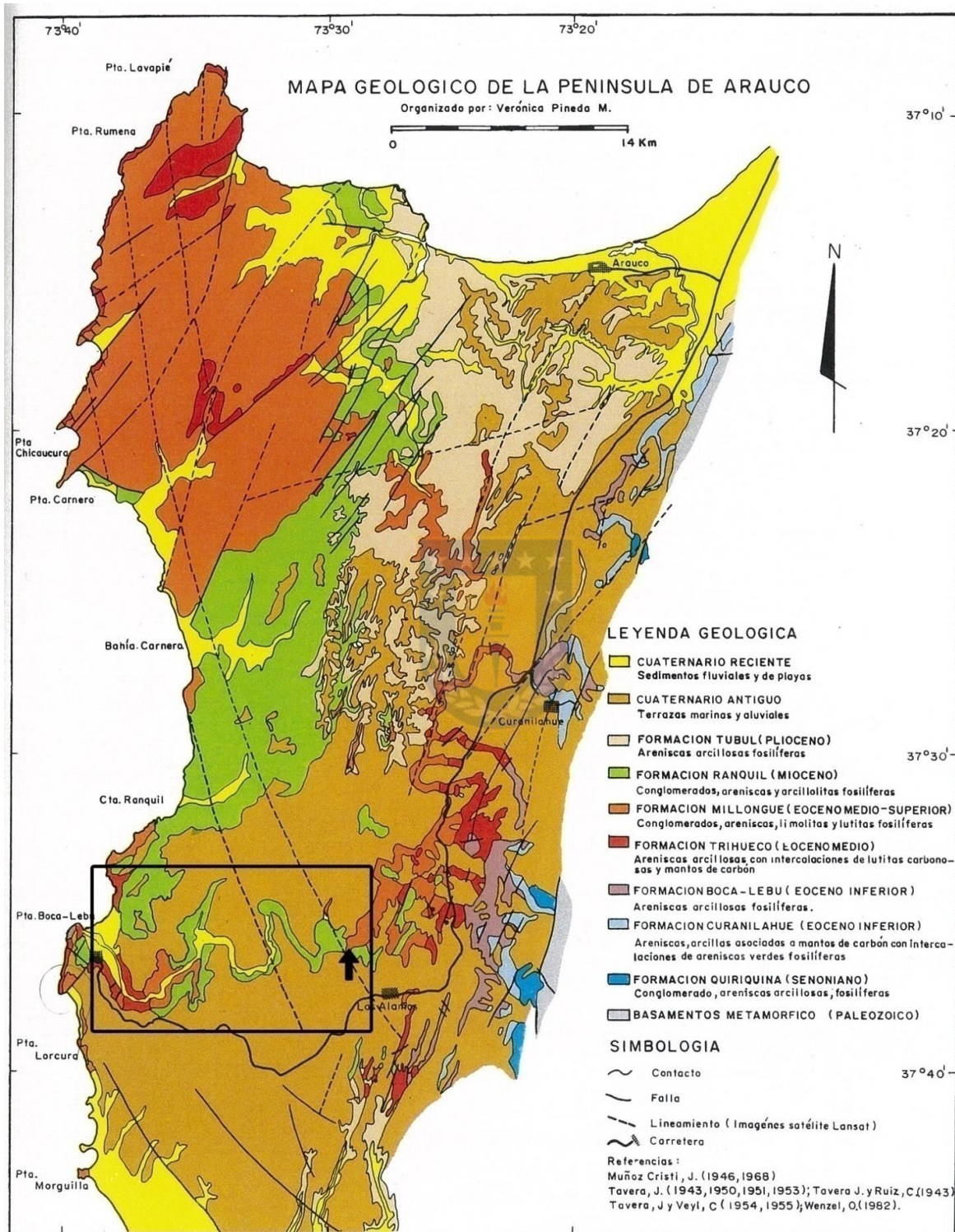


Fuente: Tomado de Geoparque Minero Litoral del Biobío.

Sedimentos no consolidados (Cuaternario).

Corresponden a material de relleno generado por erosión de laderas y transportado mediante drenajes hacia zonas bajas. Se incluye también en esta categoría los depósitos de playa. Se componen principalmente de arenas y limos.

Figura 4: Mapa Geológico de la Península de Arauco.



Fuente: Pineda, 1993.

En relación con sus características geomorfológicas, Sernageomin, 2011 recalca el emplazamiento que posee la ciudad en una llanura fluvio-marina costera delimitada por laderas de los cerros, conformados por la sedimentación de material marino y continental.

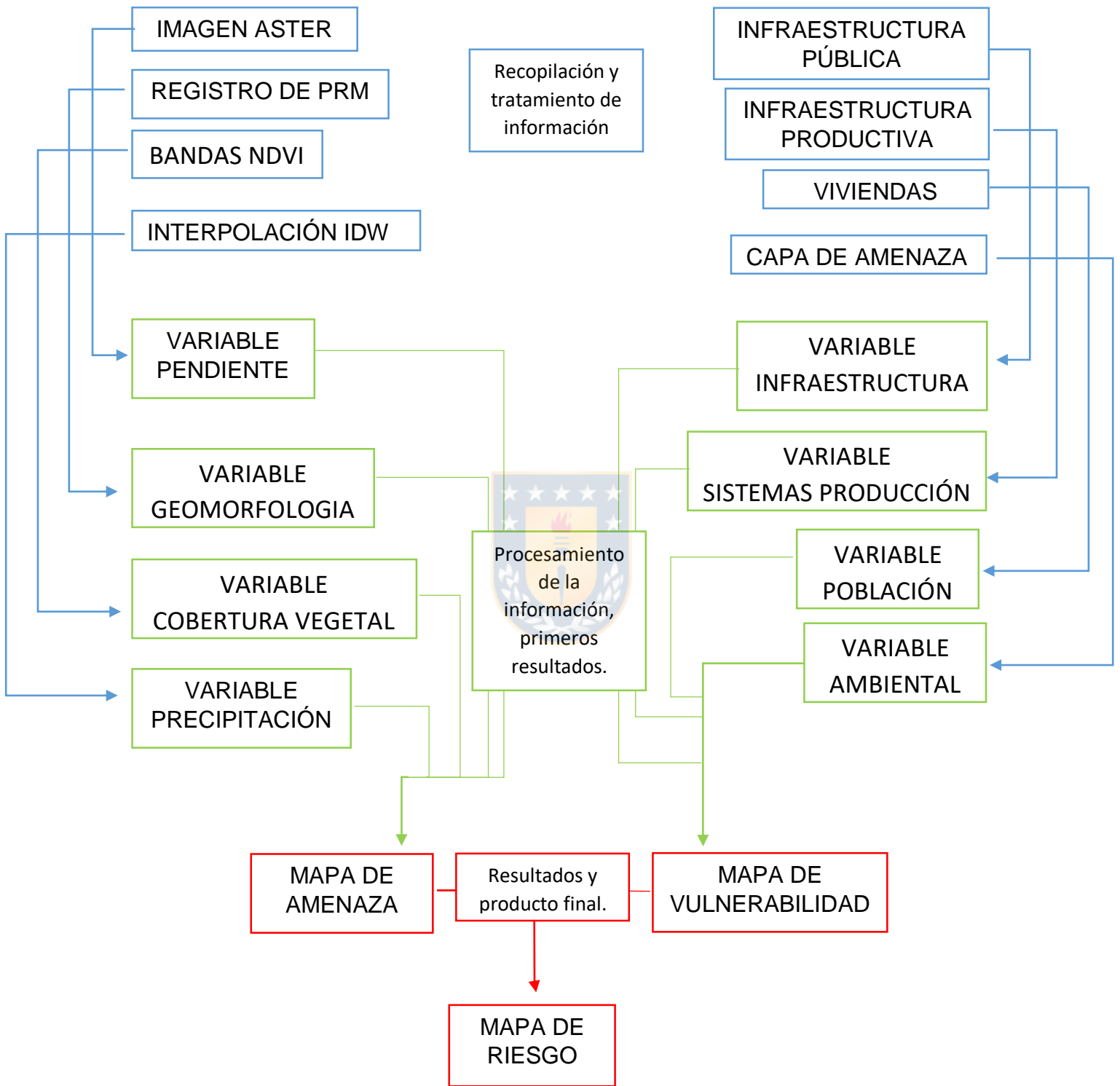
Es posible relevar tres zonas: Terrazas altas, Bajos topográficos y Escarpes: Terrazas altas: Corresponden a terrazas marinas pleistocenas (edad < 1,8 millones de años) y fueron originadas debido al alzamiento generado durante sucesivos terremotos emergiendo la plataforma de abrasión marina labrada sobre el sustrato rocoso generando una superficie plana. Tiene una pendiente muy suave hacia el mar y se encuentra erosionada en sus flancos debido al clima lluvioso desarrollando drenajes que separan fragmentos de la terraza marina conformando cerros.

Escarpes: Corresponden a las laderas de los cerros debido al desarrollo de drenajes, taludes generados por remociones en masa (derrumbes) anteriores. Constituyen zonas de gran pendiente que presentan amplificación dinámica de ondas sísmicas. Si el sustrato es inconsolidado, la falta de confinamiento lateral es favorable para gatillar deslizamientos.

Bajos topográficos: Corresponden a las depresiones localizadas entre cerros, fondo de quebradas, valles y playas. Esta zona corresponde mayoritariamente al sector de donde se emplaza mayoritariamente la ciudad de Lebu.

Desde el punto de vista climático Lebu puede ser identificado como de tipo clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera. Según la clasifican de Köppen-Geiger. Se presenta un período invernal largo y lluvioso, con precipitaciones medias anuales entre los 1550 y 2000 milímetros; con un verano de corta duración. La temperatura es moderada con una amplitud térmica también moderada. Temperatura media, enero mes caluroso, entre 16 y 19 grados C. Y julio, mes frío, entre 9 y 11 grados C. Amplitud térmica entre 6 y 7 grados C. (Mardones et al, 1983)

Figura 4: Esquema Metodológico



Fuente: elaboración propia

8.3. Evaluación de Amenaza de Procesos de Remoción en Masa

Para la obtención del escenario de amenaza se plantea la metodología de Barredo, 1996 (citado por Mujica & Pacheco, 2013) e utilizada por Mella Pérez, 2017 en la comuna de Talcahuano; donde es definida como “conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo teniendo en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen.” La ejecución de esta idea se realiza en la operación “Weighted Overlay” en ArcGis 10.5 donde se plantea una normalización de los factores considerados (capas) donde cada uno presentara un peso distinto, representado en porcentaje, en la totalidad de la amenaza. Los factores considerados son:

- Pendiente.
- Cobertura vegetal.
- Precipitación.
- Geomorfología

De acuerdo a Roa (2007), extraído de Mella Perez (2017), la normalización se debe realizar debido a que los valores de cada uno de las capas poseen distintas unidades de medida, por lo mismo, se genera una escala de 0 a 100, donde 0 representara el valor más bajo de probabilidad de evento; y 100 el valor más alto de dicha probabilidad.

8.3.1. Variables

- Geomorfología

Se han reconocidos formas de relieve, ecosistemas y características ambientales para la digitalización de las diferentes características geomorfológicas obteniendo de forma concreta una capa de información que representa la situación geomorfológica del área de estudio.

- **Cubierta Vegetal**

Para la obtención de la capa de cubierta vegetal fue necesario la utilización de un NDVI inverso (valores de -1 a 1), un NDVI corresponde a una capa que permite observar el índice de vegetación dentro del área de estudio, en donde valores más altos indican mayor grado densidad de cubierta vegetal y, por lo tanto, una menor probabilidad de procesos de remoción en masa. Su obtención fue en base a bandas satelitales conseguidas desde la plataforma Earthdata, tras lo cual fue necesario algebra de mapas en el software ArcGis 10.5. mediante el comando float en la aplicación de la formula n°1.

$$\text{FÓRMULA 1: NDVI: } \frac{\text{Banda 5(NIR)} - \text{Banda 4 (Red)}}{\text{Banda 5 (NIR)} + \text{Banda 4 (Red)}}$$

Para la obtención de la capa normalizada fue necesario lograr invertir los valores de la capa NDVI, fundamentalmente debido a que se desea representar los valores de escasez de cubierta vegetal en como altos, contrario a la información que entrega el índice de forma normal; para esto se realizó una multiplicación por el valor de -1, logrando traspasar dichos valores a positivo a través de la suma +1 y finalmente dividir el valor más alto posible. Revisar formula n°2.

$$\text{FÓRMULA 2: Cobertura vegetal normalizado: } : \frac{(\text{NDVI} * -1) + 1}{2}$$

- **Pendiente**

La obtención de la pendiente en grados se fue necesario la obtención de una imagen satelital tipo aster, conseguida en la plataforma Earth data, con la cual en base a un geoprocso de countour, se generaron las curvas de niveles necesarias para la escala de trabajo empleada, tras lo cual mediante los límites de interés para el caso de estudio se generó un tin, dicho archivo fue transformado mediante geoprocso a raster y sobre esta imagen se aplicó nuevamente un geoprocso llamado slope, logrando obtener la capa de pendiente en grados de inclinación; finalmente, fue necesaria la normalización de la capa de información para su multiplicación en la obtención de la capa de amenaza. Para ello se aplicó la fórmula N°3 en cual

mediante la división de los valores por los valores máximos en algebra de mapa se obtuve la capa de pendiente necesaria para continuar.

FÓRMULA 3: Pendiente normalizada: $\frac{\text{Pendientes } (^{\circ})}{\text{Pendiente Máxima } (^{\circ})}$
--

- Precipitación

La capa de precipitación fue generada a través de una interpolación IDW de los datos de las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la comuna. Dicha información fue obtenida de la plataforma online de la dirección general de aeronáutica civil (DGAC). Las estaciones reconocidas como relevantes son:

- Estación Lebu EssBio, ubicada a una altura de 194 msnm
- Estación Lebu, ubicada a una altura de 59 msnm

Ambas estaciones debieron ser digitalizadas de acuerdo a su ubicación geográfica, para ser posible la aplicación de la interpolación en base a los límites comunales del área de estudio. Los valores obtenidos tras la interpolación fueron normalizados mediante la aplicación de la fórmula número 4 a través de algebra de mapas, en el software ArcGis 10.5.

FÓRMULA 4: Precipitación normalizado: $\frac{\text{Precipitaciones (mm)}}{\text{Precipitación máxima (mm)}}$

8.3. Evaluación de Vulnerabilidad de Procesos de Remoción de Masa

Para la obtención de la variable de vulnerabilidad se plantea el uso una de las metodologías planteadas por Vera & Albarracín, 2017 mediante la obtención de ciertos criterios de vulnerabilidad se procede a la obtención de una vulnerabilidad en específico; la variable amenaza será utilizada como base a través de la cual identificando los niveles de amenaza se procederá a la obtención de la vulnerabilidad por criterios de exposición a dicha amenaza, por lo que la vulnerabilidad por exposición consistirá de las siguientes variables:

- Vulnerabilidad de Ambiental (VA)
- Vulnerabilidad de Infraestructura (VI)
- Vulnerabilidad de Sistemas de producción (VSP)
- Vulnerabilidad de Población (VP)

Mediante esta metodología se plantea la valoración de criterios de cada una de las “Subvulnerabilidades” A través de lo planteado por Vera & Albarracín, 2017 donde se genera un cálculo de porcentaje entregando un valor de acuerdo al porcentaje de población en estado de exposición quedando de la siguiente manera:

Tabla 1: Criterios de valoración de nivel de vulnerabilidad.

Más del 20% de los elementos expuestos en zonas de alta amenaza	Menos del 20% de total de los elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza alta y más del 30% en amenaza media	Menos del 20% de los elementos en amenaza alta y más del 60% del total de elementos expuestos se encuentran en zonas de nivel de amenaza baja
Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad baja
Valor: 3	Valor: 2	Valor: 1

Fuente: extraído de Vera & Albarracín, 2017

8.3.1. Variables

- Vulnerabilidad Ambiental

La variable ambiental será obtenida en base a la capa de amenaza donde se han considerado las variables de: cubierta vegetal, pendiente y precipitación. Esta capa permitirá entregar valores a las demás variables consideradas para la vulnerabilidad por exposición.

- Vulnerabilidad de infraestructura

Para la consideración de la infraestructura con base en Vera & Albarracín, 2017 se consideran aspectos de vías de comunicación, puentes, vialidad, hospitales, escuelas, entre otros.

- Vulnerabilidad de sistemas de producción

Para su obtención en base a Vera & Albarracín, 2017, se considerarán: cultivos, producción pecuaria, plantaciones forestales, áreas de producción industrial, minera, comercial o de criterio recreativo.

- Vulnerabilidad de población

La consideración de esta variable es fundamentalmente el número de viviendas dentro de la zona de amenaza.

Una vez entregado a cada una de las variables su valor correspondiente se procede con la suma de cada una de estas capas para luego mediante una división por el total de capas (4) se obtendrá la variable de vulnerabilidad por exposición normalizada:

FÓRMULA 5: Vulnerabilidad por exposición (VE) : $\frac{VA + VI + VSP + VP}{4}$

8.4. Evaluación del riesgo de Procesos de Remoción en Masa

Para la obtención del producto final de Riesgo por procesos de remoción en masa, se toma en consideración ambas variables obtenidas a través de la lógica de álgebra de mapas de la herramienta ArcMap; es decir, se multiplicará la variable de amenaza por la variable de vulnerabilidad por exposición obteniendo de esta forma una multiplicación de matrices lo que entregará la capa de riesgo.

FÓRMULA 6: Riesgo (R) : *Amenaza * Vulnerabilidad.*

Figura 5: Ejemplo de multiplicación de matrices.

$$\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 2 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 2 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array}$$

Como resultado de dicha multiplicación se obtendrán valores que deberán ser interpretados en 3 grupos, para un bajo nivel de riesgo valores de 1 a 2; para niveles de riesgo medio, valores de 3 a 4; y para niveles de riesgo alto valores de 6 y 9:

Tabla 2: Matriz de resultado tras multiplicación de matrices de amenaza y vulnerabilidad.

1	2	3
2	4	6
3	6	9

Tabla 3: Interpretación de resultado de matrices

Bajo riesgo	Bajo riesgo	Medio riesgo
Bajo riesgo	Medio riesgo	Alto riesgo
Medio riesgo	Alto riesgo	Alto riesgo

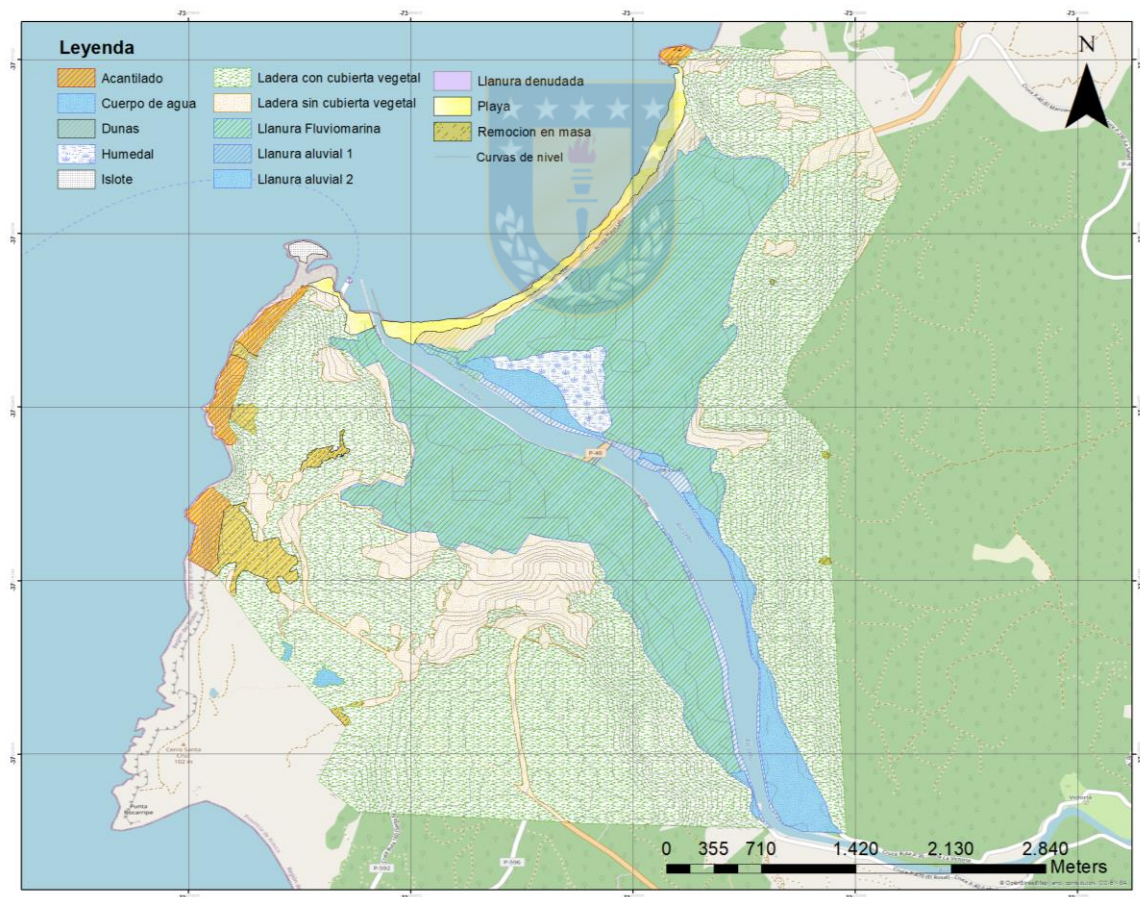
9. Resultados

9.1 Amenaza de remoción en masa en Lebu.

9.1.1 Geomorfología del área urbana de Lebu.

Dentro de las unidades geomorfológicas que pudieron ser reconocidas es posible mencionar las llanuras fluvio-marinas sobre las cuales se encuentra asentada la ciudad de Lebu, las cuales abarcan un total de 403 ha, lo que implica un 27% del área de estudio, la cual se caracteriza por su concentración de depósitos de tipo marino por su cercanía a la costa, registrando materiales finos de tipo limo y arenas; en conjunto con contribuciones de materiales fluviales más gruesos que son entregados por la dinámica del río Lebu.

Figura 6: Unidades Geomorfológicas del área Urbana de Lebu.



Fuente: Elaboración propia.

Otra de las unidades reconocidas corresponde al humedal ubicado dentro de la zona urbana de Lebu, este representa un 1,2 % con un total de 18,6 ha. Los humedales entregan diferentes tipos de beneficios a los centros urbanos dentro los cuales es posible recalcar, la amortiguación de inundaciones, diversidad biológica y la mitigación ante cambios climáticos.

En las proximidades a la costa es posible la identificación de las dunas, las que representan un 0,53 % del área de estudio extendiéndose en un aproximado de 8 ha a lo largo de la línea de playa, la cual llega hasta los 26 ha, un 1,7% del área total de estudio. A pesar de representar una pequeña extensión del área total la labor que poseen las dunas, ante el freno de la salinidad marina y la retención de sedimentos sigue siendo importante para las características medio ambientales de Lebu.

Figura 7. Playa y dunas en Lebu



Recuperado de: www.descubrebiobio.cl.

Finalmente, son relevante los acantilados ubicados por el lado oeste del área de estudio, en proximidad a zonas de mayor altitud y pendiente, concentrando un total de 26 ha lo que refleja un 1,7 % del total del área de estudio. Los acantilados han debido su configuración debido a la dinámica de erosión litoral entre los vientos y el desgaste producido por el agua.

Figura 8: Acantilados marinos activos en Lebu



Recuperado de: www.descubrebiobio.cl.

La mayor extensión la ocupan en el área de estudio, las laderas sobre antiguos acantilados con pendientes moderadas a fuertes y con intensa ocupación silvícola; laderas que abarcan hasta un 53 % del área urbana de Lebu. Por otro lado, las laderas sin cubierta vegetal representan solo un 12%.

Figura 9: Foto área, población 27 de febrero y Eleuterio Ramírez.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Foto área, población 27 de febrero y Eleuterio Ramírez.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Foto área población Bosque sur



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Foto aérea panorámica vista hacia poblaciones en laderas.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.2 Las Pendientes en el área urbana de Lebu.

Como resultado las pendientes obtenidas en grados para la comuna de Lebu es posible encontrar alturas máximas de 79,69° de pendiente, dicho valor permanece dentro del área de estudio. En las zonas próximas a áreas habitadas. Los valores de pendiente fueron clasificados en base a las clases de Brunett, 1963, de acuerdo a márgenes. Como resultado de lo anterior, es posible mencionar que un total de 62,64 ha poseen como mínimo 27° de pendiente concentrando los valores más altos. Sin embargo, la concentración de las áreas se encuentra en la clase 1, abarcando valores desde los 0° hasta los 2,9° de pendiente y alcanzando 541,42 ha del total de área de estudio alcanzan un total de 37 % del área de estudio. En la figura numero 7 es posible observar las condiciones de pendiente obtenidas tanto en nivel comunal como del área de estudio, donde es posible observar de mayor a menor los niveles de pendiente.

Tabla 4: Márgenes de pendiente en grados

Clases	Umbrales en grados
1	0 a 2,9°
2	3° a 5,9°
3	6° a 8,9°
4	9° a 11,9°
5	12° a 16,9°
6	17° a 21,9°
7	22° a 26,9°
8	> a 27°

Fuente: Brunnet, 1963.

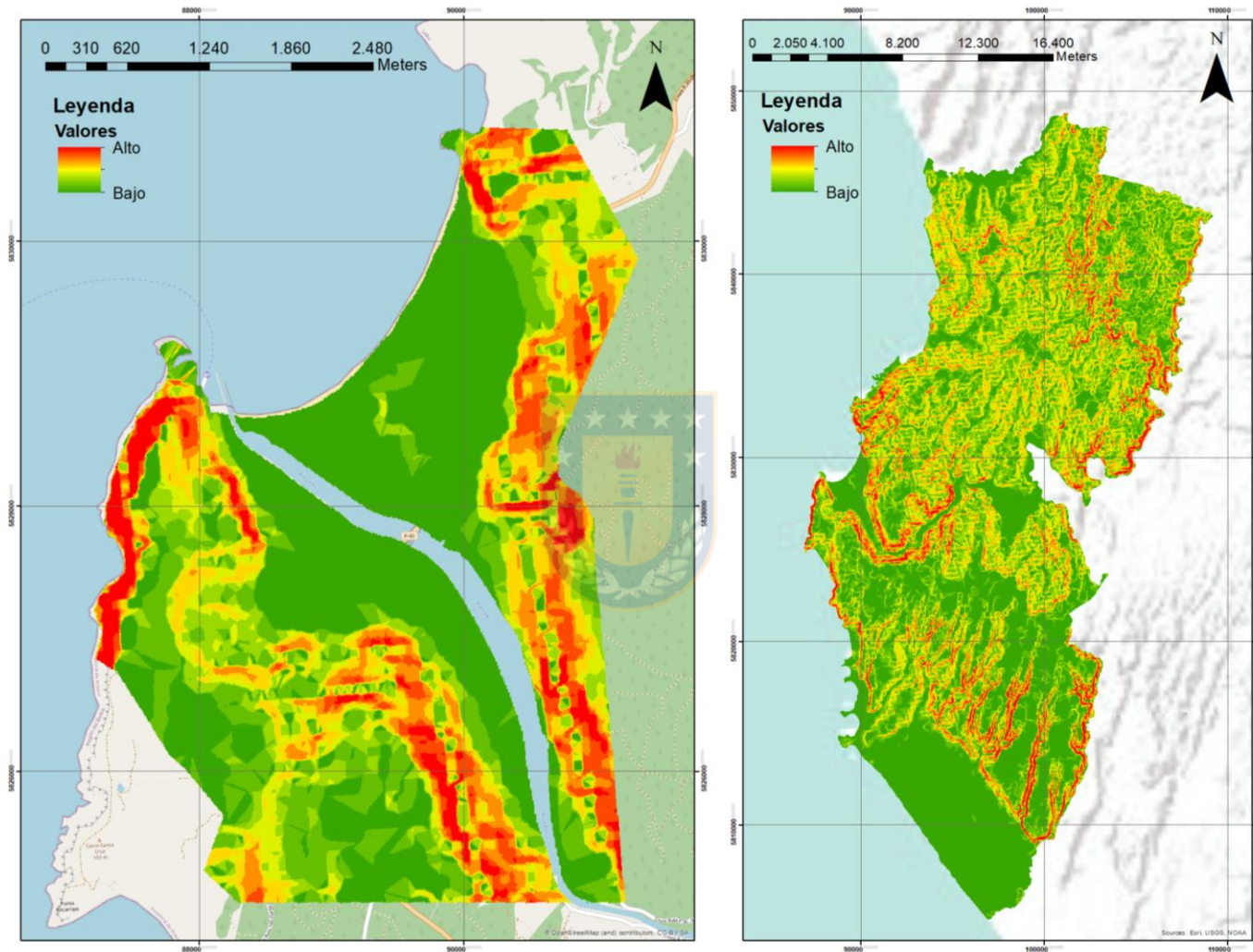
Tabla 5: Clases de pendientes en área de estudio.

Clases	Área (ha)
1	541,42
2	226,56
3	155,62
4	125,36
5	162,32
6	130,69
7	93,39
8	62,64

Fuente: Elaboración propia.

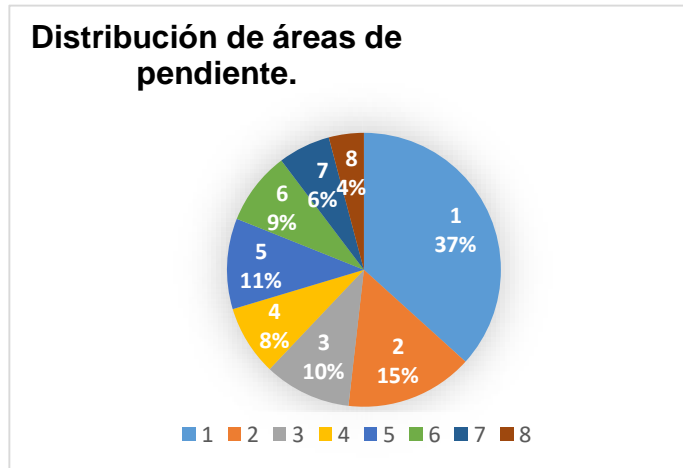
Es posible mencionar que existe esta distribución de pendientes para el área de estudio debido a la ubicación geográfica que posee, al ubicarse en una zona de desembocadura, próxima a costa y con gran influencia del río.

Figura 13: Mapa de pendiente en grados.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4: Porcentaje de clases de pendiente.



Fuente: Elaboración propia

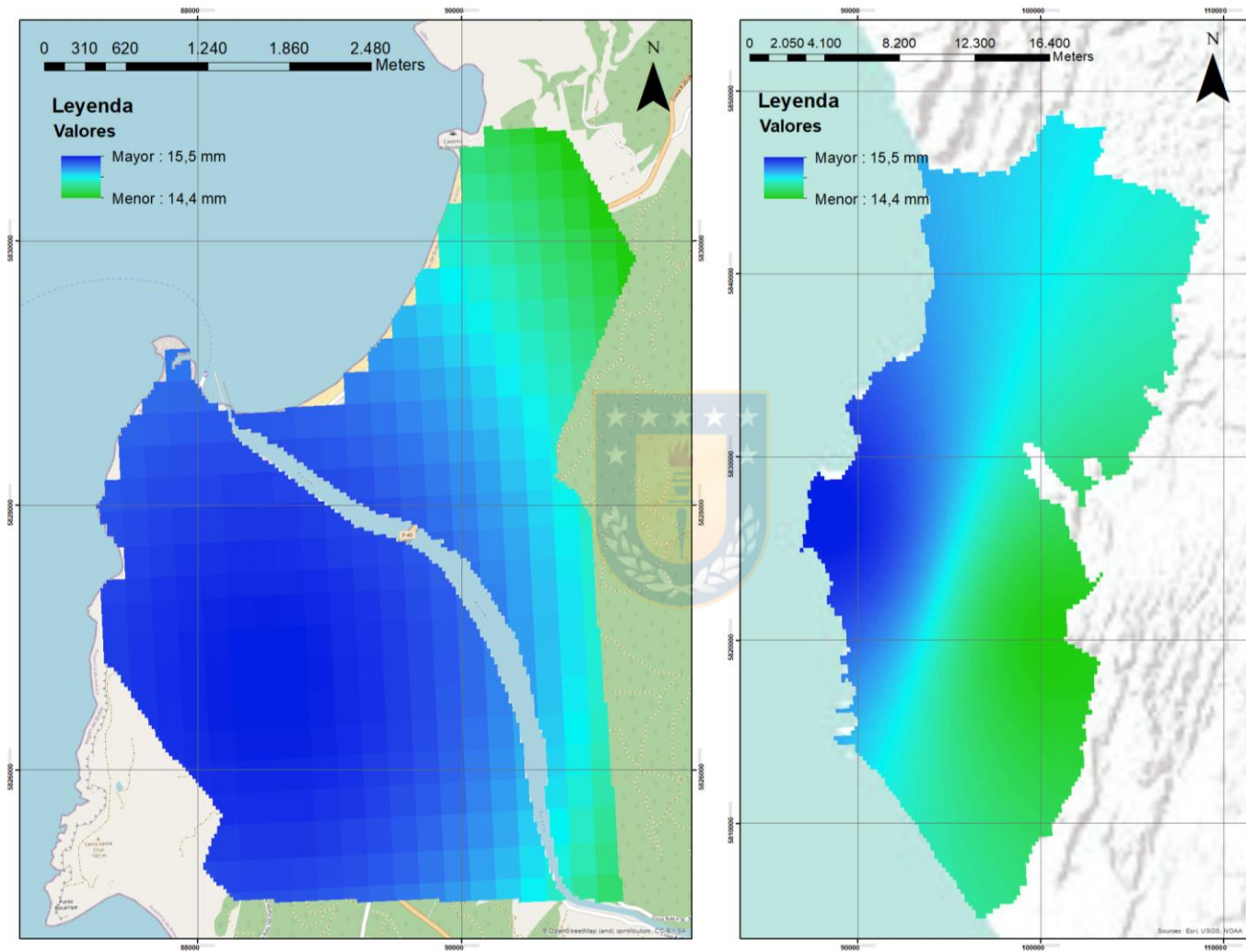
9.1.3 Aspectos Climáticos.

Para el trabajo de los aspectos climáticos y su incidencia en los procesos de remoción en masa, se trabajó con los datos de precipitación de las estaciones que se encuentra en la comuna. Los valores obtenidos tras la aplicación de la digitalización fueron:

- Estación Lebu Essbio: 15,5 mm
- Estación Lebu: 14,4 mm

Como resultado se presenta la figura 8 donde es posible observar la distribución de la lluvia caída a nivel comunal y del área de estudio. Concentrando en base la información de las estaciones pluviométricas en las proximidades del área de estudio un total de 15,5 mm, el régimen entonces se divide en base a la proximidad a costa donde es posible observar un claro aumento del régimen pluvial en contraste con las zonas más continentales.

Figura 14: Cantidad de precipitación caída por interpolación.



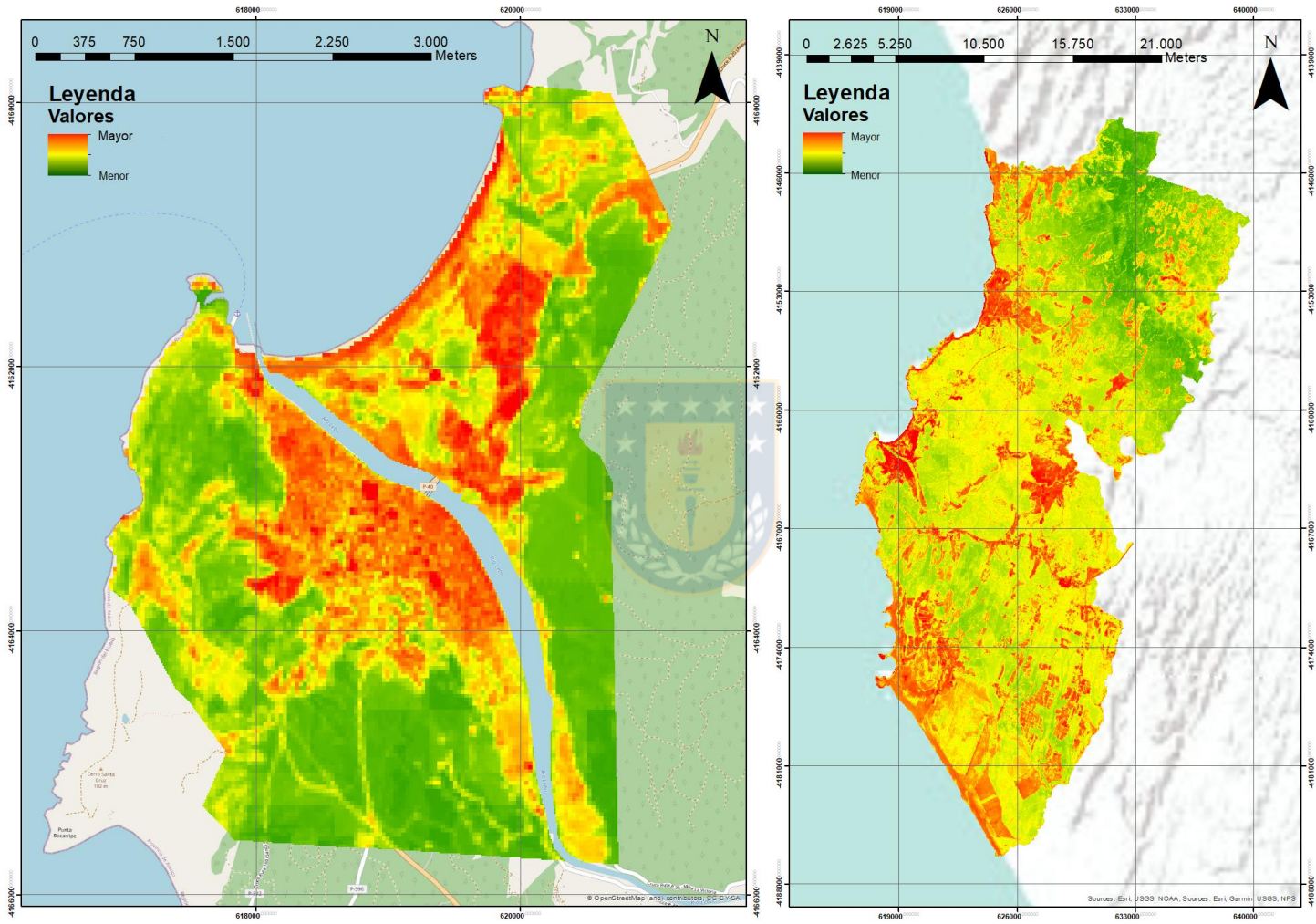
Fuente: Elaboración propia

9.1.3 Variable de Cubierta Vegetal

En relación al resultado de cubierta vegetal, es importante mencionar que el mapa obtenido indica la escasez de la misma, es decir, se ha generado un NDVI inverso. Donde manchas rojas indican una nula cubierta vegetal, manchas amarillas escasa y finalmente la presencia de vegetación ser observa a través de manchas verdes. De esta manera, se obtuvieron las zonas con mayor y menor índice de cubierta vegetal, en la figura 9 es posible observar con claridad la mancha urbana de la ciudad de Lebu, a la vez que, rutas y la vialidad del área de estudio, también es posible observar ciertos sectores de laderas identificadas en los resultados de pendiente que evidencia una clara falta de cubierta vegetal en zonas próximas al límite urbano.



Figura 15: Nivel de escasez de cubierta vegetal.



Fuente: elaboración propia

9.2 Evaluación de la Amenaza.

A través del uso de estas variables, usando un modelo cualitativo de valorización de los factores que influyen en la amenaza, se usa, a partir de un análisis de multicriterios, un modelo de evaluación de amenaza, donde un total de 54,42 % del área de estudio posee como mínimo un nivel de amenaza nivel 2, esto implicaría que más de la mitad del territorio posee las condiciones ideales para la ocurrencia de un proceso de remoción en masa. Se debe considerar que las grandes extensiones de laderas con cubierta vegetal poseen una función productiva, debido a ser plantaciones forestales lo que entrega la idea que en ciertos periodos concretos de la cubierta vegetal será menor; elevando la probabilidad de ocurrencia del evento.

Es importante señalar que las zonas de amenaza baja correspondientes al 45,58 % del área de estudio se relaciona con zonas geomorfológicas denominadas como llanuras fluvio-marinas de escasa pendiente; donde se ubica la ciudad de Lebu, sin embargo, una examinación al detalle es posible identificar zonas habitadas donde el nivel de amenaza se dispara hasta el nivel alto y medio.

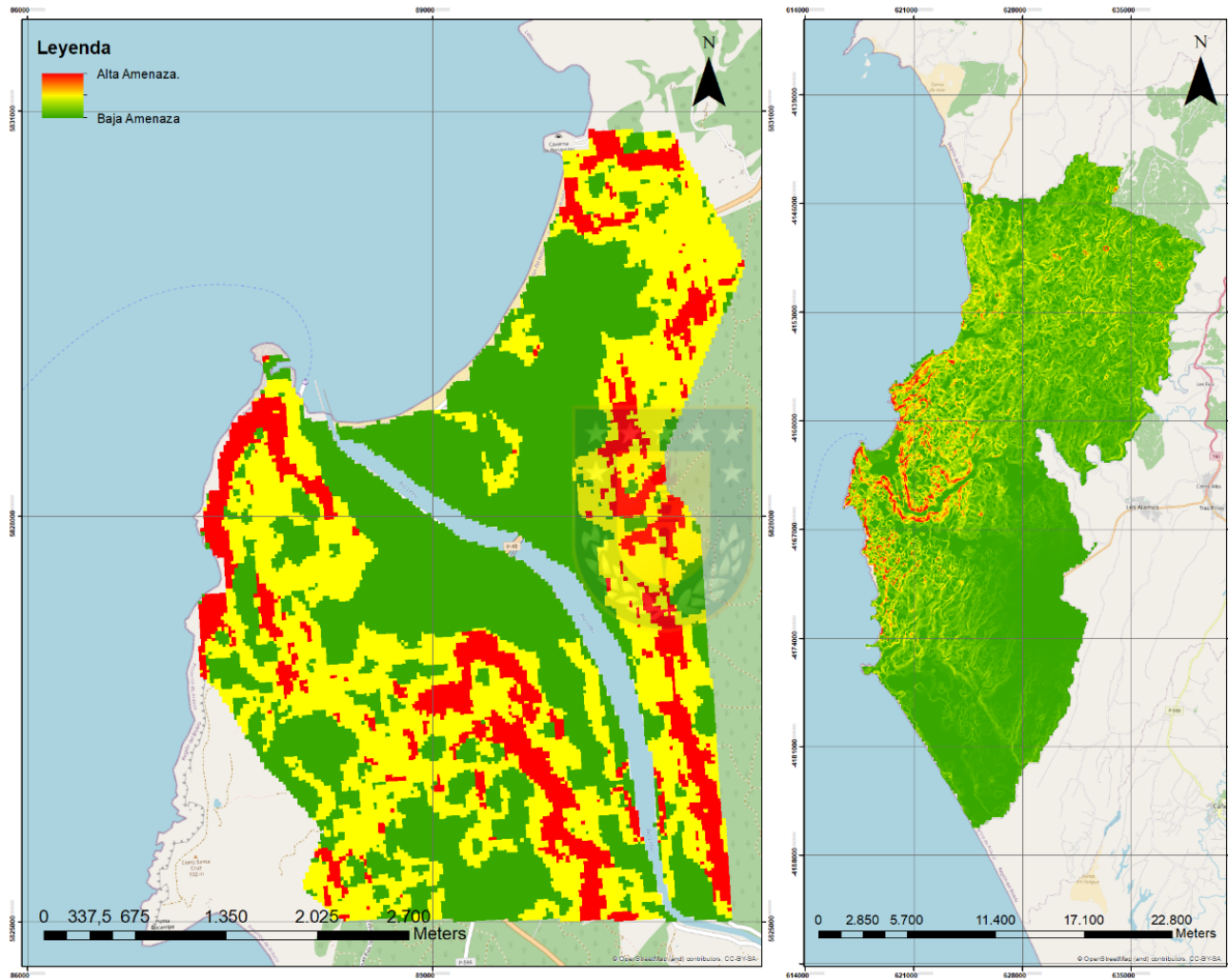
La evolución de la amenaza es clara para la ciudad de Lebu, en específico en zonas cercanas a pendientes donde es posible observar un incremento en la extensión de los niveles de amenaza media y alta; es posible comprender este fenómeno debido a la disminución de cubierta vegetal en pendientes debido al crecimiento de la zona urbana de Lebu.

Tabla 6: Valores de amenaza.

Nivel de amenaza	Área (ha)	Porcentaje(%)
Baja	683,60	45,58
Media	595,85	39,73
Alta	220,23	14,69

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Mapa de amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

9.3 Vulnerabilidad frente a la amenaza de procesos de remoción en masa.

9.3.1. Vulnerabilidad ecosistémica.

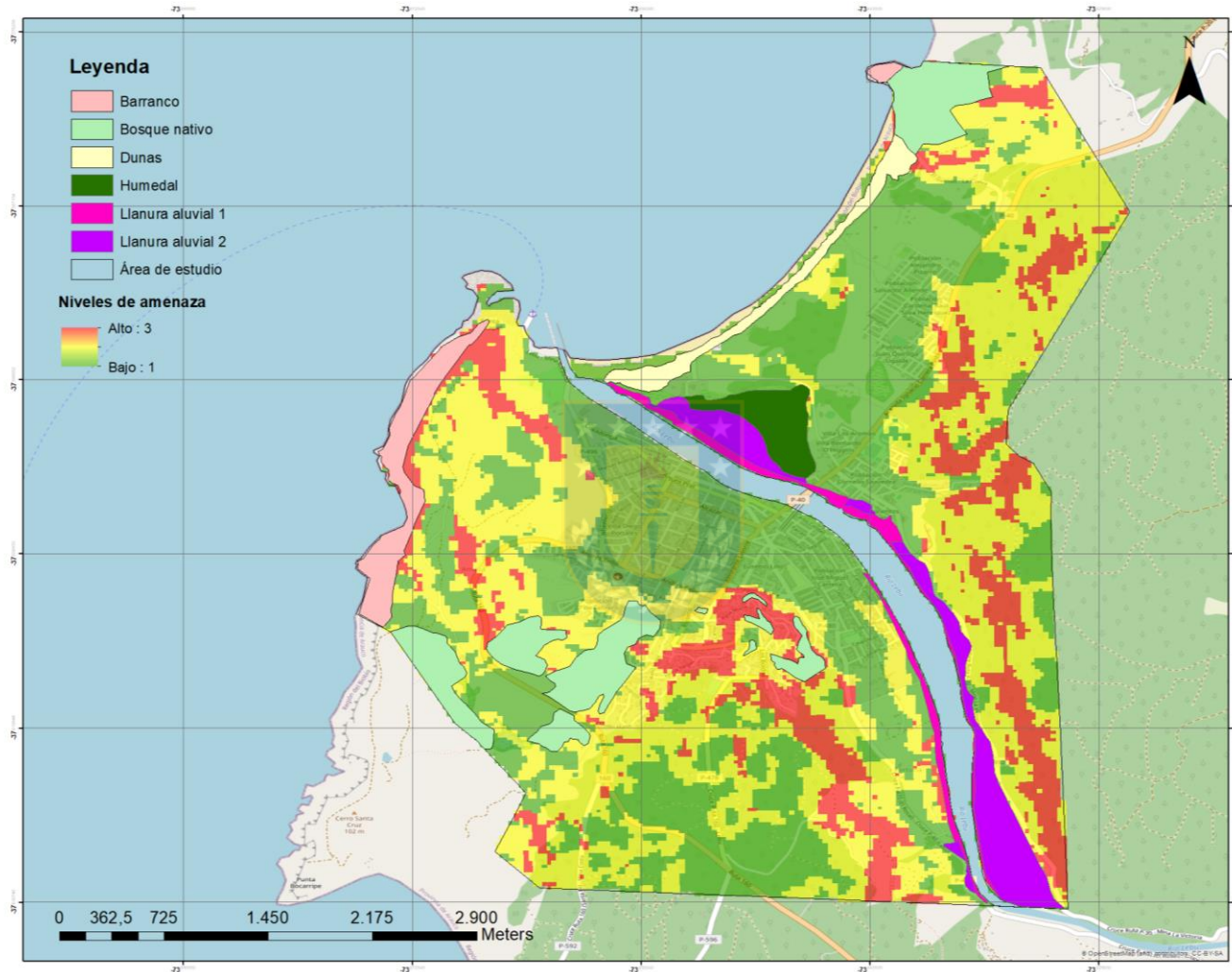
Para la obtención de los espacios relevante tipo ecosistémicos se utilizó capa geomorfológica levantada para la obtención de niveles de amenaza lo que permitió la identificación de entidades relevantes para las condiciones ecosistémicas, tomando como idea base la bibliografía. Entonces fue posible descartar extensas cubiertas vegetales de función productiva de las cubiertas vegetales identificadas como nativas. Esto, logro como resultado la separación del bosque original del área de estudio del introducido de manera antrópica dando como resultado la figura 10.

Es posible mencionar que como se observa en la figura 10, las zonas más vulnerables son las zonas de bosque nativo que se encuentran en pendientes elevadas y en proximidad a acantilados, resultando en un total de solo 78,88 ha y representando solo un 5,2 % del total de área de estudio, lo que permitiría mencionar que solo un 5 % del área de estudio posee una cubierta vegetal nativa.

En relación con el humedal y su labor ecosistémica de refugio de biodiversidad y mitigación de cambio climático, es importante recalcar que sus límites resultan estar rodeados por suelo impermeabilizado a través de concretos para criterios de vialidad lo que entrega la idea que se encuentra fuertemente limitado y, por tanto, corre el riesgo de desaparecer.

Las llanuras aluviales 1 y 2 como terrazas de inundación se encuentran a lo largo del cauce del río siendo más extensas por el lado este del ribera, se encuentran correctamente aprovechadas en la zona sur del área de estudio, donde se posee conocimiento de la situación de pequeños productores agrícolas, sin embargo, como se puede observar en la figura 10, mapa de amenaza, estos se encuentran rodeadas por zonas de media y alta amenaza, lo que pone en peligro los beneficios que entrega la labor fluvial de las llanuras de inundación para los cultivos.

Figura 17: Mapa de vulnerabilidad de ecosistemas



Fuente: Elaboración propia

9.3.2. Vulnerabilidad de infraestructura

Se procede al cruce de la información de infraestructura mapeada en específico centros de salud, centros educacionales, servicios de seguridad y caminos. Dichas entidades son consideradas como infraestructura crítica, lo que ha sido cruzado con el mapa de amenaza (figura 9) logrando dar como resultado la figura 11. Dentro de los centros de salud es posible mencionar que ninguno se encuentra en áreas de alta amenaza, sin embargo, caso contrario son los centros educacionales donde 3 entidades se encuentran próximas áreas de alta amenaza y estos se concentran en las cercanías a viviendas.

Los caminos de la ciudad de Lebu se insertan dentro de los márgenes de la ladera en las zonas de alta y medio amenaza, esto provoca la interpretación de que dichas infraestructuras de vialidad están expuestas a procesos de remoción en masa; caso contrario sucede con los servicios los cuales se concentran dentro de la ciudad y por tanto en una zona de llanura fluvio-marina lo que permite considerar a los servicios de seguridad con baja vulnerabilidad debido a su ubicación.

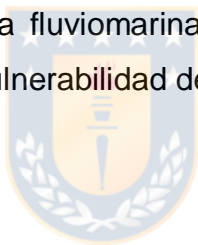
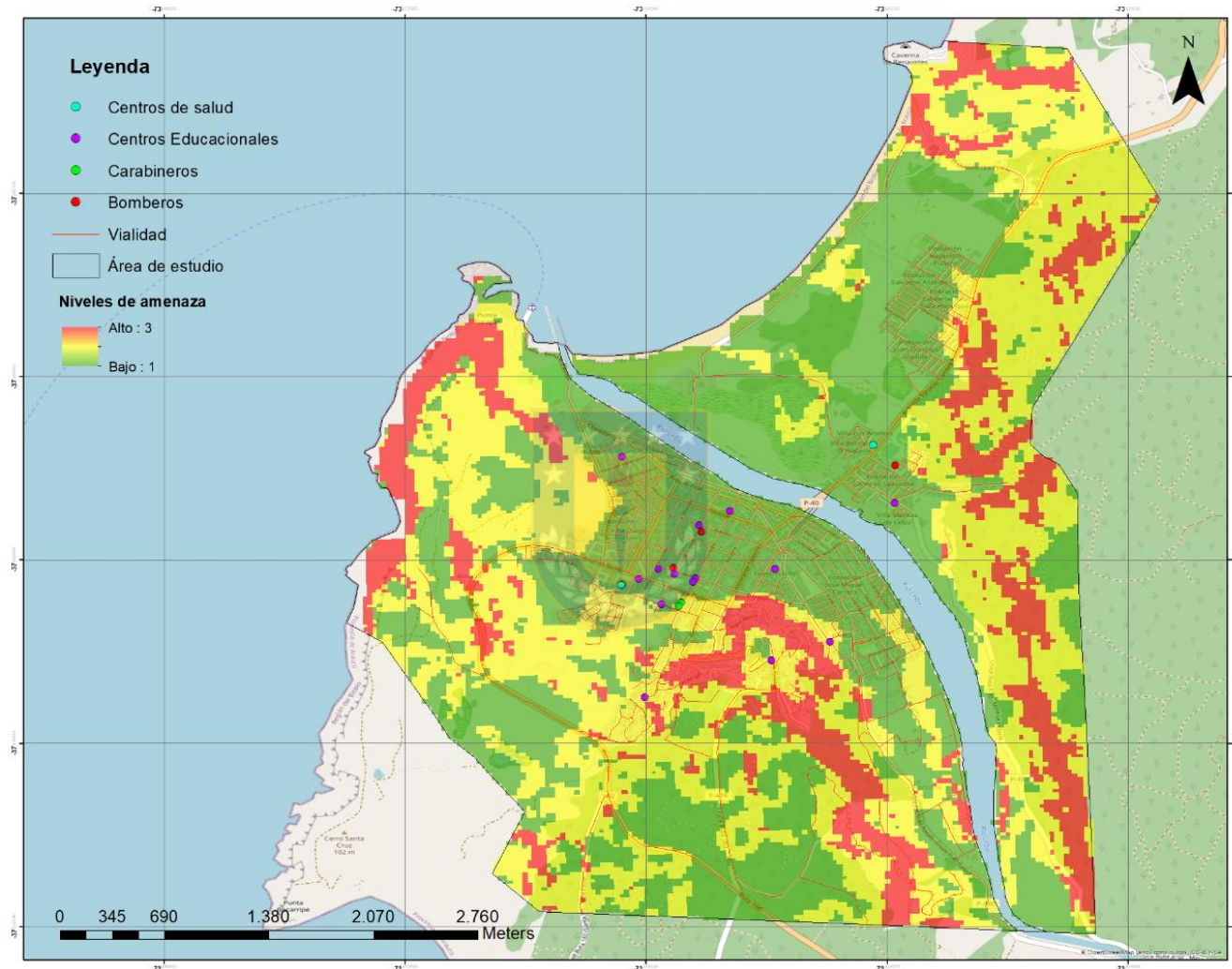


Figura 18: Mapa de vulnerabilidad de infraestructura.



Fuente: Elaboración propia.

9.3.3 Vulnerabilidad por sistemas de producción.

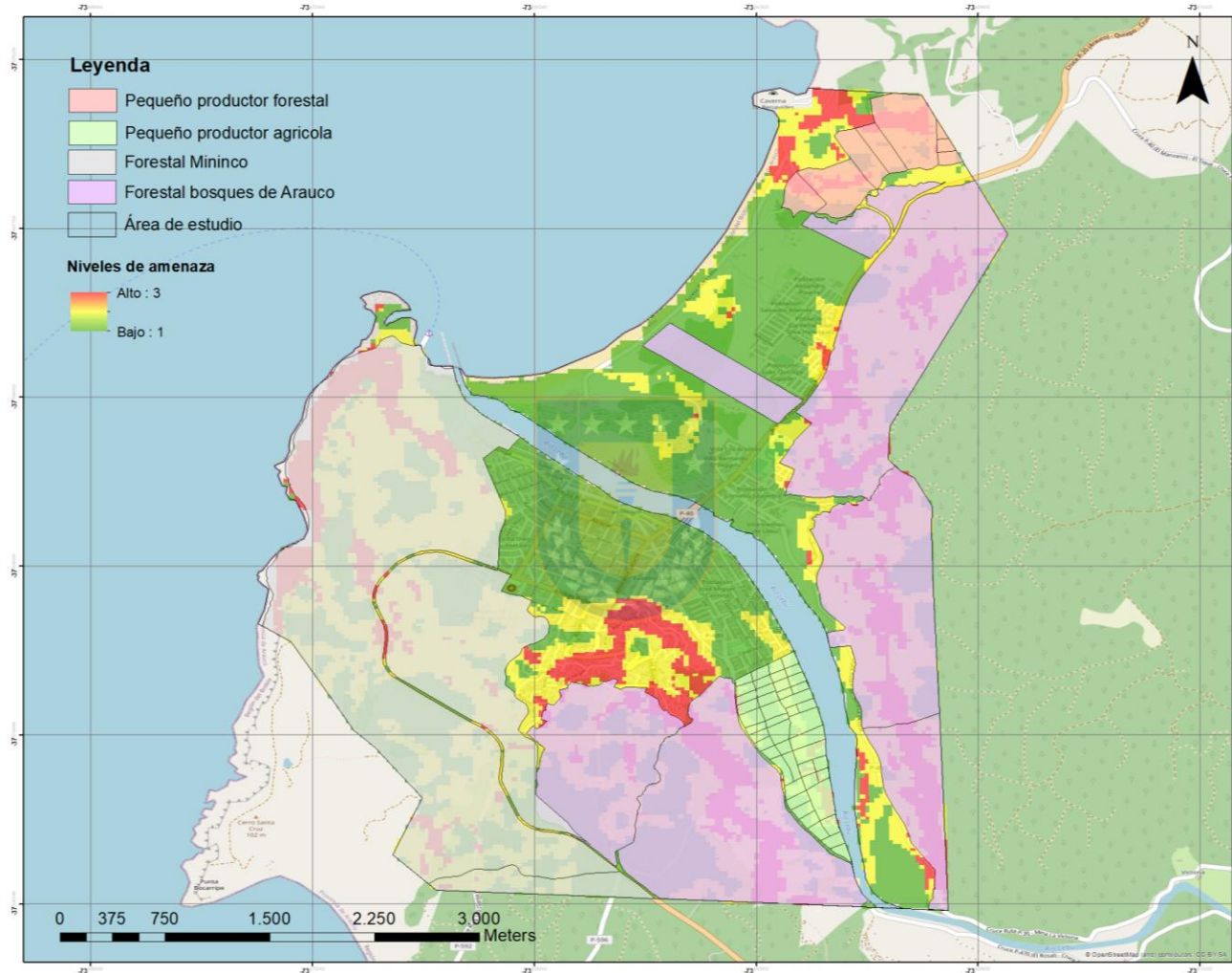
El caso de los sistemas productivos de Lebu resulta muy relevante para calificar la vulnerabilidad que puede existir en la ciudad, fundamentalmente por las grandes extensiones de plantación forestal que existen en las laderas dentro del área de estudio resultando en un total de 720 ha aproximadas; este avance de producción plantea a la ciudad una situación de escasa cubierta vegetal nativa lo que termina por provocar grandes extensiones de laderas sin cubierta vegetal por extensiones de tiempo debido al corte de árboles para producción de madera. Por otro lado, fue posible la identificación de predios de cultivo en cercanías llanuras de inundación, sin embargo, estas llanuras se ven insertas en cercanía próxima a laderas de plantación forestal lo que ha termina por provocar un nivel de medio de vulnerabilidad frente a procesos de remoción en masa.

En relación con el pequeño productor forestal, concentran un total de 15,6 ha del área de estudio su actividad posee una lógica local, sin embargo, se encuentra en zonas de elevada amenaza por procesos de remoción en masa, caso similar a las otras dos empresas productoras forestales Mininco y Arauco las cuales, en sus grandes extensiones de laderas forestales, se enmarcan en zonas de alta y media amenaza, cubriendo un total de 704,4 ha del área de estudio.

Finalmente, el pequeño productor agrícola, también posee una lógica de carácter local, se enmarca en un espacio de baja amenaza por procesos de remoción en masa, sin embargo, se encuentra próximo y limitado por zonas de alta y media amenaza, lo que entrega que se vería afectado de igual manera debido a las condiciones o efectos que la ladera pueda generar.

Las grandes extensiones de los sistemas de producción, agrícola y forestal, delimitan la ciudad de Lebu, esto puede ser observado en la figura 13 donde los sistemas de producción toman forma de en las laderas que frenan el crecimiento urbano de Lebu.

Mapa 19: Mapa de vulnerabilidad por sistemas de producción.



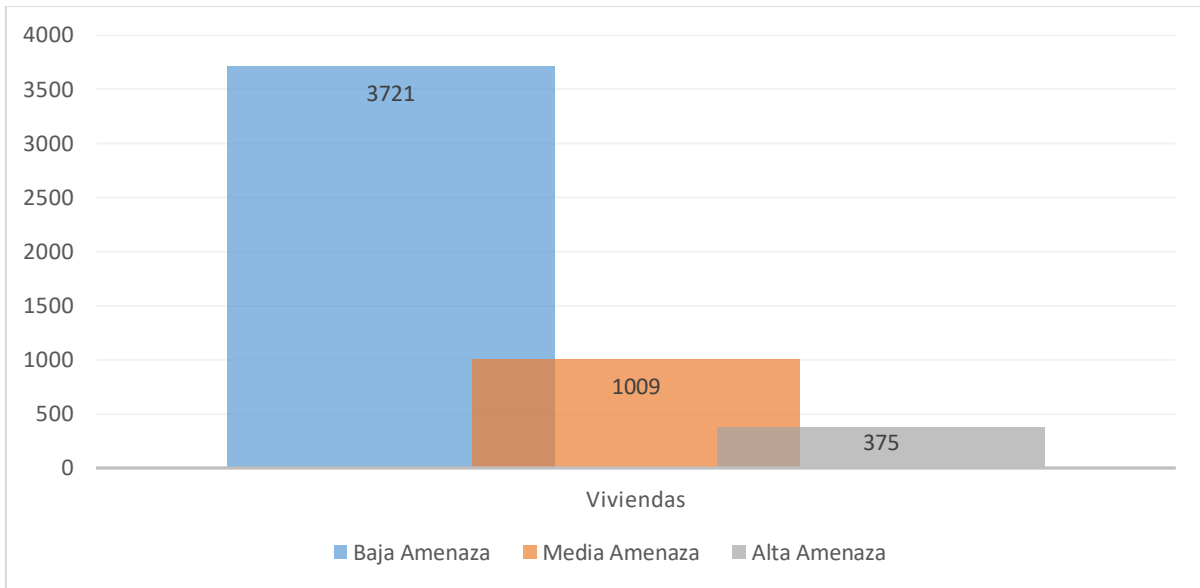
Fuente: Elaboración propia.

9.3.4 Vulnerabilidad por exposición de la población.

De las viviendas analizadas en base a su ubicación en las zonas de amenaza, es posible mencionar que tras el cruce de información se ha obtenido como resultado la figura 14, donde de un total de 5105 viviendas levantadas, 3721 se encuentran en zonas de baja amenaza, 1009 se encuentran en zonas de amenaza media y solo 375 en zonas de amenaza alta.

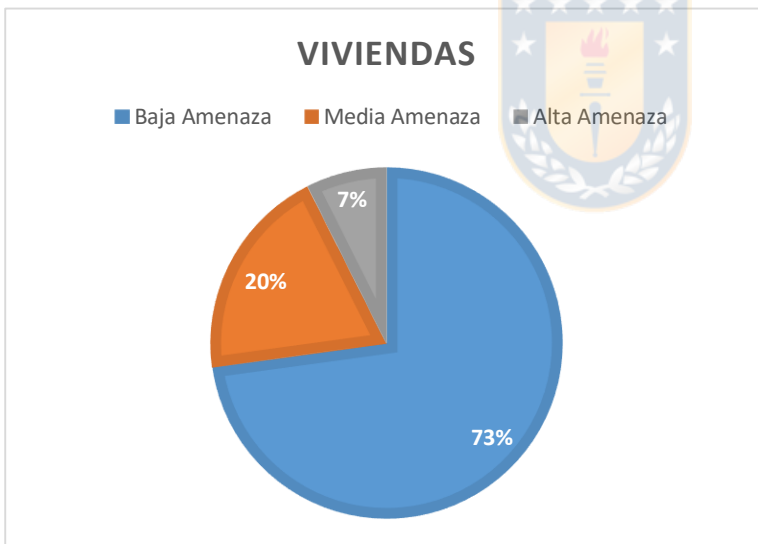


Grafico 5: Distribución de viviendas de acuerdo niveles de zonas de amenaza.



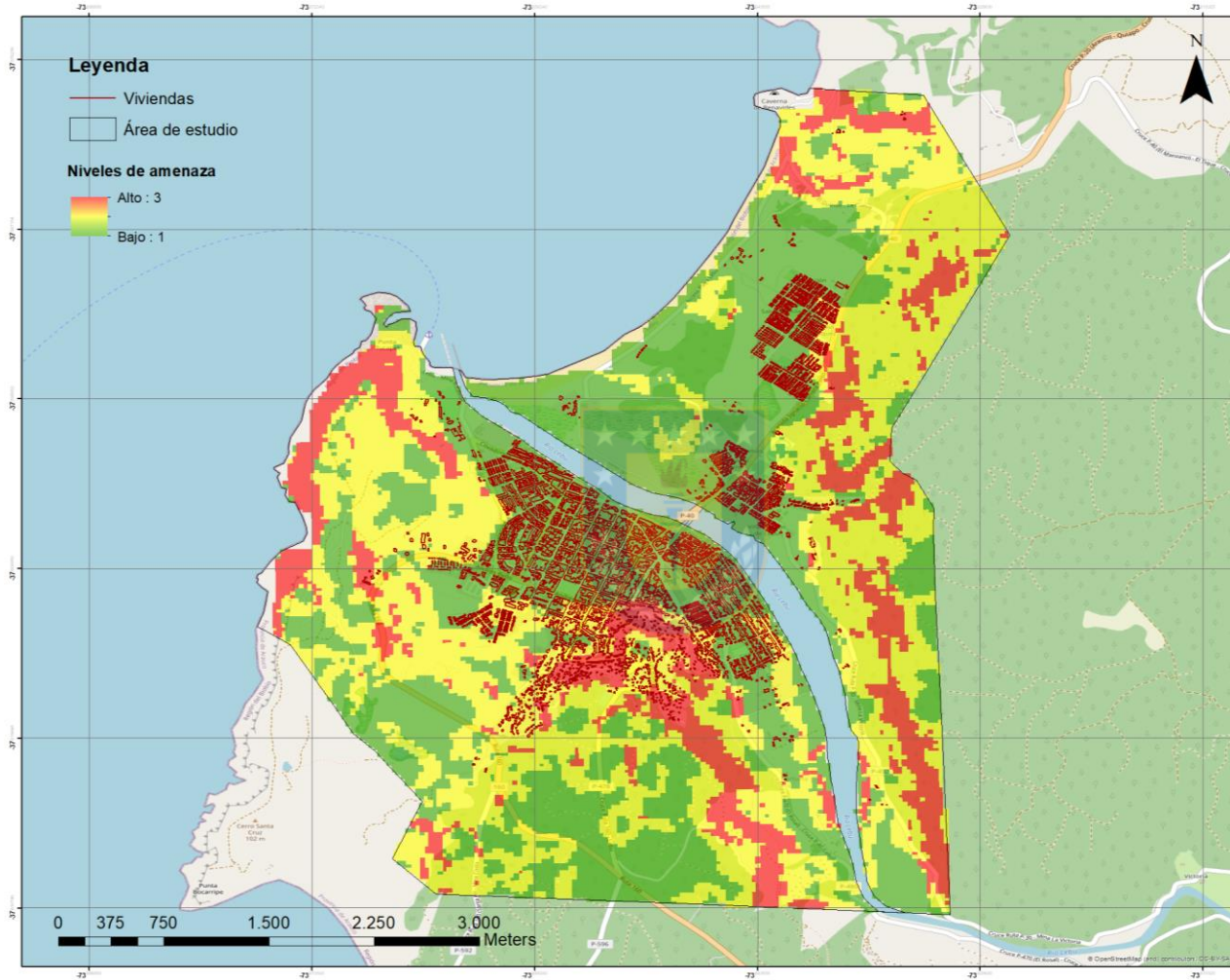
Fuente: Elaboración propia.

Grafico 6: Porcentaje de viviendas en zonas de niveles de amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20: Mapa de vulnerabilidad por exposición de la población



Fuente: Elaboración propia.

9.3.5. Vulnerabilidad global por exposición.

En base a las variables es posible observar que la ciudad de Lebu tiene al menos un 50 % de alta vulnerabilidad por exposición, de acuerdo a la infraestructura, ecosistema, población y sistemas de producción. Resulta relevante señalar que en cuanto a las áreas totales de la vulnerabilidad se concentra hasta un total de 751,49 hectáreas para alta vulnerabilidad, mientras que los niveles bajo de vulnerabilidad se quedan en un total del 29,77% del área total de estudio representando las 446,39 hectáreas, finalmente la vulnerabilidad media, inserta espacialmente entre ambos niveles de vulnerabilidad ya explicados concentra tan solo 20,12 % siendo un total de 301, 8 hectáreas.

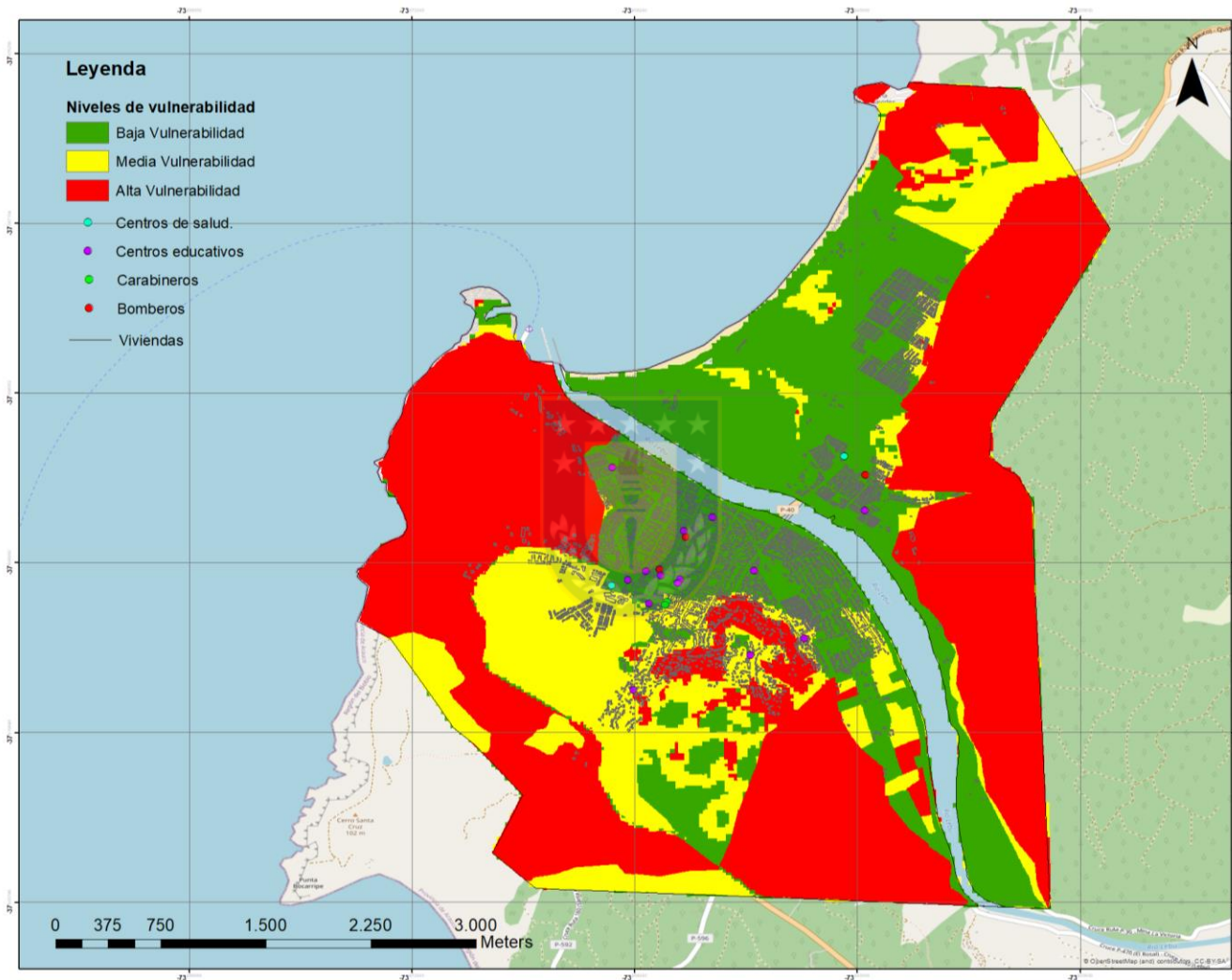
Tabla 7: Valores de vulnerabilidad

Nivel de vulnerabilidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Baja	446,39	29,77
Media	301,80	20,12
Alta	751,49	50,11

Fuente: Elaboración propia.



Figura 21: Mapa de vulnerabilidad por exposición.



Fuente: Elaboración propia.

9.4 Riesgo de Procesos de Remoción en Masa

Una vez obtenidos los productos cartográficos de amenaza y de vulnerabilidad, se procede a calcular rasterizadamente el producto entre ambos a partir de lo que se obtiene un mapa de riesgo de remoción en masa que se muestra en la figura 16.

En la figura 22 observamos que un 33,54 % del área urbana de Lebu se enmarca en bajo niveles de riesgo, en particular se concentran en el casco antiguo, allí donde se localiza la ciudad histórica; mientras que el 66,46% restante se concentra en zona de riesgo, distribuyendo en un total de 593,6 hectáreas para alta amenaza representando un 39,58 % del total lo que deja a zonas de riesgo medio una la menor cifra, 403,07 hectáreas y un 26,88 % del total de área de estudio (Tabla 8).

Tabla 8: Valores de riesgo.

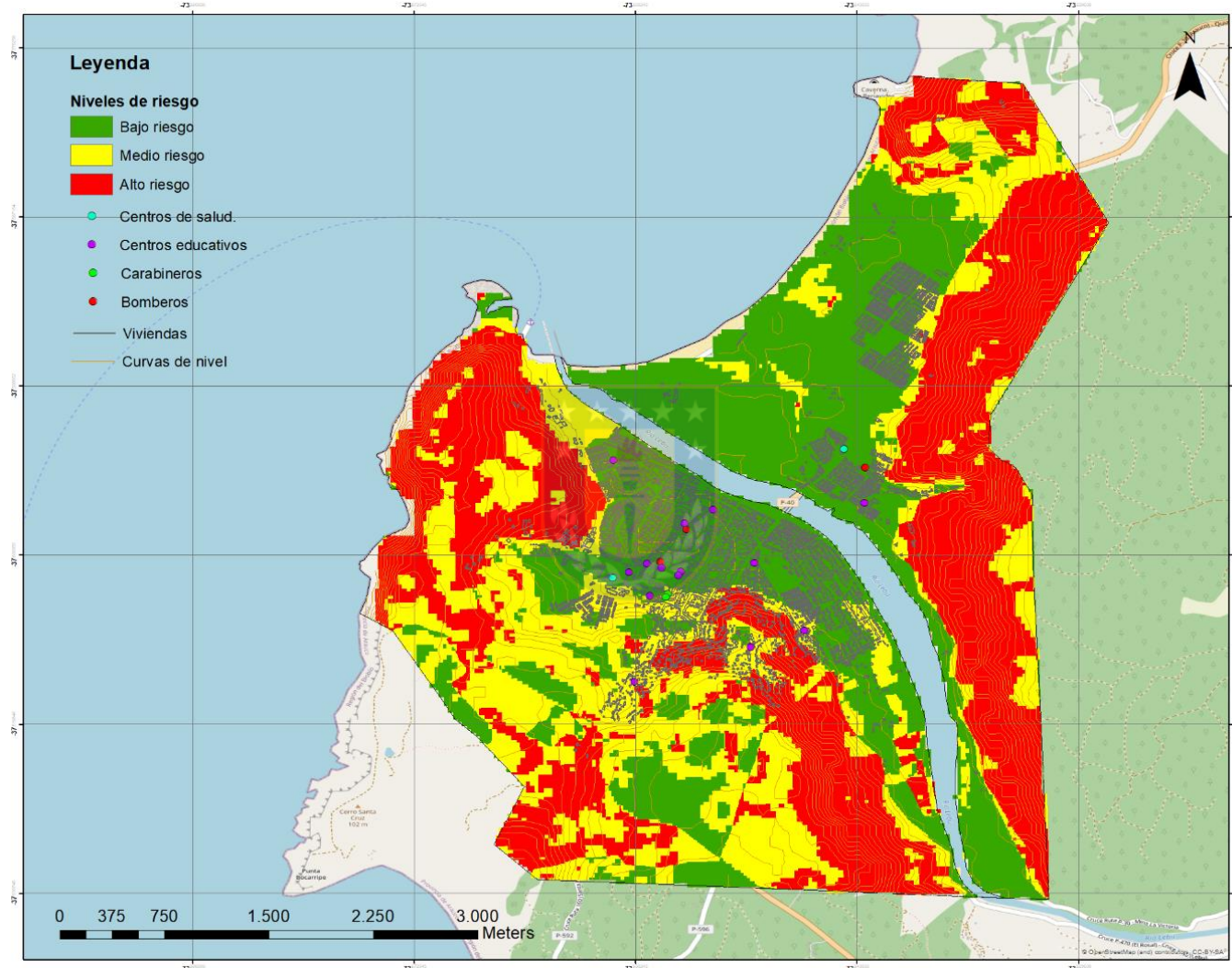
Nivel de riesgo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bajo	503,01	33,54
Medio	403,07	26,88
Alto	593,6	39,58

Fuente: Elaboración propia

Las zonas identificadas de alto riesgo muestran claramente aquellas áreas dominadas por laderas urbanizadas tardíamente y sobre todo con posterioridad al último terremoto que afectó a la zona.



Figura 22: Mapa de riesgo por procesos de remoción en masa.



Fuente: Elaboración propi

10. Conclusiones / Discusión

En el presente estudio de evaluación de procesos de remoción en masa realizado para la ciudad de Lebu, que involucró un total de 1499,68 hectáreas, donde un total de 25.522 personas habitan (INE, 2017). Es posible señalar que la población ha estado en continuo crecimiento, usando las zonas disponibles que el entorno físico le ofrece.

En relación con los resultados en el nivel de amenaza, es posible desglosar el resultado final en las variables utilizadas, donde la ciudad se enmarca dentro de una zona de laderas de elevada pendiente considerando una inclinación de $52,31^\circ$ próximas a las áreas urbanas donde la ciudad ha continuado su crecimiento. Es importante considerar que las proximidades a zonas de alta altitud terminan por configurar preocupantes consideraciones de expansión urbana, lo que puede relacionarse con la cantidad de precipitaciones registradas donde el valor de 15,5 mm/h entrega la idea de una constante anual de precipitaciones.

El conjunto de la constante precipitación y elevada pendiente entregan ya las condiciones básicas para la existencia de procesos remoción en masa, sin embargo, son las condiciones de cubierta vegetal lo que termina por provocar un mayor sesgo de elevada amenaza, lo anterior, comprendiendo que las proximidades al área urbana carecen de una cubierta vegetal capaz de mitigar la acción erosiva y por tanto de deslizamiento de material hacia la ciudad.

Finalmente, la geomorfología de Lebu enmarca la llanura fluvio-marina donde se encuentra asentada la ciudad, próxima a laderas sin y con cubierta vegetal lo ha terminado por generar un elevado nivel de amenaza en las proximidades del área urbana.

Los niveles de amenaza para Lebu, se encuentran explicados por las dinámicas próximas a la ciudad, donde las condiciones ambientales han configurado un nivel de amenaza básico, considerando solo las variables de pendiente, precipitación y geomorfología; sin embargo, la cubierta vegetal ha sido el factor que ha elevado los

niveles de amenaza para Lebu, el crecimiento urbano hacia zonas de elevada pendiente, a su vez disminuyendo la cubierta vegetal que existe en el centro urbano configura el espacio geográfico para aumentar la probabilidad de ocurrencia de eventos remoción en masa.

En relación con la vulnerabilidad que afecta a la ciudad, es relevante entender que el centro de la ciudad se inserta fundamentalmente en una zona de baja amenaza, debido a su proximidad al río, desembocadura y a su vez en las costas del océano pacífico; sin embargo, el crecimiento que presenta Lebu hacia zonas de media y alta amenaza, configuran un escenario desalentador donde la población que ha terminado habitando dichos espacios se encuentra en constante amenaza por criterios de pendiente, cubierta vegetal y precipitación.

Es fundamental, la alta vulnerabilidad en los sistemas de producción, Lebu se encuentra rodeado por actividad forestal la cual ha terminado por eliminar gran parte de la flora local, este criterio productivo, impide la consideración de estos espacios como cubierta vegetal, lo que ha terminado por provocar un aumento tanto en el valor de vulnerabilidad como de riesgo. A su vez, es importante mencionar la proximidad que existe entre infraestructura vial y de servicios educativos como escuelas y viviendas hacia estas zonas productivas enmarcadas en zonas de alta vulnerabilidad.

En relación con los resultados de infraestructura es importante mencionar que el crecimiento urbano de Lebu acerca a la ciudad a zonas de alta amenaza y vulnerabilidad, lo que termina por condicionar un mayor riesgo para la población que decide habitar estas zonas.

La vulnerabilidad ante este tipo de desastre se encuentra condicionado fuertemente por el lugar de emplazamiento en que se encuentra la población, sin embargo, es fundamental comprender que los registros de eventos de procesos de remoción en masa forman parte de lo que puede llamarse memoria colectiva local. Es por esto que es importante que la población conozca cuáles son sus condiciones de vulnerabilidad, para ayudar a la misma en procesos de resiliencia contra eventos de

desastre, está acción comprende entender que si bien la vulnerabilidad puede ser espacializada las condiciones que esta entrega deben ser de conocimiento local.

Resulta interesante mencionar que la abundancia de plantación forestal ha generado un espacio de escasas de flora local, esta idea no solo atenta en contra de la disminución de los niveles de vulnerabilidad, sino que también presenta una vulnerabilidad por exposición ecosistémica, es decir, los abundantes sistemas de producción han dejado a Lebu sin una cubierta vegetal local, sino más una “cubierta vegetal productiva” que pasa por procesos de deforestación y forestación, realizando importantes daños a las condiciones del suelo y a su vez, aumento los niveles de amenaza para la población que habita en proximidad a estos sistemas de productivos.

Finalmente, los niveles de riesgo condicionados por los factores ambientales y por la situación de exposición que viven la población del área de estudio ha logrado presentar fuertes consideraciones, donde el crecimiento poblacional de Lebu, a su vez ha condicionado una expansión urbana hacia espacios de mayor amenaza propiciando a la población altos niveles de riesgo frente a remoción en masa, esto también en relación con la infraestructura vial y ciertos servicios educativos los cuales se encuentran insertos en espacios de riesgo; entregando la idea que las consideraciones dentro del plan regulador comunal no fueron acatadas generando viviendas y estructura vial en zona no edificables.

Para lograr responder la pregunta de investigación es necesario comprender que la expansión urbana que ha experimentado la ciudad de Lebu si ha generado mayores niveles de amenaza para la población que habita dicha ciudad, esto, puede ser explicado en base a dos ideas generales, la primera se fundamenta en el aumento poblacional constante que ha existido en la comuna, lo que ha llevado a la ciudad a la necesidad de expandir su límite urbano hacia territorio que si bien, es calificado como no edificable, si logra suplir la necesidad de viviendas que puedo afectar en la ciudad producto de crecimiento demográfico; en segundo lugar, la falta de espacio edificable ha obligado a la ciudad a ampliar las zonas de infraestructura y edificación hacia el territorio calificado como de alta amenaza, esta situación es fundamental

comprenderla al entender que Lebu se encuentra rodeado de laderas y enmarcado en una especie de límite natural que impide el continuo crecimiento de la ciudad de manera natural; esto explicaría la edificación de infraestructura desde el otro lado del río que termina por generar una separación urbana y que al mismo tiempo, separa la ciudad en criterios de zona residencial y zona de servicio.

A pesar de lo mencionado, la proximidad de la urbanización que existe en Lebu hacia sectores ecosistémicos valiosos como resulta ser el humedal próximo a áreas residenciales y de sistemas de productivos, impide considerar a este tipo de crecimiento urbano como uno de carácter sostenible, fundamentalmente, debido a la falta de consideración ambiental por el espacio habitado.

El factor de riesgo por procesos de remoción en masa demuestra que los sistemas de producción que se encuentran en las proximidades de la ciudad de Lebu también resultan expuestos a los posibles desastres, esto respondiente a los altos niveles de vulnerabilidad por exposición que existe debido a la configuración productiva que se ha enmarcado dentro del área de estudio producto de la escasa cubierta vegetal local, que como ya se ha mencionado, ha sido reemplazada por una de carácter productivo.

Es entonces fundamental comprender que sin una consideración ambiental que permita la regularización de este crecimiento urbano, productivo y poblacional; la ciudad de Lebu se enmarca a continuar aumento sus niveles de riesgo, para el caso del estudio, de procesos de remoción en masa, sin embargo, resulta importante considerar que la proximidad del área habitada a sistemas de producción como el de tipo forestal pueden llegar a exponer a la población a otro tipo de desastres, en conjunto con una falta importante de regularización institucional de la expansión urbana que experimenta la ciudad.

Por lo anterior, se menciona entonces que una densificación urbana puede resultar en una alternativa importante para la ciudad, logrando mantenerla dentro de los límites de baja amenaza y a su vez, resguardando a la población de zonas de mayor vulnerabilidad; es también importante comprender que una escasa consideración por los ecosistemas que existen dentro de los límites de Lebu solo continuara por

exponer a la población a otro tipo de desastres naturales, surge la idea de situación de anegamiento de incendio forestal; que encuentran sus respaldo en base a los factores ambientales considerados en este estudio.

Es importante mencionar que el factor de institucionalidad que entregan las autoridades a través de los instrumentos de planificación territorial permitirá a la ciudad y a la población en continuar su crecimiento de manera sostenible mientras se han considerados los factores ambientales de amenaza, ecosistémicos y que entregan el carácter productivo como partes de la sustentabilidad urbana que deberá tener la ciudad consigo misma y con la población que la habita, de manera tal que sea posible entender las consideraciones locales de quienes habitan el territorio como el factor más importante al momento de la realización de una gestión en el plan regulador comunal de la ciudad.



11. Bibliografía

- Cardona O.D. (1992), "Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo", II Simposio Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano, Vol.1, Pereira.
- Donati, L., Turrini, M., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Appennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology* No. 63, Elsevier, p. 277-289.
- Echemendía Tocabens, Belkis. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(3), 470-481
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2002. Assessments of landslides susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology* No. 41, p. 720-730
- Fernández Torres, R. D. y Paz Castro Correa, C. (2008) Evaluación espacial de procesos geodinámicos en el ambiente montañoso de la cuenca del río Cachapoal, Chile central. Impacto geodinámico sobre el potencial corredor de comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins [En línea]. *Geograficando*, 4(4).
- García, J. (2014). "Amenaza por remoción en masa en Colombia." Laboratorio de Mapeo, Ceelat.
- González de Vallejo, L., 2002. *Ingeniería Geológica*. Editorial Prentice Hall. 715 p.
- Hauser A. (2002) "Remoción en masa." Servicio Nacional de geología y minería. Boletín No 59, versión actualizada 200, 89p. Santiago.
- Kong, W., 2002. Risk assessment of slopes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hidrogeology* No. 35, p. 213-222
- Lara, M. & Sepúlveda, S. 2008. *Remociones en Masa*. Apuntes del curso, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 63 pp. Santiago
- Lezama, J., & Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de población*, 12(49), 153-176

- Luzi, L., Pergalani, F., Terlien, M.T.J., 2000. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Engineering Geology* No. 58, Elsevier, p. 313-336.
- Mardones M. & Rojas J. (2012). Procesos de remoción en masa inducidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 53, 57-74.
- Maturana, F., Fuenzalida, M., Arenas, F., & Henríquez, C. (2017). La Planificación territorial en Chile y el proceso de descentralización. In C. Vial, & J. Hernández (Eds.), *¿Para qué Descentralizar? Centralismo y Políticas Públicas en Chile: Análisis y Evaluación por Sectores* (pp. 181-208). Santiago, Chile: ICHM
- ONEMI (2017) Plan específico de emergencia por variable de riesgo. Remoción en masa.
- Padilla, C., 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Parise, M., 2001. Landslide Mapping Techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. *Phys. Chem. Earth*, vol 26, Elsevier, p. 697-703.
- Pelletier, J., Pearthree, P., House, P., Demsey, K., Klawon, J., Vincent, K., 2005. An integrated approach to flood hazard assessment on alluvial fans using numerical modeling, field mapping, and remote sensing. *GSA Bulletin*, vol 117, No. 9/10, p. 1167-1180.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). Plan de recuperación post desastre con enfoque de gestión de riesgo de y participación ciudadana. Comuna de Lebu región del Biobío Chile. Santiago: PNUD.
- Proyecto multinacional Andino: geociencias para las comunidades andinas. (2007). "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas." Servicio Nacional de Geología y Minería, *Publicación Geológica Multinacional*, no. 4

- Quezada J., Jaque E., Fernández A. & Vásquez D. (2012). Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (53), 35-55
- Romero, H., & Vidal, C. (2015). Expansión urbana y vulnerabilidad socioterritorial ante los desastres naturales de la conurbación Concepción- Talcahuano: inundaciones de julio de 2006 y del tsunami de febrero 2010. Concepción: Universidad del Bio-Bío.
- Ruiz Rivera, Naxhelli. (2012). "La definición y medición de la vulnerabilidad social." Un enfoque normativo. *Investigaciones geográficas*, (77), 63-74.
- Salazar R. & Urbano Fra Paleo. (2014). "Análisis del riesgo multi-amenaza en el ordenamiento territorial de una cuenca hidrográfica." *Revista Geoespacial* 11:36-46.
- Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., (2000). Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. *Actas IX Congreso Geológico Chileno*, vol. 1, p. 116-120.
- Suárez, J. (2008). "Zonificación de Susceptibilidad de Amenaza de Riesgos." Bogotá: Geotecnología S.A.S.
- Vargas, J. (2002). "Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales." Santiago: Corprever.
- Vera Rodríguez J. M. & Albarracín Calderón A. P., (2017.) "Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 2, p. 109-13