



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
CIVIL**



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE ARAUCO, CARAMPANGUE Y  
RAMADILLAS FRENTE A LAS INUNDACIONES DEL RÍO CARAMPANGUE**

**POR**

**Catalina Victoria Jaramillo Sagardía**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción  
para optar al título de Ingeniero Civil

Profesor Guía  
Oscar Link

Profesor Comisión  
Juan Carrasco

Octubre 2022  
Concepción (Chile)

© 2020 Catalina Victoria Jaramillo Sagardía

© 2022 Catalina Victoria Jaramillo Sagardía

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a mis padres, Carlos y Olga, a mi abuela, Carlota, a mis hermanos, María y Carlos, por su cariño, consejos y apoyo a lo largo de estos años.*

*A mis amigos, por tantas risas, palabras de aliento y compañía en mi proceso de formación universitaria, y a todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron presentes en el camino.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco al proyecto PREGA (Programa de Estudios Ecosistémicos del Golfo de Arauco) “Interacciones entre el Río y el Humedal Carampangue” NP 4503152513, por hacer posible esta investigación.

Agradezco a mi profesor guía Oscar Link por su disposición, motivación, apoyo y dedicación a lo largo de la realización de este trabajo.

Además, agradezco al profesor Juan Carrasco por su tiempo y disposición para formar parte de la comisión evaluadora.

## RESUMEN

En la actualidad no existe consenso en cómo cuantificar el riesgo de inundaciones. En la práctica muchas veces se usa la amenaza, sin que la toma de decisiones considere la vulnerabilidad en forma adecuada. Para la correcta evaluación del riesgo además de la amenaza, se debe contemplar la vulnerabilidad que tiene relación con los atributos o características de la población. Una forma para cuantificar la vulnerabilidad es a través de índices de vulnerabilidad social (IVS), donde mediante variables sociales y económicas se determina el grado de vulnerabilidad de la zona estudiada.

Este trabajo consistió en evaluar el IVS de Koks en Arauco, Carampangue y Ramadillas. Se obtuvo información para determinar el IVS a partir de una encuesta aplicada a los habitantes de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas en el año 2017. Se evaluó el IVS y se analizó la variación espacial que presenta en cada localidad. El IVS alcanzó un valor máximo de 0.896 (vulnerabilidad alta) en Carampangue y el valor mínimo de 0.083 (vulnerabilidad baja) en Arauco. Las tres localidades presentan una vulnerabilidad media a alta.

Se concluye que el IVS de Koks puede usarse con la información existente. Se debe adaptar algunas variables como: hogares monoparentales, año de construcción de la vivienda e ingreso promedio. Los resultados son consistentes con los hallazgos de estudios previos.

## **ABSTRACT**

There is currently no consensus on how to quantify flood risk. In practice, hazard is often used without adequate consideration of vulnerability in decision-making. In addition to hazard, vulnerability, which is related to the attributes or characteristics of the population, must also be considered for a correct risk assessment. One way to quantify vulnerability is through social vulnerability indexes (SVI), where the degree of vulnerability of the area under study is determined by means of social and economic variables.

This work consisted of evaluating the SVI of Koks in Arauco, Carampangue and Ramadillas. Information to determine the SVI was obtained from a survey applied to the inhabitants of the towns of Arauco, Carampangue and Ramadillas in 2017. The SVI was evaluated and the spatial variation it presents in each locality was analyzed. The SVI reached a maximum value of 0.896 (high vulnerability) in Carampangue and the minimum value of 0.083 (low vulnerability) in Arauco. The three localities present a medium to high vulnerability.

It is concluded that the Koks SVI can be used with existing information. Some variables should be adapted, such as: single-parent households, year of construction of the house and average income. The results are consistent with the findings of previous studies.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| 1.1 Motivación.....   | 1  |
| 1.2 Objetivos.....  | 2  |
| 1.2.1 Objetivo general .....  | 2  |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....  | 2  |
| 1.3 Hipótesis .....   | 3  |
| 1.4 Plan de trabajo.....  | 3  |
| 1.5 Resultados principales.....   | 3  |
| 1.6 Organización de la memoria.....   | 4  |
| <b>CAPÍTULO 2 VULNERABILIDAD EN LA GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIONES</b> .....                  | 5  |
| 2.1 Introducción.....   | 5  |
| 2.2 Daños por inundaciones.....   | 5  |
| 2.3 Inundaciones en Arauco, Carampangue y Ramadillas .....                                      | 5  |
| 2.4 Socio-hidrología de las inundaciones.....   | 6  |
| 2.5 Incorporación de la variable social en la evaluación de riesgo de inundaciones.....         | 7  |
| 2.6 Conclusiones .....  | 11 |
| <b>CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....  | 23 |
| 3.1 Introducción.....   | 23 |
| 3.2 Descripción del área de estudio.....  | 23 |
| 3.2.1 Características de la cuenca del río Carampangue .....                                    | 23 |
| 3.2.2 Características del río Carampangue .....   | 24 |
| 3.2.3 Datos demográficos del área de estudio .....  | 25 |
| 3.3 Encuesta aplicada en el año 2017 a las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas..... | 26 |
| 3.4 Cartografía de ciencias sociales .....  | 26 |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.5  | Cartografía de zonas inundables .....   | 27        |
| 3.6  | Uso de herramientas SIG .....   | 27        |
| 3.7  | Metodología.....  | 27        |
| 3.7.1  | Cálculo del índice de vulnerabilidad social de Koks <i>et al.</i> (2015)..... | 27        |
| 3.7.2  | Aplicación al área de estudio.....  | 29        |
| 3.7.3  | Análisis de las variables que componen el IVS.....                            | 31        |
| 3.7.4  | Clasificación del IVS y variabilidad espacial.....                            | 31        |
| 3.7.5  | Interpolación del IVS.....  | 32        |
| 3.8  | Conclusiones .....  | 33        |
| <b>CAPITULO 4 RESULTADOS.....</b>  |   | <b>23</b> |
| 4.1  | Introducción.....   | 23        |
| 4.2  | Mapas distribución IVS.....   | 23        |
| 4.3  | Análisis del IVS .....  | 28        |
| 4.4  | Distribución espacial del IVS.....  | 32        |
| 4.5  | Conclusiones .....  | 35        |
| <b>CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS .....</b>   |   | <b>36</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>  |   | <b>37</b> |
| <b>ANEXO 3.1 ENCUESTA APLICADA A LOS HABITANTES DE ARAUCO,<br/>CARAMPANGUE Y RAMADILLAS.....</b> |   | <b>42</b> |
| <b>ANEXO 3.2 CARTOGRAFÍA SOCIAL .....</b>  |   | <b>45</b> |
| <b>ANEXO 3.3 CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES .....</b>   |   | <b>48</b> |

**ÍNDICE DE TABLAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.1 Características de la cuenca del río Carampangue .....                       | 23 |
| Tabla 3.2 Información referencial de las provincias Arauco, Carampangue y Ramadillas . | 25 |
| Tabla 3.4 Rango de valores de la vulnerabilidad.....                                   | 32 |
| Tabla 4.1 Valor promedio del IVS .....   | 27 |
| Tabla 4.2 Variación porcentual del IVS .....   | 31 |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1 Ubicación cuenca hidrográfica río Carampangue .....            | 24 |
| Figura 4.1 Distribución espacial del IVS en Arauco .....                  | 24 |
| Figura 4.2 Distribución espacial del IVS en Carampangue.....              | 25 |
| Figura 4.3 Distribución del IVS en Ramadillas.....                        | 26 |
| Figura 4.4 Análisis del IVS en Arauco.....                                | 28 |
| Figura 4.5 Análisis del IVS en Carampangue .....                          | 29 |
| Figura 4.6 Análisis del IVS en Ramadillas.....                            | 30 |
| Figura 4.7 Interpolación del IVS en Arauco.....                           | 32 |
| Figura 4.8 Interpolación del IVS en Carampangue .....                     | 33 |
| Figura 4.9 Interpolación del IVS en Ramadillas .....                      | 34 |
| Figura A.3.1.1 Primera parte formato encuesta Noguera (2017) .....        | 42 |
| Figura A.3.1.2 Segunda parte encuesta Noguera (2017).....                 | 43 |
| Figura A.3.1.3 Tercera parte encuesta Noguera (2017) .....                | 44 |
| Figura A.3.2.1 Cartografía social Arauco-Barrio pescadores .....          | 45 |
| Figura A.3.2.2 Cartografía social Arauco, Villa las Araucarias.....       | 46 |
| Figura A.3.2.3 Cartografía social Carampangue .....                       | 46 |
| Figura A.3.2.4 Cartografía social Ramadillas, Villa Molinos del sol ..... | 47 |
| Figura A.3.2.5 Cartografía social Ramadillas-R5 .....                     | 47 |
| Figura A.3.3.1 Calado para crecida con periodo de retorno 100 años .....  | 48 |

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Motivación

Se ha evidenciado el aumento en la frecuencia y magnitud de diferentes eventos hidrometeorológicos extremos en el último siglo, como las olas de calor o precipitaciones. Uno de los efectos del aumento de las precipitaciones es el riesgo de inundación a escala global. De todos los desastres ocurridos, las crecidas son las más frecuentes, superando a los terremotos o tormentas de viento (Veloso, 2020). Esto se vuelve peligroso cuando el hombre ocupa zonas inundables, transformando el fenómeno en una amenaza para ellos mismos y sus viviendas.

En Chile, los organismos responsables de evaluar la mitigación de desastres proveniente de las inundaciones consideran soluciones que emanan de la hidrología tradicional. Por una parte, se presenta un enfoque en infraestructura robusta, como defensas fluviales y diques, y por otra, medidas de evacuación a los habitantes afectados. Sin embargo, no se consideran las características sociales ni su heterogeneidad dentro del concepto de riesgo de inundación, lo que ha generado que las soluciones empleadas ante el desborde de los ríos no siempre sean tan efectivas. La socio-hidrología estudia en forma multidisciplinaria e integra aspectos ingenieriles y sociales en la toma de decisiones que permitan mitigar los efectos producidos por las inundaciones.

La evaluación del riesgo de inundación se define comúnmente desde una perspectiva enfocada en la amenaza proveniente del río, obviando el término de vulnerabilidad que tiene relación con las características o atributos de la población y atribuyéndole el valor 1 dentro de la ecuación de riesgo (Link, 2019).

Al no considerar el término de vulnerabilidad dentro de la ecuación de riesgo se omite gran parte de la representación de la población que se ve afectada ante las inundaciones. El grado de vulnerabilidad no depende solamente de la distancia a la fuente de amenaza, existen

factores determinantes tales como la riqueza, y características de la vivienda que pueden influir en una mayor o menor vulnerabilidad (Cutter *et al.* 2000).

En particular, este estudio se centra en la estimación de un índice de vulnerabilidad social (IVS) para cuantificar la vulnerabilidad y de esta manera incorporarla dentro de la ecuación de riesgo definida entre otros, por Kron *et al.* (2005), permitiendo que las medidas de mitigación de inundaciones sean más efectivas y se realicen considerando las necesidades de la población que se ve afectada por las inundaciones. La determinación del índice se realizó para las localidades de Ramadillas, Carampangue y Arauco utilizando la metodología propuesta por Koks *et al.* 2015.

## **1.2           Objetivos**

### **1.2.1         Objetivo general**

El objetivo general de esta investigación es analizar la distribución espacial de la vulnerabilidad frente a inundaciones de Arauco, Ramadillas y Carampangue.

### **1.2.2         Objetivos específicos**

- Analizar la aplicabilidad de índices de vulnerabilidad existentes en la literatura para el caso de la vulnerabilidad ante inundaciones
- Caracterizar las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas para calcular un índice de vulnerabilidad ante inundaciones
- Analizar la vulnerabilidad frente a las inundaciones en base a la distribución espacial del índice de vulnerabilidad ante inundaciones
- Identificar las áreas críticas para la gestión del riesgo de inundaciones en función de la vulnerabilidad

### **1.3 Hipótesis**

Se plantea la siguiente hipótesis de trabajo: La vulnerabilidad frente a inundaciones de los habitantes ribereños al río Carampangue en las localidades de Arauco, Ramadillas y Carampangue puede analizarse mediante el índice de vulnerabilidad propuesto por Koks *et al.* (2015) para una adecuada gestión del riesgo.

### **1.4 Plan de trabajo**

Esta investigación comenzó con una revisión bibliográfica para comprender la aplicabilidad de índices de vulnerabilidad. Posterior a eso se realizó la elección de uno de los índices para aplicarlo en el caso de estudio. Luego se filtró información representativa para la determinación del índice escogido. Esta se obtuvo principalmente de la encuesta aplicada por Noguera en el año 2017 a los habitantes de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas. A continuación, se determinó el índice para las localidades antes mencionadas y a partir de ello se confeccionaron mapas que muestran la distribución espacial de la vulnerabilidad. Se realizó un análisis de las variables que componen el índice de vulnerabilidad. Finalmente, se realizó una interpolación del índice para conocer los valores que toma el índice en las unidades domésticas circundantes a las estudiadas.

### **1.5 Resultados principales**

Se determinó el Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVS) siguiendo la metodología propuesta por Koks *et al.* (2015), encontrando que la distribución espacial del IVS indica que la mayoría de las unidades domésticas (UD) estudiadas se encuentran en el rango medio. Carampangue fue la localidad en obtener el IVS más alto con un valor de 0.53, lo sigue Ramadillas con un valor de 0.50 y por último Arauco con un valor de 0.44. Así mismo se obtiene que el valor máximo alcanzado es de 0.896 en Carampangue y el valor mínimo es de 0.083 en Arauco.

El análisis arrojó que el IVS no es sensible a la variable hogares monoparentales. Esto confirma que la clasificación adoptada para las UD es adecuada.

Con la interpolación del IVS se logró obtener una aproximación de un área mayor para conocer qué sectores presentan una mayor vulnerabilidad que otros. Para delimitar el área se utilizó la cartografía de ciencias sociales además de la cartografía de inundaciones con periodo de retorno de 100 años para ver una proyección del área inundada y así relacionar la vulnerabilidad con la peligrosidad de la zona.

## **1.6 Organización de la memoria**

El documento presenta cinco capítulos: introducción, planteamiento del problema, materiales y métodos, resultados y conclusiones. El primer capítulo presenta la investigación, los objetivos planteados y principales resultados. En el segundo capítulo se realiza una revisión bibliográfica de la vulnerabilidad social en la gestión de riesgo de inundaciones y aplicación de índices de vulnerabilidad. El tercer capítulo presenta la zona de estudio, materiales de trabajo y los métodos implementados en la investigación. El cuarto capítulo muestra los resultados obtenidos. Finalmente, en el quinto capítulo discuten y comentan los resultados.

## **CAPÍTULO 2                    VULNERABILIDAD EN LA GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIONES**

### **2.1                    Introducción**

En el presente capítulo se presenta una revisión de los daños producidos por las inundaciones a nivel global y en el área de estudio, analiza el concepto de riesgo de inundaciones y la aplicabilidad de índices de vulnerabilidad en el cálculo de riesgo.

### **2.2                    Daños por inundaciones**

Las inundaciones representan uno de los fenómenos naturales más recurrentes en el último siglo. Se considera que corresponden a aproximadamente un tercio de los desastres naturales provocando grandes pérdidas económicas y más grave aún, pérdidas humanas (Adikari y Yoshitani, 2009).

Se estima que durante el periodo de 1980 a 2012 en el mundo se alcanzó un total de 12.3 millones de dólares en pérdidas monetarias y 5900 decesos. Estas pérdidas han ido en incremento y se atribuyen principalmente al aumento de la exposición debido al crecimiento de la población y el desarrollo económico en lugares expuestos a inundarse (Jongman *et al.* 2014).

### **2.3                    Inundaciones en Arauco, Carampangue y Ramadillas**

Rojas (2010) identificó y clasificó 17 eventos de inundación fluvial durante el periodo 1971-2008 para las localidades del tramo final del río Carampangue específicamente Ramadillas, Carampangue y Arauco, determinando que en la zona ocurren eventos de inundación extraordinarios, es decir que causan daños, cada 2.23 años. A pesar de que la clasificación se realizó para las comunas antes mencionadas, a partir del año 1990 se empiezan a conocer por la prensa localidades más pequeñas tales como Conumo y Pichilo que también son afectadas por inundaciones medias y grandes.

El área más afectada por las inundaciones correspondió a Carampangue con 11 eventos que generaron daños, lo sigue Ramadillas con siete eventos de inundación y por último Arauco rural que se ha visto afectado en 4 oportunidades por los eventos de inundación. Durante ese tiempo se estimó que más de 2300 personas resultaron damnificadas por las inundaciones del río Carampangue, pero se habla de alrededor de 3875 personas expuestas que potencialmente podrían verse afectadas. Los mayores daños se concentran en viviendas (principalmente en el año 2000) donde 234 resultaron dañadas y 18 destruidas. De igual manera se registran cortes en los puentes y caminos afectando la economía del lugar, sin embargo, no se reportaron fallecidos.

## 2.4 Socio-hidrología de las inundaciones

Esta investigación sigue la perspectiva de la socio-hidrología definida como el estudio de la dinámica y la co-evolución entre el sistema social e hidrológico (Silvapalan *et al.*, 2011). Esto permite entender cómo los aspectos sociales influyen en el riesgo de inundaciones y como las inundaciones afectan a las personas. Para conocer como interactúan ambos procesos se necesita usar la observación, comprensión y predicción de fenómenos hidrológicos en zonas con comunidades próximas a un cuerpo de agua y que han sido afectadas por un evento de inundación.

Di Baldassarre (2013) explica que el riesgo de inundación está aumentando debido al asentamiento humano en lugares propensos a inundarse, es por ello que las llanuras aluviales son lugares ideales para lograr visualizar la interacción entre sistemas humanos y procesos hidrológicos. A partir de eso surgen otros estudios que analizan si los asentamientos humanos son viables en el tiempo o si la construcción de un dique es capaz de soportar un evento y logra mitigar los efectos en los daños provocados a las personas y a sus viviendas.

Una de las maneras de evaluar las relaciones entre la preparación a las inundaciones y atributos sociales es a través del uso de análisis hidrológicos-hidráulicos con los resultados de encuestas, cartografía social y encuestas semiestructuradas, con ello se permite determinar qué medidas toman los habitantes afectados por las inundaciones y qué tan efectivas suelen ser estas medidas (Veloso *et al.* 2021).

## 2.5 Incorporación de la variable social en la evaluación de riesgo de inundaciones

Kron *et al.* (2005) define el riesgo mediante la multiplicación de tres componentes: La amenaza asociada con el evento amenazante y su probabilidad de ocurrencia, los valores que están presente en la zona sean bienes materiales o personas y la vulnerabilidad, lo cual queda representado en la Ecuación 2.1:

$$R = A * V * E \quad (2.1)$$

donde **R** es el riesgo, **A** es la amenaza, **V** la vulnerabilidad y **E** es el valor o exposición

Uno de los componentes de la Ecuación 2.1 es la exposición, la cual se calcula normalmente como la distancia al agua (O'Neilly *et al.* 2016).

El concepto de amenaza se determina a partir de la probabilidad de ocurrencia en un espacio y tiempo (Karmakan *et al.* 2010) y la peligrosidad, utilizando la cota de agua alcanzada por la inundación (Koks *et al.* 2015).

Se puede observar que la vulnerabilidad también juega un papel importante en la determinación del riesgo de inundaciones. Sin embargo, al utilizar un enfoque determinista considerando solo la amenaza proveniente del río se descuidan las dimensiones de la vulnerabilidad y sus componentes, debido a esto ha evidenciado la preocupación por conocer cómo incluir de manera certera el término de la vulnerabilidad en el riesgo de inundaciones.

Frigerio (2016) plantea que existe una relación importante entre los elementos naturales y la organización cultural, social y económica de la sociedad afectada, teniendo presente que un desastre tenga más efectos devastadores en un lugar que en otro depende de la vulnerabilidad presente en cada lugar. Enfatiza en la necesidad de integrar de una mejor manera la vulnerabilidad en la evaluación de riesgos y emergencias.

Si bien el peligro asociado a una inundación puede ser el mismo entre diferentes grupos sociales, los impactos que estas ocasionan dependen del nivel de desarrollo y la vulnerabilidad preexistente de la población, que a menudo afecta de manera desproporcionada a los más pobres (de Loyola, 2016), así se espera que en las comunidades vulnerables los porcentajes de víctimas y pérdidas sean más altas que en comunidades menos vulnerables.

El concepto de vulnerabilidad presenta múltiples interpretaciones dependiendo de las variables adoptadas en cada estudio o la orientación que se le asigne a cada investigación. De manera general la vulnerabilidad se define como el potencial de pérdida, pero no se define con claridad qué tipo de pérdida y a quienes se está describiendo (Cutter, 1996).

Las categorías consideradas en la determinación de la vulnerabilidad varían de acuerdo con el autor de la investigación. En este sentido Balica *et al.* (2019) determina la vulnerabilidad utilizando las componentes física, social, económica y ambiental mientras que otros autores incorporan otros factores adicionales tales como la ecología, ideología, institucional, política, técnica y educativa (Noriega *et al.* 2014)

Como una primera aproximación la vulnerabilidad se puede dividir en vulnerabilidad física la cual atiende a los bienes y personas que son susceptibles a las inundaciones. Para los casos descritos anteriormente existen en la literatura ecuaciones relacionadas con la velocidad y altura del flujo en las que personas (Xia *et al.* 2014) y bienes tales como vehículos (Martínez-Gomariz *et al.* 2016) pierden estabilidad y pueden sufrir deslizamiento o vuelco según sea el caso. La segunda parte consiste en la vulnerabilidad social que relaciona la susceptibilidad en la que poblaciones puedan sufrir pérdidas estructurales o no estructurales (Cutter, 1996).

Para integrar la vulnerabilidad en la Ecuación 2.1 se divide en dos términos clave, el primero es la vulnerabilidad social y el segundo la vulnerabilidad física, lo cual queda representado por la siguiente ecuación:

$$R = A * (V_f + V_s) * E \quad (2.2)$$

donde **R** es el riesgo, **A** es la amenaza, **V<sub>f</sub>** la vulnerabilidad física, **V<sub>s</sub>** la vulnerabilidad social y **E** es el valor o exposición

Una manera de determinar la vulnerabilidad social es a través de un indicador denominado Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) el cual agrupa una serie de indicadores sociodemográficos y económicos que tratan de describir el lugar de análisis. Cutter *et al.* (2000) determinaron un índice de vulnerabilidad social para el caso de Georgetown, Carolina del Sur, donde se incluyen variables demográficas y de la vivienda tales como: edad, raza/etnia, nivel de ingreso, género, calidad de la construcción, infraestructura pública. En la investigación se trabajó con bloques del censo, para luego, mediante una estandarización de la variable generar un índice de vulnerabilidad para cada bloque, el que posteriormente se agrupó con la vulnerabilidad biofísica para obtener la vulnerabilidad de lugar, además enfatiza la falta de análisis para afinar aún más el cálculo de la vulnerabilidad social puesto que los indicadores no representan con totalidad el concepto. Bajo este mismo punto Cutter *et al.* (2003) llevó a cabo el Análisis de Componentes Principales (ACP) el cual consiste en un procedimiento estadístico reduccionista que permite distinguir que variables son las que representan con mayor precisión la situación de estudio.

Wu *et al.* (2002) modificaron la metodología empleada por Cutter *et al.* (2000) creando un índice de vulnerabilidad utilizando las variables de población total, total de viviendas, número de hembras, número de residentes no blancos, número de personas menores de 18 años, número de personas mayores de 60 años, número de hogares monoparentales encabezados por mujeres, número de viviendas ocupadas por inquilinos y valor medio de la vivienda. En la investigación se utilizó la escala de bloques censales para la obtención de los datos de las variables involucradas. Luego los valores se agrupan en categorías de bajo, moderado, alto y muy alto, lo que permite obtener una visión espacial de cómo se distribuye el índice dentro del condado. Posteriormente Wu *et al.* (2002) en el mismo

trabajo realizó una proyección de las variables en el escenario de cambio climático para evaluar los posibles aumentos de áreas afectadas por las inundaciones.

Koks *et al.* (2015) utilizaron el índice de vulnerabilidad socioeconómica propuesto por Wu *et al.* (2002) para calcular la vulnerabilidad socioeconómica de Rotterdam, utilizando un nivel de código postal de 6 posiciones (PC6) el cual consiste en aproximadamente 20 direcciones. Como se utilizó un nivel de análisis más detallado, las variables disponibles para la determinación del índice fueron menores. Por tal motivo, no fue necesario aplicar un Análisis de Componentes Principales (ACP). Las variables que se encontraban disponibles a esa escala son el nivel socioeconómico, la edad, la etnia, los hogares monoparentales y año de construcción de la vivienda, las cuales presentaban una cobertura general mayor al 90%. En la misma investigación se indica que un estudio a nivel de vivienda proporciona un mayor grado de detalles que considerar una superficie más extensa de estudio, debido a que las políticas tradicionales asumen áreas más extensas en la gestión de riesgo.

De esta manera incluyendo el IVS en la Ecuación 2.3, queda representado a través de:

$$R = A * (IVS + V_f) * E \quad (2.3)$$

donde **R** es el riesgo, **A** es la amenaza, **IVS** la vulnerabilidad social, **V<sub>f</sub>** la vulnerabilidad física y **E** es el valor o exposición

El uso del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) aún está en continuo análisis debido a las complicaciones para caracterizar una zona, el número de variables a utilizar y la cantidad de información disponible son dimensiones para tener en cuenta cuando se requiere realizar este tipo de estudios. Por tal motivo, no se puede determinar con exactitud si la cantidad proporcionada por el índice es correcta (Spielman *et al.* 2018). Sin embargo, la estimación de este índice sirve como una aproximación inicial para cuantificar la vulnerabilidad e incorporar este valor en la determinación del riesgo de la zona.

Debido a que en la actualidad no existe un cuantificador universal que permita conocer a ciencia cierta el nivel de vulnerabilidad que presenta una población y el principal problema radica en la cantidad de información disponible a la escala de estudio, el índice obtenido en la literatura que mejor se adapta al caso de las inundaciones ocurridas en Arauco, Carampangue y Ramadillas es el implementado por Koks *et al* (2015), cuya forma de incorporar características socioeconómicas ha sido utilizada en trabajos como el de Bangalore *et al.* (2018) para el caso de las inundaciones de Vietnam, considerando esta forma de evaluar a la población como una práctica estándar. Así mismo Fernandez *et al.* (2016) indica que el índice está destinado a disminuir la complejidad del cálculo, ayuda a medir el progreso y establece prioridades, lo cual la convierte en una herramienta importante para que los organismos responsables puedan guiarse en la toma de decisiones.

A pesar de que las variables utilizadas en la investigación de Koks *et al.* (2015) son reducidas, estas van en línea con las variables más importantes utilizadas en estudios anteriores (Aroca-Jiménez *et al.* 2017) donde indica que las variables utilizadas para explicar la vulnerabilidad social varían en la literatura, pero existen algunas variables claves comunes en la estimación de los indicadores tales como la edad, género, raza, nivel socioeconómico y las condiciones de vida. Sin embargo, debido a que son aplicados a situaciones y lugares diferentes la adaptación será esencial para lograr caracterizar de manera más certera el contexto. Así también hay que tener presente que el IVS indica solo donde se ubican las viviendas vulnerables y no a la amenaza a la que se ven expuestas.

## **2.6 Conclusiones**

En este capítulo se presentó los antecedentes de la zona de estudio, la múltiple interpretación que se le da al término de la vulnerabilidad y cuáles han sido los intentos para tratar de cuantificarla, de tal manera de incorporarla en la ecuación de riesgo de inundaciones.

## CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Introducción

En este capítulo se presenta la zona de estudio, la metodología para determinar el índice de vulnerabilidad social (IVS) y uso de la encuesta y cartografía social aplicada en 2017 a las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas

### 3.2 Descripción del área de estudio

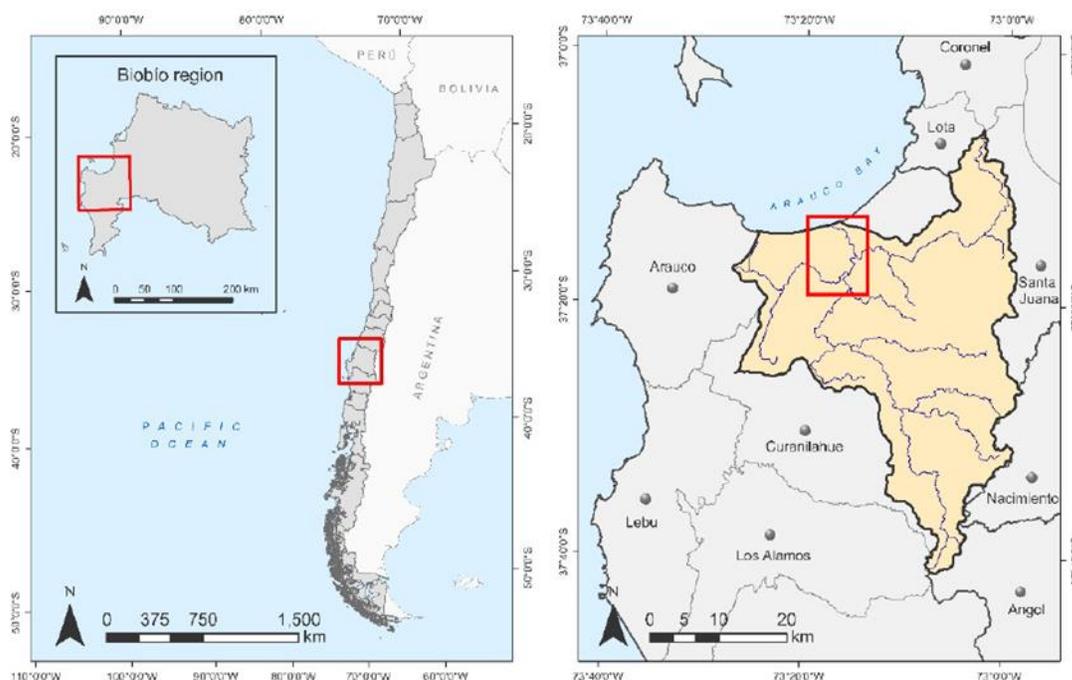
#### 3.2.1 Características de la cuenca del río Carampangue

La cuenca del río Carampangue se forma en la costa de la provincia de Arauco, ubicada en la VIII región del Biobío, Chile. Es una cuenca exorreica que se localiza en la vertiente barlovento de la cordillera costera de Nahuelbuta y se extiende por 70 km hasta la desembocadura en el Golfo de Arauco (O. Rojas *et al.*, 2010). Posee una extensión de 1260 km<sup>2</sup> y queda comprendida entre los paralelos 37° 06' y 37° 40' latitud sur, y los meridianos 72°58' y 73°27' longitud oeste (Figura 3.1). En ella existen un total de seis núcleos de poblaciones: la ciudad de Arauco, el pueblo de Carampangue, y las aldeas de Codigua, Pichilo, Ramadillas y San José de Colico.

Esta cuenca tiene un grado de antropización reducido, sobre todo en su zona de mayor altitud, donde apenas existe intervención humana. Hacia su curso bajo, tras su paso por la localidad de Ramadillas, se da un ensanchamiento de la llanura de inundación permitiendo el desarrollo agrícola, y un mayor grado de ocupación de la llanura de inundación. Se resumen las principales características de la cuenca del río Carampangue en la Tabla 3.1 (Campos, 2017; CONAF, 2008; Soto, 2008).

**Tabla 3.1 Características de la cuenca del río Carampangue**

| Área de drenaje [km <sup>2</sup> ] | Caudal medio anual [m <sup>3</sup> /s] | Longitud del cauce principal [km] | Desnivel máximo [m] | Precipitación anual [mm] |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1260                               | 48.4                                   | 84.4                              | 1313                | 1570                     |



**Figura 3.1 Ubicación cuenca hidrográfica río Carampangue**

Fuente: Noguera (2017)

### 3.2.2 Características del río Carampangue

El río Carampangue, nace en la cordillera de Nahuelbuta, en la VIII región del Biobío correspondiente a la zona centro-sur de Chile, y desemboca al océano Pacífico en la bahía de Arauco. En su recorrido recoge el aporte de varios cursos tributarios como los ríos Cifuentes, Cabrera, Nahuelán, Lía, y el estero Los Patos. El río Carampangue en su curso bajo, tiene aspecto meandriforme y divaga por una llanura amplia, lo que facilita la ocurrencia de inundaciones (O. Rojas *et al.*, 2010). En su curso alto, el río Carampangue discurre entre relieves abruptos de la Cordillera de Nahuelbuta, donde presenta una estructura confinada. A medida que desciende hacia su curso medio, la llanura de inundación se amplía hasta formar en su curso bajo una laguna litoral alargada que se extiende a lo largo de la línea de costa (Niemeyer, 1982).

Desde el año 2020 se incorpora como nuevo santuario de la naturaleza al Humedal Carampangue, ubicado en la comuna de Arauco el cual tiene como eje central el río

Carampangue hasta su desembocadura, generando un humedal de características estuarinas. El área se caracteriza por ser un sitio que alberga varias especies de aves residentes y migratorias.

### 3.2.3 Datos demográficos del área de estudio

La comuna de Arauco tiene una población de 36,257 habitantes (Biblioteca Nacional del Congreso, 2017), y presenta una tasa de pobreza de 18.4%, un 20% de la población no cuenta con servicios básicos y un 15.3% de los hogares tiene condición de hacinamiento. Presenta un 51.38% de adultos mayores, un índice de dependencia demográfica de 55.22%, el 17.17% de la población pertenece a pueblos originarios concentrando este porcentaje principalmente al pueblo mapuche con un 16.7%.

La comuna de Arauco está compuesta por las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, ubicadas en la ribera del río Carampangue. En la Tabla 3.3 se encuentran la información respectiva de cada localidad.

**Tabla 3.2 Información referencial de las provincias Arauco, Carampangue y Ramadillas**

| <b>Localidad</b> | <b>Área<br/>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>Número de<br/>Habitantes</b> | <b>Número de<br/>viviendas</b> |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Arauco           | 48.6                             | 15,980                          | 6,573                          |
| Carampangue      | 69.1                             | 4,570                           | 1,638                          |
| Ramadillas       | 154.7                            | 2,947                           | 1,038                          |

### **3.3 Encuesta aplicada en el año 2017 a las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas**

Noguera (2017) realizó 223 encuestas anónimas: 62 en Arauco, 77 en Carampangue y 84 en Ramadillas para conocer las características sociales de la población y su percepción del riesgo frente a las inundaciones, centrando la encuesta en las zonas más expuestas ante una inundación y no en la población total. La encuesta se divide en tres secciones, percepción de la población frente a las inundaciones, datos personales y por último datos relacionados con la vivienda (Anexo A.3.1). A pesar de que las encuestas son anónimas se cuenta con la dirección de la vivienda y las coordenadas espaciales de cada una para poder trabajar con la información mediante el uso de herramientas SIG.

Para clasificar a los encuestados se emplea el termino de unidad doméstica (UD) considerándola como el conjunto de personas que viven en la(s) viviendas(s) del terreno estudiado.

Teniendo en cuenta que el índice se aplica a un lugar y tiempo específico debido a su alta variabilidad (Cutter *et al.*, 2003), esta encuesta será la principal fuente de información para la determinación del índice de vulnerabilidad social.

### **3.4 Cartografía de ciencias sociales**

La cartografía de ciencias sociales consiste en mapas elaborados por medio de métodos participativos y cualitativos, donde los encuestados de manera colectiva plasman en los mapas sus conocimientos de los acontecimientos en base a la experiencia y recuerdos (Valderrama 2013). De manera particular, se cuenta con la cartografía de ciencias sociales de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, donde los habitantes por medio de reuniones lograron sintetizar sus conocimientos del alcance de las inundaciones. Los mapas obtenidos se presentan en Anexo A.3.2.

### 3.5 Cartografía de zonas inundables

La cartografía de zonas inundables permite visualizar las áreas alcanzadas por un escenario de simulación para un periodo de retorno estudiado. Permite conocer las velocidades y el calado que alcanza una crecida. Para este caso se usó la cartografía de una crecida con periodo de retorno de 100 años. (Figura A.3.3.1)

### 3.6 Uso de herramientas SIG

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten trabajar con información referenciada ya sea mediante coordenadas espaciales o geográficas, con ello se puede ingresar y obtener datos, visualizar mapas y creación de cartografía, además de contener métodos para el análisis de los datos. El software utilizado para el tratamiento de la información y creación de mapas corresponde a ArcMap 10.3.

### 3.7 Metodología

#### 3.7.1 Cálculo del índice de vulnerabilidad social de Koks *et al.* (2015)

Koks *et al.* (2015) utilizó el índice de vulnerabilidad propuesto por Wu *et al.* (2002):

$$I_c = \frac{V_c}{V_R} \quad (3.1)$$

$$I_c = 1 - \frac{V_c}{V_R} \quad (3.2)$$

Donde  $V_c$  representa el valor de cada variable y  $V_R$  el valor máximo de la variable.

Para determinar los valores que alcanza cada una de las UD con respecto a las variables: edad, etnia y hogares monoparentales se recurre a la Ecuación (3.1), mientras que para las variables año de construcción de la vivienda y el ingreso mensual, se considera que una

vivienda más nueva y un ingreso más alto resultan en un índice de vulnerabilidad menor, por tanto, se recurre a la Ecuación (3.2) para la estimación.

Las definiciones de las variables utilizadas para la determinación del índice son las siguientes:

- **Edad:** La edad se considera una característica esencial para la determinación de la vulnerabilidad social. Los grupos demográficos más afectados por los desastres son los niños y adultos mayores debido a que son los que presentan mayor dificultad al momento de tener que movilizarse (Cutter *et al.* 2000). Se consideran vulnerables a las personas con edades menores a 14 años y mayores a 65 años (Koks *et al.* 2015).
- **Etnia:** El origen étnico puede considerarse un factor de la vulnerabilidad debido a la barrera de idioma y cultura lo que podría ser perjudicial al momento de verse enfrentado a una amenaza como una inundación (Fothergill *et al.* 1999). Koks *et al.* (2015) utilizó la cantidad de migrantes (personas no europeas) para hacer referencia a la variable y al lugar de estudio.
- **Nivel socioeconómico:** El estatus socioeconómico de un hogar es un factor determinante en la vulnerabilidad. La falta de riqueza contribuye a la vulnerabilidad ya que existen menos recursos individuales y comunitarios disponibles para la recuperación, lo que hace que la comunidad sea menos resistente a los impactos de las amenazas (Cutter *et al.* 2003). Koks *et al.* (2015) consideró el nivel socioeconómico como el ingreso mensual promedio de la vivienda.
- **Año de construcción de la vivienda:** Koks *et al.* (2015) utilizó esta variable como aproximación del nivel de vulnerabilidad estructural, generalmente las viviendas más antiguas suelen ser más vulnerables y menos resistente a inundaciones en comparación con viviendas más nuevas.
- **Hogares monoparentales:** Los hogares monoparentales se utilizan dentro de la estimación ya que dichos hogares a menudo presentan medios financieros limitados para el cuidado de las personas dependientes, se utiliza el concepto de capital social

el cual se refiere a la sociabilidad, las redes y apoyo sociales, responsabilidad y participación cívica y comunitaria (Morrow V. 1999).

Así estandarizando las variables con respecto al valor máximo de cada una de ellas, todas toman valores entre 0 y 1, donde los valores de índice más bajos indican una menor vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad se determina a partir de la media aritmética de las variables.

### **3.7.2 Aplicación al área de estudio**

Algunas de las variables se encuentran disponibles en el Censo realizado el año 2017 por el instituto nacional de estadística (INE), pero esos datos se encuentran a nivel de bloques censales y no de unidades domésticas como se presenta en la investigación. Además, por razones de privacidad en las encuestas nacionales no se cuenta con un nivel más detallado de las variables como se requiere en este estudio y eso se traduce en restricciones en la recopilación de datos. Por tal motivo la principal fuente de información para la investigación fue la encuesta aplicada por Noguera (2017) a habitantes de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, la cual tenía como objetivo conocer las características y atributos de los afectados por las inundaciones.

A continuación, se presenta el análisis de las variables presentes en la encuesta y que son utilizados para la determinación del IVS de Koks *et al.* (2015):

- **Edad:** Se utilizó los rangos de personas menores o iguales a 14 años y personas mayores de 60 en vez de 65 años. Para conocer la cantidad de personas por UD consideradas dentro de esta categoría, se procede a sumar la cantidad personas de los rangos etarios nombrados anteriormente.
- **Etnia:** Esta variable no estaba implementada en la encuesta por lo cual no se encuentra disponible para su utilización y contemplando que no es aplicable al caso chileno debido a que la realidad difiere mucho de la europea o estadounidense, se optó por no incorporar esta variable a la estimación del IVS.

- Nivel socioeconómico: Esta variable no estaba implementada en la encuesta. Sin embargo, Noguera en el 2017 considera el valor de las parcelas expuestas como una aproximación del valor de la vivienda, la información utilizada se obtuvo del sitio web de Servicios de Impuestos Internos (SII).

Se consideró que, a un mayor valor de avalúo fiscal, la vivienda será menos vulnerable debido a que se traduce en mayores recursos, por tanto, las viviendas con menor avalúo fiscal son más vulnerables desde un punto de vista económico. Para aquellas parcelas en donde no existía avalúo fiscal se procedió a tomar un valor promedio por metro cuadrado de las parcelas cercanas.

- Año de construcción de la vivienda: Esta variable no estaba implementada de manera explícita en la encuesta, sin embargo, debido a la definición que presenta se puede adaptar la variable utilizando la pregunta realizada en la sección datos de la vivienda donde se consulta sobre el estado de la vivienda, el encuestado respondía entre las opciones:
  - Buena: Viviendas de cemento u hormigón, resistentes ante un desastre natural
  - Precario: Casas de madera, poca resistencia ante un desastre natural
  - Muy precario: Casas de madera o chapa muy deteriorada, poca o ninguna resistencia ante un desastre natural

Para convertir la clasificación de las viviendas en una variable cuantitativa, se consideró como valor 3 las viviendas muy precarias, 2 para las viviendas precarias y 1 para las de menor vulnerabilidad que corresponde a las viviendas en buen estado. Además, en Chile una vivienda más antigua no necesariamente implica que sea más vulnerable debido a los diferentes sistemas constructivos, por tanto, la aplicación del estado de la vivienda entrega mejor información.

- Hogares monoparentales: Esta variable se dedujo a partir de la cantidad de personas y su edad. Una UD fue clasificada como hogar monoparental si viven en ella a lo menos un menor de 14 años y menos de cuatro personas mayores a 15 años, en este

caso se le asigna el valor 1, en el caso que una UD no haya sido clasificada como monoparental se le asigna el valor 0.

Debido a que de las cinco variables necesarias para la determinación del índice solo 4 se encuentran disponibles y son consistentes con las definiciones, se procede a determinar el IVS según lo planteado por Koks *et al.* (2015) para cada una de las unidades domésticas con los valores disponibles y los impuestos como condición.

### **3.7.3 Análisis de las variables que componen el IVS**

Se realizó un análisis del IVS con respecto a la variable hogares monoparentales. Se proponen las siguientes situaciones:

- Situación 1: Se asume que pertenecen a hogares monoparentales si no se conoce con certeza como se distribuyen las personas en los rangos etarios. Para aquellas UD en donde solo vivan personas pertenecientes al rango mayor a 60 años o aquellas UD en donde solo viva una persona entre el rango de 15 a 60 años se considerarán como no monoparental.
- Situación 2: Si viven en la UD a lo menos un menor o igual de 14 y menos de 5 personas entre los rangos de 15- 60 años y mayores a 60 años, se considera hogar monoparental.
- Situación 3: Si viven en la UD a lo menos un menor de 14 años y menos de 3 personas entre los rangos de 15 y 60 años y mayores a 60 años, se considerará hogar monoparental.

### **3.7.4 Clasificación del IVS y variabilidad espacial**

Para analizar la distribución espacial del índice de vulnerabilidad social y las variables que lo componen, se confeccionaron mapas mostrando clases en colores. Se utilizaron los colores verde, amarillo y rojo para mostrar una vulnerabilidad baja, media y alta respectivamente,

esto permitirá observar de una manera más clara la forma en la que se distribuye la información en las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas. La información es referenciada a través del uso de las coordenadas espaciales. Así, la clasificación queda en los rangos de la Tabla 3.4

**Tabla 3.4 Rango de valores de la vulnerabilidad**

| Nivel de vulnerabilidad social | Rango     | Color    |
|--------------------------------|-----------|----------|
| Bajo                           | 0-0.33    | Verde    |
| Medio                          | 0.33-0.66 | amarillo |
| Alto                           | 0.66-1    | Rojo     |

### 3.7.5 Interpolación del IVS

A partir de los valores calculados para cada UD se procedió a interpolar el índice para conocer qué valores podrían tomar las vecindades de cada uno, a modo de obtener mapas que permitan visualizar como se distribuye el índice sobre todo el territorio. Las interpolaciones se realizaron en cada localidad a manera de conservar la información que tiene cada una. La herramienta de interpolación utilizada se denomina IDW (Distancia Inversa Ponderada) el cual consiste en un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca este un punto del centro de la celda que se está determinando, más influencia tendrá en el cálculo del promedio.

Para realizar la limitación del área estudiada se usó como base la cartografía de ciencias sociales aplicada a Arauco, Carampangue y Ramadillas, en donde se puede apreciar las zonas consideradas como inundadas y las que no, además se utilizó el calado de la cartografía modelada correspondiente a una crecida de periodo de retorno de 100 años para observar el alcance de la inundación en las localidades.

### **3.8 Conclusiones**

En este capítulo se presentó la zona de estudio y sus características, además de los materiales de trabajo para la obtención de información. Se explicó con detalle los conceptos y la forma de obtención del IVS propuesto por Koks *et al.* (2015), se contextualizó la información al caso de Chile y, por último, se propuso analizar los resultados del IVS obtenidos en Arauco, Carampangue y Ramadillas mediante un análisis de las variables y la interpolación de los resultados.

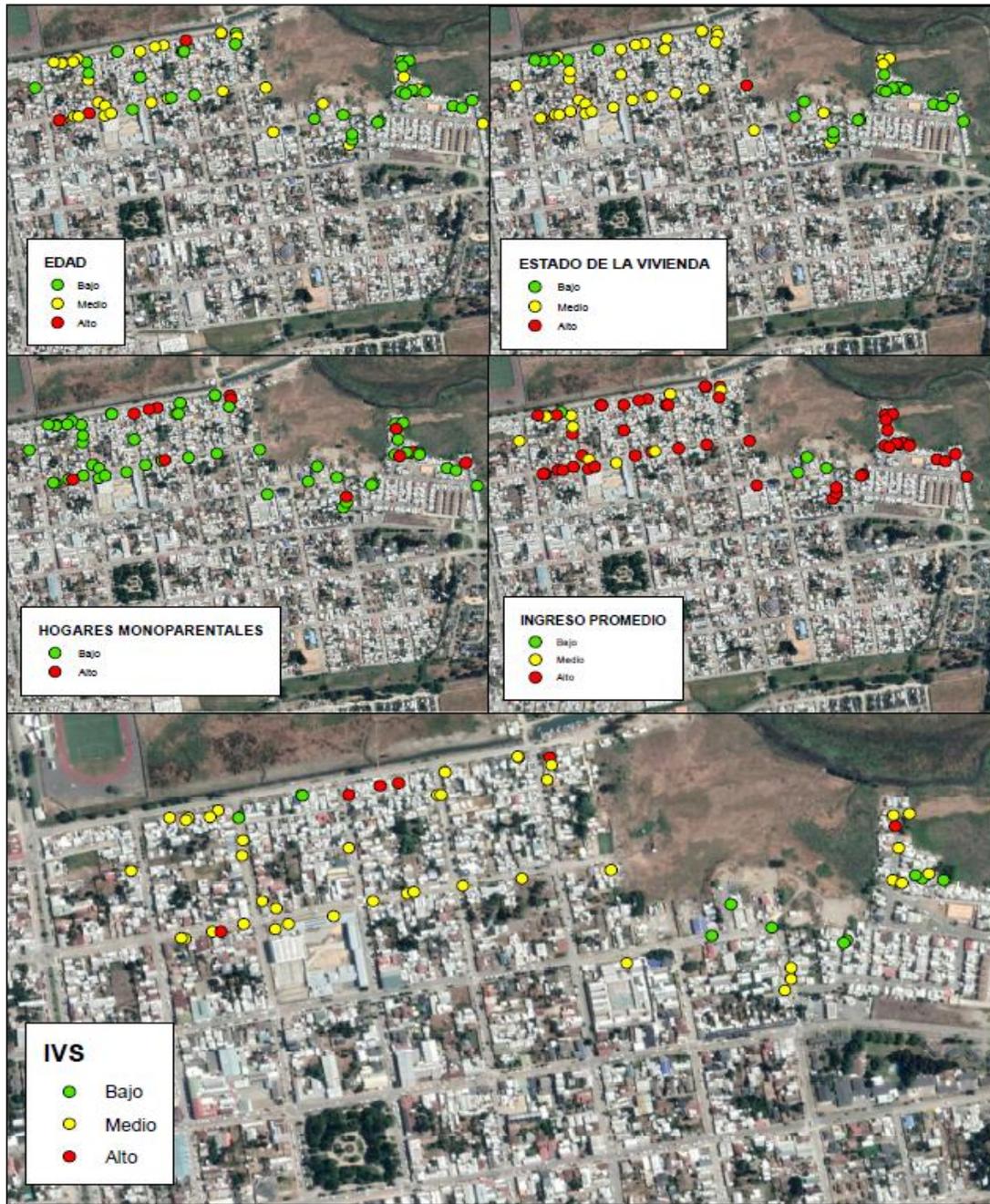
## **CAPITULO 4                    RESULTADOS**

### **4.1            Introducción**

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la determinación del IVS a través del uso de mapas en rango de clases para las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas. Además de un análisis para conocer la variación de la distribución del IVS y la interpolación del IVS a las UD cercanas.

### **4.2            Mapas distribución IVS**

La Figura 4.1 muestra el valor de cada variable del índice calculado para cada UD en la localidad de Arauco.



**Figura 4.1 Distribución espacial del IVS en Arauco**

Se observa que la distribución del IVS se asemeja más a la distribución de la variable estado de la vivienda concentrando esto en el rango medio, es decir, el color amarillo. Para el caso del ingreso promedio casi todas toman un valor alto debido a que hay lugares con un alto avalúo fiscal de las parcelas.

La Figura 4.2 muestra el valor de cada variable del índice calculado para cada UD en la localidad de Carampangue.



**Figura 4.2 Distribución espacial del IVS en Carampangue**

Se observa que la distribución del IVS se asemeja a las variables de edad y el estado de la vivienda concentrándose mayormente en un nivel medio, es decir, color amarillo. Existen UD marcadas de color verde y rojo, pero no representan una distribución en particular, para el caso de ingreso promedio la mayor parte de las UD presentan un valor alto, debido que en Arauco es donde se concentran los valores más altos de avalúo fiscal de las parcelas.

La Figura 4.3 muestra el valor de cada variable del índice calculado para cada UD en la localidad de Ramadillas

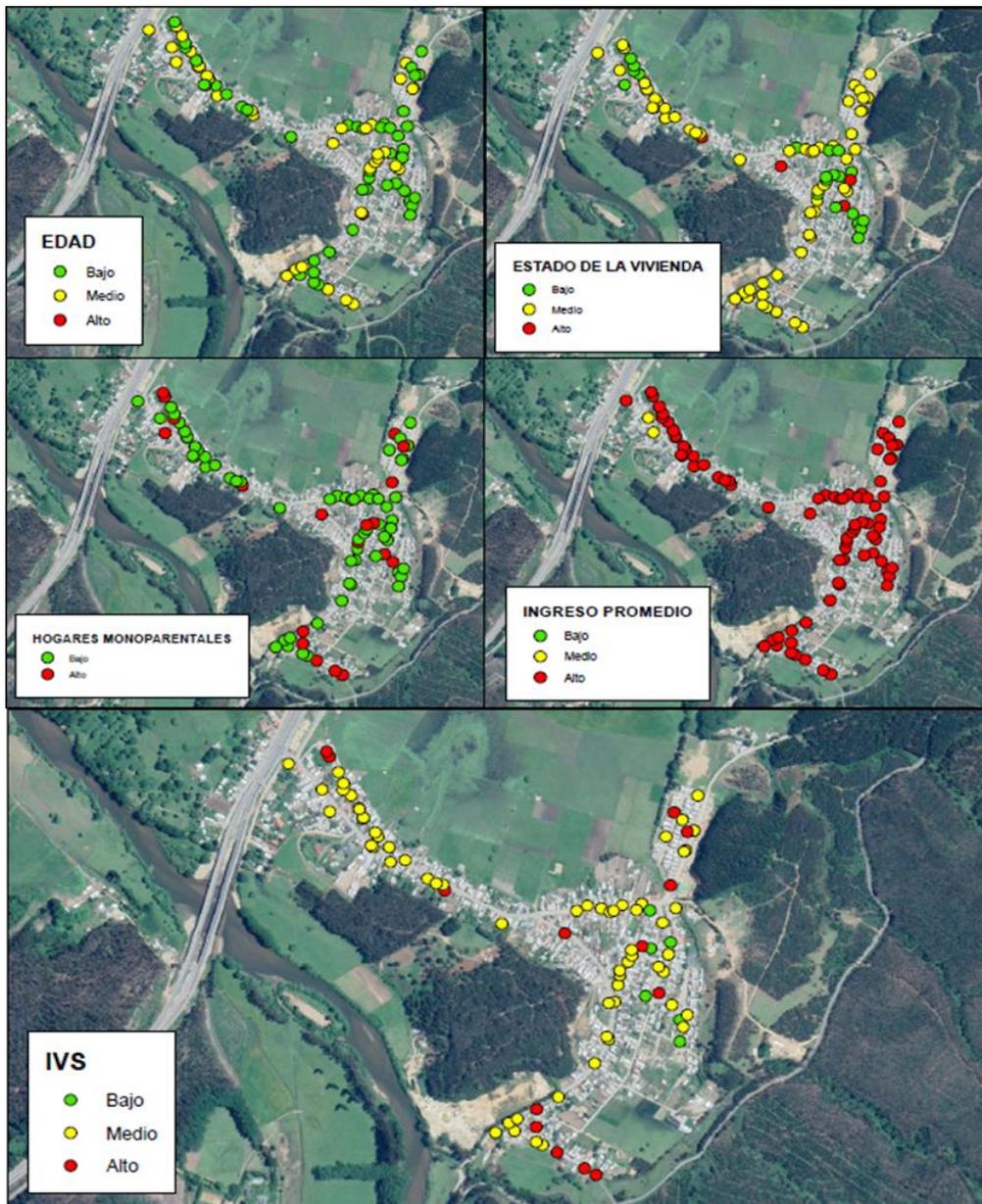


Figura 4.3 Distribución del IVS en Ramadillas

Se observa que la distribución del IVS se asemeja más a la distribución de estado de la vivienda concentrándose en el rango medio, es decir, color amarillo. Se puede notar además UD con los colores rojos y verdes, pero no presentan una distribución significativa.

La Tabla 4.1 muestra el promedio del IVS en las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas.

**Tabla 4.1 Valor promedio del IVS**

| Localidad   | IVS  |
|-------------|------|
| Arauco      | 0.44 |
| Carampangue | 0.53 |
| Ramadillas  | 0.50 |

El promedio más alto es alcanzado en Carampangue, luego en Ramadillas y por último en Arauco, por tanto, todas las localidades están en vulnerabilidad media. El valor mínimo alcanzado por el IVS es de 0.083 en Arauco y el valor máximo toma un valor de 0.896 en Carampangue.

### 4.3 Análisis del IVS

La Figura 4.4 muestra la distribución del IVS en la localidad de Arauco, en las tres situaciones planteadas.

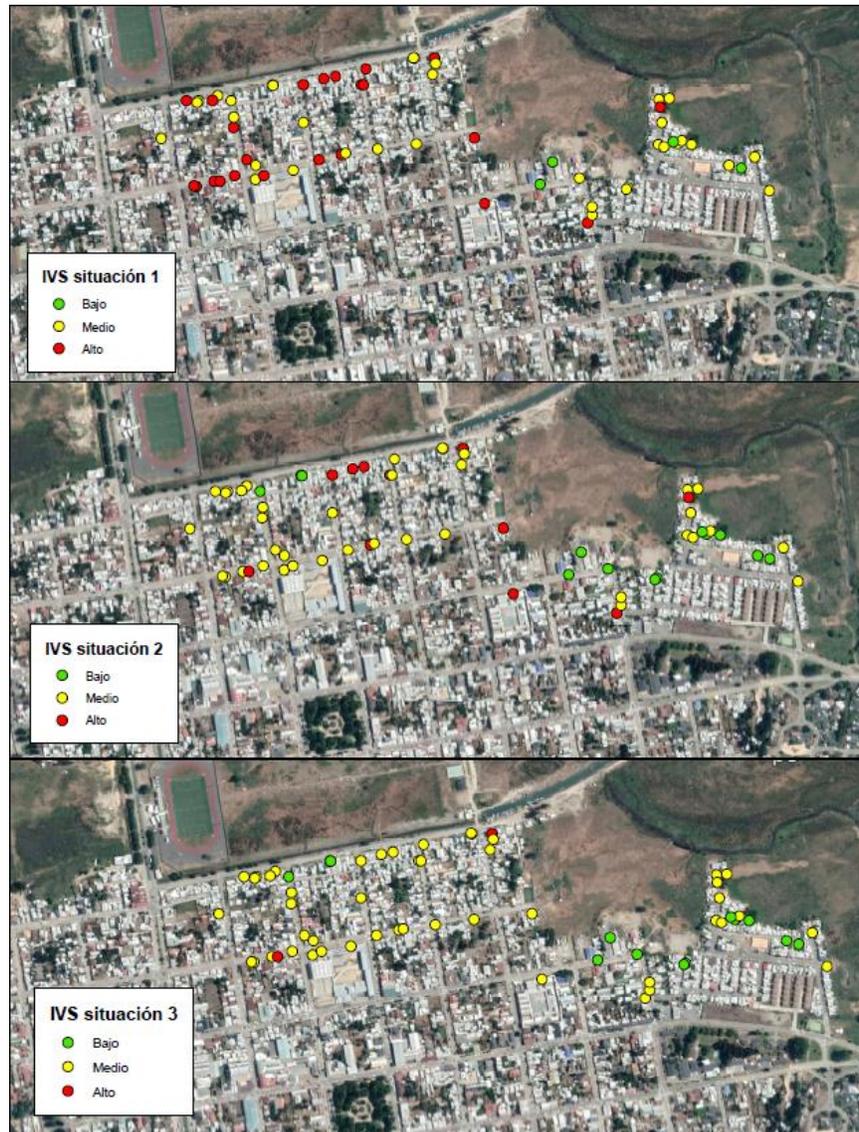
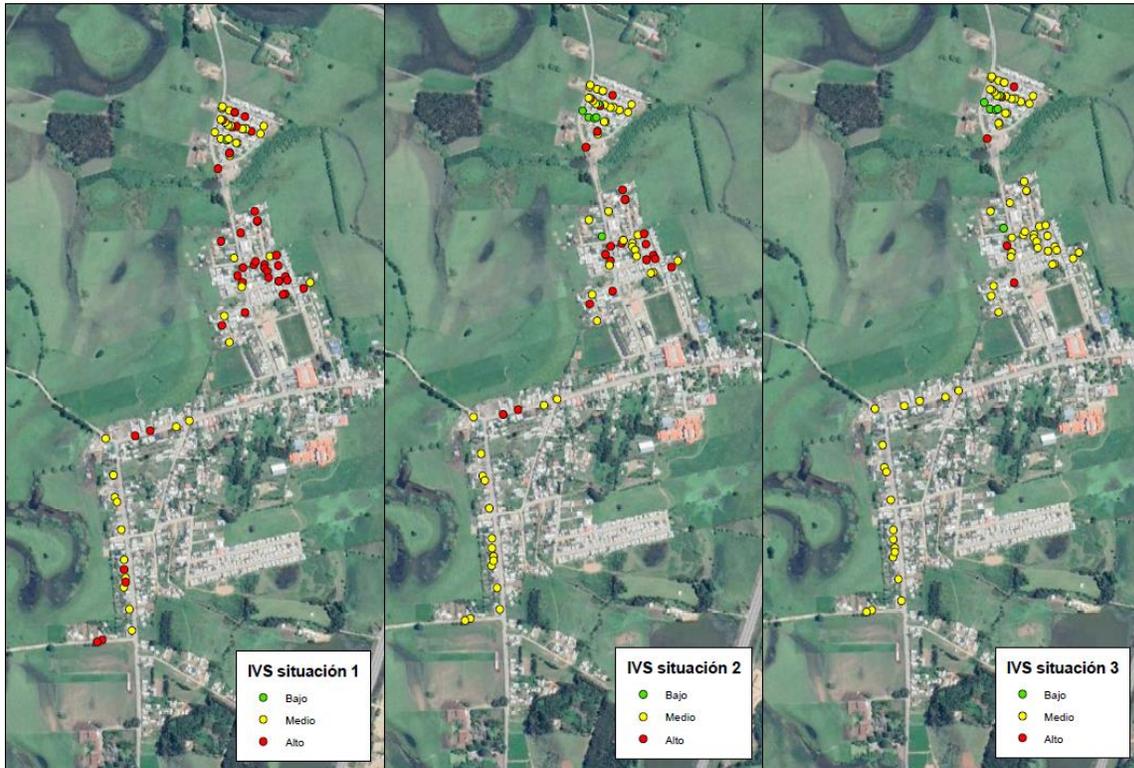


Figura 4.4 Análisis del IVS en Arauco

Se observa que en la situación 1 el IVS presenta los mayores cambios al pasar de color amarillo a rojo, es decir, de vulnerabilidad media a alta en varias UD. En las situaciones 2 y 3 los cambios fueron más leves, observando cambios aislados en algunas UD.

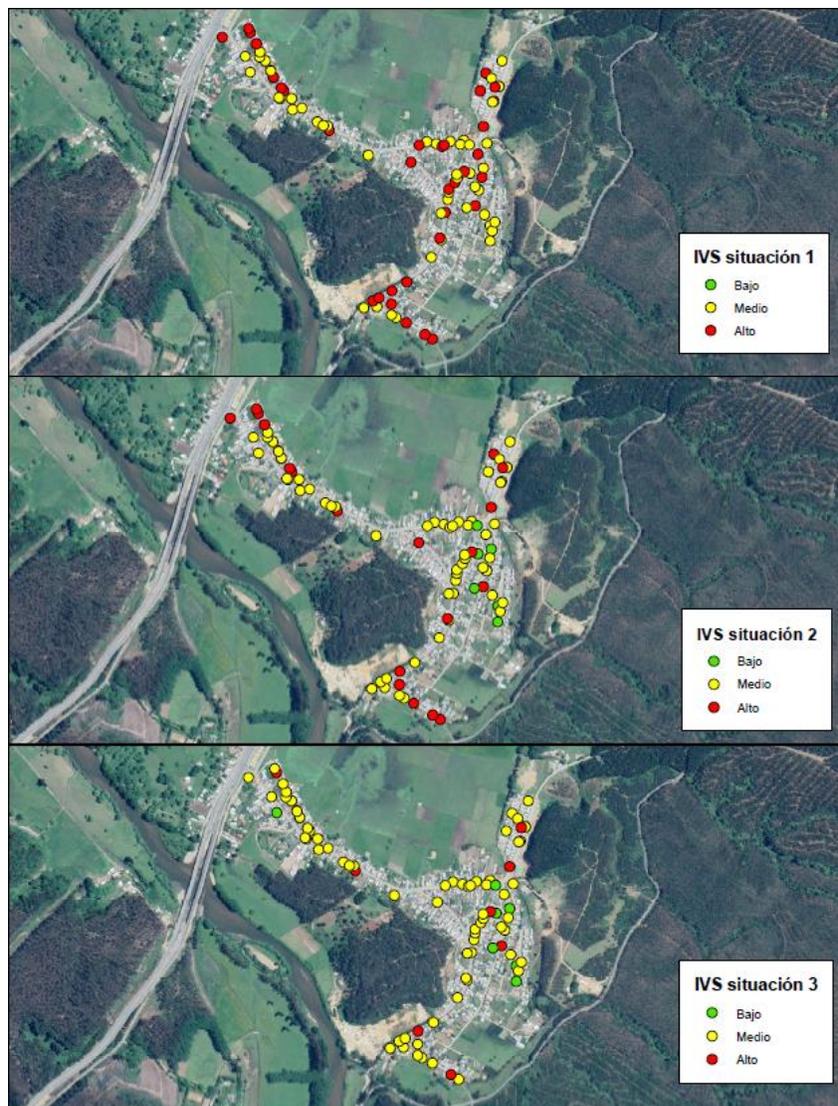
En la Figura 4.5 se muestra la distribución del IVS en la localidad de Carampangue, en las situaciones planteadas.



**Figura 4.5 Análisis del IVS en Carampangue**

Se observa que en la situación 1 el IVS presenta los mayores cambios al pasar de color amarillo a rojo en varias UD, es decir, de una vulnerabilidad media a alta, concentrando este cambio en la parte central de la localidad de Carampangue. Es la situación 2 donde se perciben los menores cambios en la distribución del IVS, en la situación 3 se observa un mayor cambio en la distribución del IVS en la zona central.

La Figura 4.6 muestra la distribución que toma el IVS en la localidad de Ramadillas, en las tres situaciones planteadas.



**Figura 4.6 Análisis del IVS en Ramadillas**

Se observa que en la situación 1, al igual que en las localidades de Arauco y Carampangue, la distribución del IVS presenta los mayores cambios pasando a una vulnerabilidad alta, es decir, al color rojo. En las situaciones 2 y 3 los cambios espaciales son menores.

La Tabla 4.2 muestra la variación porcentual del IVS en las situaciones estudiadas, lo cual es coincidente con el análisis de la distribución en las tres localidades.

**Tabla 4.2 Variación porcentual del IVS**

| Localidad   | Situación 1 | Situación 2 | Situación 3 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Arauco      | 35%         | 7%          | 5%          |
| Carampangue | 24%         | 5%          | 9%          |
| Ramadillas  | 27%         | 4%          | 5%          |

Para conocer cómo varía el IVS en cada localidad se mide la variación porcentual. En la situación 1 se puede notar un mayor cambio en el promedio del IVS debido a que al evaluar la situación más desfavorable para la variable de hogares monoparentales varias UD cambian de un valor medio a uno más alto. Para la situación 1 y situación 2, en las tres localidades, se presenta una variación porcentual menor al 10% lo que significa que el criterio utilizado en la variable de hogar monoparental al determinar el IVS es apropiado.

#### 4.4 Distribución espacial del IVS

La Figura 4.7 muestra en primer lugar, la interpolación del IVS sobre el área de estudio en la localidad de Arauco, en la segunda imagen se observa como la cartografía social se relaciona con el IVS y en la tercera imagen relaciona cómo interactúa el IVS con una inundación modelada, permitiendo en ambos casos tener una visión más global del riesgo de la zona.

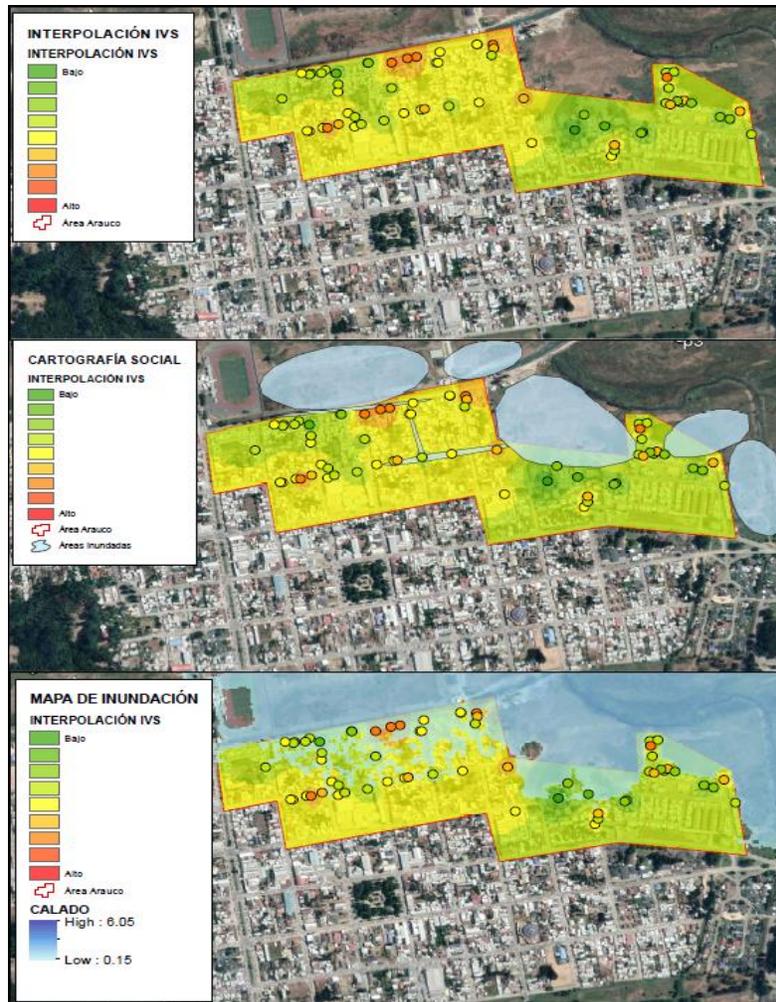
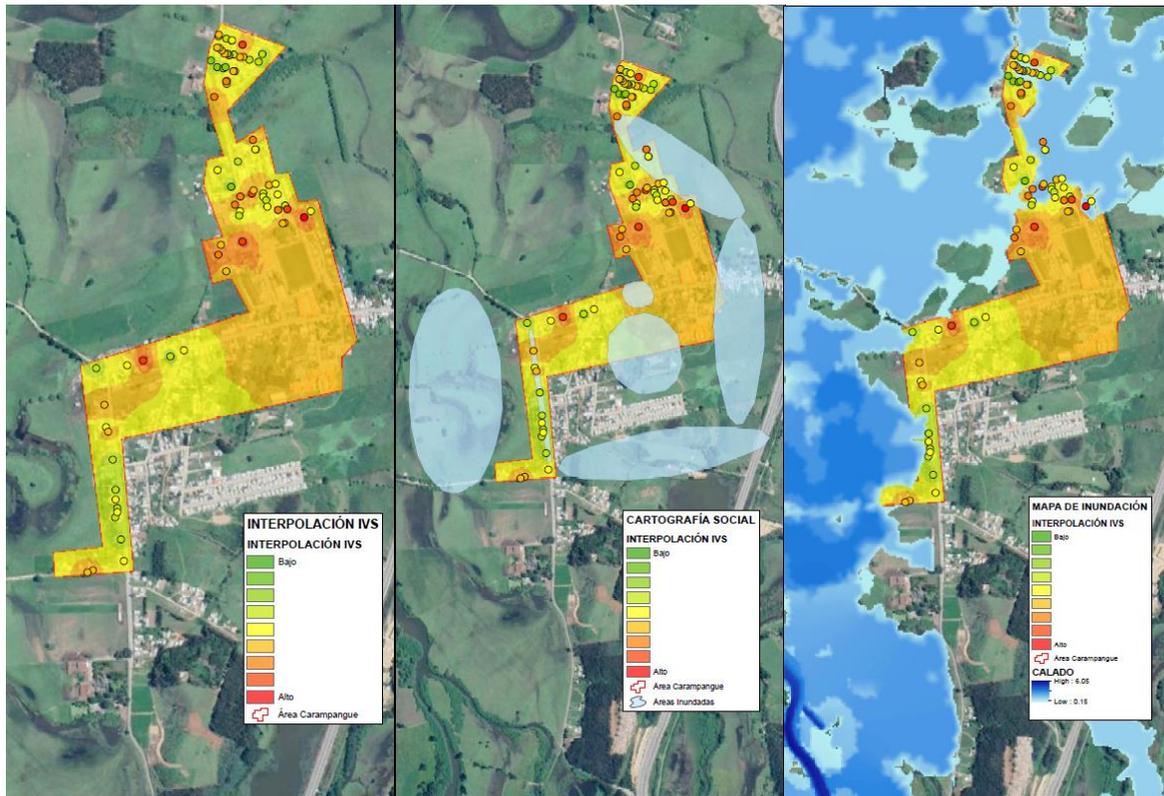


Figura 4.7 Interpolación del IVS en Arauco

Se observa que las viviendas ubicadas en el norte del área delimitada son las más afectadas por las inundaciones, esto coincide en el caso de cartografía social y la simulación numérica, las cuales presentan tonalidades amarillas a rojizas, lo cual indica un grado de vulnerabilidad media en ese sector.

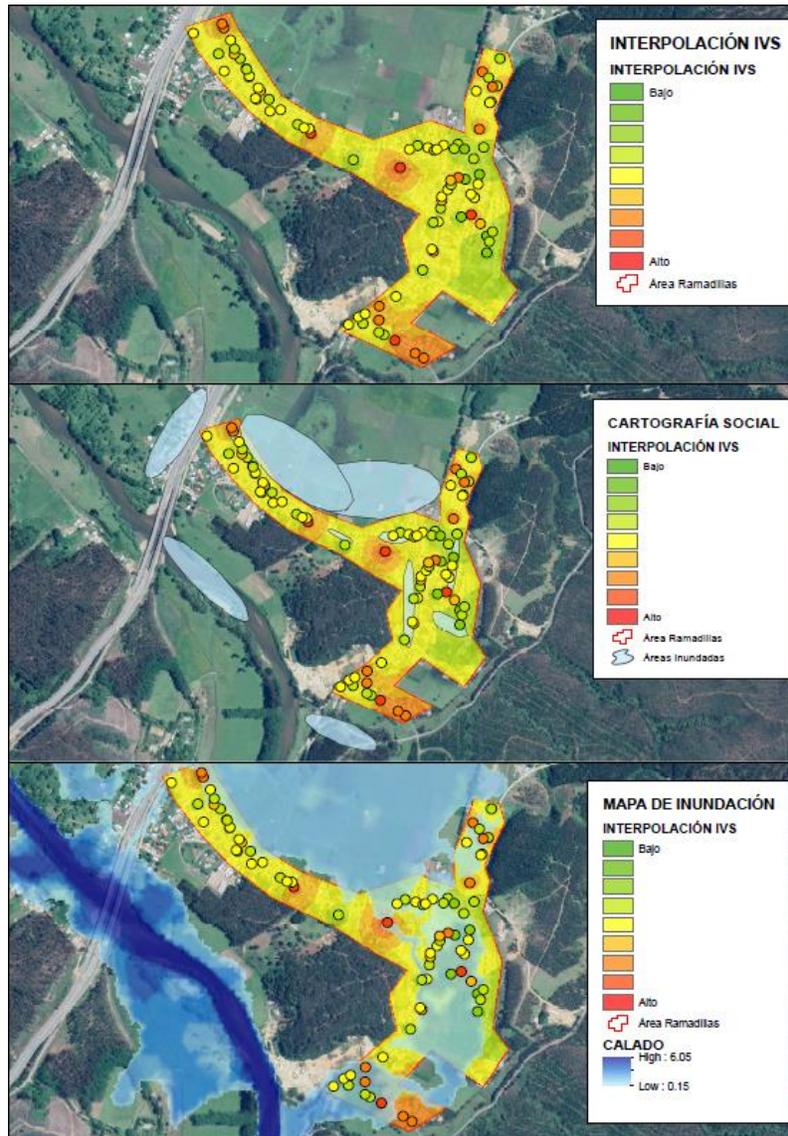
La Figura 4.8 muestra en primer lugar, la interpolación del IVS sobre el área de estudio en la localidad de Carampangue, en la segunda imagen se observa como la cartografía social se relaciona con el IVS y en la tercera imagen relaciona cómo interactúa el IVS con una inundación modelada.



**Figura 4.8 Interpolación del IVS en Carampangue**

Se observa que las inundaciones presentan un mayor alcance en la localidad de Carampangue, principalmente en la parte norte de la localidad, en donde se observan zonas de color amarillas a rojo, es decir, vulnerabilidad media a alta. Existe coincidencia entre la cartografía social y simulación numérica, observando áreas con un IVS medio a alto.

La Figura 4.9 muestra en primer lugar, la interpolación del IVS sobre el área de estudio en la localidad de Ramadillas, en la segunda imagen se observa como la cartografía social se relaciona con el IVS y en la tercera imagen relaciona cómo interactúa el IVS con una inundación modelada.



**Figura 4.9 Interpolación del IVS en Ramadillas**

Se observa que en la localidad de Ramadillas el alcance por las inundaciones, en el caso de la cartografía social y la situación modelada son poco coincidentes, sin embargo, se observan similitudes en la parte central de la localidad caracterizado por un color amarillo, es decir, una vulnerabilidad media.

Para el estudio de las tres localidades, se amplió la rampla de colores a modo de contrastar los valores que toma el índice en las UD cercanas con los obtenidos del IVS.

#### **4.5 Conclusiones**

En este capítulo se revisaron los resultados de este trabajo, se realizó la determinación del IVS en las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas observándose la variación espacial que presenta en el territorio a través de mapas de colores, donde el color rojo representa una mayor vulnerabilidad y el color verde una menor vulnerabilidad, esto permite analizar de una manera más amigable y sencillo las zonas con una mayor o menor vulnerabilidad.

El análisis se realizó debido a la adaptabilidad que se le asignó a la variable hogares monoparentales ya que solo algunas UD podían catalogarse como no monoparentales, sin embargo, la distribución en las situaciones 2 y 3 no resultaron ser de una variación espacial alta, lo mismo queda demostrado al analizar la variación porcentual del promedio que toma el IVS.

Debido a que las encuestas no se contemplaron todas las UD de las localidades, se realizó el mapa de interpolación para conocer la distribución del IVS en mayor parte del territorio como una aproximación inicial del grado de vulnerabilidad de las UD faltantes. Para este caso se utilizó la cartografía social como medio para delimitar la zona considerada inundada por los habitantes como una manera de incorporar los conocimientos de las personas en el análisis de inundaciones. Además, se puede observar la cartografía de zonas inundables con un periodo de retorno de 100 año como método usual para el análisis del riesgo de inundaciones, con esto se permite conocer las zonas críticas para la evaluación del riesgo en función de la vulnerabilidad social.

## CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La aplicabilidad del IVS en las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, siguiendo la metodología empleada por Koks *et al.* (2015), entrega resultados consistentes para la evaluación de la vulnerabilidad de la zona e incorpora de una manera más completa las características sociales y con eso la realidad de los habitantes afectados. Por esta razón comprender el impacto de la vulnerabilidad y formular estudios futuros que contemplen de una manera más completa la componente de la vulnerabilidad ayudará a reducir los impactos negativos de las inundaciones.

Mediante la determinación del IVS se pudo observar que la mayor parte del territorio presenta una vulnerabilidad media, es decir, la mayor parte está representada por las tonalidades amarillas. Gracias a la interpolación se pudo conocer que comportamiento adoptan otras UD, además de las encuestadas, lo que permite tener una visión más global del territorio y abordar de una manera más completa el riesgo de inundaciones.

Complementando la información del IVS que corresponde a la vulnerabilidad, junto con la peligrosidad representada en la cartografía de inundaciones, ya sea social o modelada, indica el escenario completo en la evaluación correcta de la gestión del riesgo de inundaciones.

Los objetivos planteados permitieron: determinar cuál era el índice que mejor se adaptaba a la situación de estudio, analizar la vulnerabilidad de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, concluyendo que la mayoría de las UD presentan una vulnerabilidad media, y finalmente, con la ayuda de los mapas de peligrosidad, reconocer las áreas críticas para la evaluación del riesgo. En resumen, la hipótesis de trabajo se cumple, puesto que la vulnerabilidad frente a las inundaciones en las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas, puede analizarse mediante el índice de Koks *et al.* (2015).

## REFERENCIAS

- Adikari Y. y Yoshitani J. (2009). *Global Trend in Water-Related Disasters: An Insight for Policymakers*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization in París.
- Aroca-Jiménez, E., Bodoque, J. M., Garcia, y Diez-Herrero, A. (2017). Construction of an integrated social vulnerability index in urban prone to flash flooding, *Natural Hazards Earth System Science*, 17, 1541–1557. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1541-2017>.
- Balica, S., y Wright N.G. (2010). Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environmental Hazards*, 9(4), 321-339. <https://doi.org/10.3763/ehaz.2010.0043>
- Bangalore, M., Smith, A., y Veldkamp, T. (2018). Exposure to Floods, Climate Change, and Poverty in Vietnam. *Economics of Disasters and Climate Change*, 3, 79–99. <https://doi.org/10.1007/s41885-018-0035-4>
- Barendrecht, M. H., Viglione, A., Kreibich, H., Merz, B., y Vorogushyn, S. (2019). The Value of Empirical Data for Estimating the Parameters of a Socio hydrological Flood Risk Model. *Water Resources Research*, 55(3), 1312-1336 <https://doi.org/10.1029/2018WR024128>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2017). *Reportes comunales*. [https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2017&idcom=8202](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2017&idcom=8202)
- Campos, R. (2017). Análisis hidro-geomorfológico del tramo inferior del río Carampangue y humedal costero asociado. Memoria de Título Ingeniero Civil.
- CONAF. (2008). *Catastros vegetacionales*.
- Cutter, S., (1996). Vulnerability to environmental hazard. *Progress in Human Geography*, 20 (4), 529-539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>

- Cutter, S., Mitchell J., y Scott M. (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 713-737. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00219>
- Cutter, S., Boruff, B., y Shirley, W., (2003). Social vulnerability to environmental hazard. *Social Science Quarterly* 82(2), 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- De Loyola, H. B. M., Cutter, S. L., y Emrich, C. T. (2016). Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7(2), 111-122. <http://dx.doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>
- Di Baldassarre, G., Kooy M., Kemerink J.S., y Brandimarte L. (2013). Towards understanding the dynamic behaviour of floodplains as human-water systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3235–3244. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3235-2013>
- Faúndez, R. S. (2017). Análisis hidráulico de las crecidas del río Carampangue mediante modelación numérica bidimensional.
- Fernandez, P., Mourato, S., Moreira, M., y Pereira, L. (2016). A new approach for computing a flood vulnerability index using cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth*, 94, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.003>
- Fothergill, A., Maestas, E. G. M., y DeRouen, D. J. (1999). Race, Ethnicity and Disasters in the United States: A review of Literature. *Disasters*, 23(2), 156-173. <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00111>
- Frigerio, I., y De Amicis, M. (2016). Mapping social vulnerability to natural hazard in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies. *Environmental Science & Policy*, 63, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.001>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). División política y administrativa censal. <https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/poblaci%C3%B3n-y-vivienda-biob%C3%ADo.pdf>

- Jongman, B., Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., Coughlan de Perez, E., van Aalst, M., Kron, W., y Ward, P.J. (2014). Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *PNAS*, 112(18), 2271-2280. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414439112>
- Karmakar, S., Simonovic S.P., Peck A., y Black J. (2010). An information system for risk-vulnerability assessment to flood. *Journal of Geographic Information System*, 2(3), 129-146. <https://doi.org/10.4236/jgis.2010.23020>
- Koks, E., Jongman, B., Husby, T.G., y Botzen, W.J.W. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 47, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>
- Kron, W. (2005). Flood Risk = Hazard • Values • Vulnerability. *Water International*, 30, 58-68. <https://doi.org/10.1080/02508060508691837>
- Link, O. (2019). La socio-hidrología, una interdisciplina para la Seguridad Hídrica. En Seguridad Hídrica: Derechos de agua, escasez, impactos y percepciones ciudadanas en tiempos de cambios climáticos (pp. 195-211). RiL editores.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., y Djordjevic, S. (2016). Stability criteria for flooded vehicles: a state-of-the-art review. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), 817-826. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12262>
- Morrow., V. (1999). Conceptualising social capital in relation to the well-being of children and young people: a critical review. *The Sociological Review*, 47(4), 643-671. <https://doi.org/10.1111/1467-954X.00194>
- Niemeyer, H. F. (1982). Hoyas hidrográficas de Chile. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas de Chile.
- Noguera, I. (2017). Riesgo de inundación en el curso bajo del río Carampangue (Región del BioBio, Chile).

- Noriega, O., Gutiérrez, Y., y Rodríguez, J. (2011). Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta. *Prospectiva*, 9, (2), 93-102. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250980014>
- O'Neill, E., Brereton, F., Shahumyan, H., y Clinch, J. P. (2016). The impact of perceived flood exposure on flood-risk perception: The role of distance. *Risk Analysis*, 36 (11) 2158-2186. <https://doi.org/10.1111/risa.12597>
- Sivapalan, N., Savenige, H. H. G., y Blösch, G. (2011). Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*, 26, 1270-1276. <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- Soto, I. (2008). Estudio de las inundaciones producidas por las crecidas del río Carampangue. (Memoria de título, Universidad de Concepción).
- Spielman, S., Tuccillo, J., Folch, J., Schweikert, A., Davies, R., Wood, N. y Tate, E. (2019). Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. *Natural Hazard*, 100, 417-436. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03820-z>.
- Valderrama, H. R. (2013). Diagnóstico participativo con cartografía social. Innovaciones en metodología Investigación-Acción Participativa (IAP). *ANDULI, Revista Andaluza De Ciencias Sociales*, 12, 53-65. <http://dx.doi.org/10.12795/anduli>
- Veloso, C. (2020). Socio-hidrología de inundaciones: Influencia de atributos de la población en su reacción frente al riesgo. (Memoria de título, Universidad de Concepción).
- Veloso, C., Flores, E., Noguera, I., Faúndez, R., Arriagada, P., Rojas, O., Carrasco, J. A. y Link, O. (2021). Preparedness against floods in nearly pristine socio-hydrological systems. *Hydrological Sciences Journal*, 67(3), 319-327. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.2023156>

- Rojas, O., Martínez C., y Jaque E. (2010). Recurrencia histórica por inundación fluvial en el curso inferior del río Carampangue, región del Bío-Bío. *Tiempo y espacio*, 25, 117-135.
- Wu, S., Yarnal, D., y Fisher, A. (2002). Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research*, 22(3), 255-270. <http://dx.doi.org/10.3354/cr022255>
- Xia, J., Falconer, R., Wang, Y., y Xiao., X.(2014). New criterion for the stability of a human body in floodwaters. *Journal of Hydraulic Research* 52(1). <http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2013.875073>

## ANEXO 3.1 ENCUESTA APLICADA A LOS HABITANTES DE ARAUCO, CARAMPANGUE Y RAMADILLAS

### PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN

1. *¿Cree que está en riesgo de sufrir una inundación?*

Sí

No

1.1 *¿Y cree que el riesgo es alto, medio o bajo?*

Alto

Medio

Bajo

2. *¿Cuánto le preocupa la posibilidad de verse afectado por una inundación? ¿Mucho, poco o nada?*

Mucho

Poco

Nada

3. *¿Cree que su vivienda está ubicada en una zona inundable?*

Sí

No

4. *¿Alguna vez se ha visto afectado por una inundación?*

Sí

No

4.1 *¿De qué forma? ¿Su vivienda, negocio, vehículos, tierras de cultivo, explotación ganadera?*

Figura A.3.1.1 Primera parte formato encuesta Noguera (2017)

4.2. *¿Y cómo fueron los daños sufridos? ¿Graves, moderados o leves?*

Graves

Moderados

Leves

5. *¿Cree que puede verse (nuevamente) afectado por una inundación en el futuro?*

Sí

No

6. *¿Piensa que podría recuperarse fácilmente de los efectos de una inundación si esta ocurriera?*

Sí

No

7. *¿Si fuera posible, estaría dispuesto a mudarse a otro sector más seguro de la comuna?*

Sí

No

8. *¿Piensa que las acumulaciones de materiales que arrastra el río o los restos de madera muerta pueden ser una de las causas de las inundaciones o que las intensifican?*

Sí

No

9. *¿Cree que el terremoto de 2010 tuvo algún efecto sobre el río y las inundaciones?*

Sí

No

9.1 *¿De qué forma piensa que afectó? (ej: agravo sus efectos, los disminuyó...)*

10. *Sabe qué tiene que hacer en caso de inundación (ej: acciones, recomendaciones, números de teléfono, unidades de emergencia...)*

Sí

No

Figura A.3.1.2 Segunda parte encuesta Noguera (2017)

11. *¿Ha llevado a cabo alguna acción para proteger su casa contra las inundaciones?*

12. *Qué medidas cree que podría tomar el estado de la comuna para reducir el riesgo de inundación (ej: dragados, limpiezas del río, construcción de diques o defensas, canalizaciones...)*

### DATOS PERSONALES

1. *Número de personas que forman la unidad familiar:*

2. *Edades miembros de la unidad familiar:*

0-14 → Vulnerable

15-60 → Poco vulnerable

> 60 → Vulnerable

3. *Personas con discapacidad en la unidad familiar:*

Sí

No

### DATOS DE LA VIVIENDA

1. *Dirección:*

2. *Estado de la vivienda:*

Bueno (viviendas de cemento u hormigón, resistentes ante un desastre natural)

Precario (casas de madera, poca resistencia ante un desastre natural)

Muy precario (casas de madera o chapa muy deterioradas, poca o ninguna resistencia ante un desastre natural)

Figura A.3.1.3 Tercera parte encuesta Noguera (2017)

## ANEXO 3.2 CARTOGRAFÍA SOCIAL



Figura A.3.2.1 Cartografía social Arauco-Barrio pescadores



Figura A.3.2.2 Cartografía social Arauco, Villa las Araucarias

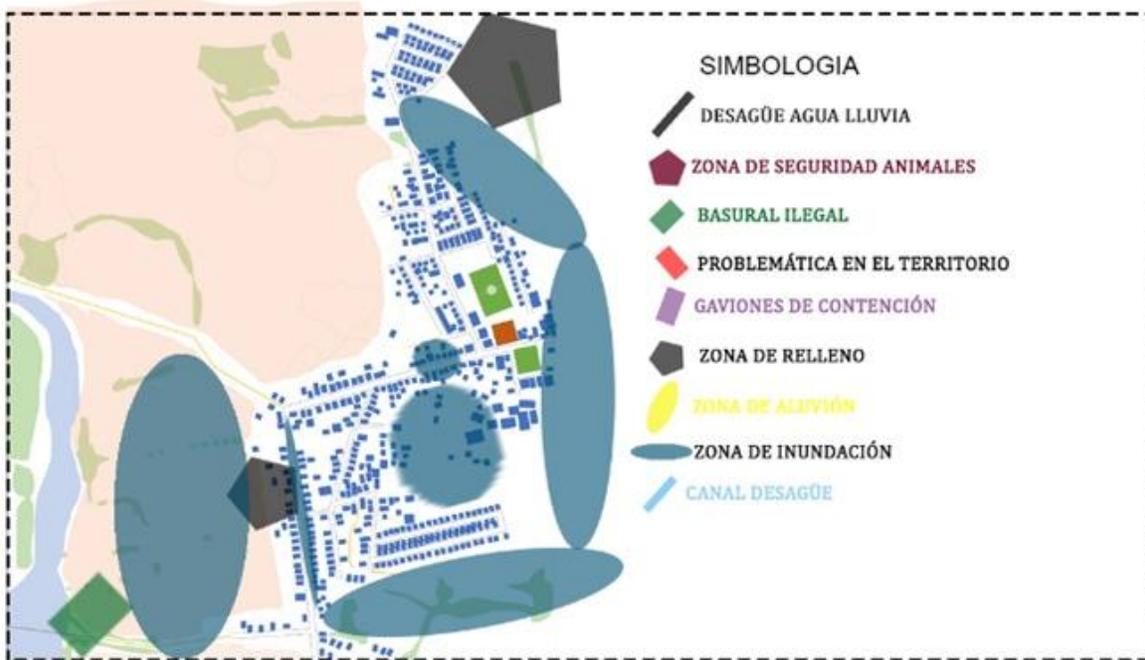


Figura A.3.2.3 Cartografía social Carampangue

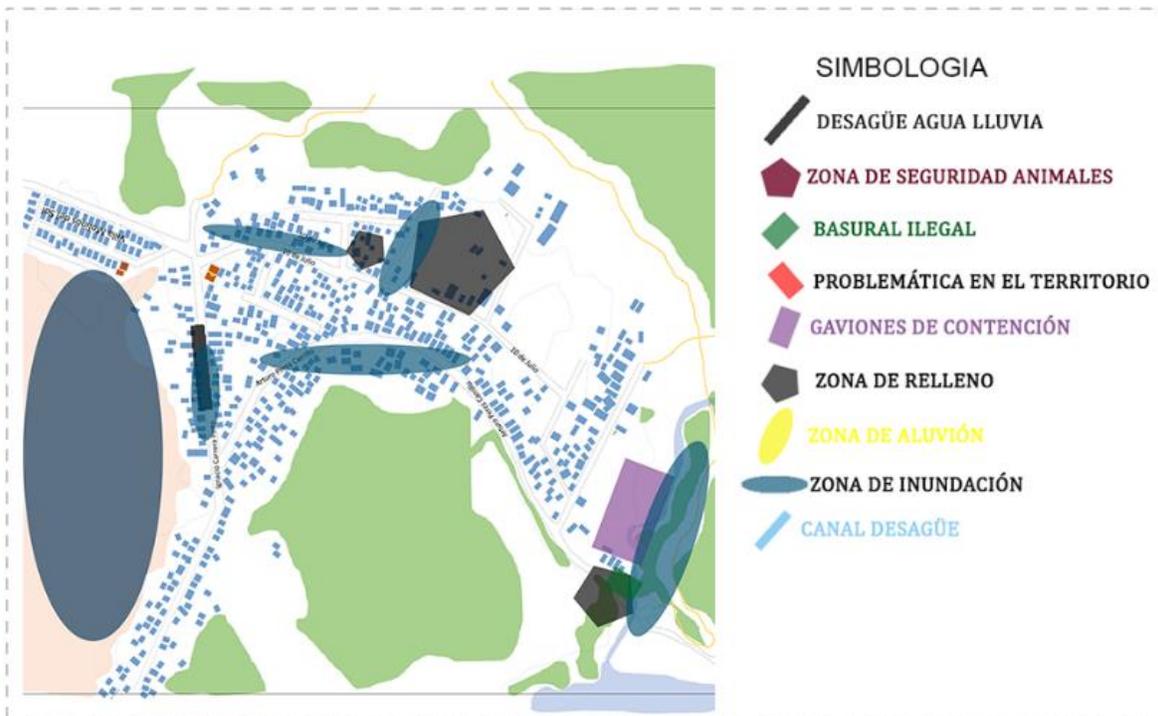


Figura A.3.2.4 Cartografía social Ramadillas, Villa Molinos del sol

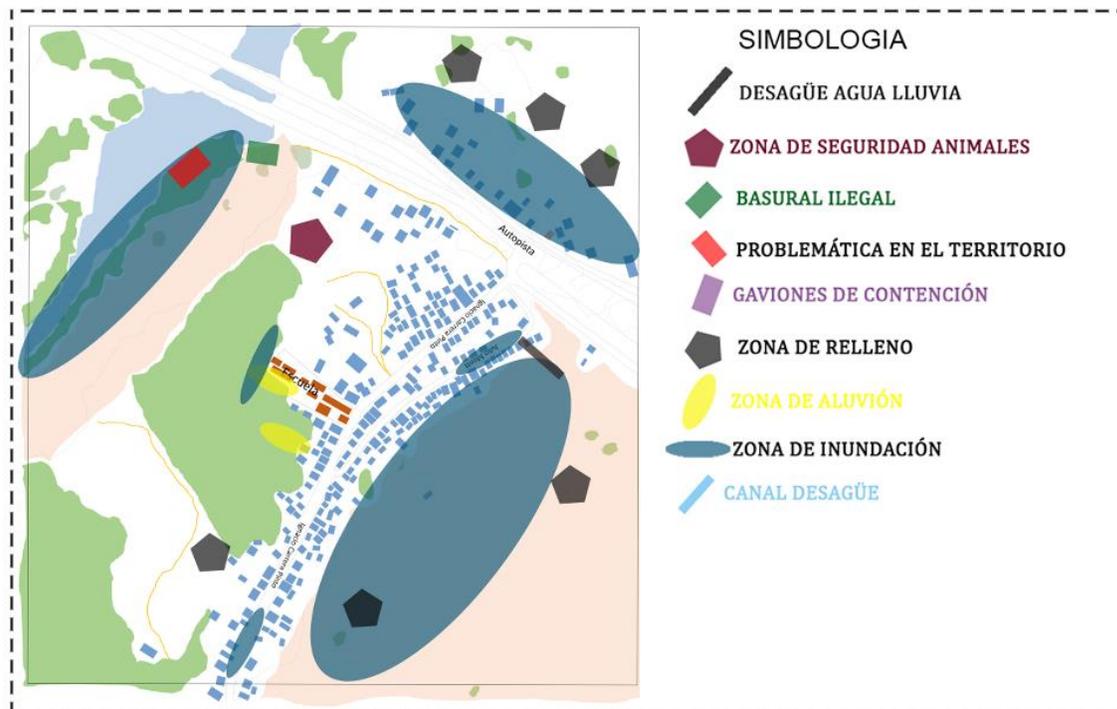


Figura A.3.2.5 Cartografía social Ramadillas-R5

### ANEXO 3.3 CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES

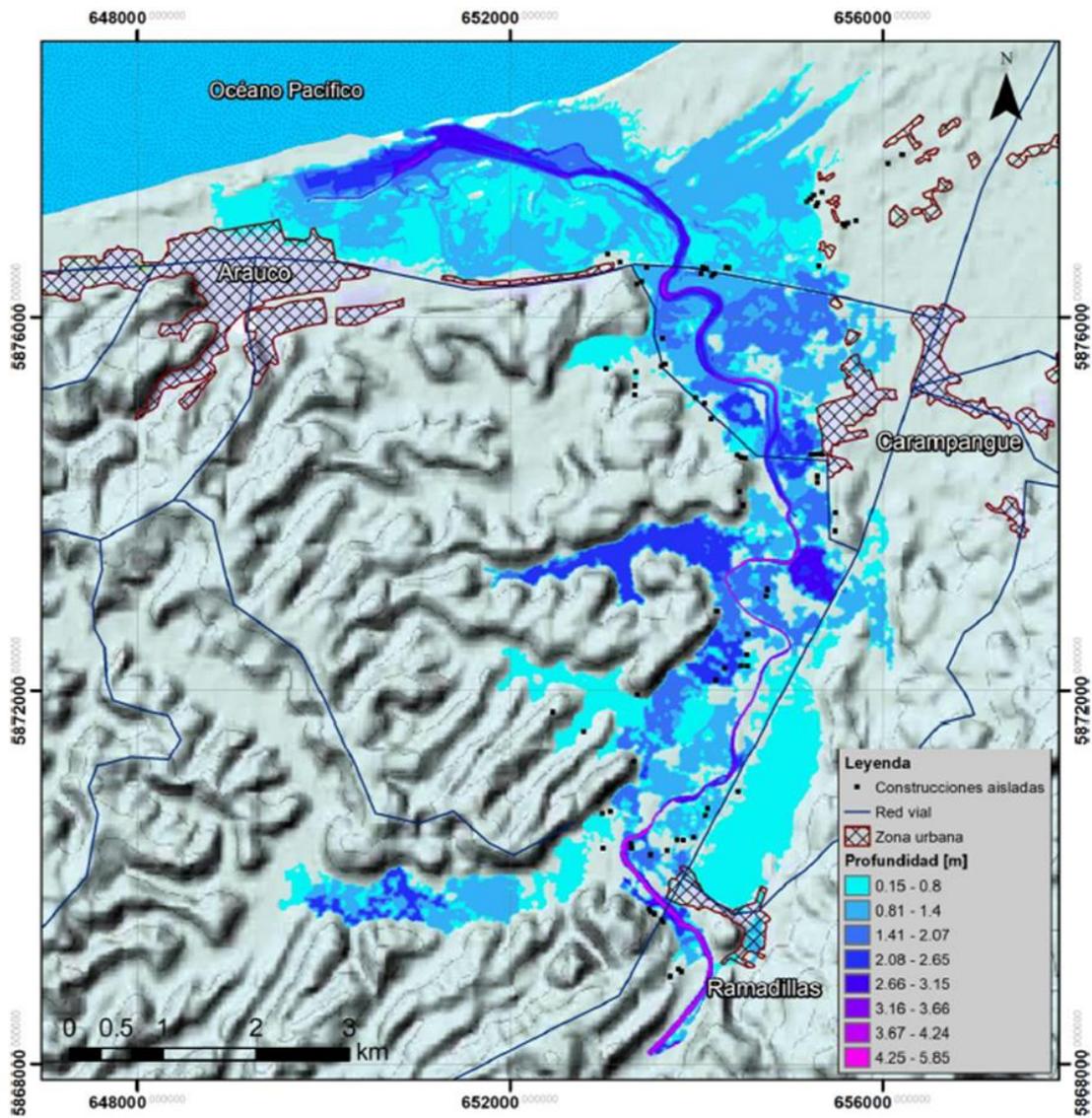


Figura A.3.3.1 Calado para crecida con periodo de retorno 100 años  
 Fuente: Faúndez (2017)

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO**

**Departamento** : Departamento de Ingeniería Civil  
**Carrera** : Ingeniería Civil  
**Nombre del memorista** : Catalina Victoria Jaramillo Sagardía  
**Título de la memoria** : Análisis de vulnerabilidad de Arauco, Carampangue y Ramadillas frente a las inundaciones del río Carampangue  
**Fecha de la presentación oral** :  
**Profesor(es) Guía** : Oscar Link  
**Profesor(es) Revisor(es)** : Juan Carrasco  
**Concepto** :  
**Calificación** :

**Resumen**

Para la correcta evaluación del riesgo además de la amenaza, se debe contemplar la vulnerabilidad que tiene relación con los atributos o características de la población. Una forma para cuantificar la vulnerabilidad es a través de índices de vulnerabilidad social (IVS), donde mediante variables sociales y económicas se determina el grado de vulnerabilidad de la zona estudiada.

Este trabajo consistió en evaluar el IVS de Koks en Arauco, Carampangue y Ramadillas. Se obtuvo información para determinar el IVS a partir de una encuesta aplicada a los habitantes de las localidades de Arauco, Carampangue y Ramadillas en el año 2017. Se evaluó el IVS y se analizó la variación espacial que presenta en cada localidad. Las 3 localidades presentan una vulnerabilidad media a alta.

Se concluye que el IVS de Koks puede usarse con la información existente. Se debe adaptar algunas variables como: hogares monoparentales, año de construcción de la vivienda e ingreso promedio. Los resultados son consistentes con los hallazgos de estudios previos.