UNIVERSIDAD ACADEMIA DE HUMANISMO CRISTIANO

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

Riesgo por Inundación del río Cachapoal

Caso de estudio: Comuna de Pichidegua, Provincia de Cachapoal, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

David Ignacio Stuardo Pérez

Santiago de Chile, 2016

Seminario de grado presentado a la Escuela de Geografía de la Universidad Academia de Humanismo Cristiano como uno de los requisitos para optar al grado académico de Licenciado en Geografía

Profesoras Guía:

Gabriela Raposo Quintana & Daniela Escalona Thomas.

“Así que entiéndelo
No pierdas tu tiempo
Siempre buscando esos años perdidos
Enfréntalo... resiste
Y date cuenta que estás viviendo en los años dorados”

Wasted Years – Iron Maiden

Agradecimiento

Agradezco a mi padre, madre y hermano por la enseñanza, los valores y la educación entregada, lo que me permitió ir cumpliendo mis sueños.

A mis abuelos, por las herramientas y la sabiduría entregada, posibilitando mi desarrollo hacia nuevos caminos donde sus consejos fueron claves

A mi vecino Víctor Cerón por abrirme sus espacios y conocimiento para el estudio de la Geografía.

A Reinaldo Börgel por ser mi profesor que me enseñó las virtudes de la Geografía Física y el análisis de la Geomorfología para el estudio del quéhacer geográfico. Agradezco mi formación como profesional a usted, gracias.

A Catalina por ser mi compañera en todo momento, por la paciencia, la sabiduría en momentos complejos y el amor entregado, muchas gracias.

Resumen

Este trabajo de investigación tiene como foco principal analizar el riesgo de inundación de rio Cachapoal en la comuna de Pichidegua. Para tal análisis, se toman en consideración el estudio de precipitación periodo 1985 – 2015 en Pichidegua, el periodo de retorno 1983 – 2015 del rio Cachapoal y los hechos ocurridos referentes al fenómeno del niño en Chile.

También dentro de esta investigación se evalúa a las actividades antrópicas desarrolladas en el sector Larmahue, La Ratonera y Patagua Orilla, de la comuna de Pichidegua. Sumado a esto, se analiza la proximidad de las actividades con el rio Cachapoal, para el desarrollo de zonas aptas y no aptas frente a una crecida. De esta manera, la investigación propone el mostrar el riesgo que está presente al localizarse en zonas susceptibles a una inundación

Índice

1.0 Introducción 10

1.1 Planteamiento del Problema. 13

1.2. Área de estudio 17

1.2.1. Antecedentes físico naturales del área 19

- Geomorfología 19
- Suelo 20
- Hidrografía 21

1.2.2. Antecedentes socio económicos del área 23

- Situación demográfica. 23
- Actividades Económicas 25

1.2.3 Antecedentes crecidas e inundaciones 27

1.3. Justificación del Problema 28

1.4. Pregunta de Investigación 31

1.5. Objetivos Generales y Específicos. 31

1.5.1. Objetivo General 31

1.5.2 Objetivos Específicos 31

2.0 Marco Conceptual 32

2.1 Contextualización Histórica 32

2.2 Riesgo por inundación 37

3.0 Marco Metodológico 43

3.1 Tipo de Investigación 43

3.2 Primera Fase 44

- Técnicas e instrumentos de recolección de información 45
- Tipo de análisis de información 46

3.3 Segunda Fase 44

- Primer Objetivo 47
- Segundo Objetivo 47
- Tercer Objetivo 53

4.0 Análisis y resultados de la investigación……,,,……..…57
4.1. Patrón Geomorfológico……..……..…… 57
4.1.1. Patrón Estructural……..……. 59
4.1.2. Patrón Climático……..……..……... 62
4.1.3. Patrón Histórico…..……..……..… 64
4.2. Patrón Hidrológico……..……. 72
4.1.1. Hidrograma de Crecida… ……..……...73
4.1.2. Periodo de Retorno… ……..…… 74
4.3. Transformaciones en la ribera del Río Cachapoal…….. 79
4.2.1 Materiales y Métodos……..… 80
4.2.2 Transformación y Proyección……. 81
4.2.3 Aplicación de herramienta de Spatial Analyst……...82
4.4.0 Evaluación del riesgo de inundación…….. …… 90
Conclusión ……..……... 93
5.0 Referencia bibliográfica…… 95

Índice de Figuras

Fig. 1. Diario de Atacama informando la tragedia de Copiapó Pág.12

Fig. 2. Visualización del rio Cachapoal desde el puente Arqueado. Pág.13

Fig. 3. Contextualización comunal del área de estudio. Pág.18

Fig. 4. Aspectos geológicos del área de estudio. Pág.19

Fig. 5. Terrazas fluviales en la ribera sur del rio Cachapoal. Pág.20

Fig. 6. Fotografía áreas de Pichidegua. Pág.22

Fig. 7. Número de habitantes de Pichidegua. Pág.24

Fig. 8. Número de viviendas de Pichidegua . Pág.24

Fig. 9. Campos de cultivo en la ribera del río Cachapoal. Pág.25

Fig. 10. Actividad extractiva en la ribera del rio Cachapoal. Pág.27

Fig. 11. Esquema central del riesgo por inundación. Pág.24

Fig. 12. Riesgo por inundación y sus actividades de ocupación. Pág.29

Fig. 13. Esquema del análisis del riesgo por inundación. Pág.39

Fig. 14. Método de Sumatoria Lineal ponderada. Pág.46

Fig. 15. Método de Estandarización de Variables Participantes. Pág.47

Fig. 16. Juicio de Valor. Pág.52

Fig. 17. Espacios de decisión relacionada por las aptitudes de dos objetivos. Pág.53

Fig. 18. Procedimiento general de EMC Riesgo de Inundación. Pág.55

Fig. 19. Gráfico de curva Hipsométrica. Pág.59

Fig. 20. Ecuación de curva Hipsométrica Pág.61

Fig. 21. Cartografía red hídrica del área de estudio Pág.62

Fig. 22. Perfil Longitudinal del Río Cachapoal en Pichidegua Pág.63

Fig. 23. Caracterización pluviométrica 1985 – 2015 Pág.64

Fig. 24. Precipitación media mensual Pág.65

Fig. 24. Gráfico de precipitación media Pág.65

Fig. 25. Formula de Anomalía de PP mensual en %. Pág.66

Fig. 26. Gráfico de Anomalía pluviométrica Pág.67

Fig. 27. Cartografías de Isoyetas 1987, 1992, 1997 y 2002 Pág.68

Fig. 28. Hidrograma de crecidas para 1987, 1992, 1997 y 2002 Pág.73

Fig. 29. Resumen de crecidas para 1987, 1992, 1997 y 2002 Pág.73

Fig. 30. Formula del Método de Gumbel Pág.78

Fig. 31. Método de transformación geográfica Pág.80

Fig. 32. Método de environmental Pág.80

Fig. 33. Obtención de valores de distancia y reclasificación Pág.82

Fig. 34. Obtención de cobertura booleana en formato raster Pág.83

Fig. 35. Reclasificación de pendientes según normas Cartográficas Pág.84

Fig. 36. Reclasificación de pendientes según aptitud señalada Pág.85

Fig. 37. Proceso para la obtención de Jerarquía de Strahler Pág.87

Fig. 38. Red Hídrica con Jerarquía de Strahler Pág.88

Fig. 39. Red hídrica de jerarquía de Strahler reclasificada Pág.89

Fig. 40. Proceso Raster Calculator Pág.90

Fig. 41. Resultados sectores más vulnerables frente a una inundación Pág.91

Fig. 42. Fenómeno del Niño en Chile Pág.95

Índice de Tablas

Tabla 1. Porcentaje de la superficie destinada a la producción. Pág.24

Tabla 2. Antecedentes recientes de inundación. Pág.27

Tabla 3. Variables y restricciones utilizadas por E.D. Pág.50

Tabla 4. Patrones Morfométricos de la Cuenca Pág.54

Tabla 5. Tabla de promedio mensual 1985 - 2015 Pág.64

Tabla 6. Cálculo de precipitación media mensual Pág.65

Tabla 7. : Datos y Cálculos de Anomalía pluviométrica Pág.67

Tabla 8. : Tabla de Q(m3/seg) por año Pág.75

Tabla 9. : Tabla de Método de Gumbel Pág.76

Tabla 10. : Resumen de la información obtenida y procesada Pág.79

Tabla 11. : Rangos mapeables de pendiente Pág.83

Tabla 12. : Resumen de coberturas ingresadas al raster calculator Pág.87

Capítulo 1

1.0 Introducción

Al hablar del riesgo natural, muchas veces debemos preguntarnos por los factores que lo desencadenan y cómo estos se alteran o transforman por las diversas actividades antrópicas presentes en un lugar determinado. Aquel elemento endógeno que potencia una manifestación a la superficie, determinará la vulnerabilidad para todos los objetos sobre ella, transformando la localización en zonas de alto impacto y de prevención.

Sus efectos han estado presentes en la historia de la humanidad, donde fenómenos naturales de diferente origen han establecido para el hombre y sus actividades un impacto inminente: Inundaciones, terremotos, erupciones, componen una variedad de riesgos, provocando una relación constante entre el desarrollo de las sociedades y tales factores.

Las inundaciones han cambiado la forma de planificar, ya que la exposición a la que han estado expuestas ciudades, pueblos o diversas actividades antrópicas ha instaurado en la planificación territorial interrogantes, tales como la localización, su desarrollo y las consecuencias. Aquello se ha expuesto al mundo a través de varios episodios trágicos para la humanidad, como el Terremoto de Sumatra de 9.1° Richter que ocasionó un tsunami sobre el borde costero de Indonesia, afectando habitantes y turistas que se encontraban en la zona de la catástrofe cómo también la devastación del Huracán Katrina en el año 2004 en New Orleans y su posterior inundación del rio Misisipi.

Sí bien los dos episodios mencionados tienen diferentes origen sus efectos resultan similares dada la exposición y el desarrollo de estos lugares. La vulnerabilidad estaba por su localización cercana al mar de toda la costa oeste que se vio afectada por el Tsunami, o en New Orleans por estar bajo el nivel de base de los caudales, lo que gatilló en la rotura de los diques e inundaciones que devastaron a la ciudad.

Por tal motivo se considera a los recursos naturales cómo el agua como esencial de nuestro sistema, ya que su uso está orientado al desarrollo social y económico de las actividades humanas y económicas. Su disponibilidad y consumo impacta en las condiciones de vida de

los sujetos, en particular de aquellos grupos cuyas actividades dependen del agua. En este sentido, este recurso ha sido determinante en el emplazamiento de los asentamientos humanos, privilegiando la cercanía a las riberas de los ríos

No obstante, la localización y el desarrollo de las actividades colindantes a los ríos pueden resultar en situaciones de peligro para éstas y otras actividades, así como también por las formas con que se extrae el agua de estos lugares. Así, resulta esencial comprender las dinámicas de los sistemas hídricos y cómo sus oscilaciones impactan en las poblaciones, a través de inundaciones o estiajes de los mismos cauces fluviales.

Dado lo anterior, se entiende que las oscilaciones atmosféricas han tenido un impacto en las actividades humanas, lo cual ha sido detallado en la aparición del ENSO (Fenómeno de oscilación Sur), estableciendo determinados años con abundantes lluvias sobre el territorio, producto de una relación compleja entre la temperatura global oceánica y la atmosférica (Ortlieb, 1994). Por un lado, la abundante lluvia significa un incremento de los caudales que beneficia al sector productivo de nuestro país, pero también, los espacios transformados provocan riesgos para la población asociada a su localización.

Las inundaciones son consideras como uno de los fenómenos naturales con mayor impacto en el mundo, ya que su efecto ocasiona que grandes masas de aguas se desborden y afecten terrenos densamente poblados. De acuerdo a lo anterior, tomando en cuenta la base internacional de datos de desastres elaborada por el CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), en todo el mundo, 7.477.522 millones de personas han sido afectadas por inundaciones entre 1900 y 2001. En tanto, 2.379.092.236 ha sido la población total afectada debido al impacto indirectamente por las inundaciones. Entre los eventos más importantes de inundaciones ocurridos en la historia de la humanidad, tal y como la inundación del rio Yangtze en China que ocasionó la pérdida de 3.700.000 de personas. En otra más reciente, en 1998, afectó alrededor de 238.973.000 personas, dado por la alta densidad de los asentamientos urbanos de China y localizados próximos al rio.

Casos como este es lo que el CRED ha determinado que existe una exposición a las inundaciones y un impacto a la población si no se toman en cuenta la historia de sus cauces, sus mínimos o máximos y su comportamiento sobre la superficie.

En Chile los sistemas fluviales se caracterizan en ser ríos de tipo sedimentario y de transporte, donde la fuerza de arrastre resulta un peligro para las actividades y del desarrollo humano que se localiza en su entorno. Por otro lado, los ríos también han determinado el comportamiento en la localización de los asentamientos humanos, donde han otorgado los recursos necesarios para el desarrollo social y/o económico.

Ante esto es de interés ahondar en la comprensión de las situaciones de riesgo que enfrentan las actividades antrópicas en un escenario de inundación. De manera particular y como caso de estudio, esta investigación se localizará en el rio Cachapoal, en tres sectores de su ribera, en la comuna de Pichidegua que al mismo tiempo son sectores que han sido modificados por 3 actividades antrópicas: la agricultura, extracción de áridos y el desarrollo urbano.

Conocer el riesgo frente a una inundación del rio Cachapoal sobre las actividades antrópicas, permitirá conocer las zonas de Pichidegua donde existe una mayor influencia sobre el rio para determinar su exposición; a la vez, se convierte en una herramienta para visualizar el peligro real que existe el localizarse en sus riberas y cómo un desborde puede gatillar en una inundación que pone en peligro a la población y a las actividades localizadas en su ribera.

1.1 Planteamiento del Problema.

El emplazamiento de los asentamientos humanos históricamente ha estado sujeto a la disponibilidad de recursos naturales, siendo un factor principal el desarrollo social y económico de la región donde estos se cobijen.

De acuerdo a este postulado se puede señalar que la cuenca del rio Cachapoal, con una superficie de 6.370 km^2, ubicada en la provincia de este mismo nombre, VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, es determinante en la localización, aumento y crecimiento gradual de los asentamientos humanos en torno a las aguas de la hoya hidrográfica. Aquí se concentran y se desarrollan numerosas actividades agrícolas-ganaderas que mueven la economía y el crecimiento regional.

La cuenca se localiza en un sentido este-oeste, en un plano con depósito glacio-volcánico con terrazas fluviales, lo que ha posibilitado que el desplazamiento de la población y el desarrollo de las ciudades sea en el mismo sentido (Castro & Errazuriz, 1992), utilizando de esta forma la red de drenaje en toda su extensión, siendo modificado el uso de sus terrazas en algunas áreas. La modificación permite orientar el agua para la realización actividades de ganaderías, determinando su uso a lo largo del río Cachapoal y la localización espontanea de habitantes sobre sus riberas.

Si bien el agua ha permitido el desarrollo de diversas actividades tales como la extracción de áridos, agricultura y otras de desarrollo económico; a medida que estás han ido aumentando se ha generado una zona de riesgo por inundaciones. Esto es producto de la exposición de las actividades antrópicas desarrollas en las partes bajas del valle que han ido modificando los márgenes del cauce posibilitando una vulnerabilidad frente a una crecida (Ver figura n°1).

Las investigaciones que han abordado el riesgo producto de una inundación, han mostrado las problemáticas asociadas a las actividades antrópicas al localizarse y usar los cauces fluviales disponibles para su desarrollo. Entre ellas, debemos considerar el estudio realizado por Thornbury (1966), quien detalla que las inundaciones producidas por el rio Misisipi, en 1927, que abarcaron 27.000 km^2 y un aumento de 10 metros sobre la superficie, impactó en los campos de cultivos e industrias aledañas al rio. Tal fenómeno marcó un precedente por el

impacto que podrían generar las inundaciones sobre los habitantes y las actividades que se desarrollaban cercanas a los ríos, producto de la vulnerabilidad a que se estaba expuesta y al alto costo económico que significó la inundación.

A su vez la instalación de actividades no consideró las dinámicas o disposición de la cuenca hidrográfica y la sinuosidad de los ríos en el emplazamiento, en un momento en que había poca regulación.

En Pichidegua, hoy en día existe una ocupación de sus riberas para el cultivo, sin una regulación que permita conocer que actividades se desarrollan. Actividades de cultivos sobre la ribera no solo se observan en el rio Cachapoal, sino que su desarrollo también se ha observado en el rio Aconcagua, para el desarrollo de olivos y paltas (Soto, et al., 2011).

Con respecto a la actividad agrícola se debe considerar que los aspectos del relieve y clima son elementos esenciales para el cultivo en las riberas de los ríos. Ante esto, las condiciones adversas: intensas lluvias, olas de calor y crecidas, serán una limitante para el desarrollo de los cultivos, dado que no existen los medios económicos para localizarlos en otro lugar, provocando una vulnerabilidad en cuanto a su actividad.

El uso de los recursos naturales ha sido determinante para la evolución de las sociedades y a su vez estás han ido alterando y transformando su entorno. Ante esto, se señala la experiencia obtenida en la Cuenca del Lago Cuitezeo, en el Estado de Michoacán y Guanajuato en México (Ayram et al., 2014), donde la ocupación de su entorno permitió la evolución del lago, disminución su tamaño y producto del crecimiento de las actividades antrópicas.

Debido a los diversos usos que las sociedades han hecho de los recursos naturales, también se ha incrementado el riesgo como una amenaza latente para las personas que realizan actividades en lugares donde no existen condiciones de seguridad. Una eventual crecida implica la existencia de una historia borrada de nuestros territorios y no conocer las huellas del pasado posibilita hoy en día la ocupación de lugares que anteriormente pertenecían a afluentes naturales.

En Chile esto se describia antes que en Pichidegua, donde fenómenos de inundación se evidencia en zonas pobladas y que podrían generar situaciones de riesgo frente a las crecidas de sus ríos, por ejemplo: la Provincia de Copiapó. Hacia 1983, Borgel advierte que las coladas

de barro dieron forma al territorio del norte chico, pero tal fenómeno se repetiría a través de los cauces que hoy descienden de la Cordillera de los Andes. Esto se vería reafirmado por los hechos ocurridos en marzo del año 2015, en la III Región de Atacama, donde un fenómeno atmosférico de Baja Presión con una isoterma sobre los 3.000 msnm permitió el escurrimiento de material desde la cordillera aumentando el caudal del rio Copiapó y provocando su desborde e inundación en gran parte de la ciudad.

Figura 1: Diario de Atacama informando la tragedia de Copiapó producto de intensas lluvias.

EL DIARIO DE Atacama

Viernes 27 de marzo de 2015 · Año XLV / Nº 16.181 · $ 300 · www.diarioatacama.cl

Atacama vive una de sus peores tragedias

Desolación. Cerca de 80 milímetros cayeron en el Valle de Copiapó. Hay barrios y sectores que están prácticamente bajo agua y barro. Siete personas perdieron la vida en la región, mientras que un toque de queda regía desde anoche hasta las 6 horas de hoy.

EL GOBIERNO INFORMÓ QUE HAY 1.650 ALBERGADOS. ANOCHE LAS AUTORIDADES ALERTARON POR NUEVAS CRECIDAS.

Chañaral tuvo un amanecer desolador: está partida en dos

Comuna. Una cantidad indeterminada de personas está desaparecida. Ayer concurrió la Presidenta Michelle Bachelet. *Pág 4 y 5*

Atacameños reclamaron por sobreprecio de agua en bidón

Comercio. Pobladores recorrieron largos tramos para abastecerse de productos básicos. Supermercados colapsaron por instantes. *Pág 8*

Fuente: http://www.diarioatacama.cl/impresa/2015/03/27/papel/

Nota:

1) La Imagen corresponde a la portada del diario de Atacama donde se muestran las consecuencias de las intensas lluvias ocurridas en Copiapó.

2) Se detalla que fueron 80 milímetros caídos en menos 24 horas lo que ocasionó la activación de quebradas y crecidas de los principales ríos de la zona ocasionando de un millar de víctimas fatales.

Aquel fenómeno en conjunto con la localización irregular de las riberas en los ríos principales de nuestro territorio, sumado a la inexistencia de una regulación asociada al riesgo, determina que esté presente en función de la ocupación espacial frente a una inundación.

Es así que las crecidas de los ríos afectan al territorio y a las condiciones de habitalidad de sus habitantes, dado que la localización está condicionada por el relieve orográfico que determina una vulnerabilidad de ubicarse en zonas inundables.

Estás situaciones en el rio Cachapoal y sus riberas, en la comuna de Pichidegua, expone el riesgo asociado a la ocupación de zonas para el desarrollo de actividades frente a inundaciones. Dado lo anterior, esta investigación dispone los insumos necesarios que permitan evaluar y aplicar medida que consideren una planificación territorial que prevengan la localización actividades en las riberas del rio.

Figura 2: Visualización del rio Cachapoal desde el puente Arqueado. Comuna de Pichidegua.

Fuente: Registro del autor, 17 de abril del 2016

Nota:

1) La Imagen corresponde a una vista del sector de la Ratonera desde el puente Arqueado.
2) Se observa un estiaje menor del río Cachapoal y la vegetación localizada en las riberas sur y norte.

1.2. Área de estudio

La comuna se encuentra localizada a 112 kilómetros de Santiago, inmersa dentro del valle Central de Chile, donde está dentro de la Región Libertador Bernardo O'Higgins, en la provincia del Cachapoal donde Rancagua es su capital provincial y regional.

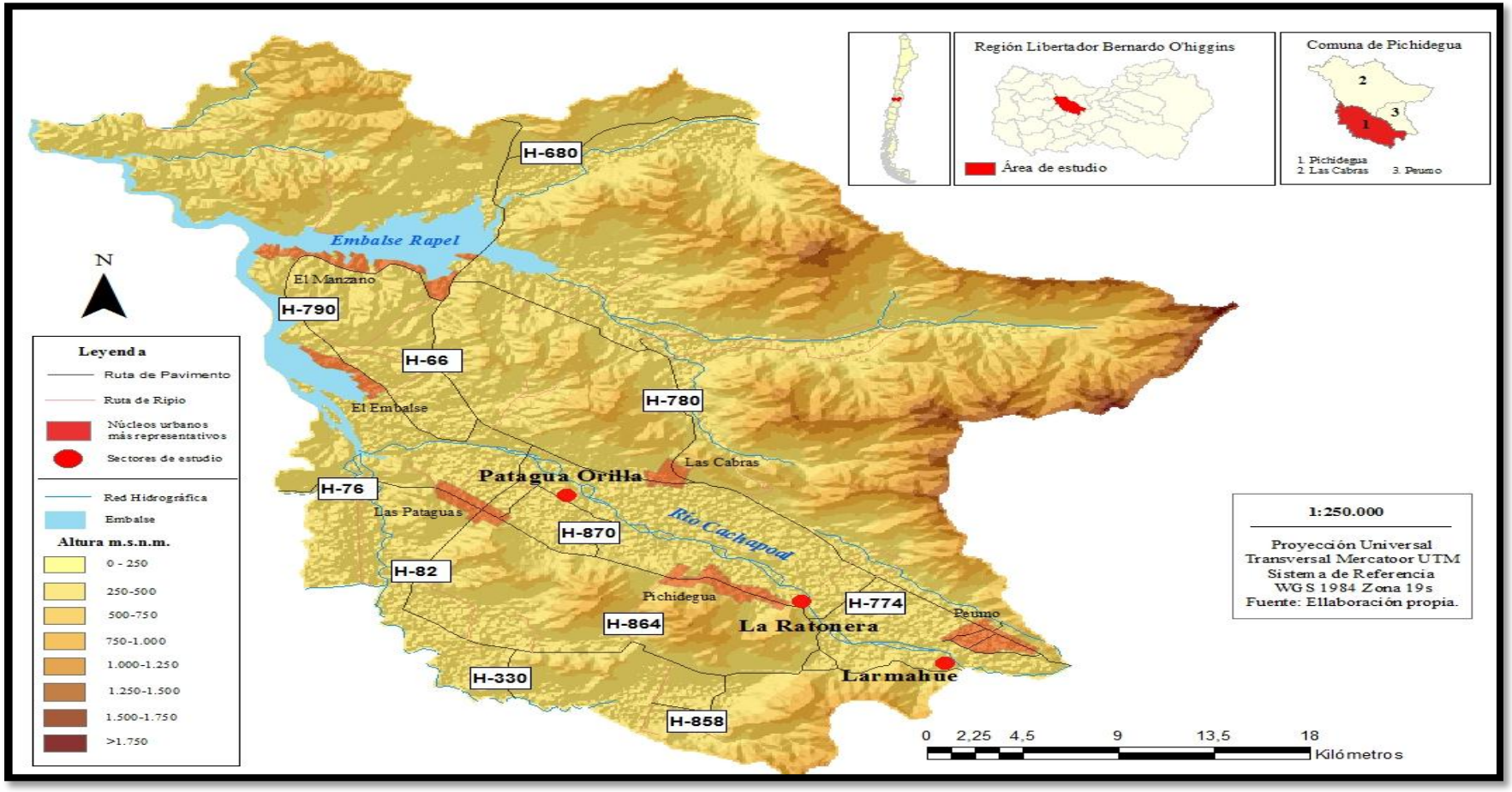
Pichidegua al Norte, limita con las comunas de Cabras y Peumo, al Este con San Vicente de Tagua Tagua, al Sur con la Palmilla y al oeste con Peralillo y Marchigue, pero nuestra se realiza al interior de la comuna de Pichidegua, en los sectores Larmahue, La Ratonera y Patagua Orilla entre los paralelos 34°16' y 34°31' LS.

El relieve natural influye en la división administrativa de la provincia, ya que por el norte y sur se encuentra fragmentando la Cordillera de la Costa producto del rio Cachapoal, principal afluente que permite la realización de actividades económicas. Aquella influencia natural sobre el rio Cachapoal, determina la elección de estos tres sectores en la comuna de Pichidegua, donde Larmahue, La Ratonera y Patagua Orilla, se dan actividades asociadas a la agricultura, extracción de áridos y de asentamientos humanos, producto que estás actividades son las más representativas de la zona.

La elección de estos sectores es analizar las actividades más representativas de la comuna y la que están más expuesta a una crecida del rio Cachapoal. El sector de Larmahue, ubicado en el extremo oriente de la comuna, desarrolla actividades de cultivos sobre la ribera sur del rio Cachapoal, estando expuesto los predios a inundaciones. Para el sector de La Ratonera, ubicado en el centro de Pichidegua, se evidencia el desarrollo de actividades urbanas y de cultivos, siendo la proximidad con el cauce y las características topográficas del terreno, el elemento central para la investigación. Finalmente el sector de Patagua Orilla, se ubica en el poniente de la comuna, donde se localizan actividades de extracción de áridos y urbano, las que resultan ser esenciales para la producción y desarrollo de los habitantes de la zona.

Finalmente, el desarrollo de actividades antrópicas asociadas a la ocupación de sus riberas más vulnerabilidad producto de su localización, han determinado la elección de los tres sectores de la comuna de Pichidegua con el fin de conocer los proceso naturales y sociales que determinan el riesgo de crecida.

Figura n°3: Contextualización comunal del área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia

Nota:

1) La Imagen corresponde a una contextualización del área de estudio, donde el río Cachapoal es transversal a la comuna de Pichidegua.
2) Se localizan los sectores de estudio (Larmahue, La Ratonera y Patagua Orilla), los que se encuentran próximos a los sectores.

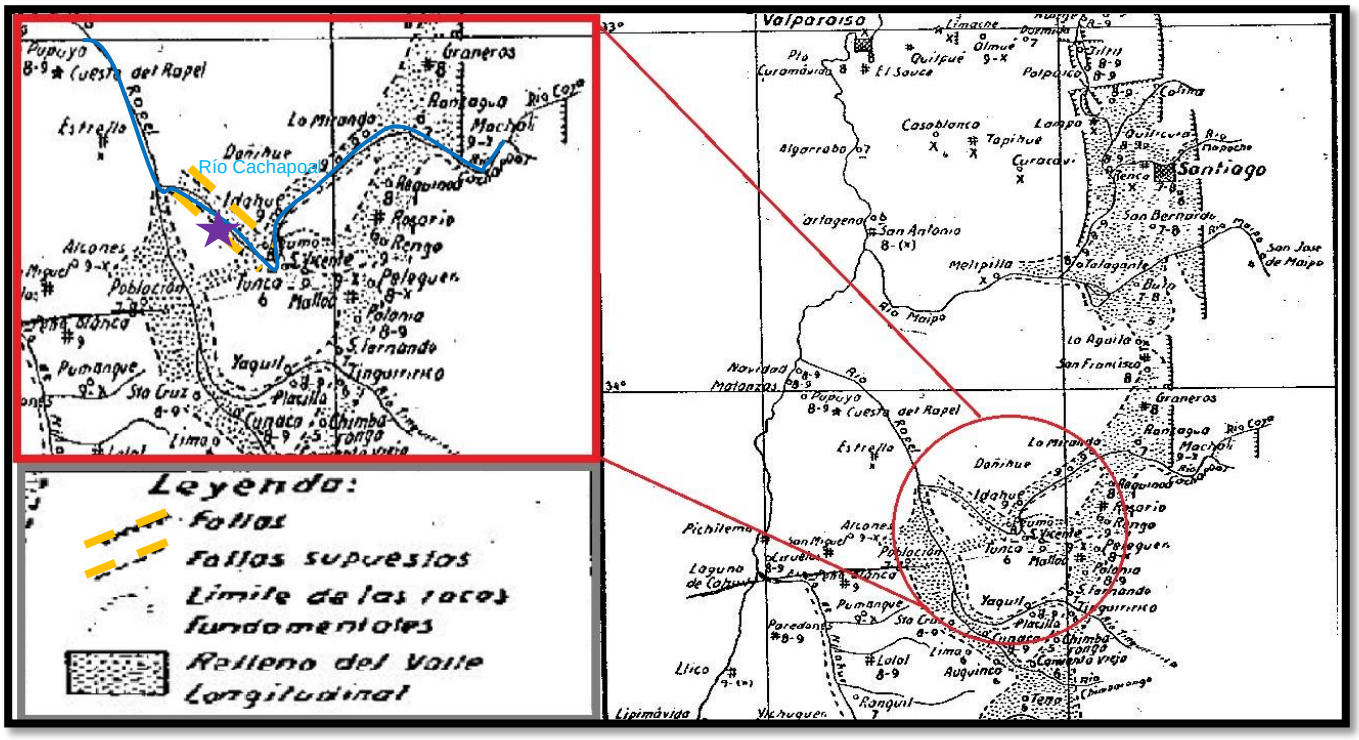
1.2.1. Antecedentes físico naturales del área

1.2.1.1 Geomorfología

La geomorfología presente en la zona, resulta esencial para entender de qué manera las actividades antrópicas fueron ocupando y transformando el relieve de la zona para la localización de actividades productivas en las riberas del rio de la comuna de Pichidegua.

Tomando en cuenta los aspectos geológicos que se localizan en el valle del rio Cachapoal (ver figura n°3), es correcto señalar que la zona de Peumo, localizada en el mapa, posee un relleno del valle. Este relleno tiene un origen glacio - volcanicos (Borgel, 1983), cuestión característica de la cuenca de Rancagua.

Figura n°4: Aspectos geológicos del área de estudio



Fuente: Tomado de Brugen, 1950: 321

Nota:

1) La Imagen corresponde a una contextualización geológica del Valle Central de Chile, donde el círculo rojo enmarca el área del Rio Cachapoal.

2) Se observa en la imagen superior derecha las estructuras geológicas presenten en Pichidegua; Fallas Geológicas de color naranjo y Relleno del Valle producto del transporte de los cauces del material cordillerano.
3) Se observa el rio Cachapoal (línea azul) y el área de estudio (color morado).

La relevancia de la zona, radica que las riberas del río Cachapoal se encuentran sobre las líneas de fallas (ver figura n°4), permitiendo que la localización de las actividades agrícolas se desarrolla un pronunciamiento favorecido por tales líneas. Otra actividad clave es la extracción de áridos (ver figura n°8), reconociendo que tiene un efecto en las riberas del rio Cachapoal en el sector de Patagua Orilla (Ver figura 2), ya que podemos identificar la extracción por cauce y de pozos secos. Esta situación responde a la extracción en tiempos posteriores a las recargas del cauce, es decir a los meses de invierno producto de las lluvias o en meses de verano pos deshielos. Sobre esta actividad, Brugen (1950) explica que el valle Central es un depósito de acumulación de material, producto del transporte de sedimentos directamente de la Cordillera en épocas interglaciares, en que fueron los ríos principales medios de transportes para estos bloques arrastrados de las partes altas hacia las partes medias de la cuenca donde fueron depositados. Esta acción se realiza directamente desde el río, provocando una alteración de su forma y posibilitando el riesgo ante eventuales crecidas.

Por consiguiente, la geomorfología de la zona adquiere relevancia ya que los elementos orográficos han incidido en la localización de actividades antrópicas, ya sea la agricultura que ocupa las riberas o la extracción de áridos que se da directamente desde el rio Cachapoal.

1.2.1.2. Suelo

La caracterización de los suelos de la comuna de Pichidegua, logra ser incidente en cuanto a la intensidad de la actividad agrícola. Los sectores de La Ratonera, Larmahue y Patagua Orilla tienen suelos de clase III, donde tendrán una moderada pendiente, una permeabilidad dada por su profundidad y una textura favorable para su drenaje, sumado a ser un suelo de tipo arcilloso (Pladeco, 2010).

Por otro lado, las características de sus riberas al ser una terraza fluvial determinarán a las actividades agrícolas, donde presentará condiciones favorables para la instalación de asentamientos humanos o de actividades destinadas para el desarrollo de cultivos.

Figura n°5: Terrazas fluviales en la ribera sur del rio Cachapoal, Pichidegua.

Fuente: Registro del autor, 17 de abril del 2016

Nota:
1) La Imagen de la izquierda corresponde a la terraza fluvial ubicada frente al sector de Larmahue.
2) La imagen de la derecha observa el uso agrícola que se le da a terraza fluvial, sector norte del puente Arqueado.
3) A: Se observa la terraza aluvial a medida que el rio Cachapoal fue excavando en el valle.
4) B: Se observa la llanura inundable frente a una crecida del Rio Cachapoal.

De acuerdo a esto, los suelos logran ser favorables para el desarrollo agrícola, aprovechando las aptitudes de sus componentes, como la permeabilidad o el escurrimiento superficial que favorece el desarrollo de los cultivos a lo largo de las terrazas en estos tres sectores.

1.2.1.3. Hidrografía

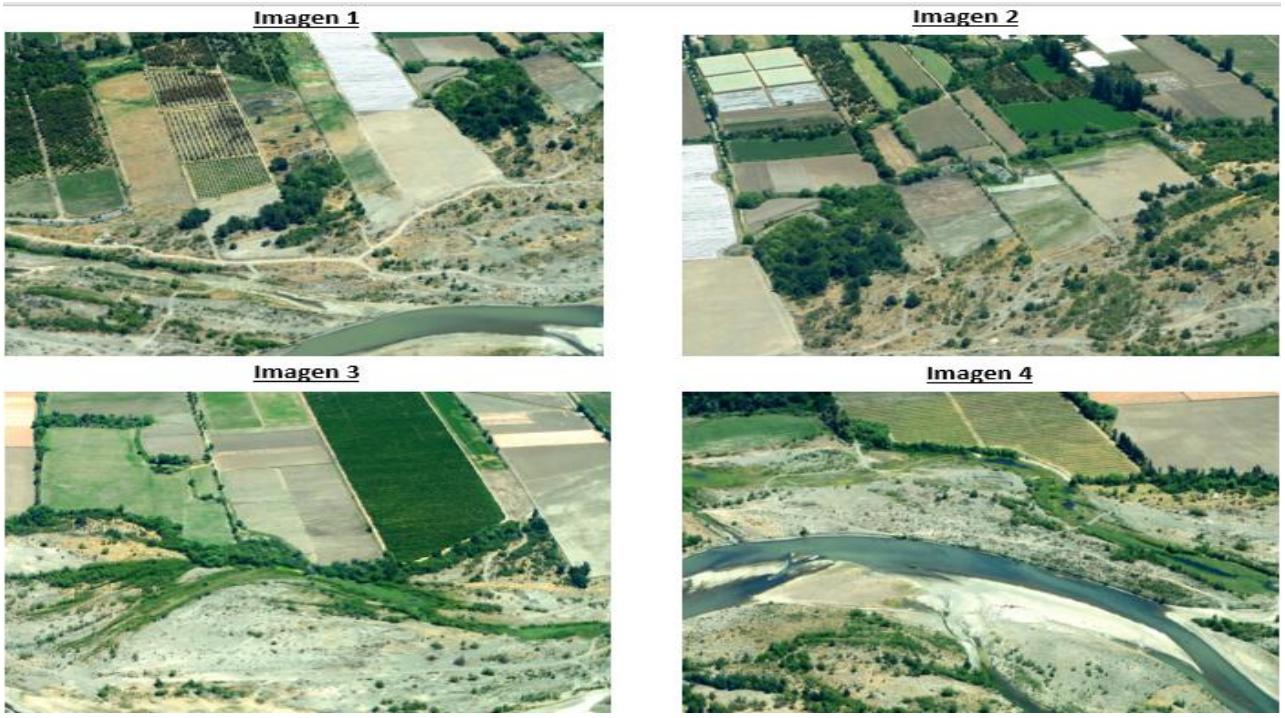
Las características fluviales de la zona resultan claves para entender las dinámicas que adquieren las actividades en estos tres sectores. A su vez, es correcto mencionar que en el siglo XX, el emplazamiento humano de la cuenca correspondió estancias y fundos en quebradas o en zonas cercanas a los ríos, para el posicionamiento y obtención de la mayor cantidad de agua posible para las actividades agrícolas (Errázuriz et al., 1998). Sin embargo, Niemeyer & Cereceda (1984) encontraron que la Cuenca tiene un comportamiento natural de sus cursos fluviales de carácter nival, lo que significa que en invierno y primavera el caudal

aumenta, producto de las lluvias y deshielos, mientras que en otoño éste presenta un menor estiaje producto que es una época estival de pocas precipitaciones.

De acuerdo a investigaciones realizadas por Borgel (1983), el Valle Central se encuentra cortado por múltiples ríos y cerros islas que se levantan sobre los 150 msnm. A su vez, las dinámicas expuestas de los ríos principales, forman terrazas fluviales que se localizan en el entorno de los cursos de aguas. En el Cuaternario Inferior, en la zona del Valle Central se localiza una gran fosa tectónica que es rellenada por sedimentos, producto de la movilización de sedimentación de la Cordillera de los Andes, cómo también por el comportamiento de las líneas de fallas que se van caracterizando en la superficie, cómo aperturas superficiales por donde escurrirá el agua.

Los sedimentos movilizados y trabajados por los cauces cómo el Cachapoal, detallan que podemos encontrarlos acumulados en su ribera producto del transporte activo de sus aguas. Así, la localización de materiales acumulados en sus riberas ha dado paso presente actividades relacionadas a la dependencia del agua, donde la localización y la realización de las prácticas productivas tengan dependencia de este recurso.

Figura 6: Fotografía áreas de Pichidegua.



Fuente: Fotografía obtenidas del Diseño de Obras Fluviales del R. Cachapoal 2012

Nota:

1) La imagen n°1 puede observar crecidas existentes en el lugar, pero también una densa capa de vegetación que rodea el material depositado en la ribera.
2) La imagen n°2 observa la ribera sur del rio Cachapoal, donde se observa los prestigios de una crecida y cómo el uso agrícola se va expandiendo sobre esta superficie.
3) La imagen n°3 observa una antigua crecida que afectó a campos de cultivos aledaños.
4) La imagen n°4 observa la ribera sur cómo también el espigón creado de manera artesanal que contiene al rio Cachapoal.

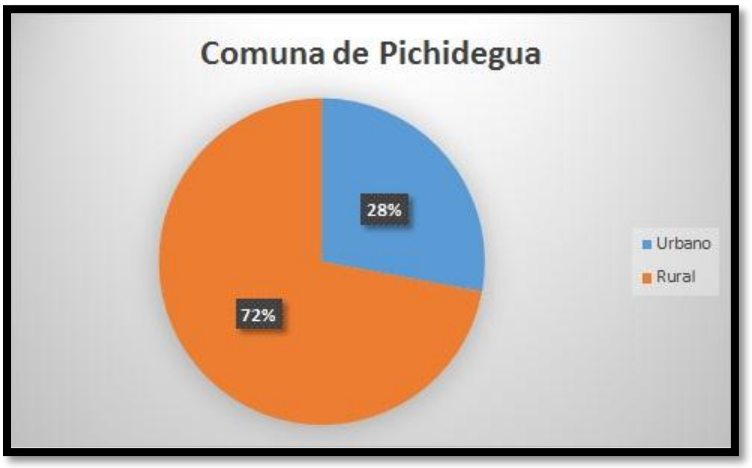
Los antecedentes hidrográficos expuestos, posibilitan que no sólo la comuna de Pichidegua viven de las aguas de sus ríos, sino que también de las actividades relacionadas a la agricultura, a la extracción de áridos y la localización de asentamientos humanos todos ellos responden a la evolución del paisaje geomorfológico que fue moldeado por los escurrimientos fluviales, pero se debe considerar que la oscilación de sus comportamientos lo convierten en un peligro, debido a la posibilidad de que en el largo plazo se produzcan inundaciones afectando a las diversas actividades desarrolladas en esta zona.

1.2.2. Antecedentes socio económicos del área

1.2.2.1. Situación demográfica.

Según datos del CENSO (2002) en la comuna de Pichidegua, podemos encontrar un total de 17.756 habitantes, 4.965 habitan en áreas urbanas y 12.791 en áreas rurales (Ver figura n°7)

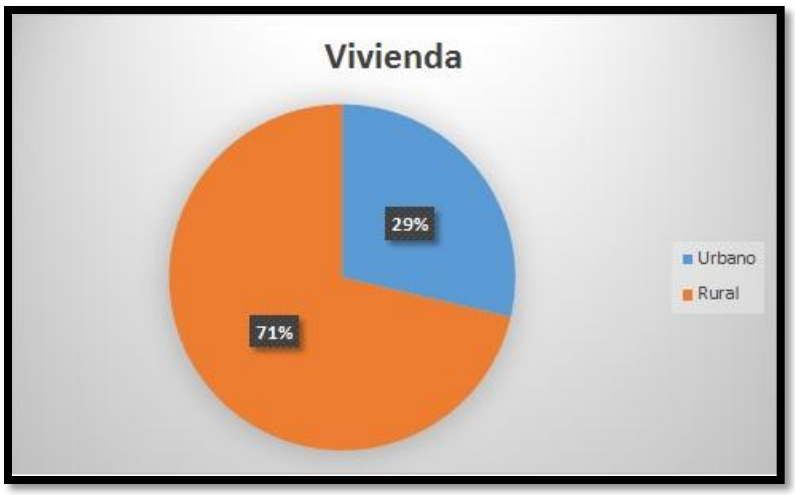
Figura n°7: Número de Habitantes de Pichidegua.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del censo 2002.

Por otro lado hay 5.348 viviendas, donde 1.534 se localizan en el área urbana y 3.814 en áreas rurales (Ver figura n°8).

Figura n°8: Número de Viviendas de Pichidegua.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del censo 2002.

A través de los datos obtenidos por el Censo, podemos mencionar que la gran cantidad de habitantes y de viviendas se localizan fuera del área urbana de Pichidegua, posibilitando un desarrollo humano en zonas no reguladas, cuestión clave para entender la dinámica en las riberas del rio Cachapoal.

1.2.2.2. Actividades Económicas

La agricultura cómo principal actividad económica de la zona adquiere relevancia dado el carácter productivo con que ésta se identifica, ya que las superficies son destinadas principalmente a la plantación de frutales de carácter compacto, industrial o huertos caseros. El rio Cachapoal se convierte en el principal alimentador de estos cultivos. La comuna de Pichidegua al presentar una topografía inclinada, ha posibilitado el escurrimiento de lluvia y la creación de diferentes conos aluvionales en las quebradas de los sectores, permitiendo el desarrollo de la agricultura (Pladeco, 2010). Por una parte, la expansión de esta actividad en la comuna, ha determinado el riesgo frente a las posibles inundaciones del rio Cachapoal, provocando que la localización de las actividades esté en amenaza debido a su cercanía con el cauce.

Figura 9: Campos de cultivo en la ribera del río Cachapoal

Fuente: Registro del autor, 17 de abril del 2016.

Nota:

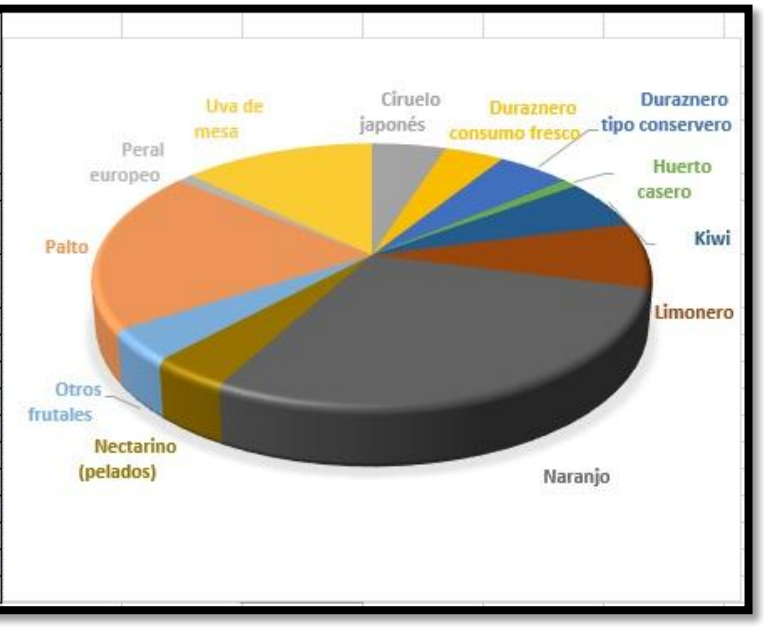
1) La Imagen corresponde a campos de cultivos en el sector de la Ratonera.
2) Se observa que la actividad de cultivo se desarrolla próxima al rio Cachapoal y en la ribera con una pendiente inclinada suavemente.

Los campos son utilizados preferentemente en la fruticultura, según antecedentes obtenidos del Pladeco (2013), el tamaño de los campos bordeará las 1 a 2 ha, cuando se trate de pequeños agricultores, en cambio, cuando nos referiremos a grandes agricultores, estos tendrán de 40 a 100 ha.

A su vez, se observa que cantidad de hectáreas destinadas para la producción son principalmente frutales. Dato que corrobora que el cultivo de palto o naranjos ocupan una mayor cantidad de terrenos en la comuna (ver figura n°7) y son susceptiblemente a verse afectado por una crecida del rio Cachapoal.

Tabla n°1: Porcentaje de la superficie destinada a producción, Comuna de Pichidegua

	Superficie total	Porcentaje
Pichidegua	**1743,7 (Ha)**	100
Almendro	2,40	0%
Ciruelo europeo (deshidratado)	0,00	0%
Ciruelo japonés	79,40	5%
Duraznero consumo fresco	76,90	4%
Duraznero tipo conservero	79,10	5%
Huerto casero	26,10	1%
Kiwi	101,90	6%
Limonero	138,80	8%
Naranjo	498,50	29%
Nectarino (pelados)	69,10	4%
Nogal	0,70	0%
Olivo	2,30	0%
Otros frutales	75,10	4%
Palto	349,00	20%
Peral europeo	12,10	1%
Uva de mesa	232,30	13%



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del censo Agropecuario 2007

De acuerdo a lo anterior, en la comuna de Pichidegua, el 59% de los productores de estos cultivos hoy tienen alrededor entre 1 a 5 ha, correspondiendo a los sectores de Larmahue y La Ratonera. Por otro lado, el sector de Patagua Orilla tendrá productores donde sus predios tendrán 12 ha, determinando condiciones de cultivos diferentes en los otros sectores.

El riesgo por inundación en los sectores en donde se desarrolla la agricultura representa una amenaza frente al uso del agua y a los predios localizados en sus cercanías. La desviación del caudal o el ocupar zonas para la actividad agrícola que corresponden a la ribera el rio, son un

riesgo ante una inundación, dado los comportamientos de estiajes que se presentan en algunos años. Ante los antecedentes expuestos, se permite inferir que la agricultura es uno de los pilares económicos de la comuna, pero también es una de las actividades que se localiza con mayor presencia en las riberas, presentando un riesgo frente a una inundación (ver figura n°10)

Figura n°10: Actividad extractiva en la ribera del rio Cachapoal, Pichidegua.

Fuente: Registro del autor, 17 de abril del 2016

Nota:
1) La Imagen de la izquierda corresponde a la extracción de áridos en la ribera sur del rio Cachapoal, sector Patagua Orilla.
2) La imagen de la derecha se observa el cultivo agrícola y asentamientos humanos en predios de 1 ha. Sector La Ratonera.

1.2.3 Antecedentes crecidas e inundaciones

En relación con los antecedentes de inundación en el área de estudio, se ha recopilado a través de la prensa episodios de inundaciones de carácter general que han afectado a la comuna y a la región, tal y como se presenta en la siguiente tabla

Tabla n°2: Antecedentes recientes de inundaciones

Fecha de noticia de evento	Titulo	Información	Publicación
Sábado 27 de agosto del 2005	Temporal: Desbordes de canales afecta a la zona centro sur de Chile	En relación con el área de estudio, se afirma que el temporal producido en la zona centro-sur ha llevado a desbordar canales en la zona de la sexta región. La oficina nacional de la ONEMI ha decide mantener la alerta amarilla en diez regiones por los materiales	Radio Cooperativa

		que han traídos los ríos a raíz de su aumento.	
Viernes 23 de mayo del 2008	Temporal provoca anegamiento en la división El Teniente.	Informa que en relación a las lluvias y los vientos que se han producido en la zona centro – sur, se han producido anegamientos e inundaciones que han afectado a los caminos y al desplazamiento de los trabajadores a sus hogares, por lo que se puso en resguardo a los trabajadores frente al temporal.	CODELCO
Sábado 24 de mayo del 2008	Más de mil cuatrocientos afectados tras paso de temporal de viento y lluvia.	La información publicada por el medio, ratifica el desplome del puente Coinco, el cual une Doñihue con Coinco, provocado por las crecidas del rio Cachapoal.	El Rancagüino
Martes 8 de septiembre del 2009	Temporal de lluvia y crecida de caudal en los ríos durante el fin de semana.	El agua caída en la cordillera se produjo con una isoterma superior a los tres mil metros, provocando un aumento de los ríos de la región, donde el rio Cachapoal registró a las 5:00 hrs. 45 metros cúbicos	. El Cachapoal
Miércoles 5 de mayo del 2010	ONEMI declara alerta amarilla en la Región de O'Higgins por fuertes lluvias.	Se informa a la comunidad aledaña a las riberas de los ríos principales, el cierre de las bocatomas por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), medida adoptada por el comité de emergencia de la Región para hacer frente al mal tiempo.	El Rancagüino
Jueves 14 de julio del 2011.	Se decreta alerta temprana por frente de mal tiempo	El Centro de Alertas Tempranas de la ONEMI, decretó la alerta que rige desde la región de Coquimbo hasta Biobío, debido a un sistema frontal que dejaría entre 30 y 59 milímetros en el territorio central.	El Tipógrafo

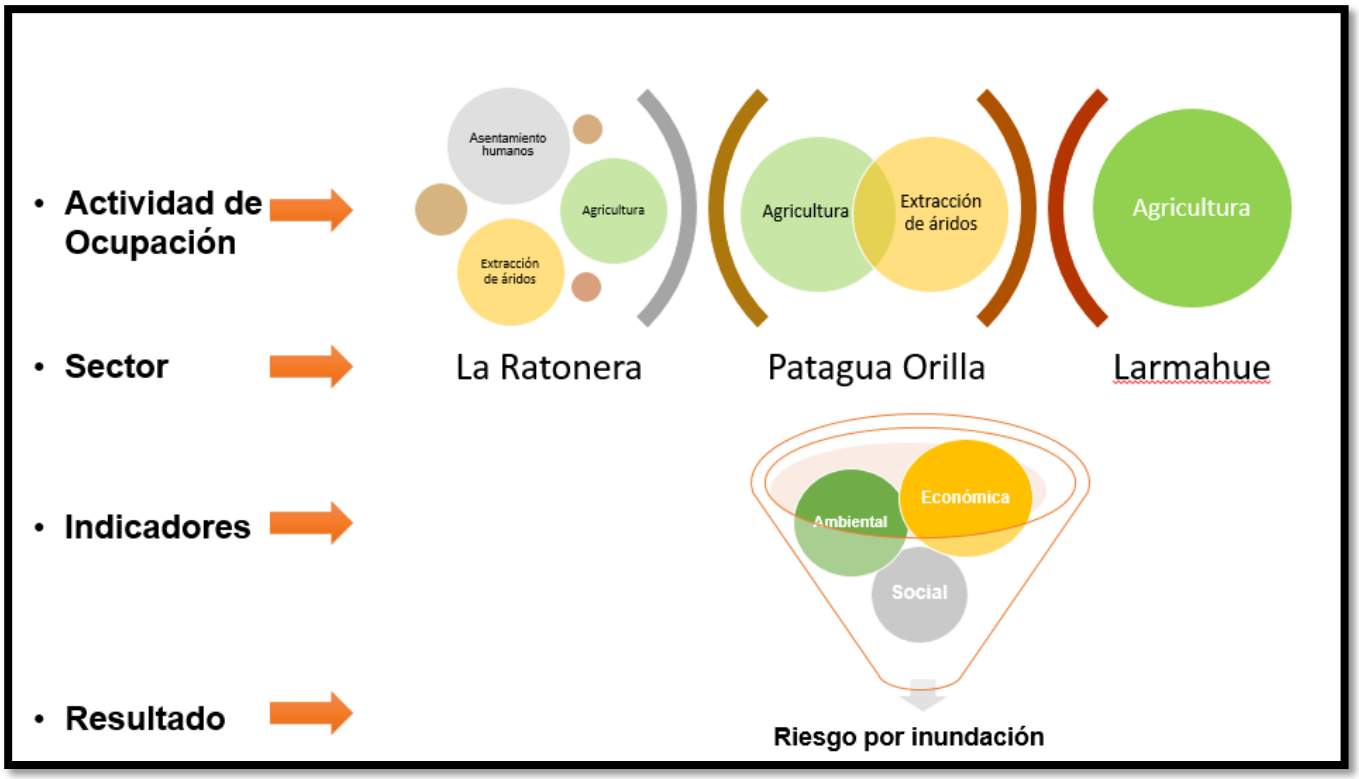
Fuente: Elaboración propia

Se puede detallar que las crecidas han tenido un impacto constante sobre las riberas del Cachapoal, pero a su vez ha demostrado la carencia de política públicas sobre el ordenamiento territorial, en donde se consideran factores cómo la historia y geografía de inundaciones pasadas que sirvan como mecanismos de defensas para mejores condiciones de vida para la ciudadanía.

1.3. Justificación del Problema

Hoy en día la ocupación de las riberas del rio Cachapoal frente a las actividades que se desarrollan, posibilitan un escenario de riesgo frente a una eventual crecida. Las actividades antrópicas que se concentran aledañas a su cauce serán las más afectadas, ya que los terrenos en donde esas se realizan utilizan el límite de un estiaje más bajo a lo que sería el aumento del caudal.

Figura n°11: Riesgo por inundación y sus actividades de ocupación



Fuente: Elaboración propia

Es fundamental conocer el potencial hídrico y el comportamiento del caudal a través del tiempo, para la evaluación de amenazas en la ribera y su influencia en las actividades antrópicas del sector. Asimismo, el evaluar las intervenciones realizadas para contener el cauce o el desvío propuesto por los canalistas, permite en la actualidad aportar antecedentes sobre eventuales crecidas que pudiesen tener consecuencias en las obras construidas.

La recopilación de antecedentes de la zona en estudio referidos al sistema natural y sistema humano, permitirá establecer los elementos que servirán de base para el análisis de los diversos aspectos sujetos a esta investigación dentro del contexto disciplinar. El conocer los sectores donde se observa una mayor influencia de riesgo frente a una crecida del rio, posibilita el reconocer los factores físicos, ambientales y sociales que inciden en una inundación en relación a este contexto. El análisis de datos, permite evaluar y comparar de qué manera las actividades han modificado la morfométria del rio y como esto se convierte en un factor de

riesgo para las actividades que se desarrollan en la ribera del rio Cachapoal. Permite explicar, la evolución de ellas sobre la ribera, otorgando el conocimiento histórico de cómo las prácticas se han ido desarrollando en relación con el riesgo por inundación en sus riberas (ver figura nº10).

Figura 13: Esquema central del riesgo por inundación

Fuente: Elaboración propia.

El riesgo asociado a una inundación y su impacto en las actividades antrópicas, considerará los elementos físicos, sociales y ambientales, donde se evaluarán en cada uno de los tres sectores. Por un lado, dada la exposición que hoy presentan las actividades en estas zonas, se utilizará desde el quehacer del geógrafo, el análisis de la relación de variables que permitirán conocer el riesgo de inundación presente en cada uno de estos tres lugares.

1.4. Pregunta de Investigación

¿Cuáles son los riesgos que podría imponer una inundación del rio Cachapoal en las actividades antrópicas ubicadas en tres sectores ribereños de la comuna de Pichidegua?

1.5. Objetivos Generales y Específicos.

1.5.1. Objetivo General

Determinar, en base a indicadores físicos, ambientales y sociales, la exposición al riesgo de inundación vinculada a las actividades antrópicas localizadas en tres sectores ribereños del rio Cachapoal.

1.5.2 Objetivos Específicos

1) Conocer el comportamiento temporal del rio Cachapoal en zonas correspondiente a la comuna de Pichidegua, entre el periodo 1990 – 2010, en función de sus crecidas y máximos-estiaje.

2) Determinar transformaciones que se han generado en la ribera del rio Cachapoal producto de las actividades antrópicas y ambientales.

3) Analizar el riesgo a que están expuestas las actividades antrópicas con las crecidas del rio Cachapoal.

Marco Conceptual

2.0 Marco Conceptual

En este capítulo abordaremos el concepto más relevante de la investigación y cómo este relaciona a la problemática: el riesgo por inundación.

Primeramente se contextualizará el concepto de riesgo como tal, para luego definirlo desde el campo institucional (a nivel internacional y nacional), pasando por diversos autores de la disciplina y cómo este se relaciona con eventuales crecidas y su relación con las actividades antrópicas.

2.1 Contextualización Histórica

Las sociedades en desarrollo están expuestas a fenómenos naturales que posibilitan a un mayor riesgo natural debido a una ocupación indebida de los recursos en zonas de alto impacto, donde en la actualidad no se tiene memoria que hace 5 décadas por tal lugar se desplazaba cauces de gran tamaño. Por esta razón, el análisis del riesgo resulta clave para promover el conocimiento territorial sobre la utilización de recursos naturales, ya que en su gran mayoría se establecen relaciones de dependencia que alteran el medio generando la aparición de desastres.

Por otro lado, la documentación a lo largo de las últimas cinco décadas, nos permite conocer cómo el riesgo natural se ha ido estudiando, desde el aporte académico al institucional con el fin de promover un mayor acercamiento y conocimiento a las características de nuestro territorio.

En el ámbito internacional, el concepto de riesgo ha sido abiertamente reconocido por organismos gubernamentales. Este se contempla frente al ordenamiento territorial de tipo orientativo frente a la legislación propuesta por las naciones. Las Naciones Unidas a través de sus oficinas de Socorro en Caso de Desastres (UNDRO), Asuntos Humanitarios (DHA), en conjunto con organismos regionales a través de la CEPAL y el Banco Mundial han entregado los lineamientos de cómo debe ser entendido el riesgo natural frente a desastres.

La Oficina de las Naciones Unidas creó las Directrices para la Prevención de Desastres, lo que supone el primer acercamiento formal frente a aquellos fenómenos naturales de gran intensidad. Dichas directrices, otorgaban sugerencias y orientaciones para la ubicación de viviendas en territorios con riesgos (Olcina, 2002), siendo éste el primer acercamiento institucional e internacional respecto a la temática del riesgo natural que repercute en la población a causa de desastres.

A su vez en 1985 se estableció las Directrices Ambientales para la Planificación y Gestión de Asentamientos, elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, las cuales propusieron y sugirieron el manejo adecuado para el uso de suelo, en naciones donde el ordenamiento territorial no consideraba la prevención frente a fenómenos naturales. A partir de ese momento las orientaciones respecto de esta temática adquieren un valor diferente, se asume la falta de una legislación real en temáticas de suelos y frente a ello, se propicia que las naciones en estás circunstancias, deben velar por la prevención de la población a partir de la creación y aplicación de sus propias políticas, en coordinación con organismos competentes del Estado.

Por otro lado en 1992 en Rio de Janeiro, en la II Conferencia del Medio Ambiente y Desarrollo Humano, también conocida como Agenda 21, las naciones participantes se comprometieron mediante la firma de un documento a la prevención, la planificación y el correcto uso territorial de los recursos naturales de acuerdo a las propuestas que surgieron de este encuentro (Olcina, 2002). La importancia de este acuerdo radicó en la apertura y generación de políticas públicas orientadas al correcto uso y manejo de recursos naturales, frente al riesgo latente.

En 1994, en Yokohama se realizó la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres Naturales, ocasión en que se orientó a los Estados que participaron en la Conferencia, a implementar programas de prevención y evaluación de riesgo (Olcina, 2002). Por primera vez, no sólo se buscan estrategias en la prevención, sino que también se incentiva la realización de evaluaciones del riesgo como política del ordenamiento territorial.

En el año 2001 se aprobó la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres, implementada por las Naciones Unidas a través del Centro de Asentamientos Humanos, que buscaba la implicancia entre el ordenamiento de la tierra y la gestión urbana, como también su incidencia en la planificación sobre el uso de los suelos, adquiriendo relevancia la

prevención dentro de la ciudad, anticipando cualquier escenario que aconteciera en la vida urbana frente a un fenómeno natural de alto riesgo.

En Japón, el año 2005, se realizó la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres, cobrando fuerza e importancia el principio de crear comunidades, empoderadas en el conocimiento de estrategias para reducir los efectos de los desastres naturales. Se buscaba que estás comunidades se sustentaran a través de un desarrollo sostenible que permitiera el descenso de daños materiales y humanos (Bonachea, 2006).

Dentro del contexto Nacional, es necesario entender que el riesgo natural se establece a partir de instituciones públicas dedicadas a la prevención de desastres naturales, como lo es la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) y diversas instituciones académicas como la Pontificia Universidad Católica de Chile entre otras, que han impulsado investigaciones relacionadas al riesgo natural.

En Chile, el riesgo se entiende como la exposición de una persona u elemento a una situación de peligro y amenaza (ONEMI, 1997), en que se establece que el peligro es el daño producto del riesgo que se genere frente a una situación determinada. Lo anterior no se contrapone con los principios enunciados en las conferencias internacionales, que han buscado como elemento principal las estrategias y estudio en la prevención del ordenamiento territorial. A su vez el mundo académico define el riesgo, como un elemento que responde a un proceso definido por la vulnerabilidad. Arenas et al. señalan que el riesgo es “la relación entre factores de amenaza y vulnerabilidad, términos interdependientes y directamente proporcionales” (2010:4). Es por ello que el concepto de riesgo en su construcción, presenta diferentes directrices desde el ámbito donde se define. El mundo académico lo reconoce como un elemento con múltiples variables, las que son proporcionales frente al impacto recibido, pero desde al ámbito institucional, este queda sujeto a la exposición que se da en una situación determinada.

Los de estudios de riesgo natural el último tiempo, han permitido comprender con mayor profundidad cómo este se encuentra influenciado en múltiples ocasiones por las condiciones de los lugares, dada las relaciones entre el ser humano y el medio natural. Aquello, permite entender que el riesgo no es un elemento dado en un sistema específico, sino que representa el resultado de múltiples variables que propician un escenario en específico. Ante ello,

Hernández & Vieyra definen el concepto como “el riesgo que se encuentra intrínsecamente ligado a las actividades humanas, determinado por un agente perturbador (amenaza) que ocasiona algún tipo de daño a sistema afectable” (2010, 46).

Ante lo expuesto, se hace necesario analizar la importancia de cómo el riesgo representa una construcción que está dada por las actividades humanas. Esto también posibilita que hoy en día los principales agentes influyentes en la aparición de esto, seamos nosotros, a partir de la ocupación indebida de lugares o recursos, lo que resulta una amenaza frente al sistema afectado. Como resultado de lo anterior, la dinámica actual del mundo ha posibilitado la aparición de sociedades en diferentes partes del mundo, influenciado por la globalización, localizando asentamientos humanos en lugares donde no existe una planificación acorde a la expansión del desarrollo sobre los territorios.

Tales características propician la ocupación de recursos naturales de manera irregular y la localización de asentamientos humanos, lo que influye en la aparición del riesgo dada las condiciones desfavorables para el desarrollo de estas prácticas. Del mismo modo es correcto señalar que el riesgo es un fenómeno directamente acrecentado por la globalización que repercute en una indefinición territorial de las sociedades y de deslocalización en donde hay fenómenos naturales (Gómez et al., 2008).

Si bien los territorios sin una regulación del riesgo son los que hoy en día presentan una mayor probabilidad de enfrentar un desastre, también son estos, los que han carecido de regulación e instrumentos para prevenir daños entre las personas que allí habitan. De acuerdo a lo anterior, Capel define riesgo “con origen de procesos naturales son una constante relación entre el hombre y el medio” (2010: 18). Considerando este postulado, se puede establecer que el riesgo está presente en el territorio y se da en una relación entre el ser humano y medio.

Las sociedades en la búsqueda de recursos naturales para su desarrollo social, debe considerar los costos que se requieren para satisfacer dichas necesidades. Por tanto, la relación entre ser humano y medio se encontrará tensionada debido a los distintos escenarios que se pueden presentar en una determinada situación. En este sentido, García Tornel define y profundiza esta tensión en el concepto del riesgo, como:

> “riesgo es la situación concreta en el tiempo de un determinado grupo humano frente a las condiciones de su medio, en cuanto este grupo es capaz de aprovecharlas para su supervivencia, o incapaz de dominarlas a partir de determinados umbrales de variación de estas condiciones” (1984: s-i)

Por consiguiente, será el grupo humano, el que presenta las mejores condiciones para enfrentar el riesgo, producto del conocimiento de su espacio y tiempo por la ocupación territorial que realizan. Así, la memoria de los habitantes será el principal elemento de resilencia que amortiguará el riesgo a que están expuestos, producto de su conocimiento de la zona y de su propia capacidad de respuesta frente a escenario de catástrofes.

Así, el riesgo se convierte en un proceso de sinergia entre los elementos naturales y la presencia humana (García Tornel, 2001), en donde la experiencia y el empoderamiento de la gente, permitirá dar respuesta a los diversos escenarios o circunstancias que se presentan en nuestro territorio. Sin duda, la capacidad de respuesta de la población, estará dada por las herramientas y conocimientos que la Institución Pública pueda entregar para hacer frente a los fenómenos naturales, tanto para anticiparse a una situación de riesgo o localizar nuevos zonas para su desarrollo.

Otros autores han reconocido una concepción integradora del concepto, donde el riesgo no solo determina un daño, sino que afecta a diversos grupos sociales con costumbres, experiencias y prácticas diversas. Macías (1994) establece que los “desastres naturales provocados por factores naturales, tienen una relación entre la sociedad y naturaleza, afirmando que un desastre condiciona las estructuras sociales” (citado por Rodriguez, et al., 2013: 403).

En este sentido, es necesario establecer que el riesgo por desastre natural, no provocará daños de manera homogénea entre todos los habitantes que se localicen en áreas no aptas para realizar actividades, sino que provocará daños en aquellos que no vinculen el conocimiento de su territorio frente a las historias de sus espacios. En este sentido, podemos señalar que existe una amplia gama de definiciones e interpretaciones sobre el concepto de riesgo, en base a los distintos estudios y publicaciones que se conocen, pero para los fines de la presente investigación, se considerará la definición propuesta de García – Tornel que establece que mientras la población se localice en zonas de peligro se generará una tensión,

debido a que se contrapone la relación entre el ser humano y la naturaleza, es decir, no se produce la sinergia que se requiere en este caso

2.2 Riesgo por inundación

Los desastres naturales han significado un riesgo para la población, el que ha estado influenciado por las relaciones entre el ser humano y el medio natural en zonas de peligro. De acuerdo a esto debemos mencionar el riesgo de inundación frente a las actividades antrópicas en determinados lugares ante eventuales crecidas.

Los costos asociados a una crecida e inundación, resultan claves para entender la nula regulación frentes a estas situaciones. Debido a su probabilidad de ocurrencia en zonas aledañas, estas se encuentran sujetas a como lo describen Escuder et al., quienes consideran la inundación como "la combinación de probabilidad de ocurrencia de inundaciones con las consecuencias asociadas a dicha situación" (2010: 5).

*Riesgo de Inundación = Probabilidad * Consecuencias*

A través de lo descrito por Gouldby (2005), podemos reconocer que las consecuencias serán espaciales, en relación con la inundación, donde se contemplarán las características físicas del terreno y como también los daños producidos por inundaciones pasadas. En cambio, al la probabilidad se refiere al espectro general de las inundaciones, ocurridas en el pasado y en su período de retorno en el futuro. Estos elementos en el análisis son de importancia, dado que es de la forma a partir de los cuales se puede abordar esta investigación en los tres sectores de la comuna de Pichidegua.

Si bien abordar las consecuencias hoy en día no está dentro de la discusión del riesgo natural, sino el cómo las condiciones desbordantes de los cauces fluviales están presentes en los diversos territorios, es un peligro el aumento de zonas de afectación producto de localización espontanea por la población. De ahí que se hace necesaria la realización de un análisis para conocer en qué medida se puede abordar el riesgo por inundación. Por un lado, no hay que dejar de lado cómo el daño ambiental resulta incidente, como lo expone Yang "el daño ambiental que provocan las inundaciones no debe ser ignorado, especialmente en los países

que están en proceso de urbanización y que tienen grandes áreas de desarrollo de las obras de construcción" (2011: 1374)[1].

Aquel daño inducido demuestra la fragilidad a que se exponen las superficies que están localizadas cercanas a una ribera y que hoy en día llevan a un alto peligro debido a una inundación, tanto por la expansión urbana como de la localización de asentamientos en zonas de altas consecuencias producto de un desborde. Ante esto, una de las principales causas que producen desbordes las inundaciones, son los elementos orográficos del terreno, ya que incidirán en los daños frente a la manifestación de este fenómeno. Producto de aquello, Diez señala que "consiste en un aumento lento y gradual del caudal es las corrientes, que supera la capacidad de evacuación del cauce, inundando la llanura colindante, efecto que puede durar por varios días" (2014: 17).

El conocimiento acabado frente a una crecida no sólo provoca daños en los habitantes, sino que también la superficie de inundación. A través de lo ya mencionado, la expansión de los cuerpos fluviales no solo determinará un costo, sino que observará un daño territorial debido a procesos internos que no fueron correctamente regulados en la planificación.

Diversas publicaciones han señalado que las inundaciones han sido uno de los fenómenos naturales con más recurrencia y sus consecuencias no sólo afectan a la vida de las personas, sino también a la propiedad (Balica, 2012). Los territorios no siempre responderán de manera homogénea frente a una inundación (Kubai, 2009). Elementos ambientales, sociales o económicos deben ser evaluados, ya que estos a través de las diferentes prácticas que se realizan en las zonas aledañas a los desbordes, se convierten en los principales escenarios que resultan con daños a través de estos fenómenos naturales (Alexander, 2000).

La importancia de evaluar los riesgos sostenidos por una inundación y cómo estos se analizarán en nuestra investigación, proponen que no sean a través del costo total de pérdida monetaria. Haque & Etkin, explican que el "análisis de riesgo de inundación en común y por

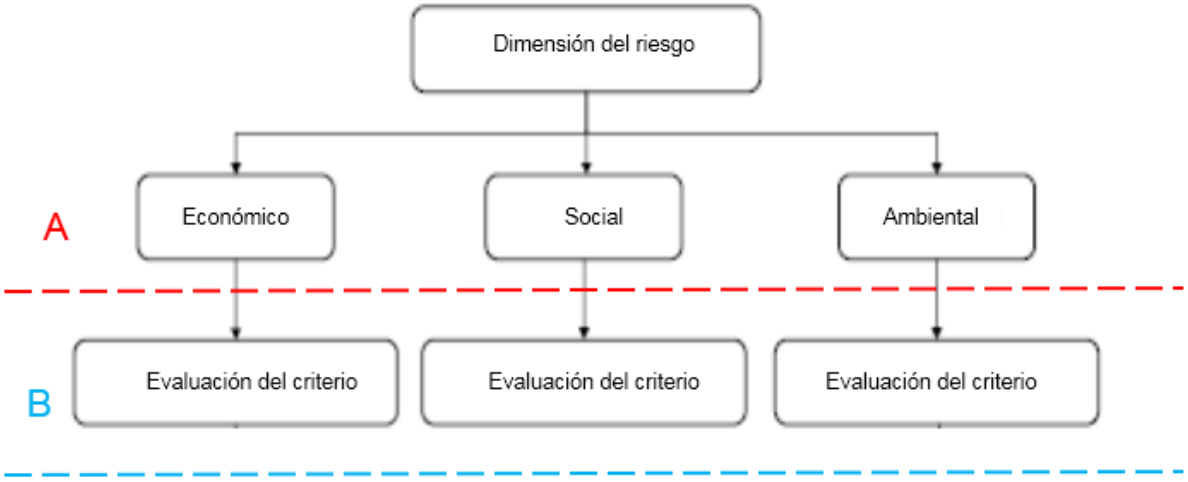
[1] Traducción "environmental damage caused by flood events should not be ignored, especially in countries that are urbanizing and have large areas of development of construction" (Yang, 2011:1374)

lo general no incorporan impactos sociales y ecológicos, sino exclusivamente evaluar económica daños y perjuicios, que se pueden medir en términos monetarios" (2007: 2)[2].

De acuerdo a lo expuesto, incorporar los impactos sociales y ecológicos, otorga que el análisis de inundación a través de sus consecuencias permita una integración de variables que contemple los diferentes escenarios a que estén expuestos, proponiendo y otorgando datos que contribuyan de insumo para el análisis territorial.

En las publicaciones se consideran tres indicadores: económico, social y ambiental, los que desarrollan las dimensiones del riesgo que son ocupados para el análisis de la inundación.

Figura n°14: Esquema del análisis d del riesgo por inundación



Fuente: Kubai et. al., 2009: 1884

Nota:

1) La figura corresponde a la estructura de evaluación del riesgo
2) A: En una primera etapa, se definen los elementos que van conformar cada actividad (Económico, Social y Ambiental)
3) B: En segundo lugar se evalúa cada elemento a través de sus criterios y si cumple lo propuesto en la investigación.

[2] Traducción de analyses do not usually incorporate social and ecological impacts but exclusively assess economic damages, which can be measured in monetary terms (Haque et. al., 2007: 2)

Considerar los impactos económicos, sociales y ambientales en el ámbito territorial, tensionan las actividades realizadas por el ser humano a través de la construcción y la expansión urbana con los riesgos asociados debido a su exposición, provocando que sean más vulnerables a fenómenos naturales. Lo anterior permite que exista una tensa dicotomía entre el ser humano y el medio natural, porque existe un costo económico alto asociado a las crecidas, dado que tales zonas sean menos vulnerables, en contraposición de áreas en donde no se existe localización de población, pero que no resultan expuestas al riesgo. A su vez, el riesgo por inundación ha estado presente a lo largo de los años y es considerado uno de los eventos naturales que cada vez más afecta de manera contundente a la población, provocando incomunicaciones, pérdidas humanas y económicas (Ramsar, 2008).

Aquello permite reevaluar desde qué ámbito tomamos en cuenta el riesgo frente a las crecidas, lo cual, no solo provocará costos materiales y humanos, sino que reflejará cómo la crecida al ser un fenómeno de carácter natural, considerará una inundación a elementos de carácter antrópico. Tal característica es la que se asocia al cambio territorial. Mora (2008) afirma que existe un riesgo al transformar los territorios, lo cual va incidir en las inundaciones, producto del exceso de lluvia que va influenciar en el desbordamiento del cauce (citado por Vergara et al., 2011: 2).

Sí bien la influencia de las actividades antrópicas será determinante frente al riesgo por inundación, porque los territorios sin un conocimiento previo por parte de agentes que tomen una decisión, se convertirán en una amenaza ante esta exposición. Analizar los territorios, no sólo ha posibilitado un mayor conocimiento frente al riesgo natural e inundación, sino que nos ha permitido acercarnos a conocer cómo estos espacios se han ido transformando y como han determinado tales escenarios frente a las crecidas de los ríos.

La carencia de una legislación que regule los espacios en donde se han desarrollado procesos de urbanización en zonas no aptas para el progreso de diversas actividades, ha significado que exista un peligro continuo ante la ocurrencia de una inundación.

Frente a esta exposición las características de las zonas de mayor probabilidad de consecuencias, representan un aumento de la población en zonas inundables, repercutiendo en efectos negativos para la actividad (Sandoval et al., 2003).

Dada la importancia de lo anterior la inundación que afecta a un territorio, provocará daños de índole económica, y perturbará a su vez lo humano o ambiental como lo hemos dicho anteriormente impactando un sistema que concierne a la población que habita en esas zonas, al desarrollo local, a los terrenos agrícolas y/o equipamiento. Por un lado, la ubicación de los habitantes en las riberas de los ríos sin las medidas básicas de protección, posibilita la toma de decisiones que muchas veces está errada desde la escala local a la regional, en que se otorgan elementos básicos para la seguridad, permitiendo que la ciudadanía esté consciente de su exposición a una inundación. Tal característica, la expone Chowdhury (2003):

> "menciona el hecho de que los riesgos son a veces tolerados, ya que también pueden suponer beneficios para el tomador de riesgo. Se investiga la actitud de las personas hacia un nivel tolerable de riesgo de inundación y la voluntad de aceptar los cambios ambientales" (citado por Raaijmaker, 2008: 324)[3]

Si bien para contribuir en la toma de decisiones para que los habitantes estén conscientes del riesgo frente a una inundación, es necesario realizar todos aquellos análisis que permitan proponer recomendaciones y visualizar los escenarios para futuras modificaciones o intervenciones a su espacio, respetando elementos básicos de localización y prevención.

Dado lo anterior, los diferentes escenarios que se encuentran expuestos en la ribera y en los tres sectores, aquí se ubican los asentamientos humanos de escasos recursos, y que también son parte de áreas donde existe una alta densidad de personas, las que desarrollan actividades económicas en las proximidades del rio que permiten sub-existir.

Frente a los escenarios complejos al que están expuestos los habitantes y las actividades productivas ante a una crecida, la UNESCO (1974) define tal escenario de inundación cómo aquel evento de precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica que provoca un incremento en el nivel del agua de ríos o mar, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay, afectando con daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura (citado por Salas et al, 2004: 6).

[3]Traducción Chowdhury (2003) mentions the fact that risks are sometimes tolerated, because they may also entail benefits for the risk taker. He investigates attitude of individuals towards a tolerable level of flood risk and willingness to accept environmental changes. In this article risk perceptions are based on risk characteristics" (Raaijmaker, 2008: 324)

La ocupación y daños que se pueden visualizar no se remite exclusivamente a una tarea que busca conocer a las actividades antrópicas, promueve el análisis de los diversos procesos que se dan en los alrededores de estos cuerpos fluviales, permitiendo el análisis a factores físicos, ambientales y sociales, otorgando mejores elementos para el desarrollo de herramientas en la búsqueda de prevención. De esta forma se permite un conocimiento acabado del territorio tanto como de conocer los factores incidentes en la zona, lo cual es un elemento que resulta determinante frente a una inundación.

Por consiguiente, existe un riesgo alto frente a cualquier actividad que se realice en zonas inundables, ya que son estas las que han ido cambiado las características de la superficie, induciendo en un mayor daño a la población. A su vez las intensas lluvias en el área, provocan que cauces recuperen su funcionalidad y representen un alto riesgo, por zonas que han sido ocupada por lo humanos sin contar esta dinámica altamente peligrosa (Cantos, 2004).

Babinger ha definido el riesgo a inundaciones, y sus consecuencias

> "las inundaciones afectan principalmente al litoral, donde desembocan los cauces que muchas urbanizaciones han ocupado, transformando el suelo sobre el cual discurre una escorrentía. Al no tener en cuenta el funcionamiento natural de la precipitación, de los ríos y de las avenidas resultantes, y al modificar los condicionantes físicos (…) muchas áreas han aumento el riesgo a verse afectado" (2010: 3).

En este sentido, abordar los riesgos por inundación, en las transformaciones de la llanura producto del desarrollo de actividades económicas y la ocupación humana, origina como consecuencia directa costos asociados a los daños en los diferentes sectores de la llanura. Esto significa que la ocupación indebida de las riberas inundables de los ríos, produce alteraciones que no solo afectaran al ser humano sino a un conjunto de elementos que forman la zona y que se transformará en un peligro de no existir una acción preventiva en beneficio de todos.

Capítulo 3

3.0 Marco Metodológico

La investigación está enmarcada dentro del enfoque metodológico de tipo cuantitativo, ya que esta es definida como aquella que “plantea un problema de estudio delimitado y concreto. Sus preguntas de investigación versan sobre cuestiones específicas” (Sampieri et al., 2006: 5). Aspectos centrales que buscan responder de qué manera el riesgo a inundación en la comuna de Pichidegua afecta a las actividades antrópicas, donde se propone un análisis que busca determinar en base a indicadores económicos, sociales y ambientales la exposición a este fenómeno. Es decir, “el investigador cuantitativo debe ser lo más objetivo posible. Los fenómenos que se observan no deben ser afectados de ninguna forma por el investigador” (Sampieri et al., 2006: 6).

De esta forma, se espera que a través de la producción de datos e interpretación analítica, se busque observar cómo la vulnerabilidad frente a la inundación resulta una amenaza para la población y actividades localizadas en la ribera sur de estos tres sectores de la comuna de Pichidegua: Patagua Orilla, La Ratonera y Larmahue.

3.1 Tipo de Investigación

La investigación realizada es de tipo exploratorio, ya que el tema sobre la exposición a riesgo de inundación y su afectación a actividades antrópicas ha sido poco abordado, por ende la bibliográfica expuesta es escasa en este tema en nuestro país.

A su vez, vamos a entender el estudio exploratorio, cómo todos aquellos estudio que “buscan examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio” (Hernández et al., 1998: 58).

La investigación propone la revisión de publicaciones de revistas, textos y artículos sobre fenómenos de carácter general que proponen al investigador la formulación de prioridades para sugerir postulados o afirmaciones en la toma de decisión en el desarrollo de un mapa de

exposición frente inundación. Tal postulado otorga un análisis de los fenómenos físico natural y social, para una toma de decisión y contextualizarlos al desarrollo del fenómeno en la elaboración final de nuestro mapa.

El tipo de diseño de investigación que se utilizará es no experimental, ya que en estos estudios, "se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos" (Hernández, et al., 1998: 184).

3.2 Primera Fase

El universo a estudiar está relacionado a los indicadores ambientales, económicos y sociales que aportan al análisis de Euclean Distance la proximidad frente a una inundación en los tres sectores de estudios. Por otro lado, en cuanto a la muestra, para esta investigación corresponde usar la de tipo representatividad aleatorio simple o con reposición, ya que esta trata de incluir a todos los elementos puedan pertenecer al universo total. Ante esto, es necesario afirmar que los elementos incluidos en la ponderación espacial de los criterios, permite que se incluya el mayor número posible de elementos para representar de carácter igual los objetos naturales o humanos que incidirán en la exposición a inundación.

Específicamente la muestra estará constituida por 3 indicadores de evaluación ambiental, económica o social, en donde deberán incluir aptitudes a evaluar espacialmente a través de una ponderación binaria de Z (Ver tabla n°11).

Por un lado, para el análisis propuesto en Arcgis, será necesario ocupar la fórmula del Método de Sumatoria Lineal ponderada, la que Henríquez et. al, (2009) que corresponde a una operación aritmética simple del tipo compensatorio aditivo normalizado (citado por Alvarado et al., 2011).

Figura n°15: Método de Sumatoria Lineal ponderada

$$r_i = \sum_{j=1}^{n} w_j v_{ij}$$

r_i : es la variable ponderada definida como objetivo.
w_j: el peso del criterio o factor.
v_{ij}: es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio o factor j.

Fuente: Obtenido de Alvarado et. al., 2013: 117.

Sí, bien el método de sumatoria lineal ponderada, otorgará la estratificación de variables a través del peso de cada criterio, éste será necesario evaluarlo en una ponderación binaria que fluctuando entre 0 y 1 para cada elemento.

Así, la ponderación binaria de Z fluctuará entre 0 – 1, donde 0 será si la zona no es apta. En cambio, 1 será la zona que es apta ante una crecida y que hoy presenta un riesgo a la inundación. Ante esto, se propone 3 indicadores que estarán construidos por elementos, los que podrán analizar el territorio de manera representativa para la construcción del mapa de Euclean Distance.

Técnicas e instrumentos de producción de información

Para las técnicas e instrumentos de producción de información, se divide en dos fases. Una primera fase tiene relación la búsqueda de información del investigador para los objetivos 1 y 2, el cual someterá a la población a un cuestionario estandarizado, la que otorgará una valorización defina entre bajo, medio y alto (Aigneren, 2008).

Por un lado, la técnica a ocupar en la primera fase será el cuestionario estandarizado, “porque se basa en técnicas más estructurales, ya que busca la medición de variables previamente establecidas” (López, 2006: 5).

En caso distinto, para la segunda fase de la investigación, la técnica e instrumentos a ocupar, será la estandarización de variables participantes en su utilización, la que nos indicará

Sampieri et. al., (2010) “nos indica la dirección y el grado en que un valor individual obtenido se aleja de la media, en una escala de unidades de desviación estándar” (Alvarado, 2013: 115).

Figura n°16: Método de Estandarización de Variables Participantes

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Dónde:

μ: corresponde a la media de los valores de la población;
σ corresponde a la desviación estándar de la población; y
x corresponde al valor que toma la observación.

Fuente: Obtenido de Alvarado et. al., 2013: 115.

Finalmente, las técnicas de un cuestionario estandarizado más el método de estandarización de variables, permite que esta última medir la población que pueda cuantificarse para ser ponderadas espacialmente por el investigador.

Tipo de análisis de información

Respecto al tipo de análisis de información, se ha escogido al descriptivo de datos, el que basa su estudio en la interrelación entre variables. Por un lado, a través de las diferentes técnicas para encontrar la información, se otorgarán datos que deberán ser analizados mediantes a las variables de su origen.

Por esto, este tipo de análisis se describe cómo:

> “que un investigador requiere que sus análisis vaya Más allá de la mera descripción de una variable; la misma complejidad de la realidad de la sociedad exige estudiar (…) como un proceso está asociado a otro o como varia en función de otro” (Algneren et. al., 2008: 154).

A través de las técnicas utilizadas, el investigador propondrá evidenciar si el fenómeno de riesgo a inundación responde a los escenarios actuales de los tres sectores de la comuna de Pichidegua o bien, si es un fenómeno con características naturales.

A partir del tipo de estudio de interrelación entre variables, entendemos que es necesario explicar que el procedimiento de análisis de la información adecuado son las Tablas de contingencia e información de variables y el análisis multicriterio.

En primer lugar, las tablas de contingencia de variables, permitirán “el cálculo porcentual que se requiere” (Algneren et al., 2008: 155). Por otro lado, este procedimiento será esencial en la determinación de la ponderación de los criterios que se visualizarán en el mapa de exposición a inundación

3.3 Segunda fase

En relación con lo expuesto, el análisis de la información resulta clave para determinar el riesgo de inundación a las actividades antrópicas que se localizan en la ribera del rio Cachapoal. Por lo mismo, se establece distintos procedimientos para entender el riesgo de inundación que está asociado a la localización de las actividades en su ribera y de qué manera este ha ido evolucionando hasta en la actualidad.

Primer Objetivo

El conocer el comportamiento que ha tenido el rio Cachapoal entre los años 1985 y 2015, resulta un insumo necesario para la evaluación del riesgo y cómo este ha ido transformando las zonas aledañas al cauce a través de sus constantes crecidas. Los datos con que se trabajarán, responden a la estación de Puente Arqueado de la Dirección General de Aguas, ubicada en la comuna de Pichidegua.

La disponibilidad de la información, provee a la investigación conocer el caudal máximo (m^3/seg) del rio Cachapoal entre los años 1985 – 2015. Asimismo mediante los datos, se establece determinar los períodos claves donde se originaron los altos montos del caudal cómo de estiaje, para entender la dinámica fluvial del rio.

Sí bien, el procedimiento para conocer la información a través de los datos se cumple, este paso otorga el conocimiento previo para conocer las características mínimas del cauce sobre el terreno y cómo fue evolucionando hasta la actualidad.

La delimitación de la superficie aledaña al cauce, a partir del procesamiento en SIG de las imágenes satelitales, determina la ubicación y la altitud de las riberas aledañas al rio Cachapoal. Esta información resulta clave dentro de la elaboración del Euclean Distance sobre riesgo de inundación, porque otorga una delimitación espacial a los factores a evaluar sobre el cauce.

Segundo Objetivo

Las características actuales del sistema fluvial del Cachapoal, permite reconocer las principales actividades que se dan próxima a su cauce, donde se destaca los cultivos y extracción de áridos y el ambiente urbano.

A partir de esto, se elaboran cinco fichas que permitirán al investigador conocer en terreno cuales son los efectos directos de estás tres actividades antrópicas. Por un lado, en el indicador ambiental, el investigador deberá dar cuenta de los diferentes procesos de erosión y acumulación que se dan en estos tres sectores, destacando si hay infraestructura de defensas fluviales afectadas por una crecida. Asimismo, el indicador social responderá a la influencia que tienen las residencias sobre el cauce, si estás se encuentran muy próximas o sí han modificado la morfología de la zona. Y por último, la ficha de indicador económica, responderá sí se ha visto afectada la extracciones de áridos o los cultivos aledaños por una inundación en el pasado.

Estas fichas permiten tener el insumo básico y necesario para la realización y corroboración de capas de información a procesar a través de la herramienta Euclean Distance, ya que los objetivos trazados en nuestra investigación responden a las actividades evaluadas por el investigador.

Los diferentes cambios que ha tenido el suelo en el territorio, han significado que exista una presión de actividades antrópicas sobre las cubiertas vegetales o los recursos hídricos, donde estás se reducen y representan un riesgo para las personas. En esa línea, nuestra investigación propone la evaluación de las diferentes actividades sobre el cauce y cómo estás se ven afectadas frente a una crecida.

La decisión de evaluar el territorio y medirlo, establece los tres objetivos que serán necesarios en la construcción de un modelo de Euclean Distance. El criterio estará conformado por distintos indicadores que serán las variables que lo conformarán, en el que no deberán ser más de diez por decisión espacial de la investigación.

Sí bien, el criterio se conforma como la capacidad de decisión y evaluación por parte del investigador, este se dividirá en dos, por factores y restricciones. En el análisis Euclean Distance, propone que un factor es un criterio o una variable que se conforma de acuerdo a las necesidades espaciales a ser evaluada, la que pose características como integrar información, transformarla y establecer un juicio de valor. Por otro lado, la restricción será la condición de libertad de la variable evaluada (Ruiz et al., 2015), tomando en cuenta aquello, nuestra investigación establecerá a las terrazas del cauce con un criterio sin una aptitud óptima para la evaluación espacial.

Los factores de la investigación serán el indicador ambiental, económico y social, dado las actividades que son evaluadas sobre el cauce. A su vez, estás representará sub criterios que se conformarán cómo factores con una aptitud óptima por medio de los diversos análisis del investigador.

Tabla n°3: Variables y restricciones utilizadas por Euclean Distance

Dimensión del riesgo de inundación	Criterio de evaluación	Sub- criterio	Elemento del riesgo	Unidad espacial (en SIG)	Daños a la unidad	Escala espacial
Económica **Factores:**	*Daño producto de una inundación*	*Por actividad extractiva en el lugar*	*Extracción de áridos*	*Área*	*Binario*	*Local*
		Actividad Agrícola	*Cultivos en parcelas agrícolas*	*Área*	*Binario*	*Local*
			Expansión de cultivos sobre la ribera			
		Residencial	*Hogares*	*Área*	*Binario*	*Local*
Restricción	*Terrazas del cauce*			*Lineal*	*Binario*	*Local*

Social **Factores:**	*Daño producto de una inundación*	*Infraestructura*	*Hogares*	*Área*	*Binario*	*Local*
			Presencia informal en ribera	*Área*	*Binario*	*Local*
Restricción	*Terrazas del cauce*			*Lineal*	*Binario*	*Local*
Ambiental **Factores:**	*Daño al ambiente producido por una inundación*	*Erosión*	*Superficies con incisión*	*Área*	*Binario*	*Local*
			Presencia con cobertura vegetal	*Área*	*Binario*	*Local*
			Zonas de potencial erosión	*Área*	*Binario*	*Local*
		Sedimentación	*Zonas de descargas de material*	*Área*	*Binario*	*Local*
		Modificaciones	*Cauce*	*Área*	*Binario*	*Local*
		Cultivos	*Prácticas de degradación*	*Área*	*Binario*	*Local*
Restricción	*Terrazas del cauce*	*Cultivos*		*Lineal*	*Binario*	*Local*

Adaptado de Kubai et Al., 2009

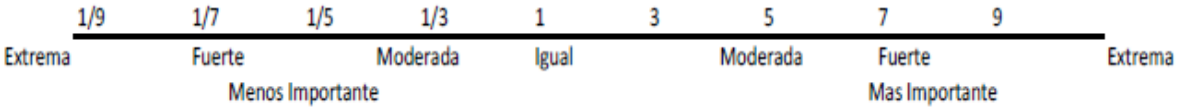
De esta manera, los factores y restricciones han quedado establecidos de acuerdo al objetivo de la investigación que es conocer y evaluar el riesgo de inundación frente a actividades antrópicas.

Los criterios al ser evaluados se les deben asignar una ponderación, la que responde a la importancia del elemento en una situación determinada. Así, estos deberán ser ponderados a través de los factores (Saaty, 1997), otorgando un peso para cada criterio evaluado.

El cálculo de la jerarquía analítica se establece a través de la matriz de comparación de valores, donde cada celda representa el peso otorgado por el evaluador frente a la importancia de cada factor en (una fila) con otro factor (columna) (Ruiz et al., 2015))

La asignación que se realizará, será a través de la siguiente tabla, donde cada criterio deberá ser ponderado a través del siguiente juicio de valor:

Figura n°18: Juicio de valores



Fuente: Obtenido de Prieto et. al., 2008: 23

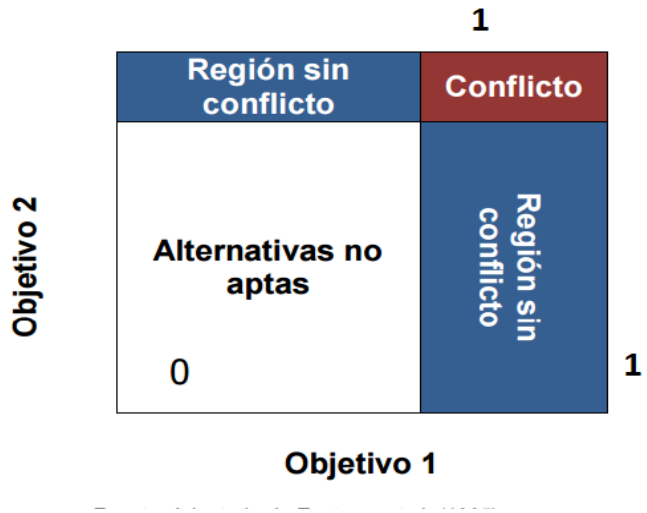
El método de Saaty (1997) al otorgar un peso a nuestro criterio, permite que nuestro modelo tenga una capacidad de acogida a través de las aptitudes, ya que se evaluará cada elemento por medio del contexto espacial de la investigación.

Región de conflictos

Los valores para cada criterio se han estandarizado entre 0 y 1, donde 0 representa una nula aptitud y 1 las condiciones más óptimas para la evaluación espacial.

Las respuestas de las fichas se concentrarán entre sí y no, con el fin que su respuesta sea estandarizada con valores 0 y 1 para el procesamiento de la información. Así, la ponderación binaria de Z fluctuará entre 0 – 1, donde 0 será si la zona no apta de acuerdo a los indicadores evaluados. En cambio, 1 será la zona que presenta las mejores condiciones frente a una crecida y a las actividades realizadas en el sector.

Figura n°19: Espacios de decisión relacionada por las aptitudes de dos objetivos



Fuente: Obtenido de Ruiz et. al., 2015: 4

De esta manera, habrán zonas que cumplan con una aptitud 1, lo que resultará ser una región en conflicto, dado las condiciones óptimas para llevar a cabo las actividades del lugar En cambio, si el modelo establece que hay sectores que están cercano a 0, estos significarán que no se cumplen con las condiciones mininas frente al resguardo dado de una inundación, producto de los acelerados cambios en las zonas.

Tercer Objetivo

El proceso en el Sistema de Información Geográfica, permite para la investigación conocer cuáles son las zonas que presenten una mayor aptitud y menor limitante para las riberas del rio Cachapoal, dado que permite reconocer las zonas no aptas y aptas frente una inundación.

Este procedimiento de análisis de la información, será finalizado por el análisis multicriterio (ver figura n°13), el cual se define por Malczewski (1999) como “una colección de técnicas para el análisis de eventos geográficas para las cuales los resultados del análisis dependen de la disposición espacial de evento” (citado por Yang et. al, 2011:1370)[4]

[4] Traducción de Malczewski (1999) is defined as a collection of techniques for analyzing geographic events for which the results of the analysis depend on the spatial arrangement of events. (Yang et. al, 2011:1370)

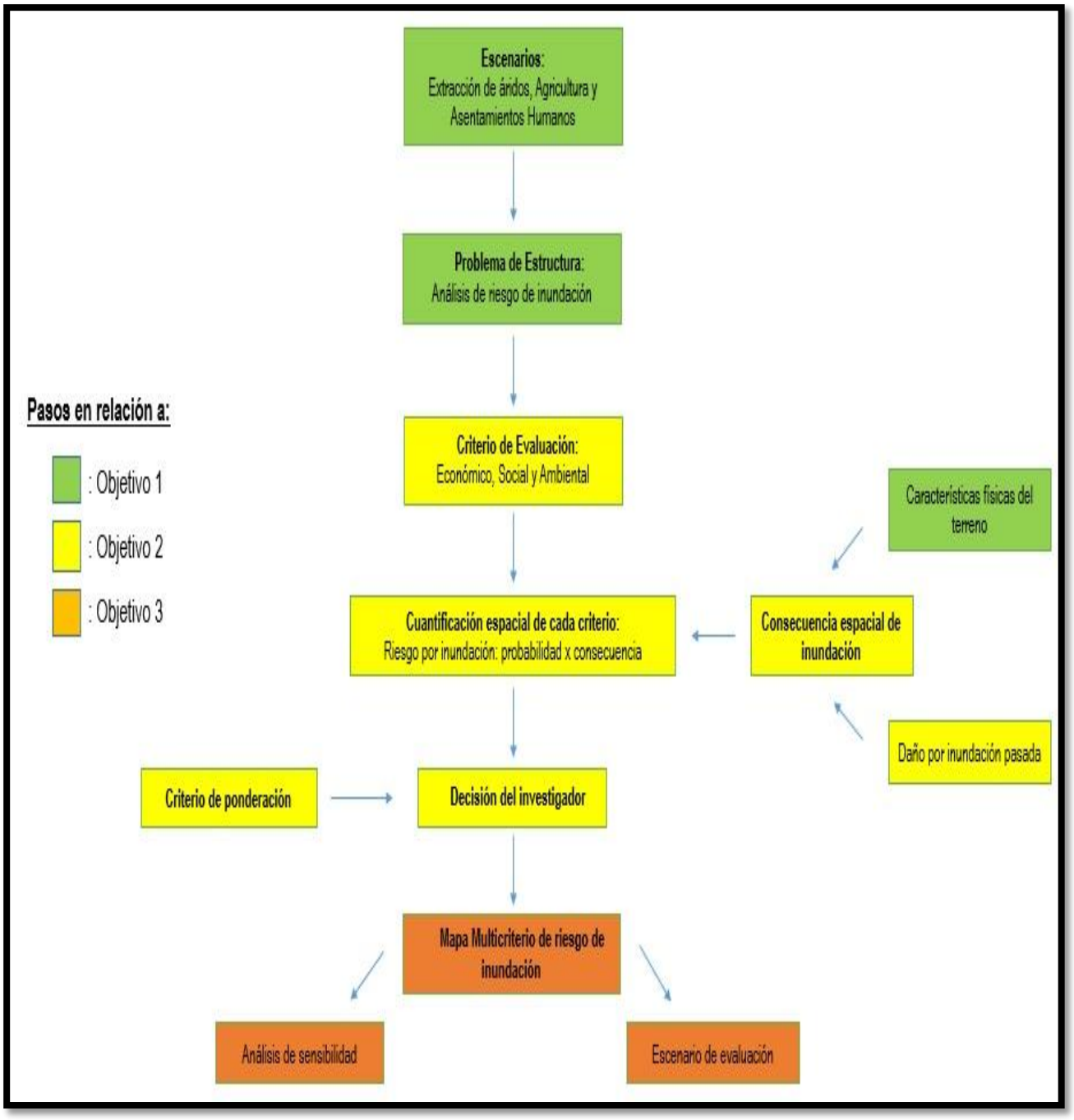
Sí, bien la aplicación del análisis multicriterio es obtenido por el software Arcgis, la decisión que establezca el investigador será importante para el tema de la investigación, debido a los datos y elementos que se prefieren visualizar, tomando en cuenta la tensión espacial que existe entre el ser humano y el medio natural. Ante esto, Kubai et al., exponen:

> "Estos planes deben comunicar eficazmente a diversos grupos destinatarios (también tomadores de decisiones, unidades de respuesta de emergencia y lo público) como medida para reducir el riesgo de inundaciones mediante la integración de diferentes intereses, potenciales y conflictos en el espacio y la tierra utilizar en una ciudad". (2011: 1)[5]

Así, el análisis a realizar debe tener un destinatario el cual pueda sentirse integrado para reducir el riesgo a inundaciones y tener las condiciones mínimas de seguridad.

[5] Traducción de Kubai (2011) What is more, these plans need to be effectively communicated to various target groups (including decision makers, emergency response units and the public) as a measure to reduce flood risk by integrating different interests, potential and conflicts over space and land use in a city (Kubai, et. al., 2011: 1)

Figura n°20: Procedimiento general de Euclean Distance para Riesgo de Inundación



Adaptado a Yang (2011)

En la realización del procedimiento general del mapa multicriterio, es necesario conocer los escenarios sobre los cuales se van a trabajar. La investigación establece los escenarios relacionados con la agricultura, la extracción de áridos y los asentamientos humanos. Aquello

se conformará como el problema estructurante de nuestra problemática, ya que existen actividades sobre la ribera con un peligro constante dada su localización a una inundación.

Por otro lado, el conocer los escenarios que existen permiten observar un problema de localización de activades sobre los diferentes cauces y que no estén regulados. Tal problema permite la creación de diferentes escenarios que son evaluados por los investigadores. Así, se obtendrá un criterio de evaluación que estará conformado por los criterios económicos, sociales y ambientales, los que otorgaran las variables necesarias para ser evaluados por el software. Sí bien, tales variables otorgan una magnitud para identificar el impacto sobre las actividades, son éstas las que han sido determinadas con una ponderación para saber si hubo daño o no. Así, cada variable representará un valor, sí fue dañada en el pasado por una inundación será 1 y si no, esta será 0.

La cuantificación espacial de cada criterio, responderá al objetivo de la investigación que es conocer el riesgo de inundación, dado la existencia de una problemática. Los resultados mostraran datos esenciales que se esperan aportar a la realidad que existe en el territorio y sobre el uso de sus ribera que es el análisis de sensibilidad y de los escenarios de evaluación. De esta manera, el análisis de los datos ponderados por el investigador más el escenario de evaluacións será el análisis de los resultados obtenidos en la investigación.

Capítulo 4

4.0 Análisis y resultados

A través de los datos disponibles y de acuerdo al interés de la investigación de conocer las características geomorfológicas e hidrológicas del área de estudio, se busca determinar patrones orográficos del relieve de la VI Región de O'higgins. A su vez, el análisis de los años de máxima y menor precipitación dentro de un período de 30 años en Pichidegua, permite para el análisis determinar las fechas exactas donde se produjo una crecida del río Cachapoal, lo cual afectó a sus riberas y a las actividades localizadas próximas al cauce.

4.1.1 Patrón Geomorfológico

El análisis de nuestra investigación se ha centrado en resolver los comportamientos que adquiere la cuenca en donde se encuentra el rio Cachapoal y está localizada Pichidegua con el fin de determinar sus procesos y el estado actual de las actividades antrópicas próximas al cauce.

Hoy en día la conformación de los procesos tectónicos ha incidido en diferentes procesos de solevantamiento en diferentes estructuras geomorfológicas gatillados por terremotos desde hace 250.000 millones de años. Sí bien, las características actuales de la principal estructura orográfico del país, la Cordillera de los Andes, no queda apartada de estos movimientos internos provocados por la subducción de la plaza Sudamérica con la de Nazca (Brugen et al, 1950). Tomando en cuenta sus procesos y su estado actual, la C. de los Andes presenta una dinámica de estructura que permitiría conocer el dinamismo de su cuenca, donde confirmar en base a antecedentes a la topografía actual, permitirá corroborar sí el estado actual de la cuenca del Cachapoal representa una exposición al riesgo de crecida, sí esta presentará un movimiento de sedimentos constante de los altos valles a los bajos.

Una predominancia de lo anterior, significa un alta vulnerabilidad de la gente que vive en la cuenca frente a condiciones climáticas adversas, lo que estaría dado por el deslizamiento masivo de sedimentos desde las zonas altas, provocando que el aumento de los cauces o la precipitación no infiltrada en la superficie por un estado de saturación que traslade y movilice

material desde las partes altas hasta las baja, afectando a actividades y/o personas en proximidades de los cauces más importantes.

Mediante la ejecución y la aplicación en el software Arcgis 10.2.1 se han establecido los patrones geomorfológicos de la cuenca (ver tabla n°3), esta comprende un dinamismo de altura desde los 35 hasta los 5128 msnm. Aquel dato nos permite discriminar una gradiente amplia entre las cotas mínimas y máximas en la cuenca, resultando una inclinación hacia la Oeste de descenso por donde confluyen los cauces fluviales desde las partes altas. El dinamismo de la cuenca determina que la ubicación hoy en día de las ciudades de la Sexta Región, resulta un peligro dada su localización en las partes bajas de los dos conos aluvionales. Sin duda las características de la cuenca, permiten conocer un dinamismo de sus cursos fluviales desde altas cumbres hasta las bajas, donde hoy en día se encuentran todas las actividades agrícolas de la región.

Tabla n°3: Patrones Morfométricos de la Cuenca

Descripción	Unidad	Valor
De la Superficie		
Área	km2	6370
Perímetro de la Cuenca	Km	695,13
Altitud		
Cota máxima	Msnm	5128
Cota mínima	Msnm	35
Frecuencia media	Msnm	1242,45
Desviación estándar		1166,06
Red Hídrica		
Longitud del curso principal	Km	250
Origen de la red hídrica	UND	7
Longitud total red hídrica	Km	10808
Pendiente promedio red hídrica	%	2,72

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Patrón Estructural

La estructura geológica del área de estudio resulta determinante para entender el comportamiento orográfico del valle central en donde está ubicado Pichidegua. Es durante el Cenozoico (hace 63 millones) que se producen las transgresiones marinas más importantes sobre el relieve de la zona central Chileno, en el que se constituyen las peneplanicie onduladas sobre algunas zonas costeras, pero también es la última fase de vulcanismo sobre la cuenca del Rapel, donde está acumulado el material cordillerano que hoy en día es primordial para la agricultura en la zona central.

La Depresión Intermedia al estar constituida por el material cordillerano, también refleja el hundimiento de la cuenca desde el Plioceno (hace 10 millones), lo que constituye para nuestro análisis un factor principal, debido a que sus suelos representan superficies de nutrientes y material acumulado por los cauces. Este material localizado en la depresión intermedia, en la ciudad de Pichidegua responde a tres tipos de volcánico, glaciación cuaternaria y arena – arcilloso. Aquello ha quedado establecido por la calidad del tipo de suelo en la comuna y el que está alrededor del rio Cachapoal, ya que este ha sido transportado y sedimentado en los conos aluvionales de la cuenca, donde se han destacado su extensión y asimetría de sus alturas con el basculamiento de N – S que tiene el valle central de Chile.

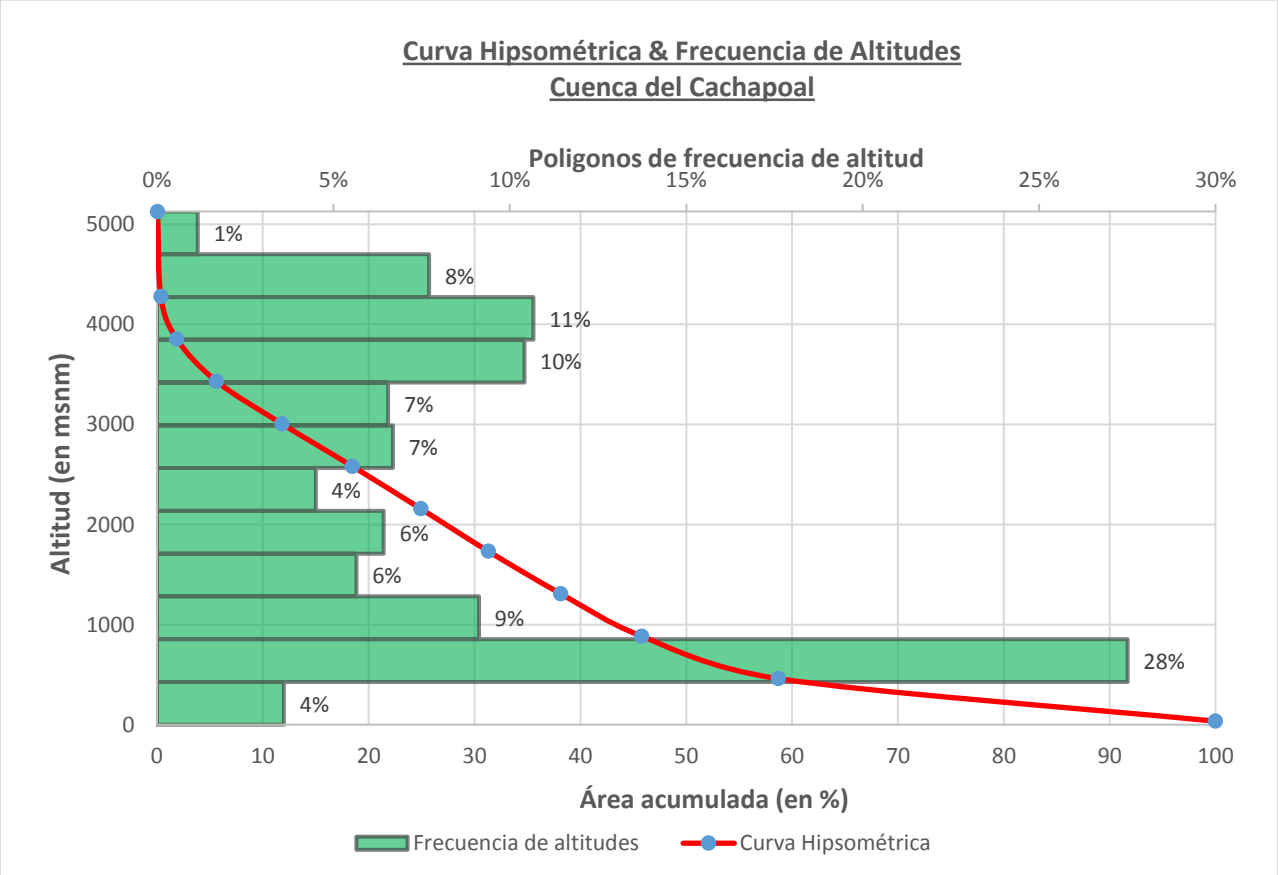
La dinámica de los conos aluvionales para el crecimiento de las ciudades ha resultado de importancia para entender el comportamiento del relieve y de la expansión urbana, porque estás al localizarse en las partes bajas, donde el corte a las fallas escalonadas ubicadas en el piedemont de la Cordillera de los Andes posiciona a estas zonas con una localización optima a la proximidad de sus cursos fluviales incidiendo directamente en tierras inundables donde están ubicadas la población y las actividades antrópicas.

Estudios realizados por Borgel, han demostrado que existe una correlación entre los procesos endógenos de tectónica y el actual estado de hundimiento de ciudades localizadas en la cuenca de Rapel, así los terremotos de 1960, 1985 y 2010 han gatillado en un hundimiento de zonas (Borgel, 2016), lo cual se ha visualizado en Rengo que ha quedado ha expuesto a constantes inundaciones por parte del afluente de río Claro, afluente del Cachapoal.

Otro factor importante en el patrón estructural es la unidad de relieve de la Cordillera de la Costa. Este cordón montañoso se ha expresado con un ancho de 95 km y con alturas promedios de 1200 msnm, lo que va disminuyendo cuánto más avanza hacia el sur hasta fragmentarse completamente. En el área de Pichidegua, la Cordillera de la Costa es dividida por los dos cauces fluviales más importantes de la región, el Cachapoal y Tinguiririca, donde la comuna se expone hacia la ribera sur del primer cauce nombrado.

Conocer la estructura y los procesos que afectan a la cuenca resultan esenciales para determinar el estado de ella, la cual se ve cortada por dos cauces fluviales de E a O. A partir de aquello, se ha elaborado un gráfico de curva Hipsómetrica y frecuencia de relieves (ver figura n°19) lo que nos permite determinar su estado actual y si el comportamientos de la cuenca representa una amenaza dado el transporte de material.

Figura n°19: Grafico de curva Hipsométrica & Frecuencia



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) Las barras verdes demuestra que existe una mayor frecuencia de polígonos con una altura promedio de 1.000 msnm, en contraposición con las altitudes superiores que representan una menor cantidad de polígonos.
2) La parábola representa que existe un mayor porcentaje de los polígonos en los 1.000 msnm que sobre los 5.000 msnm.
3) La insinuidad de la parábola, demuestra que la cuenca está en un estado de vejez, producto que existe una predominancia de polígonos a baja altura sobre los que se encuentran en las partes altas.

La curva hipsométrica indica el porcentaje de la cuenca que existe sobre un área determinada, donde la altura y su frecuencia creará la curva hipsométrica que se visualiza en la figura n°19. Por otro lado, la presencia de polígonos altitudes es amplia, lo que determina que estamos en presencia de una cuenca en estado de vejez y en un proceso sedimentario dada la forma de su parábola. Para determinar este estado y proceso, se utilizó la siguiente ecuación:

Figura n°20: Ecuación de curca Hipsométrica

$$H = \frac{\sum(c_i * a_I)}{A}$$

Nota:

1. H: altura media de la cuenca
2. Ci: Cota media del área entre dos curvas de nivel.
3. Ai: Área entre dos curvas de nivel.
4. A: Área total entre curvas de nivel.

La importancia de conocer el estado orográfico de la cuenca es validar que existe un dinamismo de la estructura geológica que incide directamente sobre la presencia de materiales rocos meteorizados y transportados por los cauces fluviales que representarán una amenaza para las ciudades localizadas en los ríos.

A su vez, es necesario considerar el patrón de unidad del relieve de la Cordillera de la Costa que al tener alturas promedios de 1.000 msnm, incidirán sobre laderas provocando una extrema aridez y una poca cobertura vegetacional, dado que están expuestas en la cara solana del cordón ubicado en esta comuna. Desde el punto de vista estructural, la comuna se

encuentra en la cara sotavento, donde no recibe precipitaciones importantes dado a que estas se condensan y son retenidas por el mismo relieve hacia la ladera de barlovento, en dirección SO donde se ubica Marchigue. Aquel postulado, acompañaría nuestro análisis de por qué las precipitaciones son disimiles a otras zonas de la región, donde en los años crecidas (2002, 1997, 1992 y 1987), estás se concentraron en zonas de retención de humedad y en las caras de barlovento, cómo las comunas ubicadas en tales dirección de laderas.

Por último, se hace necesario mencionar que Pichidegua al estar en una zona de solana, incidirá en una aridez de sus suelos, resultando poca cobertura vegetacional sobre la capa superficial y permitiendo que frente a las lluvias que se produzcan, el escurrimiento del suelo sea sin permeable y sin pueda retención de agua. Aquella característica es importante en los procesos que afectaran a las capas más superficiales de los suelos localizados en las laderas del rio Cachapoal, ya que la poca cobertura vegetal y la extrema aridez al que están expuestas incidirán en que exista un mayor riesgo frente a las precipitaciones, donde están escurrirán sin ser retenidas por los suelos.

4.1.1.2 Patrón Climático

Los procesos fluviales en la región han incidido en las actividades antrópicas cómo también en la vulnerabilidad frente a una crecida del rio Cachapoal. Es así que al hablar del patrón climático nos centraremos en los procesos hídricos que han determinado nuestra área de estudio y al estar expuesta a múltiples procesos fluviales.

La cuenca de Rapel posee dos afluentes principales que cortan al valle central, determinando los dos conos aluviales que han transportado material detrítico y volcánico desde la C. de los Andes al valle. Este proceso fluvial ha incidido en la localización de actividades productivas posibilitando un desarrollo a través del agua cómo recurso principal.

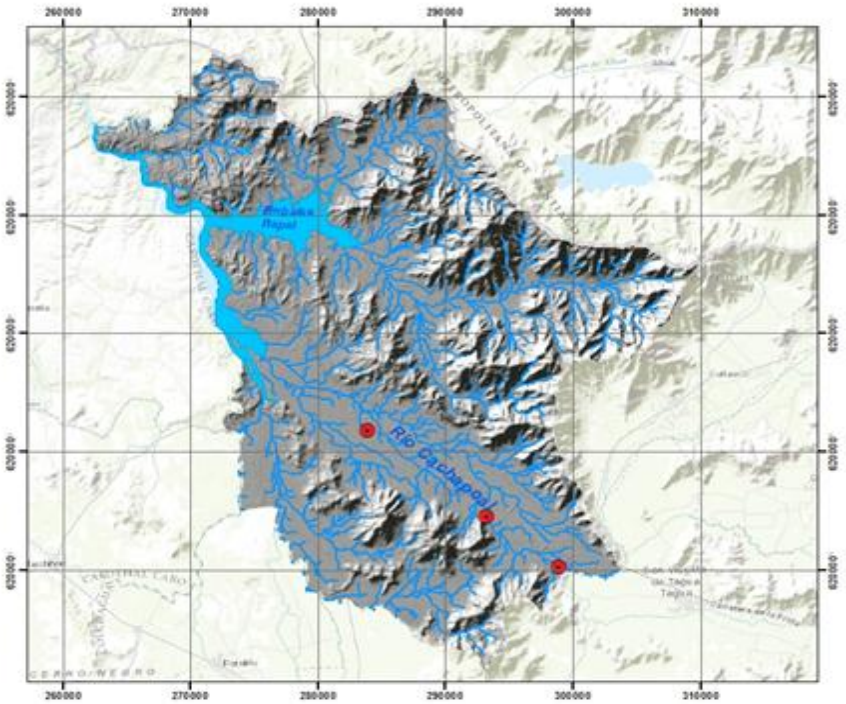
Sin duda el agua para la región ha permitido un desarrollo simétrico de distintas actividades, tanto en cultivo cómo en la producción de viñas, pero para la comuna de Pichidegua, el valle fluvial ha permitido que exista un desarrollo de cultivos próximos a las riberas del rio, provocando una colonización de ellas y una exposición alta al riesgo de inundación por estar en zonas bajas.

Por otro lado, el factor hídrico resultará determinante dada las características del valle y del relieve orográfico presente en la Cuenca, así es correcto hablar de la importancia de las laderas de umbría y solana frente a las precipitaciones. Tales laderas hoy representarán diferentes comportamientos cuando se activan las quebradas o aumente el volumen de sus vertientes.

La ladera de umbría estará por lo general de dirección S a SO, siendo su principal característica la retención de humedad del viento contra alicio que sopla de S a N desde septiembre a marzo. Por un lado, tal retención de humedad en sus laderas incidirá en una mayor vegetación cómo aumento de caudal en escenarios que se presenten precipitaciones moderados. Sí bien, las condiciones donde se ubica Pichidegua responde a una zona de abrigo de aridez extrema debido a la localización de la comuna en la cara solana del relieve, esta presentará poca vegetación, pero aun así la presencia de quebradas que podrían activarse tendrán escurrimiento superficial por ella afectando a sectores como es el caso Larmahue.

Tal representación queda visualizada en la cartografía hídrica de la zona de estudio que se presenta a continuación:

Figura n°20: Cartografía red hídrica del área de estudio



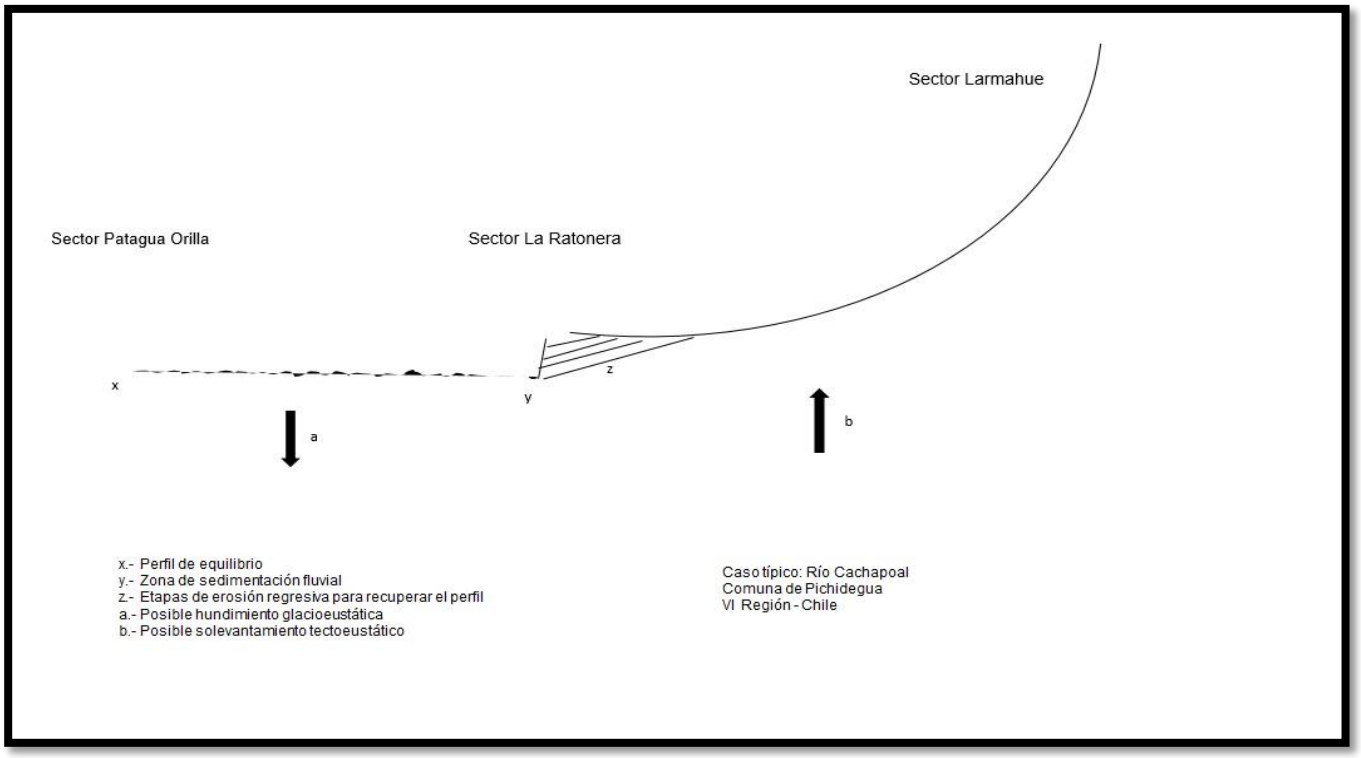
Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La cartografía corresponde a una contextualización de la red hídrica del área de estudio.
2) Se logra observar el dinamismo de las quebradas en la conformación de drenes que van confluir al rio Cachapoal.

Las características del valle determinan que exista una cobertura de cauces afluentes al Cachapoal, provocando una red completa que se relaciona con los cultivos agrícolas en la comuna. Por un lado, el rio Cachapoal se presenta cómo con un afluente activo en diferentes épocas del año, pero tendrán características de un río anastomasado con un transporte activo de sedimentos desde las cumbres altas hasta zonas de ligera pendiente como es el caso de los sectores La Ratonera y Patagua Orilla. A su vez, tal característica establece que exista distintas secciones con diferentes procesos locales, donde la acumulación de material como la pendiente serán determinantes para el comportamiento activo de agentes agua y viento.

Figura n°22: Perfil Longitudinal del Río Cachapoal en Pichidegua



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La imagen corresponde a un grafica del perfil longitudinal del rio Cachapoal de la comuna de Pichidegua.

2) X: Es el perfil de equilibrio del rio, en esta zona el cauce adopta una pendiente suave que permite ir situando el material transportado en las riberas adyacentes del cauce.
3) Y: Zona de Sedimento Fluvial, se observó este proceso en el sector de la Ratonera, dado que la pendiente poco inclinada de sus meandros han permitido dejar el material transportado.
4) Z: Etapa de Regresión Regresiva para recuperar el perfil, esta zona se encuentra ubicada en la Ratonera donde se observa la presencia de agentes modelados del paisaje (agua, gravedad) en riberas sobre los 10° a un costado del cauce.
5) A: Posible Hundimiento Glacio Eustatica, responde al movimiento de la cuenca de acuerdo al volumen de agua que entrega al océano.
6) B: Posible levantamiento tectoeustatico, movimiento de ascensión verticial producto del poco peso sobre la corteza terrestre.

Hoy en día la dinámica de transporte se ve afectada, no sólo por la colonización de cultivos, sino que también por actividades de extracción de áridos sobre las riberas alterando la morfología central del cauce e incidiendo en el material removido cómo en su turbulencia (Borgel, 2016).

Tal acumulación responde a un nivel de base que posee el río en el valle central y en estos sectores, donde la acumulación de material cómo el ensanchamiento del valle permiten que existan actividades destinadas a la extracción de áridos o los cultivos, producto de las características morfológicas óptimas para la extracción de minerales y ocupación de suelos

De esta forma, el patrón climático de Pichidegua resulta clave para entender el dinamismo impuesto por el valle fluvial, donde zonas accidentadas cómo también de descarga permiten zonas de sedimentación en las riberas que posibiliten el proceso de renovación de erosión.

.

4.1.3. Patrón Histórico

Teniendo en consideración la historia de la ocupación humana en las partes bajas de los conos aluvionales con un resultado de exposición frente al riesgo de inundación, se hace necesario conocer la geografía histórica de las precipitaciones y cómo estás han afectado a la comuna de Pichidegua. Ante esto, se ha hecho necesario considerar un periodo de estimación para las crecidas y que tan importante ha sido la localización de estas zonas con las actividades antrópicas.

Para tal análisis geo histórico, vamos a tener en cuenta la predominancia de una red hídrica amplía sobre el área de estudio y de la curva hipsométrica que representa el estado de vejez y el proceso sedimentario de la cuencia. A partir de aquello, se hace necesario afirmar que los

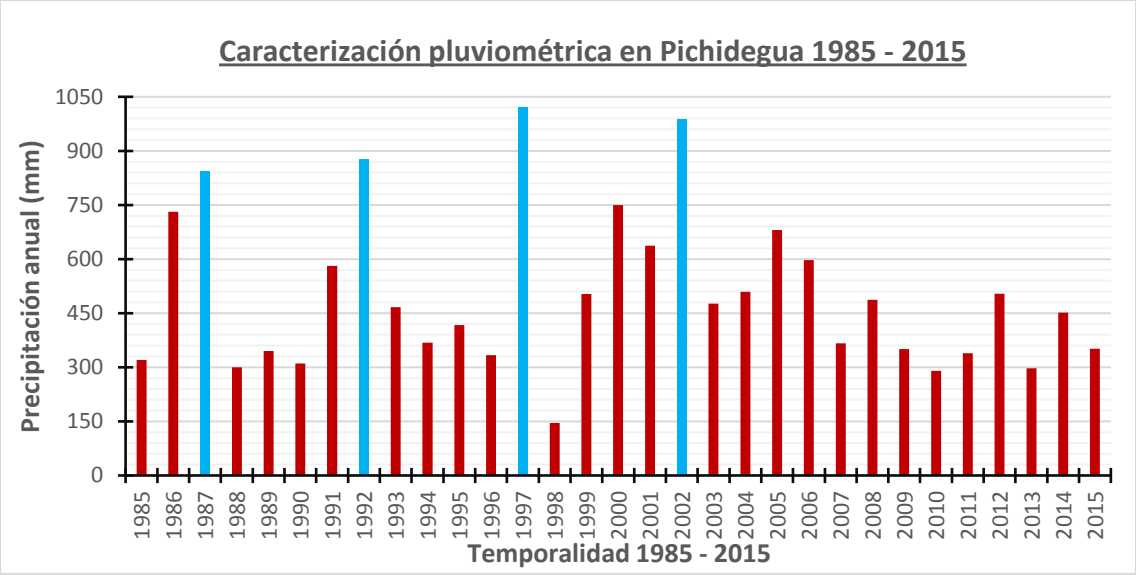
lugares poblados que se encuentran próximos al rio Cachapoal como también vertientes o nacientes de quebradas, representan hoy en día un alto riesgo de inundación frente a una crecida. Tal exposición se expresa a través del desplazamiento de material que se traslada por estos cursos, representando en determinadas eventos una amenaza para los habitantes.

El análisis climatológico se llevó a cabo a través de la recolección de datos, para esto se estudio la información disponible en estaciones meteorológicas de la Dirección General de Agua de la Sexta Región, donde se especificó un análisis 1985 – 2015 años para tener en cuenta episodios anómalos que se podían presentar.

La estación meteorológica que fue seleccionada, se encuentra localizada en Pichidegua con un uso desde el 1 de enero de 1974. La estación cuenta con datos de precipitación anual, mensual, máximos diarios de 24 horas con un intervalo diario desde la fecha mencionada.

Tomando en cuenta los datos disponibles desde 1985 hasta el 2015, se obtiene una caracterización del área de estudio del tipo anual. Muestra una serie pluviométrica que responde a su periodo:

Figura n°23: Caracterización pluviométrica 1985 – 2015



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La imagen corresponde a un grafica de la caracterización pluviométrica de la comuna de Pichidegua.

2) Las barras en colores celestes muestran los 4 periodos principales de intensa lluvia: 1987, 1992, 1997 y 2002.

La caracterización pluviométrica a 30 años nos demuestra una oscilación de precipitación anual en Pichidegua, donde se pueden distinguir un dinamismo marcado en determinados años con picos que sobresalen del promedio.

Tabla n°5: Tabla de promedio mensual 1985 - 2015.

	P_n	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pichidegua	Promedio mensual (1985-2015)	0,30	2,10	7,60	21,80	89,70	126,90	98,00	90,20	39,50	17,20	7,40	4,00

Para conocer la media anual de las precipitaciones, el periodo comprendido entre 1985 y 2015 se procedió al análisis del promedio mensual, calculado anteriormente con la siguiente ecuación de precipitación media:

Figura n°24: Precipitación media mensual

$$\bar{P}(\%) = \frac{P_n}{\bar{P}_n} * 100$$

Nota:
1) P (%): Porcentaje de precipitación media.
2) P_N: Precipitación del periodo n (mes, trimestre, año, etc.).
3) Pn: Precipitación media durante el periodo n (n ≥ 30 años).

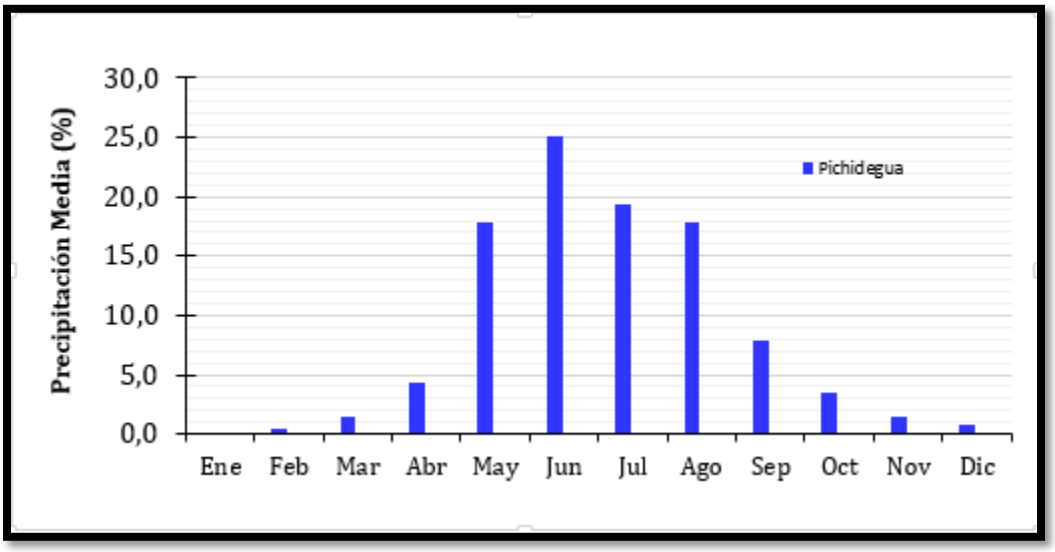
Mediante la ecuación de precipitación media, se procedió a realizar el cálculo a través del promedio de precipitación *Pn* de la serie de 1985 y 2015 (*Pn:* 504,6) y los promedios mensuales (Pn) de dicha serie de años. Los resultados de la ecuación, se visualizan en la figura n°24 y tabla n°5, donde se puede ver que las precipitaciones se concentran en mayor cantidad entre los meses de mayo a agosto con una baja a la época estival.

Tabla n°5: Cálculo de precipitación media mensual.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pichidegua	0,1	0,4	1,5	4,3	17,8	25,1	19,4	17,9	7,8	3,4	1,5	0,8

Fuente: Elaboración propia.

Figura n°25: Grafico de precipitación media.



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La imagen corresponde a un grafica de la precipitación media de la comuna de Pichidegua 1985 - 2015.
2) Se destaca que los meses principales que tiene lluvias sobre lo normal son mayo, junio, julio y agosto.

A través de los datos procesados, podemos obtener cuales son los meses que se destacan con una mayor precipitación: mayo, junio, julio y agosto.

El siguiente análisis tiene relación con determinar la Anomalía de precipitación mensual en porcentaje (AP%), la que expresa la anomalía pluviométrica mensual respecto a la precipitación media de cada mes. Para obtener tal resultado, se divide la anomalía pluviométrica mensual entre la precipitación media del mes y el resultado se multiplica por 100. La siguiente ecuación se expresa cómo:

Figura n°25: Formula de Anomalía de PP mensual en %.

$$AP(\%) = \left[\frac{P_n - \bar{P}_n}{\bar{P}_n}\right] * 100$$

Nota:

1) AP (%): Anomalía pluviométrica del mes *n* en porcentaje.

2) P_N: Precipitación del mes en n.
3) Pn: Precipitación media del mes x en el periodo n (n ≥ 30 años).

Para tal análisis, se estableció cuatro periodos de años para el análisis de anomalía pluviométrica, donde los periodos de 1987, 1992, 1997 y 2002 concentrarán los promedios anuales pluviométricos más altos.

Los siguientes resultados se visualizan cómo:

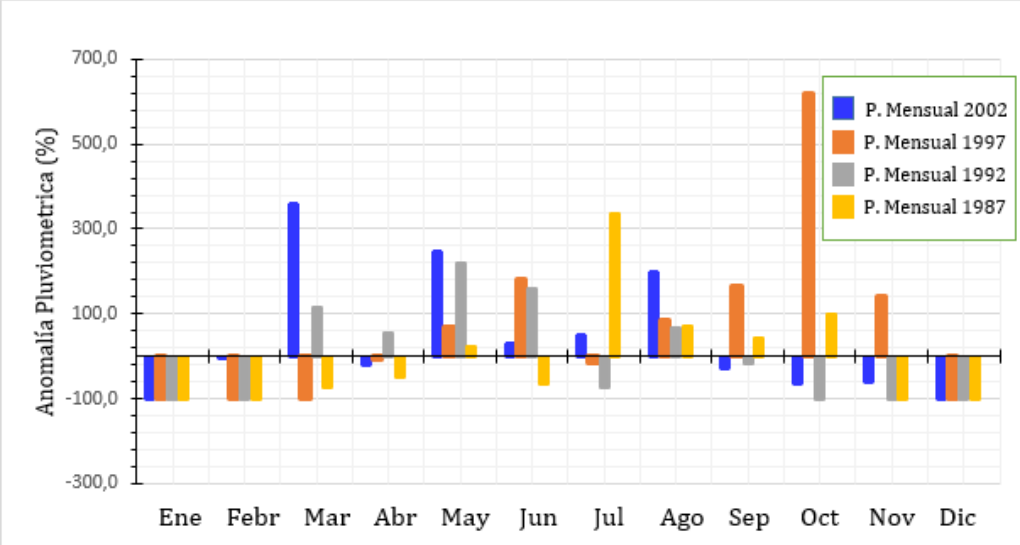
Tabla n°6: Datos y Cálculos de Anomalía pluviométrica

DATOS													
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pichidegua	Promedio mensual (1985-2015)	$\bar{P}_n$ 0,30	2,10	7,60	21,80	89,70	126,90	98,00	90,20	39,50	17,20	7,40	4,00
	Precipitacion mensual en 2002	P_n 0,0	2,0	35,0	17,0	313,2	167,0	148,3	268,6	28,0	6,0	3,0	0,0
Pichidegua	Promedio mensual (1985-2015)	$\bar{P}_n$ 0,30	2,10	7,60	21,80	89,70	126,90	98,00	90,20	39,50	17,20	7,40	4,00
	Precipitacion mensual en 1997	P_n 0,0	0,0	0,0	20,5	150,5	356,2	81,2	167,7	105,2	123,5	18,0	0,0
Pichidegua	Promedio mensual (1985-2015)	$\bar{P}_n$ 0,30	2,10	7,60	21,80	89,70	126,90	98,00	90,20	39,50	17,20	7,40	4,00
	Precipitacion mensual en 1992	P_n 0,0	0,0	16,5	34,0	287,0	330,0	26,0	152,0	32,0	0,0	0,0	0,0
Pichidegua	Promedio mensual (1985-2015)	$\bar{P}_n$ 0,30	2,10	7,60	21,80	89,70	126,90	98,00	90,20	39,50	17,20	7,40	4,00
	Precipitacion mensual en 1987	P_n 0,0	0,0	2,0	11,0	112,0	44,0	429,0	155,0	56,0	34,0	0,0	0,0
CÁLCULOS													
	Precipitación Mensual 2002	-100,0	-4,8	360,5	-22,0	249,2	31,6	51,3	197,8	-29,1	-65,1	-59,5	-100,0
	Precipitación Mensual 1997	-100,0	-100,0	-100,0	-6,0	67,8	180,7	-17,1	85,9	166,3	618,0	143,2	-100,0
	Precipitación Mensual 1992	-100,0	-100,0	117,1	56,0	220,0	160,0	-73,5	68,5	-19,0	-100,0	-100,0	-100,0
	Precipitación Mensual 1987	-100,0	-100,0	-73,7	-49,5	24,9	-65,3	337,8	71,8	41,8	97,7	-100,0	-100,0

Fuente: Elaboración propia.

Donde se procedió a graficarlo cómo:

Figura n°26: Grafico de Anomalía pluviométrica



Fuente: Elaboración propia.

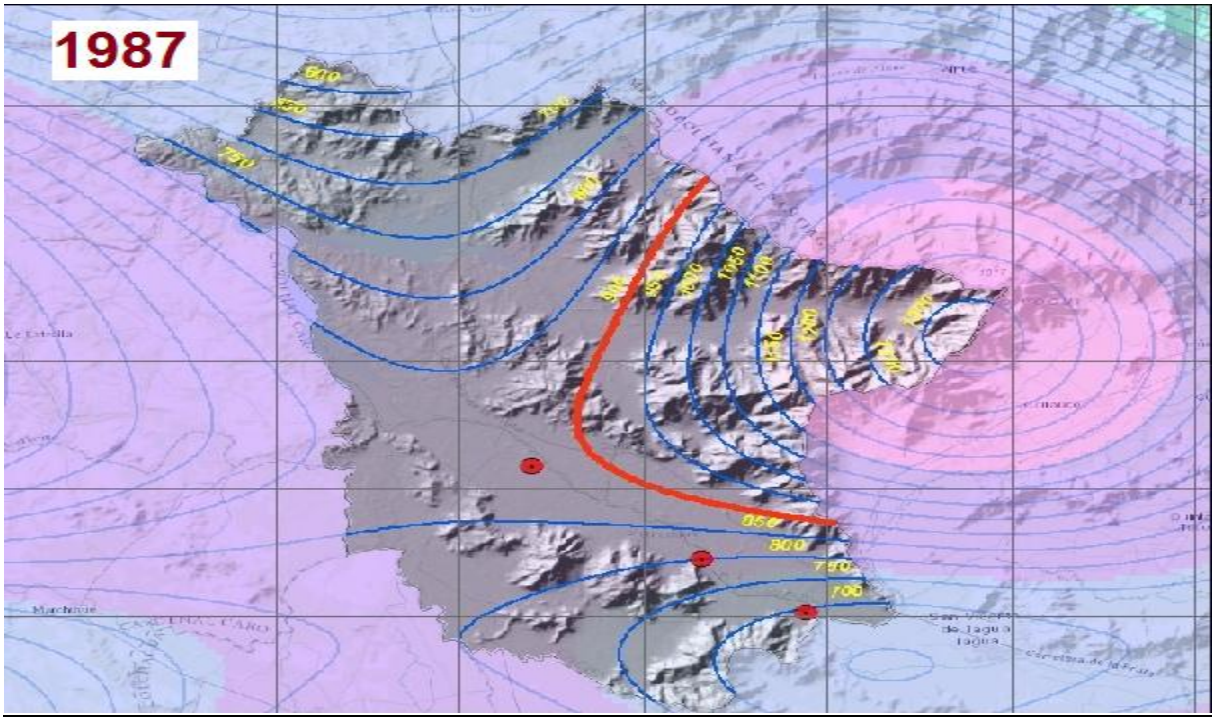
Nota:

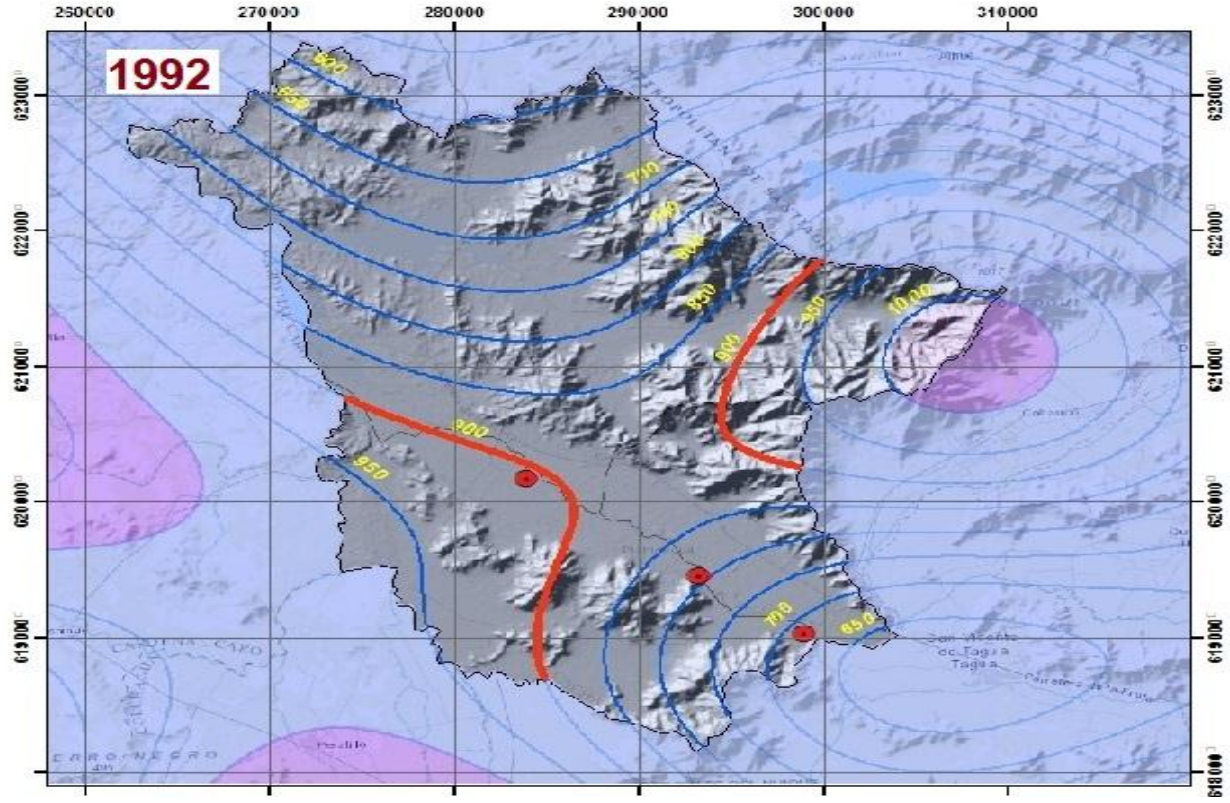
1) La imagen corresponde a grafica de anomalía pluviométrica para el periodo 1985 – 2015.
2) Para fines de la investigación el mes de mayo presenta la anomalía más alta para los periodos 1987, 1992, 1997 y 2002.
3) La anomalía para el mes de mayo es explica que la precipitación fue hasta un 400% más alta que la media.

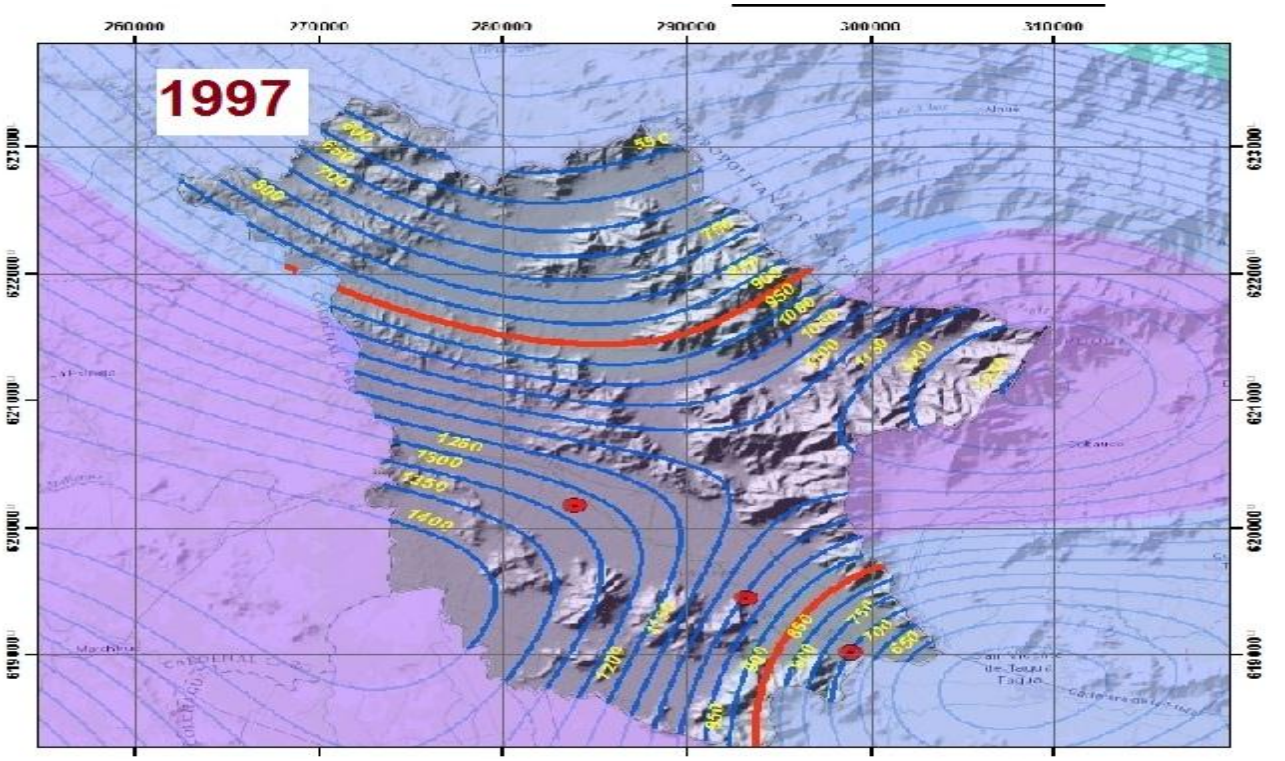
La anomalía observada, se expresa que para el periodo 1987, 1992, 1997 y 2002 a mayo cómo el mes como periodo clave en anomalía de precipitación dentro de la precipitación que se localizó en el área de estudio de Pichidegua.

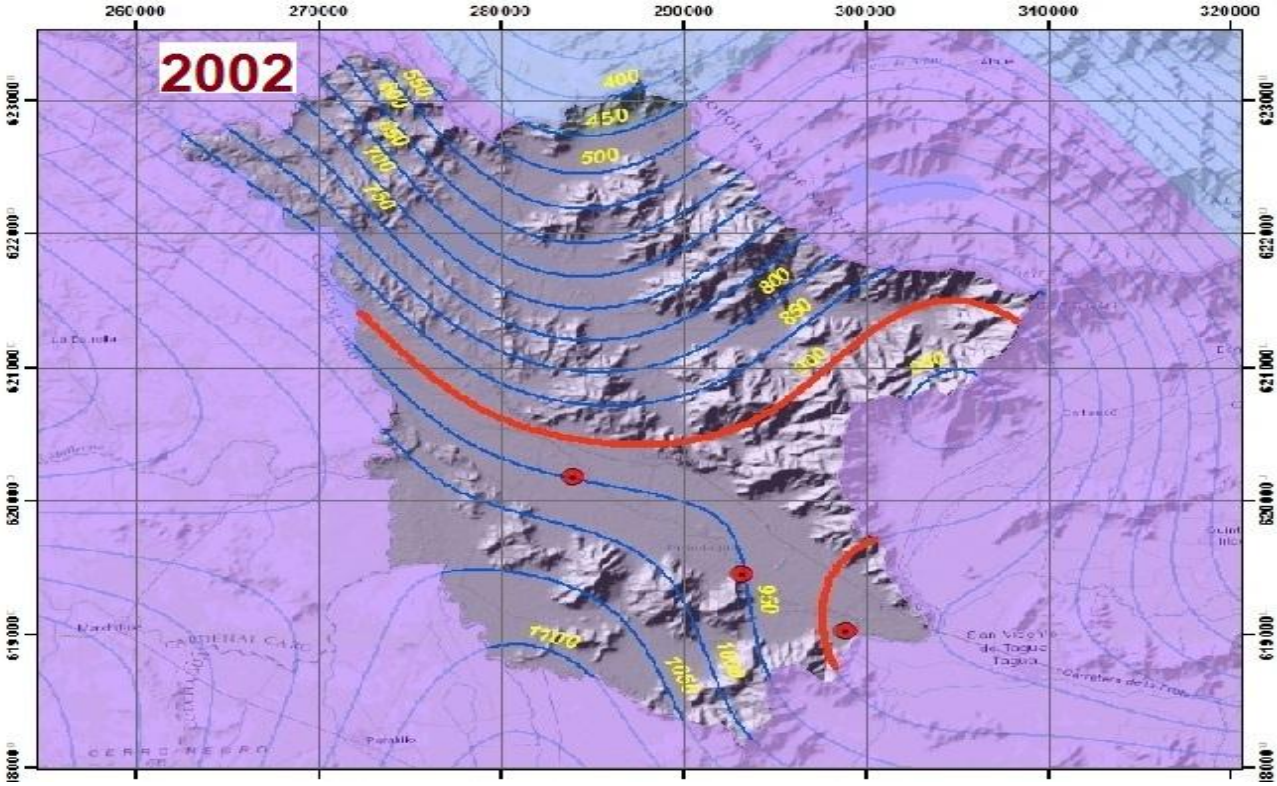
La siguientes muestran cómo se distribuyó la precipitación anual para los cuatros periodos dicho anteriormente.

Figura n°27: Cartografías de Isoyetas 1987, 1992, 1997 y 2002


1987


250000
270000
280000
290000
300000
310000
1992


1997
260000
270000
280000
290000
300000
310000
623000
622000
621000
620000
619000


2002
260000
270000
280000
290000
300000
310000
320000
623000
622000
621000
620000
619000
618000

Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La primera imagen corresponde a grafica de precipitación del año 1987,
2) La segunda imagen corresponde a grafica de precipitación del año 1992, se observa zonas violetas que representa precipitación entre 1000 y 1500 milímetros pero en áreas de abrasión de humedad por los cordones montañosos donde se focalizaron las lluvias pero en menor intensidad,
3) La tercera imagen corresponde a grafica de precipitación del año 1997, se observa zonas violetas que representa precipitación entre 1500 y 2000 milímetros pero en áreas de abrasión de humedad por los cordones montañosos donde se focalizaron las lluvias
4) La cuarta imagen corresponde a grafica de precipitación del año 2002, se observa zonas violetas que representa precipitación entre 1500 y 2000 milímetros en el área de estudio.

Dentro de los insumos recolectados, tanto a través del análisis estadístico cómo del software Arcgis, se obtiene una similitud de comportamientos que afectaron a la comuna de Pichidegua dentro de los años analizados.

Desde el punto vista geomorfológico, las precipitaciones no se concentraron en su mayor intensidad en las laderas de solana con dirección NO o NE, sino que se muestra en las caras de umbría. Otro factor importante, es el aumento de la precipitación en dirección E mientras sube de altitud, dejando visualizado que la lluvia caída en las zonas cordilleranas incidió directamente en el aumento de los caudales con su origen en altas cotas y con crecidas en el área de estudios.

Sí bien, las características de la precipitación y del relieve permiten conocer la geografía histórica del área de estudio, resulta esencial identificar los factores que inciden sobre esta comuna, ya que aquello nos permitirá conocer las condiciones de habitilidad que se obtienen en la comuna y de las actividades aledañas al cauce del río Cachapoal.

4.2 Patrón Hidrológico

Para conocer el comportamiento del rio Cachapoal frente a las crecidas en períodos de máxima precipitación, se ocupará el software HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center), programa elaborado por el cuerpo de ingenieros de la Armada de Estados Unidos. A través HEC – HMS, se conocerá un hidrograma de crecida, datos referentes cómo el pico máximo de metros cúbicos llevado, cómo también cuando creció en cm su caudal y el periodo de retorno del cauce.

Para fines de la investigación se trató contactar por Ley de Transparencia, a través de la oficina de la Dirección General del Aguas de la R. Metropolitana, al hidromensor a cargo de

las estaciones fluviometricas de las VI Región de O'higgins, para acceder al dato de la precipitación caída por hora para el 25/05/2002, 17/05/1997, 5/05/1992 y 29/05/1987. Tales datos hoy no existen, ya que el registro de la precipitación por hora se está implementando en la última década y solo existe el promedio acumulado cada 24 horas.

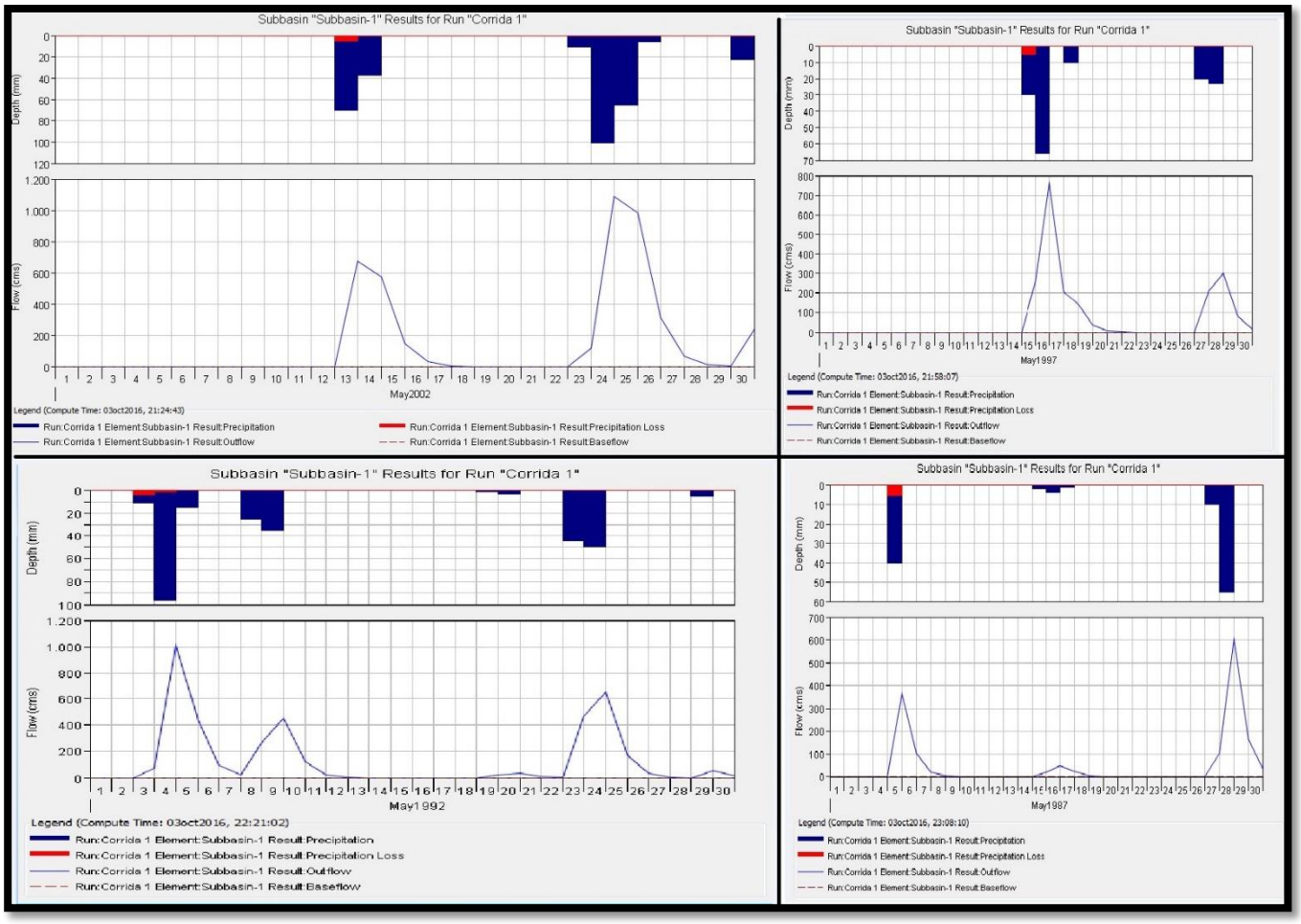
De acuerdo con los antecedentes se tomó en cuenta la variable de la disponibilidad de los datos y se determinó analizar mayo para los periodos 2002, 1997, 1992 y 1987 cómo el mes que presenta anomalía en los cuatro periodos ya descrito

ama dcrecida

Para conocer el comportamiento del río Cachapoal, es necesario establecer cuanto precipitó en la zona y cuál fue su crecimiento en altitud. Respecto a aquello, se toma en cuenta los datos de precipitación de Pichidegua para mayo de 2002, 1997, 1992 y 1987, donde se establecen comportamientos desiguales.

Lo siguiente se visualiza en la siguiente figura:

Figura n°28: Hidrograma de crecidas para 1987, 1992, 1997 y 2002



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

1) La Imagen superior de la izquierda corresponde a la crecida máxima del 25/05/2002 que alcanzó los 11 metros.
2) La imagen superior de la derecha corresponde a la crecida máxima del 17/05/1997 que alcanzó aproximadamente 800 metros.
3) La imagen inferior de la izquierda corresponde a la crecida máxima del 5/05/1992 que alcanzó 10 metros.
4) La imagen inferior de la derecha corresponde a la crecida máxima del 29/05/1987 que alcanzó 6 metros.

Para mayo de 2002 y 1992, precipitó cercano a 1000 milimetros, tal consideración determina una aproximación real a que la comuna de Pichidegua vivió un aumento del caudal, lo cual tuvo que haber afectado a las zonas laedañas al cauce, teniendo en cuanta que el agua caída en la Cordillera de los Andes tuvo que haber sido mayor. El factor crecida queda determinado a la precipitación, es para el año 2002 que el cauce del rio aumento cercano a los 10 metros.

Tanto para mayo de 1992 y 1987, el aumento del caudal estuvo cercano a 7 metros y 1997 a los 10 metros.

Para fin de nuestro análisis, los datos de análisis conllevan similitud por lo realizado por el software HEC – RMS, dado que los análisis realizado el 24 de septiembre han demostrado que la última crecida del cauce tuvo 3 metros altura, dado las muestras de vegetación encontradas en los arboles, la cual según nuestros datos ha sido mucho menor.

Dentro del factor máximo que llevó el caudal, en mayo de 2002 el caudal alcanzó a llegar un peak de 1088,3 (m3/s), algo muy diferente a lo llevado en 1987 donde transportó 602,8 (m3/s). Los datos demuestran una relación entre el agua caída y llevado por el cauce. La altura máxima que alcanza la crecida, es tomada desde la base central del río, donde se encuentra el punto más bajo detectado por los software.

Así estos datos proponen conocer aún más cómo el rio Cachapoal en su comportamiento de crecidas frente a periodos de intensas lluvias que afectaron y generaron afluentes desde las partes altas hacia las bajas.

Dentro de la investigación, se han determinado que las crecidas fluviales resultan ser uno de los eventos naturales con mayor impacto en el mundo, afectando a lugares densamente poblados. Es dentro de este análisis que se hace necesario determinar probables eventos de crecidas para el río Cachapoal y cuanto afectaría a las zonas urbanas.

La proximidad con el río Cachapoal determinará la vulnerabilidad de los objetos tanto de ambiente construido como físico natural y por ello resulta necesario conocer las características del rio Cachapoal. Ante esto, se ha realizado la ecuación de “período de retorno” con el fin de aportar la probabilidad de que ocurran grande eventos de crecidas.

El análisis del período de retorno se llevó a cabo a través de la recolección de datos, para esto se estudió la información disponible en estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas de la Sexta Región, en donde se especificó un análisis a 27 años para tener en cuenta episodios anómalos que se podían presentar.

La estación meteorológica que fue seleccionada, se encuentra localizada en Doñihue con un uso desde el 1 de enero desde 1983. La estación cuenta con datos de precipitación anual, mensual y máximos diarios de 24 horas.

Tomando en cuenta los datos disponibles desde 1983 hasta el 2015, se obtuvo el dato de intervalos anuales como su caudal (m3/seg); luego se ocupó la formula del método de Gumbell para determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros de aumento del caudal. Para tal análisis, se ocupó la siguiente formula:

Figura n°30: Formula del Método de Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-u)}}$$

Nota:

1) F (X): Probabilidad..
2) e: Logaritmo Natural.
3) –e: Exponencia de negativo
4) –a: Coeficiente de ayuda

Teniendo en consideración la ecuación propuesta por Gumbel para determinar la ocurrencia de eventos de aumento de caudal, se realizó la síntesis de intervalos anuales para el desarrollo de los datos. La tabla n°8 especifica la utilización de datos:

Tabla n°8: Tabla de Q(m3/seg) por año

Año	Q (m3/seg)	Q > a <	P empirica
1983	9,40	19,20	2,94
1984	14,90	18,40	5,88
1985	10,00	18,30	8,82
1986	18,40	15,50	11,76
1987	14,10	14,90	14,71
1988	9,60	14,40	17,65
1989	10,90	14,10	20,59
1990	9,50	14,00	23,53
1991	13,10	13,60	26,47
1992	19,20	13,10	29,41
1993	18,30	12,70	32,35
1994	11,30	12,30	35,29
1995	11,20	11,80	38,24
1996	4,70	11,30	41,18
1997	12,70	11,20	44,12
1998	8,30	10,90	47,06
1999	7,20	10,20	50,00
2000	14,00	10,00	52,94
2001	15,50	9,80	55,88
2002	14,40	9,60	58,82
2003	10,20	9,50	61,76
2004	9,80	9,40	64,71
2005	11,80	8,30	67,65
2006	12,30	8,10	70,59
2007	7,80	8,10	73,53
2008	13,60	7,80	76,47
2009	7,10	7,50	79,41
2010	5,10	7,20	82,35
2011	3,80	7,10	85,29
2012	8,10	5,10	88,24
2013	7,50	4,70	91,18
2014	3,70	3,80	94,12
2015	8,10	3,70	97,06

Fuente: Elaboración propia

Nota:

1) La tabla muestra para el periodo 1987 -2015 el caudal (m3/seg) anual que llevó el rio Cachapoal.
2) Se destaca que en 1992 hubo un flujo 19,20 (m3/seg); 1997 un 12,70 (m3/seg) y 2002 un 14,40 (m3/seg)

3) Los datos observado demuestran que para tales periodos el volumen del caudal fue mayor y sobre la media, aumentando el riesgo a inundación producto de una crecida.

A través de los datos disponibles de la Estación de Monitoreo de Doñihue, se obtiene un tabla síntesis de datos del caudal (m3/seg) del rio Cachapoal desde 1983 a 2015. El siguiente paso, es la obtención de la probabilidad del aumento del caudal para determinados años. Frente a los lineamientos de la investigación, se ocupan los datos disponibles de la tabla n°28 con la fórmula de Gumbel (Ver figura n°27). La siguiente tabla n° 28:

Tabla n°9: Tabla de Método de Gumbel

P	Tr	Y	Qd
(%)	(años)		
0,01	10000,0	9,21	37,96
0,1	1000,0	6,91	30,71
0,5	200,0	5,30	25,63
1	100,0	4,60	23,44
2	50,0	3,90	21,25
3	33,3	3,49	19,95
10	10,0	2,25	16,05
20	5,0	1,50	13,68
25	4,0	1,25	12,88
50	2,0	0,37	10,11
70	1,4	-0,19	8,37
80	1,3	-0,48	7,46
90	1,1	-0,83	6,33
99	1,0	-1,53	4,15
99,9	1,0	-1,93	2,87

P = Probabilidad
Tr = Tiempo retorno
Y = Parametro
Qd = Caudales de diseño

Fuente: Elaboración propia

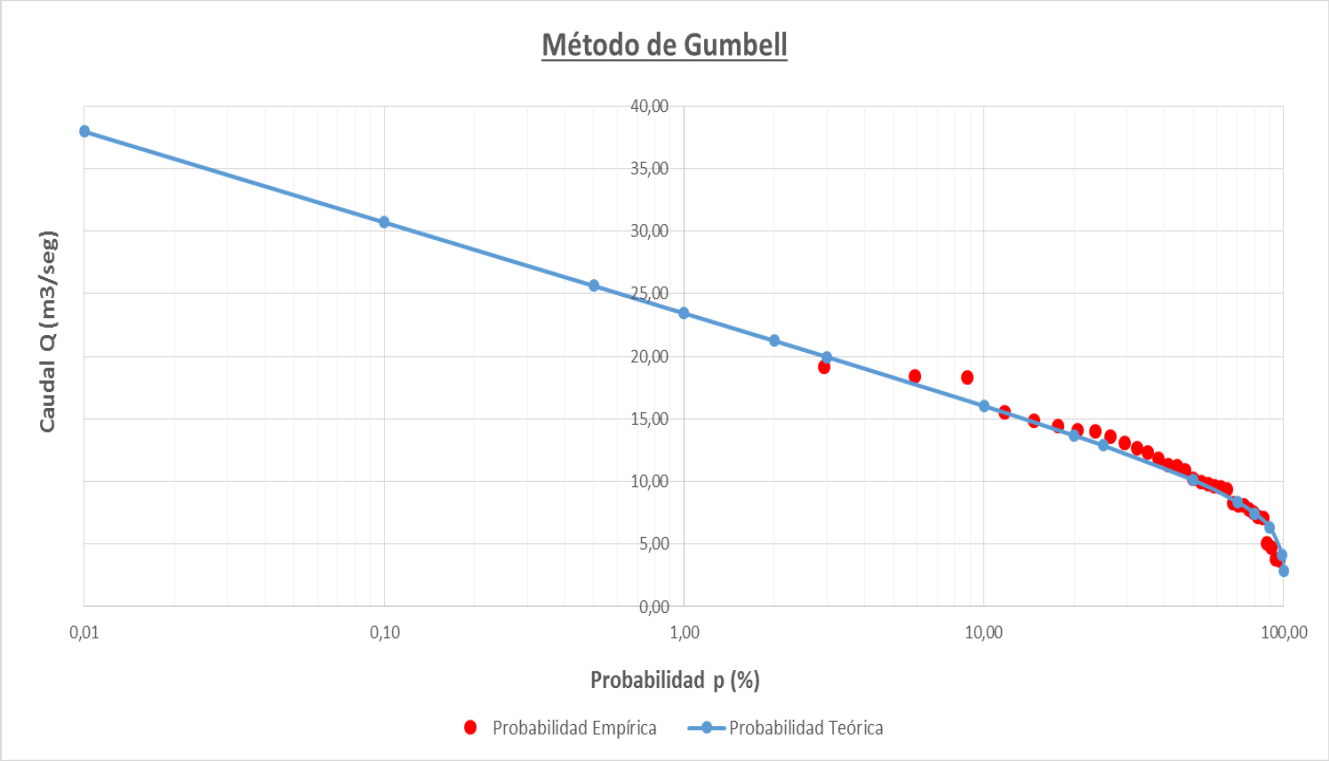
Nota:

1) La tabla visualiza el periodo de retorno que pueda tener el caudal del río Cachapoal tomando en consideración sus m3/seg del periodo 1983 – 2015.
2) Se destaca que para 100 años exista la probabilidad de un evento superior de 23,44 (m3/seg).
3) Se destaca que para 10 años, existe la probabilidad de un evento 16,05 (m3/seg).
4) Se corrobora que a 100 años pueda ocurrir un evento que es el doble de lo que lleva hoy el rio Cachapoal.

Los resultados obtenidos por la tabla n°28 determinan la ocurrencia de un aumento del caudal del Cachapoal frente a episodios críticos. La obtención de la información resulta de gran interés, porque valida los datos Hidrometeorologicos obtenidos en los pasos anteriores.

Para la observación graficos de los datos de la tabla n°9 se procedió a la construcción del grafico de Gumbel, el cual se detalla a continuación:

Figura n°30: Método de Gumbel



Nota:

1) El grafico muestra el comportamiento de los datos tanto en probabilidad empírica como teórica.
2) Se visualiza que existe la probabilidad del evento 23,44 (m3/seg) pueda darse una vez en 100 años.
3) Sevisualiza en color rojo la probabilidad empírica donde existe la probabilidad de ocurrenciade un evento de 20 m3/seg en 100 años
4) Los métodos corroboran la existencia de un evento superior a 20 m3/seg y que este pueda darse una vez en 100 años.

La validación de los datos obtenidos por la fórmula de Gumbel, establece que existe una correlación de datos de ocurrencia de un evento a 100 años con la disponibilidad del caudal. Esto quiere decir que la dinámica del rio Cachapoal tendrá eventos sobre la media, pero determinándose a los flujos actuales y de tendencia que presenta desde 1983 a la fecha.

Por otro lado, la información por los diferentes métodos analíticos en el desarrollo del primer objetivo, reflejan una aplicación de variables producto de las diferentes factores que determinan nuestra área de estudio. Ante esto, es necesario confirmar que los datos de precipitación y caudal muestran una tendencia a la baja que es aceptada tanto en anomalías pluviométricas cómo por el Método de Gumbel, en que se observa que la ocurrencia de eventos de gran intensidad son cada vez menos producto de la precipitación caída en el área de estudio.

4.3. Transformaciones en la ribera de Rio Cachapoal

La dinámica de los cursos fluviales en múltiples ocasiones determina las características de nuestros ríos, siendo más peligroso producto de perturbaciones provocadas por actividades antrópicas, tanto en la transformación de sus suelos o por características morfométricas de la cuenca. Debido a la vulnerabilidad que hoy presentan las actividades antrópicas en las riberas de los ríos, nace el cuestionamiento de cómo evaluamos el riesgo de inundación dado la proximidad de elementos urbanos, naturales o tectónicos.

De acuerdo a intereses de la esta investigación se ha hecho necesario analizar las actividades antrópicas y los elementos naturales más próximos a los ríos, buscando determinar zonas donde incidirían de manera directa o indirecta en eventos hidrometorologico los elementos más próximos al cauce. Por un lado, se hace necesario obtener resultados que muestren el grado de proximidad que tienen las actividades antrópicas con el cauce principal, pero a su vez, observar zonas de peligro frente a una inundación del rio Cachapoal.

El resultado principal será la relación de variables de ambiente urbano, natural y tectónico, lo que permitirá reconocer zona más vulnerable dada su proximidad con el río Cachapoal, a través de la utilización de ArcGis 10.2.1 y su herramienta de geoprocesamiento de información espacial.

Finalmente se expondrán las explicaciones, pasos metodológicos para la obtención del resultado final.

4.2.1 Materiales y Método

En este apartado se presenta la información dispuesta para la obtención de las zonas más riesgosas frente a una inundación, tomando en consideración la cercanía de las actividades antrópicas con rio Cachapoal.

Por un lado se destaca el uso de coberturas en dos formatos. Este tipo de información es de tipo shapefile y raster, donde no se cuenta con un sistema de coordenadas proyectadas de manera homogénea entre sí, lo que requiere procesar a todas las capa de una única manera. Para tal análisis se necesita una reproyección de todas las coberturas a ocupar en WGS 1984 UTM Zone 19S. Dado lo anterior, estás se procesarán para que las capas de informaciones puedan quedar sobrepuesta unas sobre otra y sin un distanciamientos producto de no estar en una misma escala. Además de la transformación, restricciones y condiciones que se presenta en la siguiente tabla n°30

Tabla n°11: Resumen de la información obtenida y procesada

Cobertura	**Sistema de proyección**	**Restricción**	**Condición**	**Observaciones**
Linea Ferrea	PSDA_1956	Prohibición de elementos de actividades productivas	No aplica	Se debe transformar a proyección WGS 1984 UTM Zone 19S
Red Hídrica_Orden	WGS 1984 UTM Zone 19S	No aplica a afluentes de orden 7	Aplica a cursos fluviales de orden 1, 2, 3,4, 5 y 6	No requiere transformación de sistema de coordenada.
Isoyetas	WGS 1984 UTM Zone 19S	Las isoyetas deben estár a más de 500 metros de distancias del rio Cachapoal.	Aplica a isoyetas que estén entre 0 y 500 metros.	No requiere transformación de sistema de coordenada.
Zonas Urbanas	PSDA_1956	Las zonas urbanas no deben estar a más de 3000 metros de distancias del rio Cachapoal.	No Aplica	Se debe transformar a proyección WGS 1984 UTM Zone 19S
Rio_Cachapoal	WGS 1984 UTM Zone 19S	Los elementos más próximos al rio no deben encontrarse más allá de 5000 metros.	No aplica	No requiere transformación de sistema de coordenada.

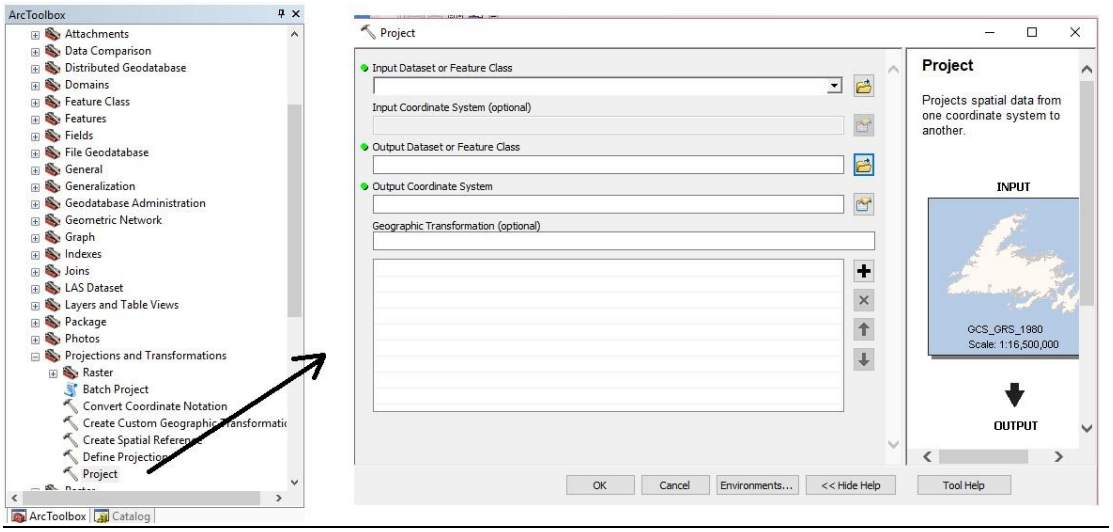
Pendientes	GCS_WGS_1984	Se Excluyen las pendientes sobre 35 grados	Se incluyen las pendientes menores a 35°.	Se debe transformar a proyección WGS 1984 UTM Zone 19S

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 Transformación de proyección

Para establecer un sistema de referencia espacial único para todas las coberturas, se utilizó la herramienta de ArcToolbox “créate spatial reference”, donde se produce un sistema de conversión, con los parámetros requeridos para la zona centro de Chile para aplicarlo luego en cada cobertura que no presente una rereferencia geográfica definida. Para fines de nuestra investigación, la coordenada a ocupar será WGS 1984 UTM Zone 19S. Para obtener las coberturas y su aplicación, se ejecutará el comando “Project”.

Figura n°30: Método de transformación geográfica



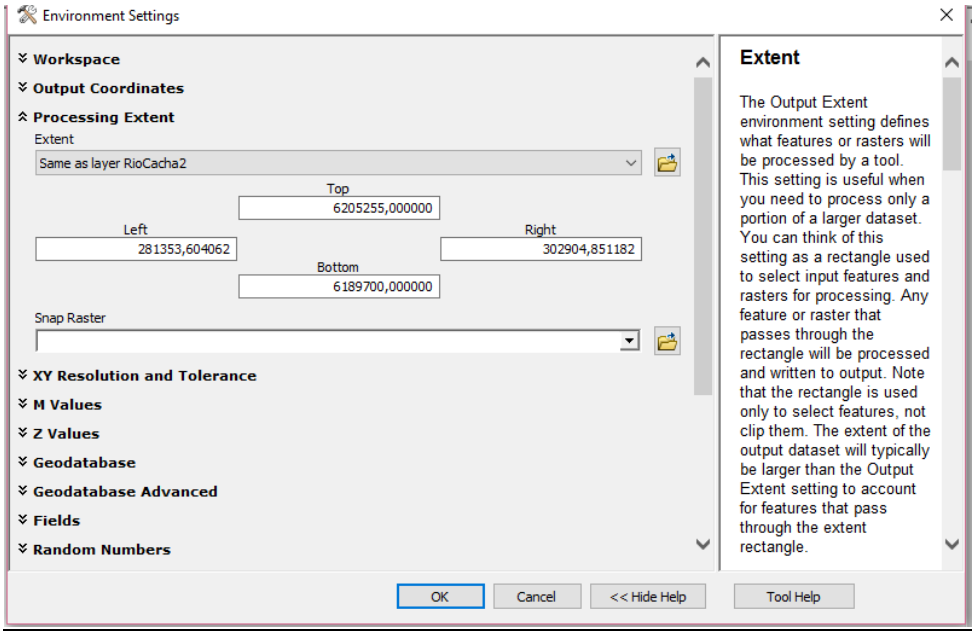
Fuente: Elaboración Propia

Nota:

1) La figura muestra los pasos utilizados en el software ArcGis 10.2 para dejar todas las capas de información a una misma escala.

La obtención de una proyección para las coberturas vectoriales, evita conflicto en el diseño y visualización digital de la información, a partir de la posterior configuración en la aplicación “environmental setting”

Figura n°32: Método de environmenta



Fuente: Elaboración Propia

Nota:

1) Para que la información reproyectada pueda quedar dentro de los márgenes administrativos, se debe realizar el paso de Enviroment donde se selecciona la capa de información que conlleva los limites para que el archivo procesado no lleve márgenes de error.

4.2.3 Aplicación de la herramienta de Spatial Analyst

Para la cobertura de “Linea Ferrea”, se requiere que cumpla con la aplicación de la herramienta Euclean Distance, donde esta especificará la proximidad del elemento con el río Cachapoal. Por otro lado, el Shapfile de la Línea Férrea debe cumplir un trazado que contemple la conectividad para las comunas de las Cabras y Peumo, al norte del río Cachapoal. Frente a este interés, se procesa un recorte de la cobertura de la VI Región de la “Línea Ferrea”, para dejar solo el trazado de la sección del rio a evaluar. Luego, se aplica la herramienta de *Eucledean Distance,* en donde se define una restricción de 2.000 metros con una salida en formato raster. Por último, se aplicará la herramienta de reclasificación que permitirá ordenar los datos de acuerdo a los intervalos que nos interesaría ver, ante ello, se aplicarán 2 intervalos del orden boleano para delimitar rangos de interés para la visualización de resultados, donde 0 serán áreas no aptas y 1 áreas aptas.

Figura n°33: Obtención de valores de distancia y reclasificación

Fuente: Elaboración Propia

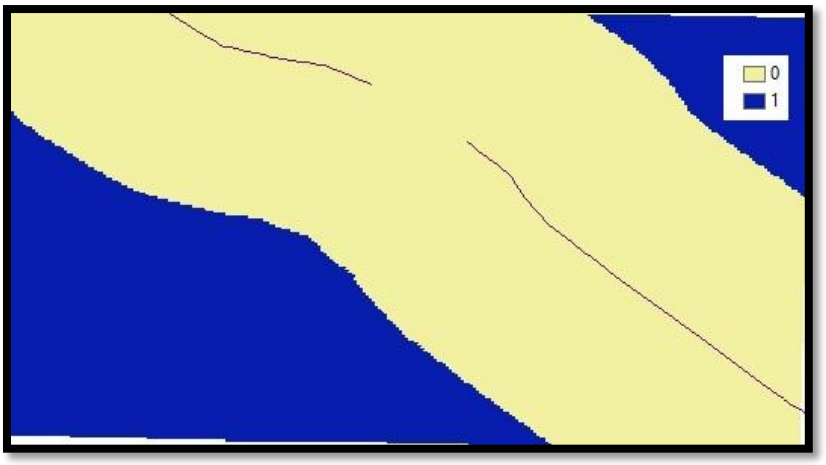
Nota:

1) La grafica muestra el proceso llevado a cabo para determinar que la información sea en orden boleano (0 – 1).
2) En primer lugar se selecciona la capa de información que se requiere ser procesada, en el cual se debe seleccionar la distancia hacia el rio.
3) En segundo lugar, se obtienen los resultados los cuales son clasificados en 1 y 0.

Los tres procesos señalados se aplican para el resto de las coberturas, en relación a la proyección de coordenadas, ésta debe ser hacia el formato WGS 1984 UTM Zone 19S, junto con la aplicación de la herramienta de Eucledean Distance y su posterior reclasificación.

Siguiendo la secuencia presentada, la cobertura de línea férrea ahora se encuentra en formato raster, las que se llama Linea_Ferrea_Reclassify, donde presenta la presencia de áreas óptimas y no, cómo lo muestra la figura n°34.

Figura n°34: Obtención de cobertura booleana en formato raster



Fuente: Elaboración Propia.

Nota:

1) La imagen muestra el resultado después de clasificarla en orden boleano (0 – 1).
2) Se determina para la capa de información que las zonas 0 serán no aptas, en cambio 1 son áreas aptas de acuerdo a la proximidad con el rio Cachapoal.

Dentro del análisis llevado a cabo por la proximidad de elementos sobre el rio Cachapoal, las coberturas de Linea_Ferrea, Isoyetas, Zonas Urbanas y Red Vial, tendrán el proceso señalado anteriormente, se define la proyección WGS 1984 UTM Zone 19S, se utiliza la herramienta Euclean Distance y su posterior aplicación del reclassfy.

En el caso de la cobertura de pendientes, ésta se definió a través de una reclassify para determinar rangos mapeables que afectarán a la sección del rio Cachapoal, cómo lo muestra la figura n°34:

Tabla n°34: Rangos mapeables de pendiente

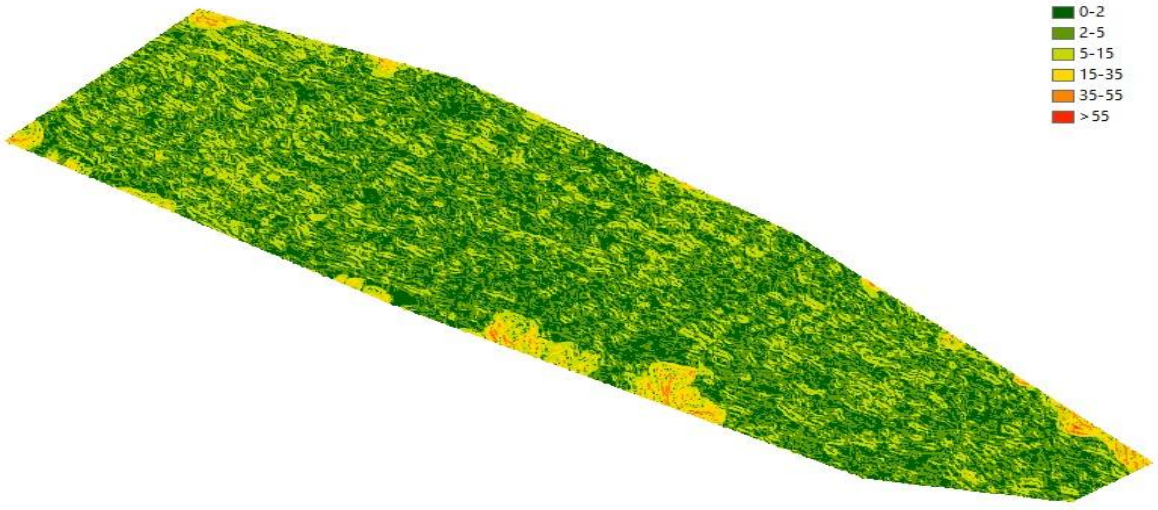
Rango	Denominación	Proceso Geomórfico
0° - 2°	Débilmente inclinado u ondulado	Sin denudación. Erosión casi nula, se camina y se cultiva sin dificultad.

2° - 5°	Moderadamente inclinado u ondulado	Empieza erosión difusa sheet flood. Peligro de erosión de suelos.
5° - 15°	Inclinado u ondulado	Frecuente erosión lineal. Reguera y cárcavas, Peligro de erosión de suelos y movimiento en masas
15° - 35°	Muy inclinado o muy ondulado	Fuerte erosión lineal, deslizamiento en masa, peligro de erosión de suelos.
35° - 55°	Moderamente escarpado	Afloramiento rocoso, Erosión lineal y deslizamiento en masa.
➢ 55°	Escarpado	Procesos de gravedad. Escombros en las faldas.

Fuente: Primer Seminario Cartográfico Nacional, 1972: 267.

En el caso de las aptitudes de la pendiente y ya obtenido el raster con los rangos mapeables, se logra diferenciar las áreas más y menos inclinadas:

Figura n°35: Reclasificación de pendientes según normas cartográficas



Fuente: Elaboración Propia

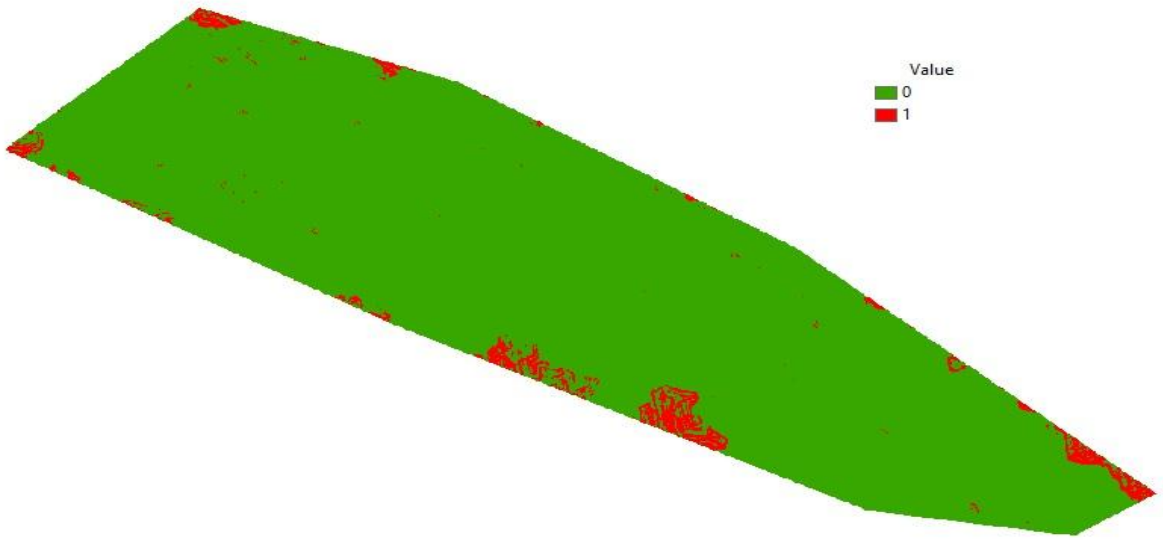
Nota:

1) El color verde oscuro significan zonas con pendiente entre 0° y 2°.
2) El color verde significan zonas con pendientes entre 2° y 5°.

3) El color verde claro significan zonas con pendientes entre 5° y 15°.
4) El color amarillo significan zonas con entre 15° y 35°.
5) El color naranjo significan zonas entre 35° y 55°.
6) El color rojo signifcan zonas mayores a 55°,

Ante la reclasificación ya realizada del raster, no es necesario efectuar la aplicación del Euclean Distance, sino que reclasificar en función áreas aptas o no (0, no apto y 1, apto), en relación a la proximidad de pendientes más inclinadas y cercanas al del río Cachapoal.

Figura n°36: Reclasificación de pendientes según aptitud señalada



Fuente: Elaboración Propia

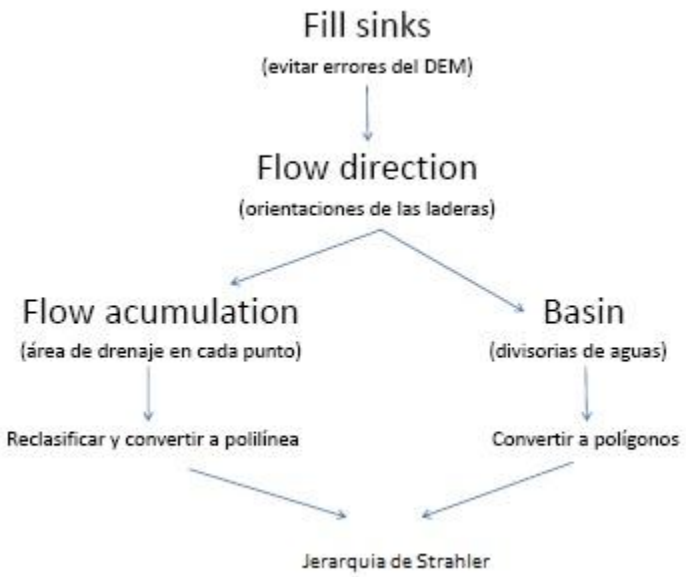
Nota:
1) Se ha determinado reclasificar las pendientes en dos grupos, sobre 10°
2) Las áreas sobre 10° de inclinación están representadas en color rojo.
3) Las áreas bajo los 10° de inclinación están representadas de color verde.

En el caso de la construcción del raster de pendientes, se logra obtener que el valor 0 (zona apta) representará a los rangos de inclinación entre 0° - 15° y el valor 1 (zona no apta), tendrá pendientes mayores a 15°. La importancia del resultado de este análisis, es la validación de

los datos obtenidos en las diferentes salidas a terrenos, donde las actividades antrópicas más cercana a los ríos y al cordón montañoso de Pichidegua son vulnerables debido a su localización.

Para la cobertura de orden hídrico, ésta se realizó aplicando la técnica de análisis de jerarquía de Strahler, tal y como se muestra en la figura 37:

Figura n°37: Proceso para la obtención de Jerarquía de Strahler

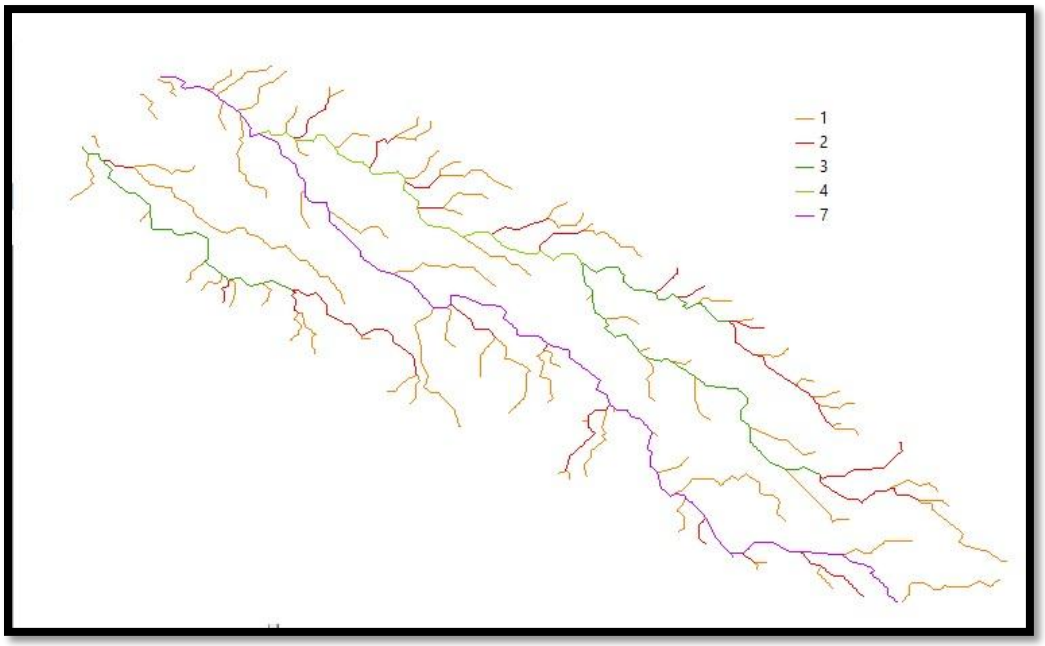


Nota:

1) En primer lugar, para desarrollar la jerarquía de Strahler, se debe ocupar la herramienta Fill, en donde se rellenan todos los pixeles que podría tener falla del Modelo de Elevación Digital y que podría alterar el procesamiento.
2) En segundo lugar, se debe determinar la orientación de las laderas, para conocer áreas susceptibles por donde escurriría el agua.
3) En tercer lugar y ya concluida la orientación de laderas, se determinan los flujos acumulados, lo que visualiza en qué dirección escurre el agua.
4) En cuarto lugar, se resuelve la Jerarquía de Strahler, donde la suma de los drenes ya determinados visualarán los cursos potencialmente más peligrosos.

Siguiendo la secuencia presentada en la figura n°38, se obtiene la jerarquía de Strahler para el área de estudio, donde la suma de cada dren va incrementando el peligro.

Figura n°38: Red Hídrica con Jerarquía de Strahler



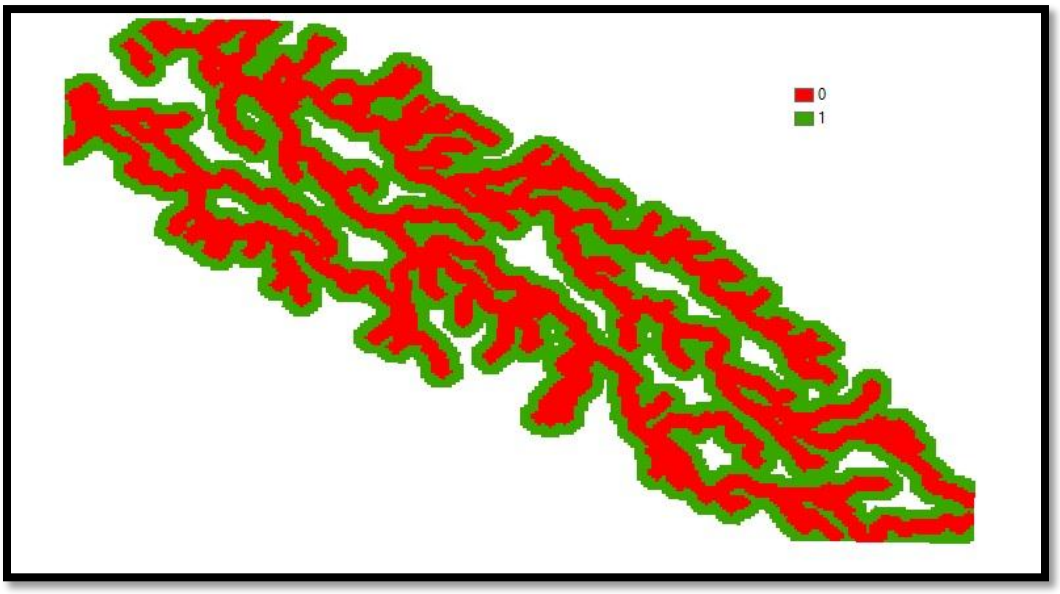
Fuente: Elaboración propia

Nota:

1) La imagen corresponde a la sección del rio Cachapoal en la comuna de Pichidegua.
2) Los drenes de este zonas se clasifican con un minino de orden 1, lo que responde a cauces de quebradas que son activadas por lluvias.
3) El dren de orden 7, el que se muestra de color morado es potencialmente activo dado que su cauce es la suma de todos los aledaños.
4) Se corrobora que el dren de orden 7 es rio Cachapoal cómo la suma de todos sus afluentes próximos de quebradas como zonas alta montaña.

En este caso, se determinó excluir del análisis los drenes sobre orden 7, ya que este representaría al rio Cachapoal. Por otro lado, a través de la aplicación reclassify se contabilizó las coberturas de orden 1, 2, 3, 4, 5 y 6, asumiendo la proximidad con el rio Cachapoal.

Figura n°39: Red hídrica de jerarquía de strahler reclasificada



Fuente: Elaboración propia

Nota:

1) Los cauces fluviales del área de estudio han sido clasificados en dos grupos de acuerdo a su restricción.
2) La distancia restrictiva será de 500 metros donde las zonas de color rojo no serán aptas y las de color verde sí.

Para la obtención de los resultados en una cobertura raster única, se utilizará la herramienta de Raster Calculator de la caja de herramienta de Spatial Analyst tolos del ArcToolbox. Esta aplicación posibilita, a través del ingreso de las coberturas una multiplicación de valores para calcular las áreas obtenidas en función de sus aptitudes. La información ingresada se ordena de la siguiente forma:

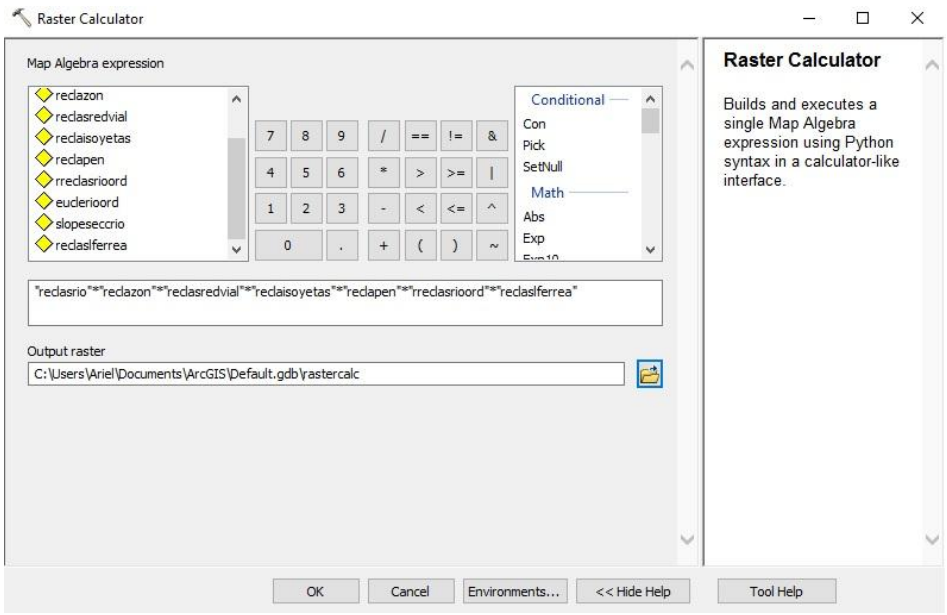
Tabla n°12: Resumen de coberturas ingresadas al raster calculator

Cobertura	Indicación
Linea Ferrea	Prohibición de elementos de actividades productivas
Red Hídrica_Orden	No aplica a afluentes de orden 7.
Isoyetas	Las isoyetas deben estar a más de 500 metros de distancias del rio Cachapoal, tomando en consideración periodo crítico.
Zonas Urbanas	Las zonas urbanas no deben estar a más de 3000 metros de distancias del rio Cachapoal.
Rio_Cachapoal	Los elementos más próximos al rio no deben encontrarse más allá de 5000 metros.
Pendientes	Se excluyen las pendientes sobre 35 grados.

Fuente: Elaboración propia

El ingreso de los resultados en el raster calculator se aplica a la forma que indica la figura n°40, donde se considera al operador matemático para la multiplicación de cada variable.

Figura n°40: Proceso Raster Calculator



Fuente: Elaboración propia

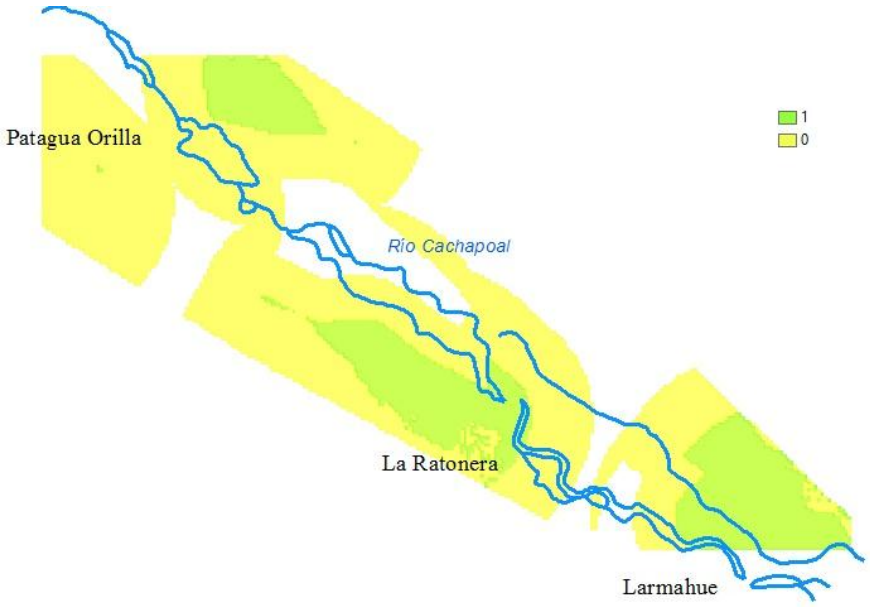
Nota:

1) La herramienta Raster Calculator propone la multiplicación de cada variable analizada para el resultado final. .

El resultado del análisis en el raster Calculator nos provee una capa única de raster que nos determina las áreas aptas para hacer frente a una inundación. Frente a la necesidad de evaluar las variables antrópicas como físicas, resulta un énfasis de la investigación este análisis de riesgo, producto del impacto producido por ella, en función del grado de vulnerabilidad presente en cada una de las variables.

4.4. Evaluación del riesgo de inudaciòn

Figura n°41: Resultados sectores más vulnerables frente a una inundación



Fuente: Elaboración propia

Nota:

1) La figura muestra una representación de zonas aptas y no aptas frente a una inundación.
2) Se corrobora que los elementos del ambiente físico natural determinan una mayor exposición al riesgo (color amarillo).
3) Las zonas aptas para prevenir una inundación está dado por las condiciones favorables que se presetan en el radio urbano.

El resultado de los datos vectoriales y raster nos ha permitido entender cómo las transformaciones que han sufrido las riberas del rio Cachapoal por actividades antrópicas han incidido en una alteración de sus suelos, lo que repercute en amplias zonas no aptas fuera del radio urbano. Sin duda, el análisis de Euclean Distance establece áreas donde se encuentran las condiciones más optimas para realizar actividades antrópicas, pero a la vez los impactos que hoy conlleva una crecida tiene resultados adversos los que han sido visualizados en la figura n°41.

Establecer zonas más idóneas frente a una inundación, es el insumo principal para determinar medidas para evaluar e interpretar los elementos que inciden sobre Pichidegua ante escenarios adversos de inundación. Por un lado, la identificación de zonas aptas y no aptas, colabora en determinar los factores adyacentes que inciden sobre la inundación, identificándolos y corroborando los elementos que inciden más en la vulnerabilidad de las actividades antrópicas.

Frente a los eventos Hidrometorologicos que han desencadenado grandes precipitaciones, se han comparado los datos estadísticos tanto de la tendencia de precipitaciones (1985-2015) y el periodo de retorno del río Cachapoal (1983-2015).

Los resultados visualizados en la figuras n°22 y n°31, expresan una disminución paulatina de la precipitación desde el año 2002 al 2015, estableciendo un promedio bajo los 450 milimetros. Frente a esta disminución, resulta interesante comparar los resultados con índices de comportamientos hídricos, donde se obtiene que el fenómeno de precipitación es aislado o se relaciona con la baja sostenida de la pluviometría.

El análisis de crecidas para la comuna de Pichidegua ha vinculado una relación entre la variable de precipitación y el volumen de caudal que transporta el rio Cachapoal. Las características que permiten una relación entre la precipitaciones y las crecidas, es la observación de la baja sostenida de las precipitaciones desde el año 2002 a la fecha, lo que ha incidido que el periodo de retorno del caudal sea a 100 años sea bajo lo normal.

La tendencia pluviométrica observada en la figura n°22, demuestra una baja sostenida, pero presta atención los máximos visualizados en los años 1987, 1992, 1997 y 2002, indicando que tales periodos son atribuidos a fenómenos del niño expresados en Chile según la Dirección Meteorológica de Chile.

Figura n°42: Fenómeno del Niño en Chile

INICIO	FIN
Julio, 1951	Enero, 1952
Marzo, 1957	Julio, 1958
Junio, 1963	Febrero, 1964
Mayo, 1965	Mayo, 1966
Octubre, 1968	Junio, 1969
Agosto, 1969	Febrero, 1970
Abril, 1972	Abril, 1973
Agosto, 1976	Marzo, 1977
Agosto, 1977	Febrero, 1978
Abril, 1982	Julio, 1983
Julio, 1986	Marzo, 1988
Abril, 1991	Julio, 1992
Febrero, 1993	Agosto, 1993
Marzo, 1994	Abril, 1995
Abril, 1997	Mayo, 1998
Abril, 2002	Abril, 2003
Junio, 2004	Marzo, 2005
Agosto, 2006	Febrero, 2007
Julio, 2009	Marzo, 2010
Septiembre, 2014 /1	Vigente

Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)

Nota:

1) El color verde muestra que para el año 1986 - 1988 se expresó el fenómeno del niño con intensas lluvias, lo que visualiza una relación con la caracterización pluviométrica observada en 1987 como un año de alta precipitaciones.
2) El color piel muestra que para el año 1991 - 1992 se expresó el fenómeno del niño con intensas lluvias, lo que visualiza una relación con la caracterización pluviométrica observada en 1992 como un año de alta precipitaciones.
3) El color naranjo muestra que para el año 1997 - 1998 se expresó el fenómeno del niño con intensas lluvias, lo que visualiza una relación con la caracterización pluviométrica observada en 1997 como un año de alta precipitaciones.
4) El color celeste muestra que para el año 2002 - 2003 se expresó el fenómeno del niño con intensas lluvias, lo que visualiza una relación con la caracterización pluviométrica observada en 2002 como un año de alta precipitaciones.

El fenómeno del niño referido a un calentamiento de las aguas superficiales del Océano Pacifico del que se provee la humedad necesaria para la atmosfera y formación de vapor de agua que desencadenan en lluvias sobre el continente, se convierte cómo el fenómenos meteorológico en donde la precipitación se incrementan sobre la media. La caracterización

pluviométrica analizada para la comuna de Pichidegua entre 1985 – 2015, comprueba una relación entre los picos máximos de lluvias y los periodos de fenómenos del niño.

Por otro lado, la obtención del periodo de retorno del río Cachapoal tomando en consideración los datos disponibles de 1983 – 2015 de la estación Doñihue, se constituyen cómo esencial para determinar la probabilidad de eventos superiores a cierta cantidad de años. La media aritmética del caudal del rio Cachapoal es de 10.78, pero la probabilidad a 100 años de un evento de intensidad mayor es de 23.44. Tomando en consideración el análisis llevado a cabo por la investigación, el resultado determina que la baja sostenida de la precipitación en 30 años incide directamente en la disminución del caudal y en los periodos de retorno, lo que se agrega que para periodos del fenómeno del niño, el cauce del rio Cachapoal sí presentará crecidas.

Asimismo, las características orográficas de la comuna han incidido a la existencia de áreas no aptas frente a crecidas del río Cachapoal, esto producto de la existencia de cauces y quebradas que nace del cordón montañoso de Pichidegua y desembocan en áreas urbanizadas próximas al rio.

La representación de las quebradas resulta una amenaza para las actividades productivas, localizadas de manera espontánea en los caminos y riberas del rio Cachapoal, debido a que estos lugares son vulnerables por la proximidad a los cauces y son potencialmente destructivos a la infraestructura materializada. También se presta atención a las actividades urbanas y de cultivos localizadas de manera espontanea en la ribera del rio Cachapoal, dado que están más expuesto a crecidas del rio Cachapoal y que las consecuencias estarían fundadas en la localización en zonas de riesgos.

Sin duda alguna las obras de mitigación se convierten como claves en las oportunidades para una planificación territorial con mayor prevención de los espacios habitados por los ciudadanos. Tomando en consideración la normativa que se encuentra vigente, la Política Nacional de Reducción de Riesgo contra Desastre, establece cincos ejes estratégicos que abordan la reducción del riesgo entre instituciones públicas y privadas.

El resultado, llevado por la Oficina Nacional de Emergencia, es el trabajo de cincos ejes estratégicos, pero para fines de nuestra investigación se abordaran solo dos; La Capacidad para mantener la infraestructura y la disminución de factores adyacentes al riesgo.

El primer eje estratégico abordado, la Capacidad de Mantener la Infraestructura, indica que las instituciones que analizan datos inherentes al área física, deben evaluar, estudiar y aplicar programas que provean el mantener la Infraestructura Nacional ante caso de Desastre. Frente a ello, nace por parte de la investigación relevar el manejo y la evaluación que deban realizar tales instituciones sobre el modelamiento de los datos hidrometorologicos para prevenir y evaluar situaciones de riesgo en Pichidegua. Prevenir y capacitar los profesionales del área, permite incrementar el conocimiento sobre los elementos que inciden sobre el riesgo, viabilizando las oportunidades que se pueden llevar a cabo sobre la ocupación espontanea de riberas o zonas donde afectaría una crecida del rio Cachapoal.

En segundo lugar se encuentra el eje estratégico de Reducción de Factores Adyacentes al riesgo, en que sus lineamientos proponen que la disminución sea multidimensional y considerando elementos naturales, económicos y sociales del territorio. Sin duda, la posibilidad de proveer conocimiento y herramienta para las diferentes instituciones encargadas de abordar el eje estratégico, permitirá proponer soluciones que vayan en respuesta a la localización e inclusión de habitantes en zonas de riesgo. Asimismo, obras de mitigación que aborden el problema de proximidad con el rio Cachapoal, es la oportunidad de llevar a cabo corredores que funciones como amortiguadores, dado que la intervención de las riberas se convierte como espacios de amenazas frente a una crecida.

Incidir en las políticas públicas a través de la normativa del riesgo, se convierte en un hecho de la causa que proporciona elementos para la planificación territorial, tomando en consideración los datos proporciones a través de la corroboración de datos hidrometorologicos, Teniendo en consideración las consecuencias de las crecidas, nace como propósito relevar la relación de fenómenos del niño con las crecidas y sus consecuencias en los diferentes ámbitos analizados. Dada su relevancia, conocer, evaluar y proponer elementos serán oportunidades para la planificación territorial y las diferentes políticas publicas para salvaguardar a los habitantes de la comuna de Pichidegua y reducir los factores multidimensionales del riesgo.

5.0 Conclusiones

Entender la dinámica de los cursos fluviales ha sido un elemento central en nuestra investigación, dado que existe una relación de dependencia entre el uso del agua y las actividades antrópicas de la comuna. Por un lado, la localización espontanea de actividades ha permitido la exposición de vulnerabilidad y de amenaza constante frente a inundaciones. Asimismo, el análisis de precipitación y caudal, elemento que corroboran que la baja de las lluvias inciden directamente en los eventos de crecidas a largo plazo.

Sin duda el proveer de información, analizar y contextualizar de acuerdo a la realidad local, permite conocer los eventos físicos naturales y sociales que inciden en las consecuencias del riesgo de inundación. Así, nuestra investigación propuso conocer los elementos ambientales, economcios y sociales que eran incidentes en las actividades de la comuna, del cual se identificarón las principales prácticas de desarrollo.

Sim embargo, el resultado de la investigación debe ser perfeccionado a futuro por investigadores multidiciplinares que nutran de conocimiento y abastezcan los análisis al riesgo de inundación de la comuna de Pichidegua.

Teniendo en consideración los aspectos centrales de nuestro territorio, podemos revelar que su construcción es a través de múltiples factores, los cuales organizan, construyen y transforman el espacio.

Una manera de comprender el análisis es entender de qué manera vinculamos todos los actores, potenciando cada uno de sus espacios, lo que significa interpretar diferentes visiones sobre el riesgo de inundación a que están expuestos.

Este trabajo de investigación “riesgo de inundación por el rio Cachapoal” más la entrega detalla de cartografía analíticas donde se ve la amenaza a las actividades antrópicas, está orientado a todas las personas que analizan e intervienen el territorio para diferentes proyectos de planificación.

Una vinculación de todos sus actores, resultará esencial para evitar problemas con las diferentes crecidas del rio Cachapoal, ya que el estudio de los elementos espaciales próximos al cauce, pueden resultar positivo para llevar a cabo una intervención sin mayores problemas.

Se deja como propuesta para todos los profesionales, una visión integradora, la cual incluye los diversos actores del territorio, porque considerando aquello estaremos en vías de un futuro con mayor empoderamiento del riesgo y equidad en el conocimiento de nuestro espacio, para

observar los diferentes fenómenos naturales y antrópicos que inciden en las transformaciones de nuestro territorio.

6.0 Referencia bibliográfica

Agropecuario, V. C. (2007). VII Censo Agropecuario y Forestal. *Instituto Nacional de Estadística, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias y Ministerio de Agricultura, Chile*.

Aigneren Aburto, J. M. (2008). *Diseños cuantitativos: análisis e interpretación de la información*. Universidad de Antioquia.

Alexander D. (2000). Confronting catastrophe. New York, NY: Oxford University Press

Alvarado, G., & Moya, C. (2007). División político-administrativa y censal, 2007. *Instituto Nacional de Estadística INE Chile*.

Arenas, F., Lagos, M., & Hidalgo, R. (2010). *Los riesgos naturales en la planificación territorial*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro de Políticas Públicas UC. Santiago, Chile.

Ayram, C., Andrés, C., Mendoza, M. E., & López Granados, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de geografía Norte Grande*, (59), 7-23. Chile.

Babinger, F. (2010). Ocupación antrópica de espacios en riesgo: urbanizaciones crecientes e inundaciones recurrentes en Rincón de la Victoria (Málaga)/Human occupation of areas at risk: growing urbanization and repeated flooding in Rincón de la Victoria (Málaga). *Observatorio Medioambiental*, *13*, 203. España.

Balica SF. (2012). Applying the Flood Vulnerability Index as a knowledge base for flood risk assessment. Delft: Delft University of Technology and Academic Board of the UNESCO-IHE

Ballestero, E., & Cohen, D. (1998). Metodología multicriterio en las decisiones empresariales. *Dirección y Organización*, (19).

Bonachea Pico, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Tesis doctoral, inédito. España.

Borgel, R. (1983). Geografía de Chile, Tomo II: Geomorfología. *Instituto Geográfico Militar. Santiago,* Chile.

Brüggen, M. J. (1950). Fundamentos de la Geología de Chile. *Instituto Geográfico Militar.* Chile.

Capel, H. (2010). Francisco Calvo García-Tornel: Los riesgos de la geografía y la geografía de los riesgos. *Papeles de Geografía*, (51-52), 11-22. España.

Castro, A., & Errazuriz, A. M. (1992). Indicadores de población y vivienda para la confección de un atlas urbano de las capitales regionales de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, *19*, 35-45. Chile.

Christofoletti, A. G. (1980). Editora: Edgard Blücher. *São Paulo, 2º edição*. Brasil.

CRED. Data-Base [http://www.emdat.be/database].

Errázuriz, A. M., González, J. I., Henríquez, M., Cereceda, P., González, M., &Rioseco, R. (1998). Manual de Geografía de Chile, 3a Edición actualizada. *Editorial Andrés Bello. Santiago*.

Fernandez, P., Mourato, S., & Moreira, M. (2016). Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *7*(4), 1367-1389.

García-Tornel, F. C. (1984). La geografía de los riesgos. *Geo Crítica: cuadernos críticos de geografía humana*.

García-Tornel, F. C. (2001). Sociedades y territorios en riesgo. Ediciones del Serbal.

Garnica Peña, R. J., & Alcántara Ayala, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas*, (55), 23-45. México

Gómez, G. M., Ruiz, J. F. H., Santiago, M. Á. C., Bonifaz, D. M. D., & Pérez, A. V. (2008). Vulnerabilidad y riesgo por inundación en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Estudios demográficos y urbanos*, 83-122.

Gouldby B, Samuels P (2005) Language of risk—project definitions. Floodsite Project Report T32-04-01 IKSR (International Commision for the Protection of the Rhine)

Gutiérrez Elorza, M. (2008). Geomorfología. Pearson Prentice Hall. *Madrid, España.*

Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana: ¿El desastre nace o se hace?. *Revista de Geografía Norte Grande*, (47), 45-62.

Hernández, P. M., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación científica*. 9 de Octubre.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. *México*.

Herrero, A. D., Fernández, G. B., & Revilla, J. G. (2010). El riesgo de inundaciones en la provincia de Toledo.

Kubal, C., Haase, D., Meyer, V., & Scheuer, S. (2009). Integrated urban flood risk assessment–adapting a multicriteria approach to a city. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *9*(6), 1881-1895

López, N., & Sandoval, I. (2006). Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa. *Sistema Virtual de Biblioteca de la Universidad de Guadalajara. Recuperado de http://mail. udgvirtual. udg. mx/biblioteca/handle/20050101/1103*.

Malczewski J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. New York, NY: John Wiley & Sons Inc.

Malczewski J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. Int J Geographical Inf Sci. 20:703726.

Malczewski J. (1999) SIG y multicriteria decision analysis. John Wiley and Sons; Nueva York, NY, EE.UU

Mardones, M., & Vargas, J. (2005). Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja (Chile centro-sur). *Revista de Geografía Norte Grande*, *33*(33), 89-102.

Márquez, A. (2000). Algunas tendencias actuales en el espacio rural chileno.*Revista Geografía del Norte Grande*, *37*, 136-149.

Martínez, C., & Cortez, C. (2007). Características hidrográficas y sedimentológicas en el estuario del río Aconcagua, Chile central. *Revista de Geografía Norte Grande*, (37), 63-74.

Melo, E. O., & Fehr, M. (2009). La evolución del uso del suelo y del agua en la cuenca del arroyo Piçarrão (Araguari-MG-Brasil): un estudio de caso. *Revista de Geografía Norte Grande*, (42), 59-69.

Meyer, V., Scheuer, S., & Haase, D. (2009). A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural hazards*, *48*(1), 17-39

Musungu, K., & Motala, S. (2013). Participatory multi-criteria evaluation and GIS: An application in flood risk analysis

Naciones Unidas (1976). Directrices para la prevención de desastres. UNDRO, 3v. Ginebra

Nagata, J. J., & Peterson, V. A. (2013). Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a datos sobre educación: una primera aproximación. *Revista educación y tecnología*, (3), 112-123.

Niemeyer, H., & Cereceda, P. (1984). Hidrografía. Geografía de Chile, Tomo VIII. *Santiago: Instituto Geográfico Militar*.

Olcina Cantos, J. (2002). Riesgos Naturales y ordenación Territorial. En Ayala-Carcedo. F.J. y OLCINA CANTO, J. (Coords.) Riesgos Naturales, Barcelona, Ed. Ariel pp 1235-1307. España.

OLCINA CANTOS, J. (2004): Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 49-84

Olivares, R. B. (1983). Mapa geomorfológico. *Instituto Geográfico Militar de Chile.*

OMM/UNESCO, (1974), "Glosario hidrológico internacional", WMO/OMM/BMO, No. 385, Secretaría dela Organización Meteorológica Mundial, Suiza.

Ortiz, M. A. (1979), "Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del río Grande de Santiago, Nayarit", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 9, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 65-92.

Ortlieb, L. (1994). Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos ENOS en los siglos XVI-XIX. *Revista Chilena De Historia Natural*, *67*(3), 117-139.

PLADECO (2010). Ilustre Municipalidad de Pichidegua.

Poblete, M. A. M. (1999). El ordenamiento territorial de los espacios rurales en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, *26*(113), 118.

Prawiranegara, M. (2014). Spatial Multi-criteria Analysis (SMCA) for Basin-wide Flood Risk Assessment as a Tool in Improving Spatial Planning and Urban Resilience Policy Making: A

Case Study of Marikina River Basin, Metro Manila–Philippines. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *135*, 18-24

Prieto, F., & Andrés, C. (2011). *Desarrollo de un modelo basado en análisis espacial multicriterio para la determinación de unidades de ordenación forestal. Caso departamento del Casanare* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Raaijmakers, R., Krywkow, J., & van der Veen, A. (2008). Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: an exploratory research for hazard mitigation. *Natural hazards*, *46*(3), 307-322.

Ramsar (2008). La Convención de Ramsar sobre los Humedales, *Inundaciones*, 2008, pp. 1-2 [http://www.ramsar.org/wwd/8/cd/wwd2008-a05-sp%20flood.pdf]

Rodríguez, L. M. E., & Sánchez, D. V. (2013). Propuesta conceptual y metodológica para la evaluación del riesgo, pag. X – X. En: Aguilar Robledo y otros (ed) (2013) Ordenamiento Territorial y Participación social: problemas y posibilidades (eds

Ruiz, C. H., & Abarzúa, J. Q. (2015). Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a los usos y coberturas de suelo en la cuenca de Chillán. *Tiempo y Espacio*, (25).

Sánchez, R. (2010). La debilidad de la gestión del riesgo en los centros urbanos: El caso del Área Metropolitana de Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (47), 5-26.

Sandoval Murillo, L. F., & Chacón Serrano, W. (2013). Riesgo de Inundación en el distrito de Cauhita, Talamanca y la percepción de la población a estos eventos para la determinación de algunas medidas preventivas.

Sinoga, J. D. R., & Peralta, F. J. R. (2005). Geografía física aplicada. *Universidad de Málaga (UMA)*.

Soto Bäuerle, M. V., Arriagada González, J., Castro Correa, C. P., Maerker, M., &Rodolfi, G. (2011). Relación entre el cambio de uso del suelo en la cuenca del Aconcagua y su litoral arenoso correlativo: Chile central. *Revista de geografía Norte Grande*, (50), 187-202.

Source Meyer, V., Priest. S. & Kuhlicke, C. (2012) Economic evaluation of structural and nonstructural flood risk management measures: examples from the Mulde River. Natural Hazards. 62:301-324. Doi: 10.1007/s11069-011- 9997-z.

Strahler, A. N., &Strahler, A. H. (1991). Geografía física. *Estudios Geográficos*, *52*(202), 187.

Thornbury, W. D., Rampa, A. C., & Turner, J. C. A. (1966). Principios de geomorfología. Buenos Aires: Kapelusz.

Van Gelder, P., Duckstein, L., & Parent, E. (2004). A Multicriteria Approach to Risk Analysis. In *Probabilistic Safety Assessment and Management* (pp. 1943-1949). Springer London

Vergara Tenorio, M., Ellis, E. A., Aguilar, C., Antonio, J., Alarcón Sánchez, L. D. C., & Galván del Moral, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y cultura*, (36), 45-69.

Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water resources management*, *25*

Capítulo 6

Anexo - Encuestas

Sector Larmahue

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (ELEMENTOS DE DEFENSAS O ESPIGÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan restos de estructuras dañadas aledañas al cauce? SÍ (NO)

Observaciones:

¿Quedan restos de la estructura en las orillas? (SÍ) NO

Observaciones: Poco material acumulado

¿Se observan procesos de erosión lateral o descalces producto del daño a las estructuras? SÍ (NO)

Observaciones: En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión

¿Se observan procesos de deposición lateral SÍ (NO)

en las estructuras?

Observaciones:	
¿Se observa incisión en el cauce?	SÍ (circled) NO
Observaciones: Se observa en la ribera sur, donde el material se ha ido erosionando cada vez más	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada
En caso que se registre incisión; ¿Se observa bajo los pilares del puente?	SÍ NO (circled)
Observaciones:	
En caso que se registre incisión; ¿Se observa en zonas aptas para la erosión?	SÍ (circled) NO
Observaciones: Zonas que se han localizado en la ribera sur, debido a que el cauce se localiza por el norte.	
¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras tras la crecida del cauce?	SÍ (circled) NO

Observaciones: Se observa en la ribera sur la creación de un espigón artesanal y una limpieza de la ribera

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (CRECIDAS RECIENTES DEL CAUCE)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan daños o marcas en los arboles debido a una crecida? (SÍ) NO

Observaciones: Producto de crecidas, se obtiene marcas en los tallos a 1,5 metros aprox.

¿Se observan adhesión de sedimentos finos a las maderas? (SÍ) NO

Observaciones: Se observa arena en las ramas y tallos de la vegetación próxima a la ribera

¿Se observa material localizado en la ribera? SÍ (NO)

Observaciones: Se observa poco material, solo ramas acumuladas por el cauce

Sí se encuentra madera ¿Se observa que está atrapada en la propia vegetación? SÍ (NO)

Observaciones: En este sector del río no se puede localizar madera atrapada en la vegetación.

En caso de que se pueda cuantificar, cm o m del lugar del cauce

¿Se han efectuados intervenciones al sector para remover los objetos transportador por la crecida?	SÍ	NO

Observaciones:	Sí, se han efectuadas intervención, es poco el material en la ribera.

¿Se observa la presencia de bankfull en las riberas del cauce?	SÍ	NO

Observaciones: Sí, se localiza en la ribera sur a unos 30 metros del actual curso del río Cachapoal	En caso de que se pueda cuantificar, Cuantos cm o m sobre la superficie

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo| Pichidegua**	
Fecha de la visita al campo	24 de setiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan cambios en las estructuras de la sedimentación o de sedimentos que no correspondan a los localizados aguas arribas o aguas abajo? (SÍ) NO

Observaciones:
Sí, se localiza en la ribera sur el sedimento que no corresponde, este ha ido modificando la estructura y la altura

¿Se observa una correcta estructura de sedimentos en las riberas? SÍ (NO)

Observaciones:
No, porque los sedimentos localizados no corresponde a la estructura del lugar.

¿Se observa acumulación de material desde otras zonas en la ribera? (SÍ) NO

Observaciones:
Sí, especialmente aguas arribas en el limite del sector se visualiza acumulación de material.

En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión

¿Se observan procesos de erosión O descalces de las riberas? SÍ (NO)

Observaciones:
Solamente en la ribera norte del río Cachapoal

En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión

Sí se observa erosión ¿esta tiene un proceso acelerado sobre la ribera?	SÍ NO
Observaciones: No es acelerado, ya que una gran parte de la ribera sur concentra el material sedimentario	En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión
¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras de acumulación o de erosión tras la crecida del cauce?	SÍ NO
Observaciones: Se ha realizado un espigón artesanal que ha alterado la erosión del cauce	

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (VEGETACIÓN RIBEREÑA)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se ha alterado la morfología de la zona?	(SÍ)	NO
Observaciones: Sí, se visualiza contraste de alturas y de material acumulado como transportado	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada	
¿Se ha visto afectada la vegetación debido a la crecida?	(SÍ)	NO
Observaciones: Sí, no se visualiza vegetación sobre la ribera	Superficie aproximada	
¿Aparece vegetación colonizadora en el talud afectado de la ribera?	(SÍ)	NO
Observaciones: Sí, esta se encuentra próxima a arboles que están sobre la ribera	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha consistido?	
¿Hay especies muertas acumuladas en la ribera? ,	SÍ	(NO)
Observaciones: Muy pocas especies, ya que se constata que fueron removidas del lugar	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado	
¿Se observa una mejora de la estructura ribereña	(SÍ)	

con la aparición de nuevos estratos (herbáceo, subarbustivo, arbustivo o arbóreo)?		NO

Observaciones:	Establece los márgenes de la ribera con las actividades aledañas como lo son los campos de cultivos

¿Se han reacondicionado las zonas que han sufrido daños por las crecidas?	SÍ	NO

Observaciones	Sí, se ha realizado limpieza y han hecho un espigón artesanal.

FICHA DE INDICADOR ECONOMICO DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan extracción de áridos en el sector?	SÍ (NO)	
Observaciones:		En caso de que se pueda cuantificar, Número aproximado.
¿Se ha alterado la morfología de la zona?	SÍ (NO)	
Observaciones:		Superficie aproximada
¿Se observa una rebaja en el terreno de la ribera ocupado por extracción de áridos?	SI (NO)	
Observaciones:		En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado
¿Se observan cultivos aledaños a las riberas?	(SÍ) NO	
Observaciones: Sí, extensos campos tras la ribera sur		En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado

¿Se observa expansión de cultivos sobre la ribera? SÍ

NO

Observaciones:

Sí, ya que el espigón creado está localizado más al interior que en el límite de la ribera

¿Se observan zonas de talas en la ribera?

SÍ, NO

En el sector no se evidencian talas

Observaciones

FICHA DE INIDCADOR SOCIAL DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observa infraestructura urbana? SÍ (NO)	
Observaciones: 3 casas localizadas en los campos de cultivos	En caso de que se pueda cuantificar,
¿Se observan hogares próximos a la ribera? SÍ (NO)	
Observaciones: Sí, a unos 100 metros aprox.	Superficie aproximada
¿Se observa infraestructura en zona inundable? SI (NO)	
Observaciones: No	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha consistido?
¿Se observan vías de comunicación con el valle? SÍ (NO)	
Observaciones: Las vías de comunicación cruzan en los otros sectores	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado

¿Se observa presencia informal de habitantes en la ribera?

SÍ

NO

Observaciones:

En la realización de esta observaciones de campos, no

¿Se observa expansión urbana sobre la ribera?

SÍ,

NO

Las casas residenciales y los talleres están próximos a las riberas

Observaciones

- **Sector La Ratonera**

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (ELEMENTOS DE DEFENSAS O ESPIGÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola / Residencial
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan restos de estructuras dañadas aledañas al cauce?	SÍ	NO
Observaciones:		
¿Quedan restos de la estructura en las orillas?	SÍ	NO
Observaciones: Sí, árboles, arbustos y ramas que se han ido desprendiendo de la ribera		
¿Se observan procesos de erosión lateral o descalces producto del daño a las estructuras?	SÍ	NO
Observaciones: Sí, afecta principalmente a la vegetación sobre la ribera	En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión	
¿Se observan procesos de deposición lateral en las estructuras?	SÍ	NO
Observaciones: Sí, arena en las laderas de la ribera y en la parte superior de ellas		

¿Se observa incisión en el cauce?	SÍ	NO

Observaciones: Se observa en la ribera sur, donde el material se ha ido erosionando cada vez más hacia al río desprendiendo la vegetación	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada

En caso que se registre incisión; ¿Se observa bajo los pilares del puente?	SÍ	NO

Observaciones: Sí, se localiza un erosión lineal al material arenoso y arbustivo localizado ahí después de la crecida	

En caso que se registre incisión; ¿Se observa en zonas aptas para la erosión?	SÍ	NO

Observaciones: Sí, pero estas se encuentran condicionadas a la altura de la ribera sur.	

¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras tras la crecida del cauce?	SÍ	NO

Observaciones: Se observa en la ribera sur la creación de un canal que modifica la morfología de la ribera

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (CRECIDAS RECIENTES DEL CAUCE)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola / Residencial
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan daños o marcas en los arboles debido a una crecida? (SÍ) NO

Observaciones: Producto de crecidas, se obtiene marcas en los tallos a 1,5 metros aprox, también hay arboles desprendidos de la riberas

¿Se observan adhesión de sedimentos finos a las maderas? (SÍ) NO

Observaciones: Se observa arena en las ramas y tallos de la vegetación próxima a la ribera

¿Se observa material localizado en la ribera? (SÍ) NO

Observaciones: Se observa harto material, el cual se encuentra desprendido o en fase de erosión a través de agentes cómo el viento y la gravedad

Sí se encuentra madera ¿Se observa que está atrapada en la propia vegetación? (SÍ) NO

Observaciones: En este sector del río se puede madera atrapada a la vegetación y a las laderas de la ribera

En caso de que se pueda cuantificar,

cm o m del lugar del cauce

¿Se han efectuados intervenciones al sector para remover los objetos transportador por la crecida?	SÍ NO

Observaciones:	No, no se han efectuado intervenciones para remover los objetos

¿Se observa la presencia de bankfull en las riberas del cauce?	SÍ NO
Observaciones: No, ya que la pendiente de 10° de inclinación establece próxima al relieve orográfico no la establecen	En caso de que se pueda cuantificar, Cuantos cm o m sobre la superficie

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo| Pichidegua**	
Fecha de la visita al campo	24 de setiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal Agrícola / Residencial		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan cambios en las estructuras de la sedimentación o de sedimentos que no correspondan a los localizados aguas arribas o aguas abajo?	(SÍ)	NO

Observaciones:

Sí, se localiza en la ribera sur el sedimento que no corresponde, tanto material detrítico cómo vegetación transportada

¿Se observa una correcta estructura de sedimentos en las riberas?	SÍ	(NO)

Observaciones:

No, porque los sedimentos localizados no corresponde a la estructura del lugar.

¿Se observa acumulación de material desde otras zonas en la ribera?

SÍ (X) NO

Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar,
Sí, especialmente aguas arribas y abajo, donde el límite del sector posee material dada la poca inclinación de sus riberas	cm o m de erosión

¿Se observan procesos de erosión O descalces de las riberas?

SÍ (X) NO

Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar,
Sí, dado que el cauce pasa cercano a la ribera sur	cm o m de erosión

Sí se observa erosión ¿esta tiene un proceso acelerado sobre la ribera?

SÍ (X) NO

Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar,
Sí, es acelerado dada la fractura, la pendiente y la gravedad, posibilitan una fuerte erosión	cm o m de erosión

¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras de acumulación o de erosión tras la crecida del cauce?

SÍ NO (X)

Observaciones:

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (VEGETACIÓN RIBEREÑA)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Residencial
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se ha alterado la morfología de la zona?	SÍ NO
Observaciones: Sí, se visualiza contraste de alturas y de material acumulado como transportado entre la ribera sur y norte	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada
¿Se ha visto afectada la vegetación debido a la crecida?	SÍ NO
Observaciones: Sí, ya que esta ha sido desprendida de sus zonas	Superficie aproximada
¿Aparece vegetación colonizadora en el talud afectado de la ribera?	SI NO
Observaciones: Sí, pero solo en pequeñas secciones de las riberas con mayor altura	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha consistido?
¿Hay especies muertas acumuladas en la ribera? ,	SÍ NO
Observaciones: Sí, esta se encuentra a lo largo de la ribera	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado
¿Se observa una mejora de la estructura ribereña con la aparición de nuevos estratos (herbáceo, subarbustivo, arbustivo o arbóreo)?	SÍ NO
Observaciones: No, dado que la inclinación y la activa erosión fluvial, acelera el proceso de transporte de tales materiales	
¿Se han reacondicionado las zonas que han sufrido daños por las crecidas?	SÍ NO

No

Observaciones

FICHA DE INDICADOR ECONOMICO DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Residencial
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan extracción de áridos en el sector?	SÍ	(NO)
Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar, Número aproximado.	
¿Se ha alterado la morfología de la zona?	SÍ	(NO)
Observaciones:	Superficie aproximada	
¿Se observa una rebaja en el terreno de la ribera ocupado por extracción de áridos?	SI (NO)	
Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado	
¿Se observan cultivos aledaños a las riberas?	(SÍ) NO	
Observaciones: Sí, estos se encuentran dentro de patios de residencias ubicadas aledañas al rio	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado	
¿Se observa expansión de cultivos sobre la ribera?	(SI) NO	

Observaciones:	Sí, ya que los cultivos han ido ocupando las riberas en distintos periodos

¿Se observan zonas de talas en la ribera?	SÍ,	NO

En el sector no se evidencian talas

Observaciones

FICHA DE INIDCADOR SOCIAL DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Residencial
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observa infraestructura urbana?	SÍ	NO
Observaciones: 10 casas localizadas	En caso de que se pueda cuantificar,	
¿Se observan hogares próximos a la ribera?	SÍ	NO
Observaciones: Sí, a unos 5 metros aprox.	Superficie aproximada	
¿Se observa infraestructura en zona inundable?	SI	NO
Observaciones: Si,	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha	

	consistido?
¿Se observan vías de comunicación con el valle?	Sí NO
Observaciones: EL puente que es la unión entre las Cabras y Pichidegua	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado
¿Se observa presencia informal de habitantes en la ribera?	Sí NO

Observaciones: Solo lo que poseen campos de cultivos en sus residencias

¿Se observa expansión urbana sobre la ribera?	Sí, NO

Las casas residenciales y los campos de cultivos

Observaciones

- **Sector Patagua Orilla**

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (ELEMENTOS DE DEFENSAS O ESPIGÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola / Extracción de aridos
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan restos de estructuras dañadas aledañas al cauce?	SÍ (circled)	NO
Observaciones: Sí, árboles, maquinarias de áridos y campos de cultivos		
¿Quedan restos de la estructura en las orillas?	SÍ (circled)	NO
Observaciones: Sí, árboles, arbustos y ramas quedaron localizados en la ribera producto de las crecidasdel río		
¿Se observan procesos de erosión lateral o descalces producto del daño a las estructuras?	SÍ	NO (circled)
Observaciones: No	En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión	
¿Se observan procesos de deposición lateral en las estructuras?	SÍ (circled)	NO
Observaciones: Sí, arena en las laderas de la ribera y en la parte superior de ellas donde se localiza vegetación.		

¿Se observa incisión en el cauce? SÍ NO

Observaciones: No	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada

En caso que se registre incisión; ¿Se observa bajo los pilares del puente? SÍ NO

Observaciones: No	

En caso que se registre incisión; ¿Se observa en zonas aptas para la erosión? SÍ NO

Observaciones: No	

¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras tras la crecida del cauce? SÍ NO

Ninguna intervención

Observaciones:

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (CRECIDAS RECIENTES DEL CAUCE)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	Agrícola / Extracción de áridos
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan daños o marcas en los arboles debido a una crecida? (SÍ) NO

Observaciones: Producto de crecidas, se obtiene marcas en los tallos a 1,5 metros aprox, también hay arboles que tienen marcas de madera anexadas a ella

¿Se observan adhesión de sedimentos finos a las maderas? (SÍ) NO

Observaciones: Se observa arena en las ramas y tallos de la vegetación próxima a la ribera

¿Se observa material localizado en la ribera? (SÍ) NO

Observaciones: Se observa arena y madera localizada sobre los arboles de las riberas

Sí se encuentra madera ¿Se observa que está atrapada en la propia vegetación? (SÍ) NO

Observaciones: En este sector del río se puede madera atrapada a la vegetación y en las laderas de la ribera

En caso de que se pueda cuantificar,

cm o m del lugar del cauce

¿Se han efectuados intervenciones al sector para remover los objetos transportador por la crecida?	SÍ NO (circled)

Observaciones:	No, no se han efectuado intervenciones para remover los objetos

¿Se observa la presencia de bankfull en las riberas del cauce?	SÍ (circled) NO
Observaciones: Si, pero esta no suoera los dos metros de altura	En caso de que se pueda cuantificar, Cuantos cm o m sobre la superficie

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel / Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo| Pichidegua**	
Fecha de la visita al campo	24 de setiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal Agrícola / Extracción de áridos		
Caudal	Bajo	**Uso del sector**	
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan cambios en las estructuras de la sedimentación o de sedimentos que no correspondan a los localizados aguas arribas o aguas abajo?	SÍ	NO
Observaciones: No		
¿Se observa una correcta estructura de sedimentos en las riberas?	SÍ	NO
Observaciones: No, en esta zona no visualizan sedimentos próximos en la ribera		
¿Se observa acumulación de material desde otras zonas en la ribera?	SÍ	NO
Observaciones: Sí, especialmente por la poca inclinación de sus riberas la arena se encuentra en la vegetación y en las laderas	En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión	
¿Se observan procesos de erosión O descalces de las riberas?	SÍ	NO
Observaciones: No, dado que el cauce pasa cercano a la ribera norte	En caso de que se pueda cuantificar, cm o m de erosión	

Sí se observa erosión ¿esta tiene un proceso acelerado sobre la ribera? SÍ NO

Observaciones:	En caso de que se pueda cuantificar,
No, porque todavía se encuetra material de las últimas crecidas de este año	cm o m de erosión

¿Se han efectuados intervenciones a las estructuras de acumulación o de erosión tras la crecida del cauce? SÍ NO

Observaciones:

FICHA DE INDICADOR AMBIENTAL (VEGETACIÓN RIBEREÑA)

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Extracción de áridos
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se ha alterado la morfología de la zona?	SÍ (circled) NO	
Observaciones: Sí, se visualiza contraste de alturas y de material acumulado como transportado entre la ribera sur y norte	En caso de que se pueda cuantificar, superficie aproximada	
¿Se ha visto afectada la vegetación debido a la crecida?	SÍ (circled) NO	
Observaciones: Sí, ya que esta ha sido alterada en sus zonas	Superficie aproximada	
¿Aparece vegetación colonizadora en el talud afectado de la ribera?	SÍ (circled) NO	
Observaciones: Sí, pero solo en pequeñas secciones de las riberas con mayor altura	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha consistido?	
¿Hay especies muertas acumuladas en la ribera? ,	SÍ (circled) NO	
Observaciones: Sí, esta se encuentra a lo largo de la ribera	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado	
¿Se observa una mejora de la estructura ribereña	SÍ (circled)	

NO

con la aparición de nuevos estratos (herbáceo,

subarbustivo, arbustivo o arbóreo)?

Observaciones:

Sí, dado que la vegetación ha permitido frenar los procesos de aridez y erosión sobre la ribera

¿Se han reacondicionado las zonas que han sufrido daños por las crecidas?	SÍ	NO

No

Observaciones

FICHA DE INDICADOR ECONOMICO DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Extracción de áridos
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observan extracción de áridos en el sector? (SÍ) NO	
Observaciones: Sí, estás se encuentran en las riberas norte y sur	En caso de que se pueda cuantificar, Número aproximado.
¿Se ha alterado la morfología de la zona? (SÍ) NO	
Observaciones: Ha incido en dejar estáticas las alturas y la inclinación	Superficie aproximada
¿Se observa una rebaja en el terreno de la ribera ocupado por extracción de áridos? (SI) NO	
Observaciones: Sí, algo que ha incidido en la altura promedio de las riberas y del grado de inclinación de ellas	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado
¿Se observan cultivos aledaños a las riberas? (SÍ) NO	
Observaciones: Sí, estos se encuentran aledaños a las extracciones de áridos	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado

¿Se observa expansión de cultivos sobre la ribera?	SÍ	NO

Observaciones:

No, ya que esta zona es rodeado por faenas destinadas a los áridos

¿Se observan zonas de talas en la ribera?	SÍ,	NO

En el sector no se evidencian talas

Observaciones

FICHA DE INIDCADOR SOCIAL DE LA RIBERA

Curso fluvial:	Río Cachapoal	**Cuenca/subcuenca**	Rapel/Cachapoal
Coordenadas		**Municipio/localidad/topónimo|** Pichidegua	
Fecha de la visita al campo	24 de septiembre 2016	**Fecha de la actuación**	
Denominación de la actuación	Tesis: Riesgo de Inundación en el río Cachapoal		
Caudal	Bajo	**Uso de la zona**	Agrícola / Extracción de áridos
Entrada de datos realizada por	David Stuardo Pérez		

¿Se observa infraestructura urbana? SÍ (NO)	
Observaciones: No	En caso de que se pueda cuantificar,
¿Se observan hogares próximos a la ribera? SÍ (NO)	
Observaciones: No.	Superficie aproximada
¿Se observa infraestructura en zona inundable? (SI) NO	
Observaciones: Si, especialmente de faenas de áridos	Si se ha realizado actuación, ¿en qué ha consistido?
¿Se observan vías de comunicación con el valle? (SÍ) NO	
Observaciones: EL puente que es la unión entre las Cabras y Pichidegua	En caso de que se pueda cuantificar, superficie o número aproximado

¿Se observa presencia informal de habitantes en la ribera?	SÍ NO

Observaciones:

Trabajadores que se encuentran en las maquiznas de extracción de áridos

¿Se observa expansión urbana sobre la ribera?	SÍ, NO

No

Observaciones

Project: Mayo2002 Simulation Run: Corrida 1
Subbasin: Subbasin-1

Start of Run:	01may2002, 00:00	Basin Model:	Pichidegua
End of Run:	31may2002, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	03oct2016, 21:24:43	Control Specifications:	Control 1

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	1088.3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	25may2002, 00:00
Precipitation Volume:	313.00 (MM)	Direct Runoff Volume:	292.72 (MM)
Loss Volume:	5.83 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	307.17 (MM)	Discharge Volume:	292.72 (MM)

Project: mayo97 Simulation Run: Corrida 1
Subbasin: Subbasin-1

Start of Run:	01may1997, 00:00	Basin Model:	Pichidegua
End of Run:	31may1997, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	03oct2016, 21:58:07	Control Specifications:	Control 1

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	758.6 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17may1997, 00:00
Precipitation Volume:	149.00 (MM)	Direct Runoff Volume:	142.52 (MM)
Loss Volume:	5.74 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	143.26 (MM)	Discharge Volume:	142.52 (MM)

Project: Mayo1992 Simulation Run: Corrida 1
Subbasin: Subbasin-1

Start of Run:	01may1992, 00:00	Basin Model:	Pichidegua
End of Run:	31may1992, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	03oct2016, 22:21:02	Control Specifications:	Control 1

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	1009.2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	05may1992, 00:00
Precipitation Volume:	287.00 (MM)	Direct Runoff Volume:	280.41 (MM)
Loss Volume:	5.82 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	281.18 (MM)	Discharge Volume:	280.41 (MM)

Project: crecida87 Simulation Run: Corrida 1
Subbasin: Subbasin-1

Start of Run:	01may1987, 00:00	Basin Model:	pichidegua
End of Run:	31may1987, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	03oct2016, 23:08:10	Control Specifications:	Control 1

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	602.8 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	29may1987, 00:00
Precipitation Volume:	112.00 (MM)	Direct Runoff Volume:	104.70 (MM)
Loss Volume:	5.69 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	106.31 (MM)	Discharge Volume:	104.70 (MM)

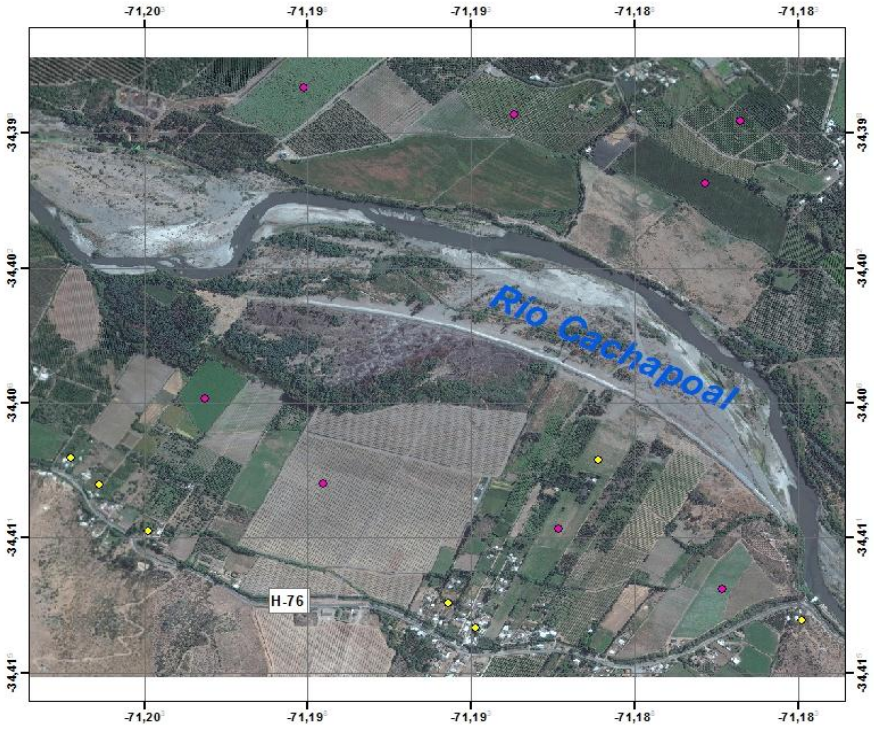
La siguiente tabla se ocupó para calcular la curva Hipsometrica:

Tabla de Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitud.

Numero	Cotas (msnm)				Área (km2)					
	Mínimo	Máximo	Promedio	Área entre curvas	Ocurrencia de Intervalo	% Total	Suma	Acumulado	% Acumulado	Cotas
1	35	459	123,5	5083663000	28	4%	5084	12308921072	100	35
2	460	883	335,75	1588771000	214	28%	1588	7225258072	58,69936146	460
3	884	1308	548	941946000	71	9%	941	5636487072	45,79188573	884
4	1309	1732	760,25	841518500	44	6%	841	4694541072	38,13933849	1309
5	1733	2157	972,5	785734400	50	6%	785	3853022572	31,30268323	1733
6	2158	2581	1184,75	795427000	35	4%	795	3067288172	24,91922853	2158
7	2582	3005	1396,75	818646300	52	7%	818	2271861172	18,45702933	2582
8	3006	3430	1609	761650700	51	7%	761	1453214872	11,80619214	3006
9	3431	3854	1821,25	462237100	81	10%	462	691564172	5,618397973	3431
10	3855	4279	2033,5	184247700	83	11%	184	229327072	1,863096454	3855
11	4280	4703	2245,75	38452660	60	8%	38	45079372	0,366233334	4280
12	4704	5128	2458	6626712	9	1%	6	6626712	0,05383666	5128
				12308921072	778	100%				

Fuente: Elaboración propia

Sector nº1: Larmahue, Comuna de Pichidegua



U.Academia Humanismo Cristiano
Facultad de Ciencias Sociales
Escuela de Geografía

Leyenda:

- Campos Agrícolas
- Zonas Residenciales
- Camino de asfalto
- Camino de ripio

Datos Cartogeograficos
Proyección Universal
Transversal Mercator UTM
Sistema de Referencia
Wgs 1984 Zona 19s

N

0 0,1 0,2 0,4 0,6 Kilómetros

1:15.000

Tesis:
Riesgo por Inundación del Río Cachapoal
Comuna de Pichidegua. Región de O'Higgins. Chile

Autor:
David Stuardo Pérez
Profesor.: Titular / Guía:
Gabriela Raposo Quintana, Daniela Escalona
Ximena Valdés Subercaseaux

Localización: