



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD ANTE
RIESGOS POR INUNDACIÓN MEDIANTE MODELAMIENTO
GEOESPACIAL EN LA SUBCUENCA OCCORURUNI DEL
DISTRITO DE SINA, PROVINCIA DE SAN ANTONIO DE PUTINA,
PUNO - 2019.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS DANNY QUISPE HUANCA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Primeramente, a Dios que me dio la oportunidad de vivir y darme la fuerza necesaria para salir adelante en cada tropiezo.

Con profundo aprecio a mis padres Luis Quispe y Elsa Huanca, por su invaluable paciencia y comprensión y lo importante para mi vida.

A mis hermanos Verónica Quispe y Hermano Luis Miguel Ángel Quispe por el apoyo emocional que me brindaron a diario.

A mis tíos Eleuterio Quispe y Alberto Quispe por sus consejos y apoyo durante este camino.

Luis Danny



AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montañas INAIGEM por haberme permitido ser parte de la expedición científica Apolobamba 2018 y Poder realizar dicha investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura cuyos docentes y cuyas aulas fueron mi centro de aprendizaje y formación profesional.

Al laboratorio de Geomática e Investigación de La Universidad Nacional del Altiplano, por facilitarme los equipos Topográficos para la Presente Tesis.

A Neida Liliana rivera de la unidad de investigación de la facultad de ciencias agrarias, a los miembros de jurado de la Universidad Nacional del Altiplano, por su apoyo y sugerencias en la elaboración y culminación de la presente investigación, al asesor de la presente investigación.

Agradezco a mis amigos Emperatriz Mamani, Henry Ortega, Fredy Hualpa, Yenny Mamani, Wildor Berrio, Claudio Málaga, William Pari, Eloy Perez.

Luis Danny



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades 17

1.2. Formulación del Problema 18

1.3. Objetivos de la Investigación..... 18

1.3.1. Objetivo General 18

1.3.2. Objetivos Específicos 18

1.4. Justificación de la Investigación 19

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN..... 20

2.1.1. Antecedentes Internacionales 20

2.1.2. Antecedentes Nacionales 22

2.1.3. Antecedentes Regionales 24

2.2. MARCO TEÓRICO 26

2.2.1. Campo de Estudio de la Meteorología, la Climatología y la Hidrología 26



2.2.2. Precipitación	31
2.2.3. Medición de la Precipitación Pluviométrica.....	32
2.2.4. Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial	35
2.2.5. Campo de Estudio de la Hidrología.....	38
2.2.6. Gestión de Riesgo de Desastres (GRD).....	48
2.2.7. Desastre	50
2.2.8. Amenaza o Peligro	50
2.2.9. Clasificación de las Amenazas o Peligros	51
2.2.10. Amenazas o Peligros Frecuentes en el Área de Estudio.....	52
2.2.11. Inundaciones en el Área de Estudio	57
2.2.12. Vulnerabilidad	58
2.2.13. Tipos, Variables e Indicadores de Vulnerabilidad	59
2.2.14. Componentes de la Vulnerabilidad de los Sistemas Humanos	67
2.2.15. Riesgo	70
2.2.16. Sistema de Información Geográfica (SIG)	72
2.2.17. Modelos Digitales de Elevaciones y Modelos Digitales del Terreno.....	77
2.2.18. Grillas PISCO.....	79
2.2.19. Modelamiento Geoespacial	80

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	90
3.1.1. Materiales y Equipos para el Trabajo de Campo.....	90
3.1.2. Materiales y Equipos para el Trabajo de Gabinete / Oficina.....	91
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	92
3.2.1. Método, Tipo, Diseño y Nivel de la Investigación.....	92
3.2.2. Población y Muestra	93
3.2.3. Definición de Variables	94



3.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO	94
3.3.1. Trabajo de Campo	94
3.3.2. Trabajo de Gabinete / Oficina	95

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	109
4.1.1. Ubicación del Área de Estudio	109
4.1.2. Acceso y Centros Poblados.	109
4.1.3. Clima	109
4.1.4. Topografía	110
4.1.5. Hidrografía	110
4.1.6. Geología	110
4.1.7. Geomorfología.....	113
4.2. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 1	115
4.2.1. Modelo Digital del Terreno	116
4.2.2. Mapa de Curvas de Nivel (Topografía).....	116
4.2.3. Mapa de Hidrografía.....	117
4.2.4. Fotomosaico y Elementos Geográficos Digitalizados.....	119
4.2.5. Ortofotomosaico de Drone y Elementos Geográficos Digitalizados	120
4.2.6. Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	121
4.2.7. Mapa Geológico	122
4.2.8. Mapa Geomorfológico.....	123
4.2.9. Mapa de Área Afectada por el Fenómeno del Niño Costero 2017.....	124
4.2.10. Mapa de Área Afectada por Periodo de Lluvias del Verano Austral (Invierno Altiplánico 2019).....	125
4.3. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 2	126
4.3.1. Resultados del Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial	126



4.3.2. Resultados del Análisis de Amenazas de Inundaciones	140
4.3.3. Resultados del Análisis de Vulnerabilidades ante Inundaciones	155
4.3.4. Resultados del Análisis de Riesgos de Inundaciones	163
4.4. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 3	166
4.4.1. Análisis de las Políticas de Prevención de Desastres Naturales actuales en el Departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Sina	166
4.4.2. Plan de Respuesta para el Riesgo de Inundaciones	169
4.5. Discusión de Resultados.....	173
V. CONCLUSIONES.....	176
VI. RECOMENDACIONES	177
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178
ANEXOS.....	189

Área: Topografía, Geodesia, Cartografía y Catastro.

Tema: Sistema de Información Geográfica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de octubre 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de Estaciones Meteorológicas.....	27
Figura 2. Esquemade hidrograma de frecuencia mensual.	32
Figura 3. Esquema de hidrograma de frecuencia anual.	32
Figura 4. Esquema de un pluviómetro	33
Figura 5. Esquema de un pluviógrafo.....	34
Figura 6. Esquema de un radar meteorológico	35
Figura 7. Esquema del ciclo hidrológico.	41
Figura 8. Sistema hidrológico global mediante un diagrama de bloques.	42
Figura 9. Componentes de un modelo hidrológico.....	45
Figura 10. modelo hidrológico en WEAP.	45
Figura 11. Modelo de balance hídrico simple.....	47
Figura 12. Diagrama esquemático del balance hídrico en una cuenca.	48
Figura 13. Amenazas de origen natural y antrópico.	52
Figura 14. Presencia lluvias torrenciales en la zona sur de Perú en el 2019.	53
Figura 15. Presencia de nevadas en el área de estudio.	53
Figura 16. Presencia de granizadas en el área de estudio.	54
Figura 17. Elementos de poblaciones expuestas, vulnerables y altamente vulnerables.	60
Figura 18. Factores de Riesgos: amenazas y vulnerabilidades.....	70
Figura 19. Matriz de evaluación de riesgos.	72
Figura 20. Datos e información geoespacial en un sistema de información geográfica (SIG).	73
Figura 21. Componentes de un SIG.....	76
Figura 22. Diferencia entre modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital del terreno (DTM). Fuente: Página web del CDEMA (2019).	77
Figura 23. Distribución espacial de estaciones meteorológicas en el Perú.	80
Figura 24. Modelamiento geoespacial en un SIG.....	82
Figura 25. Superposición de mapas temáticos para análisis multicriterio en un SIG.....	83
Figura 26. Ejemplo de estructura jerárquica del AHP o proceso analítico jerárquico....	85
Figura 27. Ejemplo de escala fundamental de comparación por pares o matriz Saaty... ..	86
Figura 28. Mapa geomorfológico de la subcuenca de Occoruruni.	112
Figura 29. Mapa geomorfológico de la subcuenca de Occoruruni.	114



Figura 30. Modelo digital del terreno (DTM).....	116
Figura 31. Mapa de curvas de nivel (Topografía).	117
Figura 32. Mapa de hidrografía.	118
Figura 33. Fotomosaico y elementos geográficos digitalizados	119
Figura 34. Ortofotomosaico de drone y elementos geográficos digitalizados.....	120
Figura 35. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.	121
Figura 36. Mapa geológico del área de estudio.	122
Figura 37. Mapa geomorfológico del área de estudio.	123
Figura 38. Mapas de área afectada por el fenómeno del niño costero 2017.....	124
Figura 39. Mapas de área afectada por periodo de lluvias del verano austral (Invierno Altiplánico 2019).	125
Figura 40. Gráfico de datos de precipitación anual para las 4 estaciones meteorológicas del área de estudio.....	129
Figura 41. Gráfico de las curvas promedio y mediana de precipitación anual para área de estudio.	130
Figura 42. Gráfico de control estadístico de la calidad de los datos de precipitación. .	132
Figura 43. Esquema de una distribución normalizada de datos.....	133
Figura44. Gráfico de Doble Masa para las 4 estaciones meteorológicas del Área de Estudio.	135
Figura 45. Líneas de Tendencias obtenidas con Microsoft Excel.	139
Figura 46. Mapa de precipitación media anual en el periodo 1981 – 2016.....	149
Figura 47. Mapa de precipitación máxima registrada en el periodo 1981 – 2016(Año 1984).	151
Figura 48. Mapa de amenazas – escenario 1 (EMED): amenaza moderada.....	152
Figura 49. Mapa de amenazas – escenario 2 (E1984): amenaza alta.	154
Figura 50. Mapa de pendientes del terreno.....	156
Figura 51. Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).	158
Figura 52. Mapa de distancia al río Sina - Koriwara.	159
Figura 53. Mapa de distancia al centro poblado de Koriwara.	160
Figura 54. Mapa de vulnerabilidad ponderada por matrices Saaty.....	162
Figura 55. Mapa de riesgos – escenario 1 (EMED).....	163
Figura 56. Mapa de riesgos – escenario 2 (E1984).....	165
Figura 57. Fotografía aérea captada con un drone del centro poblado de Koriwara. ...	166



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Instrumentos de Medición y Parámetros Meteorológicos	29
Tabla 2. Clasificación de las Amenazas o Peligros por su origen	51
Tabla 3. Amenazas o peligros frecuentes en el area de estudio.....	52
Tabla 4. Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad de los Ecosistemas Naturales	61
Tabla 5. Variables e Indicadores de la vulnerabilidad social	63
Tabla 6. Variables e indicadores de la vulnerabilidad económica.....	63
Tabla 7. Variables e indicadores de la vulnerabilidad educativa.....	64
Tabla 8. Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Cultural.....	64
Tabla 9. Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Política e Institucional.....	65
Tabla 10. Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Científica y Tecnológica	66
Tabla 11. Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad de los Sistemas Socio- Ambientales.....	67
Tabla 12. Equipos y herramientas a utilizar	90
Tabla 13. Labores de la brigada de estudio	91
Tabla 14. Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.	92
Tabla 15. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación sina.	199
Tabla 16. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cuyo Cuyo.....	200
Tabla 17. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Ananea.....	201
Tabla 18. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cojata.	202
Tabla 19. Matriz Saaty para el mapa de amenaza – escenario 1: amenaza moderada..	102
Tabla 20. Matriz Saaty para el mapa de amenaza – escenario 2: amenaza alta.....	103
Tabla 21. Matriz Saaty para el mapa de vulnerabilidades ponderada.	106
Tabla 22. Unidades estratigráficas que se reconocen en el área de estudio.....	111
Tabla 23. Sistemas y unidades geomorfológicas que se reconocen en el área de estudio.	113
Tabla 24. Preparación de los datos para el análisis de gráficos de precipitación anual (en mm o l/m ²) para el periodo 1981 – 2016.	128



Tabla 25.Escala de Estratificación de los Valores de Precipitación en el Área de Estudio	133
Tabla 26.Preparación de los datos para el Análisis de Doble Masa.	134
Tabla 27.Preparación de los datos para análisis de tendencias.....	136
Tabla 28.Prueba del estadístico “T” para los datos de las 4 estaciones meteorológicas.	137
Tabla 29.Prueba del estadístico “F” para los datos de las 4 estaciones meteorológicas.	137
Tabla 30.Preparación de los datos para análisis de tendencias.....	138
Tabla 31.Análisis de tendencias para las 4 estaciones meteorológicas	139
Tabla 32.Resultado de la Comparación de las ecuaciones de líneas de tendencia	140
Tabla 33.Reportes de Inundaciones en el Área de Estudio en el Periodo 1984 – 2020	141
Tabla 34.Probabilidad de Ocurrencia de Eventos Desencadenantes de Inundaciones .	142
Tabla 35.Probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvias intensas y muy intensas ...	143
Tabla 36.Estimación del tiempo de retorno para la estación Sina.	145
Tabla 37.Resultados del cotejo entre los valores de precipitaciones y los reportes de inundaciones nacionales y locales.....	147
Tabla 38.Datos de Precipitación de los meses de enero y febrero en los años más lluviosos del periodo 1984 – 2016.	170
Tabla 39.Comparación del coeficiente de correlación “r”.....	174
Tabla 40.Comparación de los parámetros estadísticos “T”	175
Tabla 41.Comparación de los parámetros estadísticos “F”	175



ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Histograma de Precipitación media anual.	150
Gráfico 2. Histograma de precipitación media (año1984).....	151
Gráfico 3 Histograma de amenaza de escenario (EMED).....	153
Gráfico 4 Histograma de Riesgo 1984.....	154
Gráfico 5. Histograma de Pendientes.	157
Gráfico 6. Histograma de índice de vegetación.....	158
Gráfico 7. Histograma de Vulnerabilidad.....	161
Gráfico 8. Histograma de riesgo EMED.....	164
Gráfico 9. Histograma de riesgo E1984.....	165



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Detalle del Punto Geodésico VZNI-2	190
Anexo 2. Detalle de los puntos auxiliares ubicados para el levantamiento fotogramétrico en la Laguna Vizcachani.....	191
Anexo 3. Punto Auxiliar V3 con GPS Diferencial en RTK	192
Anexo 4. Punto Auxiliar V10	193
Anexo 5. Ubicación del Punto de Cambio VS-2 con GPS Diferencial Topcom G-5... 193	
Anexo 6. Punto Auxiliar VS-3.....	194
Anexo 7. Punto Auxiliar Cima de Catarata	195
Anexo 8. Punto Auxiliar Bajo Catarata	196
Anexo 9. Colector de Datos TOPCON FC-500.....	197
Anexo 10. Vista Posterior del colector de datos. TOPCON FC-500.....	197
Anexo 11. Control de Vuelo del DRONE en Nevado Caballune.....	198
Anexo 12. .Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación sina.....	199
Anexo 13. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cuyo Cuyo.....	200
Anexo 14. Datos de precipitación P pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Ananea.....	201
Anexo 15. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cojata.....	202
Anexo 16. Matriz de Consistencia.....	203
Anexo 17. Operacionalización de las Variables	204



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- INAIGEM** : Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- INRENA** : Instituto Nacional de Recursos Naturales.
- ANA** : Autoridad Nacional del Agua.
- GLOF** : Inundación de Desborde Violento de Glaciar.
- DEM** : Modelo de Elevación Digital.
- TIN** : Red de Triangulación Irregular.

UNIDADES DE MEDIDA

- Km** : Kilometro.
- %** : Porcentaje
- Mm** : Milímetro de agua.

ABREVIATURAS TOPOGRÁFICAS

- UAV / DRONE**: Vehículo aéreo no tripulado y controlado por radio-control.
- UTM** : Universal Transversal Mercator.
- GPS** : Sistema de Posicionamiento Global.
- PC** : Punto de Control.
- RTK** : Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real.



RESUMEN

La presente investigación titulada: “Determinación del Nivel de Vulnerabilidad ante Riesgos por Inundación mediante Modelamiento Geoespacial en la Subcuenca Occoruruni del Distrito de Sina, Provincia de San Antonio de Putina, Puno - 2019”, tuvo como objetivo general determinar el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación del poblado de Koriwara en la Subcuenca Occoruruni, mediante la aplicación del modelamiento geoespacial. La investigación se basó en el método analítico-sintético, con un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), el tipo de investigación es aplicada, con un diseño no experimental y transeccional, y con un nivel o alcance descriptivo. La población objeto de estudio estuvo conformada por todas las estaciones climatológicas del SENAMHI, mientras que la muestra seleccionada fue de 4 unidades de análisis: El Procedimiento de Trabajo incluyó una etapa de trabajo de campo y una etapa de trabajo de gabinete / oficina. Los resultados permiten afirmar que se alcanzó el objetivo de determinar el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la Subcuenca Occoruruni mediante el análisis espacial multicriterio en un SIG. Los mayores valores de amenazas se presentan hacia el área noreste (NE). Las zonas que presentan mayor vulnerabilidad (ante amenaza de inundaciones) y mayor riesgo de inundaciones corresponden a las cercanías al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación) y algunas zonas de bajas pendientes en el norte (N), noreste (N) y suroeste (SO). Se logró elaborar una propuesta de 7 alternativas de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten alta vulnerabilidad y riesgo de inundaciones.

Palabras claves: Vulnerabilidad, Sistema de Información Geográfica, Gestión de Riesgo, Geodesia, Hidrología.



ABSTRACT

This research entitled: "Determination of the Level of Vulnerability to Flood Risks by Geospatial Modeling in the Occoruruni Sub-basin of the District of Sina, Province of San Antonio de Putina, Puno - 2019", had as a general objective to determine the level of threat, vulnerability and risk of flooding in the town of Koriwara in the Occoruruni Sub-basin, through the application of geospatial modeling. The research was based on the analytical-synthetic method, with a mixed approach (qualitative-quantitative), the type of research is applied, with a non-experimental and transectional design, and with a descriptive level or scope. The population under study was made up of all the SENAMHI weather stations, while the selected sample consisted of 4 units of analysis: The Work Procedure included a field work stage and a cabinet / office work stage. The results allow us to affirm that the objective of determining the level of threat, vulnerability and risk of floods in the Occoruruni Sub-basin was achieved through the multi-criteria spatial analysis in a GIS. The highest threat values are in the northeast area (NE). The areas that present the greatest vulnerability (to the threat of flooding) and the greatest risk of flooding correspond to the vicinity of the Sina-Koriwara River (floodplains) and some areas with low slopes in the north (N), northeast (N) and southwest (SW). It was possible to elaborate a proposal of 7 prevention alternatives for the areas of the Occoruruni Sub-basin that present high vulnerability and risk of flooding.

Keywords: Vulnerability, Geographic Information System, Risk Management, Geodesy, Hydrology.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Las investigaciones sobre las amenazas, vulnerabilidades y riesgos de inundaciones en el Perú es un tema de mucha importancia en el ámbito de la planificación territorial y la Defensa Civil, debido a que permite estimar y mitigar los riesgos en los poblados aledaños. El Perú es un país predominantemente montañoso, ya que cuenta con el 71% de los glaciares tropicales del mundo, y presenta en su territorio 18 cadenas montañosas que forman parte de la Cordillera de Loa Andes. Estos glaciares están rodeados de numerosas lagunas y lagos (como el Titicaca) y constituyen las cabeceras de números ríos y quebradas.

En las últimas 5 décadas, debido a los cambios climáticos de la región, los glaciares han reducido su extensión en un 54%. Se estima que esto ha sido provocado debido a la ubicación geográfica del Perú (cerca del Ecuador), donde el incremento de temperatura que viene siendo ocasionado por el calentamiento global en nuestro planeta ha tenido un fuerte impacto.

El origen de las dinámicas en los glaciares tropicales, traen consigo una serie de efectos o amenazas, tales como el incremento de los caudales de los ríos y el mayor grado de ocurrencias de inundaciones por desbordamiento de reservorios de agua (lagos, lagunas). Lo anteriormente mencionado, junto con las lluvias torrenciales (por el Fenómeno de El Niño y los veranos australes), ponen en riesgo de inundación y de aluviones o corrimientos de sedimentos (huaicos) a los poblados y ciudades aledañas.

La Cordillera Apolobamba, forma parte de las 18 cordilleras glaciares del Perú, es la única cordillera binacional, y la que menos ha sido estudiada en nuestro país, se extiende a lo



largo de 80.5 Km entre los países de Bolivia y Perú, posee una superficie glaciar total de 39.63 km² (lado peruano), drenando sus aguas a las Cuencas Hidrográficas de Inambari (Amazonas) y Suches (Titicaca). El retroceso glaciar evidenciado en todas las cordilleras glaciares tropicales, también no fue ajeno en la Cordillera Apolobamba, a lo cual hay que sumar los impactos antrópicos producidos por la industria de la extracción del oro. El derretimiento de los glaciares junto con los periodos torrenciales lluvias durante el verano austral (diciembre – marzo) constituyen amenazas sobre las zonas de mayor vulnerabilidad a esta región.

1.2. Formulación del Problema

Frente a esta problemática, se formuló la siguiente cuestión de investigación:

¿Qué nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación existe en el poblado de Koriwara en la Subcuenca Occoruruni?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar el nivel de vulnerabilidad ante riesgo de inundaciones en el poblado de Koriwara, Subcuenca Occoruruni, mediante la aplicación del modelamiento geoespacial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar el nivel de vulnerabilidad ante riesgo de inundaciones.
- b) Caracterizar las amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la Subcuenca Occoruruni mediante el análisis espacial en un SIG.
- c) Proponer alternativas de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten mayor vulnerabilidad ante riesgo de inundaciones.



1.4. Justificación de la Investigación

El inconveniente que actualmente existe en la Subcuenca Occoruruni es que no se dispone de investigaciones científicas sobre la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones. Según estudios del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), la cordillera glacial Apolobamba es hasta la fecha la menos estudiada en el país, debido a esto no se cuenta con información referente a la dinámica y el comportamiento de los frentes glaciares y lagunas en formación, aspectos relevantes que se debe tener en cuenta en la actualidad, tanto para poder efectuar análisis de riesgos para prevención y planificación territorial, como para el apoyo a la comunidad científica que estudia el cambio climático en la región y el calentamiento global..

La importancia del presente proyecto es compilar y difundir información hidrológica y geográfica muy valiosa de la Subcuenca Occoruruni, ya que a la fecha no existe, tales como un modelo de elevación digital del terreno (DEM o MDT), un análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgos por inundación, información que podrá ser empleada por instituciones públicas y privadas para la prevención de desastres en las poblaciones aledañas al área de estudio.

Este proyecto también contribuirá a obtener datos para el posterior estudio de movimientos de masa o eventos aluviónicos que ocurrieron en diferentes etapas del retroceso glacial y que posiblemente podrían ocurrir en el futuro. Existen evidencias, documentadas y no documentadas, de movimientos de masa o eventos aluviónicos ocasionados por la caída de avalanchas de hielo y roca que afectaron a las lagunas en formación en la cabecera de la Subcuenca Occoruruni (INRENA, 2006), estos eventos causaron daños en la infraestructura vial de acceso al centro poblado de Koriwara, así como la alarma en las poblaciones ubicadas aguas abajo como son Potoni y Sina.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Adrover, J. (2016). “Valoración del factor vulnerabilidad por inundación en el Bajo Iregua (La Rioja)”; en este trabajo, con el uso y aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección para su estimación, se enfocó en obtener una valoración de la vulnerabilidad por inundaciones en la cuenca baja de Río Iregua, donde se realizaron análisis en distintas fechas temporales para poder darle el proceso evolutivo minutas cartográficas, para diagnosticar el estado de la vulnerabilidad se utilizaron procesos de SIG como teledetección que a su vez fueron empleados como único proceso determinar la vulnerabilidad, el proceso técnico y metodológico es susceptible de modificarse para mejorar el resultado, ya que este adquiere la estructura antrópica sobre el territorio, en comparación con las láminas constituyentes de las áreas de inundación para diferentes periodos de retorno. El aporte principal de esta investigación fue el uso y aplicación de técnicas SIG y de teledetección para la valoración del factor vulnerabilidad por inundación.

Esper, M. (2016). “Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad peligrosidad por aluviones, caso de estudio cuenca del rio del agua, San Juan, Argentina”; en este trabajo se analizan diversas características morfológicas, se efectúa el cálculo de cuenca y de algunos parámetros básicos (área, perímetro, longitud, altura y pendiente del canal principal, etc.) En términos de comportamiento del sistema y respuesta hidrológica, los resultados muestran que el comportamiento de la cuenca depende principalmente de las empinadas laderas de las montañas, el séptimo escalón de la red de drenaje, La razón de bifurcación promedio es 5.14 y el grado de inundación es



alto, por lo tanto, la existencia de precipitaciones anormales constituye un riesgo potencialmente alto. El principal aporte de esta investigación lo constituyen las técnicas de análisis de diversas características morfológicas de la cuenca hidrográfica.

Muenala, M. (2018). “Vulnerabilidad ante amenazas de deslizamientos de la cuenca del Río Blanco, Provincia de Imbabura –Ecuador”; en la presente investigación se identificó que en función a los desastres que son ocasionados por los fenómenos naturales y que ocasionan muertes de miles de personas o en algunos casos pérdidas económicas cuantiosas, amenazas naturales como deslizamiento e inundaciones modifican la estructura y funcionamiento de sistemas ecológicos, relegan los recursos que son el sustento económico de poblaciones aledañas, ocasionan pérdidas o daño de infraestructuras y los servicios básicos, ponen en riesgo la integridad física y patrimonial de las personas. Se analizaron las características particulares del área de estudio, geología, geomorfología y elementos biofísicos como la cobertura vegetal, precipitaciones, suelo (textura y profundidad) apoyados por un SIG. Los modelos conceptuales y cartográficos desarrollados y aplicados, demostraron ser una metodología confiable para la determinación y zonificación de amenazas ya que estos fueron validados con trabajos de campo e investigación documental. El aporte principal de esta investigación fue la metodología de análisis de las características particulares del área de estudio apoyados por un SIG.

Burgos, B. (2019). “Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la Parroquia Santa Ana de Vuelta larga, Provincia de Manabí, Ecuador”; en este proyecto se determinó que la cuenca del río Portoviejo es una de las más afectadas por inundaciones, el estudio se analizó su vulnerabilidad mediante componentes físicos, sociales, económicos y ecológicos para ello se emplearon observación directa, conservación y material de construcción de las viviendas, encuestas personales y descriptivas con el fin de recolectar



datos para el análisis cartográfico de los aspectos de la parroquia, las inundaciones fluviales son fenómeno hidrológicos que se producen periódicamente y que han ocasionado formaciones de valles fluviales, llanuras fluviales, son parte de la geodinámica natural del planeta. Sin embargo, se transforman en amenaza cuando el hombre llega a ocupar áreas susceptibles a inundación lo que genera impactos socioeconómicos; lo que presento con una vulnerabilidad global de 55%, lo cual es categorizada como “media” y está representada por localidades donde hay mayor cantidad de adultos que niños. El principal aporte de esta investigación lo constituyen las técnicas de análisis de vulnerabilidad mediante componentes físicos, sociales, económicos y ecológicos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cabrejos, M. (2016). “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del Río Atuen, Amazonas”; esta investigación se desarrolló con la finalidad de identificar variables y construir una base de datos geoespacial zonas críticas de erosión, estimar perdidas de suelos por erosión hídrica, mediante modelamiento geoespacial ya que estas erosiones ocasionan una situación desfavorable para la conservación de suelos y se aplicó el estudio por el método Universal Soil Loss Equation que es un modelo que permite estimar y cuantificar la erosión hídrica de los suelos mediante condiciones físicas como la precipitación, suelo, relieve, cultivo, y las prácticas de manejo de ellos. Lo que permitió estimar un área de 16222.5 ha con una pérdida de 0.6407 Tn/ha-año, 12036.5 ha una pérdida de 2.3491 Tn/ha-año, 6227 ha una pérdida de 4.9118 Tn/ha-año, en 2295.3 ha una pérdida de 8.9161 Tn/ha-año y en 399.9 ha una pérdida de 19.32 Tn/ha-año de suelo. Teniendo en cuenta la clasificación de la FAO se puede decir que gran parte del territorio se encuentra con un grado de erosión de ligero a moderado ya que presentan valores



menores a 50 Tn/ha-año. El aporte principal de esta investigación fue la metodología de modelamiento geoespacial en la determinación de vulnerabilidad y riesgo.

Calderón, J. (2017). “Modelamiento Geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, cuenca hidrográfica Camaná-Majes-Colca, Arequipa”; el objetivo principal de la investigación fue identificar zonas susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples y expuestas en condiciones de vulnerabilidad social mediante modelamiento geoespacial. Las zonas vulnerables a peligros múltiples se categorizaron en el territorio (1 715 273 ha) en los siguientes niveles: muy Alto, que representa el 18.8% de la cuenca, donde se encuentran los centros poblados de Viscachani, Achoma, Choco, Pampa colca, Madrigal, Chilcaymarca, entre otros; debido principalmente a fisiografía accidentada, escasa cobertura vegetal, intensas precipitaciones y condiciones sociales bajas; nivel alto, que representa el 47.9% del territorio; nivel medio, que representa el 17.0%; y nivel bajo, que representa el 16.2% de la cuenca donde se encuentran los centros poblados de Cicera, Villa Hermosa Pedregal, San Isidro del Labrador, CP ubicados en las pampa de irrigación de Majes se obtuvo datos geoespaciales, tales como 19 variables temáticas: físicas, bióticas y socioeconómicas; 6 submodelos: inundaciones, movimientos en masa, heladas, sequías, unidades sociales e infraestructura; y 3 modelos: peligros múltiples, vulnerabilidad social y el modelo global. Este trabajo constituyó un valioso aporte sobre las técnicas de modelamiento geoespacial para la identificación de zonas susceptibles a la ocurrencia de peligros múltiples que están expuestas en condiciones de vulnerabilidad.

INAIGEM, (2016). “Informe técnico N° 04 Laguna 513, Cocha y Rajupaquinan”; en esta investigación se analizó el retroceso de los glaciares, el cual ha producido la formación de lagunas nuevas, que de acuerdo a su evolución características alledañas y la presencia de la población aguas abajo permiten definir como lagunas peligrosas. Estas



lagunas fueron el origen de aluviones en cuencas glaciares del Perú, ocasionando flujos de escombros con gran alcance y poder destructivo. El INAIGEM ha programado la inspección técnica de glaciares y lagunas, con el objetivo de caracterizar las condiciones actuales de glaciares y lagunas, estimando el nivel de peligrosidad de estos. Los trabajos de campo, se sustentan en la toma de datos in-situ, resaltando los aspectos físicos de lagunas y glaciares en el nevado Hualcan, mediante el uso de imágenes de satélite y toma de fotografías. Además, se usaron modelos digitales de elevación de otros estudios en la Subcuenca Chucchun. Sobre la base de las características físicas y condiciones de los alrededores observadas en campo se estimó el nivel de peligrosidad (calificación cualitativa) de las lagunas en la Subcuenca Chucchun. La laguna 513 fue definida con moderado nivel de peligrosidad, porque se identificó glaciares colgantes que podrían generar avalanchas (hielo y nieve, con rocas y sedimentos) sobre la laguna y a su vez oleajes con desborde, pero tiene un dique de roca con borde libre de 20-23 m, que protege y da estabilidad en condiciones normales a esta laguna. El principal aporte de esta investigación lo constituye el uso que se dio a los modelos digitales de elevación y la estimación del nivel de peligrosidad de las lagunas.

2.1.3. Antecedentes Regionales

Vélez, C. (2020). “Estudio geomorfológico y de facies sedimentarias para la identificación de eventos aluviónicos en la Cuenca Occoruruni, Cordillera Apolobamba – Puno”; este trabajo tuvo como objetivo identificar la cantidad de eventos aluviónicos que sucedieron en la cuenca, para esto se hizo un estudio sobre las características geomorfológicas y sedimentológicas, se identificó las características geomorfológicas y eventos aluviónicos utilizando imágenes satelitales e imágenes obtenidas con drone, para la caracterización sedimentológica se hicieron calicatas en nueve sectores en donde se determinó la granulometría del sedimentó y en cinco zonas con afloramientos



sedimentarios visibles se determinó el tipo de estratificación, la correlación de los estudios geomorfológicos y sedimentológicos ayudo a identificar los eventos aluviónicos ocurridos en la cuenca, en donde dos de ellos son recientes con características visibles y otros cinco son reconocidos por indicios en depósitos morrénicos, esto indica riesgo en los centros poblados aledaños. Este trabajo constituyó un valioso aporte sobre las características geológicas y geomorfológicas del área de estudio.

Abarca, Y. (2017). “Inundaciones en periodo de precipitaciones pluviales por efecto del relleno residual sobre la topografía natural del terreno en la ciudad de Juliaca”; en esta investigación el principal objetivo fue determinar la causa de las inundaciones superficiales, por los efectos entre el terreno de tipo natural y del tipo residual, que presenta forma de afirmado, para ello se planteó determinar la velocidad de infiltración, en distintos tipos de suelo natural y relleno, para los cuales utilizó pruebas de conductividad hidráulica, ya que también hizo consulta a la población sobre el tratado que realizaban en los lastrados in situ. El principal aporte de esta investigación lo constituye la metodología llevada a cabo para determinar la causa de las inundaciones superficiales.

Salas, E (2014). “Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del Río Illpa, Puno”; en este trabajo el objetivo principal fue analizar el comportamiento de los parámetros climáticos en la cuenca del río Illpa mediante las pruebas no paramétricas distribuidas en toda la cuenca, para detectar variaciones de los elementos climáticos. Los resultados muestran un incremento en las temperaturas en la cuenca. La MxT, experimenta los cambios más importantes, con incremento promedio de 0.48°C/década, acompañado de una disminución de precipitación pluvial, el número de días lluviosos registra los cambios más importantes, promediando un decremento de 7 días/década. En términos generales, los resultados revelan que el clima actual está siendo



modificado, registrando variaciones importantes a nivel de la cuenca, las mismas que podrían acentuarse durante los próximos años. El aporte principal de esta investigación fue la metodología de análisis de consistencia de la información meteorológica, especialmente los datos de precipitación pluvial.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Campo de Estudio de la Meteorología, la Climatología y la Hidrología

Según Holton (2004), la meteorología es la “rama de la física que se ocupa del estudio de los fenómenos atmosféricos”. Es una ciencia interdisciplinaria que pretende hacer previsiones inmediatas de los fenómenos meteorológicos a través de la captura y análisis de datos atmosféricos obtenidos en múltiples estaciones meteorológicas. En cambio, la climatología es la “rama de la geografía que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo”. También es una ciencia interdisciplinaria, que, aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo.

Se puede afirmar que la meteorología es auxiliar de la climatología, ya que los datos atmosféricos obtenidos en múltiples estaciones meteorológicas durante largo tiempo se usan para definir el clima, hacer pronósticos (comportamiento de la temperatura, humedad, precipitación, etc.), y comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas.

2.2.1.1. Estaciones Meteorológicas

De acuerdo con Holton (2004), una estación meteorológica es una “instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas”. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos”. Por otro lado, la Comisión Nacional

del Agua (CONAGUA, 2013) afirma que “una estación climatológica es un conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permiten medir las variaciones del clima, colocados en sitios estratégicos representativos de ambientes diversos”. En este sentido, los términos estación meteorológica y estación climática se pueden considerar como sinónimos.

Las estaciones meteorológicas pueden ubicarse a la intemperie, o pueden ser protegidas por un “abrigo”, también llamado cabina, casilla o garita, el cual es una estructura de medidas estandarizadas que sirve de protección a los instrumentos de una estación meteorológica, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Esquema de Estaciones Meteorológicas.

Izquierda: A la intemperie. Centro: Protegida por cabina tipo pedestal. Derecha: Protegida por garita convencional de 4 patas. Fuente: Holton (2004) y CONAGUA (2013).

2.2.1.2. Parámetros Meteorológicas

Se entiende por parámetros meteorológicos (Holton, 2004) o elementos climatológicos (CONAGUA, 2013) a “toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o un período de tiempo dados”. También se conocen como parámetros hidrometeorológicos o elementos hidro-climáticos. Los parámetros meteorológicos son



monitoreados o medidos por los instrumentos o sensores que componen una estación meteorológica. El comportamiento meteorológico global también puede ser monitoreado por satélites meteorológicos, pero su funcionalidad es diferente a la de las estaciones meteorológicas. Dentro de los parámetros meteorológicos más esenciales que pueden ser monitoreados una estación meteorológica se citan los siguientes en la Tabla 1:

Tabla 1

Instrumentos de Medición y Parámetros Meteorológicos

Instrumentos o Sensores	Parámetros Meteorológicos que Miden
Termómetros	Temperatura del ambiente en diversas horas del día: máxima absoluta, máxima media, media, mínima media, mínima absoluta y temperatura del punto de rocío.
Barómetros	Presión atmosférica y presión del vapor.
Pluviómetros	Cantidad de agua caída sobre el suelo por metro cuadrado, en forma de lluvia, nieve o granizo.
Higrómetro	Humedad presente en el aire (relativa, absoluta, relación de mezcla, específica).
Piranómetro	Radiación solar global (directa + difusa).
Heliógrafo	Horas de luz solar.
Anemómetro	Velocidad del viento.
Veleta	Dirección del viento.
Tanque evaporímetro	Evaporación

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3. Tipos de Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas se pueden clasificar según su ubicación espacial, según los tipos de instrumentos que dispone y según su funcionalidad:

- **Según la ubicación espacial:**

- Aéreas: Permanecen flotando a cierta altitud durante un periodo de tiempo definido mediante el uso de globos aerostáticos. Su energía eléctrica para el funcionamiento es proporcionada por baterías de litio.
- Superficiales: Se conocen también como estaciones permanentes. Están ubicadas en puntos de control de coordenadas y altitud conocidas, y generalmente funcionan de manera ininterrumpida (a menos que sufran de una avería). Su energía eléctrica para el funcionamiento es proporcionada por líneas que se conectan a la red eléctrica nacional, o a través de paneles solares.



- Subterráneas: Este tipo de estaciones se ubican generalmente en los polos y en los principales glaciares del mundo, enterradas en el hielo entre 10 y 20 m de profundidad. Se utilizan para monitorear el cambio climático global.
- **Según los tipos de instrumentos que dispone:**
 - Analógicas: Utiliza instrumentos analógicos de medición que requieren ser evaluados periódicamente por un técnico u operador.
 - Digitales sin transmisión remota de datos: Utiliza instrumentos digitales y almacena los datos en un registrador (data logger) pero no posee sistema de transmisión de datos remota.
 - Digitales con transmisión remota de datos: Utiliza instrumentos digitales, almacena los datos en un registrador (data logger) y posee sistema de transmisión de datos remota (telemetría).
- **Según su funcionalidad:**
 - Estaciones de Medición General: Son aquellas que poseen varios tipos de instrumentos de medición (más de tres) y permiten monitorear varios parámetros meteorológicos a la vez.
 - Estaciones de Medición Específica: Son aquellas que poseen uno o dos instrumentos de medición, con los que se puede monitorear solamente uno o dos parámetros meteorológicos (uno principal y otro de chequeo o calibración). Entre estas se encuentran las estaciones pluviométricas, que permiten obtener datos de precipitación pluviométrica (lluvias) de un área en estudio.

2.2.1.4. Series Meteorológicas

Debido a que los parámetros meteorológicos (como temperatura, humedad, presión atmosférica o precipitación pluvial) son registrados en intervalos de tiempo



periódicos (diario, semanal, mensual o anual) y ordenados cronológicamente, se pueden considerar que los mismos constituyen series de tiempo o series cronológica, denominada también como series meteorológicas (Glosario de Riego Online, 2018). Estos datos pueden analizarse a través de gráficos, donde el tiempo se ubica en el eje de las abscisas (X) y el parámetro o variable que se está analizando se coloca en el eje de las ordenadas (Y). Los gráficos de series temporales se analizan siguiendo los siguientes pasos:

- 1) buscar valores atípicos (saltos) y cambios repentinos.
- 2) buscar tendencias.
- 3) buscar patrones estacionales o movimientos cíclicos.
- 4) evaluar si los cambios estacionales son aditivos o multiplicativos.

2.2.2. Precipitación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua en la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. En este capítulo se estudiarán dos aspectos fundamentales de la precipitación: por un lado, la manera en que se produce y algunos métodos con que se puede predecir dadas ciertas condiciones atmosféricas, para lo cual será necesario revisar algunos aspectos básicos de meteorología y, por otro, la manera en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos (Cahuana & Yugar, 2009).

La precipitación es toda forma de humedad (agua) que proviene de la atmósfera (nubes) y llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta definición, la precipitación puede ser en forma de gotas (lluvias), granizadas y nevadas (Villón, 2002). Cuando se refiere netamente a las lluvias, se denomina precipitación pluvial.

Los valores de precipitación pluvial pueden representarse por medio de gráficos de los datos de precipitación (en mm o l/m²) vs tiempo (meses o años, depende del intervalo de tiempo que se esté considerando) de una o varias estaciones meteorológicas (ver Figuras 3 y 4). Estos gráficos se denominan también como hidrogramas (Salas, 2014) o pluviogramas (Glosario de Riesgo, 2018).

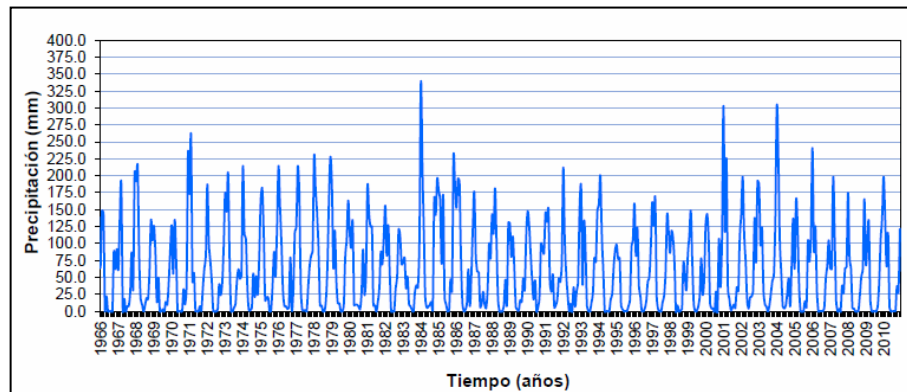


Figura 2. Esquema de hidrograma de frecuencia mensual.

Fuente: Salas (2014).

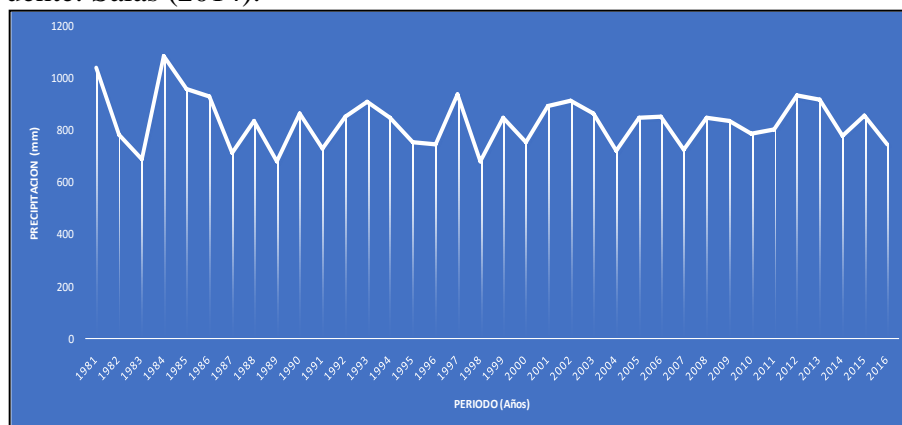


Figura 3. Esquema de hidrograma de frecuencia anual.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Medición de la Precipitación Pluviométrica

La lluvia se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera en una superficie horizontal. Los aparatos de medición, se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua

producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Estos datos se conocen como hidro-meteorológicos o pluvio-meteorológicos. Los instrumentos de medición, se clasifican de la siguiente manera:

- Pluviómetros
- Pluviógrafos
- Radares Meteorológicos

2.2.3.1. Pluviómetros

Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20 cm de diámetro y de 60 cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que de la tapa (ver Figura 4). Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta decimos de milímetros, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de lluvia, para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura generalmente se acostumbra realizar una lectura cada 24 horas (Villón, 2002).

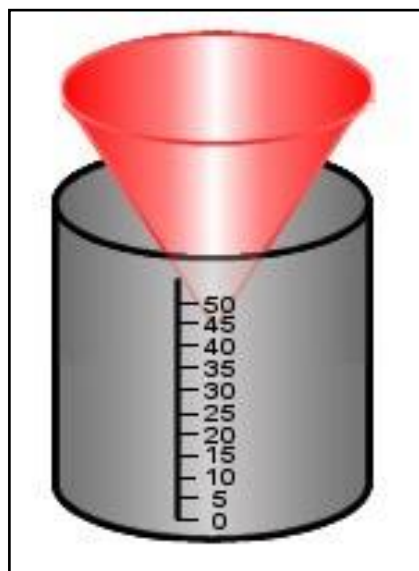


Figura 4. Esquema de un pluviómetro

Fuente: Villón (2002).

2.2.3.2. Pluviógrafo

Es similar al pluviómetro con la adición de un sistema de registro continuo de alturas de lluvia, basado en flotadores que causan el desplazamiento de una aguja sobre un papel graduado, colocado sobre un cilindro giratorio ligado a un reloj (Villón, 2002). Debido a la importancia de este dato, se debe tener especial cuidado en la elección del sitio para la instalación del aparato de medición, en cuanto a su facilidad de acceso, como de evitar factores que distorsionan la medición como cercanías de árboles o edificios y cumplir las normas que se han establecido (ver Figura 5).

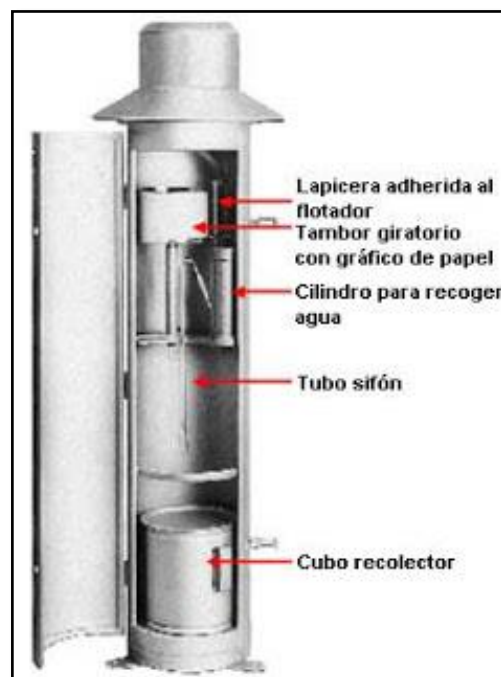


Figura 5. Esquema de un pluviógrafo.

Fuente: Villón (2002).

2.2.3.3. Radares Meteorológicos

Los radares son instrumentos de monitoreo atmosférico de gran alcance que permiten la evaluación de intensidades de lluvia con una alta resolución (alrededor de 60 km), tanto en el tiempo como en el espacio (Moshinsky, 1995).

El radar meteorológico es un sistema que mide distancias, altitudes, intensidades y velocidades de formaciones meteorológicas a través de la potencia que reflejan las pequeñas gotas de agua presentes en la atmósfera (ver Figura 6).

La exploración de la atmósfera se realiza a través de una antena giratoria con varios ángulos de elevación, de esta manera se obtiene un valor de reflectividades que, para su cómoda interpretación, debe ser representado en el plano. Entre las formas más comunes de representación se tiene el indicador de posición en el plano y el indicador de posición en el plano a altitud constante, conocidos como PPI y CAPPI, respectivamente por sus siglas en inglés (Navas et al., 2015).

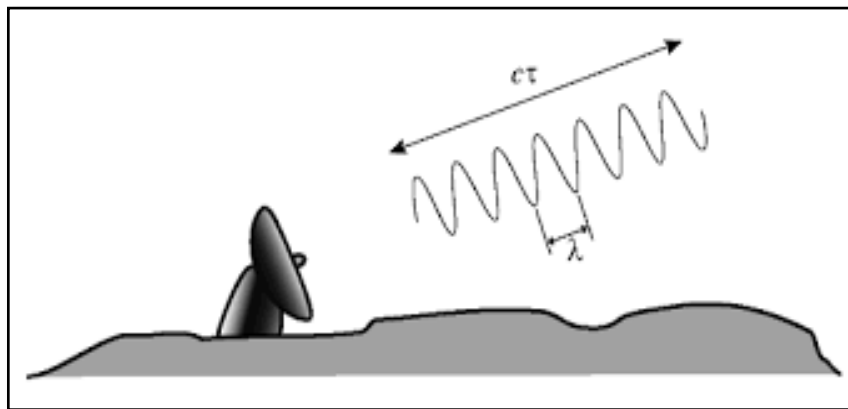


Figura 6. Esquema de un radar meteorológico

Fuente: Moshinsky (1995).

2.2.4. Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial

El análisis de consistencia de los datos hidro-meteorológicos o pluviometeorológicos consiste en identificar elementos que permitan afirmar que estos datos presentan validez y coherencia, o si, por el contrario, requiere que sea revisada y/o corregida. Entre estos análisis podemos incluir: el cotejo de la información de precipitación mensual con los periodos de las estaciones climáticas de la región, el análisis de saltos y el análisis de tendencias.



2.2.4.1. Análisis de Coherencia

Consiste en determinar si los datos de una estación meteorológica presentan coherencia, por ejemplo, realizando un cotejo de la información de precipitación mensual con los periodos de las estaciones climáticas de la región, que se efectúa con el fin de identificar si los datos presentan un comportamiento típico al observado en el resto de la región donde se encuentra el área de estudio, o si por el contrario, presentan anomalías, en cuyo caso se debe investigar si estas anomalías se deben a fenómenos naturales, o si es debido a fallos en el sistema de medición.

2.2.4.2. Análisis de Saltos

El análisis de saltos tiene por objeto detectar la presencia del mismo y evaluar, se realiza mediante tres puntos de vista: el análisis de gráficos de precipitación (hidrogramas o pluviogramas), el análisis de doble masa, y el análisis estadístico de saltos.

- a) **Análisis de Gráficos:** Este primer análisis se realiza por medio de la graficación de los datos de precipitación (en mm o l/m²) vs tiempo (meses o años) para cada estación meteorológica. Permiten visualizar el comportamiento de una serie meteorológica y detectar de manera subjetiva la presencia de saltos o tendencias. En el caso de identificarse saltos significantes, se procede a efectuar el análisis de doble masa, donde dichos saltos deben identificarse como quiebres en la serie meteorológica.
- b) **Análisis de Doble Masa:** Para análisis de doble masa para el grupo de estaciones meteorológicas, con el fin de obtener una comparación adecuada de las series meteorológicas de cada estación. Mediante el análisis de doble masa se selecciona una estación base, la cual será la que presente mayor regularidad de los saltos de la serie meteorológica (menor número de quiebre), así como el



coeficiente de correlación (R) más próximo a la unidad (1,00). Los quiebres que se detecten en el análisis de doble masa serán posteriormente evaluados en análisis estadístico de saltos, con el fin de determinar su significancia estadística, para luego corregir la serie en caso de ser necesario.

- c) **Análisis Estadístico de Saltos:** El análisis estadístico de saltos se realiza con el fin de determinar la significancia estadística de los saltos o quiebres identificados en el análisis gráfico y en análisis de doble masa, mediante la prueba “T” para las medias (con el uso de la tabla o distribución de Student) y la prueba “F” para las desviación estándar (con el uso de la tabla o distribución de Fischer), en los datos o series meteorológicas de las estaciones meteorológicas consideradas en el estudio, con el fin de identificar si es necesario aplicar posibles correcciones.

2.2.4.3. Análisis de Tendencias

El análisis de tendencias sirve para identificar posibles cambios en el comportamiento de una serie meteorológica sobre periodos largos, lo cual es de mucha utilidad para detectar cambios climáticos importantes (Salas, 2014).

Desde finales del siglo pasado, en todo el mundo se han realizado estudios para detectar cambios climáticos importantes mediante el análisis de tendencias de series de variables climáticas; por citar algunos ejemplos, las tendencias de precipitación y temperatura han sido estudiadas en Georgievsky et al. (1996) en Rusia; Schönwiese y Rapp (1997) en Europa; en Argentina por Dai et al. (1997); en Brasil por Marengo et al. (1998); Canadá por Mekis y Hogg (1999); Zhai et al. (1999) en China; América central y oeste de México realizado por Douglas y Englehart (1999); Haylock y Nicholls (2000) en Australia, entre otros.



Según Aliaga (1983), las tendencias son comportamientos determinísticos transitorias que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidro-meteorológica en cualquier parámetro de la misma, que afectan a las distribuciones y dependencias de las series. Por ejemplo, si hay un cambio ascendente o descendente en la temperatura, precipitación, evaporación entonces se produce una tendencia. Las propiedades más importantes de las tendencias son:

- a) Las tendencias no son esperadas a repetirse por sí mismas en la misma forma y con las mismas propiedades.
- b) Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, por lo que cualquier función continua de tendencias no lineales, puede ser representado en series de potencia.
- c) Se pueden separar de las otras componentes (periódicos, aleatorias) de la serie, lo que hace posible removerlas y/o incorporarlas.
- d) Pueden existir en cualquier parámetro de una serie, media, varianza, coeficiente de auto correlación, y en parámetros de alto orden; pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en la media, si la información es anual, y en la media y desviación estándar si la información es mensual.

2.2.5. Campo de Estudio de la Hidrología

Según Wisler y Brater (1959 diciembre) “la hidrología es la ciencia que trata con los procesos que gobiernan el vaciado y aprovisionamiento de los depósitos de agua en áreas sobre la tierra”. En esta última definición se incluye el transporte de agua a través del aire, sobre la superficie de la tierra y a través de los estratos terrestres, o sea, es la ciencia que estudia las diferentes fases del ciclo hidrológico. Se puede definir la hidrología como la ciencia que estudia las aguas que pueden ser aprovechables en forma superficial, así como en forma subterránea, siempre que sea una profundidad



económicamente aprovechable. Aunque la hidrología y la hidrogeología son dos ciencias complementarias, la hidrología se centra en el estudio de los recursos hídricos superficiales, mientras que la hidrogeología se enfoca en el estudio de los recursos hídricos subterráneos.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la hidrología incluye los métodos para determinar el caudal como elemento de diseño de las obras que tienen relación con el uso y protección del agua, tales como represas, canales, abastecimiento, drenaje, calidad del agua, manejo de cuencas, etc. Guevara y Cartaya (2004). El análisis hidrológico es fundamental para el planeamiento, diseño y operación de los sistemas hidráulicos por lo que el ingeniero debe buscar respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo varía la producción de agua en una cuenca de estación a estación y de año a año?
- ¿Cuál es la relación entre la escorrentía superficial y flujo de agua subterráneo en una cuenca?
- ¿Al analizar los caudales mínimos, cuál será el caudal esperado con un nivel de persistencia del 90%?
- ¿Qué equipos de medición y modelos de computadora serán necesarios para predecir los caudales en tiempo real?

Para responder estas y otras interrogantes, el ingeniero desarrolla metodologías basadas en análisis y mediciones que permiten cuantificar cierta fase o fases del ciclo hidrológico como precipitación, escorrentía, infiltración, etc. Generalmente el ingeniero está interesado en determinar los caudales o valores de agua, incluyendo su variabilidad espacial, temporal, estacional, anual o regional. Los caudales son comúnmente



expresados en m^3/s y el valor en m^3 o en unidades de lámina de agua (mm, cm) como un intento de representar una lámina de agua uniforme sobre el área de la cuenca.

2.2.4.2. Ciclo Hidrológico

De todo lo anterior se deduce que la hidrología se puede considerar como un examen o evaluación científica del continuo ciclo del agua, llamado también ciclo hidrológico que puede ser definido como “la interminable circulación que siguen las partículas de agua en cualquiera de sus tres estados. La circulación se efectúa en forma natural y durante la misma, el agua sufre transformaciones físicas, que en nada alteran su cantidad” (Mejía, 2018).

El ciclo hidrológico se lleva a cabo en tres estratos del sistema terrestre: la atmósfera, o sea la capa gaseosa que envuelve al globo terráqueo, la litosfera que corresponde a la porción sólida de la superficie del globo y la hidrosfera, formada por los cuerpos de agua que cubren parte de la superficie terrestre. A ciencia cierta no se sabe dónde se inicia el ciclo hidrológico, pero se considera que por ocupar los mares y océanos el 70% de la superficie del planeta, es ahí donde se inicia el ciclo, ya que la evaporación proveniente de ellos es mucho más alta que la proveniente de la tierra y de algunas partes de la atmósfera.

El vapor de agua producto de la evaporación, se condensa en la atmósfera formando nubes, las que al reunir ciertas condiciones precipitan llegando a la tierra o a los océanos. Parte del agua de precipitación puede ser interceptada por las plantas, escurrir sobre la superficie de los suelos ó infiltrarse al subsuelo; gran parte del agua interceptada, de la transpirada por las plantas y de la que escurre superficialmente, vuelve a la atmósfera al evaporarse. El agua infiltrada puede percolar a zonas profundas, almacenándose en acuíferos subterráneos, las cuales pueden aflorar como manantiales, agregándose a

corrientes superficiales y llegar a los mares y océanos para ser evaporada cerrando así el ciclo del agua o ciclo hidrológico. Por lo tanto, se puede observar que en el ciclo hidrológico intervienen procesos complicados de evaporación, transpiración, infiltración, percolación, afloramiento, almacenamiento y escorrentía, como se esquematizan en la Figura 7.

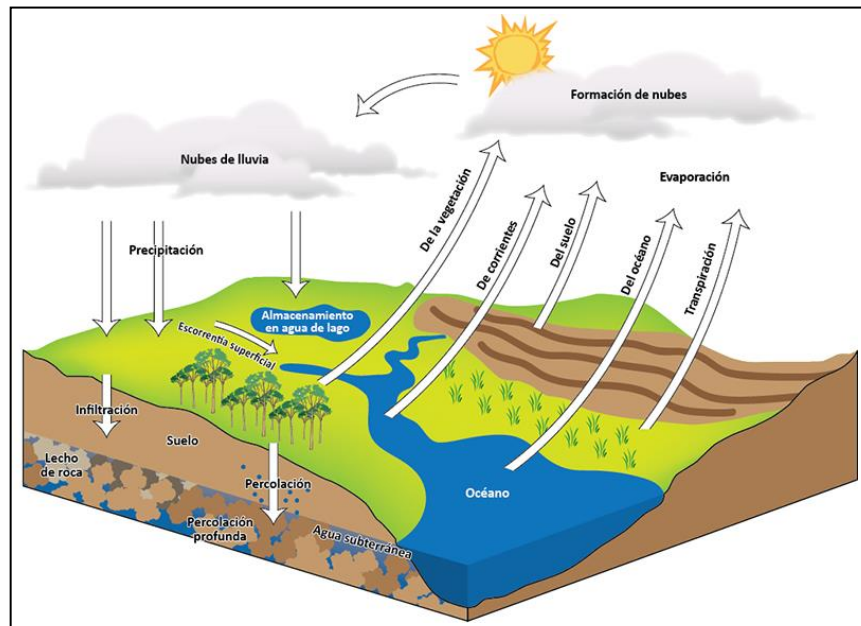


Figura 7. Esquema del ciclo hidrológico.

Fuente: Página web del laboratorio nacional de ciencias de la sostenibilidad (LANCIS, 2019).

2.2.4.3. Sistema Hidrológico

Los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos, por lo que nunca serán conocidos completamente. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, pueden ser representados de forma simplificada mediante el concepto de sistema que es considerado como un conjunto de partes que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico puede considerarse como un sistema con componentes que serían: precipitación, evaporación, escorrentía y los otros componentes del ciclo. Estos componentes pueden ser agrupados a su vez en subsistemas y para analizar todo el sistema, los subsistemas pueden ser

tratados por separado y los resultados combinados de acuerdo a las interacciones entre ellos (Mejía, 2018).

En la Figura 8, se representa al ciclo hidrológico global como un sistema. Las líneas punteadas dividen el sistema total en tres subsistemas: el sistema de agua atmosférica, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, interceptión y transpiración; el sistema de agua superficial que contiene los procesos de escorrentía superficial, flujo sobre el suelo, flujo subsuperficial y subterráneo (hacia los cauces y a los océanos); y el sistema de agua subsuperficial, que contiene los procesos de infiltración, percolación profunda, flujo subsuperficial y flujo subterráneo.

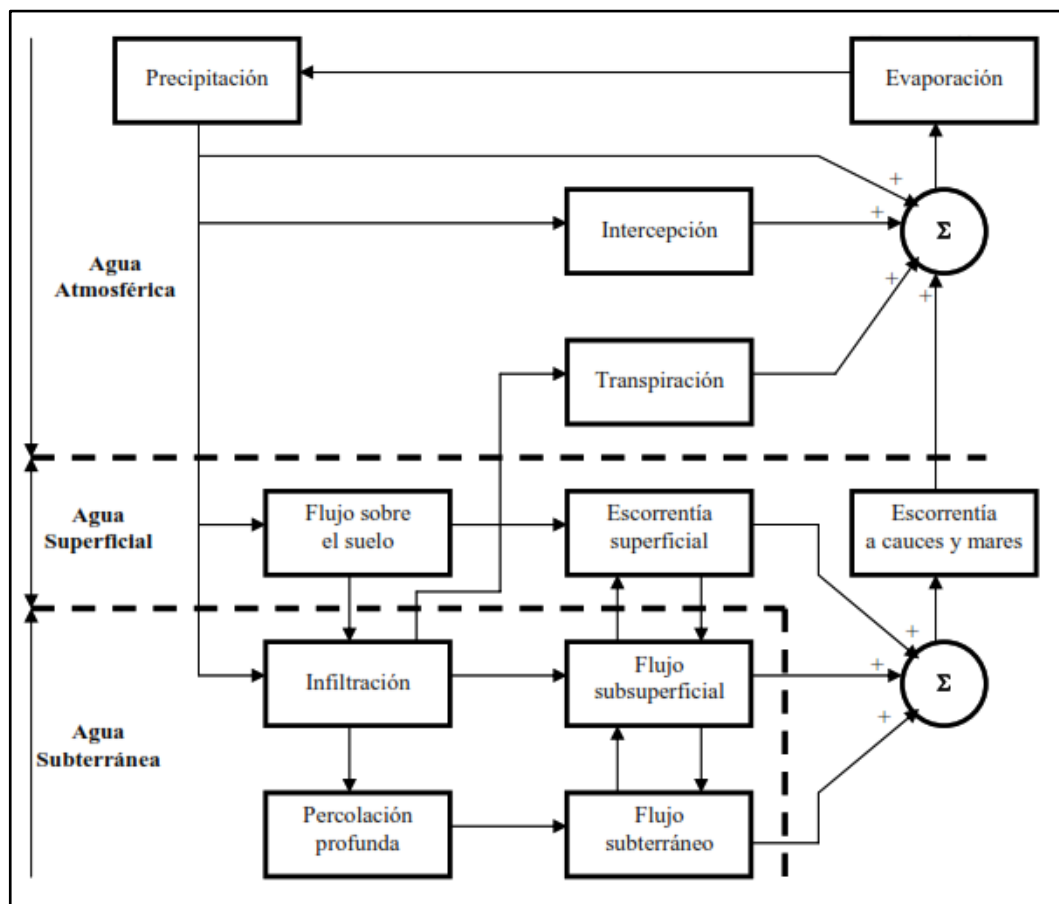


Figura 8. Sistema hidrológico global mediante un diagrama de bloques.

Fuente: Mejía (2018).

2.2.5.3. Modelamiento Hidrológico

El objetivo de análisis de sistemas hidrológicos es estudiar la operación del sistema y predecir su salida. Un modelo del sistema hidrológico es una aproximación del sistema real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables, y su estructura, un conjunto de ecuaciones o funciones de transferencia que transforman las variables de entrada en variables de salida (Mejía, 2018).

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio y análisis de los recursos hídricos superficiales. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos, o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, sirven de apoyo para alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Dueñas, 1997; citado por el IDEAM, 2017).

Los modelos hidrológicos pueden clasificarse de diversas maneras, pero una de las clasificaciones más generalizadas los divide en dos categorías: modelos físicos y modelos matemáticos. Los modelos físicos representan el sistema sobre una escala reducida, tal como los modelos hidráulicos (modelado conceptual); mientras que los modelos matemáticos representan el sistema en forma numérica (simulación o modelado numérico), mediante una serie de funciones que relacionan las variables de salida con las variables de entrada. También existen modelos físico-matemáticos (mixtos) que incluyen



tanto elementos de modelado conceptual como funcionalidades de modelado numérico (IDEAM, 2017).

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la “cuenca hidrográfica” y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de las variables de entrada (inputs) al sistema y los parámetros de salida (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo.

Los datos de entrada que utiliza un modelo hidrológico son múltiples, pero en términos generales los más esenciales son: el modelo digital del terreno (DEM o DTM), datos de medición de caudales aforados y datos hidro-meteorológicos, tales como: registros de precipitación (lluvia y nieve), temperatura, humedad, evaporación, radiación solar, etc., y datos de los suelos como: cobertura vegetal, uso de suelos, etc. Algunos modelos también utilizan la composición litológica (arenas, limos, arcillas, etc.) y las características texturales del suelo, con lo cual se calcula la permeabilidad y la capacidad de percolación del suelo.

Los datos de salida de los modelos hidrológicos varían dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales y anuales de escorrentía (caudales de la red hidrográfica), evapotranspiración, arrastre de sedimentos, inundaciones, entre otros, como se muestra en la ver Figura 9. El resultado más básico que se obtiene con un modelo hidrológico es el hidrograma de escurrimiento.

En la Figura 10 se ejemplifica un modelo hidrológico en la herramienta de simulación y planeación de recursos hídricos WEAP (Water Evaluation And Planning System).

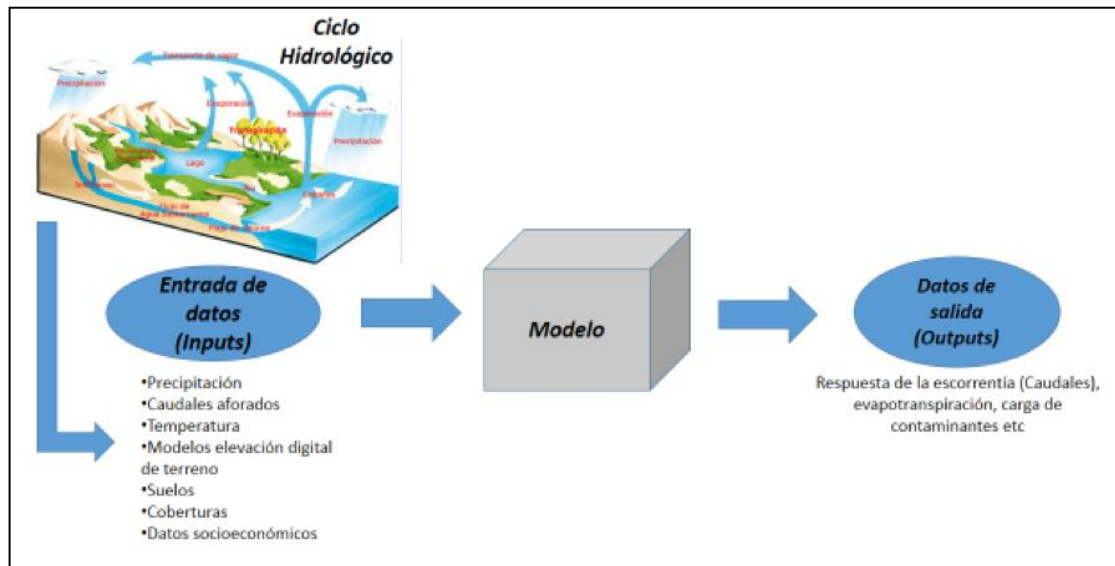


Figura 9. Componentes de un modelo hidrológico.

Fuente: Página web Para-Agua.net (2019).

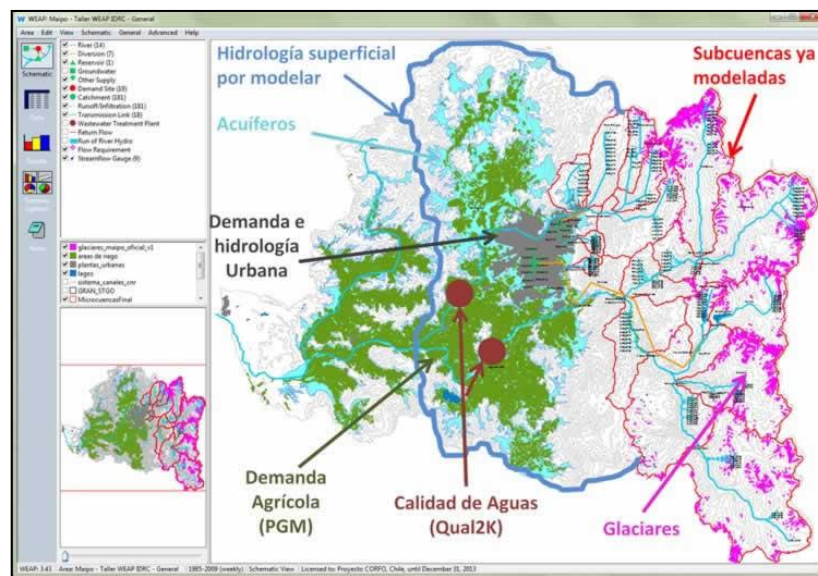


Figura 10. Modelo hidrológico en WEAP.

Fuente. Página web de proyecto río Maipo, Chile (2019).

La mayoría de los procesos hidrológicos son aleatorios y su magnitud varía con el tiempo y con el espacio, por lo que el desarrollo de un modelo con esas características es



una tarea difícil y requiere de simplificación, despreciando algunas fuentes de variación. Los modelos matemáticos pueden ser determinísticos o estocásticos. El modelo determinístico no considera la aleatoriedad, es decir, que una entrada al sistema siempre produce la misma salida y se usa cuando las variaciones de la salida son pequeñas como en el caso de los modelos de hidrogramas unitarios. Un modelo estocástico produce salidas aleatorias y se usa cuando las variaciones de la salida son mayores, como en las predicciones.

Desde un punto de vista general, los problemas hidrológicos pueden ser en cuadrados dentro de tres categorías:

- a) Valores medios (para planeamiento de recursos hídricos, definición de políticas generales): Incluye la definición de valores medios anuales, mensuales y estacionales de precipitación, caudal, evaporación, etc. Son valores medios sobre grandes áreas geográficas, en general heterogéneas del punto de vista climático, geológico y topográfico.
- b) Valores extremos (especificaciones para obras hidráulicas): Se requieren valores máximos o mínimos de precipitación, caudal, etc., los cuales, junto con criterios económicos, permiten determinar las dimensiones de aliviaderos, alturas de presas, capacidad de bombas, alturas de puentes, valores de embalses, obras de irrigación, plantas de tratamiento, etc.
- c) Valores temporales (para operación de sistemas hídricos): En ciertos casos como en la operación de estructuras hidráulicas y en previsiones en tiempo real, se necesita del registro histórico de la respuesta de un sistema hidrológico a una excitación o impulso (Mejía, 2018).

2.2.5.4. Balance Hídrico

Dado que la cantidad de agua disponible en la tierra es finito e invariable, el sistema hidrológico global puede ser considerado cerrado, no obstante, sean comunes los sistemas abiertos. Según Viessman et al. (1977), la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua de tal forma que todo el caudal se ha descargado a través de una única salida. Para ilustrar la aplicación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica, consideremos el sistema muy simple y muy restringido de la Figura 11.

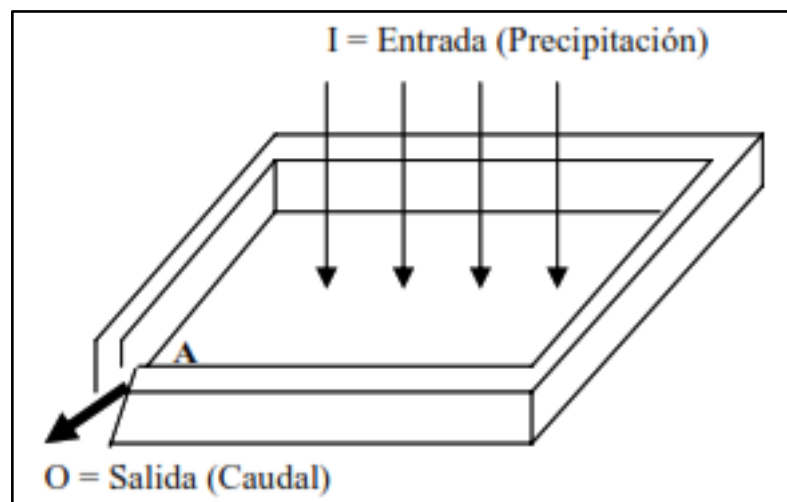


Figura 11. Modelo de balance hídrico simple.

Fuente: Mejía (2018).

En la realidad, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica no es tan simple como el modelo presentado; diversas pérdidas ocurren durante el proceso. Así como la evaporación que tiene lugar desde el momento en que se inicia la precipitación; luego que llega al suelo, el agua precipitada, comienza a ser almacenada; como la superficie del suelo no es plana como en el modelo, ya que existen depresiones en el terreno, el agua allí acumulada, eventualmente será evaporada o se infiltrará en el suelo; no obstante alcanza los cursos de agua o se transforma en escorrentía, el agua continua sufriendo el proceso de evaporación, y que deben, por lo tanto ser consideradas.

Otro proceso que ocurre, desde el momento en que la precipitación toca el suelo, es el de la infiltración ya que ningún suelo es impermeable y existen siempre pérdidas por infiltración; cuando el agua penetra en el suelo, sigue diversos caminos, quedando almacenada temporalmente en el suelo, y luego percolando hacia capas profundas, conformando el agua subterránea o moviéndose lateralmente, como flujo subterráneo, pudiendo aflorar nuevamente o fluir para otra cuenca. Considerando todos estos procesos, de una forma general, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica puede ser visualizado en la Figura 12.

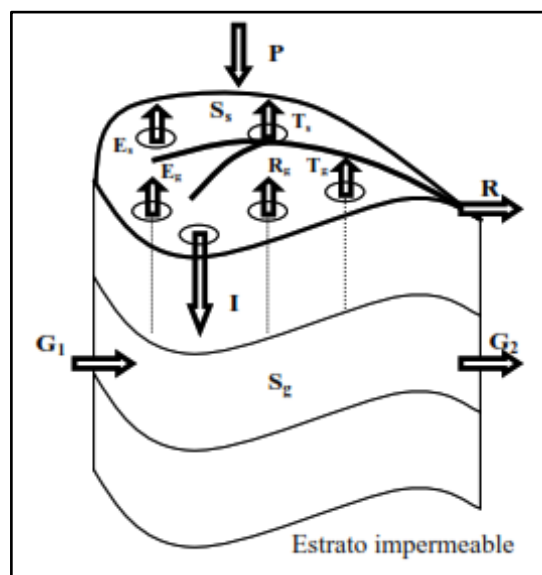


Figura 12. Diagrama esquemático del balance hídrico en una cuenca.

Fuente: Mejía (2018).

2.2.6. Gestión de Riesgo de Desastres (GRD)

La Ley N° 29664 (2011), que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD) dice: “Definición de Gestión del Riesgo de Desastres (Artículo 3°): La Gestión del Riesgo de Desastres es un proceso social cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre,



considerando las políticas nacionales con especial énfasis en aquellas relativas a materia económica, ambiental, de seguridad, defensa nacional y territorial de manera sostenible. La Gestión del Riesgo de Desastres está basada en la investigación científica y de registro de informaciones, y orienta las políticas, estrategias y acciones en todos los niveles de gobierno y de la sociedad con la finalidad de proteger la vida de la población y el patrimonio de las personas y del Estado”.

La Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) como un proceso social, de naturaleza sistémica, transversal, descentralizado y participativo, de formulación y adopción de políticas, desarrollo de estrategias y acciones orientadas a evitar la generación de nuevos riesgos, reducir los riesgos de desastres existentes, garantizar una respuesta oportuna y minimizar los efectos derivados de la materialización de los riesgos, en emergencias y desastres (INDECI, 2010). Por tanto, el proceso de la Gestión del Riesgo de Desastres, comprende los siguientes procesos:

- Estimación del Riesgo
- Reducción del Riesgo
- Respuesta
- Reconstrucción

Una definición básica de la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) nos remite a un proceso social, impulsado por estructuras institucionales y organizacionales apropiada, que persigue a través de la promoción de políticas, estrategias e instrumentos concretos, la reducción, previsión y el control de los factores de riesgo en la sociedad, todo articulado con los procesos de gestión del desarrollo y de un ambiente sostenible. Exige procesos de análisis, dimensionamiento del riesgo, de formulación estratégica, de toma de decisiones y de instrumentación de acciones y soluciones. Y, admite, en principio, distintos niveles



de coordinación e intervención que va desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar (Lavell, 2003).

2.2.7. Desastre

Un desastre ocurre cuando el peligro, debido a su magnitud, afecta y/o destruye las bases de la vida de una unidad social (familia, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica que la sustentan y supera sus posibilidades para recuperarse de las pérdidas y los daños sufridos a corto o mediano plazo (DGPM-MEF, 2006).

Los desastres pueden ocurrir por causas asociadas a peligros naturales que pueden ser agravadas por otras de origen antropogénico, es decir, causas creadas por el ser humano en su intervención sobre la naturaleza para generar desarrollo (sobre pastoreo, deforestación, alteración de los lechos fluviales, agricultura no tecnificada en laderas, expansión urbana e infraestructura desordenadas, inadecuada utilización del espacio y otras).

2.2.8. Amenaza o Peligro

Es la probabilidad que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presenta en un lugar específico, con una intensidad y un periodo de tiempo y frecuencia definitiva (Frausto, 2014).

Una amenaza o peligro es un evento con probabilidad de ocurrir por su magnitud y características puede ocasionar daños, que pueden ser físicos, económicos y ambientales, incluyendo la pérdida de vidas humanas. Su origen puede ser natural, socio-natural o antrópico (tecnológico), con intensidad, localización y tiempo. Afecta adversamente a las personas, infraestructura, etc. (Lozano, 2011).

2.2.9. Clasificación de las Amenazas o Peligros

Se pueden clasificar en: amenazas de origen natural, por procesos dinámicos en el interior como terremoto, tsunami; o en la superficie de la tierra como deslizamientos; por fenómenos meteorológicos y oceanográficos como el fenómeno del niño o biológicos como las plagas; y amenazas o peligros inducidos por la actividad del ser humano como incendios, derrames, explosiones, etc. (ver Tabla 2 y Figura 13).

Tabla 2.

Clasificación de las Amenazas o Peligros por su origen

Naturales	Antrópicas
- Sismos (terremotos)	- Contaminación ambiental
- Tsunamis (maremotos)	- Incendios urbanos
- Erupciones volcánicas	- Explosiones
- Sequias	- Derrames de sustancias tóxicas
- Altas temperaturas	- Desertificación de bosques
- Incendios forestales	- Colapso de túneles, excavaciones, taludes o laderas inestables
- Precipitaciones pluviales (lluvias intensas)	- Colapso del terreno por subsidencia inducida (explotación minera y petrolera)
- Precipitaciones de nieve y granizo con bajas temperaturas	
- Avalanchas (derrumbe de hielo y nieve mezclados con rocas y sedimentos)	
- Tormentas, ciclones y huracanes	
- Movimientos de masa lentos (deslizamientos) y rápidos (flujos de detritos, aluviones, huaycos)	
- Colapso del terreno por subsidencia natural (karstificación o licuefacción)	
- Plagas	
- Pandemias	

Fuente: INGEMMET (2005, 2006 y 2020).



Figura 13. Amenazas de origen natural y antrópico.

Fuente: IEEE (2011).

2.2.10. Amenazas o Peligros Frecuentes en el Área de Estudio

Dentro del área de estudio (Subcuenca de Occoruruni, Departamento de Puno), las amenazas o peligros que con mayor frecuencia ocurren se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3.

Amenazas o peligros frecuentes en el área de estudio.

Desastres (Acciones)	Amenazas o Peligros (Desencadenantes)	Efectos (Consecuencias)
Inundaciones	- Por precipitación de lluvias intensas, nieve y granizo - Por avalanchas y/o retroceso de glaciares	- Daños materiales de moderados a cuantiosos - Víctimas mortales que pueden llegar a ser numerosas
Derrumbes (lentos) y Aludes (rápidos)	- Por movimientos de masa lentos (deslizamientos) y rápidos (flujos de detritos, aluviones, huaycos)	- Daños materiales de moderados a cuantiosos - Víctimas mortales que pueden llegar a ser numerosas
Heladas o Nevadas	- Por precipitación de nieve y granizo con bajas temperaturas	- Muerte de animales, daños de cultivos - Víctimas mortales ocasionales

Fuente: INGEMMET (2020).

Lluvias: Es la precipitación de partículas de agua, en forma líquida (Figura 14). En el área de estudio pueden presentarse acompañadas de nieve y granizo (estado sólido) en las zonas más cercanas a la Cordillera de Apolobamba (El Espectador, 08/02/2019). Para una determinada región existe una precipitación promedio, cuando supera dicho promedio y genera daños, se tipifica como una lluvia intensa (CENEPRED, 2014).



Figura 14. Presencia lluvias torrenciales en la zona sur de Perú en el 2019.

Fuente: Agencia de noticias EFE verde (2019).

Heladas o Nevadas: Es un fenómeno atmosférico que consiste en la precipitación de agua helada, en forma de cristales agrupados en copos blancos que provienen de la congelación de vapor de agua atmosférica. Las nevadas se registran encima de los 3800 a 4000 m.s.n.m. (Santillana, 2015), y se presentan como se observa en la Figura 15:



Figura 15. Presencia de nevadas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Granizadas: Es el agua congelada que cae en forma de granos de hielo traslúcidos, de estructura hojosa en 10 capas concéntricas. Se originan en las nubes cumulonimbos y constituye un fenómeno de ámbito local y de corta duración, que acostumbra a resolverse en lluvia (CENEPRED, (2014), y se presentan como se observa en la Figura 16:



Figura 16. Presencia de granizadas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Avalanchas y Retroceso de los Glaciares: Se refieren a derrumbes o deslizamientos de hielo y nieve, con rocas y sedimentos, que se encuentra depositado en los glaciares, que pueden originando el desbordamiento de lagunas y lagos de origen glaciar. Las frecuentes avalanchas están asociadas a retroceso de los glaciares, que se han ido acelerando a medida que se ha acelerado el cambio climático (CENEPRED, 2014).

Erosión de Laderas: Es uno de los procesos de desgaste natural o inducido de la superficie de los cerros que consisten en el desprendimiento y transporte de material del suelo o la roca por la acción directa de un agente físico como puede ser el agua, el viento, el hielo o la acción humana. Esta acción generalmente es lenta pero persistente y determina el debilitamiento de la estabilidad de la ladera y por lo tanto coadyuva a su colapso.



Movimientos de Masa: Como parte de los procesos denudativos a los que está expuesta la corteza terrestre por la continua acción de agentes como temperatura, vientos, precipitaciones, etc. el relieve formado por el plegamiento tectónico es permanentemente desgastado por estos agentes climáticos lo cual crea las condiciones para los movimientos en masa. Bajo esta denominación se ha considerado un conjunto de eventos de geodinámica externa, como son los derrumbes, deslizamientos, hundimientos, erosión, reptación, volcamientos, caída de rocas, flujos de detritos, flujos de lodo, aluviones y avalanchas.

El término “movimientos en masa” es equivalente y viene a sustituir a “procesos de remoción en masa”. Los movimientos en masa pueden ser de desarrollo lento (derrumbes o deslizamientos) o repentino (flujos de detritos, aluviones, aludes o huaycos), y pueden referirse al desplazamiento de pequeñas, medianas o grandes porciones de roca y suelo desencadenados por la acción directa del agua, sea en estado líquido o sólido, o como resultado de movimientos sísmicos o bruscas variaciones climáticas (INGEMMET, 2005).

Por su parte a geodinámica externa estudia la acción de los agentes atmosféricos externos: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares y gravedad, sobre la capa superficial de la Tierra; fenómenos éstos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, y en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias (Guevara, s/f). En el Perú, peligros geológicos como deslizamientos, derrumbes y desprendimiento de rocas, se producen en gran parte de sus 159 cuencas hidrográficas (PNUD, 2010).

Su incidencia se localiza principalmente en los flancos y laderas de fuerte pendiente, de los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados del litoral



y en los cortes de carretera, donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, presencia de agua y pendientes les son favorables. La recurrencia de estos fenómenos y su capacidad de generar daño y destrucción en las poblaciones, infraestructura y actividad económica local y regional en las que impactan, hace que sean considerados como peligros.

Los eventos geodinámicos considerados como movimientos en masa identificados en el área de estudio son los siguientes:

- **Deslizamientos:** Se constituye junto a las inundaciones como uno de los fenómenos más comunes de geodinámica externa en la zona andina. Se entiende también que es un desplazamiento masivo de una porción significativa de suelo o ladera siguiendo un determinado plano de falla, pudiendo ser este plano o cilíndrico.
- **Flujos (Aluviones o Huaycos):** Los flujos de lodo y detritos son más conocidos en el Perú como aluviones o huaycos, son fenómenos muy frecuentes y localizados por encima de las zonas intermedias y bajas de los Andes en ambas vertientes. Consiste en una descarga relativamente violenta y torrentosa de agua, sedimentos, rocas de diverso tamaño y en algunos casos vegetación que se desplaza a lo largo de una quebrada seca o en un río de pendiente pronunciada. Se inicia con intensas precipitaciones que llegan a saturar las partes altas o medias de una cuenca o vaso receptor. El grado de peligrosidad de un huayco va depender de la intensidad y duración de la precipitación pluvial, el valor de material suelo acumulado o incorporado al sistema de drenaje de cauces, secundarios y principal, y finalmente la pendiente de la zona de transporte y descarga de esta cuenca.



- **Derrumbes (Caídas o Deslizamientos):** Este tipo de fenómeno de movimiento en masa consiste en el brusco desplome parcial de un talud, escarpe o ladera. Se presenta como un repentino desprendimiento de una porción significativa de material de cobertura del manto rocoso, también denominado depósito residual, al perder su cohesión interna ya sea por saturación (presencia de agua) o efecto de un movimiento sísmico u otro agente externo (incluida la acción humana).

2.2.11. Inundaciones en el Área de Estudio

De acuerdo con el Glosario Internacional de Hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas. Por otra parte, avenida se define como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad”.

Estos incrementos y disminuciones, representan el comportamiento del escurrimiento en un río. Con lo anterior, se entiende por inundación a un evento que debido a la precipitación (lluvia o nieve), avalancha, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. Las inundaciones en el Perú son los eventos más recurrentes y de mayor impacto en el país, pueden ser frecuentes y periódicas.



- **Frecuentes:** son las inundaciones que se producen anualmente en la cuenca amazónica en tiempo de lluvias entre los meses de octubre a mayo y con mayor y menor magnitud y área de afectación.
- **Periódicas:** son las inundaciones que ocurren en forma alternada en puntos específicos del territorio, a causa de lluvias intensas en la sierra que producen la crecida de caudales y desbordes en llanuras de la sierra y el altiplano. También las que se producen en las cuencas bajas de los ríos de la costa, por lo general en los últimos 10 a 20 km antes de su desembocadura en el mar. Debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina se tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país, como: Tumbes, Piura, y Lambayeque.

Las inundaciones más frecuentes en el área de estudio (Subcuenca Occoruruni) generalmente se han producido por aumento de caudal de los ríos originados por lluvias intensas, o por desbordamiento de lagos y lagunas de origen glaciar por efecto de las lluvias intensas o avalanchas (derrumbes o deslizamiento de hielo y nieve de los glaciares, junto con rocas y sedimentos).

2.2.12. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad surge como un concepto analítico en las ciencias ambientales para el estudio de poblaciones afectadas por riesgos naturales o donde se presentan potenciales amenazas naturales (Prowse, 2003). No obstante, enfoques más recientes (Hilhorst y Bankoff, 2004) han destacado la importancia de las dimensiones estructurales



de la vulnerabilidad socio-demográfica y ambiental como producto de una construcción social generada a partir de, faltan oportunidades de empoderamiento y de acceso a la protección social. La vulnerabilidad es la incapacidad de ofrecer resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.

Por ejemplo, las personas que viven en la planicie son más vulnerables ante las inundaciones que los que viven en lugares más altos. En realidad, la vulnerabilidad depende de diferentes factores, tales como la edad y la salud de la persona, las condiciones higiénicas y ambientales, así como la calidad y condiciones de las construcciones y su ubicación en relación con las amenazas. Las familias de pocos recursos económicos, muchas veces ocupan zonas de alto riesgo, alrededor de las ciudades, porque no tienen suficientes opciones de elegir lugares más seguros (y más caros). A esto lo llamamos vulnerabilidad económica.

Las familias que tienen vivienda de madera, tienen menor peligro de derrumbarse frente a un sismo, pero puede ser mucho más vulnerable frente a un incendio, inundación, aluvión huracán. A eso se le denomina vulnerabilidad física.

2.2.13. Tipos, Variables e Indicadores de Vulnerabilidad

La Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) y el desarrollo de acciones de prevención necesita de contar con un conjunto de indicadores que en forma permanente estén enviando señales de la evolución de determinados factores vinculados a eventos-amenazas de desastres al mismo tiempo plantea la necesidad permanente de evaluar los estados de capacidad de soporte territorial ante estos eventos-amenazas.

Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2015), el riesgo consta de dos elementos fundamentales: la

existencia de un evento, fenómeno o actividades humanas potencialmente dañinas (la amenaza o peligro) y el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos al riesgo (la vulnerabilidad), tal y como se observa en la Figura 17. Una población vulnerable es aquella que presenta un cierto nivel de exposición a un riesgo (población expuesta), y a su vez presenta un cierto nivel de fragilidad o carece de resiliencia. Adicionalmente, una población altamente vulnerable es aquella que se encuentra expuesta y además presenta una combinación de cierto nivel de fragilidad y de falta de resiliencia.

La percepción del riesgo varía según la sensibilidad de cada persona, comunidad o gobierno que depende del nivel de conocimiento de las amenazas y de la vulnerabilidad, lo que está vinculado en gran medida de la cantidad y calidad de la información disponible y accesible.

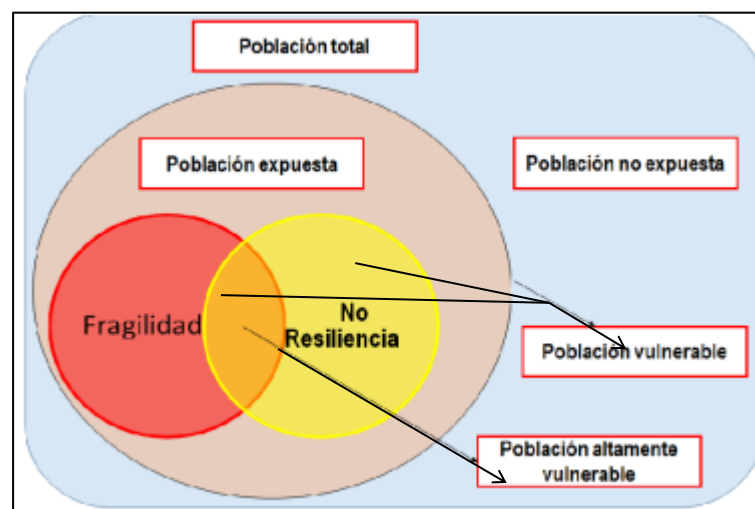


Figura 17. Elementos de poblaciones expuestas, vulnerables y altamente vulnerables.

Fuente: CENEPRED (2015)

Según el INCEDI (2006), existen 3 principales tipos de vulnerabilidad: la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales (vulnerabilidad ambiental), la vulnerabilidad de los sistemas humanos (vulnerabilidad antrópica) y la vulnerabilidad de los sistemas socio-ambientales (vulnerabilidad física). Estos tipos de vulnerabilidad se subdividen en varios sub-tipos, los cuales se detallan a continuación:

2.2.13.1. Vulnerabilidad de los Ecosistemas Naturales

También se conoce como vulnerabilidad ambiental, se refiere al grado de resistencia del medio natural y de los seres vivos que conforman un determinado ecosistema, ante la presencia de amenazas o peligros. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos las siguientes (ver Tabla 4):

Tabla 4.

Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad de los Ecosistemas Naturales

Variables	Indicadores
Pendientes del terreno	Densidad de población de la comunidad
Características geomecánicas / geotécnicas de diques naturales, laderas y taludes	% de diques naturales, laderas y taludes estables, moderadamente estables e inestables
Erosionabilidad o deforestación del terreno	% de terrenos erosionables o deforestados
Histórico de ocurrencia de un desastre ambiental	Frecuencia o probabilidad de ocurrencia anual de un desastre ambiental

Fuente: Elaboración propia.

Las vulnerabilidades ambientales no tienen todas las mismas influencias o pesos en todos los tipos de estimaciones de riesgos de desastres, sino que dependen de la amenaza que se está analizando, y entre las más comunes se tienen:

- Vulnerabilidad ante amenaza sísmica (terremotos: acción de esfuerzos tectónicos sobre edificaciones, diques naturales, laderas y taludes; y maremotos: tsunamis).
- Vulnerabilidad ante amenaza de inundaciones por lluvias intensas y crecidas de ríos.
- Vulnerabilidad ante amenaza de inundaciones por desbordamiento de lagos y lagunas glaciares.
- Vulnerabilidad ante amenaza de avalanchas.



- Vulnerabilidad ante amenaza de derrumbes por inestabilidad de taludes o laderas.
- Vulnerabilidad ante amenaza de movimientos de masa (aluviones, corrimientos de sedimentos o huaycos).
- Vulnerabilidad ante colapso del terreno por subsidencia.
- Vulnerabilidad ante amenaza de heladas o nevadas.
- Vulnerabilidad ante amenaza de sequías e incendios.
- Vulnerabilidad ante amenaza de tormentas, ciclones y huracanes.
- Vulnerabilidad ante amenaza de erupciones volcánicas.

2.2.13.2. Vulnerabilidad de los Sistemas Humanos

También se conoce como vulnerabilidad antrópica, se refiere al grado de resistencia de los sistemas humanos que conforman una sociedad, ante la presencia de amenazas o peligros. Generalmente, las vulnerabilidades de los sistemas humanos tienen una influencia o peso significativo en todos los tipos de estimaciones de riesgos de desastres, y entre las más comunes se tienen:

- Vulnerabilidad Social
- Vulnerabilidad Económica
- Vulnerabilidad Educativa
- Vulnerabilidad Cultural
- Vulnerabilidad Política e Institucional
- Vulnerabilidad Científica y Tecnológica

Vulnerabilidad Social: Se analiza a partir del nivel de organización y participación que tiene una colectividad (asociaciones civiles, ONG, consejos comunitarios, entre

otros) para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos las siguientes (ver Tabla 5):

Tabla 5.

Variables e Indicadores de la vulnerabilidad social

Variables	Indicadores
Población	Densidad de Población de la comunidad
Organización comunitaria / vecinal	No. y tipo de organizaciones (asociaciones de vecinos, ONG, consejos comunitarios, etc.)
Acceso a servicios de salud	No. y tipo de centros de salud
Acceso a medios de comunicación informativos	No. y tipo de medios de comunicación informativos
Acceso a canales de comunicación digitales y telefónicos	% de población con internet, teléfonos residenciales y cobertura de señal de telefonía celular
Acceso a canales de comunicación analógicos	% de población con radio

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad Económica: Se analiza a partir del nivel de acceso que tiene que tiene una colectividad a los activos económicos (tierra, infraestructura, servicios, empleos, entre otros) que se refleja en la capacidad para hacer frente a un desastre. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 6):

Tabla 6.

Variables e indicadores de la vulnerabilidad económica

Variables	Indicadores
Desarrollo económico	Ingresos Per-Cápita o PIB de la comunidad
Independencia económica	No. y tipo de actividades productivas
Acceso a servicios públicos	% de población con acceso a servicios públicos
Desempleo	% de desempleo

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad Educativa: Se analiza a partir del nivel de implementación de las estructuras curriculares, en los diferentes niveles de la educación formal, con la inclusión de diversos temas relacionados a la prevención y atención de desastres de origen natural o antrópico, orientado a preparar y educar a los estudiantes de todos los niveles, para crear una cultura de prevención, con un efecto multiplicador en la sociedad. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 7):

Tabla 7.
Variables e indicadores de la vulnerabilidad educativa

Variables	Indicadores
Analfabetismo	% de analfabetismo en la comunidad
Escolaridad (todos los niveles)	% de escolaridad (todos los niveles)
Educación preventiva y preparación reactiva ante desastres	% de población capacitada para prevención y mitigación de desastres

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad Cultural: Se analiza a partir de la percepción que tiene una colectividad sobre sí mismo, como sociedad o colectividad, el cual determina sus reacciones ante la ocurrencia de un desastre de origen natural o antrópico y estará influenciado según su nivel de conocimiento, creencia, costumbre, actitud, temor, mitos, entre otros. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 8):

Tabla 8.
Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Cultural

Variables	Indicadores
Programas radiales y de TV sobre prevención de desastres	No. y tipo de programas radiales y de TV sobre prevención de desastres en la comunidad
Campañas institucionales educativas	No. y tipo de campañas institucionales educativas
Integración comunal con autoridades para prevención y mitigación de desastres	% de población organizada en equipos de trabajo para prevención y reacción ante desastres

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad Política e Institucional: Se analiza a partir del grado de autonomía y el nivel de decisiones que pueden tener las instituciones públicas existentes en una colectividad o centro poblado para actuar y gestionar un desastre de origen natural o antrópico. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 9):

Tabla 9.

Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Política e Institucional

Variables	Indicadores
Apoyo gubernamental a los proyectos preventivos de la comunidad	No. de proyectos preventivos de la comunidad apalancados
Participación de la comunidad en decisiones locales	Nro. de representantes de la comunidad ante instituciones gubernamentales
Instituciones relacionadas con prevención y mitigación de desastres	Nro. de instituciones gubernamentales presentes en la comunidad
Ejecución de planes de prevención y mitigación de desastres	Nro. de planes de prevención y mitigación ejecutados en la comunidad por año
Vigilancia del cumplimiento de normativas de planificación territorial, prevención y mitigación de desastres	Nro. de inspecciones de vigilancia por año

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad Científica y Tecnológica: Se analiza a partir del nivel de conocimiento científico y tecnológico que una colectividad debe tener sobre las amenazas y riesgos de origen natural o antrópico que se presentan en la región donde cohabitan sus pobladores. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 10):

Tabla 10

Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad Científica y Tecnológica

Variables	Indicadores
Estudios de amenazas (peligros) vulnerabilidades y riesgos de desastres	Disponibilidad de este tipo de estudios en la comunidad
Capacitación técnica a funcionarios y residentes de la comunidad en prevención y mitigación de desastres	Nro. de funcionarios y residentes de la comunidad capacitados por año
Diseño y actualización de planes de prevención y mitigación de desastres	Disponibilidad de este tipo de planes actualizados en la comunidad

Fuente: Elaboración propia.

2.2.13.3. Vulnerabilidad de los Sistemas Socio-Ambientales

También conocida como vulnerabilidad física. Se refiere a la vulnerabilidad que se presenta en los sistemas donde interactúan los sistemas humanos con los sistemas ecológicos naturales. Está relacionada con la distancia o ubicación relativa de las edificaciones o asentamientos humanos de los elementos naturales de riesgo (ríos, quebradas, costas, laderas inestables, zonas kársticas, fallas geológicas, volcanes, etc.), con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de viviendas, edificaciones de uso económico (comerciales e industriales), de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), de infraestructura (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), entre otros, que le permiten o no asimilar los efectos de los desastres. Entre las variables e indicadores de este tipo de vulnerabilidad tenemos (ver Tabla 11):

Tabla 11.

Variables e Indicadores de la Vulnerabilidad de los Sistemas Socio-Ambientales

Variables	Indicadores
Resistencia de las estructuras de las edificaciones ante desastres (sismos, inundaciones, heladas, etc.)	% de edificaciones resistentes, moderadamente resistentes y poco resistentes
Distancia de las edificaciones a elementos naturales de riesgo (ríos, quebradas, costas, laderas inestables, zonas kársticas, fallas geológicas, volcanes, etc.)	% de edificaciones ubicadas a distancias cercanas, moderadamente cercanas y lejanas a elementos naturales de riesgo
Características geomecánicas / geotécnicas del suelo donde se asientan las edificaciones	% de edificaciones sobre suelos estables o consolidados, suelos moderadamente estables y suelos inestables o poco consolidados
Estado de instalaciones / líneas de servicios públicos (agua potable, aguas servidas, gas, electricidad, telefonía, internet, etc.)	% de instalaciones / líneas de servicios públicos en estado óptimo (mantenimiento frecuente), estado regular y estado deteriorado (sin mantenimiento)
Instalaciones dedicadas a emergencias	

Fuente: Elaboración propia.

2.2.14. Componentes de la Vulnerabilidad de los Sistemas Humanos

Los componentes de la vulnerabilidad de los sistemas humanos o socio-económica se pueden analizar desde el enfoque de la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), o desde el enfoque de Adaptación al Cambio Climático (ACC).

- Desde el enfoque de la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD):
 - Exposición
 - Fragilidad
 - Resiliencia
- Desde el enfoque de Adaptación al Cambio Climático (ACC):
 - Exposición
 - Sensibilidad o Susceptibilidad



- Capacidad de Adaptación

2.2.14.1. Exposición

El grado de exposición está relacionado con las decisiones y prácticas que ubican a una unidad social (personas, familias, comunidad, sociedad), estructura física o actividad económica, en la zona de influencia de un peligro. Se expone a la unidad social al impacto negativo de un peligro (DGPM-MEF, 2006). La ocupación de espacios en zonas propensas a amenazas o peligros está asociada a un alto grado de exposición. A mayor grado de exposición, mayor es el grado de vulnerabilidad.

2.2.14.2. Fragilidad

Se refiere al grado de resistencia y/o protección frente al impacto de un peligro, es decir, a las condiciones de desventaja o relativa debilidad de una unidad social. En la práctica, se refiere a formas constructivas, tipo de material, tecnología utilizada, etc. (DGPM-MEF, 2006). Las formas constructivas inadecuadas están asociadas a una alta fragilidad (bajo grado de resistencia y/o protección). A mayor grado de fragilidad, mayor es el grado de vulnerabilidad.

2.2.14.3. Resiliencia

Es la capacidad de un sistema social o ecológico para absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de autoorganización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio (IPCC, 2007). También puede definirse como la capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, actividades económicas y estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres



pasados para protegerse mejor en el futuro (Ley N° 29664, SINAGERD, 2011). A mayor grado de resiliencia, menor es el grado de vulnerabilidad.

2.2.14.4. Sensibilidad o Susceptibilidad

Se refiere al nivel en el que un sistema resulta afectado, ya sea negativa o positivamente, por estímulos relacionados con el clima. El efecto puede ser directo—ejemplo: cambio en los niveles de producción como respuesta a las variaciones de temperatura, o indirecto—como incremento en la frecuencia de inundaciones debido a mayor intensidad de las lluvias (IPCC, 2001). Un ejemplo es la estimación de la sensibilidad de los niños menores a 5 años de tener infecciones respiratorias agudas, en los descensos de temperaturas (nevadas o heladas). A mayor grado de sensibilidad, mayor es el grado de vulnerabilidad.

2.2.14.5. Capacidad de Adaptación

Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio (incluida la variabilidad climática y los desastres) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas (IPCC, 2001). Conjunto de capacidades, recursos e instituciones de un país o región que permitirían implementar medidas de adaptación eficaces (IPCC, 2007). A mayor grado de capacidad de adaptación, menor es el grado de vulnerabilidad.

La capacidad de adaptación al cambio está directamente relacionada con los patrimonios, capitales, medios de vida o de subsistencia que posee una persona, familia o grupo social. Los patrimonios consisten en las capacidades, bienes, recursos, oportunidades y actividades que se requieren para poder sobrevivir y recuperarse ante dificultades de la vida, como un desastre de origen natural o antrópico (Ellis, 2000). La variedad y cantidad de patrimonios que posee una persona, familia o grupo social

determina qué tan estables son y qué capacidad de adaptación al cambio tienen. Estos patrimonios no son sólo económicos, y los mismos se mencionan a continuación:

- Capital Financiero (ahorros, inversiones, financiamiento, etc.)
- Capital Humano (conocimientos, destrezas, creatividad, salud, etc.)
- Capital Social (organización comunitaria, apoyo gubernamental, cultura, etc.)
- Capital Físico (edificaciones, caminos, cultivos, ganado, etc.)
- Capital Natural (tierra, agua, aire, vegetación, etc.)

2.2.15. Riesgo

El riesgo se define como “la probabilidad de que la unidad social o sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia del impacto de un peligro” (DGPM-MEF, 2006). El riesgo es función de una amenaza o peligro. Esto quiere decir que el riesgo es una función de ambos componentes.

Las amenazas y las vulnerabilidades (exposición, fragilidad y resiliencia) constituyen los factores de riesgo de desastres, tal y como se muestra en la Figura 18:

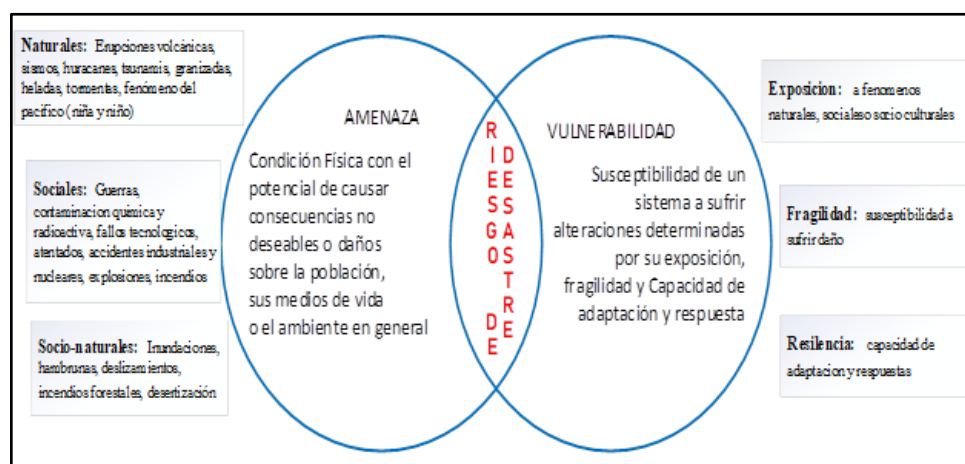


Figura 18. Factores de Riesgos: amenazas y vulnerabilidades.

Fuente: Elaboración propia.



2.2.14.2. Estimación de Riesgo

Según el INAA (2013), la estimación del riesgo consiste en estimar las pérdidas probables para los diferentes eventos peligrosos posibles. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento. Por otro lado, el INDECI (2012) afirma que el proceso de estimación de riesgos es un conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en una determinada área geográfica, con el fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las vulnerabilidades, para calcular el nivel de riesgo esperado (probabilidades de daños: pérdidas de vida e infraestructura).

Soldano (2008) señala que para poder medir o estimar el riesgo la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado (potencial de ocurrencia de la amenaza o peligro referido a una región y a un periodo determinado de tiempo), multiplicado por las consecuencias esperadas (condiciones de vulnerabilidad de la comunidad asentada en dicha región). La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo} = (\text{Amenaza}) * (\text{Vulnerabilidad}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Es decir, esta fórmula expresa matemáticamente que: si estamos ante la presencia de una amenaza o peligro, y se combina con una vulnerabilidad asociada ante la misma, entonces existe un riesgo. No puede hacerse una estimación de riesgo confiable, si antes no se efectúa una exhaustiva estimación de las amenazas y de las vulnerabilidades. Esta fórmula es utilizada por muchas organizaciones, instituciones y centros de investigación relacionados con la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), como el International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2004), el Instituto Nacional de Defensa Civil del

Perú (INDECI, 2006, 2016) y el Instituto nacional de Geología, Minería y Metalurgia (INGEMMET, 2006).

Adicionalmente, desde el punto de vista cualitativo, existe una matriz que permite estimar los niveles de riesgo (INDECI, 2006), a partir de los niveles de una amenaza y una vulnerabilidad, tal y como se muestra en la Figura 19:

		Niveles de Riesgo			
Niveles de Amenaza	Amenaza Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
	Amenaza Alta	Riesgo Moderado	Riesgo Moderado	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
	Amenaza Moderada	Riesgo Bajo	Riesgo Moderado	Riesgo Moderado	Riesgo Alto
	Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Moderado	Riesgo Alto
		Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Moderada	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta
		Niveles de Vulnerabilidad			

Figura 19. Matriz de evaluación de riesgos.

Fuente: INDECI (2006).

2.2.16. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS en los países angloparlantes) es una herramienta computacional compuesta por equipos, programas, datos georreferenciados y usuarios que requieren organizar, analizar, automatizar procesos y producir información. Un SIG es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación y análisis de datos; así como la salida eficiente de información espacial, en forma de mapas y atributos (Burrough, 1986).

Los SIG son herramientas tecnológicas que forman parte de la Geomática, las cuales permiten realizar la gestión eficiente de datos e información geoespacial, a través del

almacenamiento, procesamiento, análisis, modelamiento y construcción de mapas a partir de datos vectoriales (x, y, z), datos tabulares (tablas de datos o atributos) y raster georreferenciados (imágenes), para el conocimiento y solución de los problemas de índole territorial (Valenzuela, 1989).

La aplicación SIG utilizada en este estudio fue ArcMap, que se incluye en el conjunto de SIG de escritorio ArcGIS Desktop 10.7. Se utiliza para realizar muchas de las tareas habituales de SIG, así como tareas especializadas, específicas del usuario. ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos, que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc. Los datos e información geoespacial que se pueden cargar, administrar, procesar e interpretar en un SIG se esquematizan a continuación en la Figura 20:

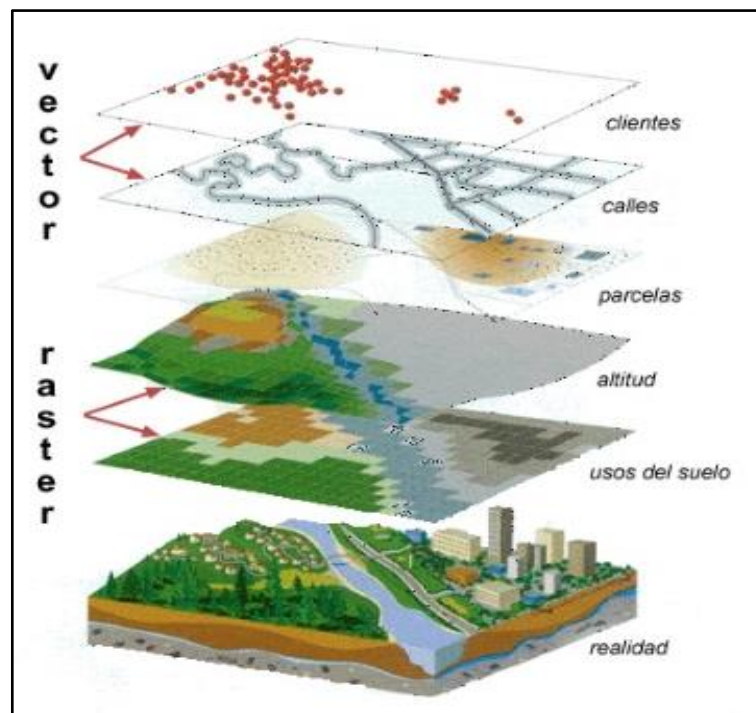


Figura 20. Datos e información geoespacial en un sistema de información geográfica (SIG).

Fuente: Prieto (2015).



2.2.16.1. Elementos de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un SIG está formado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción. Es decir, éstos conforman la información para que sea procesada o se realice un tratamiento, los recursos técnicos, humanos y las metodologías que se adopten en la organización o la empresa. A continuación, se describen los componentes de un SIG (ver Figura 21):

- **Hardware:** Es el equipo de cómputo con el que opera un SIG. Actualmente el software de estos sistemas se ha adaptado a diversos tipos de hardware desde arquitecturas clientes-servidor hasta computadoras de escritorio aisladas. Para las consultas espaciales el hardware es útil para efectuar el procesamiento de las operaciones que con base a algoritmos solucionan las relaciones entre geometrías.
- **Software:** Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica, para ello se necesitan de elementos principales de software los cuales son:
 - Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
 - Un sistema de administración de base de datos (DBMS: Data Base Management System).
 - Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
 - Una interfaz gráfica de usuario (GUI: Graphical User Interface) de manera que facilite el acceso a las herramientas anteriormente mencionadas.



- **Datos:** se refiere al elemento principal para lograr una correcta información. Es decir, una vez conocido el objeto del modelo del mundo real, se identifican las propiedades que lo forman, por ejemplo, sus atributos que se refieren a los elementos descriptivos y el tipo de geometría como el elemento espacial. En las consultas espaciales es necesario conocer el tipo de geometría entre los objetos del mundo real que se relacionan topológicamente.
- **Usuario:** son las personas que se encargan de administrar el sistema, así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores y usuarios. Por ejemplo, para las consultas espaciales, esas personas se refieren a quienes proporcionan la información fuente, realizan la edición de la información, implementan los algoritmos útiles para resolver las consultas espaciales y los usuarios finales que se favorecen de la aplicación o proyecto elaborado.
- **Métodos:** Son los planes de un buen diseño y las normas por parte de la empresa, las cuales son modelos y prácticas de operación de cada organización (ESRI, 2001).

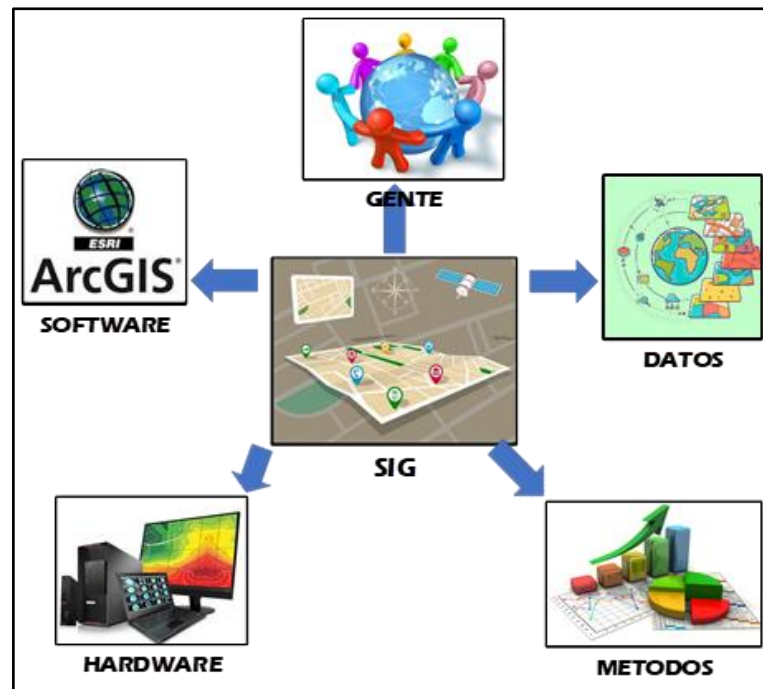


Figura 21. Componentes de un SIG.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.16.2. Base de Datos Geospaciales

Es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: datos espaciales y sus atributos o datos no espaciales (ESRI, 2002).

Una base de datos espacial es una base de datos que se ha optimizado para almacenar y consultar datos que representa los objetos definidos en un espacio geométrico. La mayoría de las bases de datos espaciales permiten representar objetos geométricos simples, tales como puntos, líneas y polígonos. Algunas bases de datos espaciales manejan estructuras más complejas, tales como objetos en tres dimensiones, coberturas topológicas, redes lineales y TIN.

En este tipo de bases de datos es imprescindible establecer un cuadro de referencia (un SRE, Sistema de Referencia Espacial) para definir la localización y relación entre

objetos, ya que los datos tratados en este tipo de bases de datos tienen un valor relativo, no es un valor absoluto. Los sistemas de referencia espacial pueden ser de dos tipos: georreferenciados (aquellos que se establecen sobre la superficie terrestre. Son los que normalmente se utilizan, ya que es un dominio manipulable, perceptible y que sirve de referencia) y no georreferenciados (son sistemas que tienen valor físico, pero que pueden ser útiles en determinadas situaciones).

2.2.17. Modelos Digitales de Elevaciones y Modelos Digitales del Terreno

El término modelo digital de elevaciones, abreviado en inglés como DEM (digital elevation model), se refiere a cualquier representación en soporte informático (digital) de una superficie, sea al nivel del suelo (topografía), de algún nivel del subsuelo (por ejemplo: superficies piezométricas, mapas estructurales, cuerpos mineralizados, etc.), o de algún nivel por encima del suelo (por ejemplo, una representación de datos LiDAR de altitudes de edificios y/o copas de árboles). También se denominan genéricamente como modelo digital de superficie, abreviado en inglés como DSM (digital surface model), como se muestra en la Figura 26 (Página web del CDEMA, 2019).

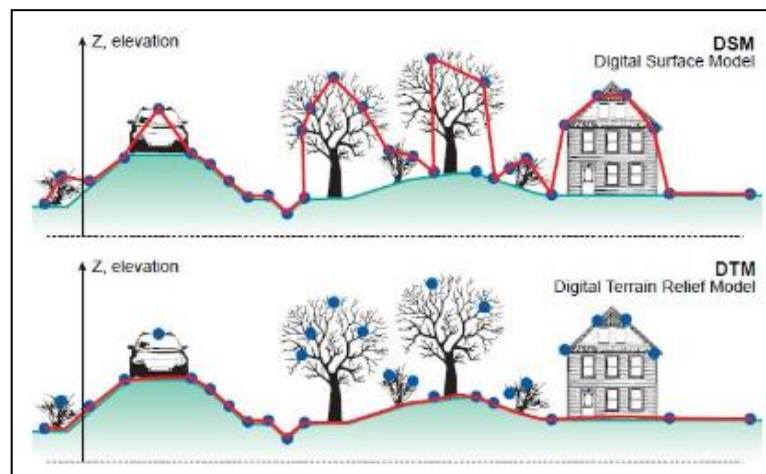


Figura 22. Diferencia entre modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital del terreno (DTM). Fuente: Página web del CDEMA (2019).



Mientras que el término modelo digital del terreno, abreviado en inglés como DTM (digital terrain model) se utiliza con mayor frecuencia para aludir a los SIG, que incluyen el modelo de elevaciones de la topografía y otras propiedades del terreno, como tipos de suelos, vegetación, hidrografía, red vial, etc. (Cebrián y Mark, 1986).

Los modelos digitales de elevaciones (DEM) y modelos digitales del terreno (DTM) para un SIG son un tipo de raster que representa el fenómeno geográfico de la elevación medida sobre una superficie. Existen diversas maneras de obtener un DEM o DTM, como puede ser a través de la digitalización de curvas de nivel o en otros casos a través de algún Sensor. En el presente estudio se utilizó el generado a través del sensor LANDSAT, con una resolución de 12,5 m.

El sensor LANDSAT es uno de los múltiples recursos cartográficos disponibles dentro de los productos del satélite LANDSAT (Advanced Land Observation Satellite) de Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), que adquirió imágenes radar entre 2006 y 2011. ALOS también conocido como DAICHI, lleva a bordo tres sensores: el PRISM para imágenes pancromáticas, el radar de apertura sintética PALSAR y el radiómetro AVNIR. Los instrumentos a bordo han suministrado los DEM o DTM multitemporales además de otros productos SAR que podremos descargar en diversas resoluciones, formatos y niveles de producto.

Los productos obtenidos con el sensor ALOSPALSAR son uno de los recursos DEM más atractivos con una resolución nativa de 30 y 12,5 metros muestreados a nivel mundial y de manera multitemporal, con una periodicidad de 46 días aunque un periodo de mapeo histórico comprendido entre 2006 y 2011 o mosaicos anuales a 25 metros hasta la actualidad.



2.2.18. Grillas PISCO

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) ha comenzado a producir mapas o grillas PISCO (Peruvian Interpolation Data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations). Estos productos PISCO tienen un área de mapeo nacional y cuentan con datos diarios, mensuales y/o anuales desde enero de 1981 hasta diciembre del 2016 a una resolución de ~10 km para varias cuencas hidrológicas (Ver Figura 28).

Los datos observados (en total 684 estaciones meteorológicas o climatológicas) fueron obtenidos por el SENAMHI. Estos datos fueron sometidos a tres principales procesos: a) control de calidad, b) imputación y c) homogeneización. El control de calidad fue automático y visual siguiendo los lineamientos de Aguilar et al. (2003) y Hunziker et al., (2018). La imputación de información hizo uso de los valores de "T" diaria de estaciones y datos de análisis del ERA-Interim (Tx y Tn) a través de un modelo estadístico basado en desviaciones de T (anomalías estandarizadas).

Para la homogeneización se usó el algoritmo de Menne y Williams (2009) a escala mensual, y para las correcciones diarias se realizó una transformación de los factores mensuales a diarios (Vincent et al., 2002). De esta manera, luego del control de calidad de datos se usaron 178 series de tiempo (Tx y Tn) con al menos 15 años de datos que posteriormente fueron completados y homogeneizados en el periodo 1981-2016. La Figura 19 muestra la distribución espacial de estaciones de Tx y Ty disponibles (684, anaranjado) y usadas (178, negro) para la construcción de las grillas PISCO.

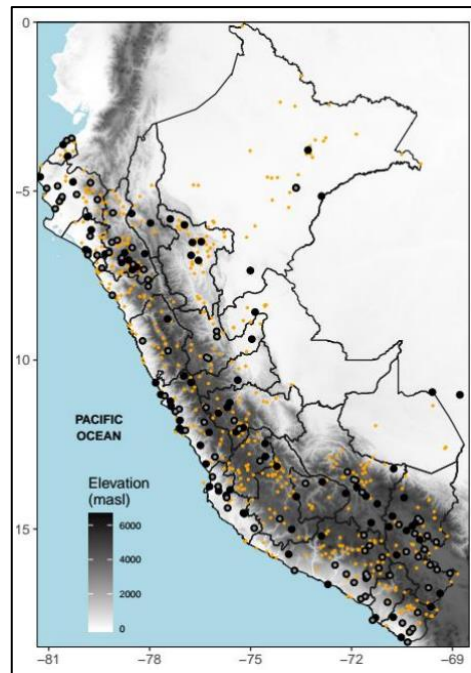


Figura 23. Distribución espacial de estaciones meteorológicas en el Perú.

Fuente: SENHAMI-DHI (2018).

2.2.19. Modelamiento Geoespacial

Una definición bastante generalizada de modelo, originada en ámbitos geográficos, indica que es “una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly, 1988). De esta definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro objeto o sistema de menor complejidad.

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica. Para concretar, se denomina modelo a la representación matemática o gráfica de la realidad que es utilizada para plantear un problema, normalmente de manera simplificada en términos relativos y planteados desde un punto de vista matemático, aunque también puede tratarse de un modelo físico. Es una representación conceptual o



física a escala de un proceso o sistema (fenómeno), con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis o supuestos y permitir una mejor comprensión del fenómeno real al cual el modelo representa (Ríos S, 1995).

El modelamiento geoespacial consiste en “la manipulación interactiva de los mapas a través de diferentes submodelos preparados y organizados de acuerdo a una hipótesis planteada” (MINAM, 2011). Es un conjunto de operaciones de análisis que se efectúa a través de comandos interactivos dentro de una aplicación de SIG, utilizando mapas que actúan como una superposición, cuyo fin es procesar decisiones de tipo espacial. La realidad está representada en mapas, y en los objetos, elementos o atributos que contienen dichos mapas.

Este modelamiento está orientado a procesos y no a productos. Se refiere a la utilización de las funciones de análisis de un SIG bajo una secuencia lógica, de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Es la expresión detallada de la manipulación de los datos utilizando las funciones de la aplicación SIG que se está utilizando, para la producción de nueva información que será almacenada en el computador, de manera permanente como nuevas entidades o de manera virtual para análisis determinados (ver Figura 22).

Por medio del análisis y modelamiento espacial se pueden desarrollar modelos que permitan al usuario la evaluación de diferentes alternativas para solucionar problemas espaciales. Sí se tuviera que hacer este tipo de análisis en forma manual, se gastaría mucho tiempo y el resultado saldría, muy probablemente, menos preciso que el mismo análisis en un SIG. Un SIG es una herramienta (no la solución a un problema) que se puede aplicar efectivamente para hacer un estudio espacial (Bakker et al, 2001).

Los datos espaciales enlazan información alfanumérica con una localización específica. La información alfanumérica se muestra en la pantalla del ordenador acorde a la localización de los objetos. Esto es lo que se llama modelo de datos “es un conjunto construido para la descripción y representación del aspecto de los objetos del mundo real en el ordenador” (Longley et al. 2011).

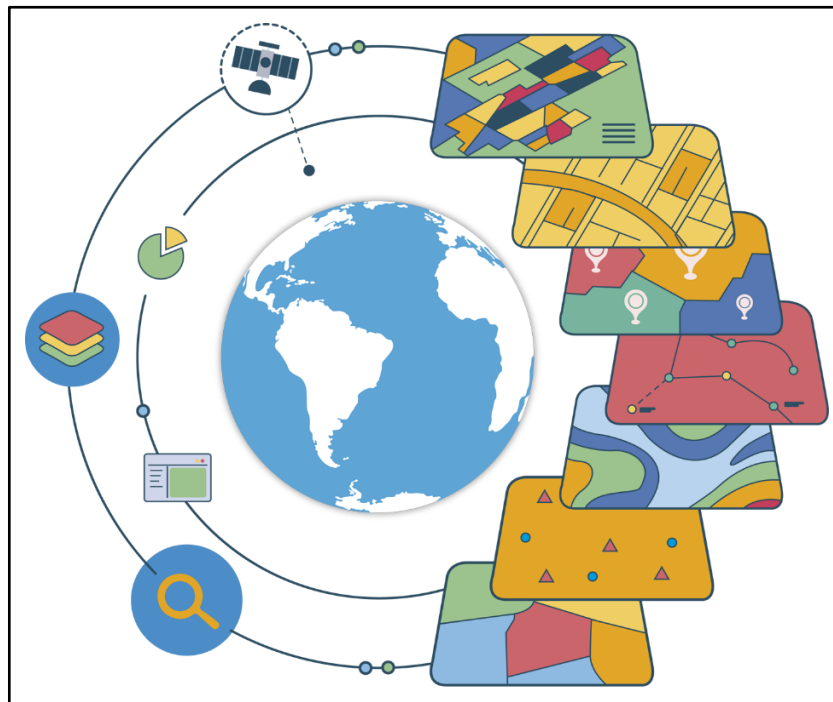


Figura 24. Modelamiento geoespacial en un SIG.

Fuente: Instituto geográfico nacional (2017).

La base de cualquier modelamiento geoespacial lo constituye una base de datos georreferenciada, constituida por el modelo digital de elevaciones (DEM) o modelo digital del terreno (DTM), las imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas, de drones o imágenes de satélites), y cualquier mapa temático (geológico, geomorfológico, hidrográfico, de temperaturas, radiación solar, etc.), cultural (uso del suelo, áreas administrativas, carreteras y calles, etc.), que permitan efectuar superposición de los mismos y hacer análisis multicriterio o multi atributo (ver Figura 23).

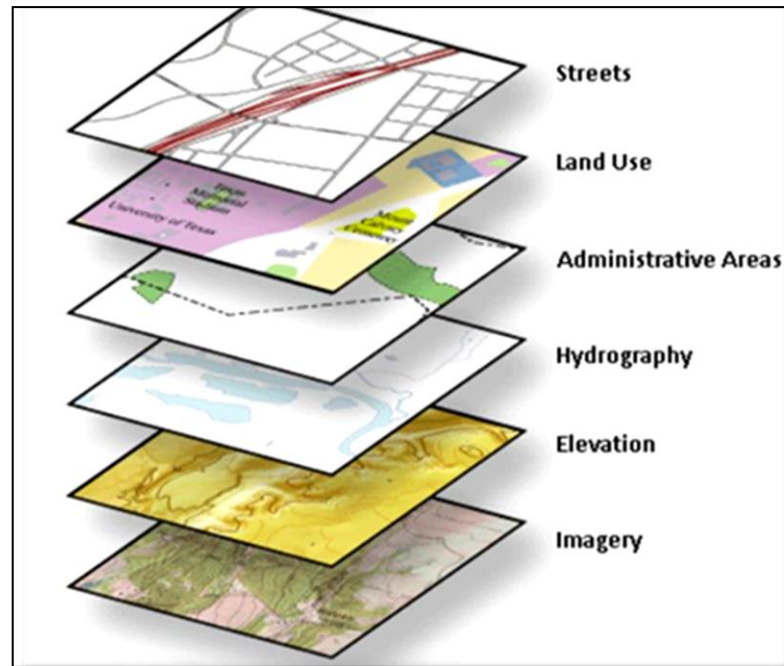


Figura 25. Superposición de mapas temáticos para análisis multicriterio en un SIG.

Fuente: Geosolutions (2014).

2.2.19.1. Modelo de Datos

La codificación de los parámetros y variables de un modelo en un SIG requiere su simplificación y cuantificación. En definitiva, se trata de utilizar un modelo de datos. Los SIG presentan diferentes estructuras de datos que corresponden a diferentes modelos de la realidad. Tanto en SIG como en gestión de bases de datos en general, suele asumirse la existencia de diversos niveles de abstracción en la codificación de los elementos de un modelo de datos mediante determinados modelos de datos. En primer lugar, un modelo conceptual acerca de cómo entendemos la realidad y en segundo lugar un modelo lógico que define las diferentes estrategias para codificar la realidad en función del modelo conceptual adoptado. Un tercer nivel, ya específico de cada programa concreto, sería un modelo físico que define la implementación digital de un determinado modelo lógico (Alonso 2004).



2.2.19.2. Diseño Conceptual

Corresponde a la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetivos del espacio geográfico (rasgos geográficos) con sus relaciones espaciales y sus características; es decir, los atributos con lo que serán representados en un esquema describiendo los fenómenos del mundo real. Para llegar a ello, se debe tener el conocimiento y el análisis de datos que se requiere para utilizar y de esta manera determinar el modelo, los submodelos y las variables requeridas y luego establecer los rasgos y atributos que tenga relación para llegar a construir el modelo final (Gobierno Regional Cajamarca ZEEOT 2012).

2.2.19.3. Diseño Lógico

Se define como el diseño detallado de la base de datos que deben contener y la información sobre las variables de atributos descriptivos y los niveles de información gráfica o variables de atributos geométricos que deben ser capturados con los atributos, código de identificación, tipos de datos numéricos o carácter, su longitud, los rasgos geográficos (punto, línea o área) de cada uno de los mapas temáticos requeridos (Gobierno Regional Cajamarca ZEE 2010).

2.2.19.4. Proceso Analítico Jerárquico o Análisis Multicriterio

Cuando se efectúan modelamiento de propiedades o atributos (alternativas de salida) que dependen de otras propiedades o atributos iniciales (criterios de entrada), muchas veces se cuenta con muy poca información o se tienen que tomar decisiones teniendo en cuenta aspectos cualitativos que son difíciles de valorar. Con el fin de solucionar este tipo de problemas, muy habituales en situaciones reales, el profesor Thomas L. Saaty propuso en la década de 1970 un método denominado Analytic Hierarchy Process (AHP), que puede traducirse como Proceso Analítico Jerárquico.

Este es un método de análisis multi atributo o multicriterio, creado para toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, hoy día se aplica habitualmente a casi todos los ámbitos empresariales, la economía o la investigación de operaciones, entre otros (Yepes, 2018).

El AHP o Proceso Analítico Jerárquico es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores, tal y como se muestra en la Figura 24. Para que el método sea eficaz, es fundamental que los criterios y subcriterios estén muy bien definidos, que sean relevantes y mutuamente excluyentes (es decir, que exista independencia entre ellos). Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones a pares.

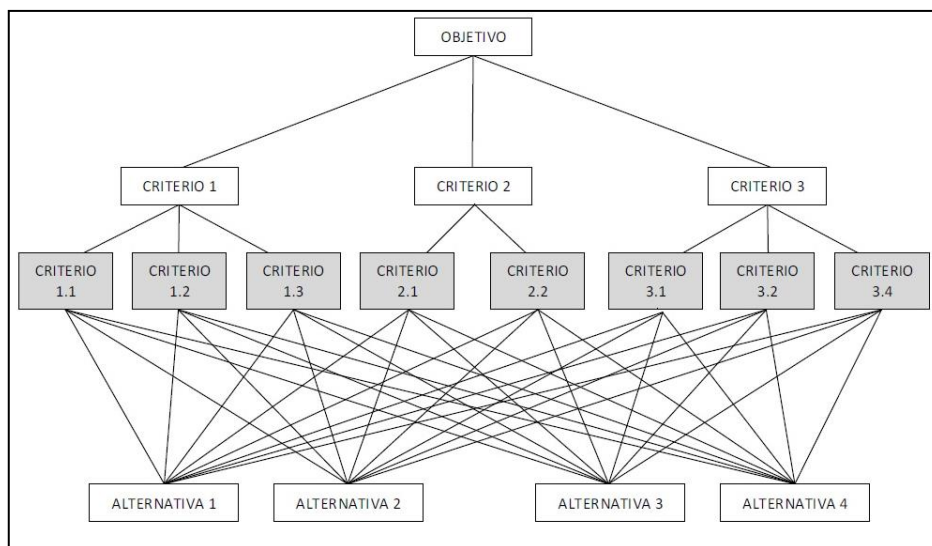


Figura 26. Ejemplo de estructura jerárquica del AHP o proceso analítico jerárquico.

Fuente: Yepes (2018).

Una vez definida la estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. Para ello se utilizan matrices de comparación pareadas usando una escala fundamental, denominadas también Matriz Saaty (ver Figura 25). Esta es la clave del método, utilizar una escala de comparación por pares, puesto que el cerebro humano está especialmente bien diseñado para comparar dos criterios o alternativas entre sí, excepto cuando tiene que hacer comparaciones conjuntas. La Matriz Saaty es un método jerárquico de asignación de pesos de las variables o criterios de entrada para un análisis multicriterio.

En este orden de ideas, la Ley de Weber-Fechner establece que el menor cambio discernible en la magnitud de un estímulo es proporcional a la magnitud de dicho estímulo. Como la relación entre el estímulo y la percepción corresponde a una escala logarítmica, si un estímulo crece en progresión geométrica, la percepción evolucionará como una progresión aritmética. Es por ello que AHP o Proceso Analítico Jerárquico utiliza una escala fundamental del 1 al 9 que ha sido satisfactoria en comprobaciones empíricas realizadas en situaciones reales muy diversas (Yepes, 2018).

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Figura 27. Ejemplo de escala fundamental de comparación por pares o matriz Saaty.
Fuente: Saaty (1980).

Cuando se realiza modelamiento geoespacial en un SIG, el análisis multicriterio o multi atributo, también conocido como análisis de superposición ponderada o álgebra



de mapas, es especialmente útil en su aplicación a la caracterización de fenómenos, propiedades o atributos de cualquier índole geocientífica (geográfica, ambiental, geológica, geomorfológica, meteorológica, etc.), ya que en muchos problemas de esta índole influyen multitud de factores. Muchas aplicaciones de SIG cocidas (como ArcGIS o QGIS) permiten efectuar este tipo de análisis. También estos pueden programarse a través de flujos de trabajo en lenguaje R o Python.

2.2.19.5. Estimación del Índice de Vegetación para Identificar Llanuras de Inundación

Los datos de imágenes satelitales LANDSAT pueden ser utilizados para encontrar indicadores de llanuras de inundación y son más fáciles de usar que las imágenes de aeronaves para demarcar llanuras de inundación (Alonso, 2015). Los mapas de áreas de inundación y amenazas de inundación han sido preparados por muchos hidrólogos en todo el mundo con datos de aeronaves y satélites, principalmente las bandas visibles e infrarrojo (Deutsch, 1974). A su vez, otros pocos hidrólogos han utilizado los datos de infrarrojo térmico para cartografía de áreas inundadas (Wiesner et al., 1974, y Berg et al., 1981).

La información de fotografías aéreas realizada por computadora, o una combinación de ésta con imágenes de satélite, también ha sido utilizada con este objetivo. A su vez, se han usado las fotografías aéreas digitalizadas, en color infrarrojo, para clasificar la vegetación que se correlaciona con las llanuras de inundación (Harker y Rouse, 1977). Los datos digitales LANDSAT han sido combinados con datos digitales de elevación para desarrollar relaciones etapa-área de áreas inundables (Struve, 1979). Una referencia integral sobre técnicas de percepción remota relacionadas con el curso de las

aguas es Satellite Hydrology (Deutsch, 1981), compilación que contiene más de 100 artículos sobre el tema.

Las estimaciones de índices de vegetación son el resultado de combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, etc. Se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales.

De todas las metodologías desarrolladas, el índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es el más utilizado. Es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para el cálculo de los índices de vegetación es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja de ese espectro electromagnético (Alonso, 2015). El cálculo del de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se hace mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Es decir, para el presente estudio con las bandas espectrales del satélite LANDSAT 8, mediante la diferencia entre la reflectancia de las bandas 5 (infrarrojo cercano) y 4 (rojo visible) dividido por la suma de estas dos bandas de reflectancia (Ver Figura 1).



Este índice define valores de -1.0 a 1.0, donde los valores negativos están formados principalmente por nubes, agua y nieve, y los valores negativos cercanos a cero están formados principalmente por rocas y suelo descubierto. Los valores muy pequeños (0,1 o menos) de la función NDVI corresponden a áreas sin rocas, arena o nieve. Los valores moderados (de 0,2 a 0,3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0,6 a 0,8) indican bosques templados y tropicales.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. Materiales y Equipos para el Trabajo de Campo

Para realizar el trabajo de campo requerido en el presente proyecto de investigación, se utilizaron una serie de materiales y equipos, los cuales se mencionan a continuación en la Tabla 12:

Tabla 12.

Equipos y herramientas a utilizar

Numero	Equipo Técnico y Especialista	Función y Utilidad
01	GPS diferencial (216 canales universales), marca Topcon, modelo GR5,	Proporcionar correcciones de datos recibidos de los satélites GPS, para obtener una mayor precisión.
02	GPS portátil, marca Garmin, modelo 60x	Tomar coordenadas referenciales.
05	Controlador de GPS, marca Topcon	Para realizar el almacenamiento y levantamiento de puntos en RTK.
03	Cámara fotográfica digital, marca SONY	Para tomar evidencias del trabajo realizado.
06	Drone (vehículo aéreo no tripulado) equipado con cámara de fotogrametría digital	Levantamiento fotogramétrico digital.
07	Radio-comunicadores	Para que la cuadrilla de topografía se comunique.
08	Libreta de campo	Para realizar apuntes de observación y de coordenadas.
09	Yeso	Para trazar puntos en RTK.

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, se organizó una brigada de investigación para efectuar labores específicas, las cuales se listan a continuación en la Tabla 13:

Tabla 13.*Labores de la brigada de estudio*

Número	Equipo Técnico y Especialista	Labor que Realiza
01	Ingeniero Topógrafo Agrimensor	Colocar los puntos de control topográfico.
02	Operadores de Drone	Planificar el vuelo del Drone para el levantamiento fotogramétrico digital, del río Sina-Koriwara y de la Subcuenca Occoruruni.
05	Personal de apoyo	Prestar ayuda en el trabajo de campo.
03	Personal guía	Indica los lugares de fácil acceso.
01	Conductor de camioneta	Movilizar personal en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Materiales y Equipos para el Trabajo de Gabinete / Oficina

Para realizar el presente proyecto de investigación, se necesitó contar con los siguientes materiales:

Tabla 14.*Materiales y Equipos a Emplear*

Número	Materiales y equipos	Función y Utilidad
01	Software GIS	Para la elaboración de los mapas
01	Imágenes Landsat	Para realizar la determinación de los datos
01	Software Agisoft Photo scan	Para procesar las imágenes tomadas con el drone
01	Laptop core i7, 24 gb RAM	Para realizar todo el proceso GIS

Información de precipitación pluvial proveniente de las 4 estaciones convencionales meteorológicas cercanas al área de estudio: Sina, Cuyo Cuyo, Ananea y Cojata. Los datos de ubicación y características de las estaciones consideradas en esta investigación se mencionan a continuación en la Tabla 15:

Tabla 15.

Estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

No.	Estación	Depart.	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)
1	Sina	Puno	San Antonio de Putina	Sina	14° 30' 1"	69° 17' 1"	3442
2	Cuyo Cuyo	Puno	Sandía	Cuyo Cuyo	14° 29' 19"	69° 33' 1"	3619
3	Ananea	Puno	San Antonio de Putina	Ananea	14° 40' 34"	69° 32' 1"	4660
4	Cojata	Puno	Huancané	Cojata	70°20'47''	69° 21' 40"	4347

Fuente: Elaboración propia.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método, Tipo, Diseño y Nivel de la Investigación

La presente investigación se basó en el método analítico-sintético, con un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo). En cuanto al tipo de investigación, se puede clasificar de tipo aplicada, con un diseño no experimental y transeccional, y con un nivel o alcance descriptivo.

En este sentido, Bernal (2010, p.60) afirma que “el método analítico-sintético estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis), y luego se integran esas partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis)”. Por otro lado, Hernández et al. (2014, p.534) citan que el enfoque mixto consiste en “la integración sistemática de los



métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio”. Así mismo, Hernández et al. (2014, p. XXIV), mencionan que la investigación aplicada es aquella cuyo propósito fundamental es “resolver problemas”.

Así mismo, Hernández et al. (2014, p.152) establecen que una investigación con un diseño no experimental corresponde a “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos”. En el mismo orden de ideas, Hernández et al. (2014, p.154) afirman que un diseño transeccional corresponde a una investigación que “se centra en analizar las variables en un momento dado”. A su vez, Hernández et al. (2014, p.92) mencionan que un estudio descriptivo “busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice”.

La presente investigación consiste en cuantificar los datos de precipitación pluvial en el área de estudio, describir los mismos representarlos mediante modelamiento geoespacial, determinar áreas vulnerables y obtener mapas de riesgo y vulnerabilidad en la Subcuenca Occoruruni, donde se encuentra el centro poblado de Koriwara. La investigación no pretende manipular variables, sino observar los fenómenos en su ambiente natural, para después analizarlos.

3.2.2. Población y Muestra

La población de estudio la constituyen todas las estaciones climatológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La población está conformada por un total de 4 unidades de análisis.

El muestreo utilizado en este estudio es no probabilístico – intencional. Los criterios de selección de esta muestra no probabilística fueron: a) encontrarse a una distancia cercana (menor de 50 Km del área de estudio), y b) disponer de datos de



precipitación pluvial en los últimos 40 años (1981-2016). La muestra seleccionada con estos criterios está conformada por 4 unidades de análisis: estaciones Sina, Cuyo Cuyo, Ananea y Cojata.

3.2.3. Definición de Variables

3.2.3.1. Variable Independiente

Constituyen los factores (causas) que influyen sobre el fenómeno que se está analizando, para comprobar su influencia. En el presente trabajo de investigación se considera como variable independiente a la “amenaza” de altos valores de precipitación pluviométrica que puede desencadenar riesgos de inundaciones en áreas de mayor vulnerabilidad o exposición.

3.2.3.2. Variable Dependientes

Constituyen las consecuencias o resultados (efectos) del fenómeno que se esté estudiando y que dependen de los factores (causas) que lo originan. En el presente trabajo de investigación se consideran como variables dependientes a la “vulnerabilidad” ante riesgos de inundaciones que se desencadenan por la amenaza de altos valores de precipitación pluviométrica.

3.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

3.3.1. Trabajo de Campo

El trabajo en realizo en 2 campañas de 15 días, las salidas de campo fueron realizadas en los meses de abril y setiembre del 2019. En esta etapa se realizó un análisis previo del ámbito de estudio a partir de información cartográfica que se desea obtener.



Se establecieron puntos de control Horizontal y Vertical en el área de estudio de manera que estos puntos puedan ser visibles entre sí y a partir de ello se realizó con la ubicación de puntos en RTK con el apoyo del GPS diferencial de doble frecuencia que consiste en colocar un receptor GPS (base), en un punto geodésico de coordenadas conocidas KRWA-1 el cual se encuentra ubicado en el centro poblado de Koriwara.

Con los puntos de control geodésicos establecidos en el ámbito de la Subcuenca Occoruruni, se procedió a densificar otros puntos auxiliares también con GPS diferencial en RTK de tal manera que sea visible entre ellos, se procedió a realizar el levantamiento fotogramétrico del centro poblado en estudio.

3.3.2. Trabajo de Gabinete / Oficina

3.3.2.1. Recopilación Bibliográfica

La recopilación bibliográfica, se hizo una revisión y análisis de información, (artículos, revistas publicaciones del INAIGEM, CENEPRED, SENHAMI u otras instituciones similares, páginas sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgos en cuencas, subcuencas, a nivel internacional tesis publicadas), asimismo, todo aquello con lo que se pudiese relacionar, con la investigación llámese directa o indirectamente, con estudios relacionados a la cordillera Apolobamba y la Subcuenca Occoruruni. De manera tal que se llegó a recopilar información que involucra la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo.

- A partir de las imágenes satelitales se realizó un análisis para determinar la extensión de población de Koriwara y la Subcuenca Occoruruni, digitalizar el cauce del río Sina-Koriwara, y ubicar puntos de control estratégicos.
- Se descargó un modelo de elevación digital del terreno (DEM o MDT) de acceso libre ALOS PALSAR, que ofrece una aproximación bastante aceptada en cuanto altitudes se refiere.



- Consecutivamente se preparó imágenes satelitales de toda la subcuenca y planos de pendientes y planos de accesos (carreteras, trocha carrozable, caminos de herradura) con la ayuda de Google Earth y ArcGIS Desktop.

3.3.2.2. Obtención de Datos de Precipitación Pluvial con RStudio y las Grillas de PISCO

Los datos de las estaciones meteorológicas SENHAMI, más conocido como PISCO (Peruvian Interpolation Data Of SENHAMI'S Climatological And Hydrological Observations) de la siguiente página web: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones> para poder obtener los datos de precipitación pluvial en el Perú desde el año 1981 hasta el 2016 que están en formato PISCOpm.nc, los cuales se procesan en el software RStudio.

RStudio es un IDE o entorno de desarrollo integrado, que se utiliza para manejar R y utilizarlo de manera más cómoda en algunos aspectos. R es un lenguaje de programación de licencia libre (similar al Python) que fue diseñado para hacer análisis estadísticos y gráficas.

Los datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y PISCO para las 4 estaciones meteorológicas consideradas en la presente investigación se detallan en las Tablas 15 a 18 (ver Anexo).

3.2.3.3. Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial

El análisis de consistencia de los datos precipitación pluvial se efectúa a través de los siguientes pasos:

- 1) Análisis de Coherencia:** Se analiza por medio del cotejo de la información de precipitación mensual con los periodos de las estaciones climáticas de la región.



2) Análisis de Saltos: Se realiza mediante tres puntos de vista: a) el análisis de gráficos de precipitación (hidrogramas o pluviogramas), b) el análisis de doble masa, c) y el análisis estadístico de saltos, mediante las pruebas de los estadísticos “T” y “F”. El análisis de los gráficos de precipitación también permite efectuar. Como control estadístico de la calidad (CEC) adicional, a partir del análisis gráfico de los datos de precipitación anual se efectuó un gráfico de control de Levey-Jennings.

3) Análisis de Tendencias: Se realiza con el fin de identificar posibles cambios en el comportamiento de una serie meteorológica sobre periodos largos, hallando las ecuaciones de las líneas de tendencia para los datos de cada estación meteorológica.

3.2.3.4. Construcción de una Base de datos Georreferenciada del Área de Estudio

Para la construcción de la base de datos georreferenciada del área de estudio (Subcuenca Occoruruni), se procedió a cargar e integrar dentro de la aplicación SIG seleccionada para desarrollar este estudio toda la información geocientífica que fue recopilada durante las etapas de recopilación bibliográfica y obtención de datos hidrológicos, entre los cuales tenemos: datos geográficos, topográficos, geológicos, geomorfológicos y de precipitación pluvial. Estos datos constituyen la base del modelamiento geoespacial que se efectuará dentro de la aplicación SIG seleccionada, que en el caso de esta investigación corresponde con Software GIS.

El modelo digital del terreno (DTM) que se generó en el presente estudio fue obtenido a partir de datos de elevación del terreno obtenidos con el sensor LANDSAT, con una resolución de 12,5 m.

El fotomosaico fue constituido por ortofotos e imágenes satelitales LANDSAT 8 a “color natural” o RGB (bandas 4,3,2), con una resolución estimada de 30 m, que fueron



descargadas de la página web de SAS Planet: <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>. Las imágenes compuestas en color natural o real son combinaciones de las bandas visibles en LANDSAT 8, las cuales son: 4 (rojo), 3 (verde) y 2 (azul), que coinciden aproximadamente con la gama visual del ojo humano, por lo que se parecen bastante a lo que esperaríamos ver en una fotografía normal en color. Estas bandas también suelen llamarse RGB (red, green, blue). Las imágenes de color real tienden a presentar un bajo contraste y un aspecto algo borroso. Ello es debido a que la luz azul es más afectada que las demás por la dispersión atmosférica.

3.3.2.5. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica

Para la delimitación de la cuenca hidrográfica del área de estudio (Subcuenca Occoruruni) se apostilla mediante procesamiento del modelo de elevación digital del terreno (DEM o MDT) de ALOS PALSAR, para lo cual se empleó la aplicación ArcGIS Desktop 10.7, en la cual se realizaron los siguientes procesos:

- a) Obtención de datos del modelo de elevación digital del terreno (DEM o MDT) y post proceso del mismo.
- b) Digitalización de la red hidrográfica (tramos del río principal y de las quebradas).
- c) Análisis de la dirección de flujo (dirección de las pendientes).

3.2.3.6. Análisis de Amenazas de Inundaciones

Para el análisis de las amenazas por inundación existen en la literatura varios tipos de metodologías, sin embargo, no existe una homologación al respecto. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron como referencia referencia las metodologías del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres



(CENEPRED, 2014) y del Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE, 2002). Para efectuar el análisis de las amenazas por inundaciones, se realizaron los siguientes procesos:

- a) Identificación de los factores de amenazas de inundaciones en el área de estudio.
- b) Estimación de la probabilidad de ocurrencia de las amenazas de inundaciones.
- c) Cotejo de los datos de precipitación anual con los reportes de inundaciones.
- d) Generación de mapas de amenazas de inundaciones:
 - Mapas de factores de amenaza a las inundaciones
 - Mapas de precipitaciones (2 escenarios)
 - Mapas de amenazas ponderados por matrices Saaty

3.2.3.7. Análisis de Vulnerabilidad ante Inundaciones

Existen muchas metodologías para analizar los diferentes tipos de vulnerabilidades, pero en esta investigación se utilizaron como referencia las metodologías del Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI, 2006, 2016), del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014) y del Centro y del Programa de Prevención de Riesgos de Desastres Naturales de Bolivia (PRDD, 2014), enfocada en estudiar la vulnerabilidad y los riesgos ocasionados por la amenaza de inundación que se desencadena por altos valores de precipitación. Para efectuar el análisis de vulnerabilidad ante amenazas, se realizaron los siguientes procesos:

- a) Identificación de factores de vulnerabilidad ante inundaciones en el área de estudio
 - Pendientes del terreno (vulnerabilidad ambiental)



- Índice de vegetación de diferencia normalizada (vulnerabilidad ambiental)
- Distancia al centro poblado de Koriwara (vulnerabilidad socio-económica)
- Distancia al río Sina-Koriwara (vulnerabilidad física)

b) Generación de mapas de vulnerabilidad ante inundaciones

- Mapa de factores de vulnerabilidad
- Mapa de pendientes del terreno (vulnerabilidad ambiental)
- Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (vulnerabilidad ambiental)
- Mapa de distancia al centro poblado de Koriwara (vulnerabilidad socio-económica)
- Mapa de distancia al río Sina-Koriwara (vulnerabilidad física) ambiental (pendientes del terreno)
- Mapa de vulnerabilidad ponderada por matrices Saaty

3.2.3.8. Análisis de Riesgos de Inundaciones

La estimación del riesgo se realizó con la ecuación general de riesgo (Ecuación 1), la cual es utilizada por muchas organizaciones, instituciones y centros de investigación relacionados con la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD), como el International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2002), el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI, 2006, 2016) y el Instituto nacional de Geología, Minería y Metalurgia (INGEMMET, 2006). Para efectuar la evaluación de los riesgos de inundaciones, se realizó la estimación de los niveles de riesgo de inundaciones en el área de estudio y la generación de mapas de riesgo de inundaciones.

3.2.3.9. Análisis Multicriterio de Amenazas y Vulnerabilidades

Para efectuar los mapas de amenazas o vulnerabilidades a las inundaciones en el área de estudio, se aplicó la técnica de análisis multicriterio o multiatributo, también conocido como análisis de superposición ponderada o álgebra de mapas, en la aplicación ArcGIS Desktop 10.7. El análisis multicriterio se utilizó para determinar las zonas de mayor y menor grado de amenaza y vulnerabilidad a las inundaciones.

Cabe destacar que el modelado geoespacial y los análisis multicriterio se efectúan sobre archivos tipo “raster”, que son mapas conformados por celdas y poblados con propiedades discretas. En este estudio, los archivos raster están subdivididos en celdas de 30 x 30 m, excepto el modelo digital del terreno (DTM), cuyas celdas miden 12,5 x 12,5 m.

a) Mapas de Amenazas

Selección de las Variables o Criterios de Entrada: Para los mapas de amenazas, inicialmente se iban a considerar dentro de los mapas de amenaza de inundación a los detonantes de “precipitación pluvial” y “avalanchas”. Sin embargo, en vista de disponer de pocos datos sobre las avalanchas dentro del área de estudio (como una serie temporal o registro frecuencias de los eventos de avalancha, o datos sobre el retroceso de los glaciares del área de estudio), se decidió considerar para el mapa de amenazas solamente una sola propiedad, atributo o criterio de entrada: la precipitación pluvial anual.

Generación de Raster de los Criterios de Entrada: Tomada esta decisión, se generaron dos mapas o archivos raster de precipitación pluvial anual mediante el método de isoyetas, utilizando la información recopilada en el periodo 1981 – 2016 de las cuatro estaciones meteorológicas más cercanas, ubicadas en sectores colindantes al área en estudio, el algoritmo de interpolación utilizado fue el de kriging. Los dos mapas de precipitación corresponden a dos escenarios: el primero corresponde a la precipitación

media anual en el periodo 1981-2016, mientras que el segundo corresponde a la precipitación máxima registrada en el periodo 1981-2016 (año 1984).

- Para el Mapa de Amenaza – Escenario 1 (EMED) o Amenaza Moderada, se utilizaron los siguientes valores de precipitación media anual: Sina (834,81 mm), Cuyo Cuyo (379,04 mm), Ananea (605,78 mm) y Cojata (667,14 mm).
- Para el Mapa de Amenaza – Escenario 1 (E1984) o Amenaza Alta, se utilizaron los siguientes valores de precipitación del año 1984: Sina (1088,52 mm), Cuyo Cuyo (507,99 mm), Ananea (825,49 mm) y Cojata (915,83 mm).

Configuración de las Matrices Saaty para Asignarle Pesos a los Raster de

Entrada: Como para estos mapas de amenazas sólo existe un criterio de entrada, su porcentaje de ponderación en la matriz Saaty es de 100%. La matriz Saaty utilizada para los mapas de amenazas son las siguientes (ver Tablas 19 y 20):

Tabla 16.

Matriz Saaty para el mapa de amenaza – escenario 1: amenaza moderada.

Variable o Criterio	Ponderación (%)	Escala de Valores	Escala Saaty	Escala Asignada de Amenaza
Precipitación Pluvial Anual	100	> 805 mm	5.0	Moderada
		795 – 805 mm	6.0	Baja – Muy Baja
		785 – 795 mm	7.0	Baja
		775 – 785 mm	8.0	Muy Baja – Baja
		0 – 775 mm	9.0	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17.

Matriz Saaty para el mapa de amenaza – escenario 2: amenaza alta.

Variable o Criterio	Ponderación (%)	Escala de Valores	Escala Saaty	Escala Asignada de Amenaza
Precipitación Pluvial Anual	100	> 1055 mm	3.0	Muy alta
		1045 – 1055 mm	4.0	Alta – Muy Alta
		1035 – 1045 mm	5.0	Alta
		1025 – 1035 mm	6.0	Moderada – Alta
		0 – 1025 mm	7.0	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Determinación de pesos por el método de SAATY

DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)							
	V1	V2	V3	V4	Wi	Ci	LAMDAi
V1	1.00	2.00	3.00	5.00	2.34	0.50	1.01
V2	0.50	1.00	1.50	1.00	0.93	0.20	0.92
V3	0.33	0.67	1.00	3.85	0.96	0.20	1.18
V4	0.20	1.00	0.26	1.00	0.48	0.10	1.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

Vulnerabilidad de Inundación

Vulnerabilidad de Inundación		PESOS
V1	Pendiente	0.50
V2	Índice de Vegetación (NDVI)	0.20
V3	Distancia al Río Sina	0.20
V4	Distancia al centro poblado	0.10
TOTAL		1.00

Fuente: Elaboración propia.

Generación de los Mapas de Amenazas: Con las matrices Saaty configuradas, se procede a calcular los mapas o raster de amenazas, los cuales corresponden a los dos escenarios de precipitación: el primero corresponde al escenario de amenaza moderada, que denominamos “EMED”, el cual corresponde a la precipitación promedio anual en el periodo 1981 – 2016, mientras que el segundo corresponde al escenario de amenaza alta,



denominado “E1984”, el cual corresponde a la precipitación máxima registrada en el periodo 1981-2016 (año 1984), el cual denominamos “E1984”.

b) Mapas de Vulnerabilidades

Selección de las Variables o Criterios de Entrada: Para generar los mapas de amenazas, se trató de considerar por lo menos 3 o 4 variables o criterios, que permitieran evaluar los 3 tipos de vulnerabilidades: vulnerabilidad ambiental (sistemas naturales), vulnerabilidad socio-económica (sistemas humanos) y vulnerabilidad física (interacción de sistemas humanos y sistemas ambientales). Inicialmente se consideraron las siguientes variables o criterios de entrada:

- Pendientes del terreno (vulnerabilidad ambiental).
- Índice de vegetación de diferencia normalizada (vulnerabilidad ambiental), que es un indicador de la llanura de inundación de los ríos.
- Distancia al río Sina-Koriwara (vulnerabilidad física).
- Distancia al centro poblado de Koriwara (vulnerabilidad socio-económica), que se utilizó en esta investigación en sustitución de la densidad poblacional.

Debido a la baja densidad poblacional en el área de estudio (Distrito de Sina, menos de 1500 habitantes), y en vista de que prácticamente toda la población está concentrada en el centro poblado de Koriwara, resulta imposible generar un mapa de densidad poblacional coherente. Aunado a esto, no se dispone de datos confiables sobre otro tipo de vulnerabilidades de carácter socio-económico, por lo cual, se decidió sustituir este criterio de entrada por la distancia al centro poblado de Koriwara.

Generación de Raster de los Criterios de Entrada: Tomada esta decisión, se generaron los siguientes mapas o archivos raster:



- Mapa de pendientes o inclinación del terreno en %, desde 0 a más de 45%, a partir del modelo digital del terreno (DTM) obtenido con el sensor ALOS PALSAR de 12.5 m, utilizando el geoproceto “Pendiente” (Slope) en la aplicación ArcMap.
- Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), obtenido a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT, que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja, y que puede ser correlacionado con la llanura de inundación de los ríos bajo ciertas condiciones. Para el cálculo de los índices de vegetación es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja de ese espectro electromagnético. El cálculo del índice de vegetación se hace utilizando el geoproceto “Calculadora de Raster” (Raster Calculator) en ArcMap, aplicando la siguiente expresión (Ecuación 2):

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

- Mapa de distancia al Río Sina-Koriwara, a partir de la digitalización del cauce del río Sina-Koriwara en el área de estudio (archivo vectorial) sobre imágenes satelitales georreferenciadas y ortofotos. Posteriormente, utilizando el geoproceto “Distancia Euclidiana” (Euclidian Distance) en ArcMap se generó un mapa de rango de separación o proximidad al río entre 0 a más de 1000 m. En este caso se calcula la distancia desde el río a cualquier punto del área de estudio.
- Mapa de distancia al centro poblado de Koriwara, a partir de la digitalización del lindero del pueblo de Koriwara (archivo vectorial) sobre ortofotos. Luego,

mediante la aplicación del geoproceto “Distancia Euclidiana” (Euclidian Distance) en ArcMap, se obtuvo un mapa de intervalos de separación o cercanía al pueblo entre 0 a más de 1000 m. En este caso se calcula la distancia el pueblo a cualquier punto del área de estudio.

Configuración de las Matrices Saaty para Asignarle Pesos a los Raster de

Entrada: Estas cuatro variables fueron analizadas y evaluadas por el método jerárquico de asignación de pesos de Saaty, utilizando criterios de comparación: asignándose la siguiente ponderación (Ver Tabla 21):

Tabla 20.

Matriz Saaty para el mapa de vulnerabilidades ponderada.

Variable o Criterio	Ponderación (%)	Escala de Valores	Escala Saaty	Escala Asignada de Amenaza
Pendiente del Terreno	50	0 – 10 %	1	Muy alta
		10 – 20 %	2	Alta
		20 – 30 %	4	Moderada
		30 – 45 %	6	Baja
		>45 %	9	Muy baja
Índice de Vegetación	20	> 0.30	1	Muy alta
		0.15 – 0.30	2	Alta
		0.00 – 0.15	4	Moderada
		-0.15 – 0.00	6	Baja
		< -0.15	9	Muy baja
Distancia al Río Koriwara-Sina	20	0 – 100 m	1	Muy alta
		100 – 200 m	2	Alta
		200 – 500 m	4	Moderada
		500 – 1000 m	6	Baja
		>1000 m	9	Muy baja
Distancia al Pueblo Koriwara	10	0 – 100 m	1	Muy alta
		100 – 200 m	2	Alta
		200 – 500 m	4	Moderada
		500 – 1000 m	6	Baja
		>1000 m	9	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.



Generación del Mapa de Vulnerabilidad Ponderada: Con las matrices Saaty configuradas, se procede a calcular el mapa de vulnerabilidades ponderada, aplicando el análisis multicriterio a través del geoproceso “Ssuperposición Ponderada” (Weighted Overlay) en ArcMap, la cual se resume básicamente en tres pasos:

- Reclassificar los valores de los raster de entrada en una escala de evaluación común, utilizando la escala de valoración asignado en las matrices Saaty.
- Multiplicar los valores de celda de cada raster de entrada por el su porcentaje de ponderación o peso de los raster asignado en las matrices Saaty.
- Sumar los valores de celda resultantes para producir el raster de salida, que en este caso es el mapa de Vulnerabilidad Ponderada. Para el mismo, se fijó cinco valoraciones a las subvariables implicadas, que nos sirvieron para establecer el nivel de vulnerabilidad ponderada: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

c) Mapas de Riesgo

Selección de las Variables o Criterios de Entrada: Para generar los mapas de riesgo, se considera la ecuación general de riesgo (Ecuación 1):

$$Riesgo = (Amenaza) * (Vulnerabilidad)$$

Para los mapas de riesgo, se las variables o criterios de entrada son los dos mapas o raster de amenaza (escenario 1 y escenario 2) y el mapa de vulnerabilidad ponderada. El Escenario 1 o “EMED” corresponde a la precipitación promedio anual en el periodo 1981 – 2016, mientras que el Escenario 2 o “E1984” corresponde a la precipitación máxima registrada en el periodo 1984 – 2016 (año 1984). Los dos mapas o archivos raster de Riesgo se calculan utilizando el geoproceso “Calculadora de Raster” (Raster Calculator) en ArcMap, de la siguiente manera:



- Riesgo Escenario 1 = (Amenaza Escenario 1) * (Vulnerabilidad Ponderada)
- Riesgo Escenario 2 = (Amenaza Escenario 2) * (Vulnerabilidad Ponderada)

Generación del Mapas de Riesgo: Debido a que los mapas de amenazas y el mapa de vulnerabilidad Ponderada son archivos raster, no se necesita generar este tipo de archivos, sino que se efectúa directamente la operación de multiplicación de los archivos raster de entrada para producir los raster de salida, correspondientes a los mapas de Riesgo para el Escenario 1 o “EMED” y el mapa de Riesgo para el Escenario 2 o “E1984”

3.2.3.10. Propuesta de Alternativas de Prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten Alta Vulnerabilidad y Riesgo de inundaciones

Para la propuesta de alternativas de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni, se integraron los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica con los resultados de la evaluación de amenazas, vulnerabilidades y riesgos ante desastres por inundación dentro del área de estudio.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio corresponde a la Subcuenca Occoruruni, la cual se ubica geográficamente en la Cordillera Apolobamba al sureste (SE) del Perú y tiene una extensión aproximada de 85 km² en dirección noroeste (NO) desde la frontera con la República de Bolivia. Se ubica en el ramal oriental de la Cordillera de Los Andes, y separa a la región del altiplano al oeste (O) de la selva Amazónica al este (E). Políticamente, la Subcuenca Occoruruni se encuentra ubicada en el Departamento o Región de Puno, Provincia de San Antonio de Putina y Distrito de Sina (Vélez, 2020).

4.1.2. Acceso y Centros Poblados.

El acceso por vía terrestre se realiza desde la ciudad de Puno, con dirección N hacia el Distrito de Sina por la carretera que une Juliaca, Huancané, Vilquechico, Cojata, desde allí se toma el desvío hacia Sina hasta llegar al centro poblado Koriwara, esto tiene un recorrido total de 551 Km. Los pueblos más cercanos a la Cordillera Apolobamba son: Koriwara (10 – 12 Km), Lusuni (12 – 14 km), Potoni (14 – 16 Km) y Sina (20 – 24 Km). De estos, sólo Koriwara se encuentra dentro de la Subcuenca Occoruruni (Vélez, 2020). El Distrito de Sina tiene un total de 1472 habitantes.

4.1.3. Clima

El clima general corresponde al tipo frío, subhúmedo a semisecos y frío. Los meses que presentan mayores valores de precipitación pluvial corresponden al periodo entre diciembre y marzo (verano austral), llegando a un máximo en los meses de enero y



febrero. Mientras que los meses que presentan menores valores de precipitación pluvial corresponden al periodo entre mayo y agosto (invierno austral), llegando al mínimo en los meses de junio y julio. Durante el periodo de sequías son más frecuentes las heladas o nevadas. La temperatura presenta marcadas diferencias, llegando a máximos de 21°C en verano y a mínimos de hasta -20°C en invierno (Salas, 2014).

4.1.4. Topografía

La altitud es un factor decisivo para la geografía y el clima del área de estudio, la zona más bajo se encuentra hacia el noroeste (NO) del área de estudio a 3950 m.s.n.m., mientras que el punto más alto se presenta en la Cordillera Apolobamba, alcanzando los 6.080 m.s.n.m. Según el modelo digital del terreno (DTM), el valor mediano de las altitudes es de 4.900 m.s.n.m.

4.1.5. Hidrografía

La Subcuenca Occoruruni se encuentra ubicada en el Departamento o Región de Puno, Provincia de San Antonio de Putina y Distrito de Sina. La Subcuenca Occoruruni forma parte de la cabecera de la cuenca Huari Huari, perteneciente a la Cuenca de Inambari, ubicada entre los nevados Salluyo, Vizcachani y Sorapata, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) la zona se encuentra en la hoja Rinconada (30y) de la zona 19 sur UTM del sistema de posicionamiento WGS84. El principal río dentro de la Subcuenca Occoruruni corresponde al Sina-Koriwara (Vélez, 2020). La hidrografía de la región está influenciada por el clima (lluvias, sequías y avance-retroceso de los glaciares) y la morfología del terreno (pendientes).

4.1.6. Geología

La geología del área de estudio se encuentra muy bien descrita en el trabajo de Vélez (2020), el cual reporta que las unidades estratigráficas presentes en el área de

estudio de base a tope son: la formación Sandía, de edad Ordovícico (O), la cual infra yace concordantemente a la Formación Ananea del Silúrico – Devónico (SD). Tanto la Formación Sandía como la Formación Ananea pueden presentarse aflorando, o suprayaciendo discordantemente bajo los sedimentos del Cuaternario (Q), que pueden ser de origen glacial, coluvial o aluvial. Las características litológicas de estas unidades estratigráficas se detallan en la Tabla 22 a continuación:

Tabla 21.

Unidades estratigráficas que se reconocen en el área de estudio.

Edad	Unidad Estratigráfica	Descripción Litológica
Cuaternario (Q)	Aluvial	Sedimentos cuaternarios originados por procesos aluviales.
	Coluvial	Sedimentos cuaternarios originados por procesos coluviales.
	Glacial	Sedimentos cuaternarios originados por procesos glaciares.
Silúrico – Devónico (SD)	Formación Ananea	Metasedimentarias: Consiste en una gruesa serie de esquistos epimetamórficos y esta litología corresponde a una sucesión de pizarras negras.
Ordovícico (O)	Formación Sandía	Metamórficas y metasedimentarias: En la cuenca de Occoruruni afloran en su mayor parte rocas metamórficas, tanto en la parte media y en el entorno de los nevados, el cual representa una ancha faja de pizarras gris oscuras a negras, con foliación paralela y entrelazada. También se presentan areniscas cuarzosas de grano fino.

Fuente: Elaboración propia.

La distribución a real de las unidades estratigráficas mencionadas anteriormente se encuentra plasmadas en el mapa geológico del área de estudio, el cual se detalla en la Figura 28.

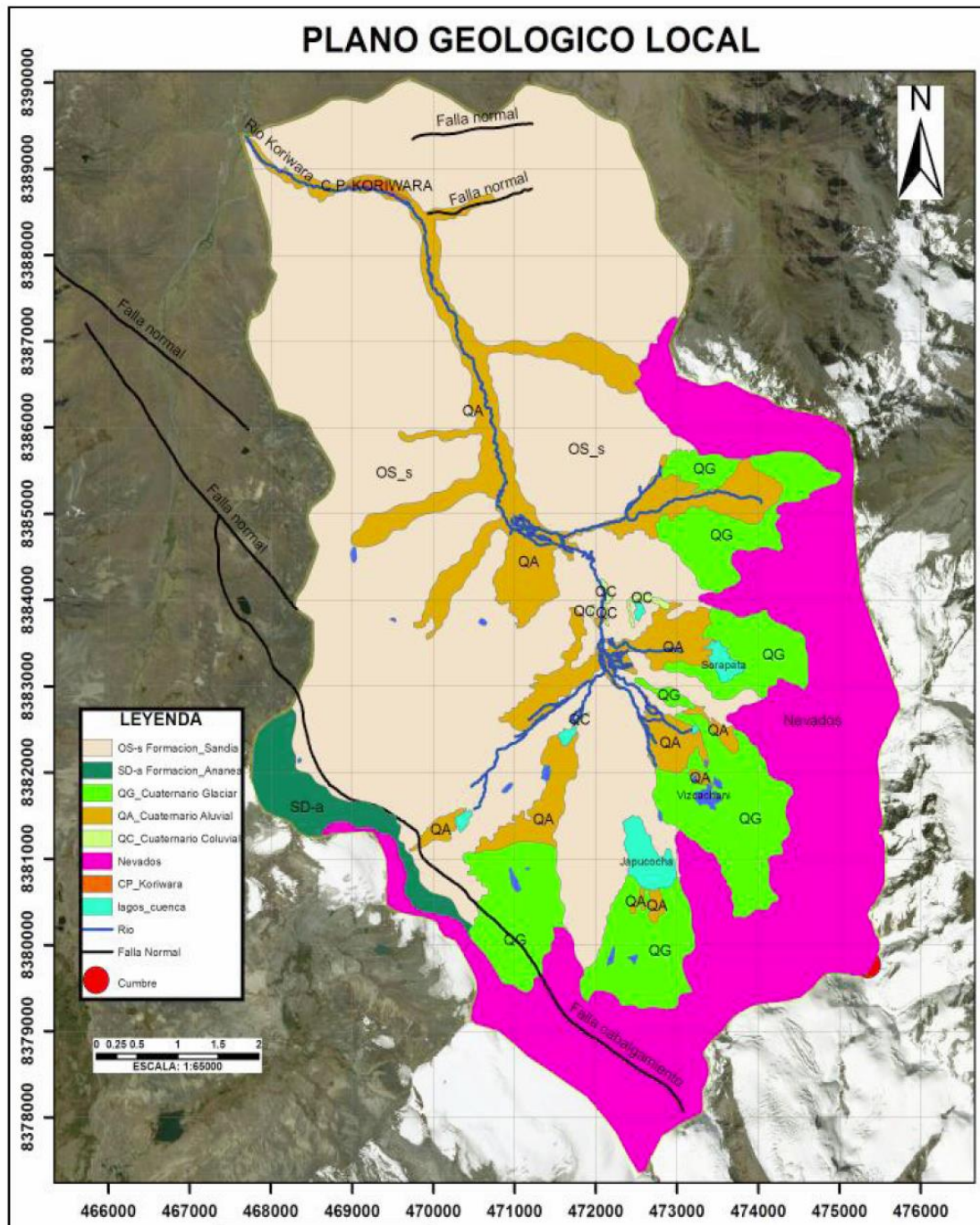


Figura 28. Mapa geomorfológico de la subcuenca de Occoruruni.

Fuente: Vélez (2020).

4.1.7. Geomorfología

La geomorfología del área de estudio también se ha explicado extensamente en el trabajo de Vélez (2020). El autor afirma que en la Subcuenca Occoruruni tiene 2 sistemas geomorfológicos: uno es agradacional y otro es denudacional. En el sistema agradacional están clasificadas las geoformas producidas por procesos acumulativos las cuales se diferencian por su altura y se dividen según el grado de disección producto de la geodinámica externa. En el sistema denudacional están clasificadas las geoformas producidas por procesos erosivos las cuales se diferencian por su altura y se dividen según el grado de disección de sus laderas producto de la geodinámica externa. (Vélez, 2020). Ambos sistemas están conformados por varios subsistemas y unidades geomorfológicas, los cuales se detallan en la Tabla 23a continuación:

Tabla 22.

Sistemas y unidades geomorfológicas que se reconocen en el área de estudio.

Sistema	Subsistema	Unidades Geomorfológicas
Agradacional	Valle	Valles en “u” Bofedales
	Glaciar	Lagunas Planicies sandur Estrías glaciares Bloques erráticos Grietas de desecación
	Pie de monte	Abanico aluvial Cono coluvial
	Planicie Denudacional	Terrazas aluviales Terrazas kame Llanura de inundación
Denudacional	Montaña	Circos glaciares Cornisas
	Ladera	Escarpas Laderas altas Laderas medias
	Colinoso	Cárcavas Colina alta Colina media

Fuente: Elaboración propia.

La distribución areal de las unidades geomorfológicas mencionadas anteriormente se encuentran plasmadas en el mapa geomorfológico del área de estudio, que se muestra en la Figura 29.

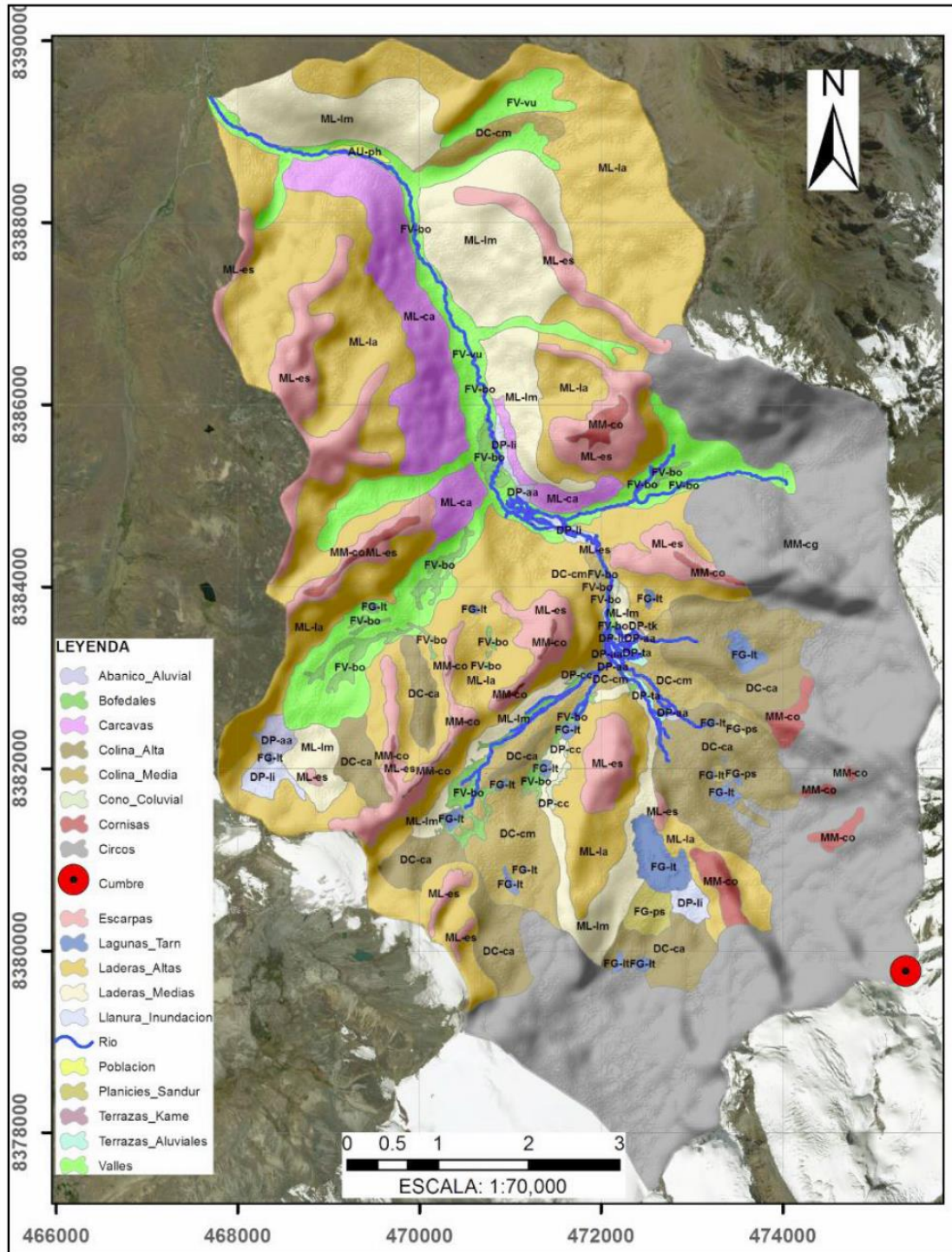


Figura 29. Mapa geomorfológico de la subcuenca de Occoruruni.

Fuente: Vélez (2020).



4.2. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 1

Los resultados del Objetivo Específico # 1: Construir una base de datos georreferenciada en un SIG de la Subcuenca Occoruruni orientada al análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones, se presentan a continuación:

Se logró generar una base de datos georreferenciada en la plataforma ArcGIS Desktop 10.7.

Los mapas se generaron en proyección cartográfica UTM, datum con elipsoide WGS84, Zona 19°. Esta base de datos está constituida por los siguientes conjuntos de informaciones (mapas y elementos geográficos):

- Modelo Digital del Terreno (DTM)
- Mapa de Curvas de Nivel (Topografía)
- Mapa de Hidrografía (ríos, lagos y lagunas)
- Ubicación de las Estaciones Meteorológicas
- Fotomosaico y Elementos Geográficos Digitalizados
- Mapa Geológico
- Mapa Geomorfológico
- Mapa de Área Afectada por el Fenómeno del Niño Costero 2017
- Mapas de Área Afectada por Periodo de Lluvias del Verano Austral (Invierno Altiplánico 2019)

4.2.1. Modelo Digital del Terreno

El modelo digital del terreno (DTM) que se utilizó en el presente estudio fue generado a partir de datos de elevación del terreno obtenidos con el sensor LANDSAT, con una resolución de 30.0 m (ver Figura 30). A partir de este modelo digital del terreno se obtuvieron también los mapas de curvas de nivel, de pendientes del terreno. El modelo digital del terreno (DTM) permitió identificar los valles del río principal y las quebradas, las zonas de mayor altitud (colores blancos y marrones) y de menor altitud (colores amarillo y azul claro).

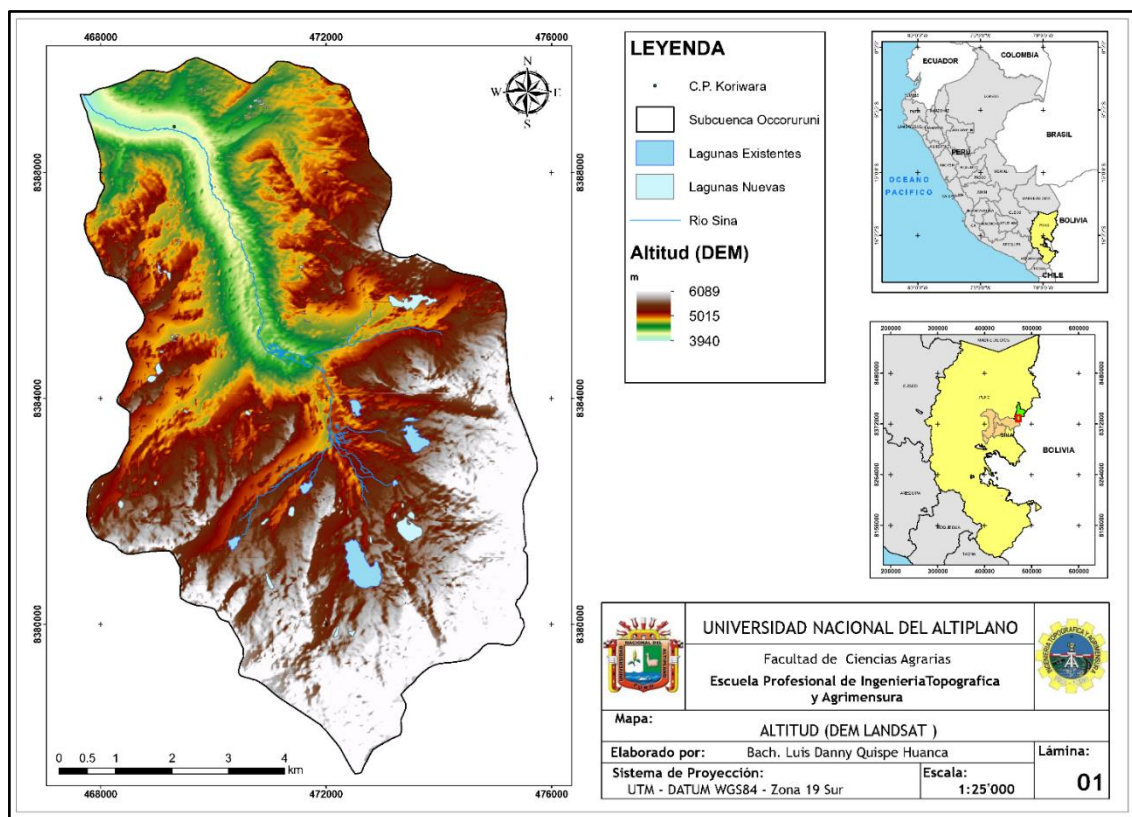


Figura 30. Modelo digital del terreno (DTM).

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Mapa de Curvas de Nivel (Topografía)

El mapa de curvas de nivel (ver Figura 31).se generó a partir del modelo digital del terreno (DTM) del área de estudio y se plasmaron a intervalos de 20 m y 50 m. Las

altitudes de la topografía del terreno se encuentran entre 3950 y 6.080 m.s.n.m. El mapa de curvas de nivel permitió identificar los valles del río principal y las quebradas, las zonas con mayor pendiente (donde las curvas de nivel se presentan más juntas) y de menor pendiente (donde las curvas de nivel se presentan más separadas).

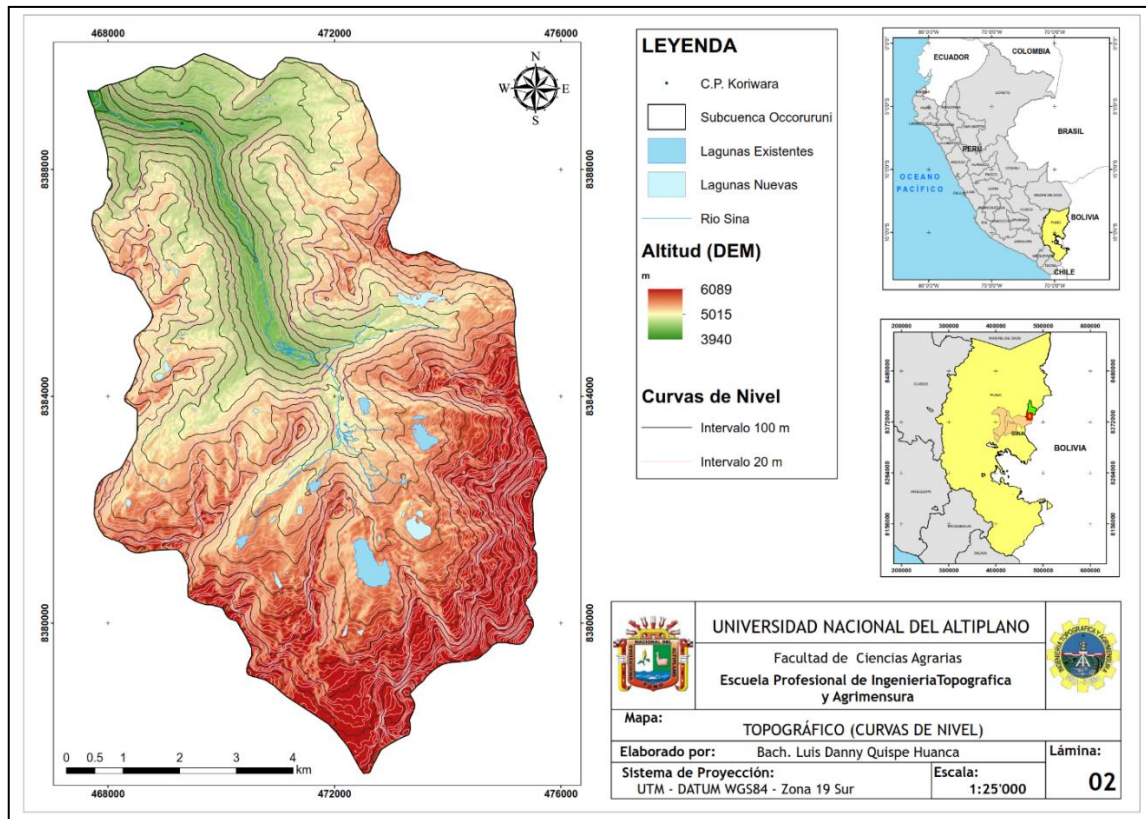


Figura 31. Mapa de curvas de nivel (Topografía).

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Mapa de Hidrografía

El mapa de hidrografía se generó a partir de los elementos digitalizados de la red de drenaje (ríos y quebradas), los lagos y las lagunas. El área de estudio está conformada por la Subcuenca del Occoruruni, donde el río principal es el Sina-Koriwara (ver Figura 32). La Subcuenca Occoruruni forma parte de la Cuenca de Inambari (XXX). Los ríos fluyen desde la Cordillera Apolobamba, donde se ubican las altitudes más altas

(cabeceras) en dirección norte (N) y noroeste (NO), donde se ubican las altitudes más bajas.

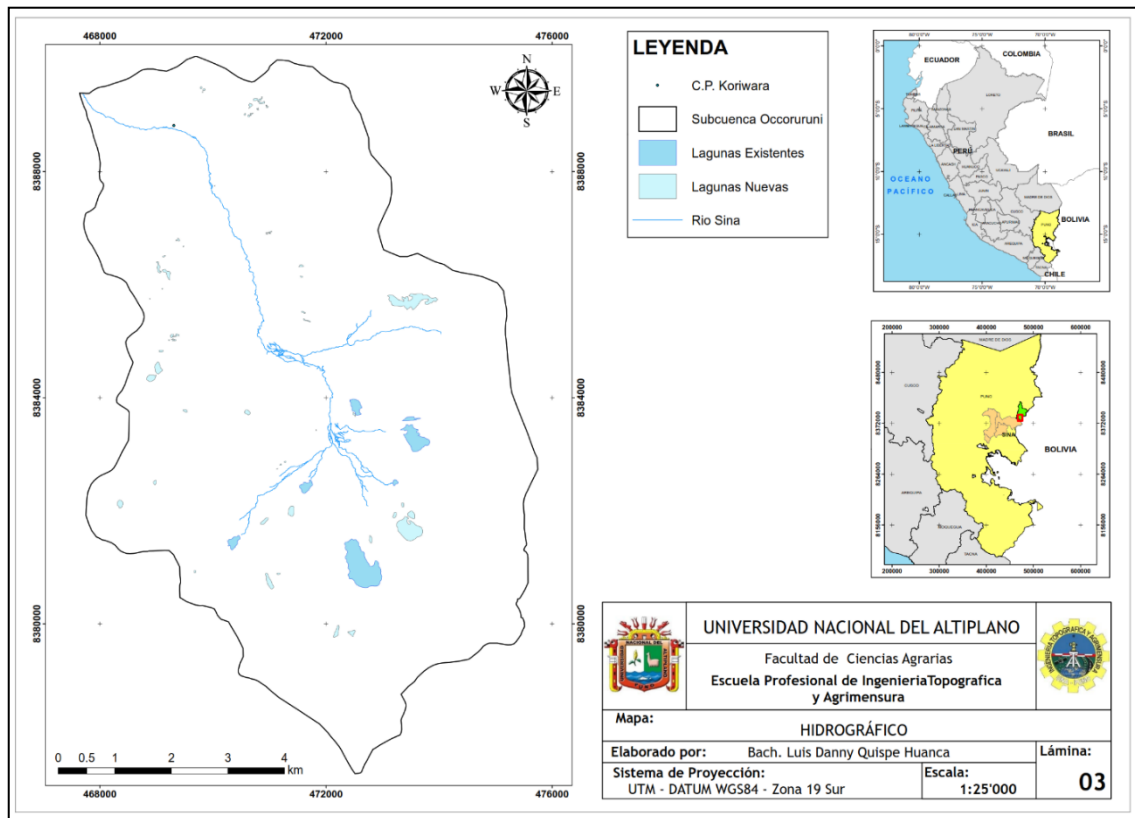


Figura 32. Mapa de hidrografía.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Fotomosaico y Elementos Geográficos Digitalizados

El Fotomosaico fue constituido por imágenes satelitales LANDSAT 8 a “color natural” o RGB (bandas 4,3,2), con una resolución estimada de 30 m, que fueron descargadas de la página web de SAS Planet (ver Figura 33). Por otro lado, los elementos geográficos digitalizados fueron: el borde o límite del área de estudio (Cuenca Occoruruni), la hidrografía (ríos, lagos y lagunas), las construcciones civiles (viviendas, campos deportivos, instituciones educativas, iglesias), las trochas carrozables (caminos), las áreas de pastos y las áreas de cultivo, entre otro.

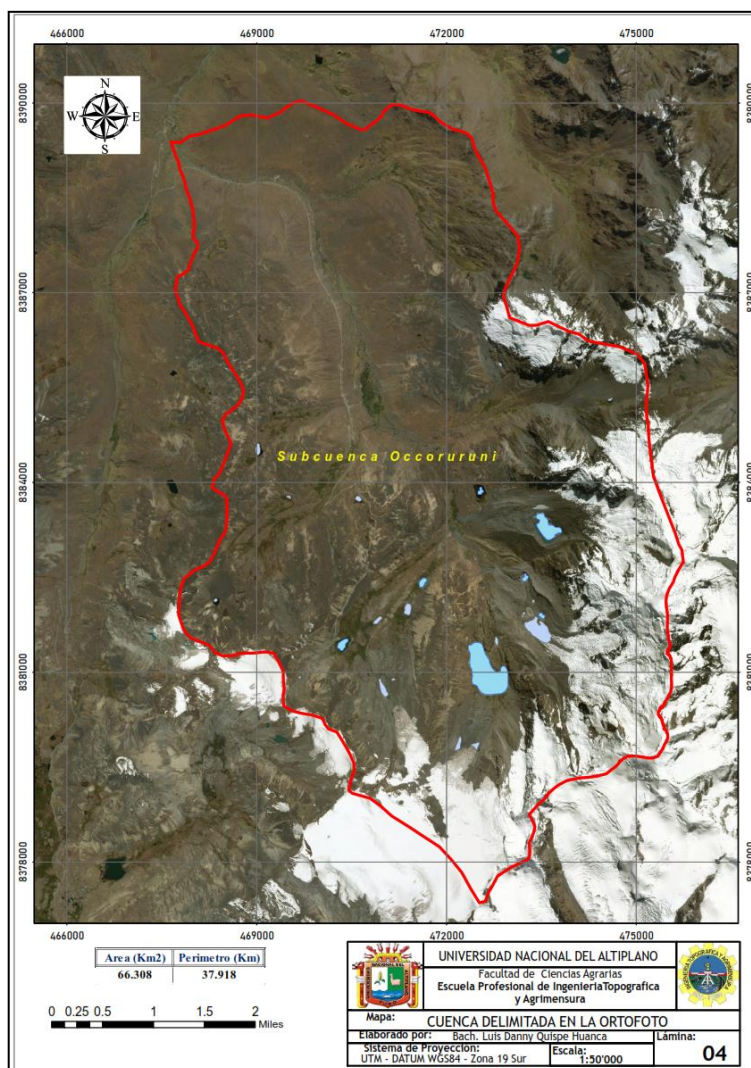


Figura 33. Fotomosaico y elementos geográficos digitalizados

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Ortofotomosaico de Drone y Elementos Geográficos Digitalizados

El Ortofotomosaico fue constituido por fotos obtenidas con un drone equipado con cámara de fotogrametría digital, e imágenes satelitales LANDSAT 8 a “color natural” o RGB (bandas 4,3,2), con una resolución estimada de 1 m x 1m. El sobrevuelo del drone siguió el curso de río Sina-Koriwara por una distancia de 12 Km, desde la cabecera del río Sina-Koriwara hasta el extremo noroeste (NO) del área de estudio, tal y como se muestra en la Figura 34.

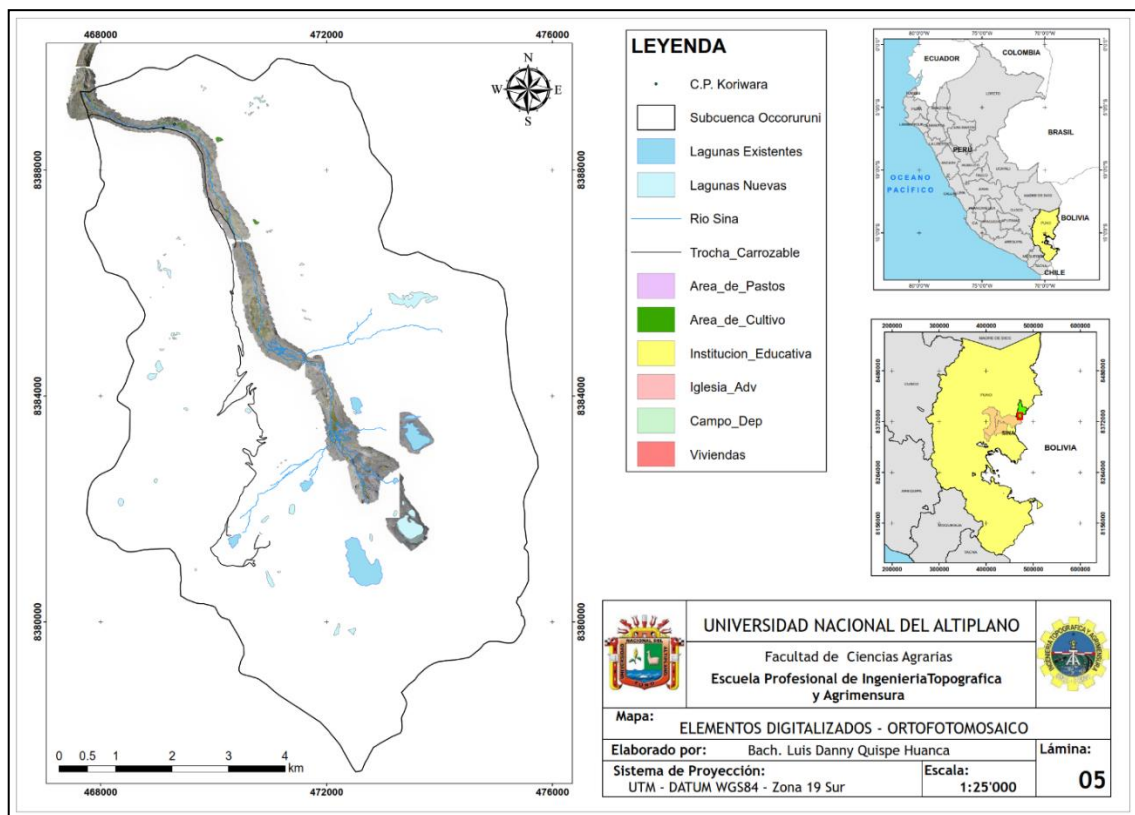


Figura 34. Ortofotomosaico de drone y elementos geográficos digitalizados

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio (Subcuenca Occoruruni) son: Sina (ubicada a 12,8 Km), Cuyo Cuyo (ubicada a 33,2 Km), Ananea (ubicada a 29,8 Km) y Cojata (ubicada a 46,1 Km). En la Figura 35 puede verse la superposición de la ubicación de las 4 estaciones meteorológicas con una imagen satelital a color natural LANDSAT 8.

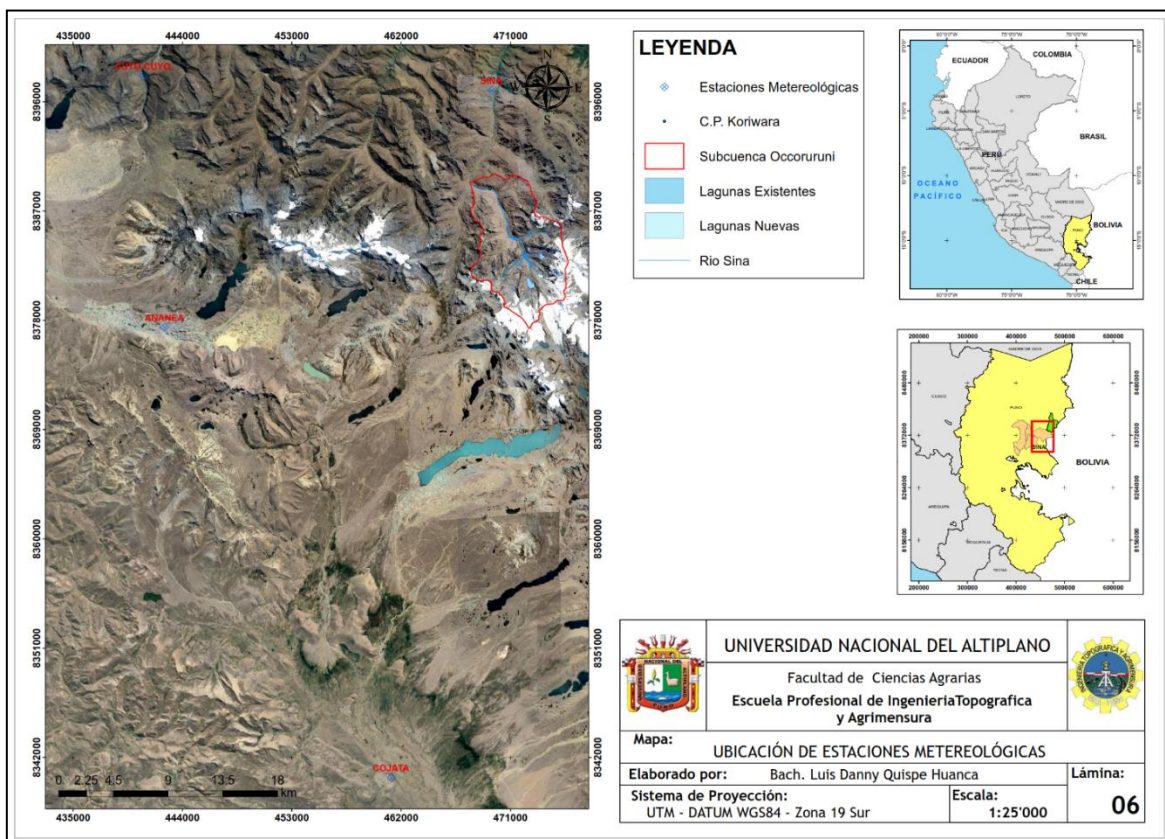


Figura 35. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Mapa Geológico

El mapa geológico del área de estudio (Subcuenca Occoruruni) se presenta en la Figura 36. Las unidades geológicas presentes son: Formación Sandía (Ordovícico), Formación Ananaea (Silúrico – Devónico), Cuaternario Glaciar (sin diferenciar), Cuaternario Coluvial (sin diferenciar) y Cuaternario Aluvial (sin diferenciar). Se resalta el hecho de que los elementos geológicos constituyen factores de riesgo de bajo impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad a las inundaciones, y un factor de alto impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad por inestabilidad de taludes o laderas y de vulnerabilidad sísmica, por eso no se consideraron como variables o criterios de entrada en este estudio.

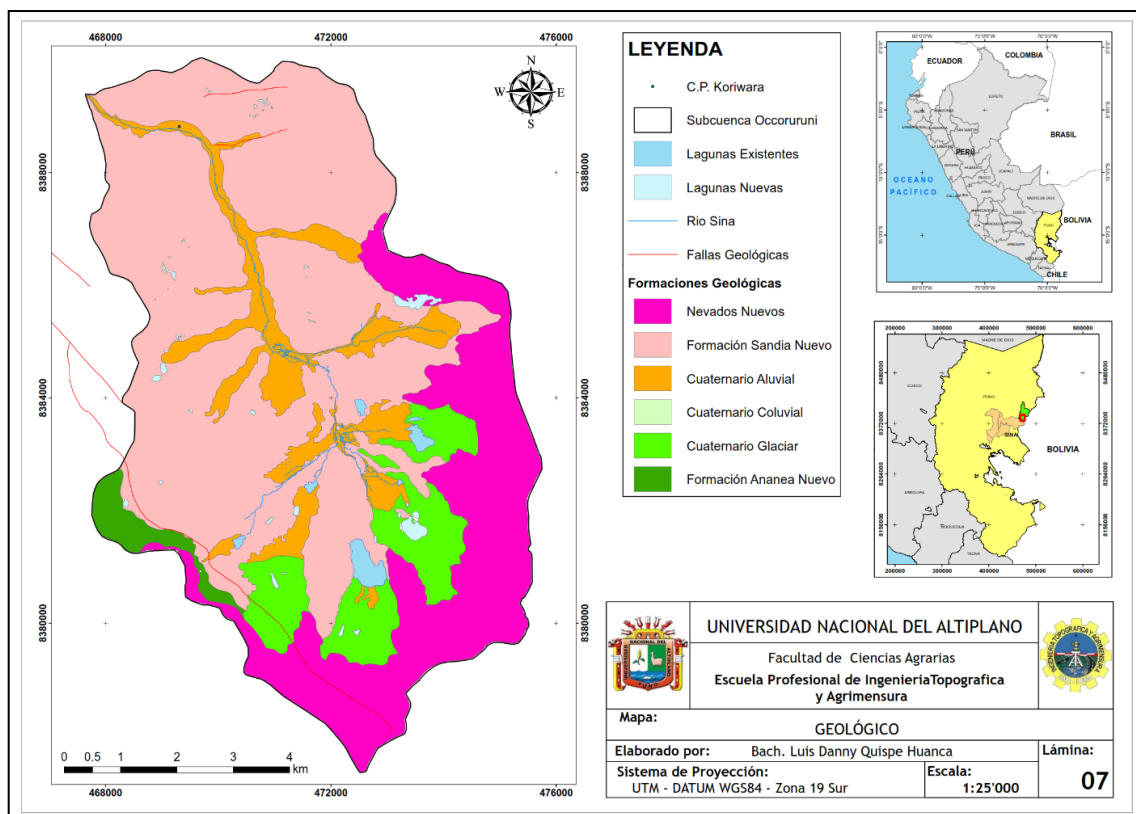


Figura 36. Mapa geológico del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.8. Mapa Geomorfológico

El mapa geomorfológico del área de estudio (Subcuenca Occoruruni) se presenta en la Figura 37. Las unidades geomorfológicas presentes son: Montaña con cobertura glaciar, Montaña de roca metamórfica y Terrazas aluviales en la llanura de inundación del río Sina-Koriwara. Cabe destacar también que los elementos geomorfológicos constituyen factores de riesgo de bajo impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad a las inundaciones, y un factor de alto impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad por inestabilidad de taludes o laderas y de vulnerabilidad sísmica, por eso tampoco se consideraron como variables o criterios de entrada en este estudio.

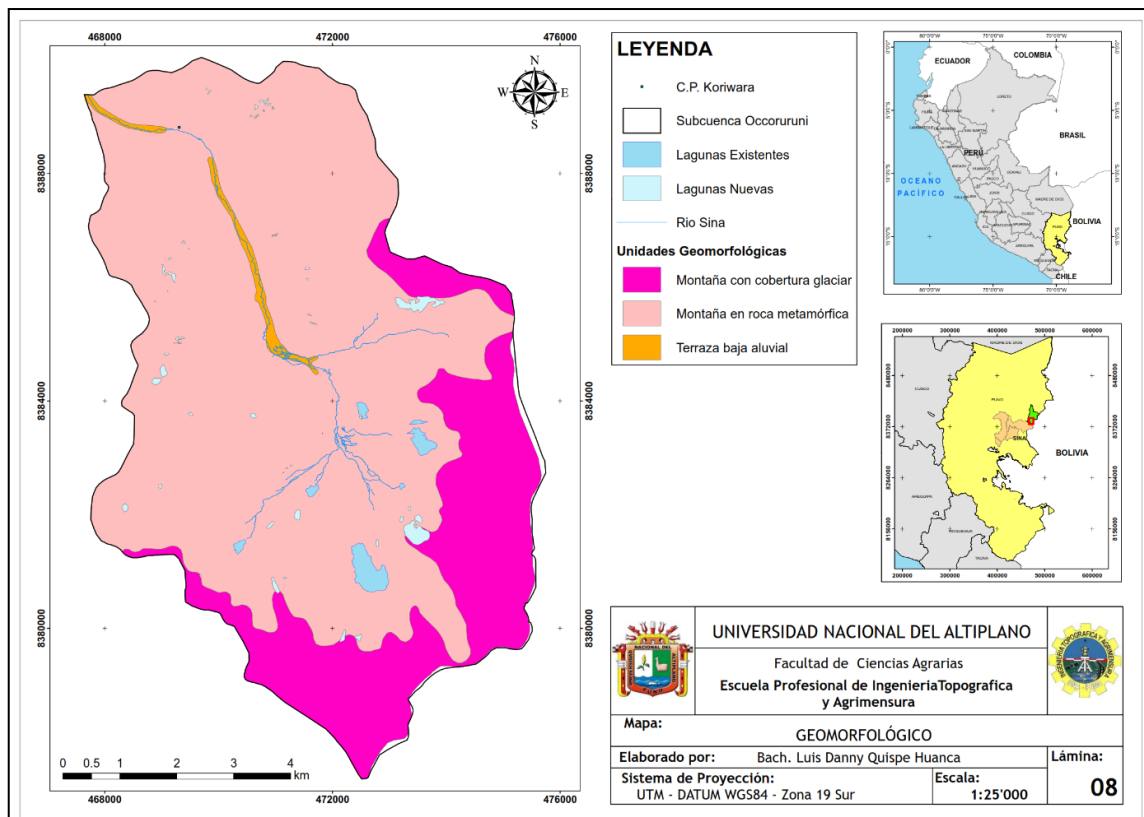


Figura 37. Mapa geomorfológico del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.9. Mapa de Área Afectada por el Fenómeno del Niño Costero 2017

El mapa de la aérea afectada por el Fenómeno del Niño Costero 2017según datos del INDECI confirma que el área de estudio (Subcuenca Occoruruni) no se encuentra dentro del área afectada por este fenómeno climático (ver Figura 38). El Fenómeno de El Niño puede presentarse como de acción global (El Niño Global) y de acción costero en el área del Pacífico (El Niño Costero). De este fenómeno, resaltan los años de 1983, 1998 y 2017.

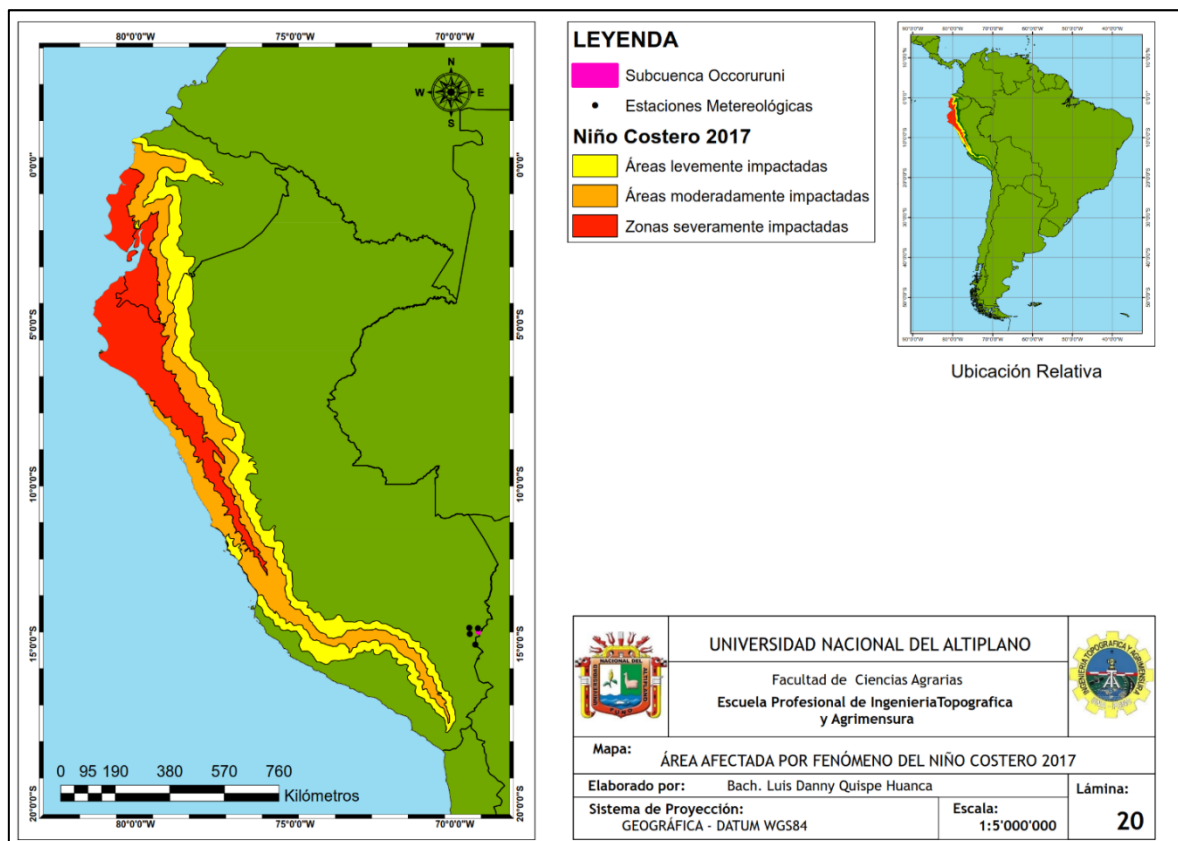


Figura 38. Mapas de área afectada por el fenómeno del niño costero 2017.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.10. Mapa de Área Afectada por Periodo de Lluvias del Verano Austral (Invierno Altiplánico 2019)

El mapa de la área afectada por el periodo de lluvias de Verano Austral 2019 (también conocido como Invierno Altiplánico) según datos del INDECI confirma que el área de estudio (Subcuenca Occoruruni) se encuentra dentro del área afectada por este fenómeno climático (ver Figura 39). Los periodos de lluvia del Verano Austral generalmente comienzan a mediados del mes de diciembre hasta mediados del mes de marzo, pero se producen con mayor intensidad en los meses de enero y febrero. De este fenómeno, resaltan los años de 1984, 1985, 2002, 2013 y 2019.

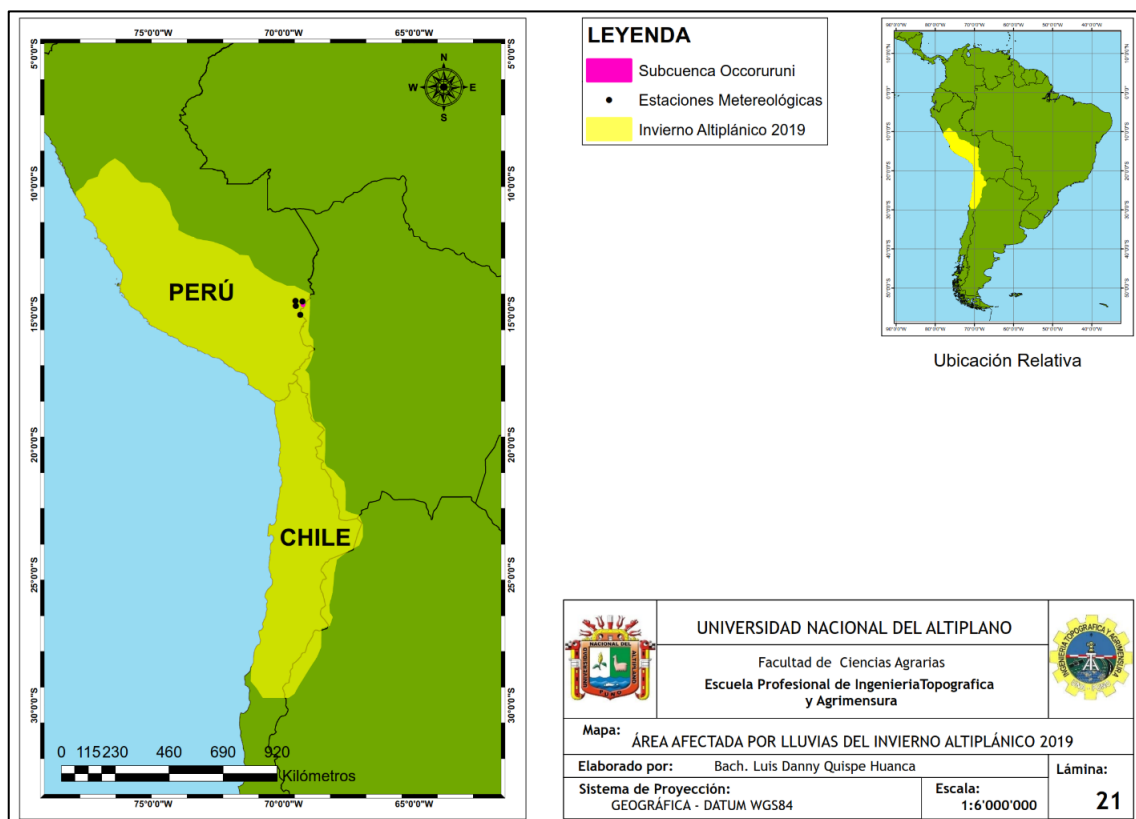


Figura 39. Mapas de área afectada por periodo de lluvias del verano austral (Invierno Altiplánico 2019).

Fuente: Elaboración propia.

4.3. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 2

Los resultados del Objetivo Específico # 2: Caracterizar el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la Subcuenca Occoruruni mediante el análisis espacial multicriterio en un SIG, se presentan a continuación:

4.3.1. Resultados del Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial

Para el análisis de los datos hidrológicos o de lluvias (precipitaciones) se utilizaron los datos de 4 estaciones meteorológicas que se encuentran cerca del área de estudio (Subcuenca Occoruruni): Sina (12,8 Km), Cuyo Cuyo (33,2 Km), Ananea (29,8 Km) y Cojata (46,1 Km).

4.3.1.1. Resultados del Análisis de Coherencia

De los datos recopilados de las 4 estaciones meteorológicas consideradas, se pudo identificar que los meses donde históricamente se han presentado mayores valores de precipitación pluvial corresponde al periodo entre diciembre y marzo (verano austral), llegando a un máximo en los meses de enero y febrero. Mientras que los meses donde se históricamente se han presentado menores valores de precipitación pluvial corresponden al periodo entre mayo y agosto (invierno austral), llegando al mínimo en los meses de junio y julio. Estos datos cotejan con el comportamiento del resto de la región: Zona del Altiplano Andino y Región Sur del Perú (Salas, 2014).

4.3.1.2. Resultados del Análisis de Saltos

El análisis de saltos se efectuó por medio de tres enfoques: a) análisis de gráficos de precipitación anual, b) análisis de doble masa, y c) análisis estadístico de saltos, cuyos resultados se detallan a continuación:



a) Análisis Gráfico

La siguiente Tabla 24 muestra la preparación y cálculos de parámetros estadísticos de los datos de precipitación anual de las 4 estaciones meteorológicas que se consideraron en este estudio (en mm o l/m²). Los valores de precipitación anual se obtuvieron mediante la sumatoria de la precipitación mensual registrada desde enero hasta diciembre de cada año, en el periodo 1981 – 2016. A partir de estos datos se obtuvieron los gráficos de precipitación anual para cada una de las estaciones meteorológicas, los cuales se muestran en la Figura 40. Adicionalmente, se obtuvo la curva de los valores promedio (medias) y de los valores mediana para el área de estudio, que se muestran en la Figura 41.

Como control estadístico de la calidad (CEC) adicional, a partir del análisis gráfico de los datos de precipitación anual se efectuó un gráfico de control de Levey-Jennings, el cual se muestra en la Figura 42.

Tabla 23.

Preparación de los datos para el análisis de gráficos de precipitación anual (en mm o l/m²) para el periodo 1981 – 2016.

Año	P Anual Sina	P Anual Cuyo Cuyo	P Anual Ananea	P Anual Cojata	Prom. P Anual	Med. P Anual	S P Anual	V P Anual
1981	1041,77	452,46	747,05	822,54	765,95	784,79	243,52	59302,53
1982	786,88	386,06	622,55	668,45	615,98	645,50	168,19	28289,29
1983	692,49	296,26	419,25	451,13	464,79	435,19	165,84	27503,49
1984	1088,52	507,99	825,49	915,83	834,46	870,66	243,47	59275,81
1985	963,54	483,54	860,15	990,63	824,46	911,84	234,13	54818,32
1986	930,96	446,15	792,86	893,58	765,88	843,22	220,99	48838,47
1987	717,41	343,54	579,69	608,02	562,17	593,86	157,38	24770,01
1988	839,11	366,59	630,01	720,47	639,04	675,24	200,81	40324,19
1989	683,47	319,88	513,73	576,74	523,46	545,24	152,73	23327,48
1990	866,89	417,62	612,77	663,59	640,22	638,18	184,60	34077,48
1991	733,57	356,38	581,64	651,02	580,65	616,33	161,90	26212,08
1992	853,06	416,47	542,32	581,78	598,41	562,05	183,82	33790,17
1993	912,59	426,60	659,87	732,74	682,95	696,30	201,21	40487,38
1994	850,91	381,13	598,41	660,24	622,67	629,32	193,59	37478,48
1995	755,42	317,14	485,15	533,04	522,69	509,09	180,67	32643,12
1996	747,41	342,41	517,00	553,71	540,13	535,36	166,11	27592,08
1997	939,50	437,12	703,55	732,97	703,29	718,26	206,17	42507,56
1998	683,50	300,18	457,77	461,50	475,74	459,64	157,60	24837,10
1999	850,48	329,75	541,08	646,53	591,96	593,81	216,91	47051,62
2000	756,00	337,63	551,98	706,39	588,00	629,19	188,17	35407,47
2001	895,12	386,88	589,52	840,02	677,89	714,77	235,21	55323,80
2002	915,08	413,12	672,91	817,47	704,65	745,19	218,33	47669,47
2003	865,52	368,27	594,49	747,66	643,98	671,08	214,70	46098,07
2004	721,93	369,77	628,59	535,55	563,96	582,07	150,16	22549,50
2005	852,08	350,45	577,25	652,58	608,09	614,92	207,24	42947,14
2006	853,05	403,72	636,23	566,35	614,84	601,29	186,30	34707,76
2007	726,61	344,06	522,01	672,26	566,23	597,13	171,54	29425,89
2008	849,86	368,49	580,54	527,61	581,62	554,08	200,25	40098,74
2009	837,01	333,96	578,73	480,74	557,61	529,73	211,69	44812,60
2010	789,83	330,54	488,93	543,96	538,31	516,44	190,53	36299,89
2011	804,33	344,27	560,52	645,43	588,64	602,98	191,70	36750,58
2012	935,70	393,09	636,25	746,53	677,89	691,39	226,58	51340,10
2013	921,66	442,50	708,93	778,66	712,94	743,79	200,86	40344,89
2014	782,19	376,29	558,28	603,24	580,00	580,76	166,73	27797,63
2015	859,87	432,43	679,45	694,35	666,53	686,90	176,19	31042,12
2016	749,91	322,82	552,96	593,76	554,86	573,36	176,45	31134,62
Prom. Periodo	834,81	379,04	605,78	667,14	621,69	---	---	---
Med. Periodo	850,17	369,13	585,58	656,41	---	617,66	---	---
S Periodo	97,40	51,79	97,78	128,72	---	---	190,30	---
V Periodo	9487,28	2681,73	9561,45	16569,17	---	---	---	36214,81

Nomenclatura:
Prom: Promedio; **Med:** Mediana, **S:** Desviación Estándar, **V:** Varianza

Fuente: Elaboración propia.

Gráficos de Datos de Precipitación Anual

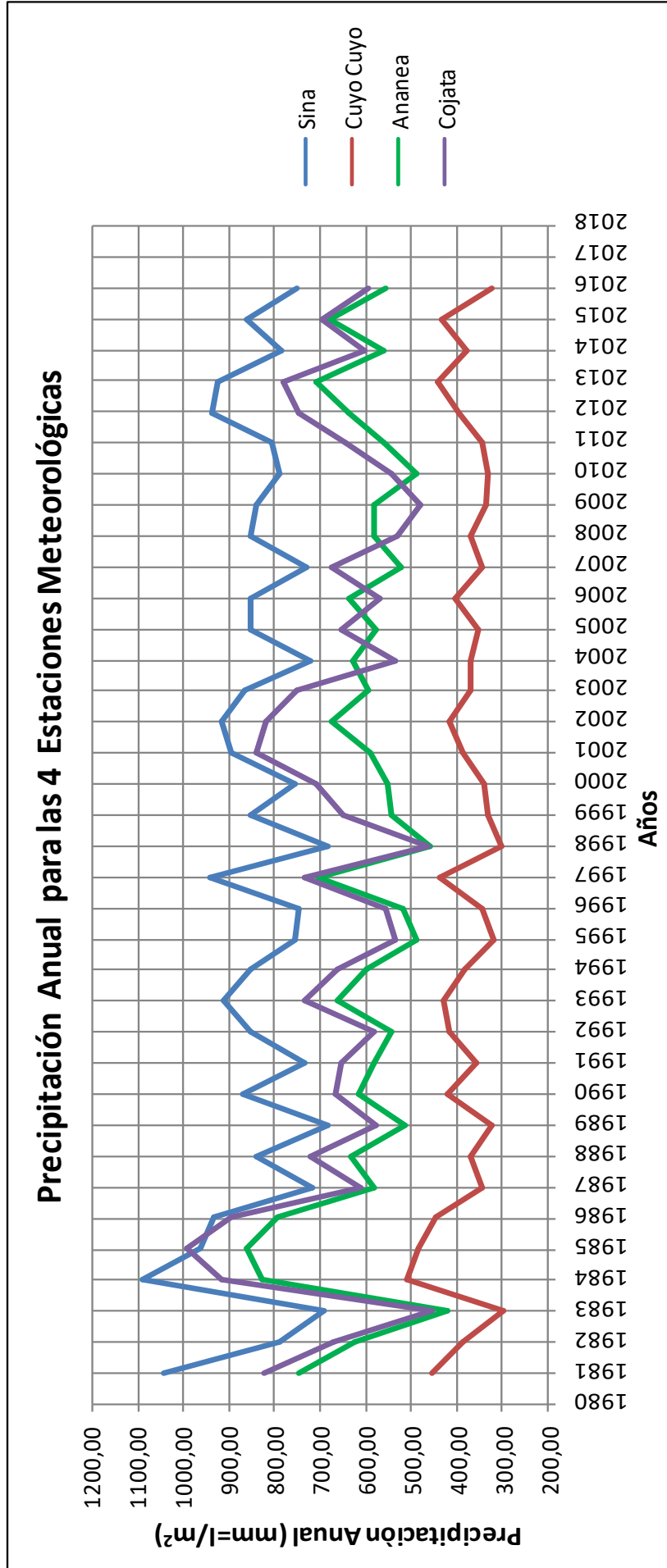


Figura 40. Gráfico de datos de precipitación anual para las 4 estaciones meteorológicas del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

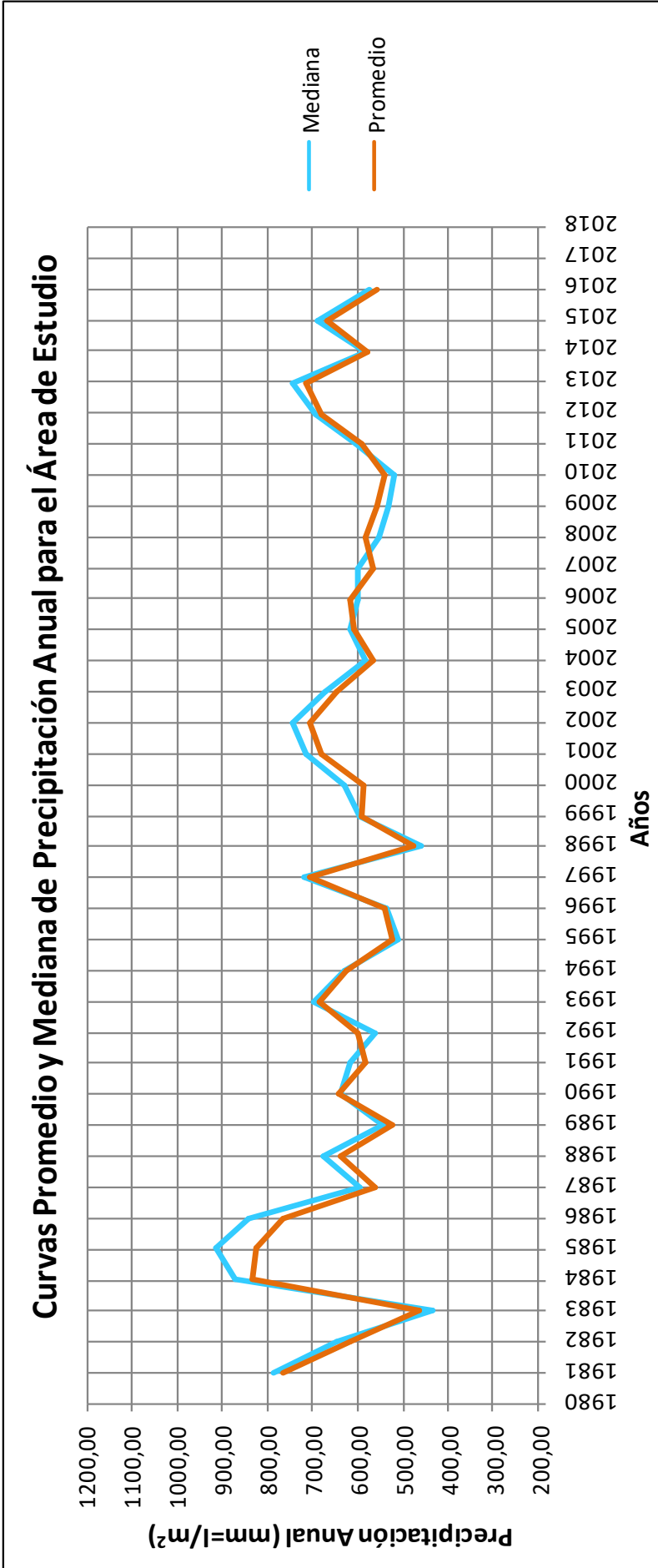


Figura 41. Gráfico de las curvas promedio y mediana de precipitación anual para área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de los datos de precipitación anual se puede concluir que los valores observados en el periodo 1981 – 2016 se encuentran entre 296,26mm (mínima) y 1088,52(máxima). De los cálculos efectuados, se determinó que la la precipitación media anual para el mismo periodo presenta un valor promedio (Prom) de 621,69mm y un valor mediano (Med) de 617,66 mm. Así mismo, la desviación estándar (S) para el mismo periodo fue de 190,30 mm. Estos valores se resumen a continuación:

- Valor Promedio (Prom) de la Precipitación Anual: 621,69 mm
- Valor Mediana (Med) de la Precipitación Anual: 617,66 mm
- Desviación Estándar (S): 190,30 mm
- Valor de Precipitación Real Mínima Observada: 296,26 mm
- Valor de Precipitación Real Máxima Observada: 1088,52 mm

También se pudo identificar que los años que presentaron mayores valores de precipitación anual fueron 1984, 1985 y 1986, mientras que los años que presentaron menores valores de precipitación fueron 1983 y 1998, los cuales fueron los años donde la Zona Norte y Central del Perú resultaron más afectadas por el Fenómeno de El Niño en el periodo 1981 – 2016. Esto significa que en los años que el Fenómeno del Niño se presenta sobre la Zona Norte y Central del territorio peruano, se producen muy pocas precipitaciones (sequías) en la Zona Sur (donde se encuentra el área de estudio).

Control Estadístico de la Calidad (CEC) de los Datos de Precipitación Anual

A partir de los datos de precipitación anual se efectuó un gráfico de control estadístico de calidad (CEC) de Levey-Jennings (ver Figura 42), donde la línea central (LC) corresponde a la mediana (Med) de los valores puntuales de las muestras, el límite de control superior (LS) corresponde al valor $Med+3S$ y el límite de control inferior (LI) corresponde al valor $Med - 3S$. Esto permitió identificar que ningunos de los datos de

precipitación anual de las 4 estaciones meteorológicas presentan anomalías fuera de los límites estadísticos (valores por encima del límite superior o por debajo del límite inferior), es decir, los datos que se están analizando superan la prueba de control estadístico de la calidad. Estos valores se resumen a continuación:

- Valor Med +3S: $(\bar{x} + 3\sigma) = 1188,56$ mm (Límite de Control Superior)
- Valor Med + 2S: $(\bar{x} + 2\sigma) = 998,26$ mm
- Valor Med + 1S: $(\bar{x} + 1\sigma) = 807,96$ mm
- Valor Med: $(\bar{x}) = 617,66$ mm (Línea Central)
- Valor Med -1S: $(\bar{x} - 1\sigma) = 427,36$ mm
- Valor Med - 2S: $(\bar{x} - 2\sigma) = 237,06$ mm
- Valor Med - 3S: $(\bar{x} - 3\sigma) = 46,76$ mm (Límite de Control Inferior)

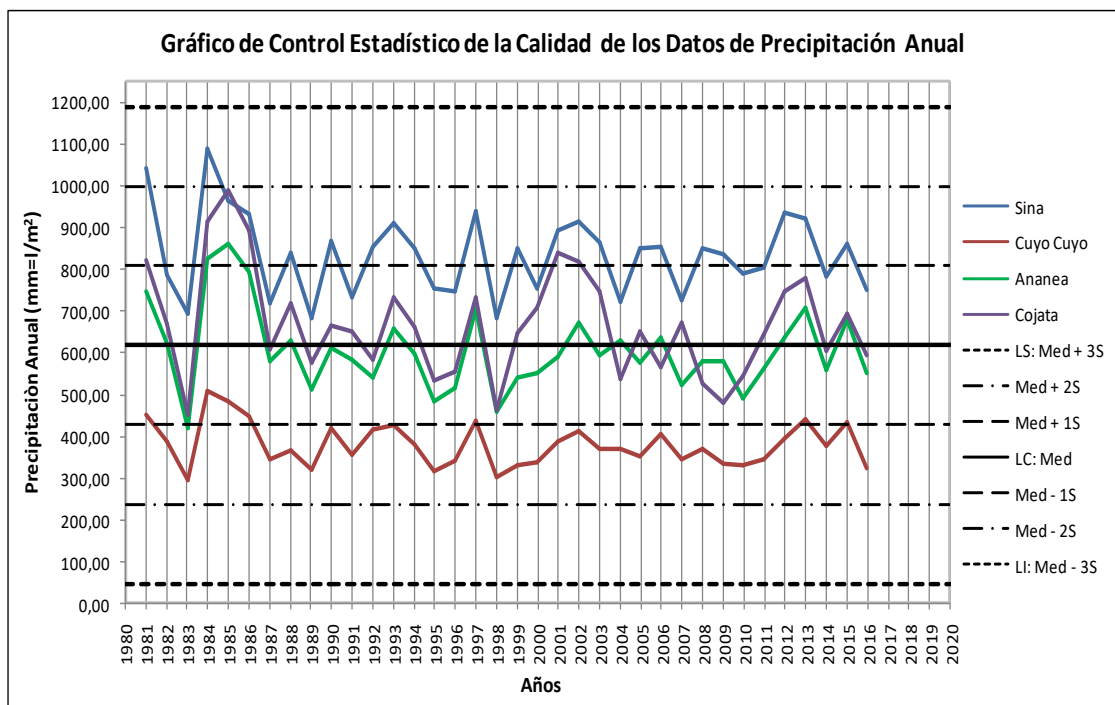


Figura 42. Gráfico de control estadístico de la calidad de los datos de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los principios de análisis estadístico en distribuciones normalizadas de datos (ver Figura 43), el mayor porcentaje de los datos (68,3%) de precipitación se encuentran entre los valores 807,96 mm (Med + 1S) y 427,36 mm (Med – 1S). A partir de estos valores se puede entonces afirmar cuáles son los valores de precipitación anual que se consideran “cercaños al valor central” (la mayoría) y los valores que se consideran “muy altos” o “muy bajos” (más alejados del valor central).

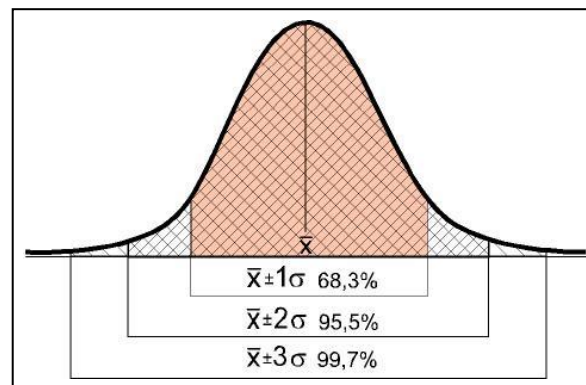


Figura 43. Esquema de una distribución normalizada de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Escala de Estratificación de Valores de Precipitación Anual

Los análisis previamente mostrados permitieron obtener la siguiente escala estratificación de valores de precipitación anual para el área de estudio (Tabla 25):

Tabla 24.

Escala de Estratificación de los Valores de Precipitación en el Área de Estudio

Valores de Precipitación Anual	Clasificación de los Valores de Precipitación Anual
> 820 mm	Muy Alto
700– 820 mm	Alto
600 – 700 mm	Moderado
480 – 600 mm	Bajo
<480 mm	Muy Bajo

Fuente. Elaboración propia.

b) Resultados del Análisis de Doble Masa

Para el análisis de doble masas, se estimó la precipitación anual acumulada en el periodo 1981 – 2016 para cada estación meteorológica considerada en este estudio, y se obtuvo el promedio de las 4 estaciones. Luego se efectuó la graficación de estos datos, ubicando en el eje X el promedio de las 4 estaciones y en el eje y (ordenadas) las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación. Los resultados de la preparación de los datos se muestran en la Tabla 26 y el gráfico de doble masa se presenta en la Figura 44.

Tabla 25.

Preparación de los datos para el Análisis de Doble Masa.

Año	Nº Año [t]	P Anual Acumulada Sina [Tm = Acum]	P Anual Acumulada Cuyo Cuyo [Tm = Acum]	P Anual Acumulada Ananea [Tm = Acum]	P Anual Acumulada Cojata [Tm = Acum]	P Anual Acumulada Promedio de las 4 Estaciones [Tm = Acum]
1981	1	1041.77	452.46	747.05	822.54	765.955
1982	2	1828.65	838.52	1369.6	1490.98	1381.9375
1983	3	2521.14	1134.78	1788.86	1942.12	1846.725
1984	4	3609.66	1642.77	2614.35	2857.94	2681.18
1985	5	4573.19	2126.31	3474.49	3848.57	3505.64
1986	6	5504.15	2572.46	4267.35	4742.15	4271.5275
1987	7	6221.56	2915.99	4847.04	5350.18	4833.6925
1988	8	7060.67	3282.58	5477.05	6070.64	5472.735
1989	9	7744.14	3602.46	5990.78	6647.38	5996.19
1990	10	8611.04	4020.07	6603.55	7310.97	6636.4075
1991	11	9344.61	4376.45	7185.19	7961.99	7217.06
1992	12	10197.67	4792.92	7727.52	8543.77	7815.47
1993	13	11110.25	5219.52	8387.38	9276.51	8498.415
1994	14	11961.17	5600.65	8985.79	9936.74	9121.0875
1995	15	12716.59	5917.79	9470.94	10469.78	9643.775
1996	16	13464	6260.2	9987.94	11023.49	10183.9075
1997	17	14403.5	6697.33	10691.49	11756.46	10887.195
1998	18	15087	6997.51	11152.99	12214.23	11362.9325
1999	19	15770.5	7297.69	11799.52	12755.31	11905.755
2000	20	16620.98	7627.44	12505.91	13307.29	12515.405
2001	21	17376.98	7965.07	13345.93	13896.81	13146.1975
2002	22	18272.1	8351.95	14163.4	14569.72	13839.2925
2003	23	19187.18	8765.07	14911.06	15164.21	14506.88
2004	24	20052.7	9133.34	15446.61	15792.8	15106.3625
2005	25	20774.63	9503.11	16099.19	16370.05	15686.745
2006	26	21626.71	9853.56	16665.54	17006.28	16288.0225
2007	27	22479.76	10257.28	17337.8	17528.29	16900.7825
2008	28	23206.37	10601.34	17865.41	18108.83	17445.4875
2009	29	24056.23	10969.83	18346.15	18687.56	18014.9425
2010	30	24893.24	11303.79	18890.11	19176.49	18565.9075
2011	31	25683.07	11634.33	19535.54	19737.01	19147.4875
2012	32	26487.4	11978.6	20282.07	20373.26	19780.3325
2013	33	27423.1	12371.69	21060.73	21082.19	20484.4275
2014	34	28344.76	12814.19	21663.97	21640.47	21115.8475
2015	35	29126.95	13190.48	22358.32	22319.92	21748.9175
2016	36	29986.82	13622.91	22952.08	22872.88	22358.6725

Fuente: Elaboración propia.

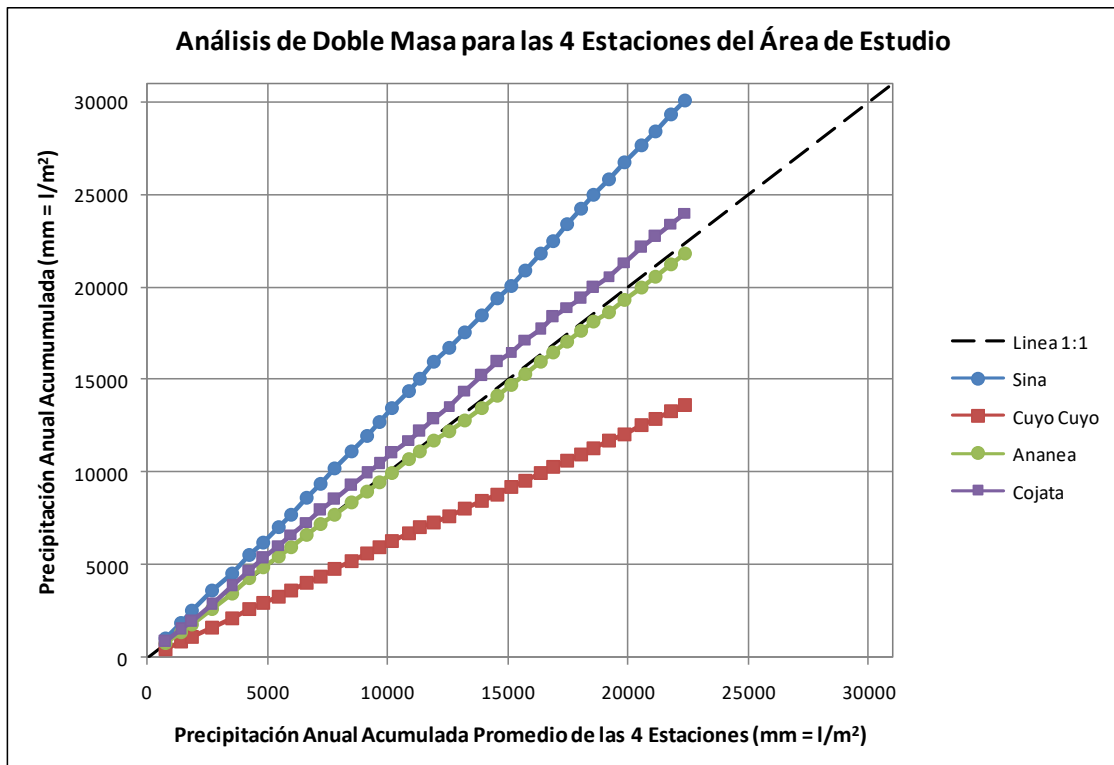


Figura44. Gráfico de Doble Masa para las 4 estaciones meteorológicas del Área de Estudio.

Fuente: Elaboración propia.

c) Resultados del Análisis Estadístico de Saltos

Para el análisis estadístico de saltos, la serie meteorológica (precipitación anual) de 36 datos (1981 – 2016) se separó en dos subseries: La primera de 17 valores (1981 – 1997) y la segunda de 19 valores (1998-2016), las cuales se muestran en la Tabla 27. Con estos datos se estimaron los parámetros estadísticos para cada subserie (promedios, medianas, desviaciones estándar y varianzas), con lo cual se aplicaron las pruebas del estadístico “T” de Student (ver Tabla 28) y la prueba del estadístico “F” de Fisher (ver Tabla 29). Ambas pruebas evidenciaron que no existen saltos significativos en los datos, por lo cual, pueden considerarse que los datos son válidos.

Tabla 26.

Preparación de los datos para análisis de tendencias

Año	N° Año [t]	P Anual Sina	P Anual Cuyo Cuyo	P Anual Ananea	P Anual Cojata
1981	1	1041,77	452,46	747,05	822,54
1982	2	786,88	386,06	622,55	668,45
1983	3	692,49	296,26	419,25	451,13
1984	4	1088,52	507,99	825,49	915,83
1985	5	963,54	483,54	860,15	990,63
1986	6	930,96	446,15	792,86	893,58
1987	7	717,41	343,54	579,69	608,02
1988	8	839,11	366,59	630,01	720,47
1989	9	683,47	319,88	513,73	576,74
1990	10	866,89	417,62	612,77	663,59
1991	11	733,57	356,38	581,64	651,02
1992	12	853,06	416,47	542,32	581,78
1993	13	912,59	426,60	659,87	732,74
1994	14	850,91	381,13	598,41	660,24
1995	15	755,42	317,14	485,15	533,04
1996	16	747,41	342,41	517,00	553,71
1997	17	939,50	437,12	703,55	732,97
Prom. Periodo		847,26	393,96	628,91	691,56
Med. Periodo		850,91	386,06	612,77	663,59
S Periodo		120,53	61,08	123,31	145,78
V Periodo		14528,36	3730,66	15204,80	21252,66
n1	17				
1998	18	683,50	300,18	457,77	461,50
1999	19	850,48	329,75	541,08	646,53
2000	20	756,00	337,63	551,98	706,39
2001	21	895,12	386,88	589,52	840,02
2002	22	915,08	413,12	672,91	817,47
2003	23	865,52	368,27	594,49	747,66
2004	24	721,93	369,77	628,59	535,55
2005	25	852,08	350,45	577,25	652,58
2006	26	853,05	403,72	636,23	566,35
2007	27	726,61	344,06	522,01	672,26
2008	28	849,86	368,49	580,54	527,61
2009	29	837,01	333,96	578,73	480,74
2010	30	789,83	330,54	488,93	543,96
2011	31	804,33	344,27	560,52	645,43
2012	32	935,70	393,09	636,25	746,53
2013	33	921,66	442,50	708,93	778,66
2014	34	782,19	376,29	558,28	603,24
2015	35	859,87	432,43	679,45	694,35
2016	36	749,91	322,82	552,96	593,76
Prom. Periodo		823,67	365,70	585,07	645,30
Med. Periodo		849,86	368,27	578,73	646,53
S Periodo		72,50	38,73	64,18	110,72
V Periodo		5255,90	1500,13	4118,49	12259,84
n2	19				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27.*Prueba del estadístico "T" para los datos de las 4 estaciones meteorológicas.*

Prueba del Estadístico "T"				
Parámetro	Sina	Cuyo Cuyo	Ananea	Cojata
Sp	98,07	50,49	96,62	128,42
Sd	604,59	311,27	595,61	791,63
GLN	16	16	16	16
GLD	18	18	18	18
$\alpha/2$	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
Tc	0,0390	0,0908	0,0736	0,0584
Tt	2,0322	2,0322	2,0322	2,0322
Decisión	Ok	Ok	Ok	Ok

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28.*Prueba del estadístico "F" para los datos de las 4 estaciones meteorológicas.*

Prueba del Estadístico "F"				
Parámetro	Sina	Cuyo Cuyo	Ananea	Cojata
Fc	0,6015	0,6341	0,5204	0,7595
Ft	2,2500	2,2500	2,2500	2,2500
Decisión	Ok	Ok	Ok	Ok

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3. Resultados del Análisis de Tendencias

Para el análisis estadístico de saltos, se calcularon los productos de las precipitaciones anuales (P Anual) por el año (t), lo cual se detalla en la Tabla 30. Los resultados obtenidos en el análisis de tendencia permitieron obtener los parámetros de las ecuaciones de las líneas rectas de tendencia (Am y Bm) y corroborar que los datos de las 4 estaciones meteorológicas consideradas en este estudio no requieren correcciones (ver Tabla 31). Por otro lado, utilizando la aplicación Microsoft Excel se obtuvieron las ecuaciones de las líneas rectas de tendencia de las 4 estaciones meteorológicas (ver Figura 45). Esto permitió establecer una comparación entre ambos resultados, verificándose que son similares.



Tabla 29.

Preparación de los datos para análisis de tendencias

Año	Nº Año	[Año] * [P Anual] Sina	[Año] * [P Anual] Cuyo Cuyo	[Año] * [P Anual] Ananea	[Año] * [P Anual] Cojata
1981	1	2063739,45	896330,44	1479911,06	1629444,86
1982	2	1559598,41	765164,26	1233896,22	1324861,15
1983	3	1373212,81	587485,80	831381,00	894598,29
1984	4	2159614,04	1007853,12	1637771,08	1817000,84
1985	5	1912619,51	959824,73	1707389,81	1966398,20
1986	6	1848881,26	886044,68	1574614,81	1774646,53
1987	7	1425494,98	682606,62	1151851,33	1208143,91
1988	8	1668157,64	728772,53	1252451,67	1432286,87
1989	9	1359421,31	636237,16	1021815,56	1147141,21
1990	10	1725116,33	831057,01	1219407,61	1320539,18
1991	11	1460545,21	709547,95	1158048,07	1296175,16
1992	12	1699290,83	829604,74	1080310,09	1158899,16
1993	13	1818786,83	850208,03	1315113,79	1460352,18
1994	14	1696720,63	759977,20	1193223,88	1316511,74
1995	15	1507064,49	632699,87	967879,53	1063406,52
1996	16	1491826,78	683453,52	1031932,28	1105205,79
1997	17	1876189,90	872935,42	1404987,50	1463737,84
1998	18	1365640,47	599767,95	914621,09	922082,01
1999	19	1700108,28	659165,72	1081615,00	1292421,65
2000	20	1512004,98	675266,35	1103965,80	1412785,08
2001	21	1791140,71	774154,34	1179625,50	1680885,60
2002	22	1831997,60	827064,65	1347169,62	1636576,61
2003	23	1733631,98	737645,80	1190759,16	1497567,90
2004	24	1446751,73	741022,11	1259695,92	1073245,63
2005	25	1708425,17	702651,92	1157386,17	1308427,96
2006	26	1711208,98	809858,37	1276282,56	1136096,18
2007	27	1458299,14	690526,92	1047672,10	1349219,86
2008	28	1706516,32	739919,35	1165725,20	1059445,79
2009	29	1681549,59	670928,57	1162670,38	965798,05
2010	30	1587548,63	664379,35	982751,63	1093352,47
2011	31	1617503,21	692336,65	1127214,45	1297969,64
2012	32	1882623,02	790898,73	1280143,06	1502019,87
2013	33	1855296,24	890757,38	1427071,81	1567443,42
2014	34	1575339,10	757844,40	1124369,78	1214920,85
2015	35	1732646,57	871344,01	1369089,21	1399121,05
2016	36	1511817,60	650805,68	1114763,62	1197027,73
Prom. Periodo		1668231,38	757392,81	1210404,93	1332937,69
Med. Periodo		1698005,73	740470,73	1172675,35	1312469,85
S Periodo		192963,32	102354,08	193279,60	254867,68
V Periodo		37234844696,64	10476358462,67	37357004032,06	64957535063,29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.

Análisis de tendencias para las 4 estaciones meteorológicas

Análisis de Tendencias				
Parámetro	Sina	Cuyo Cuyo	Ananea	Cojata
R	-0,137	-0,229	-0,230	-0,253
Bm	-1,263	-1,125	-2,137	-3,091
Am	3360	2627	4876	6845
n	10	10	10	10
Tc	-0,390	-0,665	-0,669	-0,740
GL	34	34	34	34
Tt	2,032	2,032	2,032	2,032
Decisión	Ok	Ok	Ok	Ok

Fuente: Elaboración propia.

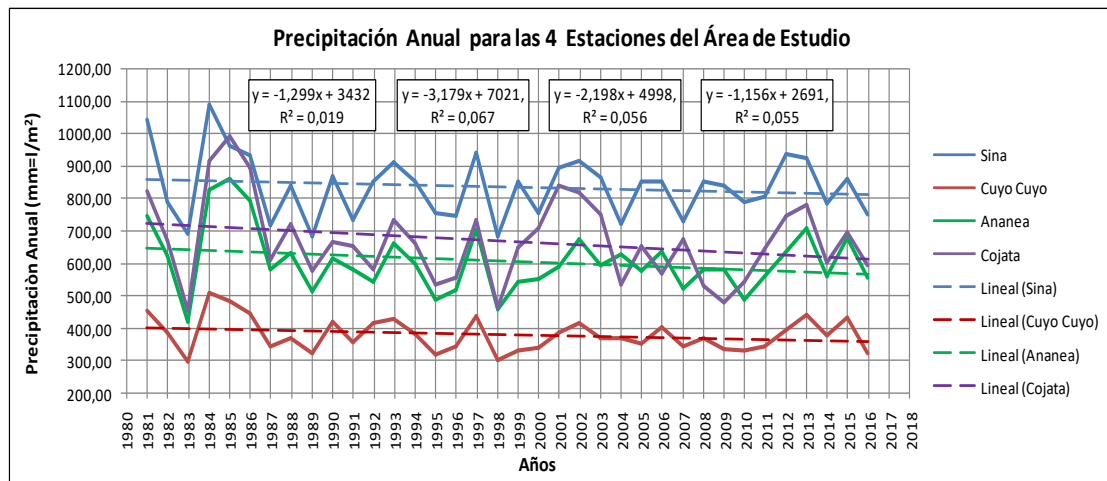


Figura 45. Líneas de Tendencias obtenidas con Microsoft Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, las ecuaciones resultantes del análisis de tendencia fueron comparadas con las líneas de tendencia obtenida con la aplicación Microsoft Excel para cada una de las estaciones meteorológicas son las siguientes (Tabla 32).

Tabla 31.*Resultado de la Comparación de las ecuaciones de líneas de tendencia*

Estación Meteorológica	Ecuación obtenida con el Análisis de Tendencias	Ecuación obtenida con Microsoft Excel	Correlación
Sina	$T_m = 3360 - 1.263(t)$	$T_m = 3532 - 1.299(t)$	0,97
Cuyo Cuyo	$T_m = 2627 - 1,125(t)$	$T_m = 2691 - 1.156(t)$	0,72
Ananea	$T_m = 4876 - 2,137(t)$	$T_m = 4998 - 2,198(t)$	0,99
Cojata	$T_m = 6845 - 3,091(t)$	$T_m = 7021 - 3,179(t)$	0,98

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Resultados del Análisis de Amenazas de Inundaciones

Los detonantes de amenazas de inundación son aquellos elementos que desencadenan los eventos que provocan los desastres naturales: altos valores de precipitación que ocasionen el aumento del caudal del río y el desbordamiento de los lagos y lagunas, sismos (terremotos) que provoquen la rotura o falla de los diques naturales de los lagos y lagunas, y avalanchas que originen el desbordamiento de los lagos y lagunas. Este estudio se enfoca en estudiar la vulnerabilidad y los riesgos ocasionados por la amenaza o peligro de inundación que se desencadena por altos valores de precipitación pluviométrica.

Cabe destacar que los elementos geológicos y geomorfológicos constituyen factores de riesgo de bajo impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad a las inundaciones (aunque son factores de alto impacto o influencia sobre la estimación de la vulnerabilidad por inestabilidad de taludes o laderas y de vulnerabilidad sísmica), por lo cual, no fueron considerados entre las variables o criterios de amenaza de inundación.

4.3.2.1. Identificación de los Factores de Amenazas de Inundaciones

De la revisión de los informes y reportes de desastres naturales del INDECI y de los medios de información disponibles en internet, se identificaron los eventos de inundaciones en el área de estudio (Subcuenca Occoruruni, Departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Sina) en el periodo 1984 – 2020 (36 años), lo que permitió diferenciar los eventos que fueron producidos por lluvias (precipitaciones) y los eventos producidos por avalanchas (derrumbe de hielo y/o nieve de glaciares, junto con rocas y sedimentos) en dicho periodo (ver Tabla 33). Se identificaron que en 10 años se presentaron eventos de inundación, 2 debido a avalanchas y 8 debidos a lluvias, de los cuales, 6 se pueden clasificar como lluvias intensas y 2 como lluvias muy intensas.

Tabla 32.

Reportes de Inundaciones en el Área de Estudio en el Periodo 1984 – 2020

Año	Reportes de Inundaciones en el Área de Estudio	Fuente de Información
1984	Por Lluvias Muy Intensas	INDECI (2006, 2017), PREDECAN (2008).
1985	Por Lluvias Muy Intensas	INDECI (2006, 2017), PREDECAN (2008).
1986	Por Lluvias Intensas	INDECI (2006, 2017), PREDECAN (2008).
1999	Por Avalanchas	INRENA (2006), Vélez (2020).
2001	Por Lluvias Intensas	INDECI (2006, 2008, 2017), PREDECAN (2008).
2002	Por Lluvias Intensas	INDECI (2006, 2008, 2017), PREDECAN (2008).
2006	Por Avalanchas	INRENA (2006), Vélez (2020).
2013	Por Lluvias Intensas	INDECI (2006, 2008).
2019	Por Lluvias Intensas	El Espectador (08/02/2019). Agencia de Noticias EFE Verde (19/02/2019).
2020	Por Lluvias Intensas	Los Andes (27/02/2020).

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que no se consiguieron reportes de inundaciones que mencionaran el área de estudio (Departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Sina) para los años anteriores a 1984.

4.3.2.2. Estimación de la Probabilidad de Ocurrencia de las Amenazas de Inundaciones

a) Probabilidad de Ocurrencia a partir de los Datos Históricos

Según el COSUDE (2002), “la probabilidad relativa de ocurrencia de un evento puede ser estimada en base a la experiencia del especialista y las evidencias de actividad e intensidad del fenómeno”. Se realiza un análisis relativo (utilizando consideraciones que pueden ser ciertas o no dependiendo de la experiencia del analizador); este análisis consiste en expresar de manera cuantitativa observaciones subjetivas.

Los resultados de la estimación de la probabilidad de ocurrencia de inundaciones desencadenadas por lluvias (precipitaciones) o por avalanchas (hielo y nieve, con rocas y sedimentos) en el periodo 1984 – 2020 (36 años) se muestran a continuación en la Tabla 34:

Tabla 33.

Probabilidad de Ocurrencia de Eventos Desencadenantes de Inundaciones

Eventos Desencadenantes de Inundaciones	Eventos	Periodo (Años)	Probabilidad de Ocurrencia Anual	Probabilidad de Ocurrencia en 5 Años
Inundaciones por Lluvias	8	36	22,22%	111,10%
Inundaciones por Avalanchas	2	36	5,55%	27,75%
Total			27,77%	138,85%

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados indican que dentro del área de estudio la probabilidad total estimada de que se produzcan eventos de inundaciones en cualquier año es de 27,77%,

correspondiendo un 22,22% de probabilidad de inundaciones por lluvias y 5,55% de probabilidad de inundaciones por avalanchas. Si consideramos un periodo de 5 años, la probabilidad de que se produzcan eventos de inundaciones es de 138,85%, correspondiendo un 111,10% de probabilidad de inundaciones por lluvias y 27,75% de probabilidad de inundaciones por avalanchas. Los eventos que presentan una probabilidad mayor del 100% en un determinado tiempo, quiere decir que se pudieran producir hasta 2 veces en dicho periodo de tiempo.

De la misma manera, la probabilidad de ocurrencia de inundaciones por lluvias se desglosó en dos (2) escenarios: inundaciones por lluvias intensas con 16,67% de probabilidad de ocurrencia anual, e inundaciones por lluvias muy intensas con 5,55% de probabilidad de ocurrencia anual. Estas probabilidades se integraron con los resultados de la estratificación de los valores de precipitación del área de estudio (Tabla 25), para poder determinar qué valores de precipitación pueden corresponder a lluvias intensas y a lluvias muy intensas, como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 34.

Probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvias intensas y muy intensas

Eventos Desencadenantes de Inundaciones	Valores de Precipitación Anual	Eventos	Periodo (Años)	Probabilidad de Ocurrencia Anual	Probabilidad de Ocurrencia en 5 Años
Inundaciones por Lluvias Intensas (Escenario 1)	> 820 mm	6	36	16,67%	83,35%
Inundaciones por Lluvias Muy Intensas (Escenario 2)	700 – 820 mm	2	36	5,55%	27,75%
Total				22,22%	111,10%

Fuente: Elaboración propia



b) Estimación de los Períodos de Retorno para Mapas de Amenazas

En los casos de que sea poco probable que un fenómeno ocurra "en los próximos 10 años", y que su probabilidad solo se puede considerar alta cuando hablamos de "los próximos 100 años", entonces se puede decir que su período de retorno es más bien de alrededor de 100 años.

Cuando se están elaborando mapas de amenazas, no es recomendable limitarse a fenómenos de 10 años de período de retorno, y se deben tomar en cuenta fenómenos menos frecuentes, de períodos de retorno de por lo menos 100 años, preferiblemente más. Si hacemos un mapa de amenaza por inundaciones considerando eventos de 100 años de período de retorno, habrá una probabilidad de alrededor de 50% (o sea: uno en dos) que en los próximos 70 años suceda algún evento que afecte zonas que no hemos marcado como peligrosas. Sin embargo, por otro lado, no es recomendable considerar eventos con períodos de retorno superiores a unos 500 años, ya que, por una parte, será muy difícil imaginar qué podría ser un evento de este tipo y que, por otra parte, tales eventos tendrían una probabilidad demasiado débil para ser consideradas en las tareas de planificación comunes (COSUDE, 2002).

Los resultados de la estimación del tiempo de retorno de las precipitaciones intensas, considerando los datos de la estación Sina en el periodo 1984 – 2020 (36 años) se muestran a continuación en la Tabla 36:

Tabla 35.

Estimación del tiempo de retorno para la estación Sina.

Distribución	Momentos	Delta Teórico	Período De Retorno (Años)			
			10	25	50	100
NORMAL	ORDINARIO	0,0778	292,34	315,93	331,16	344,86
	LINEAL	0,0780	293,11	316,98	332,40	346,26
LOG NORMAL 2P	ORDINARIO	0,0723	295,20	327,33	349,92	371,56
	LINEAL	0,0674	296,97	330,01	353,28	375,60
LOG NORMAL 3P	ORDINARIO	0,0779	292,94	322,05	342,07	360,94
GAMMA 2 P	ORDINARIO	0,0777	292,77	320,84	339,86	357,55
	LINEAL	0,1064	322,50	366,31	396,52	424,97
GAMMA 3 P	ORDINARIO	0,0715	294,31	323,48	343,32	361,82
	LINEAL	0,0645	296,24	327,63	349,24	369,55
GUMBEL	ORDINARIO	0,0861	293,48	330,64	358,20	385,57
	LINEAL	0,0706	297,18	336,44	365,56	394,46
LOG-GUMBEL	ORDINARIO	0,1101	296,69	349,12	393,92	444,08
	LINEAL	0,1116	302,37	359,65	409,04	464,78
DELTA TEORICO MENOR = 0,0645			296,24	327,63	349,24	369,55

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.3. Cotejo de los Datos de Precipitación Anual con los Reportes de Inundaciones

No existen estudios disponibles sobre la variación del caudal del río Sina-Koriwara, que puedan ser cotejados con los datos de precipitación anual del área de estudio, sin embargo, en los alrededores del mismo se han producido eventos de inundaciones en varios años, en los cuales se han presentado lluvias intensas durante los meses de verano austral. Esto indica que, durante los meses más lluviosos, el caudal del río Sina-Koriwara aumenta, y en varias ocasiones se ha desbordado, inundando las planicies y zonas con pendientes bajas cercanas.

Debido a esto, para validar la relación existente entre los valores de precipitación más altos y los eventos de inundaciones en el área de estudio, se efectuó un cotejo entre los valores de precipitaciones y los reportes de inundaciones nacionales y locales emitidos por el INDECI y por los medios informativos disponibles en internet.



A través de este cotejo se pudo identificar que los años que presentaron un valor de precipitación anual alto y muy alto son los que en su mayoría presentaron reportes de inundaciones en el área de estudio (Departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Sina). En resumen, en un total de 8 años se presentaron eventos de inundación debidos a lluvias, de los cuales, 6 corresponden a lluvias intensas (valores de precipitación altos, entre 700 y 820 mm o l/m²al año) y 2 corresponden a lluvias muy intensas (con valores de precipitación muy altos, mayores de 820 mm o l/m²al año), los cuales se resaltan en la Tabla 37 en color amarillo. Adicionalmente, en 2 años se presentaron eventos de inundación por desbordamiento de lagunas glaciares originadas por avalanchas, los cuales se resaltan en la Tabla 36 en color azul.

Por otro lado, se identificó que en los años que se reportaron eventos de inundación por el Fenómeno de El Niño en la Zona Norte y Central del Perú, corresponde a periodos de menor precipitación o sequías en el área de estudio (valores menores a 420 mm o l/m² al año).

Tabla 36.

Resultados del cotejo entre los valores de precipitaciones y los reportes de inundaciones nacionales y locales

Escala de Valor de Precipitaciones: <480 mm: Muy Bajo; 500 – 600 mm: Bajo; 600 – 700 mm: Moderado; 700 – 820 mm: Alto; > 820 mm: Muy Alto

Año	Valor de Precipitación en la Zona Norte y Central del Perú	Reportes de Inundaciones en el Perú según el INDECI	Valor de Precipitación en el Área de Estudio	Reportes de Inundaciones en el Área de Estudio
1981	Alto	Frecuentes	Alto	No se consiguieron
1982	Muy Bajo	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
1983	Muy Alto (Fenómeno de El Niño)	Muy Frecuentes	Muy Bajo	
1984	Alto	Frecuentes	Muy Alto	Por Lluvias Muy Intensas
1985	Bajo	Moderadamente Frecuentes	Muy Alto	Por Lluvias Muy Intensas
1986	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas
1987	Muy Bajo	Moderadamente Frecuentes	Bajo	
1988	Muy Bajo	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
1989	Bajo	Moderadamente Frecuentes	Bajo	
1990	Muy Bajo	Poco Frecuentes	Moderado	
1991	Moderado	Poco Frecuentes	Moderado	
1992	Muy Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
1993	Moderado	Poco Frecuentes	Moderado	
1994	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
1995	Bajo	Moderadamente Frecuentes	Bajo	
1996	Bajo	Moderadamente Frecuentes	Bajo	
1997	Alto	Frecuentes	Alto	
1998	Muy Alto (Fenómeno de El Niño)	Muy Frecuentes	Muy Bajo	
1999	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	Por Avalanchas
2000	Moderado	Poco Frecuentes	Moderado	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 (continuación...)

Año	Valor de Precipitación en la Zona Norte y Central del Perú	Reportes de Inundaciones en el Perú según el INDECI	Valor de Precipitación en el Área de Estudio	Reportes de Inundaciones en el Área de Estudio
2001	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas
2002	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas
2003	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2004	Muy Bajo	Moderadamente Frecuentes	Bajo	
2005	Muy Bajo	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2006	Moderado	Poco Frecuentes	Moderado	Por Avalanchas
2007	Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2008	Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2009	Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2010	Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2011	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2012	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2013	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas
2014	Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2015	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2016	Muy Bajo	Poco Frecuentes	Bajo	
2017	Muy Alto (Fenómeno de El Niño Costero)	Muy Frecuentes	Moderado	
2018	Moderado	Moderadamente Frecuentes	Moderado	
2019	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas
2020	Alto	Frecuentes	Alto	Por Lluvias Intensas

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.4. Generación de Mapas de Amenazas de Inundaciones

a) Mapas de Factores de Amenazas de Inundación

Mapa de Precipitación Media Anual en el Periodo 1981 – 2016

El mapa de precipitación media anual en el periodo 1981 – 2016 (ver Figura 46) evidenció que en el área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) la precipitación media anual está entre 770 y 810 mm (l/m²). Los mayores valores de precipitación se presentan hacia la zona noreste (NE) donde se encuentra la estación Sina, que se presenta en el mapa en colores azul oscuro, mientras que los menores valores de precipitación se presentan hacia la zona suroeste (SO) donde se encuentra la estación Cojata, que se presenta en el mapa en colores azul claro.

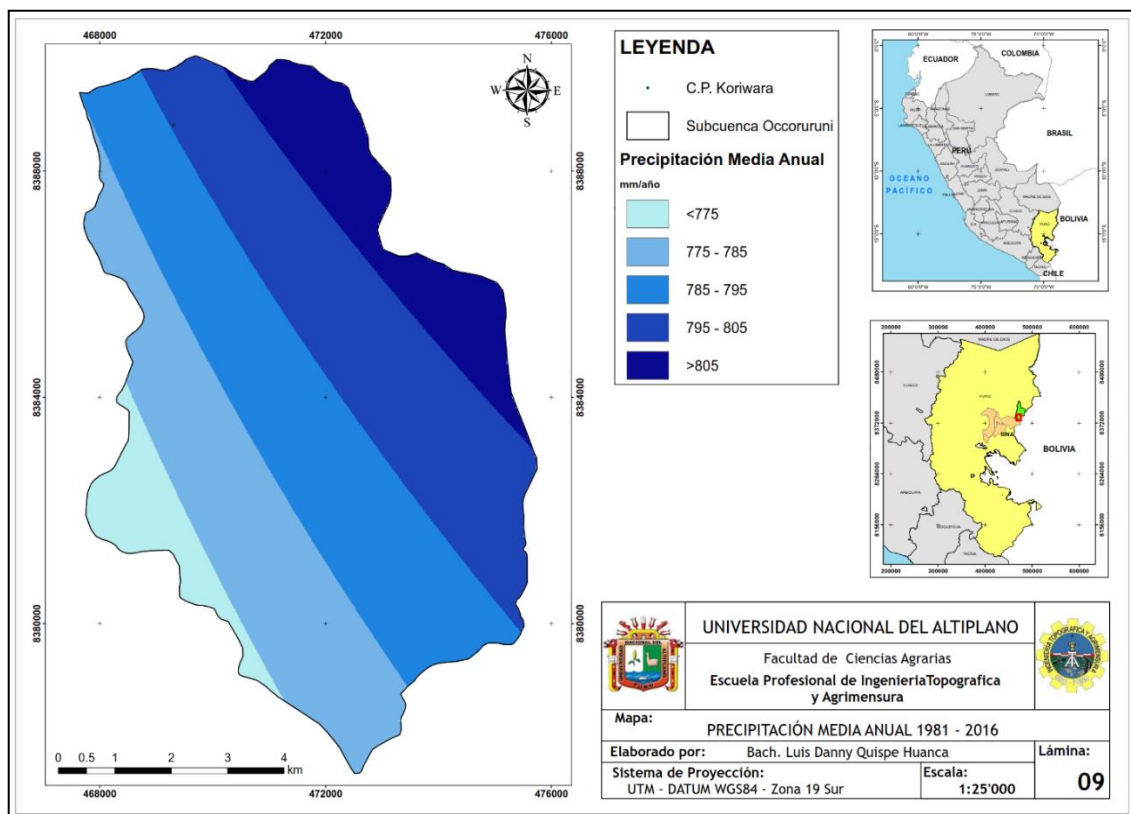


Figura 46. Mapa de precipitación media anual en el periodo 1981 – 2016.

Fuente: Elaboración propia.

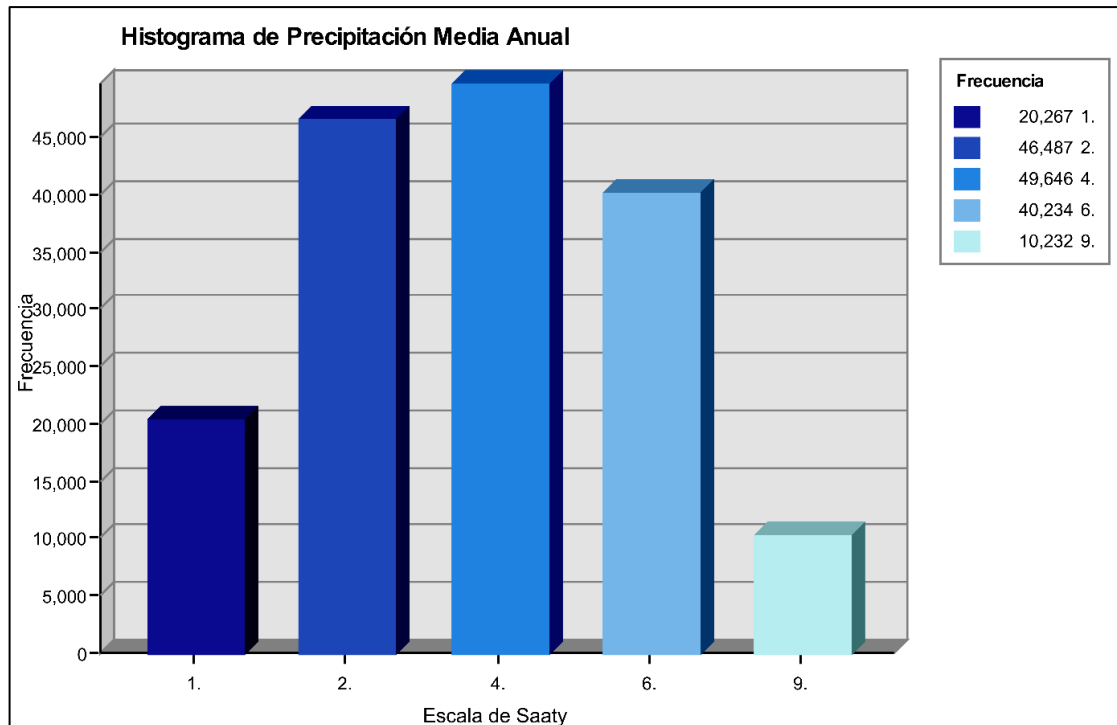


Gráfico 1. Histograma de Precipitación media anual.

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de Precipitación Máxima Registrada en el Periodo 1981 – 2016 (Año 1984)

Los valores de precipitación anual máxima registrada en el periodo 1981 – 2016 corresponden al año 1984. El mapa de las precipitaciones de dicho año (ver Figura 47) evidenció que en el área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) los valores de precipitación media anual estuvieron entre 1020 y 1070 mm (l/m²). Los mayores valores de precipitación se presentan hacia la zona noreste (NE) donde se encuentra la estación Sina, que se presenta en el mapa en colores azul oscuro, mientras que los menores valores de precipitación se presentan hacia la zona suroeste (SO) donde se encuentra la estación Cojata, que se presenta en el mapa en colores azul claro.

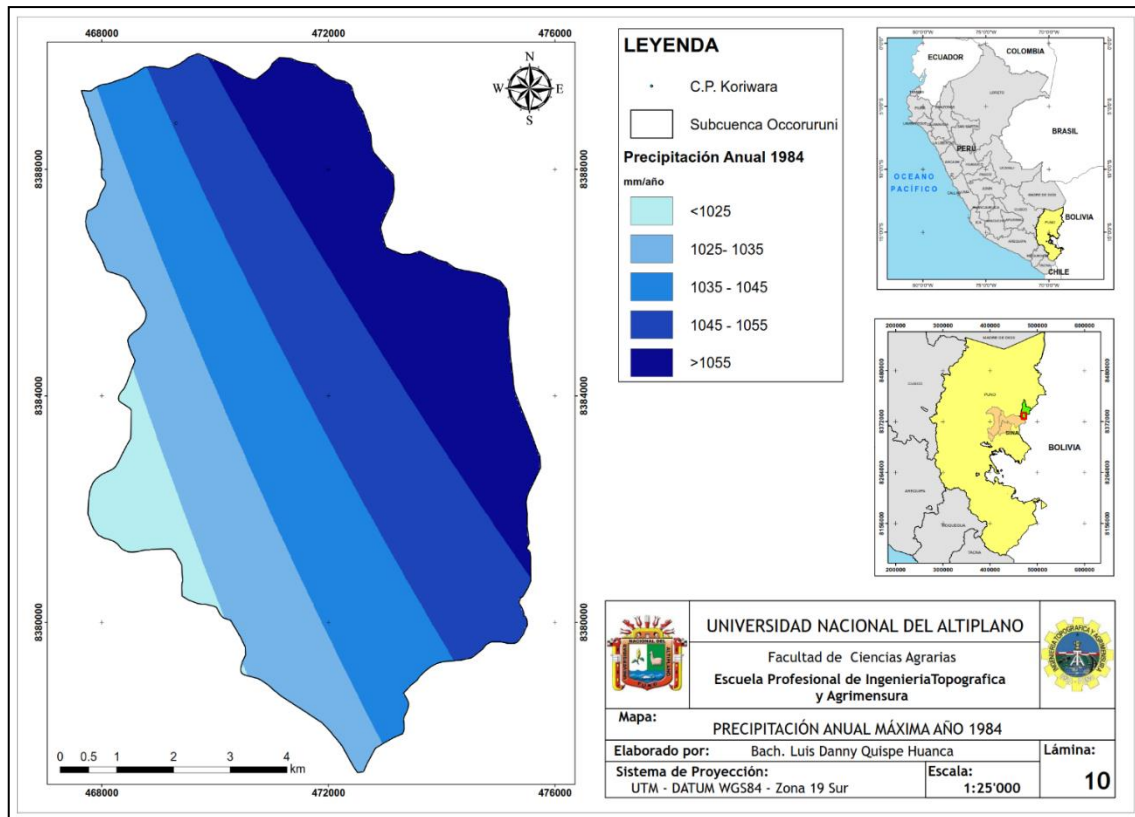


Figura 47. Mapa de precipitación máxima registrada en el periodo 1981 – 2016(Año 1984).

Fuente: Elaboración propia.

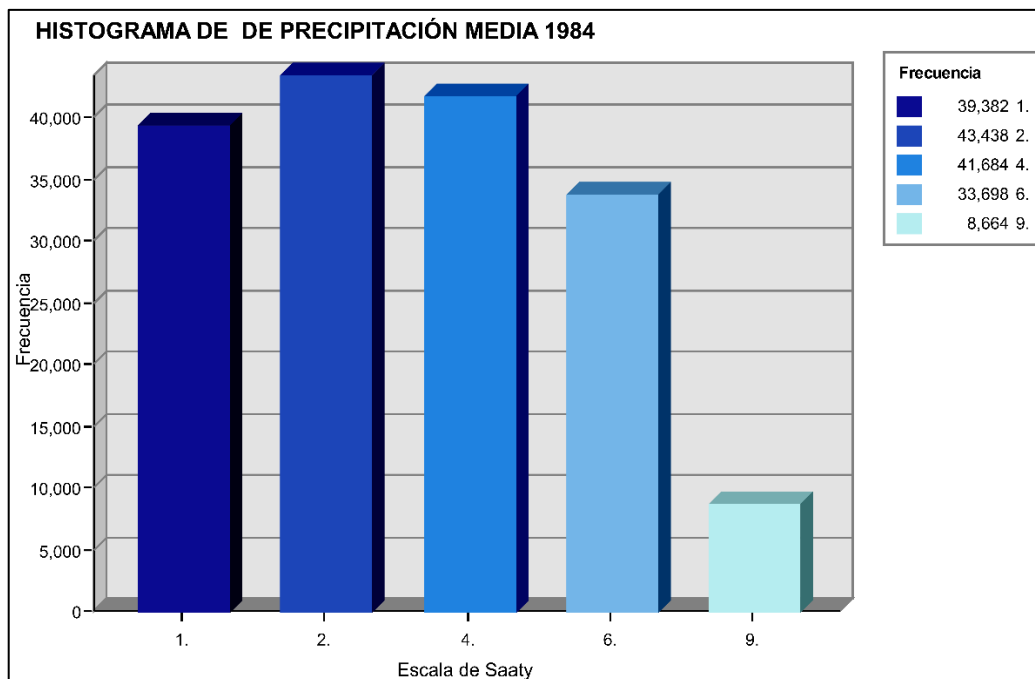


Gráfico 2. Histograma de precipitación media (año1984)

Fuente: Elaboración propia

b) Mapas de Amenazas Ponderados por Matrices Saaty

Mapa de Amenazas – Escenario 1 (EMED): Amenaza Moderada.

Los valores de precipitación media anual en el periodo 1981 – 2016 dentro del área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) se considera un factor de amenaza baja a moderada. Estos datos de precipitación media anual sirvieron de base para la elaboración del mapa de amenazas – escenario 1 (EMED): amenaza moderada, el cual se muestra en la Figura 48. Los mayores valores de amenaza se presentan hacia la zona noreste (NE), que se observan en el mapa en colores amarillos, mientras que los menores valores de amenaza se presentan hacia la zona suroeste (SO), que se muestra en el mapa en colores verde oscuro.

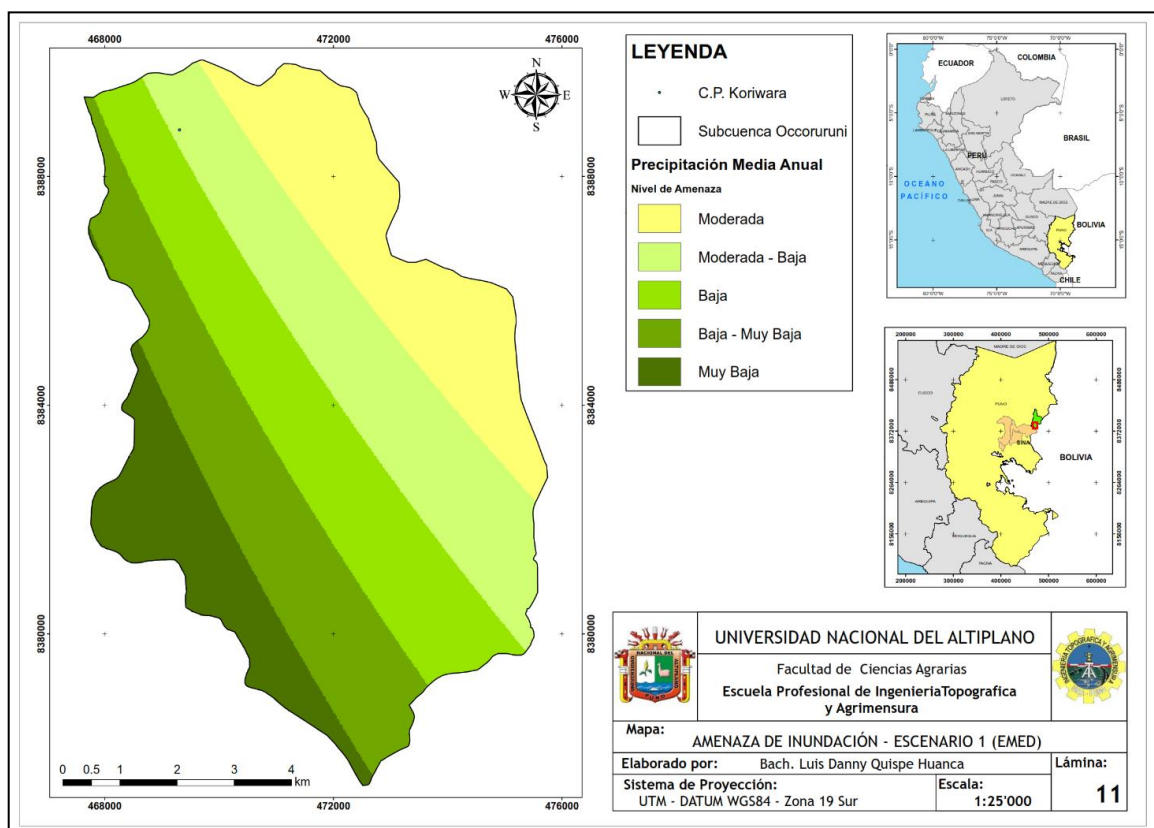


Figura 48. Mapa de amenazas – escenario 1 (EMED): amenaza moderada.

Fuente: Elaboración propia.

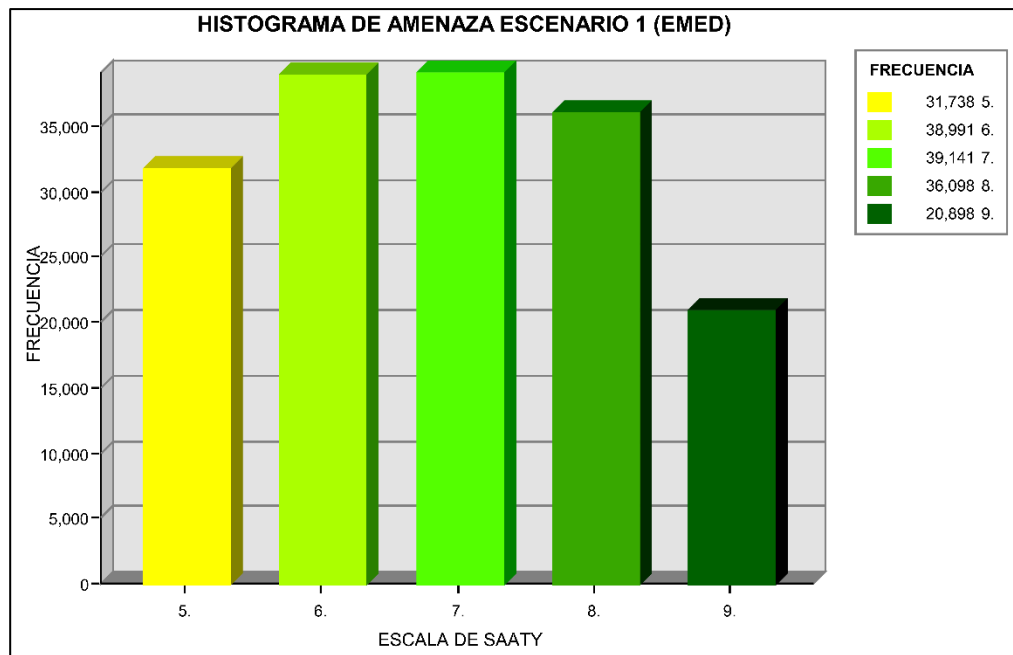


Gráfico 3 Histograma de amenaza de escenario (EMED)

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de Amenazas – Escenario 2 (E1984): Amenaza Alta

Los valores de precipitación anual máxima registrada en el periodo 1981 – 2016 corresponden al año 1984 y se considera un factor de amenaza moderada a alta. Los datos de precipitación anual máxima registrada fueron utilizados para la elaboración del mapa de amenazas – escenario 2 (E1984): amenaza alta, el cual se muestra en la Figura 49. Los mayores valores de amenazas se presentan hacia la zona noreste (NE), que se muestra en el mapa en colores rojos, mientras que los menores valores de amenaza se presentan hacia la zona suroeste (SO), que se exhibe en el mapa en colores amarillos.

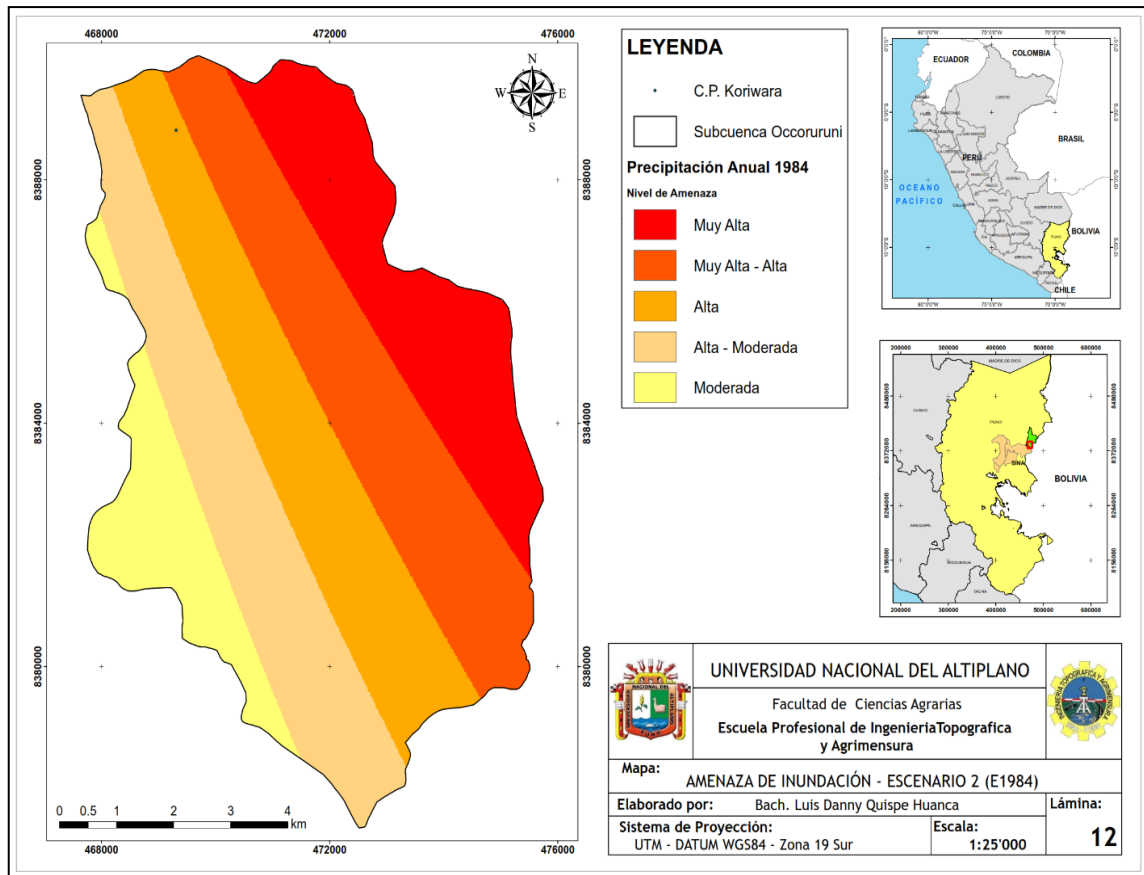


Figura 49. Mapa de amenazas – escenario 2 (E1984): amenaza alta.

Fuente: Elaboración propia.

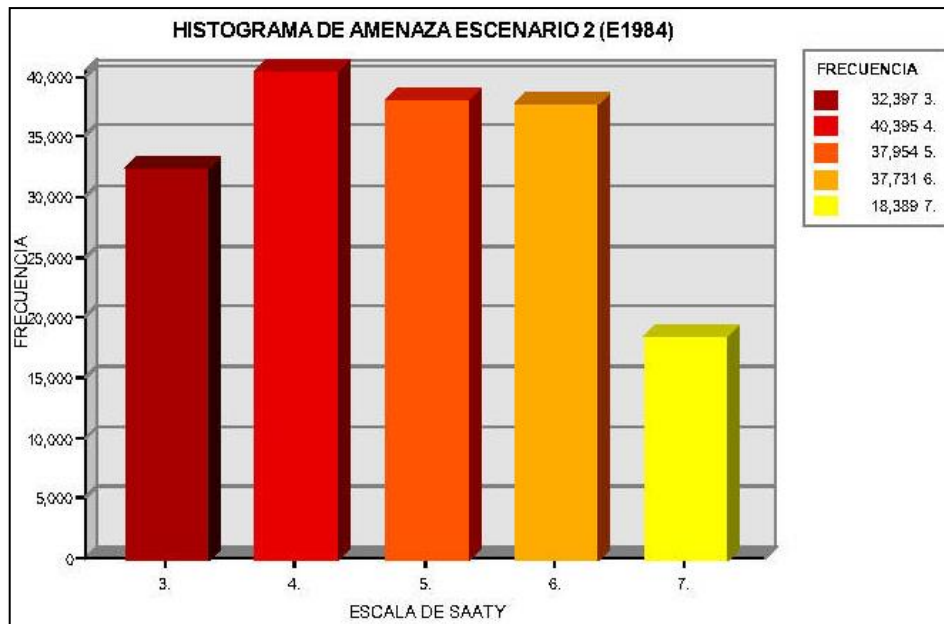


Gráfico 4 Histograma de Riesgo 1984

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Resultados del Análisis de Vulnerabilidades ante Inundaciones

Como se mencionó anteriormente, en Gestión de Riesgos de Desastres Naturales (GRD) las vulnerabilidades son aquellas condiciones intrínsecas que presentan una población o área de estudio, que al combinarse con las amenazas constituyen los riesgos de ocurrencia de los desastres naturales. A la metodología en esta investigación se utilizaron como referencia las metodologías del Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI, 2006, 2016).

4.3.3.1. Identificación de Factores de Vulnerabilidad ante Inundaciones

De la revisión de los datos disponibles que fueron recopilados y digitalizados, y según la metodología empleada en el presente estudio, se identificaron los siguientes tipos de vulnerabilidad ante los riesgos de inundaciones:

- Vulnerabilidad ambiental: pendientes del terreno.
- Vulnerabilidad ambiental: índice de vegetación (llanuras de inundación)
- Vulnerabilidad física: distancia al río Sina-Koriwara.
- Vulnerabilidad socio-económica: distancia al centro poblado de Koriwara, que se utilizó en reemplazo de la vulnerabilidad por densidad poblacional.

Cabe destacar que para el análisis de vulnerabilidad socio-económica (sistemas humanos), se pudieron considerar otros tipos de vulnerabilidades socio-económicas, tales como: tipo y estado de conservación de las viviendas, usos del suelo, niveles de ingresos, presencia o acción de organismos gubernamentales, entre otras, sin embargo, no se disponen de datos para analizar las mismas. Por otro lado, debido a la baja densidad poblacional de la Provincia de San Antonio de Putina (menos de 1500 personas) y del Distrito de Sina, resulta imposible efectuar un mapa de densidad poblacional. Debido a

la falta de estos datos, en este estudio el mapa de densidad poblacional fue reemplazado por un mapa de distancia al centro poblado de Koriwara.

4.3.3.2. Generación de Mapas de Vulnerabilidad ante Inundaciones

a) Mapas de Factores de Vulnerabilidad ante Inundaciones

Mapa de Pendientes del Terreno

El mapa de vulnerabilidad por pendientes del terreno es una variable o criterio de vulnerabilidad ante inundaciones del tipo ambiental. En el mismo se puede observar que en el área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) la mayoría de las pendientes del terreno son altas (mayores de 40%), exceptuando las zonas cercanas al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación). A menor pendiente del terreno (topografía más plana) mayor es el grado de vulnerabilidad, mientras que a mayor pendiente del terreno (topografía más inclinada) disminuye el grado de vulnerabilidad ante inundaciones (ver Figura 50).

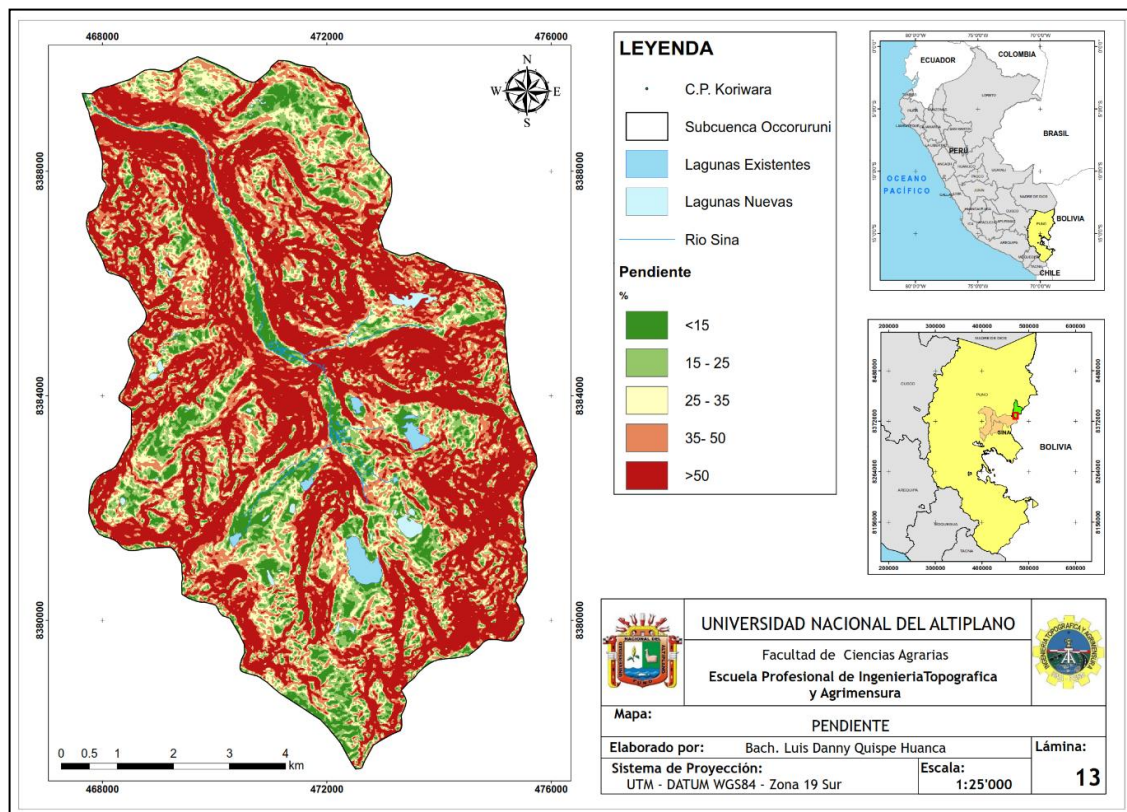


Figura 50. Mapa de pendientes del terreno

Fuente: Elaboración propia.

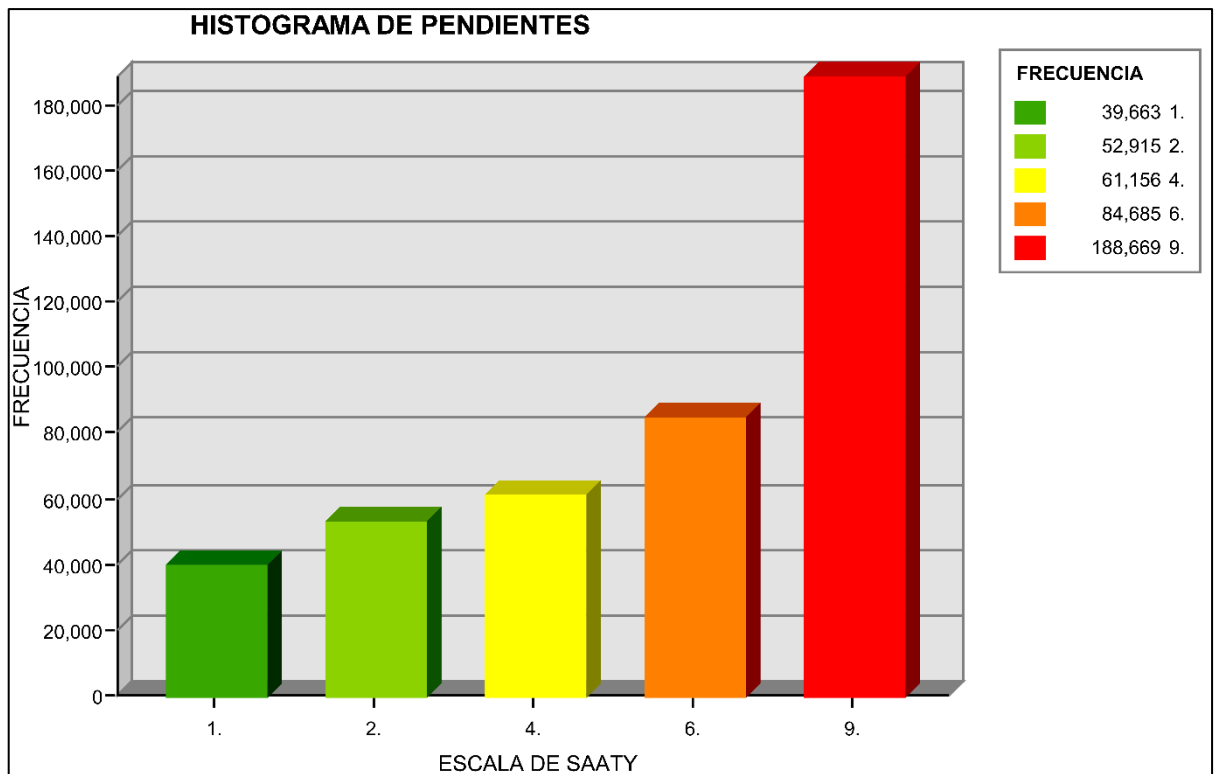


Gráfico 5. Histograma de Pendientes.
Fuente: Elaboración propia.

Mapa de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).se obtuvo a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT, con el fin de estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación a partir de la intensidad de la radiación que la vegetación emite, el cual puede ser correlacionado con las llanuras de inundación de los ríos. Esto puede utilizarse como una variable o criterio de vulnerabilidad ante inundaciones del tipo ambiental (ver Figura 51). En dicho mapa se evidencia que en el área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) los índices de vegetación más altos (en colores verdes) se presentan hacia el norte (N) y noroeste (NO), en las zonas más cercanas al curso del río Sina-Koriwara (llanuras de inundación), mientras que los valores más bajos (en colores naranja y rojo) se presentan hacia el sur (S) y sureste (SE), donde se encuentra ubicada la Cordillera Apolobamba.

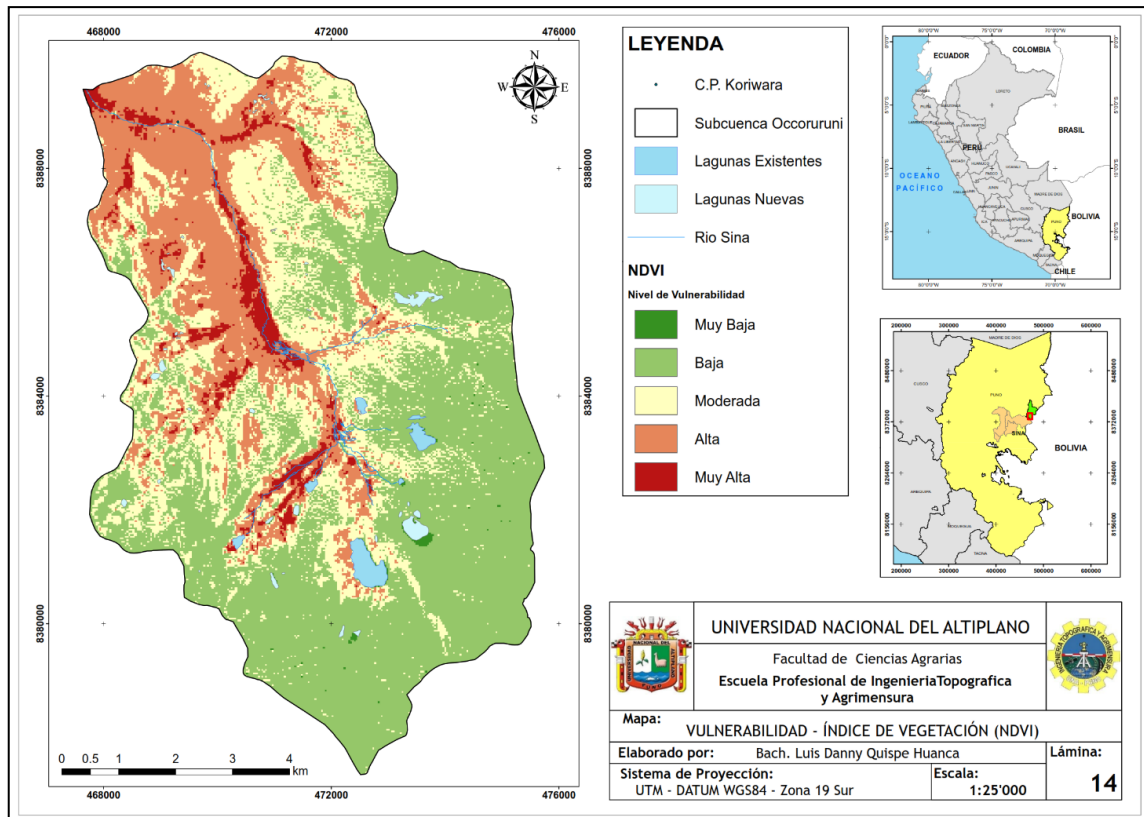


Figura 51. Mapa de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Fuente: Elaboración propia.

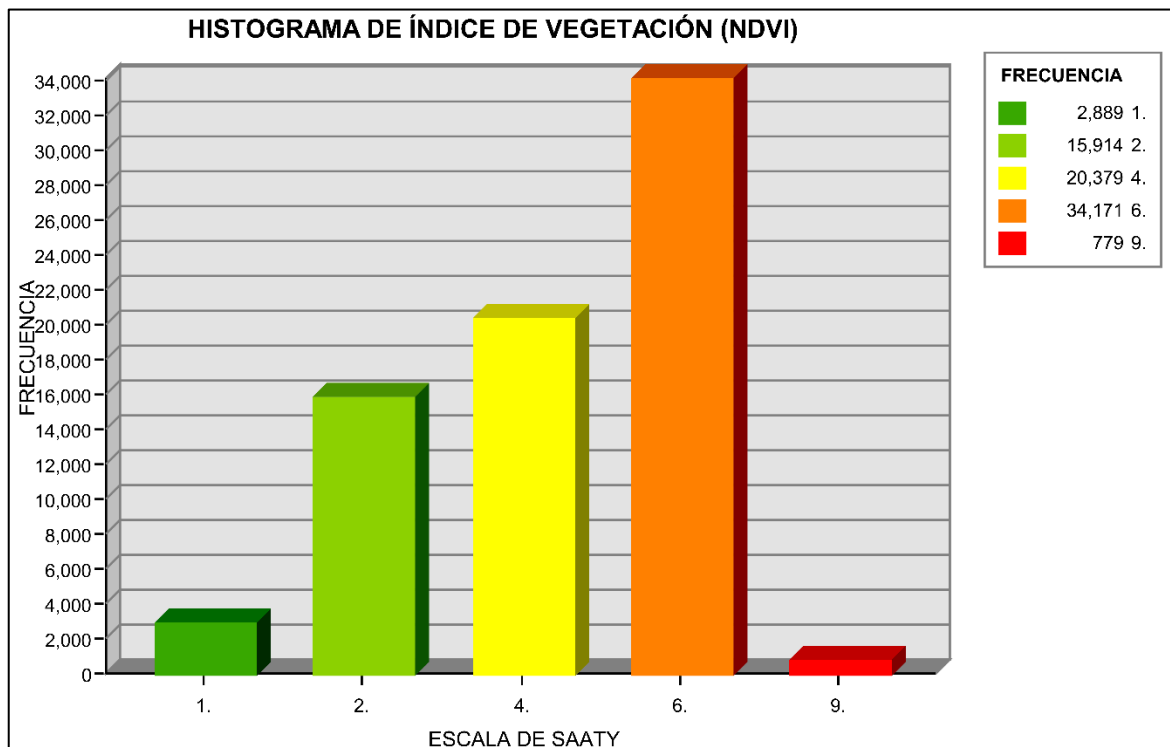


Gráfico 6. Histograma de índice de vegetación

Fuente: Elaboración propia

Mapa de Distancia al Río Sina-Koriwara

El mapa de distancia al río Sina-Koriwara en el área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) se utilizó una variable o criterio de vulnerabilidad del tipo físico (interacción de sistemas humano y sistema ambiental), debido a que utiliza la lógica de que a menor distancia de localización de una vivienda o asentamiento humano al cauce del río, mayor el nivel de vulnerabilidad ante inundaciones por desbordamiento del mismo, mientras que a mayor distancia el nivel de vulnerabilidad ante inundaciones disminuye (ver Figura 52).

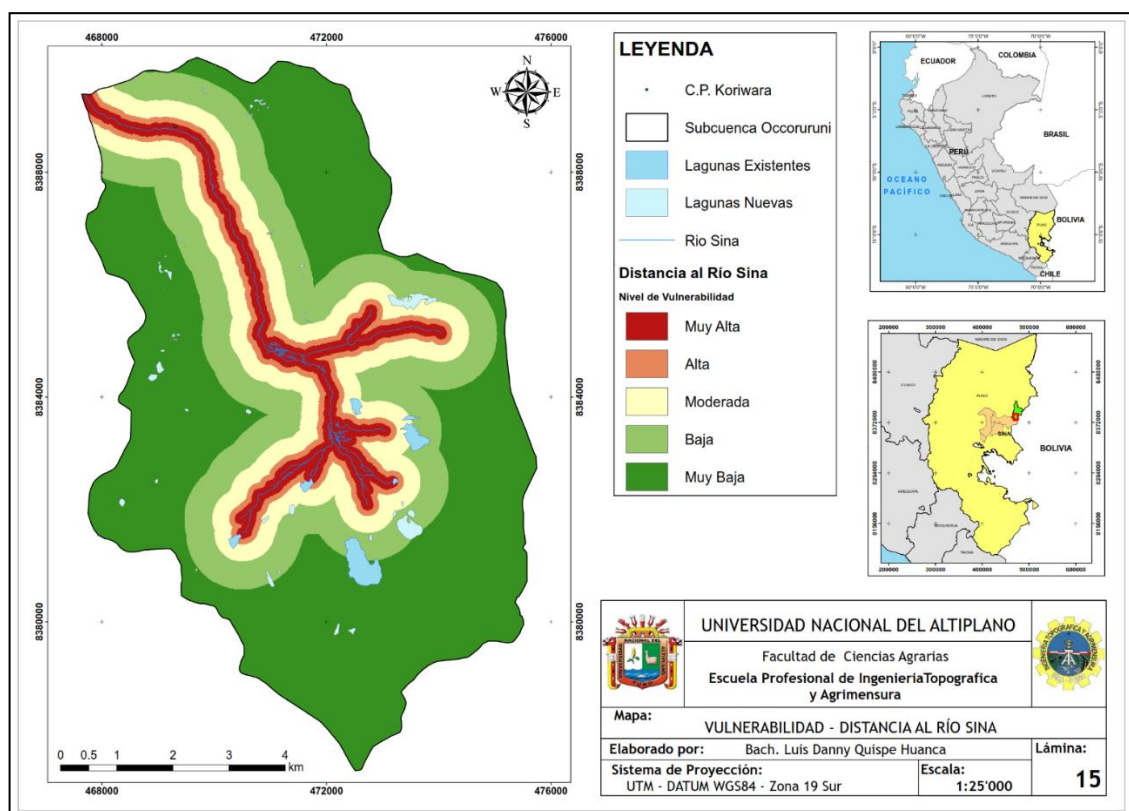


Figura 52. Mapa de distancia al río Sina - Koriwara.

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de Distancia al Centro Poblado de Koriwara

El mapa de distancia al centro poblado de Koriwara se utilizó como reemplazo al mapa de densidad poblacional, para evaluar una variable o criterio de vulnerabilidad socio-económica, debido a la baja densidad de población de esta región, y a que la mayor

parte de la población del área de estudio (Subcuenca de Occoruruni) se encuentra concentrada en el pueblo de Koriwara. Se utilizó la lógica de que mientras más cercanía exista al centro poblado, mayor cantidad de habitantes debe existir en el mismo, y por ende, existe un mayor grado de vulnerabilidad.

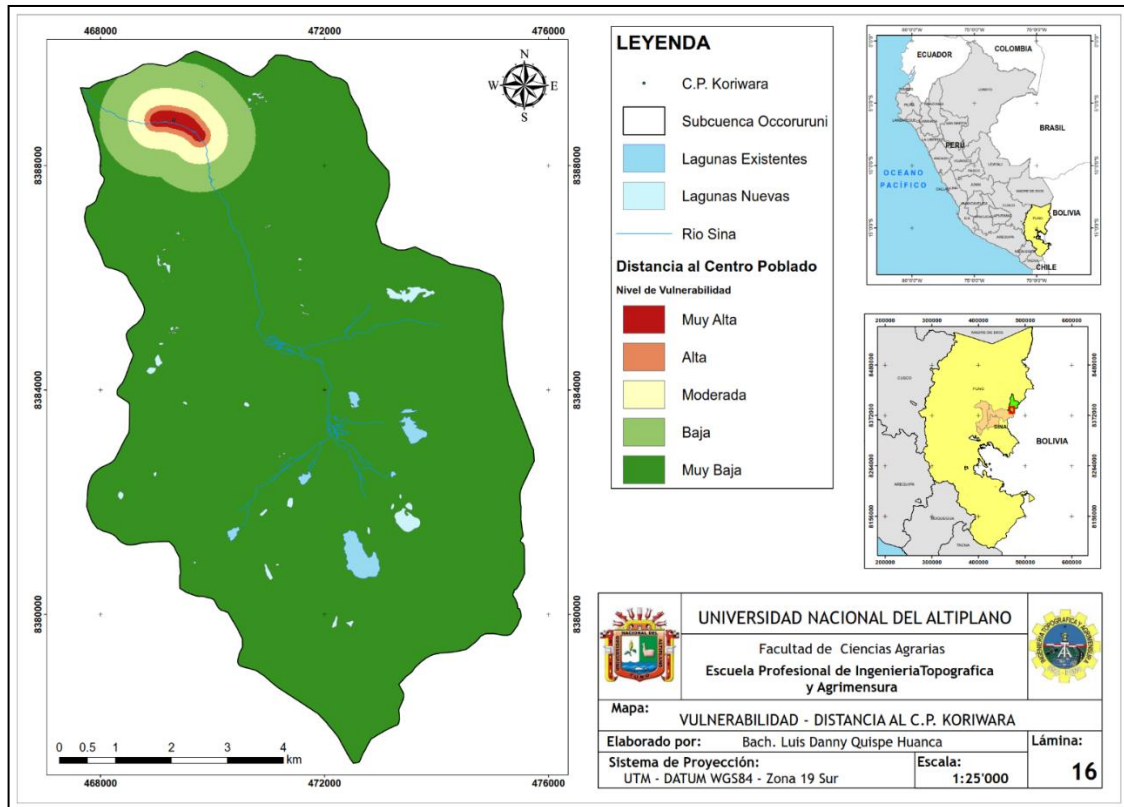


Figura 53. Mapa de distancia al centro poblado de Koriwara.
Fuente: Elaboración propia.

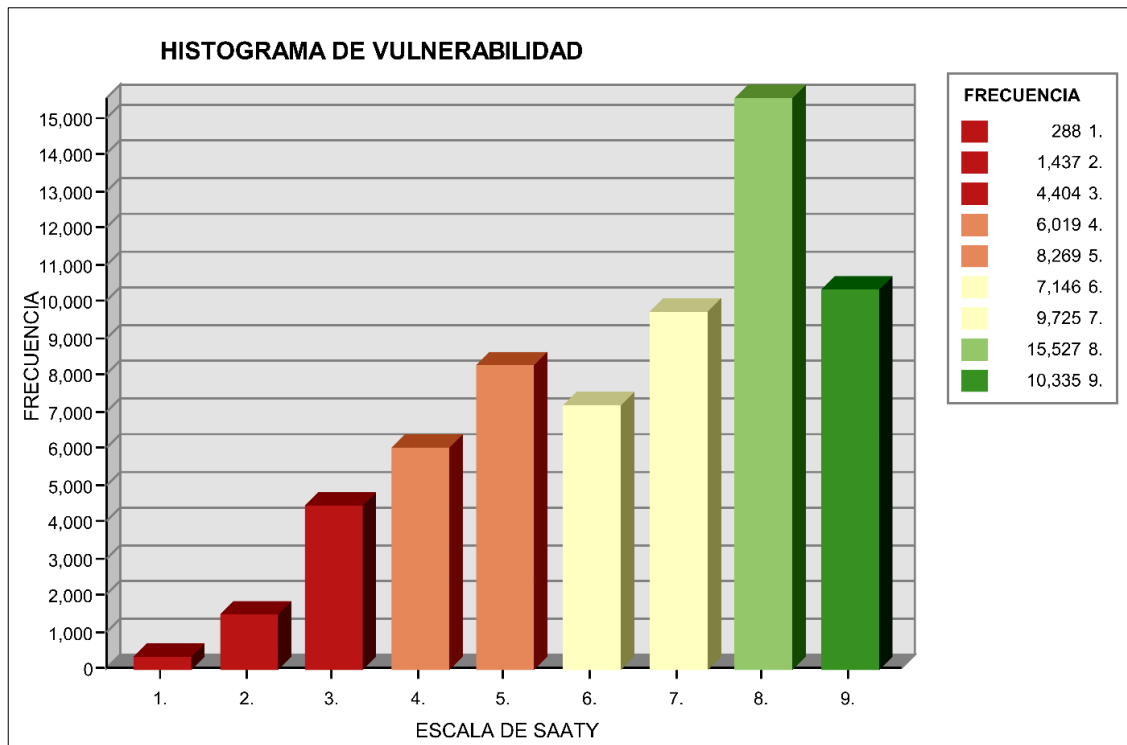


Gráfico 7. Histograma de Vulnerabilidad.
Fuente: Elaboración propia.

b) Mapa de Vulnerabilidad Ponderada por Matrices Saaty

El mapa de vulnerabilidad ponderada se obtuvo mediante el análisis multicriterio, superposición o álgebra de los mapas de pendientes del terreno, índice de vegetación, distancia al río Sina-Koriwara y distancia al centro Poblado de Koriwara (ver Figura 54). Por medio de este mapa se evidencia que en el área de estudio las zonas que presentan mayor vulnerabilidad ante amenaza de inundaciones corresponden a las cercanías al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación) y algunas zonas de bajas pendientes en el norte (N), noreste (N) y suroeste (SO), las cuales se observan en el mapa en colores rojos y amarillos.

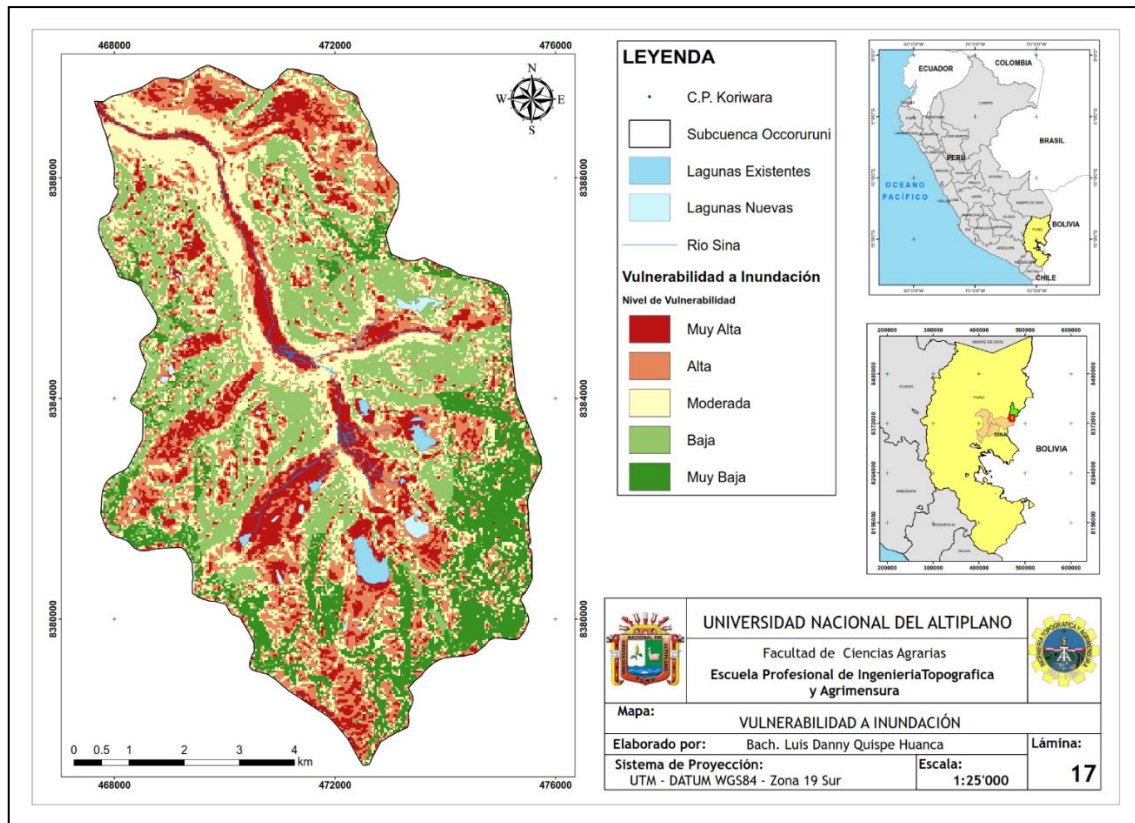
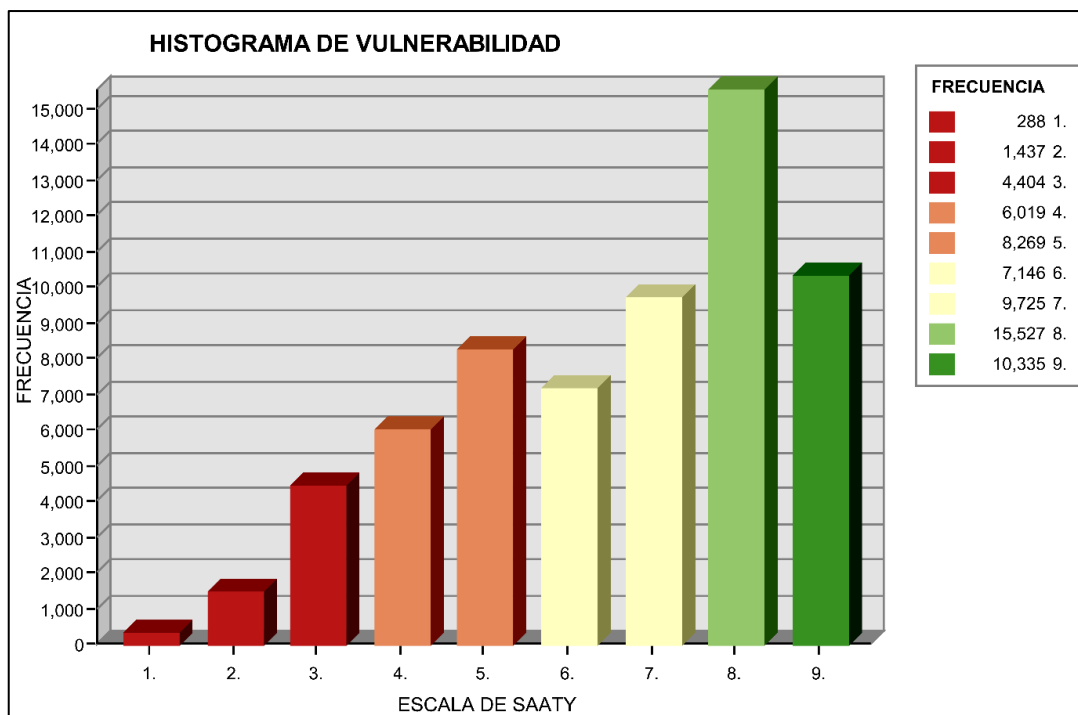


Figura 54. Mapa de vulnerabilidad ponderada por matrices Saaty.

Fuente: Elaboración propia.



4.3.4. Resultados del Análisis de Riesgos de Inundaciones

4.3.4.1. Generación de Mapas de Riesgo

Mapa de Riesgos – Escenario 1 (EMED): Riesgo Moderado

El mapa de riesgos – escenario 1 (EMED) se obtuvo mediante el producto de los mapas de amenazas – escenario 1 (amenaza moderada) y el mapa de vulnerabilidad ponderada (ver Figura 55). Por medio del presente mapa se identificó que las zonas que muestran mayor riesgo de inundación corresponden a las adyacencias al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación) y algunas zonas de bajas pendientes en el norte (N), noreste (N) y suroeste (SO), las cuales se observan en el mapa en colores rojos y amarillos.

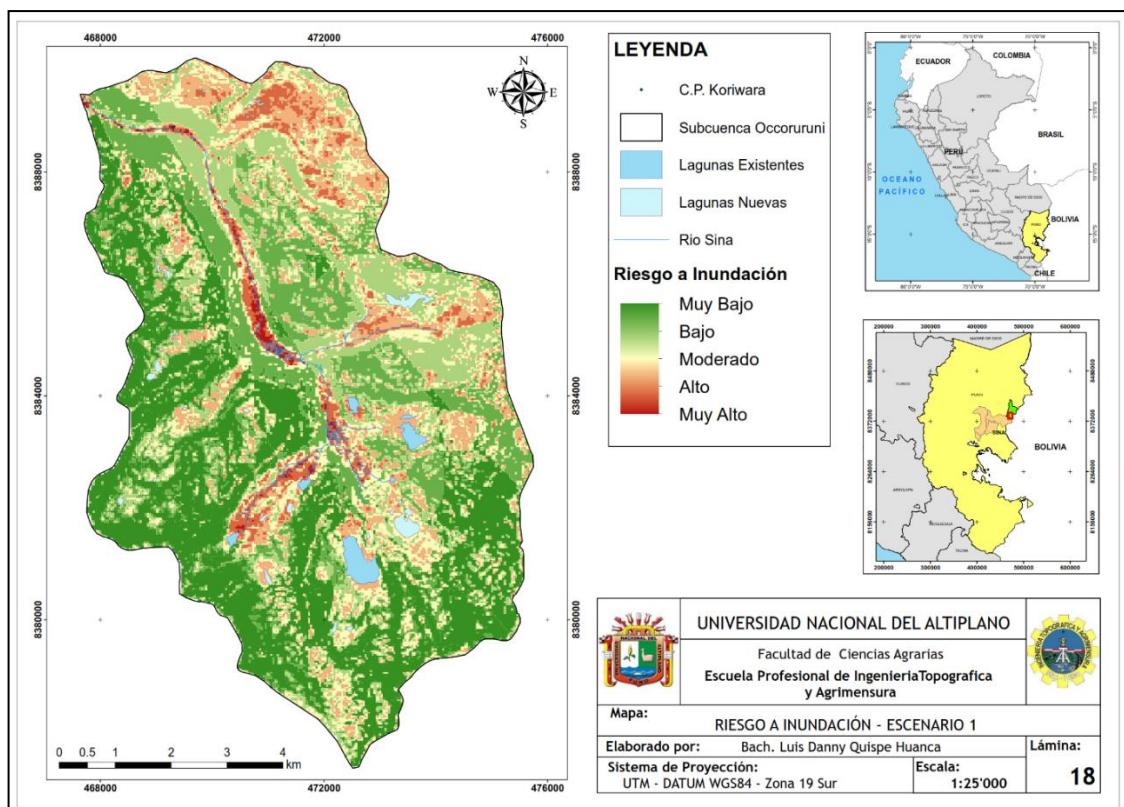


Figura 55. Mapa de riesgos – escenario 1 (EMED).

Fuente: Elaboración propia.

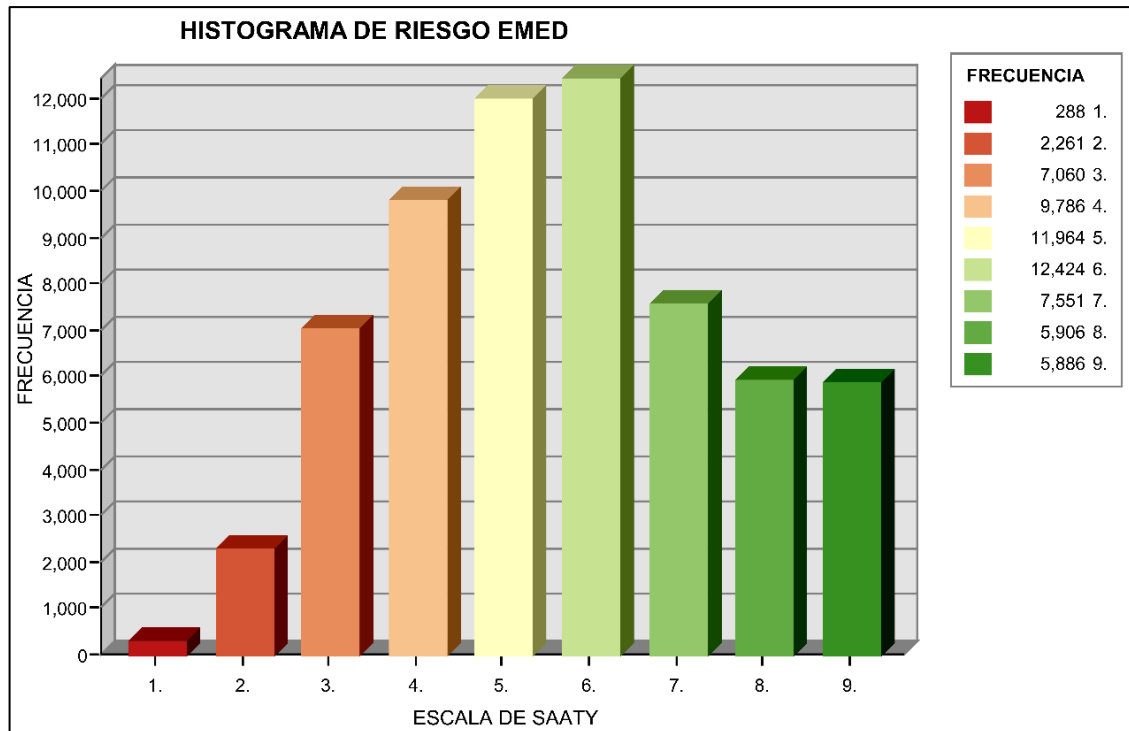


Gráfico 8. Histograma de riesgo EMED

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de Riesgos – Escenario 2 (E1984)

De la misma manera, el mapa de riesgos – escenario 2 (E1984), se obtuvo mediante el producto de los mapas de amenazas – escenario 2 (amenaza alta) y el mapa de vulnerabilidad ponderada (ver Figura 56). Mediante este mapa se corroboró que las zonas que presentan mayor riesgo de inundación se relacionan con las cercanías al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación) y algunas zonas de bajas pendientes reconocidas en el norte (N), noreste (N) y suroeste (SO), las cuales se observan en el mapa en colores rojos y amarillos. En términos generales, el Escenario 2 (E1984) presenta entre 20% y 25% de valores más altos de riesgos que el Escenario 1 (EMED).

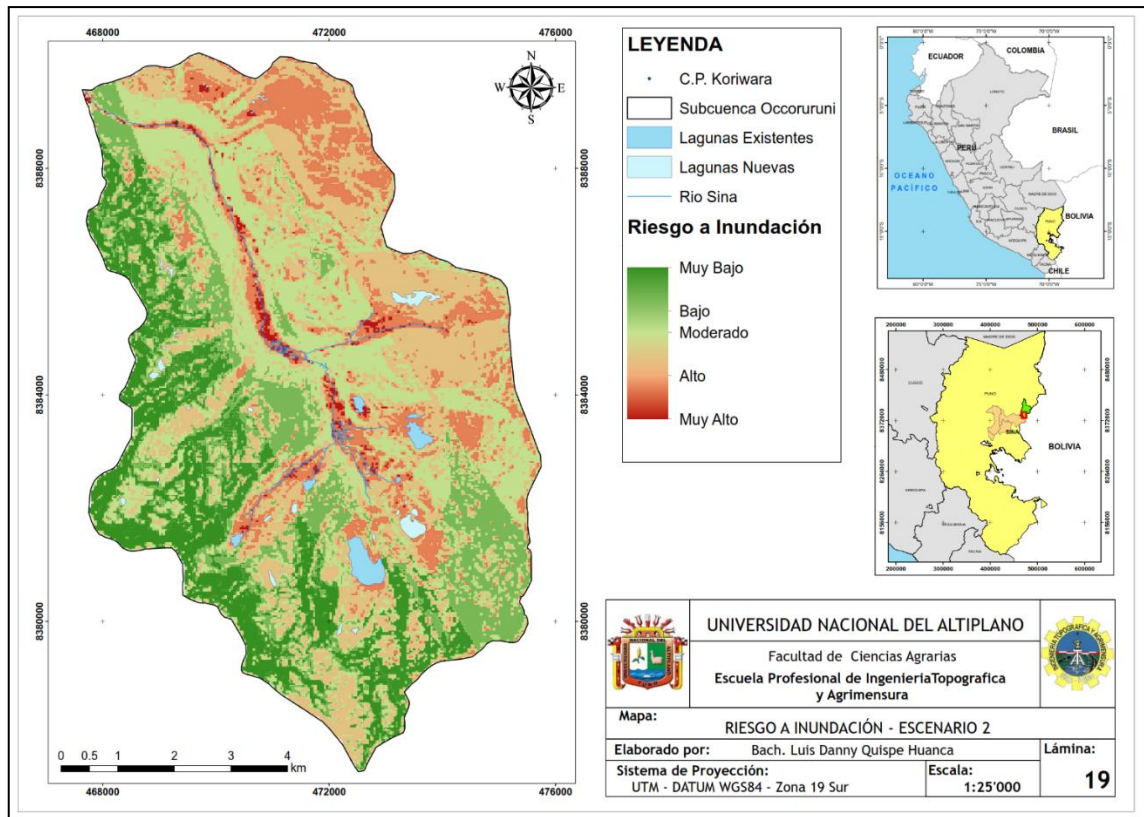


Figura 56. Mapa de riesgos – escenario 2 (E1984).

Fuente: Elaboración propia.

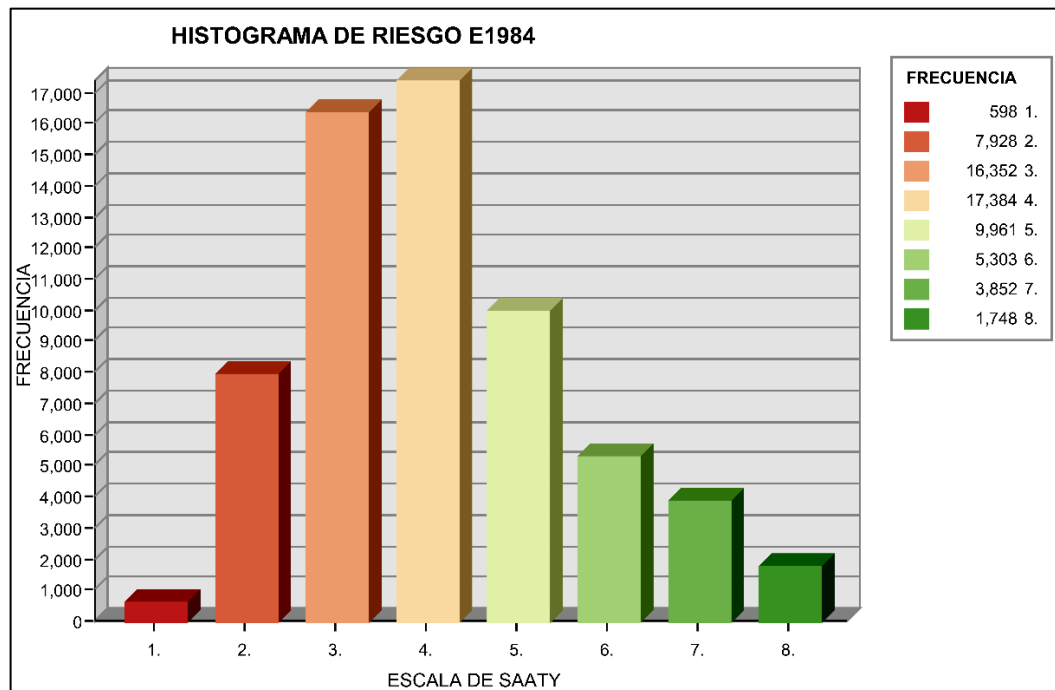


Gráfico 9. Histograma de riesgo E1984

Fuente: Elaboración propia.

4.4. RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO # 3

Los resultados del Objetivo Específico # 3: Proponer alternativas de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten alta vulnerabilidad y riesgo de inundaciones, se presentan a continuación:

4.4.1. Análisis de las Políticas de Prevención de Desastres Naturales actuales en el Departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Sina

Los problemas en las políticas de prevención de desastres naturales que se llevan a cabo en el Distrito de Sina no son exclusivos de estos distritos, sino que estos problemas se observan también en la mayor parte de los distritos que integran el Perú. En la Figura 57 se observa una fotografía aérea captada con un drone del centro poblado de Koriwara, ubicado a orillas del río Sina-Koriwara y ocupando parte de su llanura de inundación.



Figura 57. Fotografía aérea captada con un drone del centro poblado de Koriwara.

Fuente: Elaboración propia.



Según el portal de Noticias Perú 21 (21/07/2019), algunos especialistas, las obligaciones del Estado en materia de prevención de desastres naturales no se están concretando. Los gobiernos regionales (departamentos) y municipales o locales (provincias y distritos) gastaron solo el 67% de sus fondos en prevención de desastres en el año fiscal 2019 y solo el 60% en el año fiscal 2018. Medidas de prevención, como la reubicación de personas que viven en zonas críticas, no llegan a consolidarse. La reubicación y reordenamiento territorial de una población es costoso, complicado y toma tiempo porque se trata de revertir no solo un problema de organización, sino también de cultura.

Por otro lado, solo el 14% de provincias y el 2% de distritos cuentan Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (PPRD). El PPRD es una herramienta que permite a organismos de los tres niveles de Gobierno (Ejecutivo, Gobernadores y alcaldes) identificar actividades y proyectos que eliminen el peligro y reduzcan la vulnerabilidad de una localidad ante fenómenos naturales. Este instrumento es indispensable para afrontar situaciones de emergencia. Si una entidad de gobierno no cuenta con uno, no sabrá cuál es sus lineamientos en el tema de la Gestión de Riesgos de Desastres Naturales. Según el CENEPRED, solamente 13 de los 25 gobiernos provinciales cuentan con PPRD. (El Comercio, 27/01/2019).

Tampoco existe una buena articulación entre los tres niveles de gobierno, ya que estos PPRD deben ser elaborados de manera coordinada por las autoridades de los tres niveles de Gobierno. Según el CENEPRED, hasta 1.258 distritos del país presentar un riesgo "alto" y "muy alto" durante la temporada de lluvias. Ante este escenario, la preparación del Estado (especialmente de los gobiernos provinciales y locales) ha sido escasa. Entre las principales carencias, figura la falta de estudios en muchas provincias y distritos, para enfrentar emergencias por desastres naturales y que son requeridos en el



Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (PLANAGERD) 2014-2021, el cual recoge la política nacional por seguir en este rubro.

Para Mary Mollo (El Comercio, 05/01/2020) profesora y especialista de Gestión del Riesgo de Desastres de la Universidad ESAN, uno de los problemas radica en las limitadas capacidades de operación de las autoridades regionales o locales, quienes, carecen de personal calificado en gestión de riesgos. A esto se añade temas de largo plazo como la ausencia de planes de ordenamiento territorial. Explica que “el sentido de urgencia es bastante retardado porque no miramos el ciclo anual del clima. Solo se actúa cuando se tiene la emergencia encima”.

Desde el 2011, la prevención y respuesta del Estado ante situaciones de emergencia se concentra en el SINAGERD. Los siete procesos de la mitigación del riesgo de desastres (estimación, prevención, reducción del riesgo, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción) están a cargo de dos entidades: CENEPRED, que asume la gestión preventiva y correctiva; e INDECI, encargado de la gestión reactiva.

El esquema incluye a los gobiernos regionales (departamentos) y municipales o locales (provincias y distritos), que asumen la implementación de las medidas en ambos frentes. Sin embargo, estos niveles de gobierno presentan retrasos incluso para formar las instancias que se harán cargo del proceso: solo 115 municipios provinciales y 334 distritales cuentan con grupos de trabajo en gestión de riesgo de desastres en sus jurisdicciones.

Según el CENEPRED, si bien el Perú cuenta con un marco normativo y un esquema adecuado en gestión de riesgos de desastres, el reto para las autoridades consistirá en realizar a tiempo las acciones y proyectos. En ese sentido, la prevención



implica una planificación y sostenimiento en el tiempo, ya que un dólar invertido en prevención evita gastar 10 dólares en reconstrucción.

Por otro lado, Mollo (op. cit) añade que el punto de partida para los municipios pasa por aspectos básicos del ordenamiento territorial, que incluye detener la emisión de certificados de ocupación en zonas de peligro. Explica que “esto daría resultados positivos si tuviéramos un sistema de seguimiento y monitoreo para ver cuántas autoridades cumplen esta norma”.

4.4.2. Plan de Respuesta para el Riesgo de Inundaciones

4.4.2.1. Propuesta de un Mecanismo Local de Alerta Temprana

En vista de que no se dispone de datos de precipitación diaria, que permitieran dar indicios de cuáles son los valores de precipitación media y máxima diaria, se efectuó un análisis estadístico de los valores mensuales de precipitación de los meses de enero y febrero en los años más lluviosos en el periodo 1981 – 2016, que estuvieron relacionados con eventos de inundación, tales como 1984, 1985, 1986, 2001, 2002 y 2013 (ver Tabla 37). Se escogieron los meses de enero y febrero debido a que históricamente son los meses del verano austral que han registrado mayor volumen de precipitaciones.

Tabla 37.

Datos de Precipitación de los meses de enero y febrero en los años más lluviosos del periodo 1984 – 2016.

Año	Precipitación del Mes de Enero (en mm o l/m ²)				Precipitación del Mes de Febrero (en mm o l/m ²)			
	Sina Mensual	Sina Diaria	Ananea Mensual	Ananea Diaria	Sina Mensual	Sina Mensual	Sina Mensual	Sina Mensual
1984	173,18	5,59	108,80	3,51	312,34	11,16	93,89	3,24
1985	153,87	4,96	101,21	3,26	162,11	5,79	55,70	1,92
1986	147,62	4,76	88,70	2,86	207,69	7,42	64,36	2,22
2001	159,31	5,14	91,00	2,94	182,36	6,51	34,47	1,19
2002	99,86	3,22	51,29	1,65	261,74	9,35	77,98	2,69
2013	166,51	5,37	100,99	3,26	176,97	6,32	60,28	2,08
Med	156,59	5,05	95,99	3,10	195,03	6,97	62,32	2,15
S	26,20	0,85	20,50	0,66	58,30	2,08	20,21	0,70
Med + S	182,79	5,90	116,49	3,76	253,33	9,05	82,53	2,85

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis permitió identificar que, en los años más lluviosos, en el mes de enero se ha presentado en la estación Sina un valor mediano (Med) de precipitación diaria de 5,05 mm y una desviación estándar (S) de 0,85 mm, mientras que en la estación Ananea se ha presentado un valor mediano (Med) de precipitación diaria de 3,10 mm y una desviación estándar (S) de 0,66 mm. Si sumamos los valores mediana (Med) y desviación estándar (S) de cada estación, eso nos da un valor de 5,90 mm para la estación Sina y 3,76 mm para la estación Ananea.

De la misma manera, en el mes de febrero se ha presentado en la estación Sina un valor mediano (Med) de precipitación diaria de 6,97 mm y una desviación estándar (S) de 2,08 mm, mientras que en la estación Ananea se ha presentado un valor mediano (Med) de precipitación diaria de 2,15 mm y una desviación estándar (S) de 0,70 mm. Si sumamos los valores mediana (Med) y desviación estándar (S) de cada estación, eso nos da un valor de 9,05 mm para la estación Sina y 2,85 mm para la estación Ananea.



Según la literatura disponible sobre las distribuciones normalizadas de datos, la mayoría de los datos de cualquier variable o fenómeno (83%) se presentan por debajo del valor mediana + la desviación estándar ($Med + S$), es decir, que los datos que se presenten por encima de ese valor se pueden considerar como altos. Es decir, que se puede utilizar este parámetro como un valor de corte (cut-off) para identificar los días que se están produciendo precipitaciones por encima de lo normal.

Si se suman los valores mediana + la desviación estándar ($Med + S$) de ambas estaciones, para los meses más lluviosas registrados en el periodo 1981 – 2016, se tiene para el mes de enero una sumatoria de 10 mm, y para el mes de febrero una sumatoria de 11 mm. Esto nos indica que cuando la suma de las precipitaciones en un día de las estaciones Sina y Ananea supere los 10 mm, es un indicador de riesgo de inundaciones que debe ser considerado como una alerta.

4.4.2.2. Propuestas de Alternativas de Prevención y Mitigación de Riesgos

Según Bazo, A. (RPP Noticias, 12/02/2019), el riesgo de ocurrencia de desastres naturales siempre es estimable, ya que en el Perú se cuentan con información científica valiosa aportada por una red de equipos e instrumentos como el satélite PeruSat-1 y el barco oceanográfico BAP Carrasco, así como personal capacitado y experimentado, tanto del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales (CNOIS) y la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA).

En vista de todo lo expuesto anteriormente, como alternativas de prevención, se propone lo siguiente:



1. Diseñar un Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (PPRD) que este coordinados en los 3 niveles de Gobierno (Ejecutivo, Gobernadores y alcaldes, junto con los cuerpos policiales), que estén alineados con los informes técnicos que emiten las instituciones científicas civiles (IGP, INGMMET, Universidades) y el apoyo de las FFAA (MINDEF), con la finalidad de evitar realizar esfuerzos aislados poco efectivos, retrabajo o solapamiento de funciones.
2. Monitorear el desempeño del ordenamiento territorial, que permita identificar si las autoridades locales continúan emitiendo certificados de ocupación en zonas identificadas como susceptible a riesgos.
3. Efectuar campañas de concientización de la población, sobre los riesgos que presentan la fabricación de viviendas y asentamientos humanos en las áreas consideradas de alto riesgo de inundaciones, como las llanuras de inundación de los ríos.
4. Optimizar el monitoreo de los caudales de los ríos principales (como el Sina-Koriwara) y del retroceso de los glaciares de la Cordillera de Apolobamba, utilizando las herramientas tecnológicas actualmente disponibles, con el fin de poder establecer una relación cuantitativa entre de caudales de los ríos con los niveles de precipitación pluvial y de retroceso de los glaciares.
5. Establecer vías de comunicación eficientes entre los centros de pronósticos meteorológicos nacionales, tales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y las autoridades locales del Distrito de Sina, con el fin de emitir alertas con 24 o 48 horas de antelación sobre predicción de posibles eventos de lluvias torrenciales.
6. Como mecanismo local de alerta temprana, monitorear constantemente las estaciones Sina y Ananea, con el fin de verificar que la sumatoria de precipitación de ambas



estaciones en un día no supere el valor máximo permitido de los 10 mm. Si la sumatoria de precipitación de un mismo día supera los 10 mm, alertar a la población de que existe una posible amenaza de inundaciones.

7. Establecer estrategias de evacuación de las áreas que presentan mayor riesgo de inundaciones, para ejecutarlas en el momento en que el nivel de precipitación sobrepase el valor máximo permitido.

4.5. Discusión de Resultados

Al comprar la presente investigación con los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, se determinó que la presente investigación se asemeja con la mayoría de los estudios previos recopilados en el uso y aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección para la valoración del factor vulnerabilidad, sin embargo, a nivel de análisis estadístico de los datos, sólo se pudo establecer comparaciones en el estudio de Salas (2014).

La comparación de esta investigación con el trabajo de Salas (2014) permitió determinar que es similar en el uso de una metodología de análisis de consistencia de la información meteorológica, especialmente los datos de precipitación pluvial, y a la vez difiere en el hecho de que el mencionado antecedente se enfocó en analizar el comportamiento de los parámetros climáticos para detectar variaciones de los elementos climáticos.

A nivel de resultados estadísticos, se puede establecer comparaciones entre la presente investigación y el trabajo de Salas (2014) en el análisis de consistencia de los datos de precipitación pluvial, específicamente el análisis de doble masa y el análisis estadístico de saltos.

En el análisis de doble masa, la comparación de los coeficientes de correlación “r” para cada estación meteorológica utilizada en ambos estudios se muestra en la Tabla 39. Los resultados obtenidos en este estudio para el parámetro “r” presentan valores entre 0,983 y 0,991, con un promedio de 0,985. Por su parte, en el estudio de Salas (2014) los resultados que se obtuvieron para el parámetro “r” corresponden con valores entre 0,778 y 1,809, con un promedio de 0,7935. Estos resultados evidencian que en el presente estudio se obtuvieron valores mayores del parámetro “r” (correlación de datos) que en el antecedente utilizado como comparación.

Tabla 38.

Comparación del coeficiente de correlación “r”

Estudio	Comparación de Resultados – Coeficiente de Correlación "r"				
Salas (2014)	Mañazo	Puno	Cabanillas	Capachica	Promedio
	0,809	0,801	0,786	0,778	0,7935
Este Estudio	Sina	Cuyo-Cuyo	Ananea	Cojata	Promedio
	0,985	0,983	0,991	0,989	0,985

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis estadístico de saltos, la comparación del parámetro estadístico “T” para cada estación meteorológica utilizada en ambos estudios se muestra en la Tabla 40. Los resultados obtenidos en este estudio para el parámetro “Tc” presentan valores entre 0,0390 y 0,0908, con un promedio de 0,0655, mientras que el parámetro “Tt” presenta un valor contante de 2,910. Por otro lado, en el estudio de Salas (2014) los resultados que se obtuvieron para el parámetro “Tc” corresponden con valores entre 0,8600 y 1,2100, con un promedio de 1,5100, mientras que el parámetro “Tt” corresponde con un valor contante de 2,9100. Estos resultados evidencian que en el presente estudio se obtuvieron valores menores del parámetro “Tc” (consistencia de las medias) que en el antecedente utilizado como comparación.

Tabla 39.*Comparación de los parámetros estadísticos "T"*

Estudio		Comparación de Resultados – Prueba del Estadístico "T"				
Salas (2014)	Parámetro	Puno	Mañazo	Cabanillas	Capachica	Promedio
	Tc	0,860	1,980	1,990	1,210	1,510
	Tt	2,910	2,910	2,910	2,910	2,910
Este Estudio	Parámetro	Sina	Cuyo Cuyo	Ananea	Cojata	Promedio
	Tc	0,0390	0,0908	0,0739	0,0584	0,0655
	Tt	2,0322	2,0322	2,0322	2,0322	2,0322

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, la comparación del parámetro estadístico "F" para cada estación meteorológica utilizada en ambos estudios se muestra en la Tabla 41. Los resultados obtenidos en este estudio para el parámetro "Fc" presentan valores entre 0,05204 y 0,7595, con un promedio de 0,6288, mientras que el parámetro "Ft" presenta un valor contante de 2,2500. Por su parte, en el estudio de Salas (2014) los resultados que se obtuvieron para el parámetro "Fc" corresponden con valores entre 1.070 y 1,2210, con un promedio de 1,1725, mientras que el parámetro "Ft" corresponde con un valor contante de 1,2500. Estos resultados evidencian que en el presente estudio se obtuvieron valores menores del parámetro "Fc" (consistencia de las varianzas) que en el antecedente utilizado como comparación.

Tabla 40.*Comparación de los parámetros estadísticos "F"*

Estudio		Comparación de Resultados – Prueba del Estadístico "F"				
Salas (2014)	Parámetro	Puno	Mañazo	Cabanillas	Capachica	Promedio
	Fc	1,0700	1,2010	1,2210	1,1980	1,1725
	Ft	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500	1,2500
Este Estudio	Parámetro	Sina	Cuyo Cuyo	Ananea	Cojata	Promedio
	Fc	0,6015	0,6341	0,5204	0,7595	0,6288
	Ft	2,2500	2,2500	2,2500	2,2500	2,2500

Fuente: Elaboración propia.



V. CONCLUSIONES

La presente investigación se logró construir

Primera: Se alcanzó el objetivo de determinar el nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la Subcuenca Occoruruni mediante el análisis espacial multicriterio en un SIG. Los mayores valores de amenazas se presentan hacia el área noreste (NE). Las zonas que presentan mayor vulnerabilidad (ante amenaza de inundaciones) y mayor riesgo de inundaciones corresponden a las cercanías al río Sina-Koriwara (llanuras de inundación) y algunas zonas de bajas pendientes en el norte (N), noreste (NE) y suroeste (SO).

Segunda: Se logró la construcción de una base de datos georreferenciada en un SIG de la Subcuenca Occoruruni, que permitió el análisis de amenazas, vulnerabilidad y riesgo de inundación, y a su vez, servirá de base para el desarrollo de futuras investigaciones dentro de esta área de estudio.

Tercera: No se logró elaborar una propuesta de alternativa de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten alta vulnerabilidad y riesgo de inundaciones, ya que para ello se precisa una información más amplia y detallada de acuerdo al nivel de complejidad debido a que dicha subcuenca no presenta ningún tipo de investigación científica e información.



VI. RECOMENDACIONES

Considerar el uso de la metodología empleada en la presente investigación para el desarrollo de investigaciones similares en otras áreas vecinas, tanto del Departamento de Puno, como en otros departamentos que componen políticamente al Perú.

Efectuar una caracterización detallada de los suelos en el área de estudio, que incluya el estudio de la velocidad de infiltración, zonas críticas de erosión, y la cuantificación de la erosión hídrica (perdidas de suelos) aplicando el método universal soil loss equation.

Complementar la presente investigación con un modelado hidrológico que incluya la simulación del ciclo hidrológico en el área de estudio, de los caudales y fuerza de arrastre de los ríos principales, para lo cual se requiere de la captura y análisis de datos adicionales a los utilizados en esta investigación, tales como: registros de caudales aforados, temperatura, evaporación, radiación solar, entre otros.

Realizar una caracterización geotécnica-sismológica enfocada en las laderas del valle del río Sina-Koriwara y en los diques naturales de las lagunas glaciares ubicadas aguas arriba, con el fin de determinar su grado de estabilidad y resistencia mecánica, así como determinar la vulnerabilidad y riesgo de movimientos de masa (aludes) por el colapso de los mismos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, Y. (2017). “Inundaciones en periodo de precipitaciones pluviales por efecto del relleno residual sobre la topografía natural del terreno en la ciudad de Juliaca”. Lima, Perú.
- Adrover, J. (2016). “Variación del Factor Vulnerabilidad por Inundación en Bajo Iregua (La Rioja). Desarrollo, Uso y Aplicación de Técnicas SIG y Teledetección para su estimación”. Tesis De Maestría. Universidad de Zaragoza, España.
- Agencia de Noticias EFE Verde (19/02/2019). Las lluvias y las inundaciones dejan 39 muertos y 8.299 afectados en Perú <https://www.efeverde.com/noticias/peru-lluvias-inundaciones-39-muertos/>
- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE (2002). “Instrumentos de apoyo para el Análisis y la Gestión de Riesgos Naturales”. Guía para el Especialista. Managua, Nicaragua.
- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE (2008). “Directrices de COSUDE para la reducción del riesgo de desastres”. Bern Suiza
- Alarcón Jibaja, V. (2016). “Modelamiento Geoespacial GOTA Para Determinar Las Zonas Con Mayor Vulnerabilidad A La Inseguridad Hídrica En La Cuenca Del Rio Piura” (Tesis De Pregrado).Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Alonso, D. (2015). “NDVI: Qué es y cómo calcularlo”. Publicación online en la página web de Mapping GIS: Recuperado de: <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
- Bakker, X; Perez, F. (2001). “Taller De Análisis Y Modelamiento En El Formato Raster”. Colombia. Publicado Por El Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



- Banco Interamericano de Desarrollo BID (2015). “Perfil de Riesgo por Inundaciones en Perú”. Informe Nacional. Nota Técnica IDB-TN-844. Lima, Perú.
- Bazo, A. (RPP Noticias, 12/02/2019). Análisis: ¿Qué falta para evitar los desastres por las lluvias y los huaicos en Perú?. Lima, Perú. Recuperado de: <https://rpp.pe/politica/gobierno/analisis-que-falta-para-evitar-los-desastres-por-las-lluvias-y-los-huaicos-en-peru-noticia-1180481>
- Bernal, C. (2010). “Metodología de la investigación en administración, economía, humanidades y ciencias sociales”. Tercera edición. Editorial Pearson, Colombia.
- Burgos, B. (2019). “Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la Parroquia Santa Ana de Vuelta larga, Provincia de Manabí, Ecuador”. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.
- Burrough, P.A (1986). “Principles of Geographical Information Systems for Land Ressources Assessment Oxford”. Oxford University Press.
- Cabrejos, M. (2016). “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del Río Atuen, Amazonas”. Tesis de Pregrado. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Calderón Mendoza, J. (2017). “Modelamiento Geoespacial Para La Identificación De Zonas Críticas Vulnerables A Peligros Múltiples, Cuenca Hidrográfica Camaná - Majes - Colca, Arequipa”. Tesis de Pregrado. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.



- Calderón, J. (2017). “Modelamiento Geoespacial para la identificación de zonas críticas vulnerables a peligros múltiples, cuenca hidrográfica Camaná-Majes-Colca, Arequipa”. Lima, Perú.
- CEBRIAN, J.A. y MARK, D. (1986), “Sistemas de Información Geográfica. Funciones y Estructuras de datos”, Estudios Geográficos, vol. 47, Madrid, p. 277-299.
- (1987), “Gestión y perspectivas de desarrollo de los sistemas de información geográfica”, Estudios Geográficos, vol. 48, Madrid p. 359-378.
- Cebrián, J.A. (1988), “Sistema de Información Geográfica”, en Bosque Senda, J. et al. (1988), Aplicaciones de la Información a la Geografía y Ciencias Sociales, Madrid, Síntesis, p. 125-139.
- CENEPRED (2015). Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo para el PIP”. Lima, Perú.
- CENEPRED (2014). Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales”. Lima, Perú.
- Centro y del Programa de Prevención de Riesgos de Desastres Naturales de Bolivia PRDD (2014). “Ecuación general del riesgo: Una experiencia para construir mapas de riesgos” La Paz, Bolivia.
- Chereque, W. (1991). “Hidrología Para Estudiantes de Ingeniería Civil”. Pontificia Universidad Católica Del Perú. CONCYTEC. Lima, Perú.
- Child, C. 2004. “Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst.”. ESRI (Environmental Systems Research Institute). Consultado 04/04/2017. Recuperado de: <http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf>



Comisión Nacional de Agua de México CONAGUA (2013). “Estaciones climatológicas”.

Fecha de publicación: 30 de marzo de 2013. México.

Ministerio de Economía y Finanzas “Programa Presupuestal Estratégico de reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” (2006). <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2170/doc2170-contenido.pdf>

El Comercio (05/01/2020). Municipios y gobiernos regionales gastaron solo el 67% de sus fondos en prevención de desastres en el 2019. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/municipios-y-gobiernos-regionales-gastaron-solo-el-67-de-sus-fondos-en-prevencion-de-desastres-en-el-2019-noticia/#:~:text=En%20el%202019%2C%20los%20tres,%2C4%25%20de%20los%20fondos.>

El Comercio (27/01/2019). “Solo el 14% de provincias y el 2% de distritos cuentan con un plan frente a desastres”. Lima, Perú. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/14-provincias-2-distritos-cuentan-plan-frente-desastres-noticia-601780-noticia/>

El Espectador (08/02/2019). “Puno: intensa nevada afecta ganado y sembríos de varios distritos”. Lima, Perú. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/puno/puno-intensa-nevada-afecta-ganado-sembrios-distritos-noticia-605702-noticia/>

Los Andes (27/02/2020). Declaran estado de emergencia por lluvias en distrito de Puno, Ayacucho y Cusco. Recuperado de: <https://www.losandes.com.pe/2020/02/27/declaran-estado-de-emergencia-por-lluvias-en-distrito-de-puno-ayacucho-y-cusco/>

Ellis, F., Survey Article: Household Strategies and Rural Livelihood Diversificación, *Journal of Development Studies*, **35(1)**, 1-38



- Esper, M. (2016). “Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad peligrosidad por aluviones, caso de estudio cuenca del rio del agua, San Juan, Argentina”. Revista de la Asociacion Geológica Argentina 73(4):513-519.
- Flores, R. (2016). “Modelamiento Geoespacial para la Determinación del Grado de Vulnerabilidad, Distrito Leimebamba – Amazonas.” Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Frausto, O. (2014). Bases de datos georreferenciadas de fenómenos naturales extremos. Chetumal: Universidad de Quintana Roo (UQROO)/Red de Desastres Hidrometeorológicos y Climáticos-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (REDES Clim-Conacyt). 120 pp.
- Geosolutions (2014). “Manual Básico de ArcGIS 10.2”. México.
- Glosario de Riego Online (2018). “Glosario de términos relacionados con el riego”. Recuperado de: <https://www.riego.org/glosario/>
- Harker, G.R., and Rouse, J.W., Jr. «Flood Plain Delíneation Using Multíspectral Data Analysis» in Photogrammetry. Engineering and Remote Sensing, vol. 43, no. 1 (1977), pp. 81-87
- Hernández Uribe, R., Barrios Piña, H., & Ramírez, A. (2017). “Análisis De Riesgo Por Inundación: Metodología Y Aplicación A La Cuenca Atemajac México”. (Tesis De Pregrado). Universidad Autónoma de México.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). “Metodología de la Investigación Científica”. (6ta Ed.) México D.F. Editorial McGraw-Hill.



- Huerta, A.; Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W. (2018). PISCO temperatura v.1.1. SENAMHI – DHI. Lima, Perú.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM (2017). “Modelación Hidrológica”. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET (2005). “Movimientos en masa: deslizamientos y huaycos en la Cuenca de la Quebrada Paihua”. Departamento de Lima, Perú.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET (2006). “Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 4”. Boletín C 29. Lima, Perú.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET (2020). “Peligro Geológico en la Región de Puno”.Boletín C 77. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INCEDI (2006). “Manual Básico para la Estimación del Riesgo”. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2003). “Atlas de Peligros Naturales del Perú”. PNUD – UN – DP, Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2000) “Estadística de las Emergencias producidas en el Perú: 1999”. 182 p. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (20017). “Boletín Estadístico Virtual de laGestión Reactiva”. N° 07 / AÑO 4/ JUL 2017. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2002). “Compendio Estadístico de Emergencias 2001”. 350 p. Lima, Perú.



- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2003) “Compendio Estadístico del SINADECI 2002”. 359 p. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2016). “Manual Básico para la Estimación del Riesgo”. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña INAIGEM (2018). “Informe Técnico Expedición Científica Apolobamba, Puno”. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña INAIGEM, (2016). “Informe Técnico N° 04 Laguna 513, Cochca y Rajupaquinan”. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA (2006). “Informe de Inspección del Glaciar y la Laguna Chaupiorcco Cordillera Apolobamba, Puno”. Lima, Perú.
- International Strategy for Disaster Reduction (2004): Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. United Nations, New York and Geneva.
- Jiménez, D. (2013). “Tecnología SIG En Apoyo Al Análisis Y Desarrollo Metodológico De Riesgos Ocasionados Por Fenómenos Naturales Para El Cantón Mejía, Provincia De Pichincha, Ecuador”. Tesis de Postgrado. Universidad San Francisco De Quito, Ecuador.
- Ley N° 29664 (2011) que crea el “Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres SINAGERD”. Lima, Perú.
- Lucero, S.R. (2013). “Modelamiento a través de un SIG para la zonificación agroecológica de los principales cultivos (papa, maíz, cebolla blanca, cebada y pasto). dentro de la parroquia de Alóag.” Tesis de Postgrado. Universidad San Francisco De Quito, Ecuador.



- Maskrey, A. (1998). “Navegando Entre Brumas”. La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de Riesgo en América Latina.
- Ministerio de Ambiente MINAM (2011). Memoria Descriptiva del Mapa de Vulnerabilidad Física del Perú”. Herramienta para la Gestión del Riesgo. Lima, Perú.
- Mondragón, E. (2013). “Evaluación del Nivel del Riesgo de Inundación por el Rio Amoju en la parte baja de la Ciudad de Jaén”. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional De Cajamarca, Jaén, Cajamarca, Perú.
- Muenala, M. (2018). “Vulnerabilidad ante Amenazas de Deslizamientos e Inundaciones de la Cuenca del Rio Blanco, Provincia de Imbabura – Ecuador”. Tesis De Maestría. Universidad Técnica Del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Noticias Perú 21 (21/07/2019). Volcán Ubinas: “Evaluamos reubicar, pero muchos no quieren dejar sus casas, dice ministra de Salud”. Lima, Perú. Recuperado de: <https://peru21.pe/peru/volcan-ubinas-evaluamos-reubicar-quieren-dejar-casas-dice-ministra-salud-nndc-491526-noticia/>
- Página web de Para-Agua.net (2019). “Herramientas para tomar decisiones robustas en la planificación de los recursos hídricos”. México. Recuperado de: <http://www.para-agua.net/explorar/herramientas/decisiones-robustas/p3-modelo>
- Página web del Caribbean Disaster and Emergency Agency CDEMA (2019). “Digital elevation models (DEM)” Recuperado de: <https://www.cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/data-management-book/3-base-data-collection/3-2-digital-elevation-models>



Página web del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad de México LANCIS – UNAM (2019). “Modelación hidrológica”. Recuperado de: http://lancis.ecologia.unam.mx/iai/modelacion_hidrologica#:~:text=%C3%89stos%20se%20utilizan%20para%20simular,a%20causa%20del%20crecimiento%20urbano.

Página web del Proyecto Río Maipo, Chile (2019). “Modelo WEAP: Herramienta de modelación de Recursos Hídricos”. Chile. Recuperado de: <https://www.maipoadaptacion.cl/modelo-weap-herramienta-de-modelacion-de-recursos-hidricos/>

Página web del SASPlanet (s.f.). Recuperado de: <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>.

Peña Reyes M. (2017). “Modelamiento Geoespacial para evaluar la Vulnerabilidad Ambiental, ante la Ocurrencia de Inundaciones, en la Cuenca Baja del Río Chillón Lima, Perú”. Tesis de Pregrado. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Pérez, J. (2011). “Riesgo de inundación producto del cambio climático. Caso de estudio: Quebrada San Ramón, Santiago de Chile”. Tesis De Pregrado. Chile.

PISCO: Peruvian Interpolation Data of SENHAMI’S Climatological And Hidrological Observations (s.f.). Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones>

Informes sobre Desarrollo Humano, elaborados todos los años por encargo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) desde 1990

Prieto Leache, I. (2010). Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Agua y ciudad. Proyecto Dina-mar y Gestión Integral del Agua en la Edificación.



- Prowse TD, Beltaos D, Gardner JT, Gibson JJ, Granger RJ, Leconte R, Peters DL, Pietroniro A, Romolo LA, Toth B (2006). Climate change, flow regulation and land-use effects on the hydrology of the Peace-Athabasca-Slave system; findings from the northern rivers ecosystem initiative. Environmental Monitoring and Assessment.
- Proyecto Apoyo a la Prevención contra Desastres en la Comunidad Andina PREDECAN (2008). “Análisis de base de datos de pérdidas por desastres en Perú”. Creación, actualización y/o homogeneización de inventarios de desastres por eventos. Cali, Colombia.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill.
- Salas, E. (2014). “Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del Río Illpa, Puno”. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
- Santillana S.A. (2015). “Historia y geografía económica”, 1era edición, editorial Santillana, Lima, Perú.
- Soldano A. (2008). “Conceptos sobre riesgo” y Capacitación en teledetección aplicada a la reducción de riesgo por inundaciones.
- Struve, H., and Judson, F.E. «Development of Stage Area Tables for the Yazoo Backwater Area Using Landsat Data in Proceedings of the U.S. Army Corps of Engineers Remote Sensing Symposium (Reston, Virginia. 1979), pp. 193-199.
- Úbeda, J. (2013). Investigación del registro glacial del cambio climático en el complejo Volcánico Nevado Coropuna (Arequipa, Perú). Cryoperu, Objeto conferencia.



- Valenzuela, C R. (ed.; 1991), Introduction to Geographical Information Systems, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Vélez, C. (2020). “Estudio geomorfológico y de facies sedimentarias para la identificación de eventos aluviónicos en la Cuenca Occoruruni, Cordillera Apolobamba – Puno”. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
- Villon, M. Hidrología Estadística. 1ra. Ed. LIMA: Edit. Villón. 2016, 232 pp.
- Viessman, W., Jr., "Technology, Society, and Water Management", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 115 (1):48-51, 1989.
- Yepes, V. (2018). “Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)”. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>
- Zubieta Barragán R. (2017). “Estimación de concentración de lluvia diaria y eventos hidrológicos extremos en Cuenca Andino – Amazónicas empleando precipitación basada en satélites”. Tesis de Doctorado. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.



ANEXOS

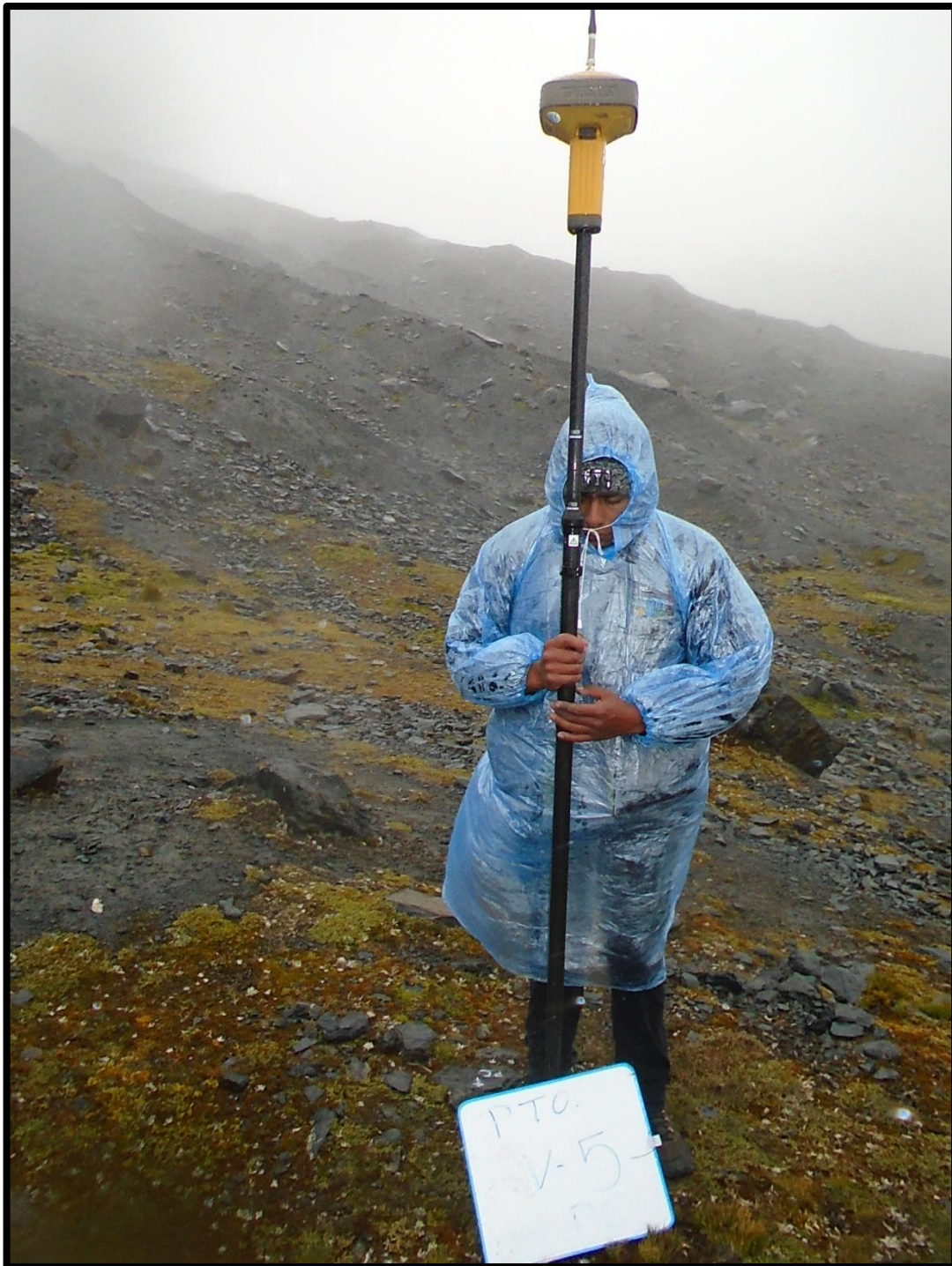
Anexo 1. Detalle del Punto Geodésico VZNI-2

Este: 473280.5430 **Norte:**8381836.9170 **Altitud:** 4856.742



Anexo 2. Detalle de los puntos auxiliares ubicados para el levantamiento fotogramétrico en la Laguna Vizcachani.

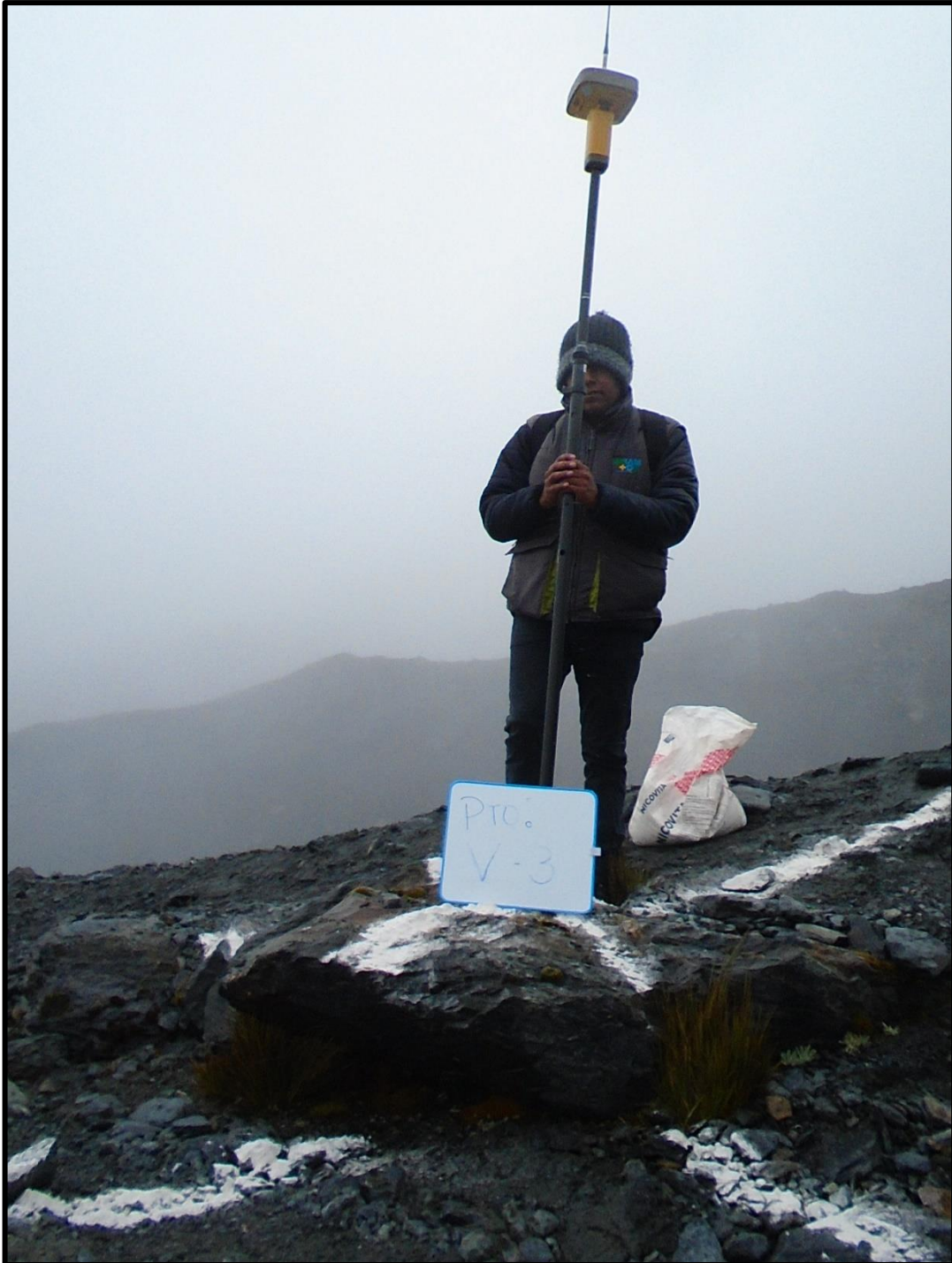
Este: 473033.6299 Norte: 8382448.6927 Altitud: 4854.022





Anexo 3. Punto Auxiliar V3 con GPS Diferencial en RTK

Este: 473204.9348 Norte: 8382342.0267 Altitud: 4916.970

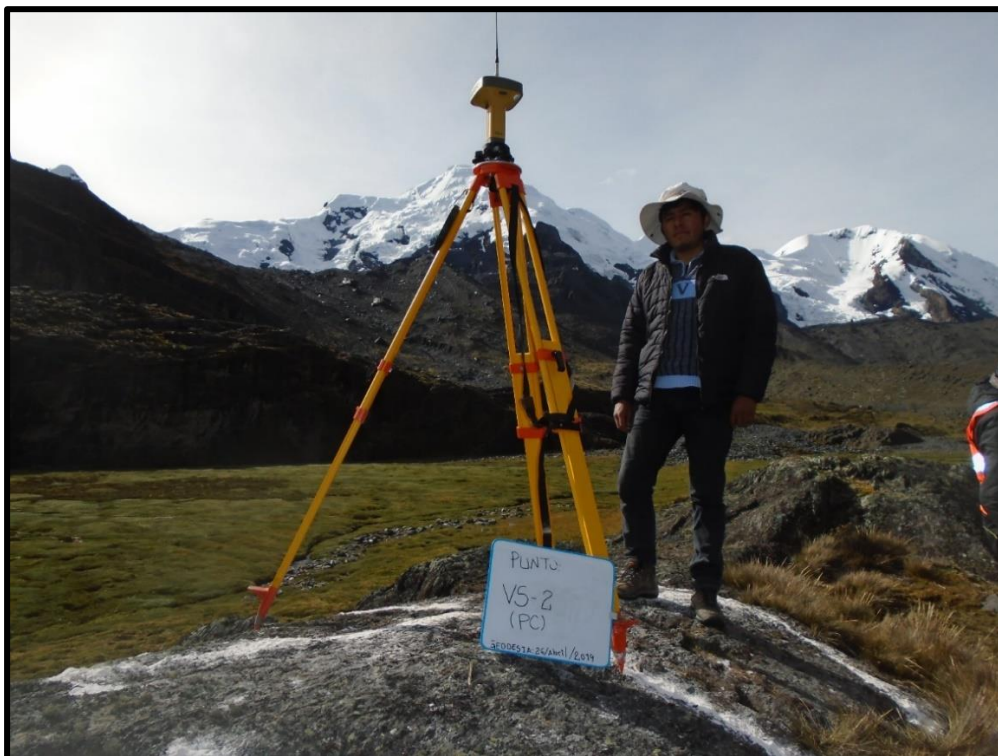


Anexo 4. Punto Auxiliar V10



Anexo 5. Ubicación del Punto de Cambio VS-2 con GPS Diferencial Topcom G-5

Este: 472079.7384 Norte: 8383589.8520 Altitud: 4624.743



Anexo 6. Punto Auxiliar VS-3

Este: 471995.2646 **Norte:** 8383816.7716 **Altitud:** 4613.814





Anexo 7. Punto Auxiliar Cima de Catarata





Anexo 8. Punto Auxiliar Bajo Catarata

Este: 471732.0982 **Norte:** 8384545.4106 **Altitud:** 4324.278



Anexo 9. Colector de Datos TOPCON FC-500



Anexo 10. Vista Posterior del colector de datos. TOPCON FC-500





Anexo 11. Control de Vuelo del DRONE en Nevado Caballune



Estación Sina
Anexo 12. Datos de precipitación pluviométrica obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Sina.

ESTACION SINA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total genera
1981	150.99	258.97	139.95	32.75	13.81	5.53	3.05	43.93	21.09	91.59	80.39	199.73	1041.77
1982	121.80	152.43	110.54	37.94	10.84	4.41	3.28	19.91	36.24	48.38	126.51	114.60	786.88
1983	129.89	155.60	72.83	30.08	42.27	10.48	6.74	7.82	25.09	42.15	48.69	120.85	692.49
1984	173.18	312.34	122.76	28.94	21.17	10.61	6.35	30.76	10.17	57.50	143.89	170.25	1088.52
1985	153.87	162.11	103.99	40.13	30.59	12.50	1.94	17.78	31.42	48.29	126.17	234.73	963.54
1986	147.62	207.69	116.54	31.99	28.14	3.54	8.47	31.56	50.58	22.85	77.98	204.00	930.96
1987	111.75	109.46	74.73	23.11	30.69	5.71	23.31	8.32	16.38	76.78	122.48	114.68	717.41
1988	144.70	181.59	128.94	42.43	54.13	1.09	1.74	1.90	11.08	53.98	31.57	185.95	839.11
1989	143.37	159.50	109.24	37.17	14.95	11.01	4.75	20.67	18.77	32.62	49.47	81.94	683.47
1990	141.35	191.03	49.55	22.29	26.06	41.04	3.82	38.41	19.89	72.84	85.57	175.03	866.89
1991	139.37	163.44	94.20	21.71	21.94	23.33	2.43	8.63	13.49	45.62	76.18	123.24	733.57
1992	122.83	161.36	82.94	24.25	10.68	8.49	7.19	92.87	21.66	50.70	79.09	191.01	853.06
1993	143.03	133.55	112.82	30.25	41.83	0.92	5.97	40.13	21.16	69.21	111.45	202.29	912.59
1994	102.04	229.33	96.68	37.64	15.62	3.83	3.46	14.07	10.25	45.42	115.09	177.49	850.91
1995	116.34	171.76	97.73	11.72	12.55	3.27	4.67	7.85	12.51	31.60	91.17	194.25	755.42
1996	149.67	120.59	90.26	18.46	26.77	2.06	9.61	19.94	20.26	38.55	100.90	150.33	747.41
1997	152.56	213.29	134.58	26.56	27.88	2.91	2.89	23.87	30.36	41.87	112.91	169.81	939.50
1998	121.92	159.03	112.60	26.07	6.16	11.28	3.04	8.50	7.24	73.16	85.26	69.25	683.50
1999	109.38	255.03	142.63	43.81	23.22	4.46	5.79	6.15	36.05	39.13	67.53	117.28	850.48
2000	144.04	162.07	66.70	17.19	22.33	16.13	16.12	39.78	15.29	73.91	36.94	155.01	756.00
2001	159.31	182.36	107.37	26.42	45.77	4.71	16.12	32.39	17.42	64.34	99.35	139.57	895.12
2002	99.86	261.74	104.72	35.82	30.12	5.46	26.35	25.25	27.63	55.98	91.60	150.55	915.08
2003	127.79	202.78	138.93	25.77	21.38	8.93	3.02	38.27	13.86	41.57	62.30	180.92	865.52
2004	122.03	132.59	87.82	23.04	25.21	15.13	11.58	33.64	25.17	36.77	73.61	135.34	721.93
2005	121.60	232.39	93.43	19.45	9.10	1.69	2.48	7.78	17.59	56.09	88.55	201.94	852.08
2006	202.02	130.66	103.59	39.42	9.14	7.42	3.11	24.00	16.21	48.16	107.20	162.11	853.05
2007	106.36	127.29	121.57	26.21	29.16	1.52	8.48	9.95	23.45	41.40	87.51	143.70	726.61
2008	211.11	92.44	92.44	16.12	16.64	5.74	3.77	11.40	12.37	73.41	62.67	206.44	849.86
2009	142.59	225.28	108.32	18.03	15.28	1.77	4.68	4.78	18.66	34.90	105.56	157.15	837.01
2010	147.78	243.66	58.97	16.64	38.84	1.30	1.06	7.81	6.85	41.25	58.01	167.65	789.83
2011	112.86	199.86	81.70	18.38	12.18	8.80	8.33	11.13	47.26	70.96	37.66	195.21	804.33
2012	120.32	251.76	55.87	46.88	10.01	12.06	8.07	0.67	28.62	40.34	90.04	271.06	935.70
2013	166.51	176.97	115.99	23.67	30.78	9.21	5.70	26.73	20.53	86.84	63.69	188.05	921.66
2014	161.94	160.70	79.69	21.58	39.31	3.76	10.85	15.83	29.16	32.43	56.01	170.93	782.19
2015	155.69	203.57	99.65	44.64	34.68	3.76	13.89	38.60	23.39	54.22	78.28	109.52	859.87
2016	85.87	286.36	47.45	24.89	8.68	2.86	5.66	17.83	21.07	1889.708	2965.340	160.30	749.91
TOTAL	4963.314	6805.852	3557.708	1011.455	875.580	276.718	248.265	788.932	778.201	1889.708	2965.340	5892.156	834.812
MEIA	137.870	189.051	98.825	28.096	24.322	7.687	6.896	21.915	21.617	52.492	82.371	163.671	834.812

Fuente: Elaboración propia.

Estación Cuyo Cuyo
Anexo 13. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cuyo Cuyo.

ESTACION CUYOCUYO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general
1981	97.31	70.57	50.42	26.36	5.33	3.68	1.26	36.59	17.57	33.34	38.93	71.08	452.46
1982	96.58	44.89	42.24	29.32	2.19	2.12	1.72	13.45	28.84	19.64	69.24	35.82	386.06
1983	74.60	47.43	27.25	22.84	13.11	5.22	3.92	4.41	15.77	12.10	27.21	42.40	296.26
1984	108.80	93.89	54.38	20.97	8.62	8.70	3.99	25.49	25.43	28.22	78.89	71.79	507.99
1985	101.21	55.70	45.83	36.12	14.91	9.80	0.79	9.93	25.37	16.39	84.83	82.65	483.54
1986	88.70	64.36	52.64	35.59	10.80	1.46	5.68	23.56	39.36	6.97	45.20	71.84	446.15
1987	71.04	38.43	32.06	17.31	8.24	3.64	23.34	7.89	7.76	24.40	67.70	41.73	343.54
1988	89.42	53.15	66.61	34.58	21.13	0.58	0.72	1.64	7.07	17.88	11.57	62.23	366.59
1989	82.15	47.18	40.42	28.14	4.48	8.07	2.36	20.41	16.69	10.07	26.61	33.29	319.88
1990	99.54	55.31	26.07	15.35	9.54	35.06	1.60	20.38	13.09	30.16	44.75	66.77	417.62
1991	96.54	52.06	45.56	19.10	8.67	22.47	2.20	5.09	9.45	17.58	32.13	45.51	356.38
1992	90.82	46.86	27.67	15.20	1.65	5.44	4.64	80.60	12.81	20.14	41.72	68.92	416.47
1993	94.36	42.18	45.53	23.59	12.15	0.85	3.86	33.97	14.91	24.66	57.19	73.36	426.60
1994	71.42	66.93	42.94	27.70	6.92	2.14	1.34	8.62	8.37	15.32	59.14	70.30	381.13
1995	61.18	55.74	46.72	7.72	4.55	1.12	2.62	3.95	9.10	9.90	47.82	66.73	317.14
1996	80.56	39.70	41.03	13.87	11.43	1.08	5.94	14.13	13.26	12.69	55.45	53.27	342.41
1997	90.53	61.49	68.99	24.46	9.90	1.40	1.39	20.31	19.40	14.94	69.62	54.70	437.12
1998	68.35	48.39	47.28	18.06	1.15	8.08	1.35	4.37	3.53	31.44	50.19	17.98	300.18
1999	51.71	62.78	66.72	29.27	7.99	1.87	2.18	2.74	23.95	14.86	30.50	35.16	329.75
2000	79.92	57.86	25.92	9.93	6.01	13.78	3.01	23.79	8.75	31.25	18.05	59.37	337.63
2001	91.00	34.47	53.95	22.44	23.45	2.34	9.28	19.93	11.31	22.32	50.42	45.98	386.88
2002	51.29	77.98	51.00	24.85	9.53	2.90	23.17	22.09	20.42	20.77	55.41	53.71	413.12
2003	88.37	52.89	55.02	20.78	5.56	8.13	1.38	28.07	10.38	16.22	28.19	53.29	368.27
2004	83.13	51.88	41.75	17.90	9.24	8.60	7.84	27.56	19.24	14.46	37.82	50.36	369.77
2005	62.41	77.42	33.76	13.09	2.96	0.53	0.68	8.68	9.47	23.41	43.79	74.25	350.45
2006	116.30	43.14	34.29	29.90	2.30	5.90	0.95	21.10	12.16	21.59	58.77	57.32	403.72
2007	79.06	38.02	57.12	19.86	11.67	1.03	5.26	3.49	15.00	15.13	49.17	49.24	344.06
2008	105.99	42.34	38.34	10.24	11.25	3.12	2.00	8.55	9.05	25.67	32.53	79.41	368.49
2009	79.88	61.17	33.27	11.59	4.96	0.42	2.15	2.07	11.74	11.67	64.43	50.61	333.96
2010	94.43	66.75	26.67	33.19	12.93	6.24	0.92	3.93	3.30	16.54	27.13	63.53	330.54
2011	63.97	61.86	33.19	12.93	2.71	6.24	4.94	8.03	37.47	25.09	18.09	69.76	344.27
2012	73.18	67.82	26.34	39.28	3.48	7.66	4.61	0.33	16.87	12.85	47.26	93.41	393.09
2013	100.99	60.28	57.95	19.36	14.24	5.89	3.79	14.51	15.19	39.84	30.55	79.93	442.50
2014	103.27	56.74	35.71	18.65	14.78	1.93	7.00	14.07	21.45	14.07	25.97	62.63	376.29
2015	101.06	59.67	48.17	36.52	14.14	2.93	10.16	31.40	20.44	16.76	43.95	47.23	432.43
2016	49.39	90.60	20.87	23.58	2.27	1.59	6.34	15.66	14.70	26.09	21.17	50.57	322.82
TOTAL	3038.447	2047.945	1543.689	789.912	314.532	196.405	164.367	590.785	547.474	714.461	1591.416	2106.120	379.043
MEDIA	84.401	56.887	42.880	21.942	8.737	5.456	4.566	16.411	15.208	19.846	44.206	58.503	379.043

Fuente: Elaboración propia.

Estación Ananea
Anexo 14. Datos de precipitación P pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Ananea.

FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general
1981	164.49	104.76	96.46	63.94	9.67	1.98	1.98	0.44	31.33	29.18	81.01	58.86	104.95
1982	146.80	65.44	75.20	55.67	1.67	0.92	0.92	1.89	10.75	50.37	58.12	105.15	50.57
1983	75.62	64.02	38.52	46.90	18.12	2.13	2.13	4.41	1.79	26.23	29.85	38.24	73.42
1984	169.53	152.78	95.40	32.73	14.36	9.74	9.74	5.34	22.43	2.42	66.27	132.57	121.92
1985	134.32	120.30	82.20	105.02	25.59	14.71	14.71	0.39	4.37	48.02	34.58	148.97	141.70
1986	120.72	147.42	118.30	88.55	16.57	0.43	0.43	9.96	20.26	56.88	19.04	71.11	123.62
1987	128.32	55.69	54.67	37.76	11.79	4.30	4.30	45.47	11.30	7.90	49.52	104.87	68.11
1988	110.60	75.16	147.36	89.39	45.76	0.62	0.62	0.48	1.08	7.77	44.58	10.75	96.46
1989	114.82	77.09	75.18	59.18	7.31	11.19	11.19	1.89	19.17	22.25	25.85	38.79	61.01
1990	121.25	72.89	39.11	34.90	12.41	39.48	39.48	0.53	14.50	19.08	79.76	82.96	95.91
1991	108.33	99.45	96.67	37.31	20.02	29.52	29.52	4.18	3.06	17.84	34.39	49.59	81.29
1992	119.66	74.80	38.96	21.06	0.67	7.50	7.50	4.69	67.60	11.83	47.77	57.57	90.20
1993	130.85	66.10	75.77	62.34	17.93	2.95	2.95	3.18	19.78	22.29	55.00	89.43	114.25
1994	96.56	120.21	82.25	68.04	13.39	1.50	1.50	0.25	3.46	10.27	33.00	65.51	103.98
1995	74.40	96.04	81.25	12.08	6.45	12.41	12.41	2.54	1.57	12.48	23.52	74.49	99.95
1996	122.91	61.80	65.11	25.11	17.67	0.33	0.33	7.02	8.26	17.42	27.51	75.87	88.00
1997	142.61	99.71	122.98	54.55	13.57	13.57	13.57	0.57	18.66	32.69	33.45	104.86	79.53
1998	87.80	78.12	75.36	39.30	78.12	0.46	7.98	0.45	2.03	3.88	64.54	74.38	23.46
1999	77.21	87.11	124.74	60.03	12.62	1.70	1.70	2.28	1.86	36.73	46.03	40.90	49.88
2000	118.08	93.96	65.05	15.19	93.96	10.17	13.31	2.46	21.30	9.55	87.13	22.58	93.22
2001	131.19	46.22	86.55	48.66	51.53	1.34	1.34	12.84	15.47	13.77	52.61	67.72	61.62
2002	68.18	121.81	113.26	43.94	12.89	1.08	1.08	28.70	18.73	37.49	52.99	101.65	72.20
2003	135.67	84.70	102.10	49.36	4.93	9.60	9.60	0.59	20.94	13.96	46.81	45.11	80.72
2004	135.68	117.07	78.15	39.35	14.78	15.37	15.37	6.76	16.49	29.87	38.52	61.21	75.34
2005	81.38	144.69	56.37	20.90	2.17	0.39	0.39	0.30	10.82	9.12	52.70	64.50	133.92
2006	162.86	80.49	61.55	63.20	3.34	5.59	5.59	0.36	18.00	24.70	47.96	76.27	577.25
2007	105.55	58.58	101.67	34.64	16.62	0.23	0.23	6.69	0.31	18.00	35.87	61.81	91.92
2008	157.17	67.15	57.85	30.03	20.49	2.89	2.89	1.89	6.88	9.44	53.59	53.19	82.05
2009	125.54	83.00	64.83	44.35	16.32	0.21	0.21	0.93	0.39	16.42	26.84	112.04	522.01
2010	118.97	101.09	54.01	23.30	15.90	0.34	0.34	3.66	0.56	2.95	36.69	41.65	89.80
2011	88.83	110.04	71.78	29.33	1.14	8.00	8.00	3.13	5.60	63.22	59.12	17.79	88.93
2012	80.61	109.94	80.86	87.78	5.28	7.40	7.40	6.33	0.37	16.46	24.51	68.54	102.54
2013	119.67	121.26	96.31	46.27	25.56	6.05	6.05	6.01	8.61	25.95	82.94	41.53	148.19
2014	127.28	104.41	61.59	36.61	20.76	0.76	0.76	10.26	13.65	29.06	38.98	31.90	128.77
2015	140.12	92.13	68.09	80.56	17.08	3.04	3.04	11.35	23.29	34.89	45.17	66.76	83.02
2016	69.34	155.60	26.01	60.77	3.27	0.51	0.51	10.95	14.17	25.35	70.02	44.80	96.97
TOTAL	4212.886	3411.025	2831.516	1748.114	508.251	213.810	209.148	458.814	815.738	1706.214	2403.927	3288.472	605.775
MEDIA	117.025	94.751	78.653	48.559	14.118	5.939	5.810	12.745	22.659	47.395	66.776	91.346	605.775
D.est.	29.923	26.956	20.660	21.530	8.430	3.060	3.060	3.979	8.003	15.791	17.948	25.391	22.950
VARIANZA	757.434	787.132	693.626	489.344	117.732	68.691	73.955	154.964	218.839	312.696	936.022	697.504	697.504

Fuente: Elaboración propia.

Estación Cojata
Anexo 15. Datos de precipitación pluvial obtenidos con RStudio y las grillas PISCO para la estación Cojata.

ESTACION COJATA													
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general
1981	183.02	101.87	129.68	56.03	8.46	2.01	0.35	36.05	40.27	104.42	51.44	108.94	822.54
1982	140.21	55.94	98.86	53.36	1.53	0.77	2.12	9.52	84.96	69.15	101.11	50.91	668.45
1983	74.08	69.21	44.21	47.39	15.91	1.79	4.44	2.49	41.80	45.17	32.67	71.98	451.13
1984	189.68	164.29	119.42	29.51	16.68	12.92	4.37	27.92	2.51	82.04	140.38	126.25	915.83
1985	138.21	118.87	119.42	105.70	24.56	20.89	0.34	4.79	82.82	47.40	165.53	162.10	990.63
1986	142.61	154.07	152.16	91.46	15.08	0.42	12.35	26.42	74.44	30.79	69.30	124.48	893.58
1987	159.24	39.71	68.28	28.48	10.99	6.09	55.80	14.93	13.16	62.44	94.56	54.34	608.02
1988	107.16	77.17	183.72	88.21	51.78	0.95	1.10	1.16	12.03	70.03	18.87	108.29	720.47
1989	117.41	81.26	115.03	52.63	6.34	12.58	2.16	24.38	30.60	30.98	42.78	60.60	576.74
1990	112.34	53.45	47.73	37.13	12.29	48.52	0.30	12.29	25.50	105.85	88.93	110.40	663.59
1991	98.17	90.38	143.94	34.53	22.53	42.18	3.62	2.77	28.81	41.86	55.58	86.64	651.02
1992	119.45	71.19	40.43	19.13	0.18	11.95	6.54	85.58	10.79	71.50	55.59	89.45	581.78
1993	147.43	54.62	101.71	65.16	16.79	5.00	1.41	22.43	31.57	72.26	100.35	114.02	732.74
1994	117.78	117.71	119.48	71.72	13.83	1.63	0.79	2.75	9.93	37.07	62.11	105.42	660.24
1995	83.27	87.89	112.98	10.19	8.14	0.38	2.23	2.04	21.69	29.41	68.12	106.69	533.04
1996	142.85	56.77	72.34	22.16	12.04	0.45	9.30	11.50	22.69	29.09	76.58	97.94	553.71
1997	144.42	109.39	144.14	56.42	11.95	0.36	0.43	22.24	56.80	34.21	85.34	67.28	732.97
1998	86.76	68.10	95.29	33.78	0.19	9.64	0.26	2.26	4.23	65.61	77.06	18.33	461.50
1999	88.34	71.02	180.93	61.74	11.38	1.80	2.62	2.06	52.41	89.26	36.06	48.91	646.53
2000	144.08	111.84	68.78	25.14	10.87	21.51	4.18	35.30	28.81	116.26	19.39	120.22	706.39
2001	165.65	58.52	219.26	31.67	35.64	7.17	18.11	26.37	34.22	78.58	93.45	71.40	840.02
2002	77.72	144.14	125.68	57.19	22.32	1.50	38.30	16.92	46.05	111.59	85.90	90.15	817.47
2003	155.14	117.52	134.01	52.71	12.80	9.76	0.71	22.67	20.43	47.85	63.94	110.12	747.66
2004	141.91	57.01	41.43	52.33	13.49	20.47	8.14	24.18	43.38	24.60	70.83	37.78	535.55
2005	137.24	128.41	80.36	30.92	1.25	2.79	2.18	2.79	20.02	107.77	75.88	65.36	652.58
2006	173.57	40.56	83.62	44.03	3.62	1.07	0.26	7.38	23.66	44.14	62.48	81.98	566.35
2007	82.67	54.30	140.04	73.36	35.22	0.30	0.78	35.22	65.04	32.26	87.50	98.15	672.26
2008	134.02	47.95	83.44	17.72	5.24	7.58	0.25	3.27	13.34	78.25	29.78	106.78	527.61
2009	94.29	63.84	53.56	12.72	2.96	0.45	5.58	0.19	14.07	40.67	73.16	119.24	480.74
2010	133.74	140.65	70.55	14.86	16.69	1.89	2.25	2.29	1.56	36.23	6.39	116.85	543.96
2011	60.68	123.82	109.67	33.87	8.73	0.87	8.17	8.81	64.60	62.45	47.64	116.11	645.43
2012	107.14	153.65	105.81	78.47	1.60	3.22	11.91	4.94	32.80	55.63	42.40	148.98	746.53
2013	121.74	119.47	100.98	29.59	30.83	8.93	15.13	13.08	61.39	103.26	37.82	136.46	778.66
2014	119.08	84.27	65.01	31.63	13.78	0.95	15.03	26.67	59.08	56.22	29.12	102.38	603.24
2015	125.38	84.76	85.44	83.95	8.56	3.51	9.04	14.24	51.99	77.71	62.51	87.26	694.35
2016	72.60	170.26	23.45	61.32	2.77	1.63	10.33	12.17	52.48	64.40	41.55	80.80	593.76
TOTAL	4439.081	3343.884	3680.708	1696.240	487.001	271.530	260.886	546.371	1279.929	2256.387	2352.083	3402.969	667.141
MEDIA	123.308	92.886	102.242	47.118	13.528	7.542	7.247	15.177	35.554	62.677	65.336	94.527	667.141
D. est.	32.328	45.285	31.145	26.320	11.540	2.917	5.703	7.618	23.522	21.282	22.812	21.754	21.754
VARIANZA	1030.744	1381.007	1861.056	570.156	122.414	121.101	120.950	252.773	510.156	709.434	1041.874	947.817	947.817

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 16. Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	METODOLOGIA
¿Qué nivel de vulnerabilidad ante el riesgo de inundación existe en el poblado de Koriwara en la Subcuenca Occoruruni?	Determinar el nivel de vulnerabilidad ante riesgo de inundaciones en el poblado de Koriwara, Subcuenca Occoruruni, mediante la aplicación del modelamiento geoespacial.	¿Existe un alto nivel de vulnerabilidad ante el riesgo de inundación en el poblado de Koriwara en la Subcuenca Occoruruni?	Variable 1 Amenaza de Inundaciones	Detonantes de Amenazas de Inundación Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial	Método: Analítico-sintético e hipotético-deductivo. Tipo: Aplicada y De Campo. Enfoque: Mixto (cualitativo – cuantitativo). Nivel: Descriptivo.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS			
¿De qué manera la construcción de una base de datos georreferenciada en un SIG de la Subcuenca Occoruruni es importante para efectuar análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones?	a) Construir una base de datos georreferenciada en un SIG de la Subcuenca Occoruruni orientada al análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones.	La construcción de una base de datos georreferenciada en un SIG de la Subcuenca Occoruruni es importante para efectuar análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones.		Probabilidad de Ocurrencia de las Amenazas de Inundaciones	Diseño: No experimental Corte: Transversal Población: todas las estaciones climatológicas del SENAMHI.
¿En qué orden la caracterización la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones de la Subcuenca Occoruruni es de gran utilidad para evitar la ocurrencia e inundaciones en las zonas que presentan mayor vulnerabilidad?	b) Caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en la Subcuenca Occoruruni mediante el análisis espacial multicriterio en un SIG.	La caracterización la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones de la Subcuenca Occoruruni es de gran utilidad para evitar la ocurrencia e inundaciones en las zonas que presentan mayor vulnerabilidad.	Variable 2 Vulnerabilidad ante Riesgos de Inundaciones	Vulnerabilidad de los Ecosistemas Naturales (Ambiental)	Muestra: 4 unidades de análisis: estaciones Sina, Cuyo Cuyo, Ananea y Cojata. Método de recolección de datos: Encuesta (Cuestionario)
¿De qué forma la propuesta de alternativas de prevención para las zonas de inundaciones en las zonas que presentan mayor vulnerabilidad?	c) Proponer alternativas de prevención para las zonas de la Subcuenca Occoruruni que presenten mayor vulnerabilidad ante riesgo de inundaciones.	La propuesta de alternativas de prevención es importante para evitar la ocurrencia e inundaciones en las zonas que presentan mayor vulnerabilidad.		Vulnerabilidad de los Sistemas Humanos (Antrópica)	Métodos de análisis de datos: Estadística descriptiva.
				Vulnerabilidad de los Sistemas Socio-Ambientales (Física)	

Anexo 17. Operacionalización de las Variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores
Amenaza de Inundaciones	Es la probabilidad que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presenta en un lugar específico, con una intensidad y un periodo de tiempo y frecuencia definitiva (Frausto, 2014). En el caso de las amenazas de Inundaciones, los desencadenantes más frecuentes son las precipitaciones de lluvias intensas, nieve y granizo, y las avalanchas por retroceso de glaciares	<p>Detonantes de Amenazas de Inundación</p> <p>Análisis de Consistencia de los Datos de Precipitación Pluvial</p> <p>Probabilidad de Ocurrencia de las Amenazas de Inundaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación Pluviométrica • Avalanchas • Otros • Análisis de Coherencia • Análisis de Saltos • Análisis de Tendencias • Probabilidad en 5-10 Años • Probabilidad en Meses-1 Año
Vulnerabilidad ante Riesgos de Inundaciones	La vulnerabilidad es la incapacidad de ofrecer resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre. La vulnerabilidad surge como un concepto analítico en las ciencias ambientales para el estudio de poblaciones afectadas por riesgos naturales o donde se presentan potenciales amenazas naturales (Prowse, 2003).	<p>Vulnerabilidad de los Ecosistemas Naturales (Ambiental)</p> <p>Vulnerabilidad de los Sistemas Humanos (Antrópica)</p> <p>Vulnerabilidad de los Sistemas Socio-Ambientales (Física)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes del Terreno • Características geomecánicas / geotécnicas del terreno • Erosionabilidad o deforestación del terreno • Vulnerabilidad Social • Vulnerabilidad Económica • Vulnerabilidad Educativa • Vulnerabilidad Cultural • Vulnerabilidad Política e Institucional • Vulnerabilidad Científica y Tecnológica • Distancia de las edificaciones a elementos naturales de riesgo • Estado de las estructuras de las edificaciones de instalaciones / líneas de servicios públicos • Densidad Poblacional

Fuente: Elaboración propia.