

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Reducción de riesgo por inundación ocasionado por los
ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua,
Huanta -Ayacucho**

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Brigmar Prado Taquire

Asesor:

Msc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO

Ayacucho - Perú

2023

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación es disminuir de manera significativa el riesgo causado por la inundación fluvial en la localidad de Llochegua. Donde primeramente se obtendrá el mapa y niveles de peligro mediante el factor condicionante (conformado por los parámetros Geomorfológicos, Geológicos y de pendiente), factor desencadenante (conformado por la precipitación anómala), al intersecar el factor condicionante y el factor desencadenante se obtendrá la susceptibilidad del peligro, luego al intersecar la susceptibilidad del peligro y el parámetro de evaluación se obtendrá el peligro y sus respectivos niveles de peligro. Dentro de parámetro de evaluación se desarrollará la inundación mediante el modelo bidimensional HEC-RAS 6.2 para diferentes periodos de retorno 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Posteriormente se hizo el análisis de la vulnerabilidad a nivel de manzanas, mediante las dimensiones Social, Económica y Ambiental y los factores Fragilidad y Resiliencia, donde se obtendrá un mapa de vulnerabilidad y sus respectivos niveles. Subsiguientemente se obtendrá el mapa y niveles de riesgo a nivel de manzanas, este mapa se obtuvo mediante la intersección del mapa de peligro y el mapa de vulnerabilidad, al obtener el mapa y niveles de Riesgo se identificó las manzanas que se encuentran en Muy alto, Alto, Medio y Bajo riesgo donde se identificó 14 % representa en riesgo muy alto, 12 % representa el riesgo alto, 60 % representa el riesgo medio y el 13 % representa el riesgo bajo, al hacer las propuestas de reducción tipo estructurales y no estructurales obtenemos los siguientes riesgos: 1 % muy alto, 19 % alto, 52 % medio y 27 % bajo.

Al encontrar aún zonas de muy alto y alto riesgo se propondrá su reubicación a corto y largo plazo. Este proceso de análisis se basó con el procedimiento del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales del CENEPRED del matemático Thomas L. Saaty (1980) y clasificado en niveles de Muy Alto, Alto, Medio, Bajo para los casos de peligro, vulnerabilidad y riesgo.

Palabras clave: Reducción, inundación, riesgo, vulnerabilidad, peligro..

Abstract

The main objective of this research is to significantly reduce the risk caused by river flooding in the town of Llohegua. Where first the map and levels of danger will be obtained by means of the conditioning factor (consisting of the Geomorphological, Geological and slope parameters), the triggering factor (consisting of anomalous precipitation), when intersecting the conditioning factor and the triggering factor, the susceptibility will be obtained of the hazard, then by intersecting the susceptibility of the hazard and the evaluation parameter, the hazard and its respective hazard levels will be obtained. Within the evaluation parameter, the flood will be developed using the HEC-RAS 6.2 two-dimensional model for different return periods 25, 50, 100, 200, 500.

Subsequently, the vulnerability analysis was made at the block level, through the Social, Economic and Environmental dimensions and the Fragility and Resilience factors, where a vulnerability map and their respective levels will be obtained. Subsequently, the map and risk levels at the block level will be obtained, this map was obtained through the intersection of the hazard map and the vulnerability map, when obtaining the map and Risk levels, the blocks that are in Very high, High, Medium and Low risk, where 14 % represents very high risk, 12 % represents high risk, 60 % represents medium risk and 13 % represents low risk, when making type reduction proposals. structural and non-structural we obtain the following risks: 1 % very high, 19 % high, 52 % medium and 27 % low.

When finding areas of very high and high risk, their relocation will be proposed in the short and long term.

This analysis process was based on the procedure of the manual for the evaluation of risks originated by natural phenomena of the CENEPRED of the mathematician Thomas L. Saaty (1980) and classified into levels of Very High, High, Medium, Low for the cases of danger, vulnerability and risk.

Keywords: Reduction, flood, risk, vulnerability, danger..

Introducción

En los últimos años, el aumento en la frecuencia y severidad de los desastres naturales o provocados por el hombre han sido una de las áreas de mayor preocupación a nivel local, nacional e internacional, convirtiéndose en un desafío para la capacidad humana predecir eventos mediante una gestión eficaz del riesgo de desastres originado por fenómenos naturales. En el departamento de Ayacucho se ha registrado 33 inundaciones por desborde de ríos según el último reporte de compendio estadístico 2020 del [Instituto Nacional de Defensa Civil \(INDECI\)](#), donde la última emergencia registrada en la localidad de Llochegua fue el 7 de enero del 2021 donde se desbordo el río Tincuy también llamado el río Tinkuy, afortunadamente no hubo pérdidas humanas solo se reportaron daños materiales y viviendas destruidas, a causa del desborde se pudo identificar los puntos críticos que representan una amenaza a la localidad de Llochegua. El [Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres \(CENEPRED\)](#) utiliza el proceso de análisis jerárquico creado para resolver problemas de múltiples criterios lo que permite tomar decisiones estructuradas del problema de forma visual, esta metodología facilita la obtención de la jerarquía de las dimensiones, factores, parámetros y descriptores de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo generando la estratificación de las mismas. El peligro se obtiene a través de la intersección de la susceptibilidad (Factores condicionantes y desencadenantes) y del parámetro de evaluación (tiempo de retorno), la vulnerabilidad se evalúa a través de las dimensiones social, económica y ambiental y los factores en fragilidad y resiliencia todo esto con la finalidad de determinar la zonificación y niveles de riesgo. La presente evaluación nos permite analizar el potencial riesgo por inundación y como afecta a la población en estudio, que abarca desde el puente Tinkuy hasta el río Apurímac dando una longitud de 1 kilómetro aproximadamente. Una vez determinado el riesgo se propondrá una estructura de contención de tipo dique lateral con la finalidad de disminuir el riesgo.

El desarrollo de la estructura de la presente tesis de investigación está organizado de la manera siguiente:

- **Capítulo 1 – Planteamiento del problema:** Contiene la descripción del problema, delimitación del problema, formulación del problema, justificación e importancia, limitaciones de la investigación, objetivos generales y específicos.
- **Capítulo 2 – Marco teórico:** Se desarrolla los antecedentes, teorías y conceptos acerca del modelamiento de la inundación y del desarrollo del riesgo, peligro también acerca de estructuras de contención de tipo dique lateral.
- **Capítulo 3 – Método de la investigación:** Se desarrolla el enfoque, alcance, diseño de investigación, población y muestra, hipótesis general y específicos, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos, técnicas estadísticas para el procesamiento de la información y el desa-

rrollo del trabajo de tesis donde se determina el riesgo por inundación y proponer una estructura de contención de tipo dique lateral con el fin de disminuir el riesgo.

- **Capítulo 4 –Resultado de la investigación:** Los resultados que esperamos conseguir es proponer como las estructuras hidráulicas disminuyen el riesgo por inundación generado por los ríos Tinkuy y Sabogato.
- **Conclusiones:** Se presenta las conclusiones donde se propone las medidas estructurales y no estructurales a fin de disminuir el riesgo por inundación generado por los ríos Tinkuy y Sabogato.

*A mis padres Evaristo y Agripina quienes me forjaron
para la vida.*

*A todos mis amigos que siempre me apoyaron moralmente
para todos mis objetivos .*

Brigmar Prado Taquire

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater y orgullo de Ayacucho, donde recibí mi formación académica de pregrado. A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Especialmente a la gloriosa Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos transmitidos que incidieron de manera determinante en mi formación profesional.

Al Msc. Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, asesor de tesis por su disposición y orientación de la presente tesis.

A la municipalidad distrital de Llochegua por la facilitarme el levantamiento topográfico en toda la zona de estudio y a todas las personas que hicieron posible la culminación de la presente tesis.

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho, 2023

Brigmar Prado Taquire

Índice general

	<i>Página</i>
Resumen	i
Introducción	iii
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xv
Acrónimos	xviii
Capítulo 1 Planteamiento del problema	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 A nivel mundial	1
1.1.2 A nivel país	1
1.1.3 A nivel región	2
1.2 Delimitación del problema	2
1.2.1 Espacial	2
1.2.2 Temporal	4
1.2.3 Temática y unidad de análisis	5
1.3 Formulación del problema	5
1.3.1 Problema general	5
1.3.2 Problemas específicos	5
1.4 Justificación e importancia	6
1.4.1 Justificación	6
1.4.2 Importancia	6
1.5 Limitaciones de la investigación	6
1.6 Objetivos	7
1.6.1 Objetivo general	7
1.6.2 Objetivos específicos	7
Capítulo 2 Marco teórico	8

2.1	Antecedentes	8
2.1.1	Investigaciones internacionales	8
2.1.2	Investigaciones nacionales	8
2.1.3	Antecedentes regionales	9
2.2	Bases teóricas	9
2.2.1	Levantamiento topográfico	9
2.2.2	Cuenca hidrográfica	10
2.2.3	Precipitación	13
2.2.4	Medición de la precipitación	14
2.2.5	Análisis de datos de precipitación	17
2.2.6	Funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología	22
2.2.7	Periodo de retorno	25
2.2.8	Precipitación media sobre un área o una cuenca	26
2.2.9	Determinación de tormenta de diseño	29
2.2.10	Hietogramas de diseño	34
2.2.11	Precipitación total y efectiva	35
2.2.12	Calculo del número de curva	38
2.2.13	Estimación de caudales	40
2.2.14	Sistema de Información Geográfica (SIG)	43
2.2.15	Modelamientos hidráulicos	44
2.2.16	Análisis hidráulico con el software bidimensional HEC-RAS 6.2	45
2.2.17	Coefficiente de rugosidad	47
2.2.18	Características geológicas.	48
2.2.19	Características geomorfológicas	49
2.2.20	Características de pendiente	50
2.2.21	Características sociales	50
2.2.22	Características económicos	51
2.2.23	Características ambientales.	51
2.2.24	Metodología para la evaluación de riesgo.	52
2.2.25	Peligro	56
2.2.26	Vulnerabilidad	58
2.2.27	Riesgo	60
2.2.28	Control de riesgos	61
2.3	Marco conceptual	61
2.3.1	Manejo de riesgos	61
2.3.2	Mapa temático	62

2.3.3	Peligro	62
2.3.4	Prevención	62
2.3.5	Proceso de estimación del riesgo	62
2.3.6	Reducción	62
2.3.7	Resiliencia	62
2.3.8	Riesgo de desastre	63
2.3.9	Vulnerabilidad	63
2.3.10	No mitigable	63
Capítulo 3 Método de la investigación		64
3.1	Enfoque de la investigación	64
3.2	Alcance de la investigación	64
3.3	Diseño de investigación	64
3.4	Población y muestra	64
3.4.1	Población	64
3.4.2	Muestra	64
3.5	Hipótesis	65
3.5.1	Hipótesis general	65
3.5.2	Hipótesis específicas	65
3.6	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional	65
3.6.1	Unidad de análisis	65
3.6.2	Variables	65
3.6.3	Indicadores	66
3.7	Técnicas e instrumentos	66
3.8	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	67
3.9	Desarrollo del trabajo de tesis	68
3.9.1	Ubicación del área en estudio	68
3.9.2	Estudio hidrológico de la cuenca	69
3.9.3	Simulación hidráulica con el modelo HEC-RAS 6.2	106
3.9.4	Determinación del peligro	113
3.9.5	Determinación de la vulnerabilidad	122
3.9.6	Determinación del riesgo	128
3.9.7	Reducción de riesgo	132
Capítulo 4 Resultados		140
4.1	Análisis e interpretación	141
4.1.1	Riesgo por inundación	141

4.1.2	Estructuras de contención	145
4.1.3	Reducción de riesgo por inundación	146
4.2	Contrastación de hipótesis	150
4.2.1	Hipótesis General	150
4.2.2	Hipótesis específicas	150
Conclusiones		153
	Conclusiones	153
	Recomendaciones	154
	Trabajos futuros	154
Referencias bibliográficas		155
Anexos		158
I Panel Fotográfico		159
II Hojas de cálculo		165
III Mapas de inundación		192
IV Secciones transversales		196

Índice de figuras

	<i>Página</i>
Figura 1 Total de situaciones de desastres por tipo: 1980-1999 vs 2000-2019.	1
Figura 2 Vivienda Inundada en Llochegua ocurrido a las 3 am, el 7 de enero del año 2021	2
Figura 3 Delimitación del área de estudio.	3
Figura 4 Vista de los Ríos Tinkuy, Sabogato y Apurímac, conjuntamente con la zona de estudio la ciudad de Llochegua.	3
Figura 5 Imagen satelital del 2009	4
Figura 6 Imagen satelital del 2021	5
Figura 7 Red de estaciones a nivel del territorio nacional	15
Figura 8 Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil. .	26
Figura 9 Curva de Isoyetas	28
Figura 10 Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia	30
Figura 11 Hietograma de diseño	35
Figura 12 Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención	36
Figura 13 Precipitación y escorrentía	37
Figura 14 Comparación de un imagen vectorial y ráster	44
Figura 15 Softwares para modelamiento Hidráulico y morfológicos	45
Figura 16 Clasificación de modelos 1D,2D y 3D	45
Figura 17 Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning para corrientes naturales (n) . .	48
Figura 18 Manejo de residuos solidos	52
Figura 19 Para el estudio estos fenómenos se han agrupado los peligros de acuerdo a su origen	57
Figura 20 Peligros generados por fenómenos de origen natural	58
Figura 21 Clasificación de la vulnerabilidad	60
Figura 22 Mapa de ubicación	69
Figura 23 Interfaz del servidor ASF Alaska	70
Figura 24 Cuenca del río Tinkuy y Sabogato	71
Figura 25 Vista 3D de las cuencas Tinkuy y Sabogato con la ciudad de Llochegua y ciudades cercanas	72
Figura 26 Ubicación de la Cuenca Tinkuy y Sabogato.	72
Figura 27 Curva hipsométrica de la cuenca Tinkuy	74
Figura 28 Polígono de frecuencias	74
Figura 29 Delimitación de cuencas con HEC-GeoHms	75

Figura 30	Generación de numero de curva con HEC-GeoHMS	76
Figura 31	Preparación para la exportación de datos del HEC-GeoHMS al HEC-HMS	77
Figura 32	Interfaz del software RStudio	79
Figura 33	Datos grillados de precipitación diaria de PISCO SENAMHI	79
Figura 34	Precipitación media areal de la cuenca Tinkuy y Sabogato desde el año 1981 hasta el 2016	80
Figura 35	Datos grillados de temperatura diaria mínima y máxima de PISCO SENAMHI	81
Figura 36	Temperatura máxima y mínima areal diaria de la ciudad de Llochegua	81
Figura 37	Histograma de precipitación de la cuenca Tinkuy	85
Figura 38	Análisis de saltos y tendencias cuenca Tinkuy	86
Figura 39	Histograma de precipitación de la cuenca Sabogato	87
Figura 40	Análisis de saltos y tendencias cuenca Sabogato	88
Figura 41	Resultados por Selección Visual para la cuenca Tinkuy	92
Figura 42	Resultados por Selección Visual para la cuenca Sabogato	95
Figura 43	Interfaz Hydrognomon para hallar precipitación máxima en un tiempo de retorno determinado	96
Figura 44	Hietograma de diseño para la cuenca Tinkuy	101
Figura 45	Hietograma de diseño para la cuenca Sabogato	103
Figura 46	Hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno para la cuenca Tinkuy	105
Figura 47	Hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno para la cuenca Sabogato	106
Figura 48	Modelo Digital de elevación de la zona en estudio	107
Figura 49	Valores de Rugosidad en la zona de estudio	108
Figura 50	Hidrograma de la cuenca Tinkuy	112
Figura 51	Hidrograma de la cuenca Sabogato	112
Figura 52	Mapa de inundación en la ciudad de Llochegua para TR=100 años	113
Figura 53	Flujograma de peligro	114
Figura 54	Comparación de inundaciones para diferentes periodos de retorno	115
Figura 55	Precipitación anómala para un TR=100 años	116
Figura 56	Mapa de geomorfología	117
Figura 57	Mapa de geología	118
Figura 58	Mapa de pendientes	119
Figura 59	Flujograma de vulnerabilidad	122
Figura 60	Mapa de manzanas expuestas a inundación	123
Figura 61	Inserción de datos iniciales al software RIVER	132
Figura 62	Resultados de dimensiones de dique con RIVER	133
Figura 63	Diseño de dique tramo 1	134

Figura 64	Diseño de dique tramo 2	135
Figura 65	Diseño de dique tramo 3	135
Figura 66	Mapa de inundación con dique	136
Figura 67	Descriptores versus numero de manzanas en el ámbito social	137
Figura 68	Descriptores versus Número de manzanas en el ámbito social	137
Figura 69	Descriptores versus Número de manzanas en el ámbito económico	138
Figura 70	Descriptores versus Número de manzanas en el ámbito económico	138
Figura 71	Descriptores versus Número de manzanas en el ámbito ambiental	139
Figura 72	Descriptores versus Número de manzanas en el ámbito ambiental	139
Figura 73	Mapa de riesgo	141
Figura 74	Resultados del riesgo.	142
Figura 75	Mapa de peligro	142
Figura 76	Resultados del peligro.	143
Figura 77	Mapa de Vulnerabilidad.	144
Figura 78	Resultados del vulnerabilidad.	145
Figura 79	Comportamiento del flujo de agua en diques laterales	146
Figura 80	Mapa de reducción de riesgo.	147
Figura 81	Resultados de reducción del Riesgo.	147
Figura 82	Mapa de reducción de peligro.	148
Figura 83	Resultados de reducción del peligro.	148
Figura 84	Mapa de reducción de Vulnerabilidad.	149
Figura 85	Resultados de reducción de vulnerabilidad.	149
Figura 86	Se observa una vista panorámica de la zona de estudio	160
Figura 87	Se observa el estacionamiento del GPS diferencial en la zona más alta para poder tener un mayor alcance de lectura	160
Figura 88	Levantamiento topográfico por la zona del puente Tinkuy	161
Figura 89	Vista de erosion de las riberas del río Tinkuy y daño de la estructura del puente Tinkuy	161
Figura 90	Cauce del río Sabogato, se observa las aguas tiene un tono oscuro por la gran contaminación de productos químicos	162
Figura 91	Entrega de frazadas y víveres a los afectados por la inundación en la ciudad de Llohegua	162
Figura 92	Vista del río Tinkuy horas después de su desborde, donde se observa el encauzamiento con maquinaria	163
Figura 93	Se observa una retroexcavadora ayudando a transportar personas y bienes muebles de los afectados	163

Figura 94	Modelo de encuesta	164
Figura 95	Modelo de encuesta	164
Figura 96	Descriptores versus Número manzanas	172
Figura 97	Descriptores versus Número de manzanas	172
Figura 98	Descriptores versus Número de manzanas	173
Figura 99	Descriptores versus Número de manzanas	173
Figura 100	Descriptores versus Número de manzanas	174
Figura 101	Descriptores versus Número de manzanas	174
Figura 102	Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 25 años.	193
Figura 103	Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 50 años.	193
Figura 104	Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 100 años.	194
Figura 105	Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 200 años.	194
Figura 106	Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 500 años.	195

Índice de tablas

	<i>Página</i>
Tabla 1	Fórmulas para hallar el tiempo de concentración 13
Tabla 2	Versiones de PISCO de precipitación anteriores y la versión de este reporte (2.0) . 16
Tabla 3	Valores de Kn para la prueba de datos dudosos. 21
Tabla 4	Factor de ajuste de la frecuencia de observación diarias 22
Tabla 5	Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje 26
Tabla 6	Coeficientes de duración lluvias de 1 a 48 horas según el MTC 32
Tabla 7	Coeficientes de duración lluvias de 1 a 24 horas Según Campos 32
Tabla 8	Clasificación de Condición de Humedad Antecedente (AMC) 38
Tabla 9	Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$) 39
Tabla 10	Rango de pendientes 50
Tabla 11	Población de la ciudad de Llochegua 50
Tabla 12	Población por grupo de edades 50
Tabla 13	Población por material predominante en pared 51
Tabla 14	Instituciones educativas en la ciudad de Llochegua año 2022 51
Tabla 15	Los valores de índice aleatorio para los diferentes “n” 55
Tabla 16	La escala ordinal de Comparación de SAATY 56
Tabla 17	VARIABLES e indicadores 66
Tabla 18	Vías de acceso a la ciudad de Llochegua 68
Tabla 19	Coordenadas del Punto de Aforo 70
Tabla 20	Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tinkuy 73
Tabla 21	Numero de Curva y Abstracción Inicial de la cuenca Tinkuy y Sabogato 76
Tabla 22	Tiempo de retardo y concentración determinado con el HEC-GeoHMS 77
Tabla 23	Calculo de tiempo de concentración y tiempo de retardo de la cuenca Tinkuy en general conformado por el río Tinkuy y Sabogato. 78
Tabla 24	Temperaturas máximas, mínimas y promedio áreal de la ciudad de Llochegua . . . 82
Tabla 25	Valores de precipitación de la cuenca Tinkuy 83
Tabla 26	Valores de precipitación de la cuenca Sabogato 84
Tabla 27	Resultados de análisis de saltos y tendencias en la cuenca Tinkuy 86
Tabla 28	Resultados de análisis de saltos y tendencias en la cuenca Sabogato 88
Tabla 29	Resultados de Prueba de bondad de Smirnov Kolmogorov para la cuenca Tinkuy . 90

Tabla 30	Resultados de Prueba de bondad de CHI Cuadrado para la cuenca Tinkuy	91
Tabla 31	Resultados de prueba de bondad de Smirnov Kolmogorov para la cuenca Sabogato	93
Tabla 32	Resultados de prueba de bondad de CHI Cuadrado para la cuenca Sabogato	94
Tabla 33	Precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno	97
Tabla 34	Comparación de Tormenta de diseño con diferentes métodos y para un tiempo de retorno de 100 años	98
Tabla 35	Comparación de tormenta de diseño para diferentes métodos para un tiempo de retorno=100 años	99
Tabla 36	Precipitación de diseño para la cuenca Tinkuy	100
Tabla 37	Precipitación de diseño, para la cuenca Sabogato	102
Tabla 38	Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 1	109
Tabla 39	Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 2	110
Tabla 40	Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 3	111
Tabla 41	Resumen de la peligrosidad	120
Tabla 42	Desarrollo de la peligrosidad	120
Tabla 43	Niveles de peligrosidad	121
Tabla 44	Estratificación del nivel de Peligro	121
Tabla 45	Resumen de las dimensiones parámetros y descriptores con sus pesos respectivos .	125
Tabla 46	Dimensión Social	126
Tabla 47	Dimensión Económica	126
Tabla 48	Dimensión Ambiental	127
Tabla 49	Niveles de vulnerabilidad	127
Tabla 50	Estratificación de los niveles de vulnerabilidad	128
Tabla 51	Calculo de los niveles de riesgo	129
Tabla 52	Niveles de riesgo	129
Tabla 53	Matriz de Riesgo	130
Tabla 54	Estratificación del nivel de Riesgo	131
Tabla 55	Desarrollo del parámetro de evaluación	166
Tabla 56	Desarrollo del parámetro precipitación anómala	167
Tabla 57	Ponderación de parámetros	168
Tabla 58	Desarrollo del parámetro Geomorfológico	169
Tabla 59	Desarrollo del parámetro Geológico	170
Tabla 60	Desarrollo del parámetro Pendiente	171
Tabla 61	Matriz de normalización de las dimensiones social, económica y ambiental	175
Tabla 62	Vector de priorización de los factores de la dimensión social, económica y ambiental.	175

Tabla 63	Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión social	176
Tabla 64	Matriz de normalización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión Social	177
Tabla 65	Matriz de normalización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión Económico	178
Tabla 66	Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión económico	179
Tabla 67	Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión ambiental	179
Tabla 68	Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión Ambiental	179
Tabla 69	Matriz de normalización del descriptor grupo etáreo, del factor fragilidad de la dimensión social	180
Tabla 70	Matriz de normalización del descriptor cercanía de la vivienda ala zona de peligro, del factor fragilidad de la dimensión social	181
Tabla 71	Matriz de normalización del descriptor Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad, del factor resiliencia de la dimensión social	182
Tabla 72	Matriz de normalización del descriptor Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades, del factor resiliencia de la dimensión social	183
Tabla 73	Matriz de normalización del descriptor Interés de participar en campañas de prevención del riesgo, del factor resiliencia de la dimensión social	184
Tabla 74	Matriz de normalización del Material predominante - pared, del factor fragilidad de la dimensión Económica	185
Tabla 75	Matriz de normalización del Material predominante - techo, del factor fragilidad de la dimensión Económica	186
Tabla 76	Matriz de normalización del Estado de conservación de la vivienda, del factor fragilidad de la dimensión Económica	187
Tabla 77	Matriz de normalización de ocupación principal (jefe de hogar), del factor resiliencia de la dimensión Económica.	188
Tabla 78	Matriz de normalización del Organización comunitaria, del factor resiliencia de la dimensión Económica	189
Tabla 79	Matriz de normalización del Manejo y disposición de residuos sólidos, del factor fragilidad de la dimensión Ambiental	190
Tabla 80	Matriz de normalización de conocimiento de reciclaje, del factor resiliencia de la dimensión Ambiental	191

Acrónimos

ANA	Autoridad Nacional del Agua
CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
CRED	Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres
DEM	Modelo Digital de Elevación
DGPS	Sistema de Posicionamiento Global Diferenciado
GEOCATMIN	Sistema de Información Geológico y Catastral Minero
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Información
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PAJ	Proceso de Análisis Jerárquico
PISCO	Interpolación Peruana de las Estaciones climatológicas e Hidrológicas
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIGRID	Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres
TIFF	Formato de Archivos de Imágenes con Etiquetas
UH	Unidad Hidrológica
VRAEM	Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro

Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

1.1.1 A nivel mundial

A nivel mundial, las inundaciones conforman el 44 % de las causas de desastres entre 2000 y 2019, lo que afectó a 1,600 millones de persona.(CRED, 2020, p. 17)

Por su parte, en 2020 hubo un 23 % más de inundaciones y un 18 % más muertes por este fenómeno que el promedio anual (promedio anual 163 eventos al año y 5,233 muertes). (WMO, 2021, p. 9)

Figura 1

Total de situaciones de desastres por tipo: 1980-1999 vs 2000-2019.



Fuente: Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED (2020).

1.1.2 A nivel país

Las inundaciones arrasan con todo a su paso ya sean vidas humanas o materiales. La inundación a causa de las precipitaciones anómalas se da en los meses de diciembre a marzo y es un problema periódico a cada año, las zonas más afectadas son la costa norte por el fenómeno del niño y la selva en general por tener una mayor precipitación. A nivel nacional, desde el 2003 hasta 2012, las inundaciones y fuertes lluvias afectaron de una forma u otra al 4,3 % de la población del país, según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 687.820 personas resultaron afectadas y 66.943 viviendas fueron arrasadas por el caudal de los ríos.

1.1.3 A nivel región

A nivel regional en el departamento de Ayacucho se a registrado 33 inundaciones por desborde de ríos según el ultimo reporte del compendio estadístico (INDECI, 2020).

En la localidad de Llochegua se pudo identificar quebradas donde existen viviendas que son susceptibles a inundaciones debido a que no existe un plan de desarrollo urbano integral por lo cual están expuestas a desborde del río Tinkuy en sus máximas crecidas. La población de Llochegua tampoco cuenta con estructuras que contengan las máximas avenidas y tampoco con la capacitación de gestión de riesgos de la población en general. La última emergencia desarrollada en la ciudad de Llochegua fue el 7 de enero del año 2021 según el COEN-INDECI (2021), donde se desbordó el río Tinkuy, no se reportan daños a la vida y a la salud de las personas, solos se reportaron daños materiales y viviendas colapsadas en los sectores Playa Hermosa, Playa Santa Teresa y Cuchipampa.

Figura 2

Vivienda Inundada en Llochegua ocurrido a las 3 am, el 7 de enero del año 2021



Fuente: Municipalidad de Llochegua

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Espacial

La presente investigación se realizó en la localidad de Llochegua, distrito de Llochegua, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho ubicada geográficamente en el Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) a unos 520 metros sobre el nivel del mar en promedio y recorre aproximadamente desde el puente Tinkuy hasta el río Apurímac.

Figura 3

Delimitación del área de estudio.



Fuente: Adaptado de Google Earth

Figura 4

Vista de los Ríos Tinkuy, Sabogato y Apurímac, conjuntamente con la zona de estudio la ciudad de Llochegua.



Fuente: Elaboración propia

1.2.2 Temporal

Las cuencas de los ríos Tinkuy y Sabogato por pertenecer a una zona de fuerte precipitación anómalas especialmente en el mes de diciembre hasta febrero por el cual el río Tinkuy alcanza su máxima avenida generando desborde del río y trayendo consigo problemas de tipo social, económico y ambiental.

En las siguientes figuras se observan fotografías históricas de los años 2009 y 2021, donde nos permite complementar información de las manzanas expuestas a inundación, así mismo nos permite conocer el comportamiento del río Tinkuy.

Figura 5

Imagen satelital del 2009



Fuente: Google Earth

Figura 6

Imagen satelital del 2021



Fuente: Google Earth

1.2.3 Temática y unidad de análisis

La temática es investigar los fenómenos de inundaciones debido a la precipitación anómala en la cuenca Tinkuy y Sabogato lo que genera el desbordamiento del río Tinkuy estos desbordamientos son modelados con el software HEC-RAS a fin de elaborar las zonas de riesgo y como mitigarla proponiendo estructuras de contención.

La unidad de análisis es proponer estructuras hidráulica de contención con el fin de reducir el riesgo por inundación. La metodología para determinar el riesgo sera de acuerdo a los lineamientos del [CENEPRED](#).

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo son las estructuras de contención en las zonas geográficas para disminuir el riesgo por inundación generado por los ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua, Huanta - Ayacucho?

1.3.2 Problemas específicos

- ① ¿Cómo es el modelo de inundación para disminuir el riesgo por inundación?

- ② ¿Cómo es el nivel social para disminuir el riesgo por inundación?
- ③ ¿Cómo es el nivel económico para disminuir el riesgo por inundación?
- ④ ¿Cómo es el nivel ambiental para disminuir el riesgo por inundación?
- ⑤ ¿Cómo es la morfometría del río para disminuir el riesgo por inundación?

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

En la zona del VRAEM en especial en el distrito de Llochegua presento torrenciales precipitaciones que conlleva al desborde de las riberas de los ríos Tinkuy y Sabogato provocando daños materiales en estas zonas hasta la actualidad. Se desconoce un estudio de riesgo integral proponiendo medidas estructurales y no estructurales para su reducción de riesgo. Luego de diseñar los diques de contención y proponer mejoras a la vulnerabilidad se determinara las zonas de alto riesgo mitigable y no mitigable con lo cual se tomarán medidas de prevención y reducción de desastres debido a fenómenos naturales de origen fluvial.

Con el análisis de la vulnerabilidad se determinará cuan vulnerable se encuentra la población de Llochegua frente a los fenómenos naturales donde se estudiará los elementos expuestos por manzana de tipo: social, económico y ambiental.

Con el análisis de la peligrosidad se determinará la mayor o menor predisposición a que un evento de inundación suceda en el distrito de Llochegua.

1.4.2 Importancia

Esta investigación es importante porque en el Perú los desastres naturales por acción de lluvias intensas son frecuentes en los meses de enero a marzo especialmente en la zona del VRAEM donde las precipitaciones son intensas generando desbordes de ríos, al identificar los niveles de riesgos podemos prevenir la generación de nuevos riesgos especialmente la zonas que se encuentren en muy alto y alto riesgo con el fin de reducir los existentes.

1.5 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones fueron que no se pudo hacer el levantamiento topográfico cómodamente por la frondosidad de la vegetación. El levantamiento topográfico es importante porque nos detalla la superficie del terreno para poder realizar un modelamiento con mayor precisión de la inundación.

No se contó con estaciones dentro de la cuenca ni cercanas a la cuenca de estudio.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Proponer estructuras de contención en las zonas geográficas a fin de disminuir el riesgo por inundación generado por los ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua, Huanta - Ayacucho

1.6.2 Objetivos específicos

- ① Proponer el modelo de inundación a fin de disminuir el riesgo por inundación.
- ② Proponer niveles sociales a fin de disminuir el riesgo por inundación.
- ③ Proponer niveles económicos a fin de disminuir el riesgo por inundación.
- ④ Proponer los niveles ambientales a fin de disminuir el riesgo por inundación.
- ⑤ Proponer la morfometría del río a fin de disminuir el riesgo por inundación.

Marco teórico

2.1 Antecedentes

Los antecedentes se refieren a investigaciones previas que han sido realizadas respecto al tema objeto de estudio. En este sentido, fueron revisadas las siguientes tesis.

2.1.1 Investigaciones internacionales

[Estrada \(2020\)](#), en su tesis de investigación: “Evaluación Del Riesgo De Inundación Fluvial En La Cuenca Baja Del Río Esmeraldas”, elabora la tesis con el objetivo de evaluar el riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas mediante teledetección de imágenes RADAR Sentinel y Google Earth Engine para la elaboración de la inundación. Donde obtuvo mapas de la distribución espacial que demuestran que el 10 % del área de estudio se inundó en el evento en febrero del 2020 y también se determinó que el 80 % del área de estudio presenta moderada vulnerabilidad, donde representada geográficamente en la zona rural y el 20 % corresponde a la condición de baja vulnerabilidad ubicada en las zonas urbanas.

[Londoño \(2021\)](#), en su tesis “Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía”, elaboró con el objetivo de evaluar el riesgo del río Supía que colinda con el cuerpo urbano del municipio de Supía, Caldas donde utilizó para el modelo hidráulico IBER 2D para la amenaza y el sistema CAPRA para el riesgo donde determinó curvas de excedencia de pérdidas o de pérdida máxima probable las cuales sirvieron para la planificación territorial y la gestión del riesgo en determinado lugar.

2.1.2 Investigaciones nacionales

[Callirgos \(2020\)](#) en su tesis de investigación: “Evaluación De Riesgos Por Deslizamiento Rotacional De Tierra Mediante El Análisis De Peligrosidad Y Vulnerabilidad En El Centro Poblado De Cuenca - Huancavelica”, elaboró una investigación con el objetivo de evaluar deslizamiento de tipo rotacional y así contribuir en el desarrollo sostenible del centro poblado Cuenca siguiendo las normativas del CENEPRED.

Aroni y Pareja (2020) en su tesis de investigación: “Gestión De Datos Con Tecnología Geomática Para La Mitigación Del Riesgo De Desastres Por Fenómenos Naturales”, elaboró la tesis con el objetivo de proponer un plan de control de mitigación de riesgo de desastres debido a fenómenos naturales de inundación debido a la crecida del río Rímac y sus consecuencias de riesgo en el distrito de Chaclacayo.

2.1.3 Antecedentes regionales

Prado (2016) en su tesis de investigación: “Pronóstico de Caudales Mediante el Modelo Matemático Bidimensional Iber Aplicado en la Cuenca del Río Vinchos - Ayacucho”, elaboro la tesis con el objetivo de modelar una inundación con el programa Iber utilizando plataforma SIG en la localidad de Vinchos con el propósito de pronosticar caudales.

Gonzales (2016) en su tesis de investigación: “Análisis del riesgo por inundaciones en la cuenca del río yucaes sector Muyurina - Ayacucho, 2014”, elaboró la tesis con el objetivo de modelar una inundación con el programa IBER utilizando plataforma SIG en la localidad de Niño Yucaes, cuenca del río Yucaes con el fin de determinar el riesgo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Levantamiento topográfico

Es el estudio de un conjunto de principios y procedimientos diseñados para representar gráficamente la superficie de la Tierra y su forma y detalles, que pueden ser de tipo natural o artificial. Se hizo un trabajo topográfico Planialtimétrico donde se recabo información de superficie tanto en el plano horizontal y vertical obteniendo una completa representación topográfica fundamental para el modelamiento hidráulico.

El levantamiento topográfico se hizo con un [Sistema de Posicionamiento Global Diferenciado \(DGPS\)](#) LEICA Geosystems AG Modelo CS 2037G Disto, donde se estacionó 1 punto de control en la parte más alta de la zona y cercana al lugar de trabajo

2.2.1.1 Topografía

Los trabajos de topografía tienen por finalidad obtener información de la superficie del terreno, de los accidentes físicos y de las obras existentes mediante mediciones lineales y angulares de planimetría altimetría y realizar los cálculos respectivos y procesarlos mediante programas de la especialidad, para obtener el plano topográfico respectivo, que permita al tesista elaborar los planos de las obras de ingeniería, propuesto en el en la presente tesis.

Es recomendable hacer levantamientos topográficos con GPS diferencial en la selva porque en una zona boscosa la longitud de onda del dron puede chocar un árbol y tomar la lectura del árbol y no de la superficie. Se realizó el levantamiento topográfico a la zona de estudio incluyendo la ciudad de Llohegua, el río Tinkuy y el río Sabogato.

2.2.1.2 Modelo digital de elevación

El modelo digital de elevaciones llamado también DEM por sus siglas en inglés *Digital elevation model*, es la representación ráster de una superficie cualquiera de la tierra, la precisión está determinada por la resolución (dimensión de un pixel).

Este DEM se obtuvo a través del levantamiento topográfico donde se procesó los datos en el auto Cad civil 3D y posteriormente se convirtió en modelo ráster a través del programa Global Mapper 20.

2.2.2 Cuenca hidrográfica

Se denomina como parte de superficie donde la precipitación se acumula en una determinada área y sigue su curso a través de los ríos culminando en un solo río que es la desembocadura, una cuenca puede estar conformada por varias cuencas o subcuencas como afirman los siguientes autores.

Según Villón (2002, p. 21) manifiesta que:

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido.

2.2.2.1 Parámetros morfológicos de cuencas

Delimitación de cuencas:

Primeramente se descarga datos del ASF Alaska los DEMs del lugar de interés en este caso la cuenca Tinkuy y Sabogato.

Los valores están contenidos en un formato ráster estructurado regularmente (TIFF) que se genera utilizando hardware y software informático especializado.

Para el delimitado de una cuenca se utilizó la página de ASF, la ASF es parte del Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbanks, descarga, procesa, archiva y distribuye datos de teledetección a usuarios científicos de todo el mundo, promueve, facilita y participa en el avance de la teledetección para apoyar la investigación, las operaciones de campo y las aplicaciones comerciales nacionales e internacionales en ciencias de la Tierra.

La ASF nos da pixeles de 12.5 metros suficiente para hacer delimitaciones de cuencas hidrográficas.

Área de la cuenca:

Delimitando la cuenca a una región proyectada sobre un plano horizontal se obtiene la superficie de la cuenca. Suelen ser muy asimétricas, por lo que resulta imposible calcularlas con métodos geométricos. Pero hay formas de calcularlas: mediante una balanza analítica, un planímetro o técnicas computacionales (Aroni y Pareja, 2020).

Perímetro de la cuenca:

“Se refiere a la longitud del contorno de la cuenca proyectada en un plano horizontal, el valor del perímetro se expresa en kilómetros” (Benítez, 2016, p. 19)

Longitud axial:

“La longitud axial se define como la distancia de mayor dimensión de la cuenca, medida desde la desembocadura hasta el límite extremo del parteaguas de la cuenca, paralela al cauce principal en línea recta” (Benítez, 2016, p. 20)

Ancho promedio:

Según Benítez (2016, p. 20) “es la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la misma”.

Se opera con la ecuación siguiente:

$$B = \frac{A}{LA} \quad (2.1)$$

Donde:

B = Ancho Promedio (km)

A = Área de la cuenca (km^2)

LA = Longitud axial de la cuenca (km)

Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc): “Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo que tenga igual superficie que la de la cuenca” (Benítez, 2016, p. 19).

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.2)$$

Donde:

Kc = Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (adimensional)

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km^2)

“El índice de compacidad, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía; lo cual indica que entre más bajo sea Kc mayor será la concentración de agua” (Villón,

2002).

Longitud de cauce principal “La longitud de la cuenca está definida como el máximo recorrido de la escorrentía de la cuenca o como la distancia entre la fuente más lejana y el nudo de aforo” (Villón, 2002).

Pendiente del cauce principal “Es la relación entre el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo”(Villón, 2002).

Tiempo de concentración “Se define como el tiempo necesario para que el agua fluya desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida” (Villón, 2002).

Las fórmulas de calculo muestran en la tabla siguiente.

► **Tabla 1**

Fórmulas para hallar el tiempo de concentración

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947.L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525.(0.0000276.i + c).L^{0.33}}{S^{0.333}.i^{0.667}}$ <p>i = intensidad de lluvia, mm/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, m. S = pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.</p>	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C).L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>C = coeficiente de escorrentía del método racional. L = longitud del flujo superficial, m. S = pendiente de la superficie, m/m</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) 2012.

2.2.3 Precipitación

Según Villón (2002) “es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser de forma: lluvia, granizada, garúas, nevadas”.

2.2.4 Medición de la precipitación

“Se representa en milímetros y se calcula como la altura de la lámina de agua (hp). Si la precipitación permaneciera donde cayó, esta altura de lámina de agua representa el agua que se acumularía en una superficie horizontal”(Villón, 2002).

Para la presente tesis se optó desarrollar con el producto PISCO SENAMHI V 2.0, que es recomendable para desarrollar caudales máximos.

2.2.4.1 PISCO SENAMHI

Según Aybar et al. (2017) manifiesta:

El SENAMHI, a través de su Dirección de Hidrología - DHI, ha desarrollado desde las 2013 investigaciones para evaluar la calidad de los diferentes productos satelitales disponibles a nivel global, para lo cual realizó un arduo trabajo de validación con información de estaciones terrenas, obteniendo resultados óptimos para algunas zonas del país y bajos para otras. La meta propuesta que inspiró dichos trabajos fue mejorar la representación espacial de lluvias en el Perú usando los datos del sensoramiento remoto como covariables para su asimilación en modelos hidrológicos y desarrollo de productos para monitoreo de sequías e inundaciones.

A través de su Dirección de Hidrología (DHI), el SENAMHI viene realizando desde 2013 una investigación para evaluar la calidad de los distintos productos satelitales que se ponen a disposición a escala mundial. Para ello, emprendió un laborioso proceso de validación a partir de datos provenientes de estaciones terrestres, arrojando resultados excelentes para algunas regiones del país, pero mediocres para otras. El objetivo propuesto que sirvió de inspiración para este trabajo fue mejorar la representación espacial de las precipitaciones en Perú utilizando datos de teledetección como covariables para su incorporación en modelos hidrológicos y la creación de productos para el seguimiento de sequías e inundaciones.

Esta experiencia ganada en todo este proceso tuvo su mejor momento a mediados del año 2014 cuando se obtiene para el Perú la primera base de datos espacial de precipitación a paso de tiempo mensual, a una resolución de grilla de 0.05° para una serie que se inicia en enero de 1981 hasta el presente. Dichos datos son parte de la base de datos denominada PISCO (*Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations*) “Interpolación peruana de las estaciones climatológicas e hidrológicas de Senamhis”, siglas en inglés para su difusión internacional. Para la construcción del producto PISCOp fue necesario utilizar como covariable, la base de datos global del proyecto CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data).

2.2.4.2 Metodología para la generación de PISCO

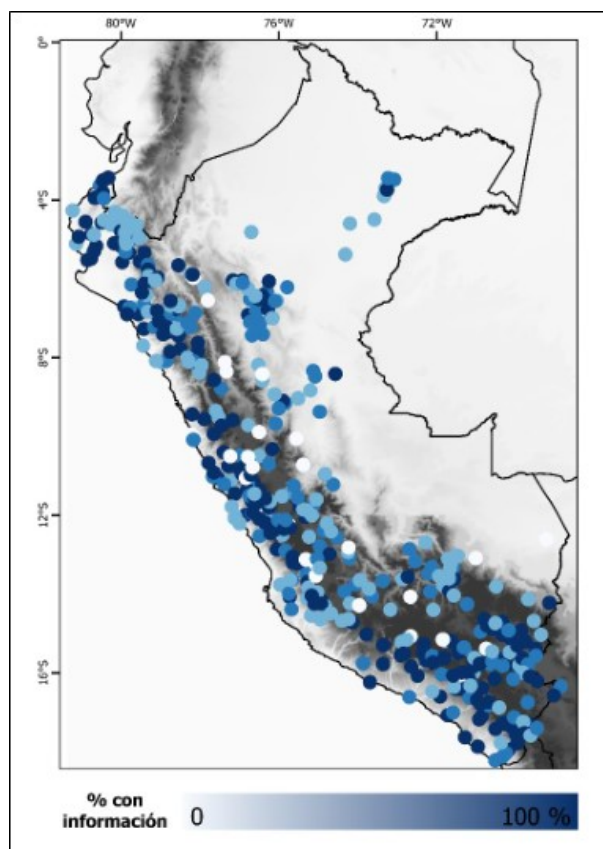
La producción de datos de PISCO tanto diarias(PISCOpd) y mensual(PISCOpm) se dividen en 3 procesos:

- Control de calidad de la información pluviométrica.
- Análisis exploratorio (AE) de la información satelital.
- Mezcla de datos basado en técnicas geoestadísticas (mensual) y determinísticas (diario).

PISCOp se desarrolló utilizando una red nacional de estaciones con porcentajes de datos por estación teniendo en cuenta los años 1981-2016, como muestra la siguiente figura:

Figura 7

Red de estaciones a nivel del territorio nacional



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SE-NAMHI)

2.2.4.3 La validación del producto PISCOp

Según Aybar et al. (2017) manifiesta:

El método de mezcla de datos utilizados en PISCOp parten de la hipótesis de que la variabilidad espacial de la precipitación es bien capturada por el producto CHIRPM, por lo que se espera que los residuales presente autocorrelación espacial significativa (por lo menos a paso de tiempo mensuales).

2.2.4.4 Versiones liberadas del producto PISCO

Existen tres versiones del producto de precipitación PISCO antes de la que se detalla en esta presente tesis.

► **Tabla 2**

Versiones de PISCO de precipitación anteriores y la versión de este reporte (2.0)

Versión	Covariable	Escala temporal	Método de Interpolación	Imputación	Observaciones	Cobertura temporal
1.0	CHIRPS	Mensual	KED	NO	Fuertes quiebres artificiales	1981-2014
1.1	CHIRPS	Mensual y diaria	KED, IDW y RIDW	NO	Fuertes quiebres artificiales	1981-2015
1.2	CHIRP	Mensual y diario	RIDW	SI	Quiebres Leves artificiales	1981-2016
2.0	CHIRP TRMM2A25	Mensual y diario	KED y RIDWO	SI	Quiebres leves artificiales	1981-2016

Nota. Fuente: SENAMHI

Donde KED es Kriging con deriva externa, RIDW es Regresión con Interpolación de los Residuos por Inverso de la Distancia, IDW es Método de ponderación inverso a la distancia.

Aybar et al. (2017) manifiesta que:

Las primeras versiones de PISCO precipitación (1.0 y 1.1) se caracterizan por la falta de completación de la serie de datos, lo cual repercute directamente en la generación de quiebres artificiales sobre todo a partir del 2010.

La versión 1.0 solo genera datos mensuales, los datos de pluviómetros no presentan completación por lo que se evidencia la formación de fuertes quiebres sobre todo a partir del 2010. Esto se debe también a que CHIRPS solo considera mediciones de pluviómetros para el periodo 1981-2010, este tipo de inconsistencia ha sido reportada por diversos usuarios sobre todo para los Andes y la Amazonia. Actualmente el producto PISCO v1.x no presenta soporte para su continuidad.

En la segunda versión de PISCO (descrita en este reporte) se generan datos mensuales y diarios, el principal cambio radica en que el control de calidad ha sido mucho más riguroso, además de completar los datos faltantes tanto para las series diarias como las mensuales la covariable cambia de CHIRPS a CHIRPM a fin de mejorar la predicción de las intensidades.

2.2.5 Análisis de datos de precipitación

Luego de obtener las cifras descargadas de precipitación seguimos a desarrollar el análisis de consistencia de saltos y tendencias mediante el software libre TREND.

2.2.5.1 Software TREND

Según (Chiew y Siriwardena, 2005):

El objetivo de TREND es facilitar la realización de análisis estadísticos de tendencias, cambios y aleatoriedad en datos hidrológicos y de otras series. La tendencia tiene 12 pruebas estadísticas, basadas en el taller de expertos [Organización Meteorológica Mundial \(OMM\)](#) de la UNESCO sobre la detección de tendencias/cambios y en las recetas hidrológicas de publicación Hidrológica de la Hidrología de captación.

Los saltos nos ayudan a verificar series hidrológicas continuas o no continuas y analizar cuando pasan de un estado a otro, mediante la obtención de la desviación estándar y la media, de cada periodo seleccionado, para luego realizar una corrección estadística.

Según Villón (2002) la tendencia es:

Un componente determinista del tiempo, definido como un cambio sistemático y continuo en una muestra de información de precipitación que afecta la distribución y dependencias de la serie; estos cambios pueden ser ascendente o descendente, pero lo más importante es que se pueden determinar gráficamente.

La tendencia tiene 12 pruebas estadísticas que pueden usarse para probar tendencia, cambio y aleatoriedad en datos hidrológicos y otras series de tiempo:

1. Mann-Kendall (prueba no paramétrica de tendencia)
2. RHO de Spearman (prueba no paramétrica de tendencia)
3. Regresión lineal (prueba paramétrica de tendencia)
4. Cusum sin distribución (prueba no paramétrica para salto de paso en la media)
5. Desviación acumulativa (prueba paramétrica para saltar en la media)
6. Ratio de probabilidad de Worsley (prueba paramétrica para salto de paso en la media)
7. Suma de rango (prueba no paramétrica para la diferencia en la mediana de dos períodos de datos)
8. T de student (prueba paramétrica para la diferencia en la media de dos períodos de datos)

9. Crossing mediano (prueba no paramétrica de aleatoriedad)
10. Puntos de inflexión (prueba no paramétrica para aleatoriedad)
11. Diferencia de rango (prueba no paramétrica para aleatoriedad)
12. Autocorrelación (prueba paramétrica para aleatoriedad).

Las **pruebas paramétricas** suponen que los datos de la serie temporal y los errores (desviaciones de la tendencia) siguen una distribución particular (generalmente distribución normal). Las pruebas paramétricas son útiles ya que también cuantifican el cambio en los datos (por ejemplo, magnitud del cambio en la media o gradiente de la tendencia). Las pruebas paramétricas son generalmente más poderosas que las pruebas no paramétricas. Cuando se viola la suposición de datos normalmente distribuidos, el análisis de remuestreo se puede utilizar para estimar el nivel de significación o los valores estadísticos de prueba crítica para diversos niveles de significancia.

Las **pruebas no paramétricas** “son generalmente libres de distribución. Detectan tendencia/cambio, pero no cuantifican el tamaño de la tendencia/cambio. Son muy útiles porque la mayoría de los datos de series temporales hidrológicas normalmente no se distribuyen” (Chiew y Siriwardena, 2005).

A continuación, mostramos las pruebas más importantes para este caso.

Test de Mann-Kendall:

Este enfoque comprueba si hay tendencias en los datos de las series temporales. Este test es una prueba no paramétrica.

En la literatura de Chiew y Siriwardena (2005) manifiesta que: “Los n valores de la serie temporal (X1, X2, X3,, Xn) se reemplazan por sus rangos relativos (R1, R2, R3,, Rn) (desde 1 para el más bajo hasta n)”.

El estadístico de prueba S es:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n = \text{sgn}(R_i - R_{i-1}) \quad (2.3)$$

Donde: $\text{sgn}(x)=1$ for $x >0$, $\text{sgn}(x)=0$ for $x =0$, $\text{sgn}(x)= -1$ for $x <0$. Si la hipótesis nula H_0 es verdadera, entonces S tiene una distribución aproximadamente normal con:

$U=0$, $\sigma = n(n - 1)(2n + 5)/18$, Por lo tanto el estadístico Z es igual :

$$Z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}} \quad (2.4)$$

“los valores críticos del estadístico de prueba para varios niveles de significación se pueden obtener de las tablas de probabilidad normal. Un valor positivo de S indica que hay una tendencia creciente y viceversa”(Chiew y Siriwardena, 2005).

Prueba Rho de Spearman: Según Chiew y Siriwardena (2005) manifiesta que:

Esta es una prueba basada en rangos que determina si la correlación entre dos variables es significativa. En el análisis de tendencias, una variable se toma como el tiempo en sí mismo (años) y la otra como los datos de la serie temporal correspondiente.

Al igual que la prueba de Mann-Kendall, los valores de las series de tiempo n se reemplazan por sus rangos.

El estadístico de prueba ρ_s es el coeficiente de correlación, que se obtiene de la misma forma que el coeficiente de correlación muestral habitual, pero utilizando rangos:

$$\rho_s = \frac{S_{XY}}{(S_X S_Y)^{0.5}} \quad (2.5)$$

Donde:

$$S_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})$$

y X_i (tiempo), Y_i (variable de interés), \bar{X} e \bar{Y} se refieren a los rangos (\bar{X} , \bar{Y} , S_X y S_Y tienen el mismo valor en un análisis de tendencia).

$P_S * \sqrt{n - 1}$, este valor para Chiew y Siriwardena (2005) “tiene una distribución aproximadamente normal con una media de 0 y una varianza de 1 (los valores estadísticos de prueba críticos para varios niveles de significación se pueden obtener de las tablas de probabilidad normal)”.

Prueba gratuita de distribución CUSUM: Según Chiew y Siriwardena (2005) “Este método prueba si las medias en dos partes de un registro son diferentes (para un tiempo de cambio desconocido). Es una prueba no paramétrica (libre de distribución)”.

Dada una serie de datos de tiempo $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n)$, el estadístico de prueba se precisa como:

$$V_K = \sum_{n=1}^k \text{sgn}(X_i - X_{median}) \quad (2.6)$$

Siendo: $K= 1,2,3,\dots,n$

Donde: $\text{sgn}(x)=1$ for $x >0$, $\text{sgn}(x)=0$ for $x =0$, $\text{sgn}(x)= -1$ for $x <0$.

Si la hipótesis nula H_0 es verdadera, entonces S tiene una distribución aproximadamente normal con: x_{median} es el valor mediano del conjunto de datos X_i .

La distribución de V_K sigue la estadística de dos muestras de Kolmogorov-Smirnov ($KS = (2/n)mx. |V_K|$) con los valores críticos de máx. $|V_K|$) dada por:

$$\alpha = 0.1 \rightarrow 1.22\sqrt{n} \quad (2.7)$$

$$\alpha = 0.05 \rightarrow 1.36\sqrt{n} \quad (2.8)$$

$$\alpha = 0.01 \rightarrow 1.63\sqrt{n} \quad (2.9)$$

“Un valor negativo de $|V_K|$ indica que la última parte del registro tiene una media más alta que la primera parte y viceversa” (Chiew y Siriwardena, 2005) .

2.2.5.2 Prueba de datos dudosos

Según V. Chow et al. (1994) manifiesta:

El método del Water Resources Council (1981) recomienda la realización de ajustes de estos datos dudosos. Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La inclusión o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas. De acuerdo con el Water Resources Council (1981) si la asimetría de la estación es mayor que +0,4 se considera primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de la estación es menor que -0,4 primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Cuando la asimetría de la estación se encuentre entre $\pm 0,4$ deben aplicarse pruebas para detectar dados dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

$$Y_H = \bar{Y} + K_n S_y \rightarrow \text{Datos dudosos altos.} \quad (2.10)$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_n S_y \rightarrow \text{Datos dudosos bajos.} \quad (2.11)$$

Donde:

- Y_H : Banda superior de los logaritmos de los valores de caudales o precipitaciones.
- Y_L : Banda inferior de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.
- y : Media aritmética de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.
- K_n : Coeficiente que depende del tamaño de la muestra caudales o precipitaciones.
- S_y : Desviación estándar de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

V. Chow et al. (1994) manifiesta que:

Los valores de K_n dados en la siguiente tabla se usan en pruebas para detectar datos dudosos en el nivel 10 % de significancia en información normalmente distribuida. Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que y_H , entonces se consideran como datos dudosos altos. Si existe información disponible que indica que un dato dudoso alto es el máximo sobre un periodo extendido, el dato dudoso es excluido del análisis. Si no hay disponibilidad de información histórica útil para comparar con los datos dudosos altos, entonces estos deben ser retenidos como parte del registro sistemático.

► **Tabla 3**

Valores de K_n para la prueba de datos dudosos.

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Nota. Fuente: Ven Te Chow, 1994

2.2.5.3 Evaluación de datos pluviométricos para el análisis de frecuencia

Según la OMM (2011) manifiesta que:

Dado que los datos de precipitación de lluvia son obtenidos a horas de observación fijas (por ejemplo, horas enteras), no siempre permitirán conocer las cantidades máximas verdaderas durante el período deseado. Así, por ejemplo, estudios efectuados a partir de millares de

años-estación de datos de precipitación de lluvia indican que, multiplicando por 1,13 las cantidades máximas anuales de lluvia horarias o diarias de un único intervalo de observación fijo comprendido entre 1 y 24 horas, se obtendrán valores cercanos a los obtenidos mediante un análisis de máximos verdaderos. Los ajustes serán menores si lo que se desea determinar son las cantidades máximas observadas para dos o más intervalos de observación fijos, como se indica en la tabla N° 4 (Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 1989). Así, para determinar las cantidades máximas en series de 6 y 24 horas determinadas mediante 6 y 24 incrementos horarios fijos consecutivos, los factores de ajuste necesarios serán tan solo 1,02 y 1,01, respectivamente. Estos factores, aplicados a los resultados de un análisis de frecuencia de series máximas anuales, permitirán resolver el problema de las horas de observación fijas.

Tabla 4

Factor de ajuste de la frecuencia de observación diarias

Número de observaciones /día	1	2	3-4	5-8	9-24	> 24
Factor de ajuste	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Nota. Fuente: OMM (2011)

2.2.6 Funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología

Según V. Chow et al. (1994) manifiesta que:

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de un evento extremo esta inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

Para la presente tesis se a utilizado el programa Hydrognomon que es de libre distribución donde sus características serán descritas a continuación.

2.2.6.1 Hydrognomon

El programa Hydrognomon analiza estadísticamente las series de datos y evalúa el ajuste de las funciones de distribución.

Según Kozanis et al. (2010) manifiesta que “El programa Hydrognomon es un software libre para el análisis y procesamiento de series hidrológicas desarrollado por el *ITIA research group* de la *National Technical University of Athens*”.

“Este programa permite la aplicación de muchas funciones de distribución y de muchos métodos de ajuste como es el test Chi Cuadrado, el test Kolmogorov-Smirnov y el test visual” (Chetyrina, 2017).

Los principales objetivos del programa son los siguientes:

- El análisis y proceso de datos hidrológicos.
- La representación tabular de los datos de diversas formas.
- El análisis de frecuencias, análisis multivariable, predicciones y análisis de curvas IDF mediante herramientas adecuadas.
- El ajuste de funciones de distribución y de variables extremas, con muchas opciones: Normal, LogNormal, Galton, Exponencial, Gamma, Pearson III, LogPearson III, Gumbel Max, EV2-Max, Gumbel Min, Weibull, GEV-Max, GEV-Min, Pareto, GEV-Max (kappa specified), GEV-Min (kappa specified).

“Este último apartado es la característica más importante para el desarrollo de este trabajo, ya que realiza automáticamente el ajuste de la serie de numerosas funciones”(Chetyrina, 2017).

2.2.6.2 Descripción de las funciones de distribución

Cabe destacar que para realizar análisis de frecuencias se pueden utilizar tanto técnicas paramétricas como no paramétricas.

Métodos no paramétricos Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

Los métodos no paramétricos utilizan directamente la muestra para modelar la serie de datos. Dentro de estos métodos el más simple es el ajuste gráfico de los datos de la muestra a una curva, representados en papel de probabilidad, con lo que se establece una relación entre la variable y el periodo de retorno. La aplicación de este método exige asignar a cada uno de los datos una determinada probabilidad muestral que permita representarlos en un determinado papel de probabilidad, siendo habitual el uso del denominado “papel Gumbel”. Dos de las más utilizadas es la Weibull, ecuación (2.12) y la Gringorten, ecuación (2.13).

$$Fn(Xi) = \frac{i}{N + 1} \quad (2.12)$$

$$Fn(Xi) = \frac{i - 0.44}{N + 0.12} \quad (2.13)$$

Métodos Paramétricos Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

Los métodos paramétricos modelan la serie de datos mediante fórmulas algebraicas basadas en unos parámetros que es preciso ajustar a partir de la muestra. Hay numerosas leyes de distribución que se utilizan habitualmente, a continuación, se presentan las que utiliza Hydrognomon: Normal, LogNormal, Galton, Exponencial, Gamma, Pearson III, LogPearson III, Gumbel Max, EV2-Max, Gumbel Min, Weibull, GEV-Max, GEV-Min, Pareto, GEV-Max (kappa specified), GEV-Min (kappa specified).

2.2.6.3 Selección de la función de distribución y métodos de ajuste

Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

El proceso de selección para obtener la función de distribución de mejor ajuste ha sido una importante labor, puesto que este apartado ha sido uno de los más costosos, debido a la importancia que requiere el realizar correctamente el ajuste visual, ya que a veces los test estadísticos para la bondad de ajuste no proporcionan los mejores ajustes y la combinación de los dos métodos proporciona el mejor ajuste.

a) Selección visual.

Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

Se observan visualmente las funciones que mejor se adaptan, para ello se realiza una representación gráfica mediante el programa Hydrognomon de la precipitación máxima en función del periodo de retorno. Se comprueba visualmente el ajuste de todos los puntos del gráfico y se establece una puntuación de cada función de ajuste del 1 al 5 (siendo 1 el peor ajuste y el 5 el mejor) siguiendo siempre el mismo criterio visual. Con ello se eligen las tres funciones de distribución que mejor se ajustan para cada serie de datos.

b) Test de bondad de ajuste

Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

La bondad de un ajuste se puede hacer de forma visual, pero éste, aunque puede ser orientativo, no es muy riguroso. Hay diferentes métodos estadísticos para determinar la bondad de un ajuste, los más conocidos son, el de la Chi Cuadrado y el de Kolmogorov-Smirnov. Para el análisis de una población partiendo de la información obtenida mediante una o varias muestras es preciso realizar determinados supuestos o hipótesis estadísticas acerca de las mismas.

“Por lo tanto, utilizando las dos pruebas de bondad de ajuste realizadas con el programa Hydrognomon la prueba de Chi-cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov se eliminan las funciones de peor ajuste tras una conclusión visual”. (Chetyrina, 2017).

Test Chi Cuadrado Según Chetyrina (2017) “Es una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre las frecuencias observadas (f_0) y las calculadas (f_c) mediante una distribución teórica dada por el estadístico X^2 ”, siendo:

$$x^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_0 - f_c)^2}{f_c} \quad (2.14)$$

Donde: $\sum f_0 = \sum f_c$.

Según Chetyrina (2017) manifiesta que:

Si es estadístico $X^2 = 0$ quiere decir que las distribuciones teórica y real se ajustan a la perfección. En cambio, si $X^2 > 0$, difieren. La distribución de este estadístico se puede asimilar a una distribución Chi Cuadrado con $(k - n - 1)$ grados de libertad; siendo k el número de intervalos y n el número de parámetros de la distribución teórica. Esta función se encuentra tabulada.

El Numero de clase es determinado mediante la siguiente formula redondeada al entero mayor: $NC = 1.33LN(ND) + 1$, donde ND es el número de datos.

Test Kolmogorov-Smirnov Según Chetyrina (2017) manifiesta:

Este método consiste en obtener la diferencia máxima, en valor absoluto, entre el valor de la función no paramétrica, $F_n(x)$, que es el valor equivalente a la frecuencia observada en la muestra, y la paramétrica, que es el valor de la función de distribución considerada, $F(x)$, para cada valor de caudal observado y ordenado. Si, para un determinado nivel de significación, este valor es superior al estadístico de Kolmogorov- Smirnov, que está tabulado, la hipótesis se rechaza.

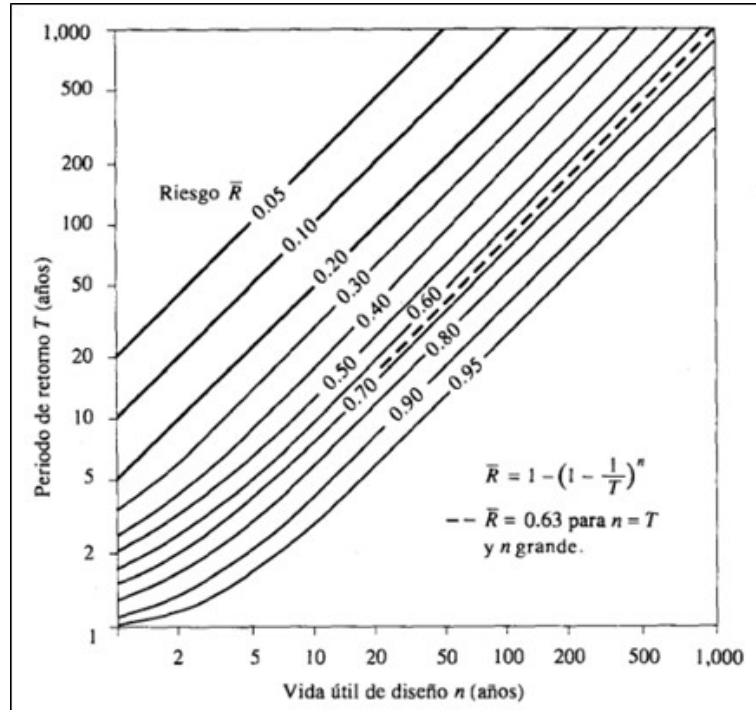
2.2.7 Periodo de retorno

Según MTC (2012) manifiesta que:

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por: $R = 1 - (1 - 1/T)^n$. Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra.

Figura 8

Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.



Fuente: Hidrología Aplicada Ven te Chow, 1994

El MTC (2012) “recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje”:

Tabla 5

Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Nota. Fuente: MTC, 2012

2.2.8 Precipitación media sobre un área o una cuenca

“En general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos” (Villón, 2002).

Para calcular la precipitación media de una tormenta, existen tres métodos de uso generalizado que se mencionan a continuación:

2.2.8.1 Promedio aritmético

Consiste en calcular la media aritmética de las alturas de precipitación comunicadas por las estaciones situadas dentro de la zona.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

P_{med} = precipitación media de la zona o cuenca.

P_i = precipitación de la estación i .

n = número de estaciones dentro de la cuenca.

La cantidad de estaciones accesibles, su ubicación y el patrón de precipitaciones analizado influyen en la precisión de este criterio. Aunque es el enfoque más sencillo, sólo produce resultados precisos cuando hay varios pluviómetros (Villón, 2002).

2.2.8.2 Polígono de Thiessen

“Para este método, es necesario conocer la localización de las estaciones en la zona bajo estudio, ya que, para su aplicación, se requiere delimitar la zona de influencia de cada estación, dentro del conjunto de estaciones” (Villón, 2002).

Según (Villón, 2002) el criterio consiste en:

1. Ubicar las estaciones, dentro y fuera de la cuenca.
2. Unir las estaciones formando triángulos, procurando en lo posible que estos sean acutángulos (ángulos menores de 90°).
3. Trazar las mediatrices de los lados de los triángulos, formando polígonos. (Por geometría elemental, las mediatrices correspondientes a cada triángulo, convergen en un solo punto. En un triángulo acutángulo, el centro de mediatrices, está ubicada dentro del triángulo, mientras que, en un obtusángulo, está ubicada fuera del triángulo).
4. Definir el área de influencia de cada estación, cada estación quedará rodeada por las líneas del polígono (en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca). El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.
5. Calcular el área de cada estación.

6. Calcular la precipitación media, como el promedio pesado de las precipitaciones de cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente.

Es decir:
$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Donde:

P_{med} = precipitación media

A_T = área total de la cuenca

A_i = área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

P_i = precipitación de la estación i

n = número de estaciones tomadas en cuenta

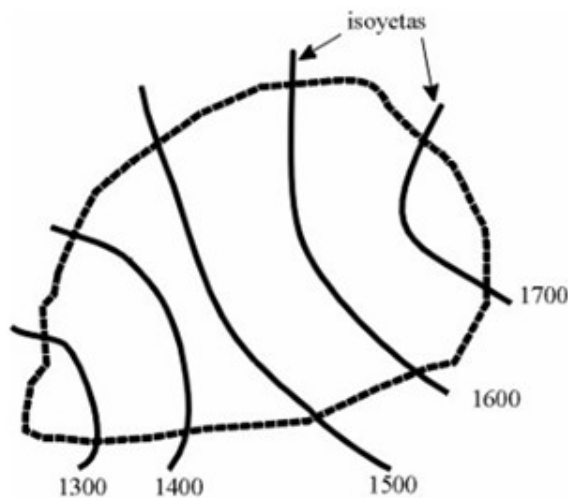
2.2.8.3 Método de las curvas isoyetas

Según Villón (2002) manifiesta que:

Para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación figura 9. Este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas.

Figura 9

Curva de Isoyetas



Fuente: Villon, M. 2002

El método consiste en:

1. Ubicar las estaciones dentro y fuera de la cuenca.
2. Trazar las isoyetas, interpolando las alturas de precipitación entre las diversas estaciones, de modo similar a cómo se trazan las curvas de nivel.
3. Hallar las áreas A_1, A_2, \dots, A_n entre cada 2 isoyetas seguidas.
4. Si P_0, P_1, \dots, P_n son las precipitaciones representadas por las isoyetas respectivas.

Para calcular la precipitación media se usa:

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0+P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1}+P_n}{2} A_n}{A_1 + \dots + A_n} \quad (2.15)$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i \quad (2.16)$$

Donde:

P_{med} = precipitación media.

A_T = área total de la cuenca.

P_i = altura de precipitación de las isoyetas i .

A_i = área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

n = número de áreas parciales.

2.2.9 Determinación de tormenta de diseño

Según [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

2.2.9.1 Relaciones Intensidad – Duración – Frecuencia

Según [Suárez et al. \(2020\)](#) manifiesta:

Los primeros pasos que debe seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como el diseño de un drenaje urbano, es la determinación del evento o los eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento

que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retorno apropiados para la obra y el sitio.

Las intensidades es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h) o (pulg/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia .

La intensidad, se expresarse como:

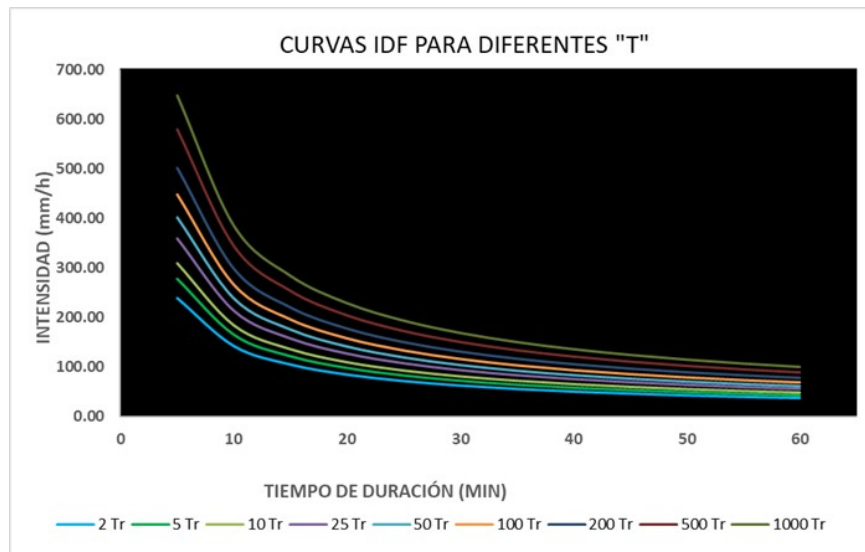
$$i = \frac{P}{T_d}$$

Según V. Chow et al. (1994, p. 465) manifiesta:

Donde P es la profundidad de lluvia (mm o pulg) y T_d es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del periodo de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

Figura 10

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Según MTC (2012) “Las curvas de intensidad – duración – frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica”.

El siguiente modelo genérico es:

$$I = \frac{a}{(D+b)^m}$$

Según MTC (2012) manifiesta:

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, D es la duración y a , b y m son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno, asimismo para su determinación se requiere hacer una linealización previa de la ecuación para luego hallar los parámetros a , b y m por medio de regresión lineal.

La duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración (t_c) para el área de drenaje en consideración, dado que la escorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración, cuando toda el área está contribuyendo al flujo en la salida.

A continuación, mostramos los diferentes métodos de diseño de tormenta:

a) Método de los coeficientes del MTC y de Campos

Los métodos de campos y el MTC son similares solo difieren en los valores de coeficientes que fueron dadas de acuerdo a la experiencia de cada uno de los autores.

Según el [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

Debido a la escasa disponibilidad de datos pluviográficos en nuestro país, resulta difícil elaborar estas curvas.

Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; Cuando no se disponga de mejores datos, los coeficientes de duración de la Tabla nº 6, que van de 1 hora a 48 horas, pueden utilizarse con cuidado para el cálculo de la intensidad.

Tabla 6*Coefficientes de duración lluvias de 1 a 48 horas según el MTC*

Coefficientes del MTC	
Duración en Horas	Coefficientes
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.5
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.9
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

Nota. Fuente: MTC, 2012.**Tabla 7***Coefficientes de duración lluvias de 1 a 24 horas Según Campos*

Coefficientes de Campos	
Duración en Horas	Coefficientes
1	0.30
2	0.39
3	0.46
4	0.52
5	0.57
6	0.61
8	0.68
10	0.75
12	0.80
14	0.84
16	0.88
18	0.91
20	0.94
22	0.97
24	1.00

Nota. Fuente: Suárez-Aguilar, et al (2020)

b) Método de Dyck y Peschke

Según la literatura de Villón (2012) manifiesta:

En esta sección, se presenta el modelo de discretización de Grobe, también conocido como de Dyck y Peschke, tomado de las publicaciones: Hidrología y Recursos Hídricos, Introducción para Ingenieros (*Hydrologie und Wasserwirtschaft, Eine Einführung für Ingenieure* de Ulrich Maniak, Berlín-Alemania, 2005) y Fundamentos de Hidrología (*Grundlagen der Hydrologie* de Siegfried Dyck y Gerd Peschke, Berlín-Alemania, 1995), el cual nos permite, a partir de datos de precipitaciones máximas diarias P_{24h} , medidas en los pluviómetros, generar las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (IDT). Según este criterio de discretización de Grobe o Dyck y Peschke, las lluvias de duración corta D , P_D , es función de la precipitación de 24 horas, es decir, que este criterio se puede aplicar también a precipitaciones máximas de 24 horas, P_{24h} , de acuerdo con la siguiente ecuación empírica, se puede generar las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (IDT).

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25} \quad (2.17)$$

Donde:

P_D = precipitación máxima de duración D , en el intervalo $15' < D < 1440'$, en mm.

D = duración de la lluvia, en min.

P_{24H} = precipitación máxima diaria (en 24 horas), en mm.

Si la duración $D > 24h$ (1440 min), lo cual son necesarias para cuencas con áreas grandes, P_D , se calcula con la siguiente ecuación empírica: $P_D = P_{24H} D^{0.4}$ (mm)

Donde:

P_D = precipitación máxima de duración $D > 24$ h, en mm.

D = Número de horas que llovió.

P_{24h} = precipitación máxima diaria, en mm.

c) Método de Bell y Yance Tueros

Según la literatura de Quispe (2018) esta ecuación “permite calcular la lluvia máxima en función del periodo de retorno y una duración de la tormenta en minutos, usando como valor índice la precipitación máxima de una hora de duración y 10 años de periodo de retorno” .

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 t^{0.25} - 0.5) P_{10}^{60} \quad (2.18)$$

Si $2 \leq T \leq 100$ años, y $5 \leq t \leq 120$ minutos

Donde:

P_T^t = Precipitación de duración t minutos y periodo de retorno T , en milímetros. P_{10}^{60} = Precipitación de duración 60 minutos (una hora) y periodo de retorno 10 años, en milímetros.

“El valor de P_{10}^{60} , puede ser calculado a partir de la ecuación de Yance Tueros, que estima la intensidad máxima horaria a partir de la precipitación máxima en 24 horas” (Quispe, 2018).

$$I = aP_{24}^b$$

Donde:

I = intensidad máxima (mm/h).

b , a = parámetros de modelo 0.4602 y 0.876 respectivamente.

P_{24} = precipitación máxima en 24 horas (mm).

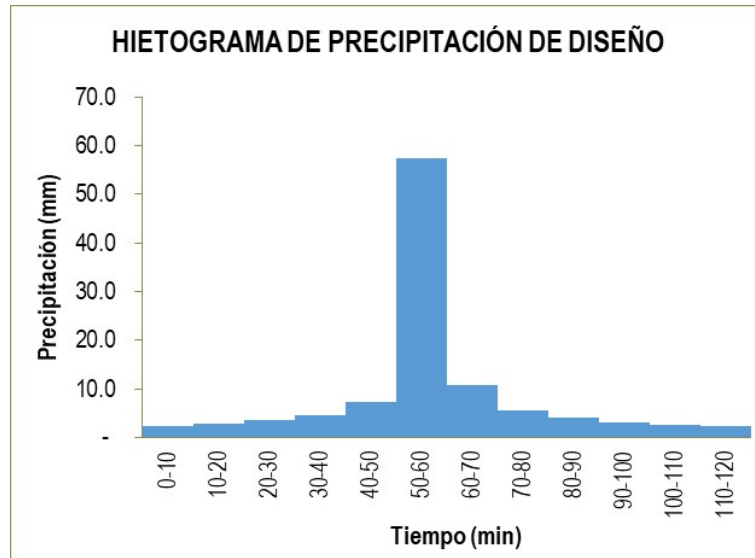
2.2.10 Hietogramas de diseño

Según la literatura del MTC (2012) manifiesta:

Los métodos hidrológicos más modernos requieren no sólo del valor de lluvia o intensidad de diseño, sino de una distribución temporal (tormenta), es decir el método estudia la distribución en el tiempo, de las tormentas observadas. El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $Td = n.\Delta t$.

Figura 11

Hietograma de diseño



Fuente: Elaboración propia

2.2.11 Precipitación total y efectiva

Según la literatura del [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (P_e), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de intercepción y almacenamiento superficial.

2.2.11.1 Método del número de curva (CN) del SCS

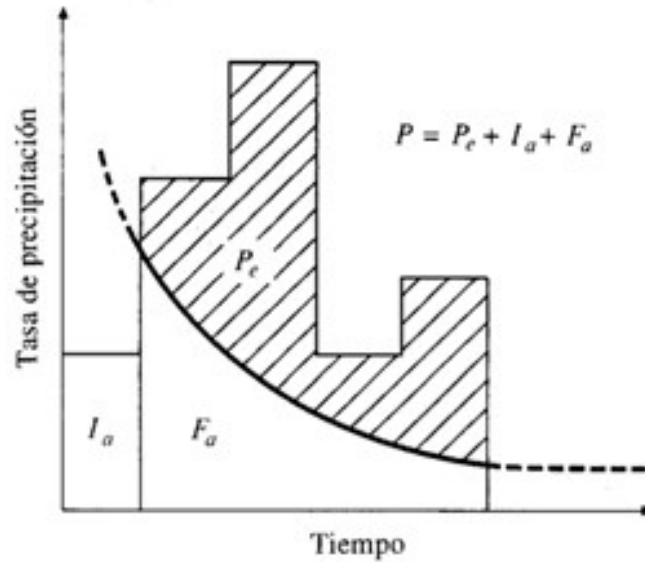
Según la literatura de [V. Chow et al. \(1994\)](#) manifiesta:

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S .

Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$.

Figura 12

Relación entre Precipitación, Escurrimiento y Retención



Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow, et al. (1994)

Las dos cantidades reales y los dos valores potenciales deben tener una relación idéntica, según el postulado del método SCS, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2.19)$$

Por el principio de continuidad obtenemos.

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Juntando las dos ecuaciones anteriores y hallando para P_e se encuentra:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.20)$$

Según el [MTC \(2012\)](#) esta es la fórmula fundamental para utilizar la técnica SCS con el fin de determinar la profundidad del exceso de precipitaciones o de la escorrentía directa tras una tormenta. Se descubrió un vínculo empírico analizando los resultados de varias pequeñas cuencas experimentales.

$$I_a = 0.2S \quad (2.21)$$

Con base en esto:

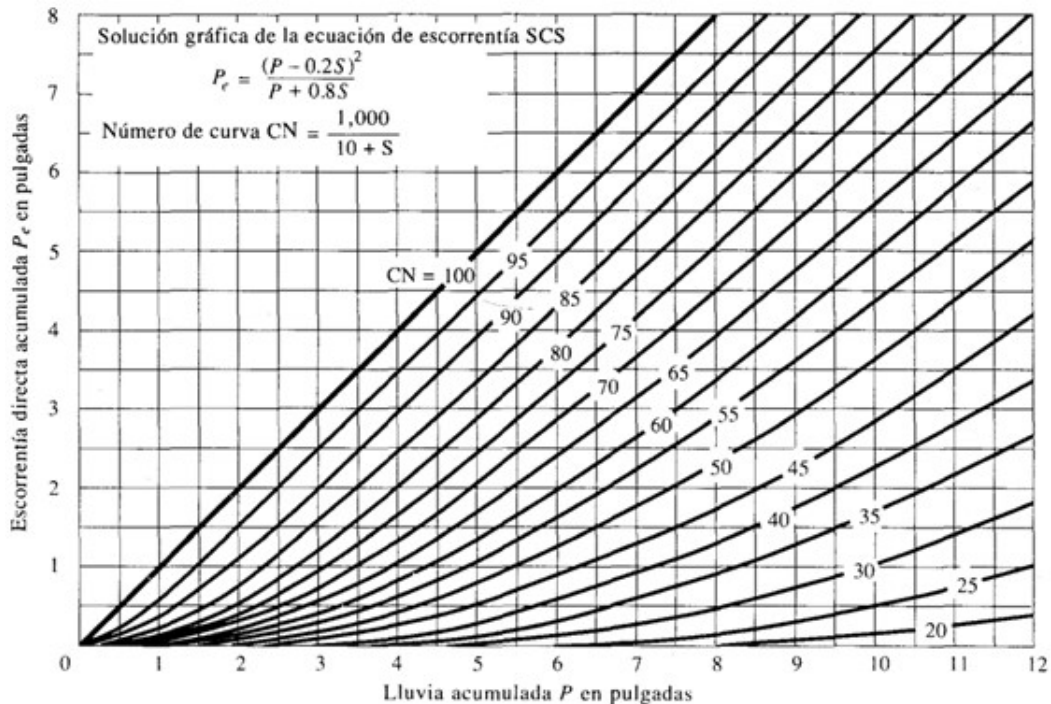
$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.22)$$

El MTC (2012) también manifiesta:

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN (número adimensional de curva o curva número), correspondiente al área específica en estudio, valor que debe ser obtenido mediante procesos de calibración. La calibración del parámetro CN se realiza con información de campo, de algunos eventos en el que se disponga de datos de precipitación y caudales resultantes; luego se corre el modelo hasta ajustar el hidrograma calculado con el observado en el campo. Es un proceso de prueba error en donde se ajusta el parámetro (CN) hasta obtener coincidencias entre ambos hidrogramas.

Figura 13

Precipitación y escorrentía



Fuente: Chow et al, 1994

La siguiente ecuación es el número de curva CN con relación a “S” en pulgadas (in).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.23)$$

Por otro lado también el número de curva CN en milímetros (mm).

$$S = \frac{25400}{254 + CN} \quad (2.24)$$

2.2.12 Cálculo del número de curva

Según el MTC (2012) “los números de curvas se aplican para condiciones para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III)”, mediante las siguientes ecuaciones se calculan los números de curva equivalentes:

$$CN(I) = \frac{42CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (2.25)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)} \quad (2.26)$$

► Tabla 8

Clasificación de Condición de Humedad Antecedente (AMC)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación Inactiva	Estación de Crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Nota. Fuente: Natural Resources Conservation Service (NRCS), 1972

“Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra”. Se definen los siguientes grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Según MTC (2012) “Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en la Tabla N° 9”.

► **Tabla 9**

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2s$)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota. Fuente: Hidrología Aplicada, Chow. et al, 1994, pág. 154

Según V. Chow et al. (1994) manifiesta:

1. Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972.
2. Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
3. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los sucesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.
5. En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

2.2.13 Estimación de caudales

Según la literatura del [Villón \(2002, p. 241\)](#) manifiesta:

Para diseñar: las dimensiones de un cauce, sistemas de drenaje, muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones, alcantarillas, vertedero de demasías, luz en un puente. Se debe calcular o estimar el caudal de diseño, que, para esos casos son los caudales máximos. La magnitud del caudal de diseño, es función directa del periodo de retorno que se le asigne, que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de esta.

Los métodos para determinar el caudal máximo son los siguientes:

- Método directo
- Métodos empíricos
- Métodos hidrológicos (hidrograma unitario)
- Métodos estadísticos o probabilísticos

2.2.13.1 Sistema de modelamiento hidrológico (HEC –HMS)

Según la literatura del [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

Para poder utilizar este software es necesario disponer de los siguientes datos:

- Características de la precipitación, la intensidad se obtiene de las curvas I-d-f (Intensidad, duración, frecuencia), o puede ajustarse utilizando los procedimientos mencionados anteriormente. Es importante señalar que las precipitaciones parciales deben introducirse en intervalos fijos.

- Características de la cuenca (Área, forma, Longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de prácticas de pastoreo, tipos de precipitación, etc) (MTC, 2012).

Según el MTC (2012) manifiesta:

Cuando se usa el HEC – HMS uno debe juntar los elementos que componen el sistema. La cuenca se crea “seleccionando” los elementos de la columna izquierda, arrastrándolos al centro de la “zona de trabajo”. Los elementos se unen por medio de “tramos” (Reach, en la lista). Estos a su vez se adhieren a los elementos colocando sus extremos dentro de los mismos. Para poder editar los elementos, se presiona rápidamente dos veces sobre ellos hasta que aparezca la caja de diálogo en la que se deben incluir los datos respectivos. Los datos que se requieren para la cuenca, además del área (en k_m^2) son tres.

- a) Función de infiltración y los parámetros correspondientes. La función de infiltración debe escogerse de la siguiente lista:
 - i. Servicio de Conservación de Suelos (SCS).
 - ii. Green y Ampt.
 - iii. Inicial/Constante.
 - iv. Inicial/déficit.
 - v. No hay pérdida.
- b) Función del hidrograma unitario y los parámetros correspondientes. La función del diagrama unitario debe ser escogerse de la siguiente lista:
 - i. Clark.
 - ii. Snyder.
 - iii. SCS.
 - iv. Clark modificado.
 - v. Definido por el usuario.
 - vi. Onda cinemática.
- c) Función de recesión de las avenidas y los parámetros y variables correspondientes.
 - i. Recesión.
 - ii. Flujo constante mensual.
 - iii. No hay flujo base (MTC, 2012).

Según la literatura del [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

En el caso de la función de infiltración, escogemos la del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, SCS. Se necesitan 3 tipos de datos: la pérdida inicial (en mm), el número de curva (CN) y el porcentaje de suelo impermeable en la cuenca. La pérdida inicial es la cantidad de lluvia en mm que se produce antes de ocasionar el flujo superficial. Por otro lado, el número de curva se define en base al tipo de suelo, cobertura vegetal, y prácticas de pastoreo. El porcentaje impermeable está dado por el área ocupada por lagunas y zonas rocosas que para propósitos prácticos puede considerarse impermeable.

En quebradas intermitentes el flujo base puede considerarse igual a cero, pero en quebradas mayores el flujo debe estimarse en base a mediciones realizadas a lo largo de varios años y posiblemente establecer valores de flujo base mensual. Los datos de salida se presentan en forma tabular, sintetizadas en un sumario o gráfica. En una cuenca pequeña es probable que no sea necesario unir varias subcuencas para obtener el caudal de salida, mientras que en cuencas mayores es necesario realizar el tránsito de avenidas.

Se emplean habitualmente las siguientes técnicas::

- Muskingum.
- SCS.
- Muskingum – Cunge.
- Onda Cinemática.

Según la literatura del [MTC \(2012\)](#) manifiesta:

Las variables de entrada del método de Muskingum son K y X, que se basan en mediciones de hidrogramas realizados en el cauce. K es una medida del tiempo de transporte de una onda de un punto a otro, expresándose en unidades de tiempo (horas) y X es una variable adimensional que fluctúa entre 0 y 0.3 y que tiene un valor típico de 0.2. En el método del SCS sólo se especifica un tiempo de retraso de la onda. Básicamente se “traslada” la onda de un tiempo a otro sin tomar en cuenta las pérdidas por fricción.

Tanto el método de la Onda Cinemática como el método de Muskingum – Cunge requieren datos de la geometría del canal principal, el cual se modela asumiendo que el canal es un trapecio, un triángulo o un círculo. Se necesita por lo tanto el ancho de la base (o diámetro), la inclinación de los taludes (z), el coeficiente de rugosidad del cauce (n = coeficiente de Manning), la pendiente de la línea de energía, Sf y la longitud del tramo, L. La pendiente de la línea de energía se asume igual a la pendiente del canal en el tramo de interés. Cunge combinó métodos hidráulicos con la simplicidad del método de Muskingum calcula las dos

constantes utilizadas en el método de Muskingum, K y X, mediante parámetros hidráulicos del cauce.

$$K = \frac{\Delta X}{C}, X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_o c \Delta x} \right)$$

Donde:

X: Factor de ponderación en el caso de ríos varía entre 0 - 0.3.

K: presenta el tiempo de viaje en el cauce.

ΔX : Longitud del tramo del cauce considerado.

c: Celeridad velocidad= media.

m: Aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios.

Q: Caudal.

B: Anchura del cauce.

Según la literatura del [Nanía \(2007\)](#) manifiesta:

El HEC – GeoHMS es una extensión para ArcGIS que ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos, con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica (SIG). El programa permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. Trabajando con HEC – GeoHMS a través de sus interfaces, menús de herramientas, en un entorno con ventanas, el usuario puede crear rápidamente entradas hidrológicas que pueden usarse directamente con HEC – HMS.

HEC – GeoHMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y recopilación inicial de los datos del terreno. La preparación de los datos del SIG puede ser realizado con cualquier Software estándar de SIG. Los datos necesarios para trabajar con HEC – GeoHMS incluyen un modelo digital de elevaciones (DEM), la localización digital de los cauces y de las estaciones de aforo. Cuando la preparación de los datos esta lista, HEC – GeoHMS procesa el terreno y la información espacial para generar una serie de entradas hidrológicas, que le darán al usuario un modelo inicial para Hec – HMS.

2.2.14 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Es un marco para la recopilación, gestión y análisis de datos, GIS tiene sus raíces en la geografía y contiene diferentes tipos de datos. Organiza capas de información para su visualización mediante mapas y escenarios en 3D para evaluar la ubicación geográfica.

Pueden ser de 2 tipos ráster y vectorial:

2.2.14.1 Formato ráster

“Este modelo está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio; como la pendiente del terreno, altitud o precipitación. El modelo ráster también es llamado imagen” (Puerta et al. 2011).

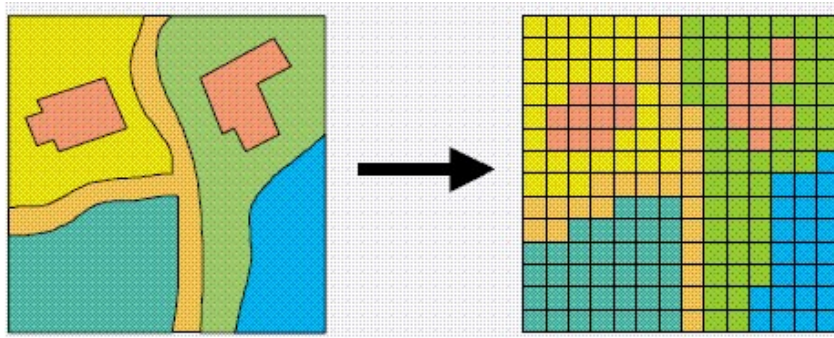
2.2.14.2 Formato vectorial

Según la literatura de Puerta et al. (2011) manifiesta:

El formato vectorial (shape) puede ser creado a partir de fuentes de información espacial existente, o pueden ser generados desde ArcGIS, donde podemos añadir elementos. La composición de una cobertura vectorial en ArcGIS consta de tres o más archivos con el mismo nombre, pero con extensiones diferentes: Tabla de atributos, Datos espaciales – geometría, Índice de los datos espaciales.

Figura 14

Comparación de un imagen vectorial y ráster



Fuente: Arc Gis Help.

A la izquierda se observa en formato vectorial y a la derecha en formato ráster.

2.2.15 Modelamientos hidráulicos

Existen diversos softwares para modelamiento hidráulico como los que mencionamos a continuación donde se distribuyen de acuerdo a sus dimensiones.

Figura 15

Softwares para modelamiento Hidráulico y morfológicos

- 1D
 - MIKE-11
 - HEC-RAS
- 2D
 - HEC-RAS
 - Telemac-2D/Sisyphe
 - Delft-3D
 - MIKE-21
 - Iber
- 3D
 - Telemac-3D/Sisyphe
 - Delft-3D
 - OpenFOAM
 - Mike 3
 - Flow-3D



Fuente: Sarazu, J.(2018)

2.2.16 Análisis hidráulico con el software bidimensional HEC-RAS 6.2

Según Hoyos et al. (2018) manifiesta Para hallar la zona de inundación se utilizó el programa HEC-RAS 6.2 2D, contiene los siguientes componentes de análisis de ríos, para: cálculos del perfil de la superficie del agua de flujo constante unidimensional; Simulación de flujo no estacionario unidimensional y/o bidimensional; Cálculos de transporte de sedimentos de límite móvil de flujo casi inestable o completamente inestable (1D y 2D); y análisis unidimensional de la calidad del agua.

El HEC-RAS 6.2 a diferencia de versiones anteriores es de fácil operación ya que con esta versión se podrá diseñar directamente sin ayuda de otro software como las versiones anteriores donde se necesitaba del ArcGIS con su extensión el HEC-geoRAS para poder procesarla primero.

Figura 16

Clasificación de modelos 1D, 2D y 3D



Fuente: Sarazu, J.(2018)

2.2.16.1 Ecuación de Saint-Venat

Según la literatura de Sarazu (2018) manifiesta:

En caso de que el proceso a estudiar sea claramente no permanente, definido por las condiciones impuestas por procesos naturales, así como de acciones humanas, en el que las condiciones del flujo varían en el tiempo y el espacio, se debe recurrir a las ecuaciones empleadas para modelar el flujo a superficie libre, considerado como unidimensional, gradualmente variado y en régimen no permanente, las cuales son ampliamente conocidas como las ecuaciones de Saint-Venant, o también como la ecuación de continuidad y la ecuación de Momentum .

Las ecuaciones de Saint-Venant no tienen solución analítica excepto en algunos casos especiales con simplificaciones adecuadas para estudios del tipo académico; éstas son ecuaciones diferenciales parciales del tipo hiperbólico y para su resolución se emplean métodos numéricos (Sarazu, 2018).

El programa HEC-RAS utiliza estas ecuaciones que consiste en el método de diferencias finitas.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial X} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{gh^2 \partial \rho}{\rho 2 \partial x} + 2\Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial Y} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{gh^2 \partial \rho}{\rho 2 \partial y} + 2\Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y \quad (2.29)$$

Donde:

h = Calado de agua.

U_x, U_y = Velocidades horizontales promediadas en profundidad.

Z_s = Elevación de la lámina libre.

g = Aceleración de la gravedad.

τ_s = Fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento.

τ_b = Fricción debida al rozamiento de fondo.

ρ = Densidad del agua.

ω = Velocidad angular de rotación de la tierra.

λ = Latitud del punto considerado.

$\tau_{xx}^e, \tau_{yy}^e, \tau_{xy}^e$ = Tensiones tangenciales efectivas horizontales.

M_s, M_x, M_y = Son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante los cuales se realiza la modelización de precipitación, infiltración y sumideros.

2.2.17 Coeficiente de rugosidad

Según [V. T. Chow et al. \(1994\)](#) manifiesta:

El coeficiente de Manning es muy útil para una rápida selección del valor de n que debe utilizarse en un determinado problema. Horton preparo una muy conocida tabla de este tipo con base a los mejores experimentos disponibles en su tiempo. La tabla N° 17 se compilo a partir de a partir de información recolectada hasta la fecha de diferentes fuentes y de datos no publicados, luego su alcance es mucho mas amplio que la tabla de Horton.

Figura 17

Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning para corrientes naturales (n)

D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050
	Árboles y arbustos sumergidos	0.040	0.050	0.070	
	Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.				
	D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto	0.025	0.030	0.035
		pastizales bajos	0.030	0.035	0.050
pastizales altos					
b. áreas cultivadas sin cultivo		0.020	0.030	0.040	
con cultivos		0.030	0.040	0.050	
c. Arbustos y Malezas escasos		0.040	0.060	0.080	
densos		0.070	0.100	0.160	
d. Árboles	0.110	0.150	0.200		
sauces	0.030	0.040	0.050		
tierra despejada con troncos					
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100	

Fuente: Hidráulica de canales abiertos, Chow. et al ,1994, pág. 111

2.2.18 Características geológicas.

2.2.18.1 Depósito Fluvial (Qh-fl)

Corresponde a sedimentos depositados en el cauce de los ríos formando terrazas, islotes, llanuras, meandros, etc. Litológicamente están constituidos por la acumulación de rodados de diferente diámetro y composición variada, en forma de arena, gravas y conglomerados. Se distribuye en los lechos de los ríos Mantaro, Somabeni, Anapati, Ene y Sonomoro (Barreda y Cuba, 1998).

2.2.18.2 Depósito Aluviales (Qh-al)

Estos depósitos se encuentran distribuidos en toda el área de estudio relleno el fondo de los valles o quebradas principales, la mayoría de éstos alcanzan el nivel freático. Estos depósitos predominan principalmente a lo largo del lecho de los ríos Apurímac, Mantaro, Ene, Picha y Quimbiri etc, los materiales que lo constituyen son de composición heterogénea, constituido por bloques, guijas, gravas, arenas, limos y arcillas. En el área se diferencian estos depósitos en dos unidades. (Monge et al. 1998)

2.2.18.3 Depósitos Eluviales (Qh-el)

Un eluvión es un depósito de fragmentos de una roca, desagregados por los agentes atmosféricos (meteorización), que han permanecido in situ o muy próximos a la roca madre, lo cual lo distingue del

aluvión, que ha sido arrastrado por las aguas y depositado lejos del lugar de su formación (Wikipedia, 2022).

2.2.18.4 Grupo Cabanillas (SD-c)

En el área de estudio el Grupo Cabanillas se encuentra bien expuesto en el cuadrángulo de San Francisco, principalmente en las riberas del río Apurímac en el cuadrángulo de Llochegua aflora en el río Quimbiri y en la hoja del Río Picha se encuentra más completo principalmente a lo largo de la quebrada Manogali (Monge et al. 1998).

2.2.18.5 Formación la Merced (NQ-lm)

Según Monge et al. (1998) manifiesta:

En el área de estudio esta unidad aflora al SO del cuadrángulo de Llochegua y se prolonga en menor proporción hacia el cuadrángulo de San Francisco. Morfológicamente constituye colinas pequeñas de suave pendiente, que conforman una faja de 4 a 5 km de ancho, siguiendo una dirección andina NO-SE. Esta secuencia de conglomerados corresponde a depósitos de piedemonte de la Cordillera Oriental, específicamente del bloque comprendido entre Machente y Rosario de Acón.

2.2.19 Características geomorfológicas

2.2.19.1 Río (R)

Es la zona en estudio conformado por los ríos Tinkuy y Sabogato, estos ríos afectan significativamente a la ciudad de Llochegua.

2.2.19.2 Terraza Aluvial (T-al)

Las terrazas aluviales son los desechos que dejan a causa de un aluvión en las 2 márgenes formando terrazas que están mas elevadas que el río.

2.2.19.3 Vertiente o Piedemonte Coluvio – Deluvial (V-cd)

Corresponde al depósito de laderas originado por derrumbes, caídas deslizamiento de movimiento en masa, que se acumulan en las laderas.

2.2.19.4 Vertiente o Piedemonte Aluvial (V-al/P-al)

Normalmente se ubican al pie de una montaña con formado por el desborde de ríos que suceden de vez en cuando, su topografía es inclinada.

2.2.19.5 Montaña en Roca Sedimentaria (RM-rs)

Son colinas que superan los 300 metros de longitud desde la base litológicamente están constituido por arcillitas, areniscas y secuencias calcáreas, presentan pendientes fuertes desde los 20° a 50°.

2.2.20 Características de pendiente

Para la generación de pendientes se basó los datos descargados del ASF Alaska donde se procesaron en el Arc gis, clasificando desde terrenos inclinados con pendientes suaves hasta pendientes muy fuertes, las pendientes están clasificadas en 5 niveles, medido en grados.

► **Tabla 10**

Rango de pendientes

Rango	Descripción
0° - 3°	Terrenos inclinados con pendiente suave
3° - 6°	Pendiente Inclinadas
6° - 9°	Pendiente moderada
9° - 15°	Pendiente fuerte
15° - a más	Pendiente muy fuerte

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.21 Características sociales

Cabe resaltar que los datos mostrados en los siguientes cuadros tienen por fuente el [Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres \(SIGRID\)](#) del CENEPRED y a la vez se basan en los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

► **Tabla 11**

Población de la ciudad de Llochegua

Centro Poblado	Densidad poblacional	N° de Viviendas	Varones	Mujeres	Total de Habitantes
Llochegua	2.80	957	1343	1335	2678

Nota. Fuente: SIGRID, INEI 2017

► **Tabla 12**

Población por grupo de edades

GRUPO ETAREO		
Descripción	Numero	%
Menores a 14 años	796	29.72%
15 - 29 años	741	27.67%
30 - 44 años	621	23.19%
45 - 64 años	361	13.48%
Mayores a 65 años	159	5.94%
Total	2678	100%

Nota. Fuente: SIGRID, INEI 2017

2.2.22 Características económicos

También los datos mostrados en los siguientes cuadros tienen por fuente el ESCALE del ministerio de educación, el SIGRID del CENEPRED y a la vez se basan en los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

► **Tabla 13**

Población por material predominante en pared

MATERIAL PREDOMINANTE DE LA PARED		
Tipo	N° de Casos	%
Ladrillo o bloque de cemento	255	36.69%
Piedra o sillar con cal o cemento	3	0.43%
Adobe y/o tapial y/o quincha	13	1.87%
Madera (poma, tornillo, etc.)	419	60.29%
Triplay	5	0.72%
TOTAL	695	100%

Nota. Fuente: SIGRID, INEI 2017

► **Tabla 14**

Instituciones educativas en la ciudad de Llochegua año 2022

Código modular	Nombre de IE	Nivel / Modalidad	Gestión / Dependencia	Alumnos 2022	Docentes 2022	Fuente
593236	38843 JOSE SILVERIO OLAYA BALANDRA	Primaria	Pública - Sector Educación	42	2	ESCALE
1617984	429-121	Inicial - Jardín		16	1	ESCALE
593095	38859	Primaria		125	6	ESCALE
441725	38356 PEDRO RUIZ GALLO	Primaria		440	22	ESCALE
1162759	JOSE MARTI	Primaria	Privada - Particular	15	2	ESCALE
1374628	429-79	Inicial - Jardín	Pública - Sector Educación	51	2	ESCALE
722058	414 PEDRO RUIZ GALLO	Inicial - Jardín		196	9	ESCALE
670976	PEDRO RUIZ GALLO	Secundaria		408	35	ESCALE

Nota. Fuente: Estadística de Calidad Educativa (ESCALE)

2.2.23 Características ambientales.

La educación ambiental es importante para la calidad de vida por tal motivo la municipalidad de Llochegua cuenta con camión compactador para facilitar el recojo de residuos sólidos adquirido en mayo del 2022 ya que antes de esa fecha el recojo era solo con carguero moto furgón.

Figura 18

Manejo de residuos solidos



Fuente: Municipalidad de Llochegua

2.2.24 Metodología para la evaluación de riesgo.

Según CENEPRED (2014, p. 74) manifiesta:

Los niveles de riesgos no solo dependen de los fenómenos de origen natural, sino de los niveles de vulnerabilidad de los centros urbanos y/o rurales, por ejemplo, su localización en riberas de los ríos, desembocadura de quebradas activas, rellenos sanitarios, cercanía a fallas geológicas, etc. (exposición), así como el tipo de infraestructura de material precario o noble utilizado como vivienda (fragilidad), y la capacidad de la población para organizarse, asimilar y/o recuperarse ante el impacto de un fenómeno de origen natural (resiliencia)

En la presente tesis utilizaremos el método multicriterio como se muestra el procedimiento en el siguiente ítem.

2.2.24.1 Método multicriterio:

Este proceso multicriterio también llamado análisis jerárquico sirve para la ponderación de los parámetros de evaluación del peligro y de la vulnerabilidad que nos servirán para el cálculo del riesgo y los niveles de riesgo.

a) Proceso de análisis jerárquico.

Según la literatura del CENEPRED (2014, p. 203) manifiesta:

Para la ponderación de los criterios, sub criterios y descriptores se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico el cual es un método multicriterio que permite incorporar criterios cuantitativos

(infraestructura expuesta, pérdidas humanas, económicas, etc.) y cualitativos (programas de capacitación, creación y/o aplicación de la normatividad, etc.) que son considerados en la Gestión del Riesgo de Desastres. La matriz que se forma es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas (Centro Nacional de Estimación, Prevención Reducción del Riesgo de Desastres).

La notación matemática sería: $A = A_{ij}$

b) Para el cálculo de los pesos ponderados.

Según el procedimiento del CENEPRED (2014) es:

- **Primero:** Se construye la matriz de comparaciones pareadas, el que mostraría la comparación de criterios, subcriterios y/o descriptores según el caso de interés. En el caso de ponderación de criterios esta matriz nos permite determinar la importancia de un criterio respecto a otro, lo que nos servirá posteriormente para la ponderación de criterios.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{in} \\ a_{12} & 1 & \dots & a_{12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

Sumamos verticalmente los elementos de cada columna. Así se obtienen los valores:

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_{i=1}^n a_i \quad (2.31)$$

- **Segundo:** Construimos la matriz de comparaciones normalizada. El cual se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida, para conseguir:

$$\begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix} \quad (2.32)$$

- **Tercero:** El siguiente paso consiste en obtener el vector prioridad el cual nos mostrará los pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada.

Para ello se calcula el siguiente vector columna:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

Y se obtiene el vector de prioridades de los criterios:

$$\begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

Se debe indicar que la suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^n P_{c1i} = P_{c11} + P_{c12} + \dots + P_{c1n} = 1 \quad (2.35)$$

c) Para el cálculo de la relación de consistencia (RC)

Se pasa a la verificación de la posible existencia de consistencia entre los juicios expresados.

- **Primero:** Multiplicar cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así sucesivamente. Se deben sumar los valores sobre las filas para obtener un vector de valores, denominado Vector Suma Ponderada (VSP).

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

- **Segundo:** Dividir los elementos del vector de suma ponderada entre el correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios:

$$\begin{aligned}
 VSP_{11}/P_{C11} &= \lambda_1 \\
 VSP_{12}/P_{C12} &= \lambda_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 VSP_{1n}/P_{C1n} &= \lambda_n
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

- **Tercero:** Posteriormente se determina la lambda máxima λ_{max}

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_{12} + \dots + \lambda_n)/n
 \tag{2.38}$$

Esto nos permite hallar el índice de consistencia.

- **Cuarto:** Calcular el Índice de Consistencia (IC)

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)
 \tag{2.39}$$

Esto nos permite hallar la relación de consistencia de la matriz para verificar si las decisiones fueron adecuadas.

- **Quinto:** Determinar la Relación de Consistencia (RC);

$$RC = IC/IA
 \tag{2.40}$$

Donde IA es el Índice Aleatorio de una Matriz de Comparaciones Pareadas, generada, como su nombre sugiere, de forma aleatoria.

Tabla 15

Los valores de índice aleatorio para los diferentes “n”

n	3	4	5	6	7	8
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404

Nota. Fuente: Aguarón y Moreno-Jiménez, 2001

Según CENEPRED (2014, p. 205) “Para matrices de 3 parámetros la RC debe ser menor a 0.04, para matrices de cuatro parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menores a 0.10.”

d) Escala de Saaty

“Este método fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980) diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que les permite a los actores estructurar el problema de forma visual” (CENEPRED, 2014).

Según CENEPRED (2014) “Para la estimación del valor de la importancia relativa de cada uno de los indicadores se recurre a una metodología de comparación de pares, en este caso se empleó el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) (Saaty, 1980)”, En la siguiente figura se muestra las escalas y su respectiva explicación:

► **Tabla 16**

La escala ordinal de Comparación de SAATY

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el
7	Mucho más importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Nota. Fuente: Saaty, 1990.

2.2.25 Peligro

Según CENEPRED (2014) señala que:

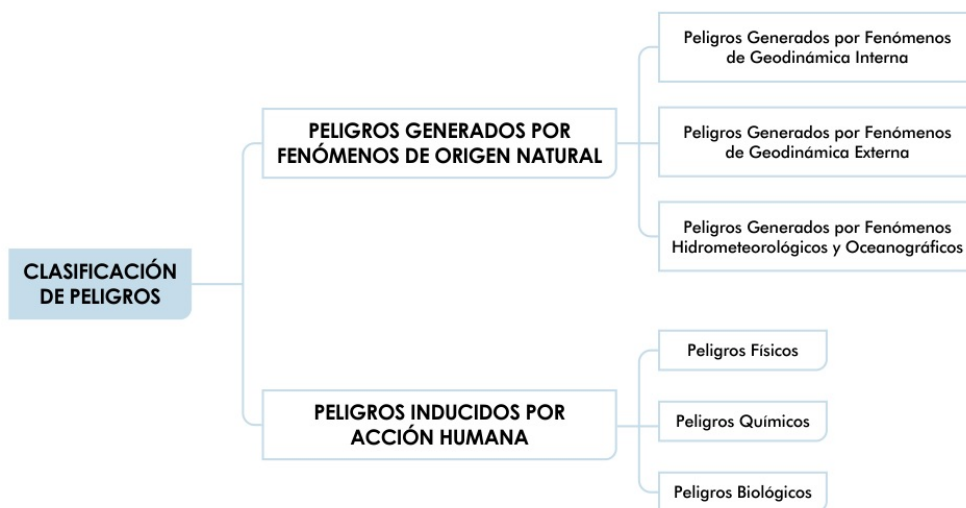
evaluar el peligro es valorar la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de sucesos (se refiere al fenómeno mismo en términos de sus características y su dimensión) en el tiempo y ámbito geográfico determinado.

2.2.25.1 Peligros generados por fenómenos de origen natural

“El peligro, según su origen puede ser de dos clases: los generados por fenómenos de origen natural y los inducidos por la acción humana. En el manual CENENPRED solo se considera peligros originados por fenómenos de origen natural” (CENEPRED, 2014).

Figura 19

Para el estudio estos fenómenos se han agrupado los peligros de acuerdo a su origen



Fuente: CENEPRED 2014 pag. 21

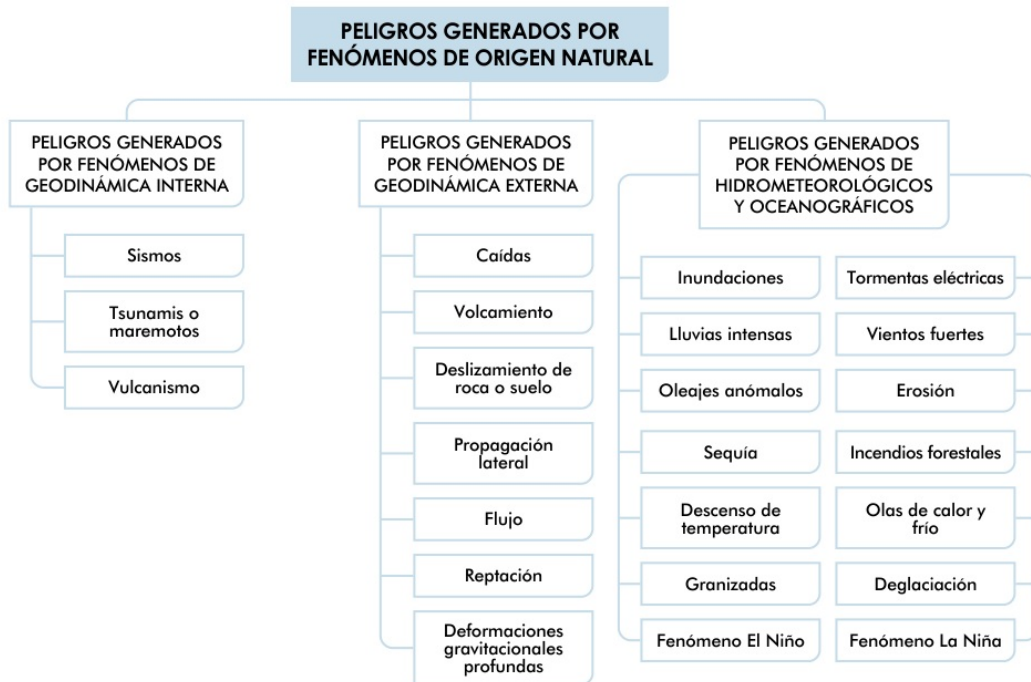
Según CENEPRED (2014) los fenómenos de origen natural los clasifica en los tres siguientes grupos:

- Peligros generados por fenómenos de geodinámica interna.
- Peligros generados por fenómenos de geodinámica externa.
- Peligros generados por fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos.

En el siguiente gráfico podemos observar la clasificación indicada:

Figura 20

Peligros generados por fenómenos de origen natural



Fuente: CENEPRED 2014 pag. 22

2.2.25.2 Inundación fluvial

provocada por los ríos y arroyos que se desbordan. Está relacionado con el aumento brusco del volumen de agua que se produce durante una crecida y que supera lo que un lecho o un canal puede contener.

2.2.25.3 Parámetros de evaluación del fenómeno.

Según CENEPRED (2014) “para determinar el parámetro de evaluación se debe de tener en conocimiento la recurrencia con las que se presentan para generar estrategias para la prevención y/o reducción de los impactos negativos que puedan ocasionar”.

2.2.25.4 Susceptibilidad

Según CENEPRED (2014) “la susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico (depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno y su respectivo ámbito geográfico)”.

2.2.26 Vulnerabilidad

Según CENEPRED (2014), “se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza”.

2.2.26.1 Factores de la vulnerabilidad.

La Fragilidad

Está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad (CENEPRED, 2014).

La Resiliencia:

Según CENEPRED (2014) manifiesta que:

La resiliencia esta referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población. A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad.

2.2.26.2 Análisis de los elementos expuestos por manzana.

Análisis de la dimensión social:

Se determina la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando la población vulnerable y no vulnerable, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad social y resiliencia social en la población vulnerable, esto nos ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad económica (CENEPRED, 2014).

Análisis de la dimensión económica:

Según CENEPRED (2014) manifiesta que:

Se determina las actividades económicas e infraestructura expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad económica y resiliencia económica, esto nos ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad económica..

Análisis de la dimensión ambiental:

Se determina los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad ambiental y resiliencia ambiental ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad ambiental (CENEPRED, 2014).

Figura 21

Clasificación de la vulnerabilidad



Fuente: Adaptado según CENEPRED

2.2.27 Riesgo

Según la literatura del CENEPRED (2014) manifiesta:

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta el ámbito geográfico de estudio mediante la evaluación de la frecuencia expresando en años y el nivel de susceptibilidad ante el peligro de inundación fluvial, y realizado el respectivo análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad explicada por la exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar, se procede a la conjunción de éstos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio. Siendo el riesgo el resultado de intersecar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos por manzana, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a fenómeno de inundación fluvial. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo por eso se debe tomar decisiones de acuerdo a los estudios empleados y en base a la experiencia y que el trabajo final debe reflejar el riesgo actual del lugar estudiado.

$$R_{ie}|_t = f(P_i, V_e)|_t \quad (2.41)$$

Dónde:

R = Riesgo.

f =en función.

P_i =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t .

V_e =Vulnerabilidad de un elemento expuesto e .

2.2.28 Control de riesgos

Según el [CENEPRED \(2014\)](#) manifiesta que:

Existe un punto de equilibrio a partir del cual no se justifica una mayor protección, que bien puede ser utilizado como límite ideal a partir del cual puede transferirse la pérdida a los sistemas de seguros. Evaluar pérdidas futuras es algo incierto, razón por la cual usualmente se recurre a alguna medida probabilística para la realización de un estudio de esta naturaleza. Los riesgos pueden expresarse en pérdidas promedio de dinero o de vidas por año, sin embargo, debido a que eventos de gran intensidad son hechos muy raros, las pérdidas promedio para este tipo de eventos, tan poco frecuentes, pueden no dar una imagen representativa de las grandes pérdidas que podrían estar asociadas a los mismos.

2.2.28.1 RIVER

El manual fue elaborado por el Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación - PERPEC de la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales - ANA y es usado ampliamente en el diseño de estructuras laterales y espigones

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Manejo de riesgos

Según la literatura del [CENEPRED \(2014, p. 122\)](#) manifiesta:

Componente del procedimiento técnico del análisis de riesgos, que consiste en ponderar y priorizar las distintas opciones para prevenir o reducir los riesgos, en consulta con todas las partes interesadas y teniendo en cuenta la evaluación de riesgos y otros factores relacionados a la protección de la vida de la población y del patrimonio de las personas y del Estado. Seleccionando las medidas de prevención y reducción del riesgo de desastres más apropiadas.

2.3.2 Mapa temático

“Son representaciones en un papel las características de algún tema en particular, apoyado sobre una base topográfica en donde se resalta, mediante la utilización de diversos colores y recursos de las técnicas cartográficas, correlaciones, valoraciones o estructuras de distribución”(CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.3 Peligro

Según CENEPRED (2014) es la “Probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos”.

2.3.4 Prevención

“Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se orientan a evitar la generación de nuevos riesgos en la sociedad en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible” (CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.5 Proceso de estimación del riesgo

“Acciones y procedimientos que se realizan para generar el conocimiento de los peligros o amenazas, analizar la vulnerabilidad y establecer los niveles de riesgo que permitan la toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres”(CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.6 Reducción

“Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se realizan para reducir las vulnerabilidades y riesgos existentes en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible”(CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.7 Resiliencia

Según CENEPRED (2014, p. 122) es la Capacidad de las personas, las familias y las comunidades, así como de las organizaciones públicas y privadas, las empresas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse de los efectos de un peligro o amenaza. También se refiere a la capacidad de las personas para mejorar su capacidad de aprender y recuperarse de catástrofes anteriores con el fin de protegerse mejor en el futuro.

2.3.8 Riesgo de desastre

“Es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro”(CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.9 Vulnerabilidad

“Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, Fragilidad y Resiliencia” (CENEPRED, 2014, p. 122).

2.3.10 No mitigable

Es cuando el riesgo es inminente hay una alta probabilidad de ocasionar daños materiales e inmateriales, donde se va necesitar un reasentamiento de la zona afectada.

Método de la investigación

3.1 Enfoque de la investigación

El tipo de enfoque es cuantitativo porque, una forma confiable de comprender la realidad es a través de la recopilación y el análisis de datos que pueden responder preguntas de investigación y probar hipótesis.

3.2 Alcance de la investigación

Investigación aplicada que consiste en proponer soluciones para disminuir el riesgo por inundación a la ciudad de Llochegua.

3.3 Diseño de investigación

La variable en estudio no fue manipulada intencionalmente. Este tipo de investigación consiste en observar un fenómeno que ocurre en el contexto actual y luego analizarlo. Por lo tanto, realizamos una investigación “No Experimental”.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población es la cantidad de personas que conforman el lugar en el que se va tomar la muestra. La población para la presente tesis es de 120 manzanas en la zona de estudio que se encuentran en riesgo a inundación fluvial en la ciudad de Llochegua.

3.4.2 Muestra

Es la cantidad de personas a quienes hemos decidido aplicar los cuestionarios. Es de clase no probabilístico por criterio o conveniencia que viene a ser 120 manzanas en el distrito de Llochegua Las

estructuras de contención propuestas en las zonas geográficas disminuyen el riesgo por inundación generado por los ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua, Huanta – Ayacucho

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

Las estructuras de contención propuestas en las zonas geográficas disminuyen el riesgo por inundación generado por los ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua, Huanta – Ayacucho

3.5.2 Hipótesis específicas

- ① El modelo de inundación propuesto disminuye el riesgo por inundación.
- ② Los niveles sociales propuesto disminuye el riesgo por inundación.
- ③ Los niveles económicos propuestos disminuyen en el riesgo por inundación.
- ④ Los niveles ambientales propuestos disminuyen en el riesgo por inundación.
- ⑤ La morfometría del río propuesta disminuye en el riesgo por inundación.

3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

3.6.1 Unidad de análisis

Es la principal unidad analizada en el estudio, se estudia el qué o el quién. En esta investigación la unidad de análisis es la reducción de inundación de la ciudad de Llochegua producto del desbordamiento del río Tinkuy.

3.6.2 Variables

Se llama variable porque el factor considerado puede tener varios valores, la variable dependiente esta sujeto o varia de acuerdo a la variable independiente.

El objeto de estudio de la tesis es: Proponer estructuras hidráulicas con el fin de reducir el riesgo por inundación de la ciudad de Llochegua, tramo puente Tinkuy hasta el río Apurímac. Existen diferentes clasificaciones de las variables pueden ser clasificadas como: independientes, dependientes e intervinientes.

3.6.2.1 Variable independientes

Es aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado en este caso es: Zona geográfica.

3.6.2.2 Variable dependientes

La variable dependiente es el factor que es observado y medido para determinar el efecto de la variable independiente. En este caso es: Riesgo por inundación.

3.6.3 Indicadores

Los indicadores de la presente tesis son: Indicador asociado a la variable independiente; Calado, Característica social, Característica económica, Característica ambiental y Modelo digital de elevación. Indicador asociado a la variable dependiente; Mapa de riesgo, Mapa de peligro, Mapa de vulnerabilidad. Las variables indicadores y la medición se muestran en la siguiente tabla:

► **Tabla 17**
Variables e indicadores

	Variable	Indicadores	Medición
Independientes	Zona geográfica	Calado	Metros (m)
		Característica social	Adimensional
		Característica económica	Adimensional
		Característica ambiental	Adimensional
		Modelo digital de elevación	Metros (m)
Dependientes	Riesgo por inundación	Mapa de riesgo	Muy alto, alto medio y bajo
		Mapa de peligro	Muy alto, alto medio y bajo
		Mapa de vulnerabilidad	Muy alto, alto medio y bajo

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.7 Técnicas e instrumentos

Cualquier equipo de medición o recopilación de datos debe cumplir tres criterios fundamentales: fiabilidad, validez y objetividad, las técnicas e instrumentos utilizados en la presente tesis son: Documentación de tipo retrospectivo como datos meteorológicos, datos de catastro por parte del municipio de Llochegua y fuentes de estudio e investigaciones pasadas.

Observacional no participante cuando se hace la observación sin la participación del investigador, ejemplo para ver la topografía real del terreno en este caso el instrumento es el GPS Diferencial.

Se uso la encuesta con la finalidad de buscar, conocer la respuesta de un grupo de individuos en este caso la muestra o población es la ciudad de Llochegua, en este caso el instrumento es la encuesta. Estos datos obtenidos serán utilizados para la elaboración de mapas de vulnerabilidad, peligro y posteriormente el riesgo siguiendo la normativa del CENEPRED

3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

La investigación se realizó en la ciudad de Llochegua, primeramente, se identificó la zona de riesgo gracias al registro de inundaciones del INDECI 2021 e informes del CENEPRED del año 2020, por lo tanto, se visitó la zona de inundación que es la quebrada de los ríos Tinkuy y Sabogato determinándose como elementos de investigación.

Se realizó el viaje a la zona para hacer el reconocimiento de campo, se recorrió todo el tramo a estudiar. Para la modelización de la inundación se recabó información de la topografía del terreno y datos hidráulicos e hidrológicos donde se obtuvo los caudales de máximas avenidas de 100 años de tiempo de retorno que es recomendado para áreas urbanas según la R.J.Nº153-2016-ANA (15 de junio del 2016) para posteriormente modelarlo en el software HEC-RAS 2D y obtener el calado y velocidades.

Para la elaboración del mapa de peligro se recurrió a los datos del [Sistema de Información Geológico y Catastral Minero \(GEOCATMIN\)](#) para descargar los mapas de geología y geomorfología donde se hizo las corroboraciones correspondientes de acuerdo a la visita de campo, se procesó los datos de puntos para luego generar la superficie real del terreno utilizando los softwares Autocad Civil 3d y el Global Mapper 20 para convertirlo en formato shapefile para poder hacer los mapas de pendiente, se descargó ortofotos referenciados del SAS Planet. Se descargó los datos de precipitación del PISCO-SENAMHI y se procesó sus datos mediante el software RStudio para la elaboración de mapas de isoyetas siguiendo las normativas del [ANA \(s/f\)](#), luego se utilizó el software TREND para el análisis de consistencia de saltos y tendencias, el programa Hydrognomon se utilizó para el análisis y procesamiento de datos hidrológicos, principalmente en forma de series de tiempo, se utilizó hojas para cálculo para hallar la tormenta para diferentes métodos, la extensión HEC-geoHMS y el HEC-HMS para hallar el caudal máximo para diferentes periodos de retorno, HEC-RAS para el modelamiento Hidráulico bidimensional.

Una vez obtenidos los parámetros de precipitación como factor desencadenante, los parámetros de geomorfología, geología y pendiente como factores condicionantes y considerando el tiempo de retorno como parámetro de evaluación procedemos a elaborar los mapas de vulnerabilidad.

Para la elaboración de mapa de vulnerabilidad se basará en las encuestas basadas en actividades sociales, económicas y ambientales y factores de la vulnerabilidad (exposición, fragilidad y resiliencia.) donde se procesará mediante programas de Hojas de Cálculo y a partir de ello se obtendrá el mapa de vulnerabilidad utilizando el software ArcGIS.

Para la elaboración de mapa de riesgo se basará en la intersección de los mapas de peligro y vulnerabilidad con el software ArcGIS donde se determinará las zonas de riesgo a inundaciones. Para el diseño de estructuras hidráulicas de tipo diques laterales se utilizará el software RIVER Y HEC-RAS con ellos se tomarán medidas de prevención de riesgo.

3.9 Desarrollo del trabajo de tesis

3.9.1 Ubicación del área en estudio

3.9.1.1 Ubicación Política

- **Departamento:** Ayacucho
- **Provincia:** Huanta
- **Distrito:** Llochegua
- **Lugar:** Llochegua

3.9.1.2 Ubicación geográfica

Geográficamente se ubica en el VRAEM, Limite con el departamento de Cuzco, entre las coordenadas Este: 616965.36, 619744.03 y las Coordenadas Norte: 8627493.25, 8628037.50 estas coordenadas están en el sistema WGS 84, Zona 18 Sur

3.9.1.3 Vías de acceso

Los accesos al centro poblado de Llochegua se muestra en la siguiente tabla N°18.

▶ **Tabla 18**

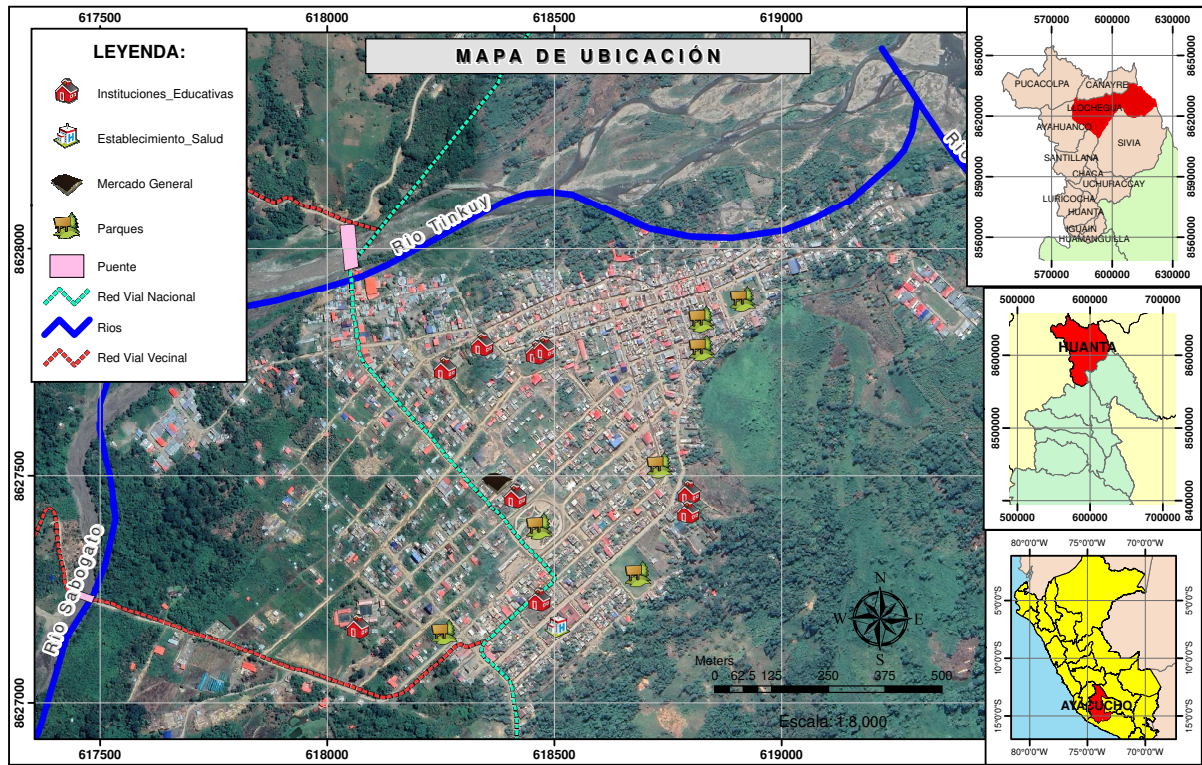
Vías de acceso a la ciudad de Llochegua

Tramo	Tiempo	Condición
Ayacucho-San Francisco-Pichari-Llochegua	6 h. y 15 min.	Carretera Asfaltada
Ayacucho-Sivia-Llochegua	7 h.	Carretera Asfaltada y Afirmada

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Mapa de ubicación



Fuente: Elaboración propia

3.9.2 Estudio hidrológico de la cuenca

3.9.2.1 Características geomorfológicas de la cuenca

Primeramente, determino los parámetros morfométricos adecuados para la elaboración de caudal máximo en un periodo de retorno determinado mediante la extensión HEC-geoHMS del ArcGIS 10.5, donde se extrajeron los datos de área, perímetro, cota máxima, cota mínima, pendiente de cuenca y de cauce, número de curva, tiempo de concentración, longitud de red hídrica.

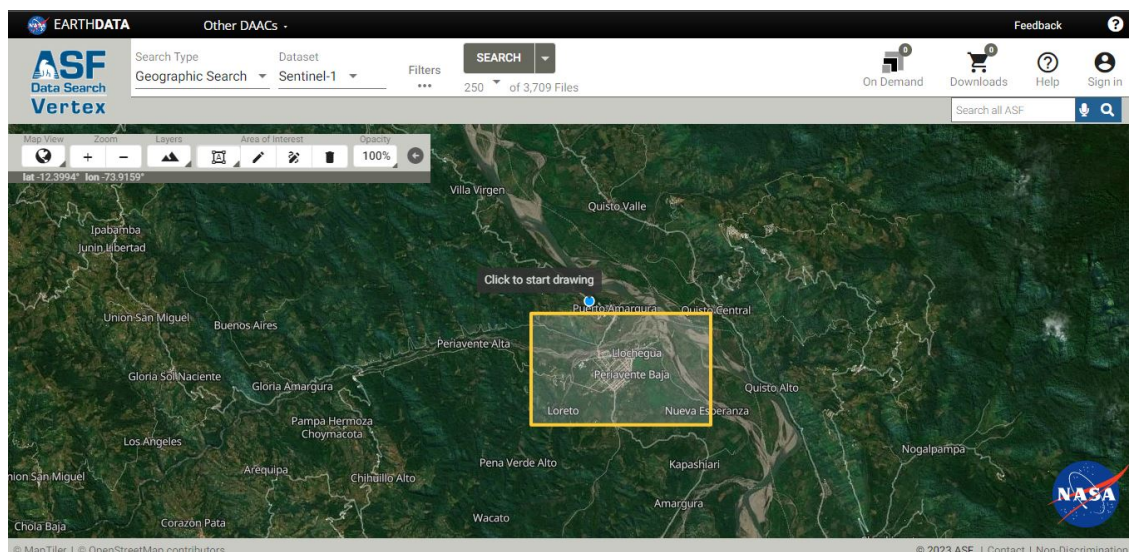
El río Tinkuy y Sabogato son afluentes del río Apurímac y pertenece a la vertiente del océano Atlántico.

a) Parámetros morfométricos de la cuenca Tinkuy

Para la delimitación de la cuenca primeramente se tuvo que descargar los datos en formato TIF del servidor ASF Alaska que nos da resolución de pixel de 12.5 m, para poder referenciar la zona de estudio previamente se tuvo que delimitar una cuenca tentativa en el Google Earth donde abarque toda la cuenca en estudio, una vez delimitado se exporto al servidor ASF Alaska donde se pudo reconocer rápidamente la zona de estudio

Figura 23

Interfaz del servidor ASF Alaska



Fuente: Adaptado de ASF Alaska

El punto de aforo se encuentra exactamente en el puente Tinkuy donde las coordenadas UTM se muestran a continuación.

Tabla 19

Coordenadas del Punto de Aforo

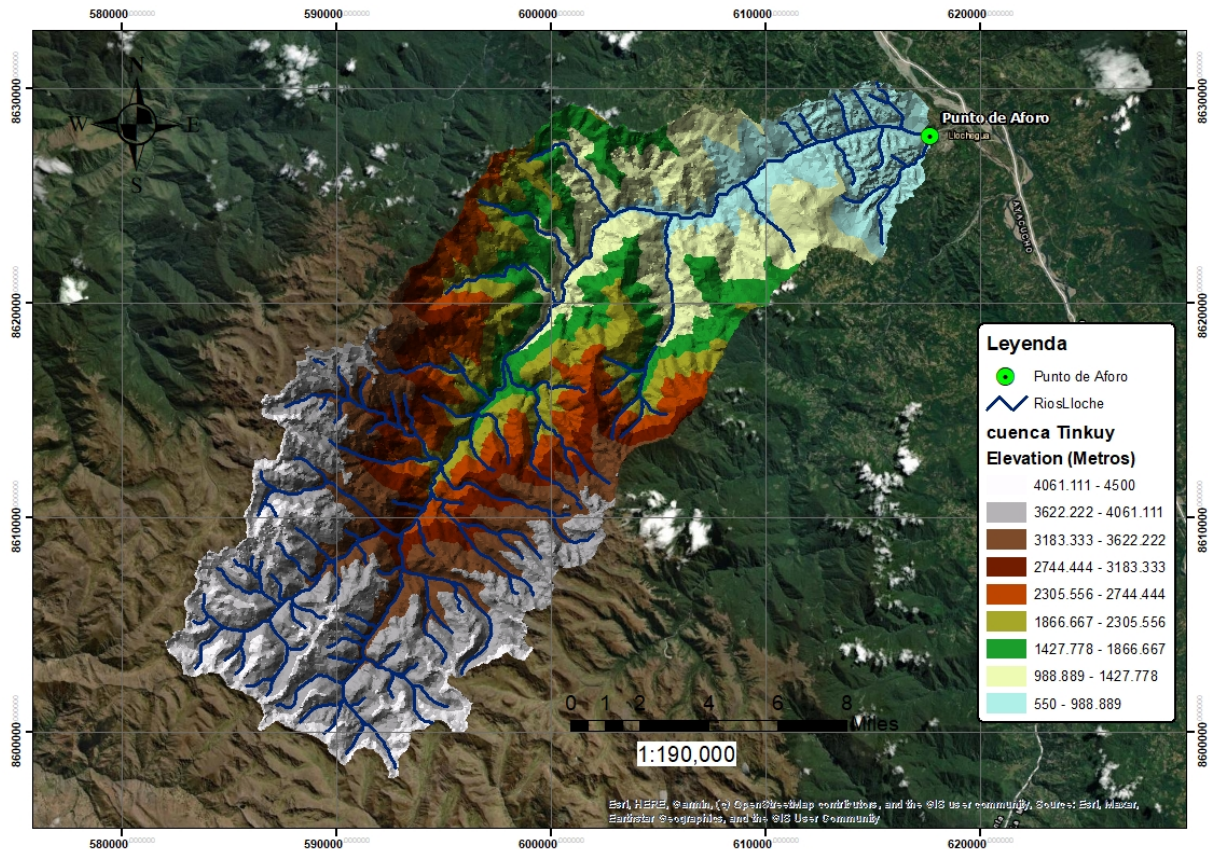
Punto de Aforo			
Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Puente Tinkuy	617986.1	8627986.18	525

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se observa la cuenca Tinkuy y Sabogato en conjunto en formato TIN donde se observa el relieve y la conformación de los ríos.

Figura 24

Cuenca del río Tinkuy y Sabogato



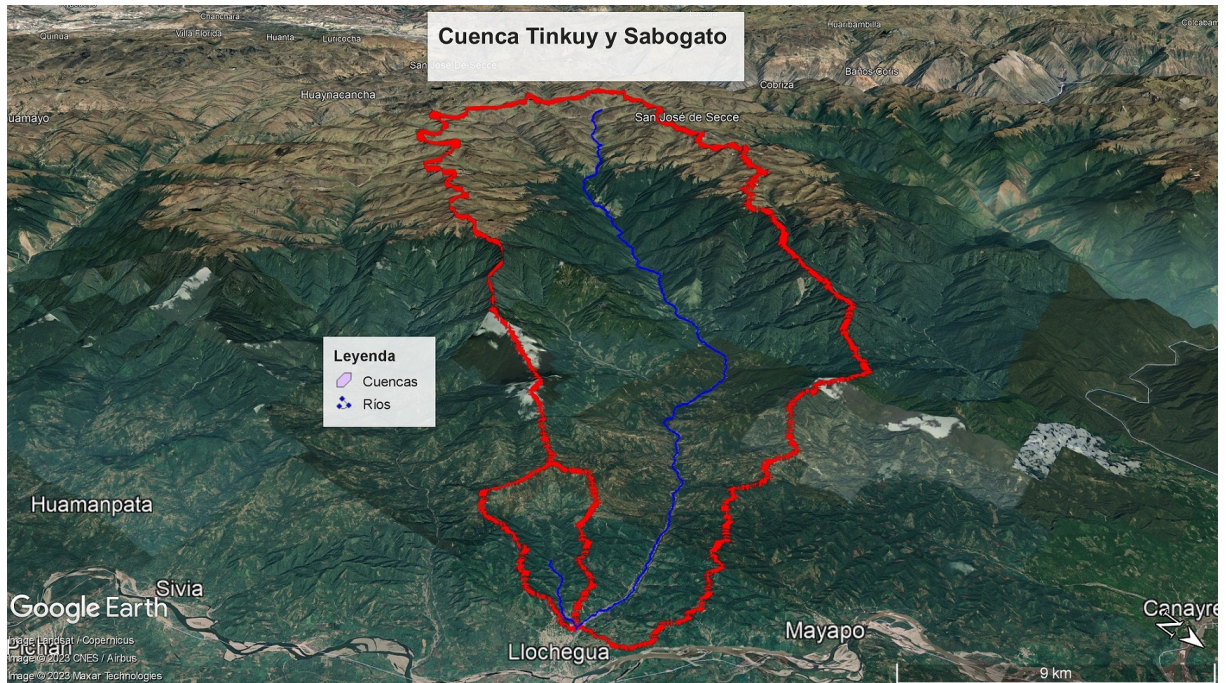
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°25 se observa la cuenca Tinkuy y Sabogato en 3D, la imagen fue tomada de este a dirección oeste, la cuenca grande ubicada en la parte derecha es la cuenca Tinkuy y la pequeña ubicada en la parte izquierda es la cuenca Sabogato, también se observa la red hídrica principal de cada cuenca también se puede observar las ciudades de Sivia, Llochegua, Mayapo y Canayre.

La cuenca Tinkuy y Sabogato están ubicados en la región Hidrográfica del Amazonas y en la Inter cuenca Bajo Apurímac como se muestra en la figura N° 26.

Figura 25

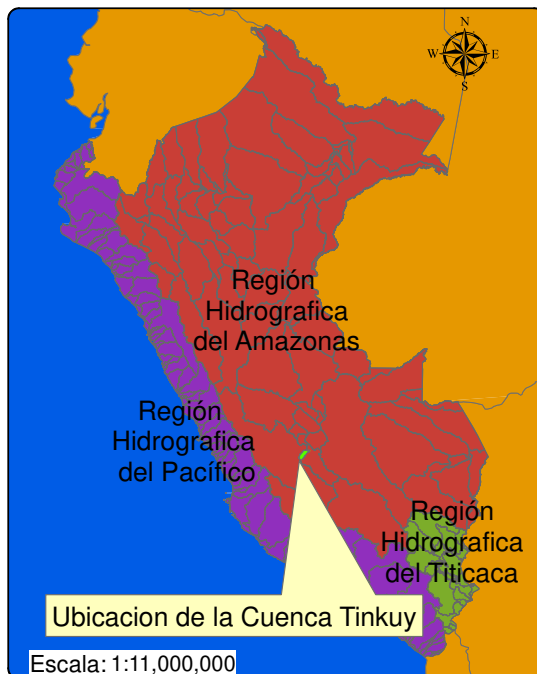
Vista 3D de las cuencas Tinkuy y Sabogato con la ciudad de Llochegua y ciudades cercanas



Fuente: Adaptado del Google Earth

► **Figura 26**

Ubicación de la Cuenca Tinkuy y Sabogato.



(a) Ubicación de la cuenca Tinkuy y Sabogato en la región hidrográfica del Amazonas



(b) Ubicación de la cuenca Tinkuy y Sabogato en la intercuenca Bajo Apurímac

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tinkuy

PARAMETROS MORFOMETRICOS CUENCA TINKUY						
PARAMETROS			UNIDAD	CUENCA TINKUY		
AREA DE LA CUENCA			Km ²	507.07		
PERIMETRO			Km	133.59		
PARAMETROS DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)			1.67	
		FACTOR DE FORMA	Longitud (// al curso más largo)		Km	54.11
			Ancho Medio		Km	9.37
			Radio de Circularidad			0.36
			Factor de Forma			0.17
	RECTANGULO EQUIVALENTE		Lado Mayor	Km	58.06	
			Lado Menor	Km	8.73	
	Longitud total de los ríos de diferentes grados		Orden 1	Km	1720.50	
			Orden 2	Km	595.02	
			Orden 3	Km	266.01	
			Orden 4	Km	168.66	
			Orden 5	Km	81.27	
			Orden 6	Km	24.94	
Orden 7			Km	40.22		
PARAMETROS DE RELIEVE	Curva Hipsométrica			-	✓	
	Polígono de Frecuencia			-	✓	
	Altitud Máxima de la Cuenca			m.s.n.m.	4459	
	Altitud Mínima de la Cuenca			m.s.n.m.	550	
	Desnivel total de la Cuenca			Km	3.91	
	Altitud de Frecuencia Media			m.s.n.m.	2722.22	
	Altitud Media de la Cuenca			m.s.n.m.	2775.7	
	Altura Máxima del cauce			m.s.n.m.	4459	
	Altura más frecuente			m.s.n.m.	3969.85	
	Pendiente de la cuenca (sist. del rectángulo equivalente)			%	6.73	
	Pendiente media de la cuenca			%	36.38	
PARAMETROS DE LA RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA	Densidad de drenaje			Km/Km ²	5.71	
	Pendiente media del río principal			m/m	0.07	
	Pendiente promedio de la red hídrica			%	4.18	
	Altura Máxima del cauce			m.s.n.m.	4459	
	Altitud Mínima del cauce			m.s.n.m.	550	
	Longitud de red hídrica			Km	2896.61	
	Tiempo de concentracion			Hr.	4.70	
	Grado de ramificacion			-	7°	

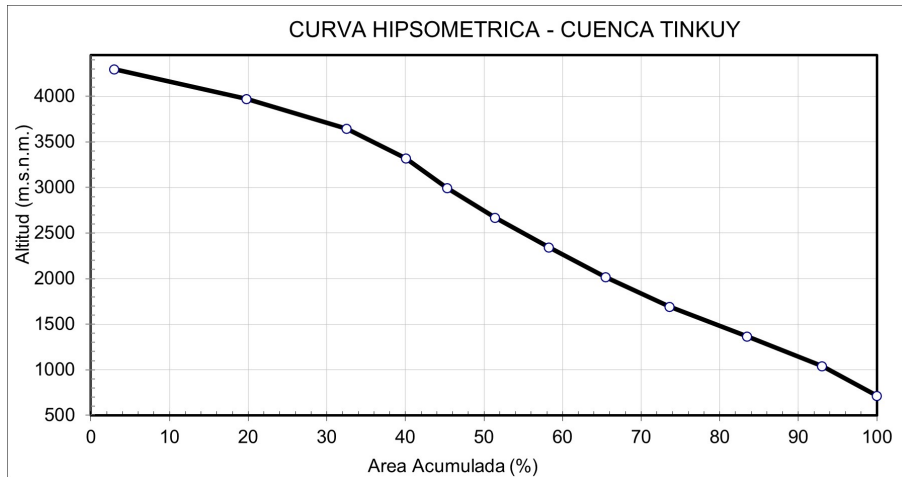
Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior muestra los parámetros morfométricos de la cuenca Tinkuy y Sabogato en conjunto lo denominamos cuenca Tinkuy por que es el que mas área y aporte tiene. La clasificación de la cuenca según el coeficiente de Compacidad es: Oval oblonga a rectangular oblonga

En la figura N° 27 se muestra la curva hipsométrica que es la altitud versus la área acumulada y la figura N° 28 nos muestra la altura que más área tiene en la cuenca.

Figura 27

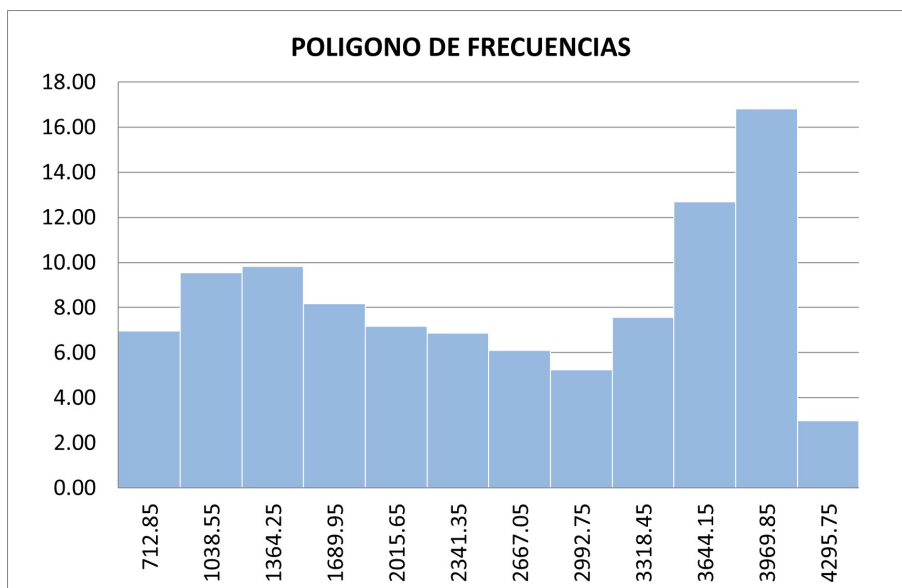
Curva hipsométrica de la cuenca Tinkuy



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Polígono de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

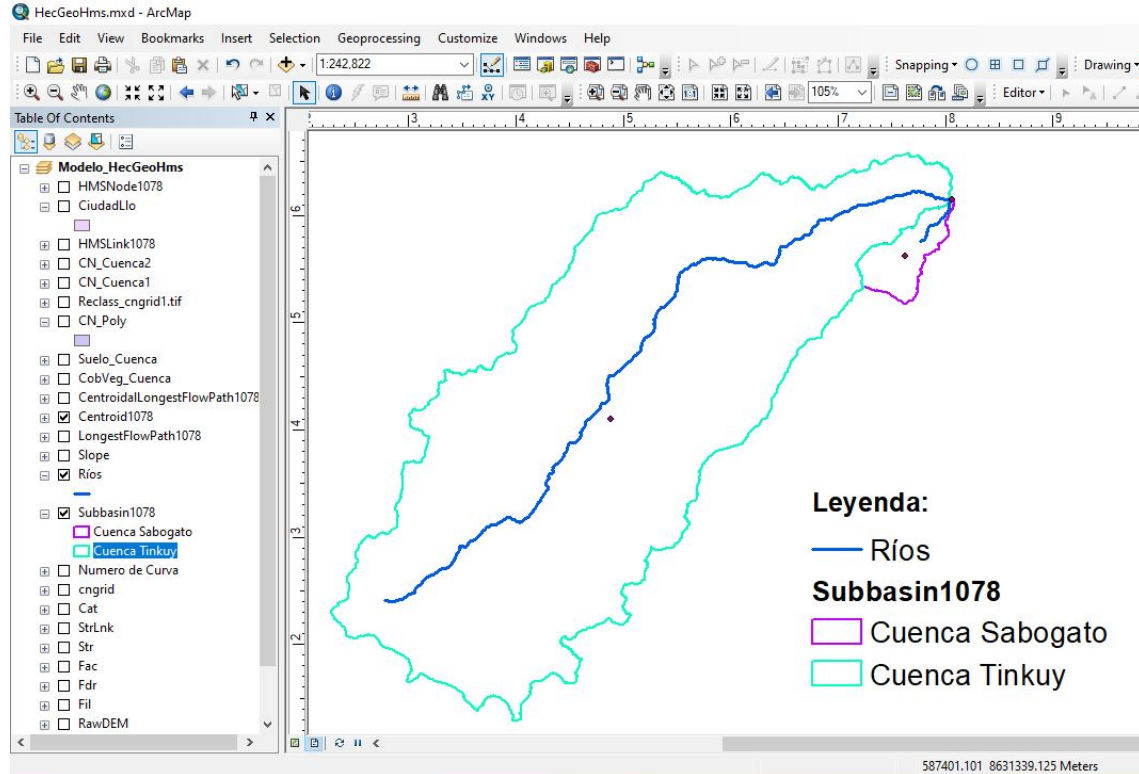
b) Modelamiento con HEC-GeoHMS

En esta parte delimitaremos mediante la extensión de ArcGIS el HEC-GeoHMS, se utiliza esta extensión por que nos permite resultados de parámetros morfométricos, especialmente para poder modelar con el software HEC-HMS donde sabremos los caudales máximos en diferentes periodos de retorno.

Primeramente, delimitamos nuestra cuenca que esta subdividida en dos, la cuenca Tinkuy y la cuenca Sabogato

Figura 29

Delimitación de cuencas con HEC-GeoHms

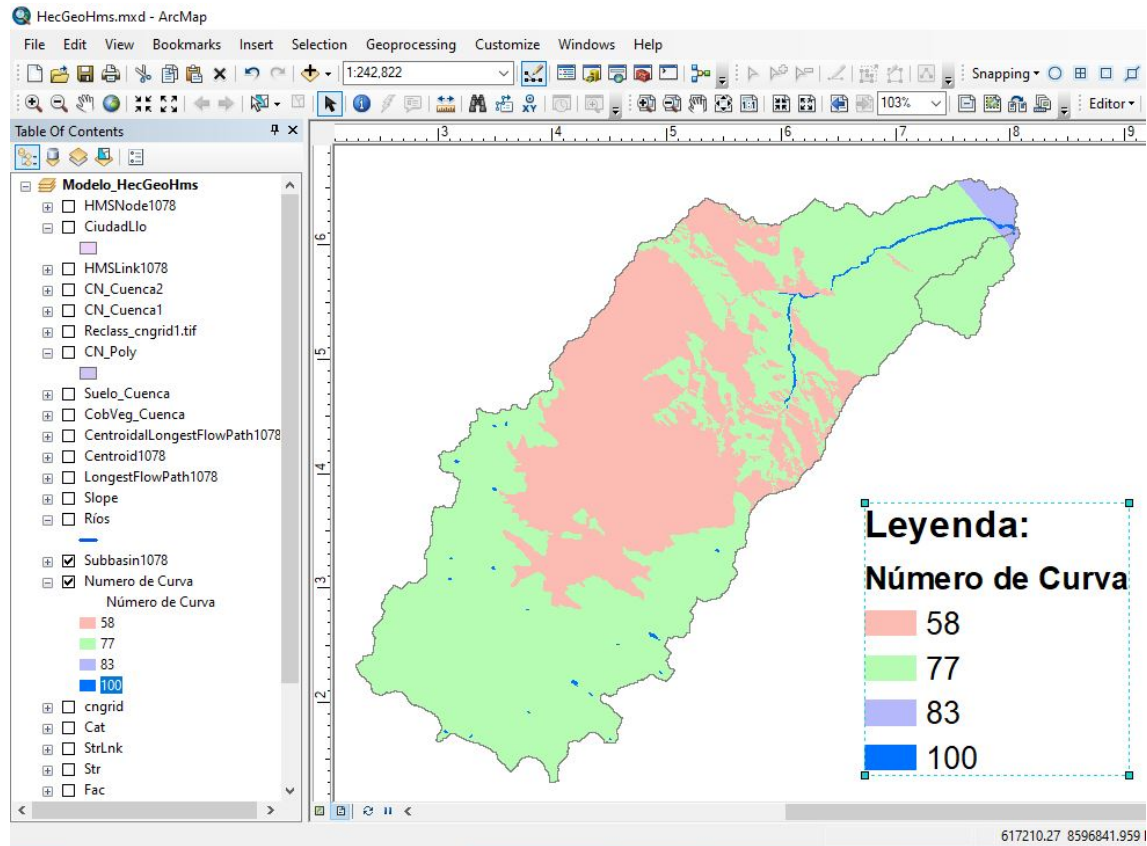


Fuente: Elaboración propia

Luego procedemos a determinar el número de curva (NC), para poder hallar el número de curva se tuvo primeramente los mapas de cobertura vegetal y de suelos del área en estudio estos datos fueron descargados de la página del ANA y el procedimiento de elaboración se utilizó el reglamento del ANA (Generación de mapa temático de Numero de Curva), donde se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 30

Generación de número de curva con HEC-GeoHMS



Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado la cuenca por número de curva hallamos el numero de curva para cada cuenca y la Abstracción Inicial como se muestra a continuación:

Tabla 21

Numero de Curva y Abstracción Inicial de la cuenca Tinkuy y Sabogato

CALCULO DE NUMERO DE CURVA-TINKUY				CALCULO DE NUMERO DE CURVA-SABOGATO			
ITEM	AREA (Km2)	CN	AREA*CN	ITEM	AREA (Km2)	CN	AREA*CN
1	185.84	58	10778.69	1	0.04	100	3.61
2	298.99	77	23022.17	2	0.42	83	34.45
3	4.75	83	394.52	3	14.42	77	1110.12
4	2.57	100	257.36				
TOTAL	492.16		34452.73	TOTAL	14.87		1148.18
CN PONDERADO			70	CN PONDERADO			77
ABSTRACCION INICIAL (Ia)				ABSTRACCION INICIAL (Ia)			
$S = \frac{1000}{CN} - 10$		S= 4.285 Pulgadas S= 108.838 milímetros		$S = \frac{1000}{CN} - 10$		S= 2.949 Pulgadas S= 74.916 milímetros	
Ia = 0.2 S		Ia= 21.77 →		Ia = 0.2 S		Ia= 14.98 →	

Nota. Fuente: Elaboración propia

La cuenca Tinkuy está conformado por Numero de Curva de: 58,77, 83 y 100 y sus respectivas áreas: 185.8, 298.9, 4.7, 2.6 Km2 obteniéndose un CN ponderado de 70 y abstracción inicial de 21.77. La cuenca Sabogato está conformado por Numero de Curva de 77, 83, 100 y con las áreas correspondientes 14.42, 0.42, 0.04 Km2 obteniéndose un CN ponderado de 77 y abstracción inicial de 14.98. Una vez exportado, el HEC-GeoHMS determina el tiempo de retardo, calculando 217.25 min para la cuenca Tinkuy y 46.98 min para la cuenca Sabogato una vez obtenido el tiempo de retardo se puede hallar el tiempo de concentración dividiendo con 0.6 al tiempo de retardo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22

Tiempo de retardo y concentración determinado con el HEC-GeoHMS

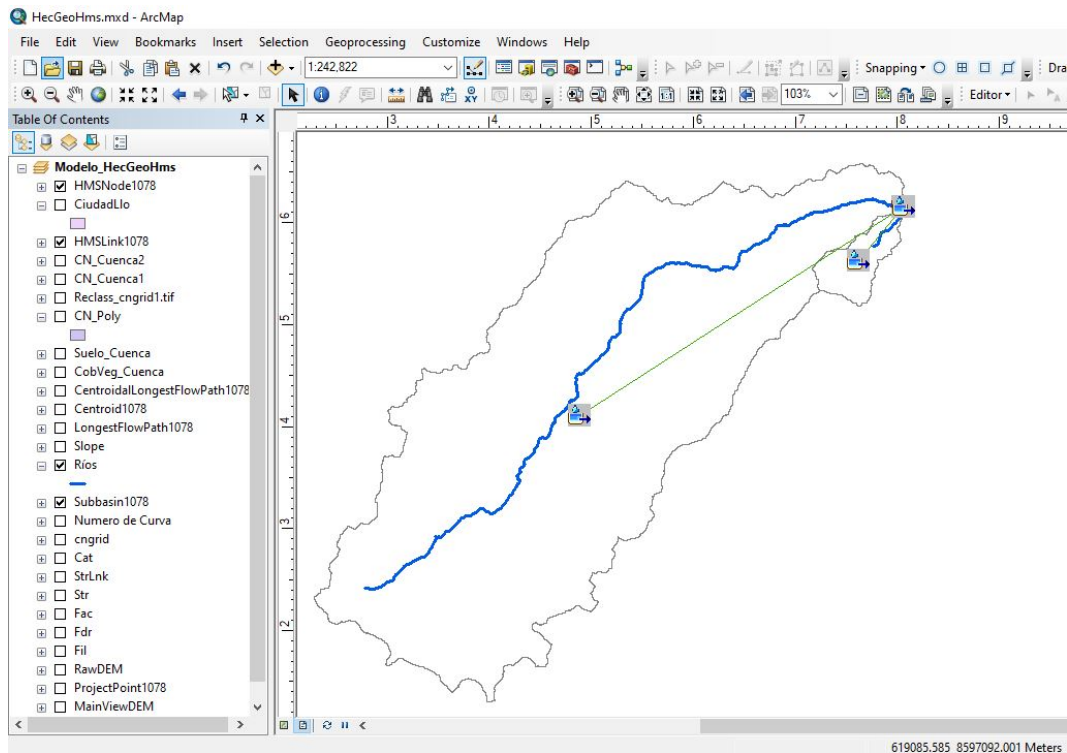
Cuenca	Tlag del Hec-geoHms (min)	T. concentración (Horas)
Tinkuy	217.25	6.03
Sabogato	46.98	1.31

Nota. Fuente: Elaboración propia

Una vez encontrado los datos se procede a exportar los datos al HEC-HMS.

Figura 31

Preparación para la exportación de datos del HEC-GeoHMS al HEC-HMS



Fuente: Elaboración propia

3.9.2.2 Cálculo del tiempo de concentración

Para hallar el tiempo concentración de la cuenca en estudio cabe recalcar que el tiempo de concentración es de la cuenca Tinkuy en general que conforman el río Tinkuy y el río Sabogato. Se calculó mediante diversas fórmulas, donde está relacionado con las características físicas de la cuenca como la pendiente media del cauce principal, longitud del curso principal (km), los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23

Calculo de tiempo de concentración y tiempo de retardo de la cuenca Tinkuy en general conformado por el río Tinkuy y Sabogato.

TIEMPO DE CONCENTRACION (Tc)		
PARAMETROS DE LA CUENCA	UNIDAD	CUENCA TINKUY
Area de la cuenca	Km ²	507.08
Cota Máxima del rio	msnm	4459
Cota Mínima del rio	msnm	550
Pendiente de la Cuenca	m/m	0.0673
Desnivel del Curso Principal (H)	Km	3.91
Longitud del curso principal (L)	Km	54.11
Pendiente del Curso Princ. (S)	m/m	0.0722
Desnivel Medio (Dm)	m	3909
Fórmula de Kirpich	Hr	4.05
Fórmula de Ven te Chow	Hr	8.17
Fórmula de Giandotti	Hr	3.42
Fórmula de Rowe	Hr	3.92
Fórmula California Culverts Practice	Hr	3.944
TIEMPO DE CONCENTRACION	Hr	4.70
TIEMPO DE RETARDO	Min	144.76

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.9.2.3 Tratamiento de los datos de precipitación

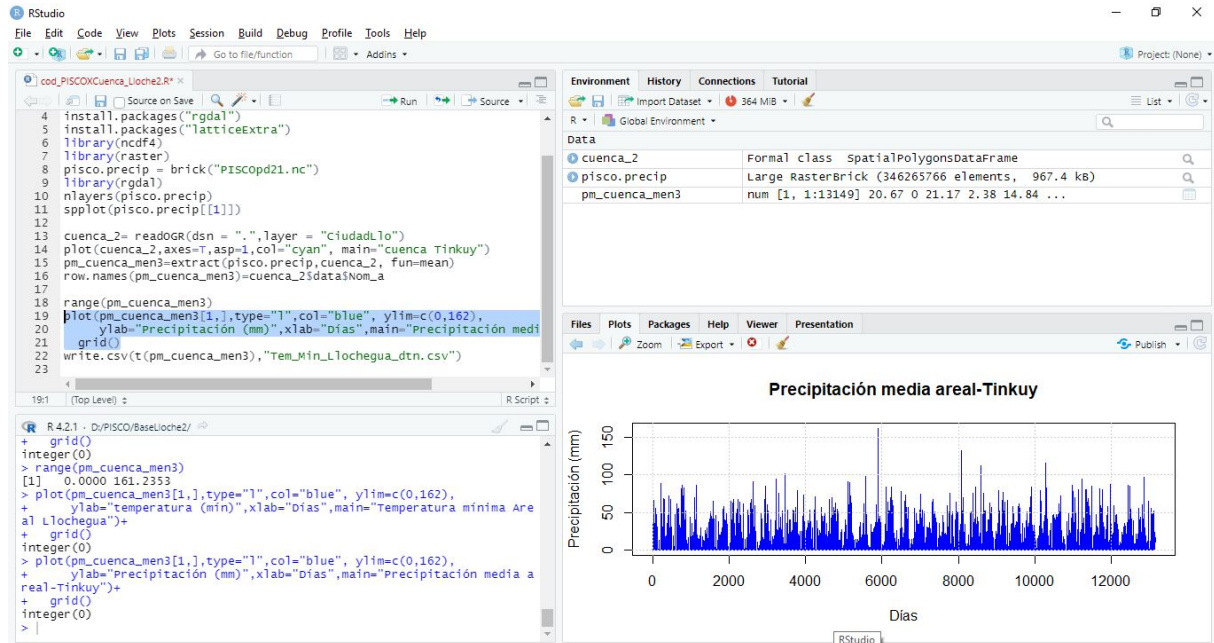
a) Descarga de datos pluviométricos y de temperatura del PISCO SENAMHI

Con el PISCO SENAMHI vamos obtener datos de precipitación y temperatura máxima y mínima diaria de la cuenca y de la ciudad de Llochegua a través del software RStudio, los datos descargados son del año 1981 hasta el año 2016 ya que estos datos son estables los datos después del 2016 son inestables, la descarga de información va ser de acuerdo a la cuenca en el caso de datos pluviométricos y de acuerdo al área de estudio (ciudad de Llochegua) para datos de temperatura.

En la figura N°32 se muestra los códigos para descargar los datos de precipitación y de temperatura del PISCO-SENAMHI y en la figura N°33 se muestra los datos grillados de precipitación de todo el Perú.

Figura 32

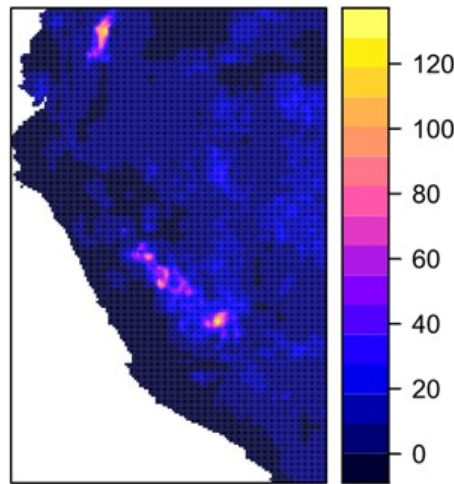
Interfaz del software RStudio



Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

Figura 33

Datos grillados de precipitación diaria de PISCO SENAMHI

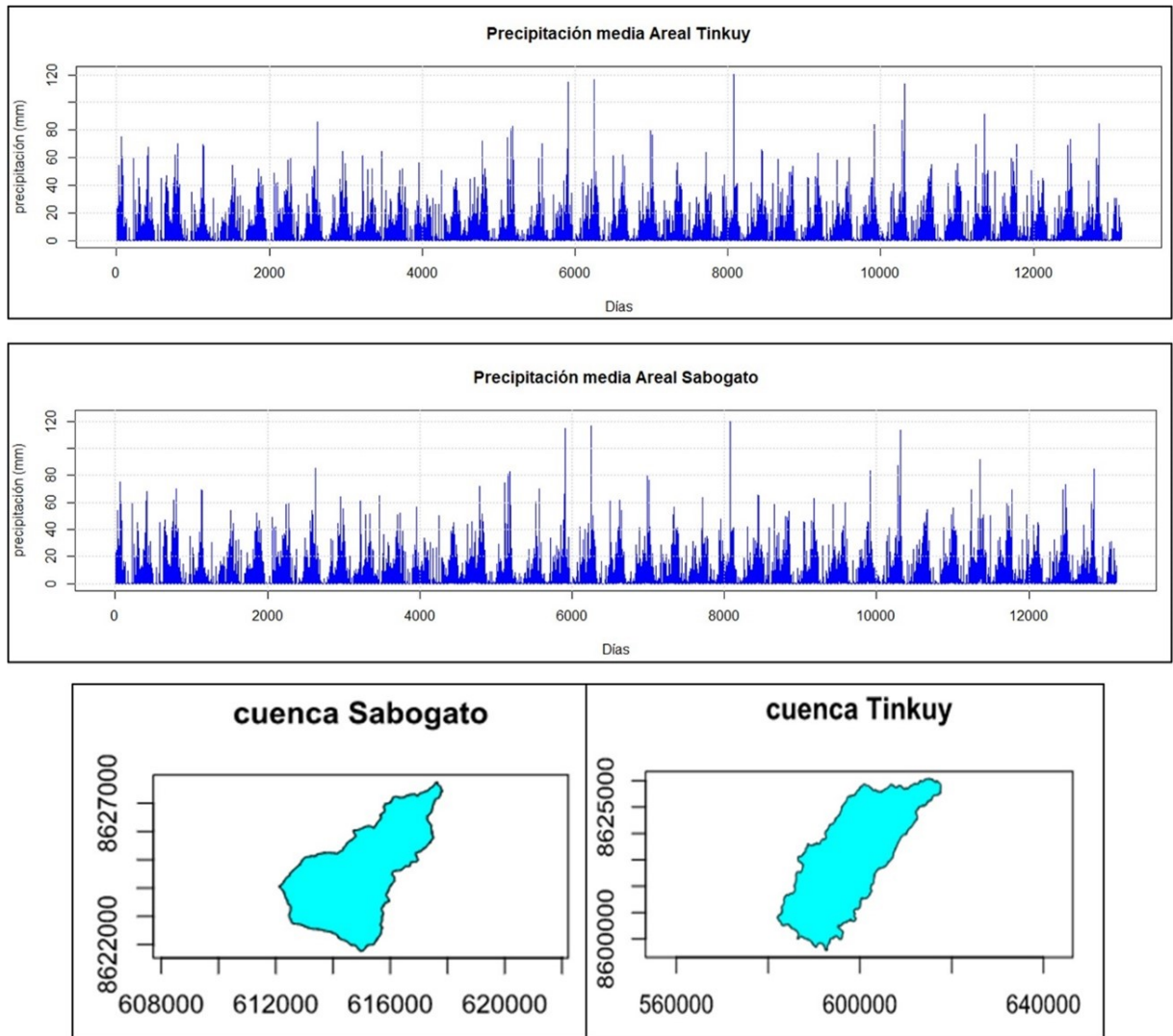


Fuente: PISCO SENAMHI

A continuación, se muestra el histograma de precipitación media areal de la cuenca Tinkuy y Sabogato mediante el software RStudio, estos valores de precipitación fueron extraídos de acuerdo a la cuenca. En el eje “y” está la precipitación en milímetros, en el eje “x” los días desde el año 1981 hasta el año 2016, la delimitación de cuenca está en coordenadas UTM WGS84 zona sur como se muestra en la parte inferior de la siguiente figura.

Figura 34

Precipitación media areal de la cuenca Tinkuy y Sabogato desde el año 1981 hasta el 2016

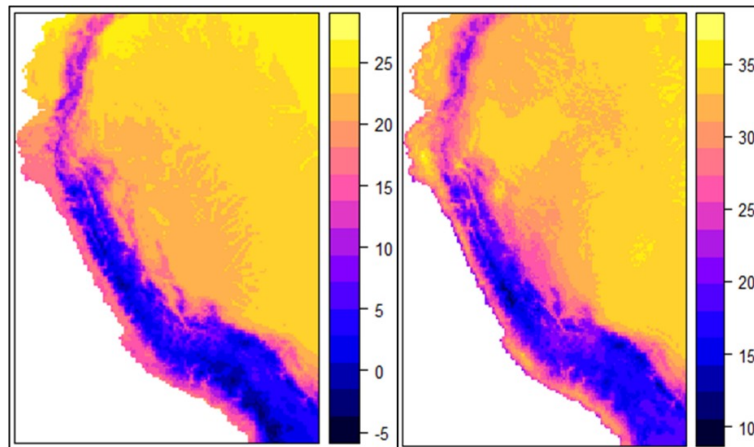


Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

A continuación, se muestra los datos grillados de temperatura máxima y mínima diaria de todo el territorio nacional, en la parte izquierda se muestra la temperatura mínima y en la parte derecha la temperatura máxima.

Figura 35

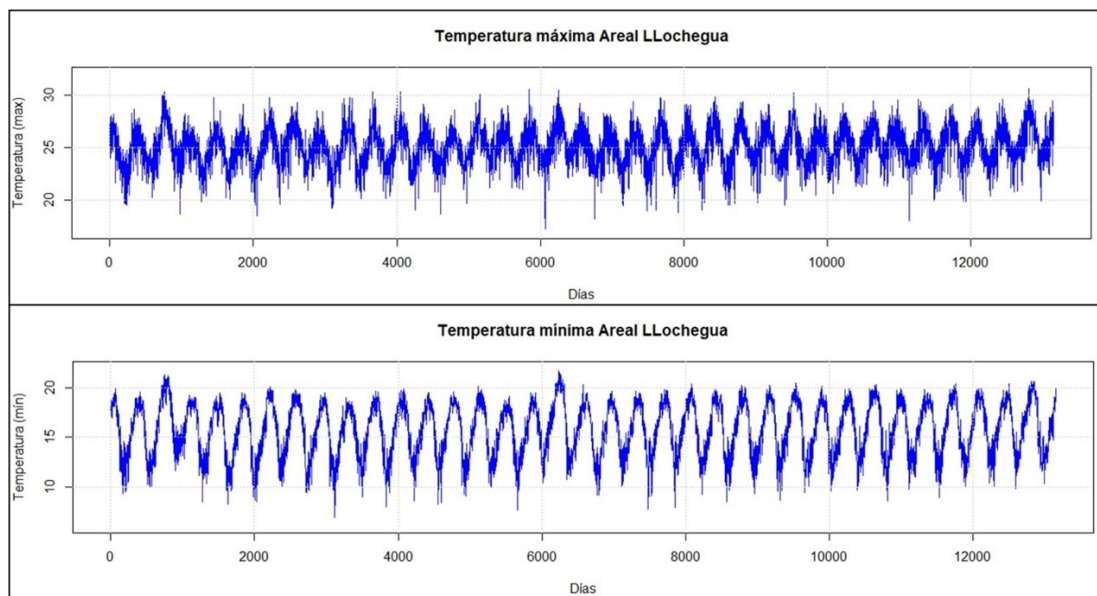
Datos grillados de temperatura diaria mínima y máxima de PISCO SENAMHI



Fuente: PISCO SENAMHI

Figura 36

Temperatura máxima y mínima areal diaria de la ciudad de Llochegua



Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

A continuación, se muestra los valores numéricos descargados del PISCO SENAMHI de temperatura máxima, mínima y promedio de la ciudad de Llochegua.

Tabla 24*Temperaturas máximas, mínimas y promedio áreal de la ciudad de Llochegua*

Temperatura (°C) máxima, mínima y promedio de la ciudad de Llochegua											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Tmaxima	28.78	28.34	27.72	27.13	25.82	24.18	24.60	24.89	25.71	25.77	27.05
Tminima	17.71	17.85	17.60	16.05	12.38	10.54	10.58	11.75	13.44	14.78	15.98
Tprom.	23.25	23.10	22.66	21.59	19.10	17.36	17.59	18.32	19.57	20.27	21.51

Nota. Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

Continuación se muestra los datos descargados del PISCO SENAMHI, cabe recalcar que estos valores fueron descargados de forma areal en este caso de la forma de la cuenca, estos valores son las precipitaciones máximas diarias desde el año 1981 hasta el año 2016.

Tabla 25

Valores de precipitación de la cuenca Tinkuy

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS-CUENCA TINKUY													
Datos obrenidos del PISCO SENAMHI													
Año	Ener.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	PP MAX
1981	54.4	32.8	75.0	16.7	15.8	9.6	0.2	59.3	29.1	45.3	26.3	13.5	75.03
1982	33.6	67.8	27.8	31.4	7.3	12.1	7.5	45.2	41.8	47.2	35.5	14.7	67.82
1983	45.7	61.8	70.3	40.5	17.2	14.8	8.4	6.9	34.8	26.5	11.6	12.2	70.29
1984	38.4	69.3	11.9	7.6	10.2	30.6	5.4	12.5	6.7	16.6	20.4	12.5	69.28
1985	29.4	45.3	54.3	14.4	31.9	32.4	24.9	7.4	22.6	13.0	14.9	25.7	54.33
1986	38.9	51.9	46.2	24.2	15.6	0.2	5.5	48.8	41.3	42.1	23.4	24.0	51.90
1987	36.8	58.3	59.2	40.5	19.1	13.4	25.5	4.1	4.6	33.7	24.9	12.3	59.24
1988	54.0	51.1	85.6	22.3	17.7	0.3	4.0	5.2	12.6	33.4	12.3	16.4	85.60
1989	44.5	64.5	55.6	31.1	11.7	20.4	5.7	10.8	10.9	61.3	36.0	17.7	64.54
1990	51.1	29.7	51.8	24.0	6.9	64.8	9.3	36.3	18.7	30.3	21.2	18.7	64.82
1991	34.4	50.9	52.1	27.8	39.1	23.3	10.7	8.4	21.7	56.3	22.9	12.4	56.34
1992	16.8	33.5	23.5	30.7	2.9	26.3	26.4	50.6	19.0	19.2	11.2	17.5	50.56
1993	38.8	45.1	38.5	23.8	7.3	15.2	7.0	44.1	17.5	45.7	30.8	38.5	45.71
1994	31.1	71.8	51.9	24.7	7.4	8.7	8.5	2.1	14.8	29.2	18.3	20.1	71.79
1995	74.6	80.6	82.7	26.3	8.3	4.4	7.5	5.1	7.8	17.0	25.1	14.6	82.71
1996	26.1	60.3	70.0	49.8	7.2	7.3	1.7	33.4	19.4	21.2	27.7	25.4	70.01
1997	43.3	66.5	115.0	34.4	8.8	4.7	2.2	16.0	42.1	19.9	40.3	37.5	114.96
1998	44.6	116.5	38.8	32.5	3.0	16.7	0.2	13.3	11.7	61.4	18.9	21.4	116.51
1999	40.5	61.9	54.0	23.4	4.8	1.6	8.9	4.0	28.5	21.5	41.3	24.8	61.92
2000	34.8	79.4	76.3	22.0	12.1	13.3	4.5	28.8	21.8	21.5	17.9	28.8	79.43
2001	51.0	56.6	41.3	19.3	18.8	7.4	27.7	8.9	12.6	31.0	27.8	19.3	56.64
2002	36.3	63.6	33.9	34.9	14.9	10.5	10.1	7.0	39.5	47.8	21.8	16.5	63.64
2003	21.9	120.1	41.4	27.3	10.0	4.5	2.3	19.2	41.9	23.0	14.0	33.9	120.08
2004	32.1	65.8	28.7	23.7	19.2	22.7	41.5	16.1	58.7	35.3	37.5	18.0	65.77
2005	32.6	49.5	53.6	29.3	8.8	0.6	11.5	6.2	9.3	45.6	24.0	25.4	53.57
2006	46.6	63.1	39.7	23.6	3.1	28.2	9.2	28.9	15.1	58.4	27.1	22.5	63.09
2007	24.0	40.3	59.8	33.0	12.1	1.9	17.2	10.8	12.1	25.5	18.5	32.4	59.82
2008	45.8	83.7	31.0	11.8	10.9	5.2	3.2	13.1	31.1	41.4	23.3	17.2	83.71
2009	35.4	87.0	113.5	34.8	5.9	17.4	14.2	14.9	25.4	28.7	32.3	21.9	113.46
2010	44.4	46.1	54.8	31.7	2.4	12.1	2.0	8.8	18.7	41.3	22.5	19.8	54.81
2011	50.6	55.8	39.5	35.6	18.9	13.2	28.6	7.2	16.7	69.5	27.0	17.2	69.48
2012	48.6	91.6	50.9	25.0	12.1	50.4	4.9	13.9	31.7	34.5	24.7	21.0	91.60
2013	59.4	57.1	69.4	21.7	10.6	8.1	20.8	32.5	9.5	50.8	14.4	19.3	69.41
2014	43.4	34.7	45.3	18.4	8.8	4.2	4.5	23.8	16.3	32.3	24.1	22.7	45.28
2015	46.3	69.2	73.0	21.3	10.2	20.7	3.3	17.4	7.2	43.4	24.6	26.4	73.03
2016	14.8	60.2	84.9	11.5	5.8	4.2	27.3	8.8	20.9	30.9	25.9	17.5	84.89
PROM	40.14	62.32	55.58	26.42	11.85	14.76	11.18	18.87	22.05	36.16	24.18	21.11	71.70
DESV. ESTA.	12.009	20.428	22.926	8.782	7.656	13.845	10.100	15.404	12.704	14.399	7.711	6.803	19.54
MAXIMO	74.59	120.08	114.96	49.82	39.06	64.82	41.51	59.25	58.66	69.48	41.29	38.49	120.08
MINIMO	14.85	29.66	11.88	7.57	2.39	0.16	0.17	2.05	4.62	13.00	11.21	12.21	45.28
Nº DATOS	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00

Nota. Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

De igual manera se realiza el mismo procedimiento a la cuenca Sabogato obteniendo los siguientes resultados

Tabla 26

Valores de precipitación de la cuenca Sabogato

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS-CUENCA SABOGATO													
Datos obrenidos del PISCO SENAMHI													
Año	Ener.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	PP MAX
1981	66.1	34.9	55.3	41.2	30.3	13.6	0.6	88.1	33.4	68.0	33.2	18.5	88.11
1982	44.4	72.4	29.7	67.7	16.6	18.8	13.6	47.5	61.4	54.2	55.3	19.7	72.37
1983	81.0	85.7	72.2	82.2	51.8	12.7	17.0	19.8	43.2	35.2	19.5	24.2	85.69
1984	69.7	86.3	13.3	15.2	18.6	30.1	17.4	13.2	11.3	25.7	30.0	15.7	86.35
1985	41.7	50.7	44.6	41.3	64.6	41.7	46.2	12.6	38.0	20.5	24.1	29.6	64.64
1986	54.1	58.4	40.5	48.2	34.0	0.3	9.9	65.5	63.0	67.4	34.9	27.6	67.36
1987	54.8	67.7	47.7	64.1	23.7	22.5	61.2	13.7	10.0	52.8	46.6	20.5	67.70
1988	67.7	54.3	90.3	59.4	24.4	0.5	11.2	5.5	21.2	49.7	16.2	18.2	90.34
1989	67.8	85.1	60.1	51.6	22.9	40.7	18.2	15.0	18.6	94.2	53.1	26.3	94.24
1990	75.2	36.0	43.4	51.7	17.2	101.6	18.7	52.7	21.4	40.6	32.3	25.7	101.62
1991	52.7	52.2	57.2	36.9	79.5	21.9	25.3	13.6	34.1	73.3	37.5	15.5	79.53
1992	29.6	39.0	35.9	53.0	13.8	29.6	52.9	71.0	25.3	38.5	18.8	26.1	71.00
1993	57.0	45.2	38.1	49.8	20.1	36.0	18.9	67.9	21.9	69.2	46.6	56.7	69.20
1994	51.7	63.0	53.9	50.3	13.1	23.8	27.2	5.7	24.1	40.2	32.8	20.5	63.01
1995	90.4	89.3	72.5	46.2	18.6	13.3	14.7	9.6	14.0	30.9	37.2	20.5	90.45
1996	35.4	62.0	77.8	98.5	20.1	6.2	4.1	34.8	23.8	28.4	30.9	36.8	98.53
1997	59.7	71.2	161.2	45.3	23.5	7.4	5.8	33.9	84.3	28.9	63.3	24.5	161.24
1998	69.3	84.2	49.7	59.1	10.4	26.5	1.2	13.9	28.6	78.0	29.2	22.5	84.15
1999	64.9	73.8	57.2	56.1	14.4	3.0	14.6	7.7	55.7	33.6	47.9	38.6	73.76
2000	34.1	52.8	74.3	53.3	30.7	51.0	9.5	31.1	29.4	36.5	28.9	31.4	74.32
2001	67.9	53.3	50.4	43.1	36.1	15.2	35.6	17.7	23.4	46.4	36.7	22.6	67.87
2002	49.8	58.9	51.3	75.4	46.3	16.6	50.3	39.7	56.7	64.1	49.7	25.7	75.40
2003	34.1	132.0	70.0	49.6	33.7	8.9	5.4	19.8	48.1	50.3	16.2	75.4	132.02
2004	36.1	83.7	34.4	44.2	38.2	22.6	111.8	47.1	76.0	51.7	52.3	24.6	111.80
2005	40.4	62.1	48.4	56.9	25.3	1.6	24.7	9.3	21.0	79.2	52.2	31.8	79.19
2006	66.4	77.0	52.4	64.0	7.4	66.4	22.7	34.1	24.0	58.3	48.0	30.2	76.98
2007	37.3	51.4	61.6	55.8	21.6	5.0	35.8	29.9	38.4	50.6	31.1	35.8	61.63
2008	70.9	84.3	33.4	33.3	23.8	12.6	15.5	18.6	43.8	79.4	27.9	23.0	84.26
2009	45.6	116.1	82.9	41.0	18.7	26.4	35.8	46.4	47.4	42.9	47.3	24.1	116.09
2010	47.3	61.1	50.4	71.6	9.0	17.8	6.6	26.3	37.7	48.7	26.6	22.5	71.56
2011	86.6	78.4	33.7	69.8	49.9	27.2	80.7	23.1	55.8	94.4	42.1	23.3	94.44
2012	80.0	80.7	69.1	58.0	29.5	85.5	19.5	19.8	35.9	47.4	32.1	29.9	85.50
2013	81.1	59.0	80.2	36.3	31.3	18.1	45.8	58.4	12.5	86.9	26.5	22.9	86.90
2014	59.0	36.2	47.7	34.8	26.8	10.5	8.0	23.5	29.4	36.0	32.5	28.3	58.98
2015	69.3	85.7	85.2	54.3	18.6	39.6	8.3	21.1	13.8	56.1	40.4	44.2	85.73
2016	28.0	60.1	96.6	29.8	9.2	12.1	65.1	12.4	55.8	49.0	51.9	25.4	96.55
PROM	57.41	67.89	58.96	52.47	27.05	24.64	26.67	29.71	35.62	52.98	37.00	28.02	85.24
DESV. ESTA.	17.057	21.189	25.683	15.693	15.617	22.469	24.338	20.924	18.624	19.526	11.982	11.449	20.58
MAXIMO	90.45	132.02	161.24	98.53	79.53	101.62	111.80	88.11	84.31	94.44	63.35	75.38	161.24
MINIMO	28.00	34.91	13.32	15.24	7.45	0.32	0.64	5.48	10.00	20.48	16.21	15.46	58.98
Nº DATOS	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00

Nota. Fuente: Adaptado de PISCO SENAMHI

b) Análisis de salto y tendencia con el Software TREND

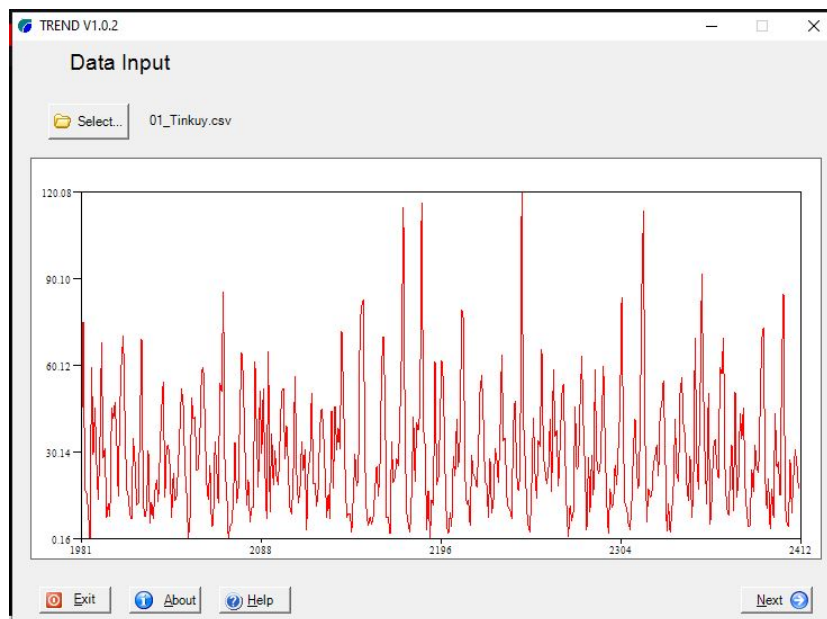
Con el software TREND hallaremos las pruebas estadísticas de saltos y tendencias en datos hidrológicos, este software contiene 12 pruebas estadísticas elaborado por el taller de expertos de OMM de la UNESCO.

i) Análisis de salto y tendencia cuenca Tinkuy.

La imagen siguiente se puede ver el histograma de la cuenca Tinkuy durante los periodos de 1981 hasta el año 2016, para que puede reconocer el software TREND se colocó el año 1981 el mes de enero, el 1982 el mes de febrero y así sucesivamente hasta llegar al año 2412 tal como se muestra en la imagen siguiente, estos datos fueron tratados previamente con la prueba de datos dudosos o outliers donde no se encontraron datos dudosos tanto en la cuenca Tinkuy y en la cuenca Sabogato.

Figura 37

Histograma de precipitación de la cuenca Tinkuy

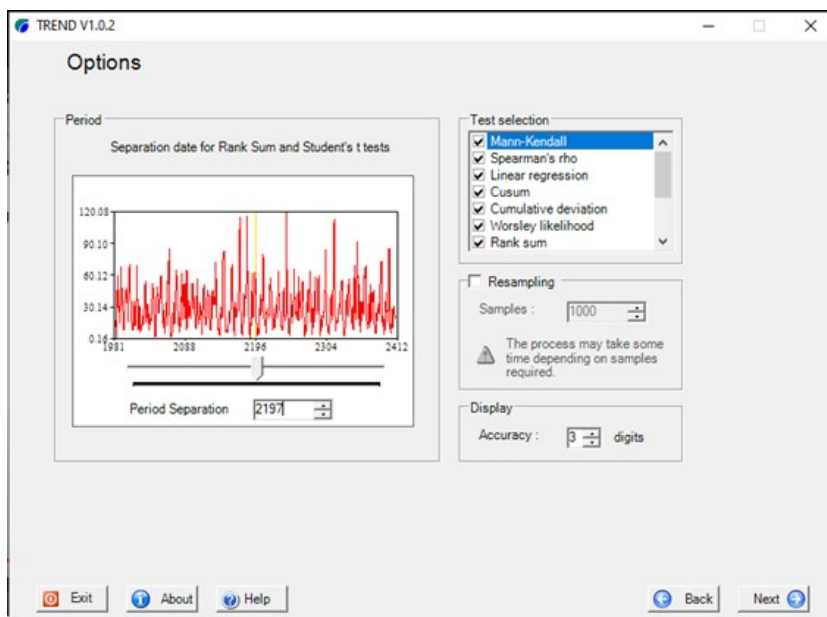


Fuente: Adaptado de TREND

Se tomo 2 muestras del registro total de datos a los cuales se realizó un análisis gráfico y análisis estadístico como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 38

Análisis de saltos y tendencias cuenca Tinkuy



Fuente: Adaptado de TREND

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de análisis de datos estadísticos de saltos y tendencias, donde podemos apreciar 8 test estadísticos entre paramétricos y no paramétricos, los tres primeros sirven para determinar si hay tendencia, los 5 faltantes para determinar saltos, para ambos casos nos da como respuesta el símbolo *NS* “*No Statistically Significant*” (No hay tendencias o saltos) en caso lo hubiera el programa nos daría como resultado el símbolo *S* “*Statistically Significant*” (hay tendencias o saltos), el software nos da resultados con un 90, 95 y 99 % de confiabilidad ó 0.1, 0.05 y 0.01 de nivel de significancia respectivamente

Tabla 27

Resultados de análisis de saltos y tendencias en la cuenca Tinkuy

Data file : 01_Tinkuy.csv							
(Statistical table)							
Test statistic	z-statistic	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Result	Tipo prueba	Prueba
Mann-Kendall	-0.191	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
Spearman's Rho	-0.204	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
Linear regression	0.041	1.653	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	
Cusum	11	25.357	28.267	33.879	NS	NO PARAMÉTRICO	SALTOS
Cumulative deviation	0.378	1.188	1.316	1.58	NS	PARAMÉTRICO	
Worsley likelihood	2.12	2.866	3.152	3.79	NS	PARAMÉTRICO	
Rank Sum	-0.139	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
Student's t	-0.048	1.653	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	

Nota. Fuente: Adaptado de TREND

Del cuadro anterior podemos observar los resultados de análisis de saltos y tendencia con el software TREND. Donde concluimos que no existen saltos ni tendencias por lo tanto se desprende del análisis

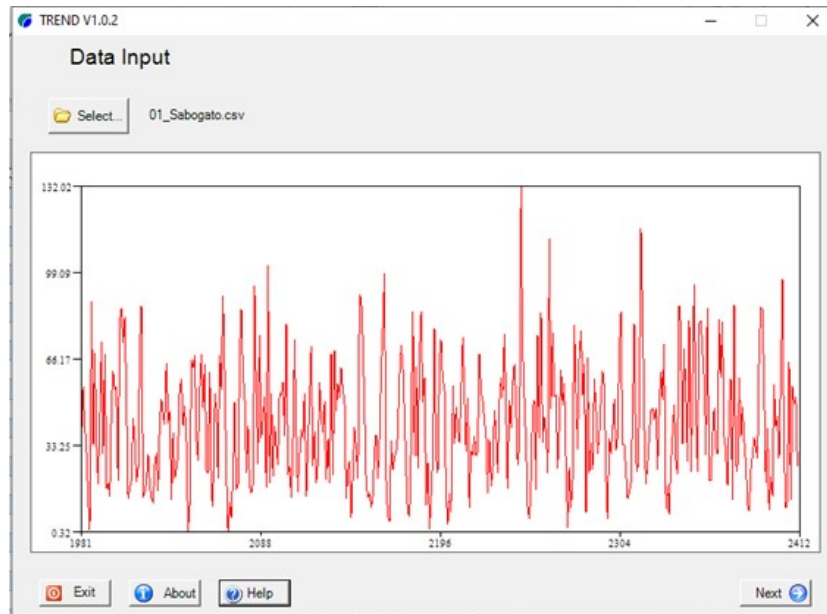
antes mencionado que las condiciones verificadas en la media y desviación estándar se cumplen, por lo tanto, no será necesario realizar correcciones.

ii) Análisis de salto y tendencia cuenca Sabogato.

Se procede al análisis de datos del mismo modo de la cuenca Tinkuy, Los datos recolectados son durante los periodos de 1981 hasta el año 2016.

Figura 39

Histograma de precipitación de la cuenca Sabogato

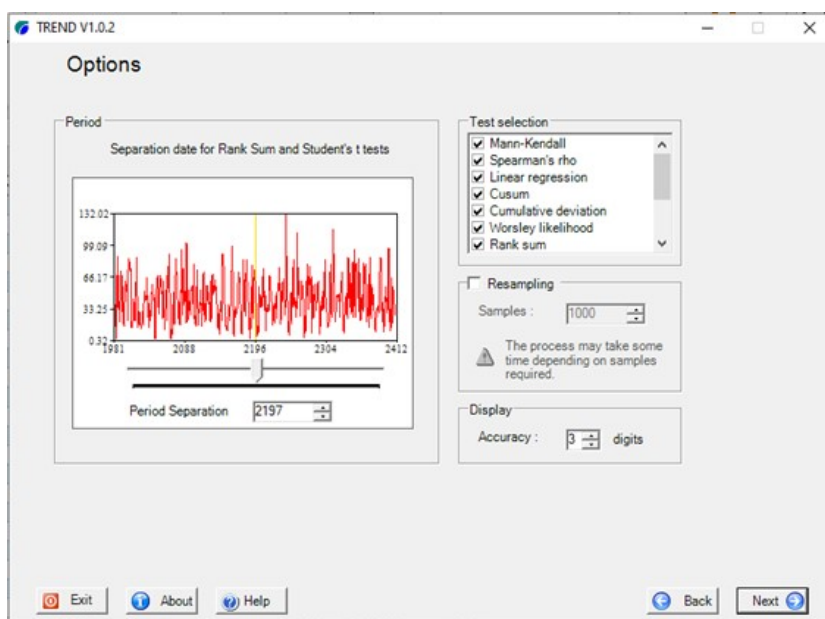


Fuente: Adaptado de TREND

Se tomo 2 muestras del registro total de datos a los cuales se realizó un análisis gráfico y análisis estadístico como se muestra en la siguiente imagen

Figura 40

Análisis de saltos y tendencias cuenca Sabogato



Fuente: Adaptado de TREND

Como en la cuenca anterior se hizo el análisis de datos de saltos y tendencia, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 28

Resultados de análisis de saltos y tendencias en la cuenca Sabogato

Data file : 01_Sabogato.csv							
(Statistical table)							
Test statistic	z-statistic	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Result	Tipo prueba	Prueba
Mann-Kendall	1.028	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	TENDENCIAS
Spearman's Rho	1.007	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
Linear regression	1.1	1.653	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	
Cusum	14	25.357	28.267	33.879	NS	NO PARAMÉTRICO	SALTOS
Cumulative deviation	0.94	1.188	1.316	1.58	NS	PARAMÉTRICO	
Worsley likelihood	1.91	2.866	3.152	3.79	NS	PARAMÉTRICO	
Rank Sum	-1.478	1.645	1.96	2.576	NS	NO PARAMÉTRICO	
Student's t	-1.451	1.653	1.973	2.603	NS	PARAMÉTRICO	

Nota. Fuente: Adaptado de TREND

Del cuadro anterior podemos observar los resultados de análisis de saltos y tendencia con el software TREND. Donde concluimos que no existen saltos ni tendencias por lo tanto se desprende del análisis antes mencionado que las condiciones verificadas en la media y desviación estándar se cumplen, por lo tanto, no será necesario realizar correcciones.

c) Análisis de Frecuencia y Prueba de Bondad y Ajuste

Se utilizó el ajuste estadístico de Smirnov Kolmogorov, Chi cuadrado y el Método Visual utilizando el software **Hydrognomon** donde tiene las siguientes distribuciones: Normal, LogNormal, Galton,

Exponencial, Gamma, Pearson III, LogPearson III, Gumbel Max, EV2-Max, Gumbel Min, Weibull, GEV-Max, GEV-Min, Pareto, GEV-Max (kappa specified), GEV-Min (kappa specified), estas funciones son desarrolladas automáticamente con software antes mencionado, en esta tesis solo se utilizará las pruebas Normal, Log normal, Gumbel, Pearson III, LogPearson III porque son las más conocidas.

i) Prueba de Bondad y Ajuste Cuenca Tinkuy.

Una vez obtenido las precipitaciones máximas diarias desde el año 1981 hasta el año 2016 y el análisis de consistencia se procede a alimentar los datos al Hydrognomon y utilizando la opción Phytia statistical analysis del software nos da automáticamente los resultados visuales, luego en test escogemos la opción Smirnov Kolmogorov y luego el chi cuadrado donde número de clases es igual a 6 por tener 36 datos, el nivel de significancia es de 5 %. El primer cálculo se realizó para la cuenca Tinkuy como se muestra en el siguiente tabla N° 29. El Hydrognomon nos da resultados con un porcentaje de significancia de 1, 5 y 10 %. La prueba que mejor se ajuste será el que se aproxime al 100 %, el Dmax es el delta tabular como se muestra en la siguiente tabla para la cuenca Tinkuy.

Tabla 29

Resultados de Prueba de bondad de Smirnov Kolmogorov para la cuenca Tinkuy

PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV					
Kolmogorov-Smirnov test for:All dat	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.63%	0.0633
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.50%	0.0649
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.39%	0.0659
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.35%	0.0663
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.03%	0.0687
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.87%	0.0696
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.50%	0.0715
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.47%	0.0717
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.35%	0.0759
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.96%	0.0771
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.12%	0.0794
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.06%	0.0795
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.25%	0.0814
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.19%	0.0815
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.86%	0.0948
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.42%	0.0978
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	68.94%	0.1142
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.28%	0.1503
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.23%	0.1517
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	30.75%	0.1564
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	27.93%	0.1606
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	27.86%	0.1607
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25.24%	0.1648
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.16%	0.1822
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	15.64%	0.1834
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.12%	0.2209
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.10%	0.2211

Nota. Fuente: Adaptado de Hydrognomon

De la tabla anterior se podemos deducir que la prueba que mejor se ajusta es el Log Pearson III con la prueba Smirnov Kolmogorov con un ajuste de 99.03 % y un delta teórico de 0.068.

Tabla 30

Resultados de Prueba de bondad de CHI Cuadrado para la cuenca Tinkuy

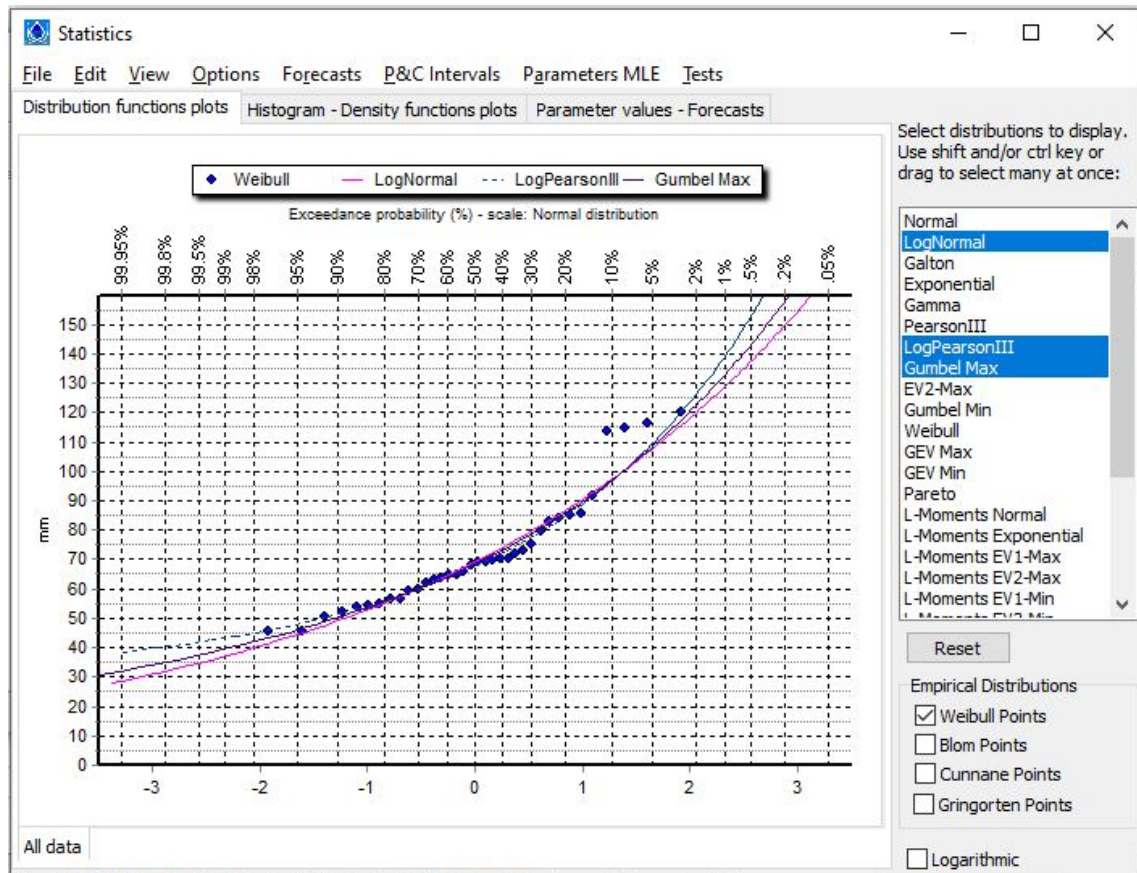
PRUEBA CHI-CUADRADO					
Número de Clases =				6.0	
X-Square test for All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Param.
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.13%	1
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	72.12%	1.33333
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	72.12%	1.33333
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	64.44%	1.66667
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	64.44%	1.66667
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	57.24%	2
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.34%	1.33333
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.34%	1.33333
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.34%	1.33333
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.59%	2.66667
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	39.16%	3
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	36.79%	2
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	36.79%	2
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.30%	3.33333
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.30%	3.33333
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.36%	2.66667
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.36%	2.66667
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.36%	2.66667
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	19.79%	4.66667
Normal	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.65%	6.33333
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.96%	8.33333
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.96%	8.33333
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.96%	8.33333
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.41%	8.66667
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.52%	9.33333
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.17%	11

Nota. Fuente: Adaptado de Hydrognomon

Para la prueba Chi cuadrado se puede deducir que los parámetros que mejor se ajustan son Gumbel y Log Normal teniendo un ajuste de 72.12 y 57.24 %. De las dos pruebas anteriores se puede deducir que existen 3 posibles casos que mejor se ajusta, para poder dar solución a esta se acude al método visual donde determinaremos el mejor ajuste como mostraremos en el siguiente figura.

Figura 41

Resultados por Selección Visual para la cuenca Tinkuy



Fuente: Adaptado de Hydrognomon

De grafico anterior se determina que la distribución que mejor se ajusta para la cuenca Tinkuy es Log Pearson III.

ii) Prueba de bondad y ajuste cuenca Sabogato.

Se determina el análisis de bondad de ajuste al igual que la cuenca anterior.

Tabla 31

Resultados de prueba de bondad de Smirnov Kolmogorov para la cuenca Sabogato

PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV					
Kolmogorov-Smirnov test for:All dat	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.48%	0.06506
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.82%	0.07751
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.17%	0.07924
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.25%	0.08139
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	82.09%	0.10049
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.43%	0.10234
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	78.87%	0.10402
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.38%	0.1056
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.20%	0.10579
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76.86%	0.10615
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	74.89%	0.10819
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	74.41%	0.10868
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.92%	0.10918
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.17%	0.10994
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	72.67%	0.11045
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	72.57%	0.11055
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	70.75%	0.11237
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	70.51%	0.11261
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.89%	0.14223
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	40.10%	0.14434
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	36.83%	0.14835
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.99%	0.1494
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.88%	0.15084
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	32.80%	0.1536
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23.93%	0.16699
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.70%	0.16911
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	6.75%	0.21228

Nota. Fuente: Adaptado de Hydrognomon

De la tabla anterior se podemos deducir que la prueba que mejor se ajusta con la prueba Smirnov Kolmogorov es el Gamma y Log Normal con un ajuste de 99.48 % y 96.82 % y delta teórico de 0.065 y 0.0775 respectivamente.

Tabla 32

Resultados de prueba de bondad de CHI Cuadrado para la cuenca Sabogato

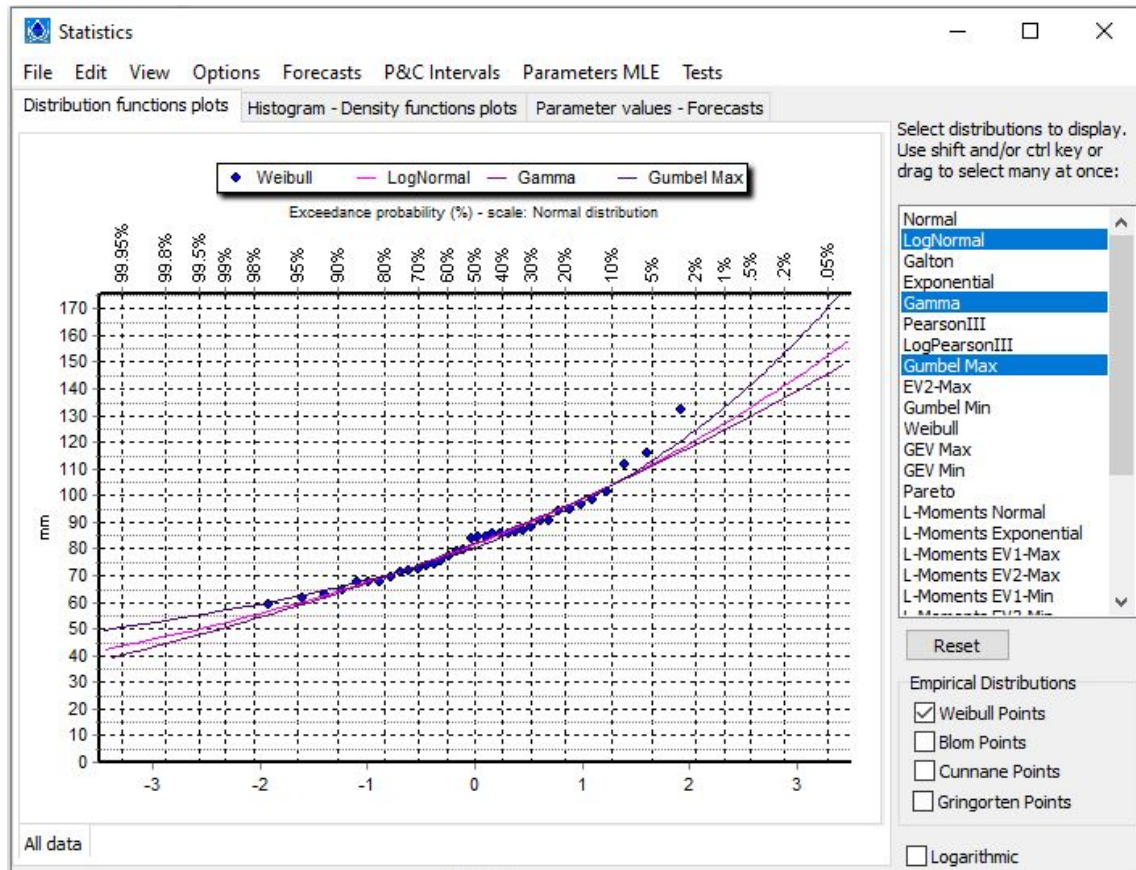
PRUEBA CHI-CUADRADO					
Número de Clases=				6.0	
X-Square test for All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Param.
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	64.44%	1.66667
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	64.44%	1.66667
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.65%	1
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.34%	1.33333
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.59%	2.66667
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	44.59%	2.66667
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.46%	1.66667
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.46%	1.66667
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.46%	1.66667
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.46%	1.66667
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	43.46%	1.66667
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.30%	3.33333
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.30%	3.33333
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.30%	3.33333
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	29.98%	3.66667
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.36%	2.66667
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.15%	4
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	26.15%	4
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.31%	3
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	19.79%	4.66667
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	19.79%	4.66667
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	17.18%	5
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	14.90%	5.33333
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.90%	5.66667
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.90%	5.66667
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.90%	5.66667
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.16%	6

Nota. Fuente: Adaptado de Hydrognomon

Para la prueba Chi cuadrado se puede deducir que los parámetros que mejor se ajustan son Gumbel con un ajuste de 64.44 %. De las dos pruebas anteriores se puede deducir que existen 3 posibles casos que mejor se ajusta, para poder dar solución a esta se acude al método visual donde determinaremos el mejor ajuste como mostraremos en el siguiente recuadro.

Figura 42

Resultados por Selección Visual para la cuenca Sabogato



Fuente: Adaptado de Hydrognomon

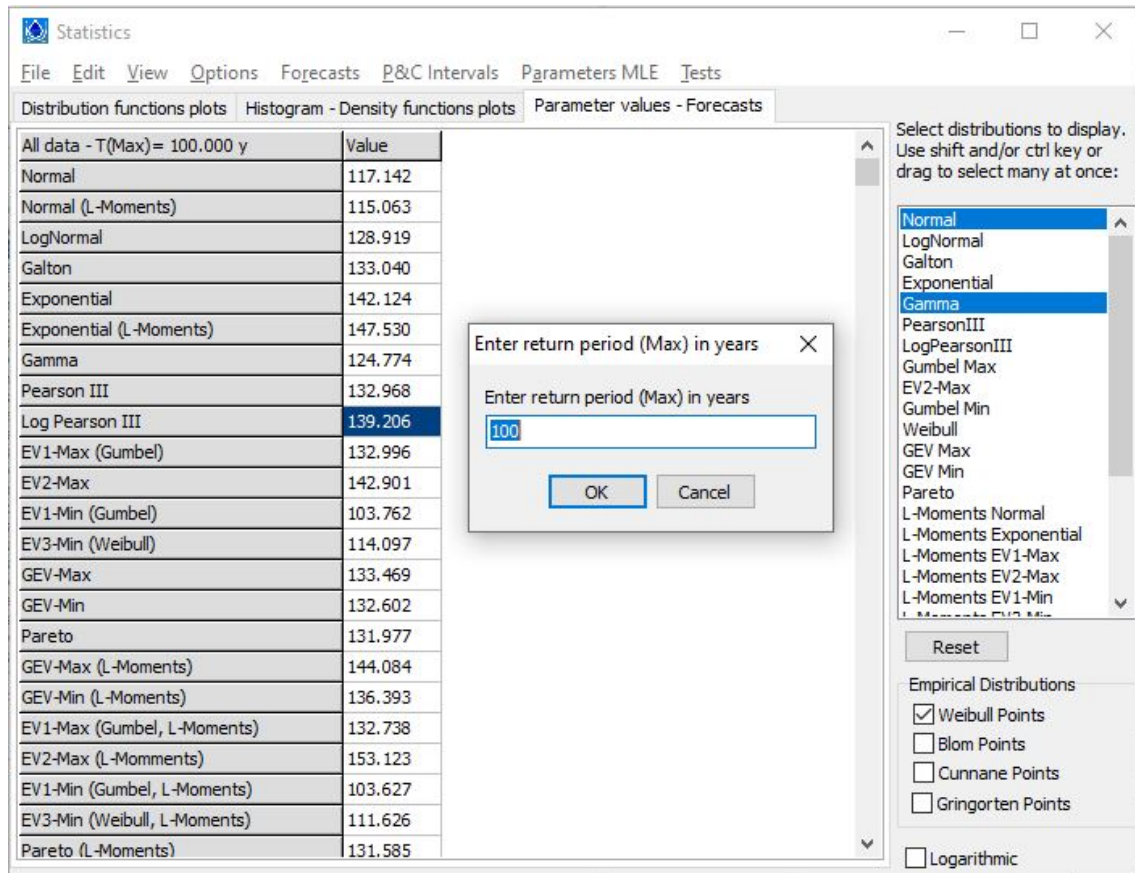
De grafico anterior se determina que la distribución que mejor se ajusta para la cuenca Sabogato es Gumbel.

d) Cálculo de la precipitación máxima en 24 horas

Para determinar la precipitación máxima para diferentes periodos de retorno se acude al Software Hydrognomon. En la siguiente figura se muestra la interfaz del Hydrognomon para determinar la precipitación máxima en diferentes periodos de retorno de acuerdo a la cuenca.

Figura 43

Interfaz Hydrognomon para hallar precipitación máxima en un tiempo de retorno determinado



Fuente: Adaptado de Hydrognomon

La siguiente tabla se obtuvo los valores de tiempo de retorno mediante la distribución Log Pearson III para el caso de la cuenca Tinkuy y Gumbel para la cuenca Sabogato determinado en el ítem anterior.

Tabla 33*Precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno*

TR-Tinkuy		TR-Sabogato	
Log Pearson III		Gumbel	
Periodo de Retorno	Pmax	Periodo de Retorno	Pmax
T (años)	(mm)	T (años)	(mm)
2	67.671	2	80.482
5	84.882	5	94.564
10	97.017	10	103.888
25	113.213	25	115.669
50	125.924	50	124.408
100	139.206	100	133.083
200	153.171	200	141.727
500	172.841	500	153.130
1000	188.746	1000	161.748
10000	249.024	10000	190.363

Nota. Fuente: Elaboración propia**e) Determinación de la tormenta de diseño.**

Una vez obtenido la precipitación máxima en 24 horas, se hizo las correcciones como recomienda la OMM donde se multiplica los valores por 1.3 a los datos pluviométricos que se registran una vez al día ya que los datos del PISCO SENAMHI son hechos de acuerdo a los registros pluviográficos a nivel nacional que en su mayoría son registros de 1 día, luego se procedió a definir la tormenta de diseño para utilizar en la entrada de un sistema hidrológico.

Utilizaremos el enfoque de las relaciones intensidad-duración-frecuencia para identificar la tormenta de diseño, y el hietograma de diseño se creó utilizando la metodología de bloques alternos y la curva intensidad-duración-frecuencia.

Para esta sección se utilizará los métodos Bell y Yance Tueros, método de los coeficientes del MTC, Coeficientes según Campos, Dick y Peshcke, donde se comparó los mejores resultados, las hojas de cálculos de todas estas metodologías se encuentra en el anexo de la presente tesis. La duración de tormenta es utilizada de acuerdo al tiempo de concentración de cada cuenca obtenido en la tabla N° 23 de la presente tesis, en este caso la duración de la tormenta Tinkuy es de 6 horas y la duración de tormenta para la cuenca Sabogato es de 2 horas. En la siguiente tabla se puede observar la tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años para diferentes metodologías aplicadas a la cuenca Tinkuy.

Tabla 34

Comparación de Tormenta de diseño con diferentes métodos y para un tiempo de retorno de 100 años

CUENCA TINKUY-TR 100 años			
DICK Y PESHCKE	BELL & TUEROS	COEFICI. MTC	COEFICI. CAMPOS
0.78	0.99	1.29	1.18
0.82	1.02	1.33	1.22
0.86	1.06	1.38	1.27
0.90	1.10	1.43	1.33
0.95	1.15	1.49	1.39
1.01	1.20	1.55	1.46
1.08	1.26	1.63	1.54
1.15	1.33	1.71	1.63
1.25	1.41	1.81	1.73
1.36	1.50	1.92	1.86
1.50	1.62	2.06	2.02
1.67	1.76	2.23	2.21
1.90	1.95	2.45	2.46
2.23	2.20	2.74	2.81
2.73	2.56	3.17	3.31
3.60	3.16	3.87	4.16
5.64	4.43	5.33	6.02
44.42	17.22	18.76	27.63
8.41	5.99	7.09	8.36
4.36	3.65	4.43	4.87
3.10	2.82	3.47	3.68
2.45	2.36	2.94	3.03
2.05	2.06	2.59	2.62
1.78	1.85	2.33	2.33
1.58	1.69	2.14	2.11
1.42	1.56	1.99	1.93
1.30	1.46	1.86	1.79
1.20	1.37	1.76	1.68
1.11	1.29	1.67	1.58
1.04	1.23	1.59	1.50
0.98	1.17	1.52	1.42
0.92	1.13	1.46	1.36
0.88	1.08	1.41	1.30
0.84	1.04	1.36	1.25
0.80	1.01	1.31	1.20
0.76	0.97	1.27	1.16

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Comparación de tormenta de diseño para diferentes métodos para un tiempo de retorno=100 años

CUENCA SABOGATO-TR 100 años			
DICK Y PESHCKE	BELL & TUEROS	COEFICI. MTC	COEFICI. CAMPOS
1.826	2.223	2.218	2.229
2.140	2.507	2.486	2.541
2.618	2.922	2.873	3.001
3.455	3.606	3.504	3.772
5.402	5.060	4.825	5.451
42.580	19.662	16.988	25.020
8.056	6.843	6.417	7.571
4.179	4.165	4.015	4.412
2.969	3.215	3.144	3.329
2.351	2.693	2.659	2.746
1.968	2.353	2.341	2.372
1.705	2.111	2.112	2.107

Nota. Fuente: Elaboración propia

Según el [MTC \(2012\)](#), recomienda usar la metodología de Dick y Peschke para tormentas menores a una hora o no se cuente con registros pluviográficos, el método de Bell y Yance tueros se recomienda para período de retorno de entre 10 a 100 años y una duración de 5 a 120 minutos, la metodología de campos para duraciones de 1 a 24 horas , metodología MTC para duraciones de 1 a 48 horas. Teniendo en cuenta las recomendaciones antes mencionadas y las tablas anteriores escogemos la metodología Dick y Peschke porque al hacer el modelamiento estos valores se acercaron a la realidad. En la siguiente tabla muestra la precipitación de diseño para la cuenca Tinkuy para diferentes periodos de retorno 25, 50, 100, 200, 500 años usando el modelo de Dick y Peschke.

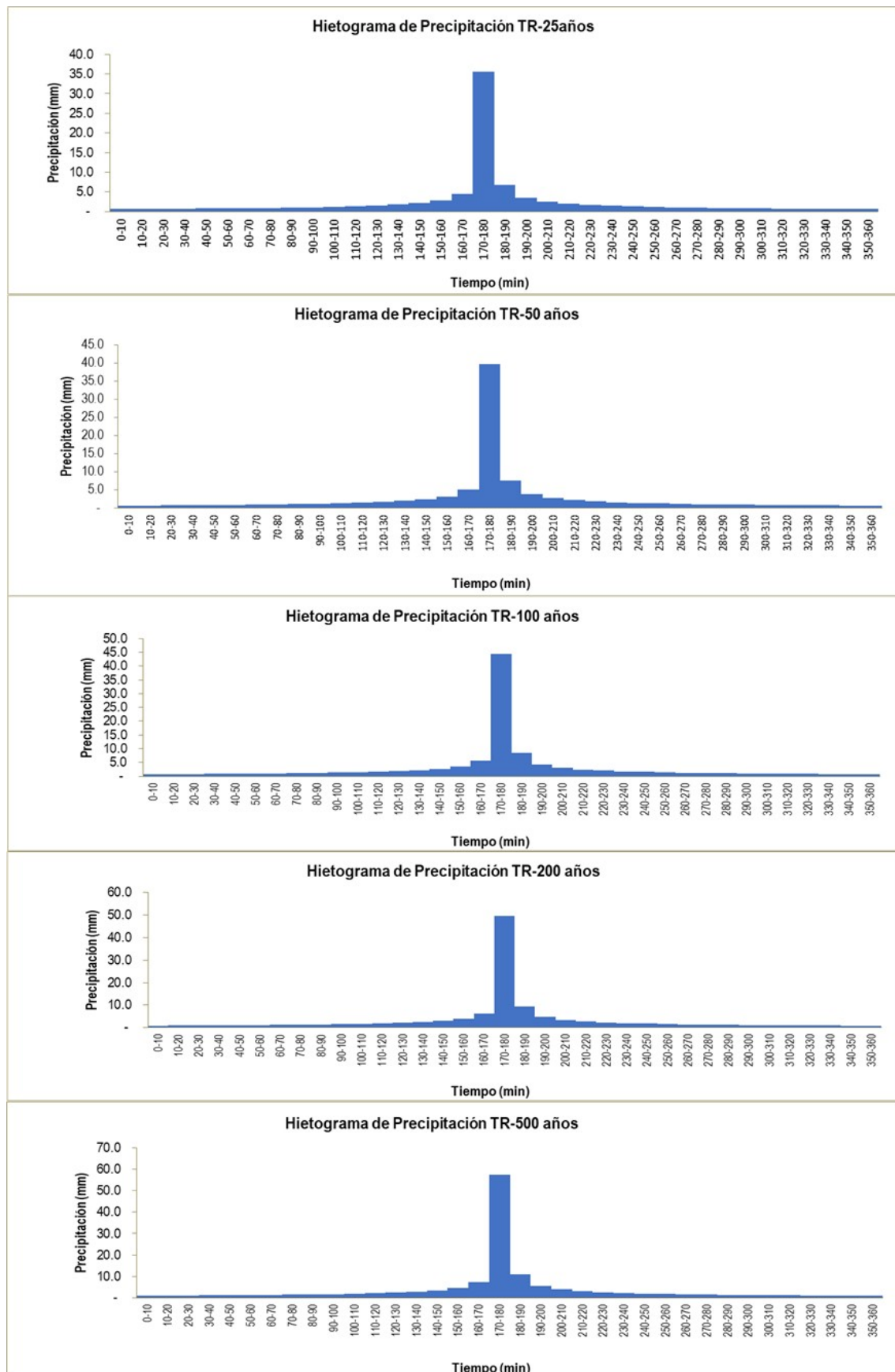
Tabla 36*Precipitación de diseño para la cuenca Tinkuy*

Modelo Dick Peschcke para diferentes periodos de retorno				
CUENCA TINKUY				
TR25	TR50	TR 100	TR 200	TR 500
0.625	0.698	0.78	0.872	1.009
0.654	0.73	0.816	0.912	1.056
0.685	0.766	0.856	0.956	1.107
0.721	0.806	0.9	1.006	1.165
0.762	0.851	0.951	1.063	1.23
0.808	0.903	1.009	1.127	1.305
0.861	0.962	1.075	1.201	1.391
0.923	1.032	1.153	1.288	1.492
0.997	1.114	1.245	1.391	1.611
1.087	1.214	1.357	1.516	1.756
1.197	1.338	1.495	1.67	1.934
1.339	1.496	1.671	1.867	2.162
1.526	1.705	1.905	2.128	2.465
1.788	1.998	2.233	2.495	2.889
2.188	2.445	2.732	3.052	3.534
2.887	3.226	3.604	4.027	4.664
4.514	5.044	5.636	6.297	7.292
35.583	39.758	44.424	49.637	57.479
6.732	7.523	8.405	9.392	10.875
3.492	3.902	4.36	4.871	5.641
2.481	2.773	3.098	3.461	4.008
1.965	2.195	2.453	2.741	3.174
1.645	1.838	2.054	2.295	2.657
1.425	1.592	1.779	1.988	2.302
1.263	1.412	1.577	1.762	2.041
1.139	1.273	1.422	1.589	1.84
1.04	1.162	1.298	1.451	1.68
0.959	1.071	1.197	1.337	1.549
0.891	0.996	1.112	1.243	1.439
0.834	0.931	1.041	1.163	1.346
0.784	0.876	0.979	1.094	1.266
0.741	0.828	0.925	1.033	1.197
0.703	0.785	0.877	0.98	1.135
0.669	0.748	0.835	0.933	1.081
0.639	0.714	0.798	0.891	1.032
0.612	0.683	0.764	0.853	0.988

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Hietograma de diseño para la cuenca Tinkuy



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla muestra la precipitación de diseño para la cuenca Sabogato para diferentes periodos de retorno 25, 50, 100, 200, 500 años usando el modelo de Dick y Peschke.

Tabla 37

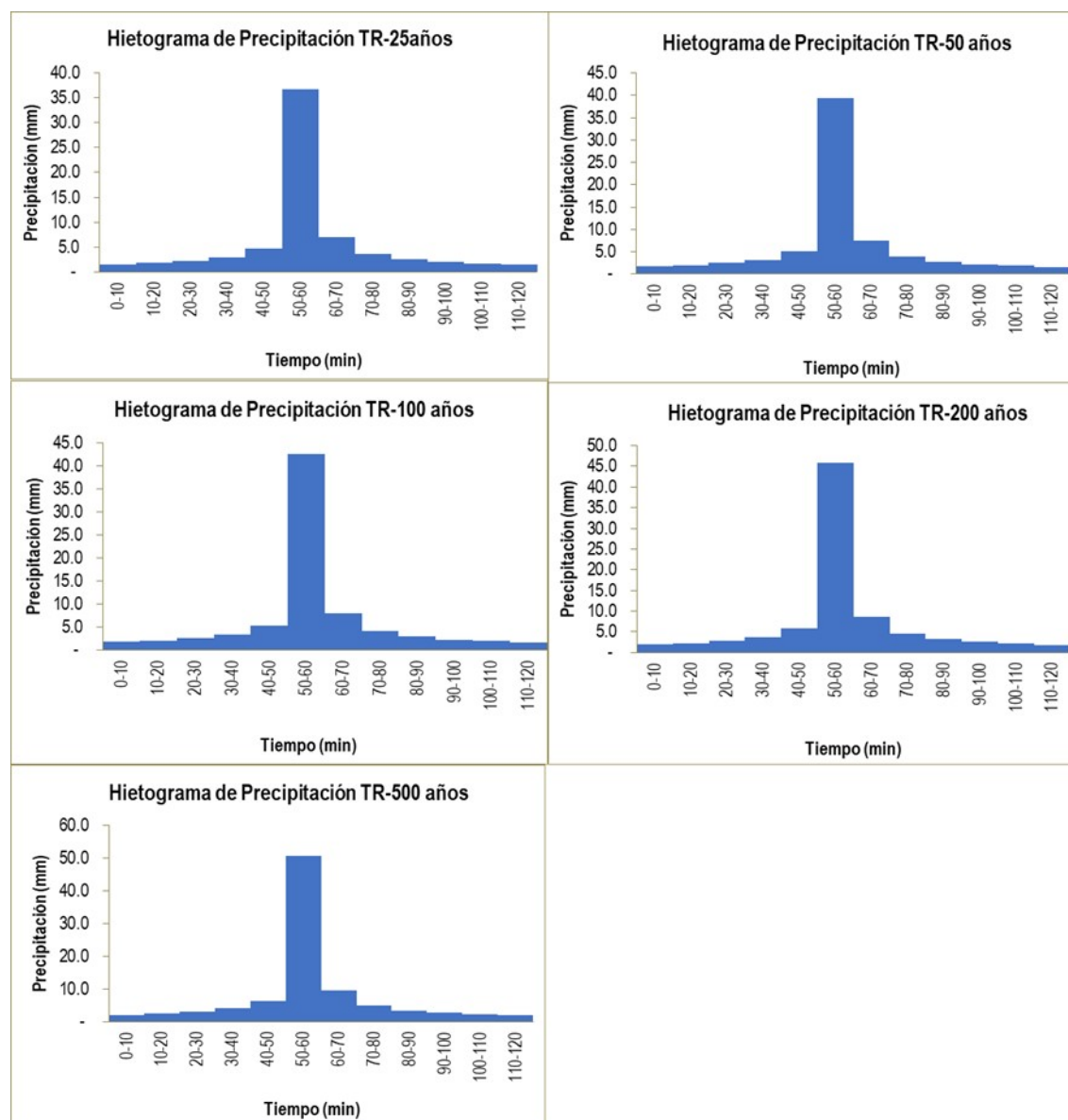
Precipitación de diseño, para la cuenca Sabogato

Modelo Dick Peschcke para diferentes periodos de retorno				
CUENCA SABOGATO				
TR25	TR50	TR 100	TR 200	TR 500
1.57	1.693	1.826	1.969	2.175
1.84	1.984	2.14	2.308	2.55
2.252	2.428	2.618	2.823	3.12
2.971	3.204	3.455	3.725	4.116
4.646	5.009	5.402	5.825	6.436
36.617	39.486	42.58	45.916	50.731
6.928	7.471	8.056	8.688	9.599
3.594	3.875	4.179	4.506	4.979
2.554	2.754	2.969	3.202	3.538
2.022	2.18	2.351	2.535	2.801
1.693	1.825	1.968	2.123	2.345
1.466	1.581	1.705	1.839	2.032

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 45

Hietograma de diseño para la cuenca Sabogato



Fuente: Elaboración propia

3.9.2.4 Estimación del caudal de diseño de las cuencas

El diseño de caudal máximo se utilizó el software HEC-HMS v4.10, una vez obtenido el hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno para las cuencas Tinkuy y Sabogato se procede a realizar el modelamiento con el software HEC-HMS para encontrar los caudales máximos que transitan por el río en determinados tiempos. Una ventaja de trabajar con el HEC-GeoHMS del ArcGIS es que te da los datos casi completos para poder realizar el modelamiento en el HEC-HMS. Para hacer el modelamiento de inundación con el HEC- RAS el ANA recomienda hacer el modelamiento con un tiempo de retorno de 100 años por que se encuentra cerca a la población urbana de Llochegua.

a) Cálculo del caudal máximo de diseño con el software HEC-HMS

para el diseño de caudal máximo se diseño de acuerdo a los siguientes detalles:

i) Modelo de la cuenca

Para el modelo de la cuenca se realizó con el software HEC-GeoHMS como se muestra en la figura N° 31, donde se utilizó para el método de perdidas el método SCS número de curva, el método de transformación con el método hidrograma unitario SCS, la abstracción inicial y el porcentaje de impermeabilidad.

ii) Modelo meteorológico

Para alimentar con los datos al modelo meteorológico se necesita el hietograma de acuerdo a la duración de la tormenta de diseño que se realizó con el método de Dick y Peschcke.

iii) Especificaciones de control

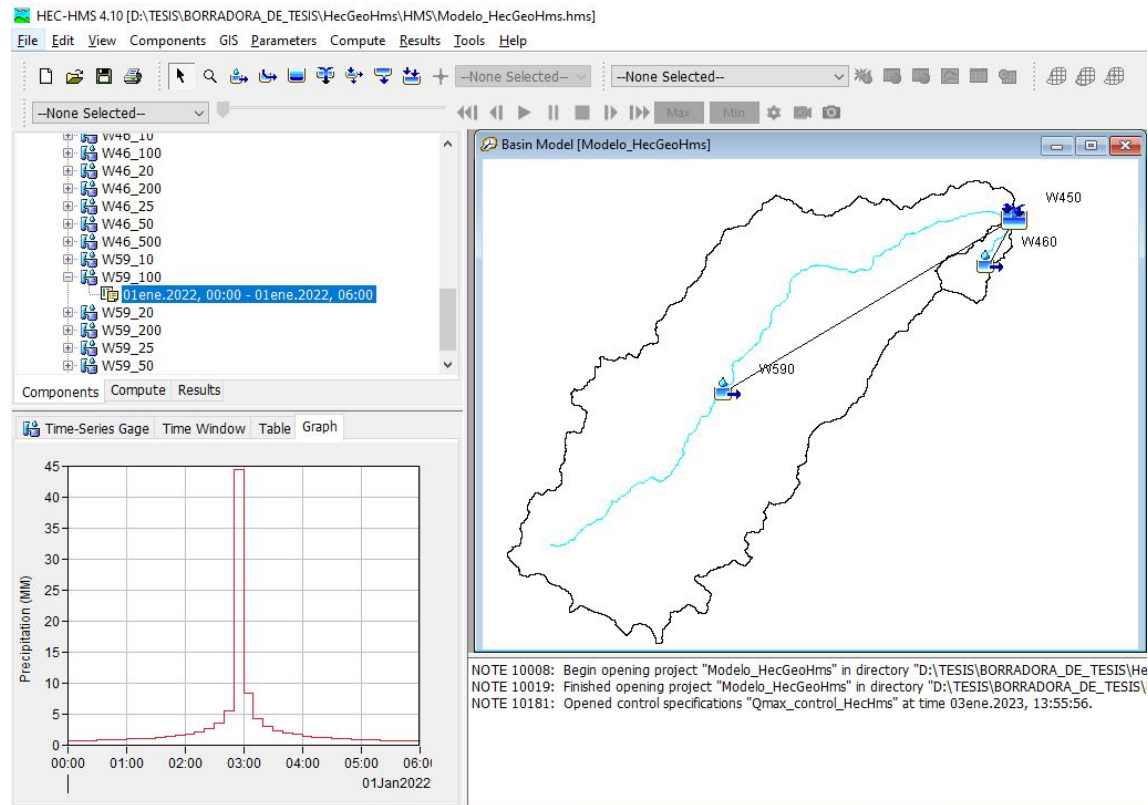
Este modelo de especificación de control se estableció utilizando un intervalo temporal de precipitaciones de 24 horas, desde las 00:00 horas del primer día hasta las 00:00 horas del día siguiente, y un intervalo temporal de 10 minutos.

iv) Datos de series temporales

se utilizara intervalo de tiempo de 10 min, una duración total de 6 horas para la cuenca Tinkuy y 2 horas para la cuenca Sabogato, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 46

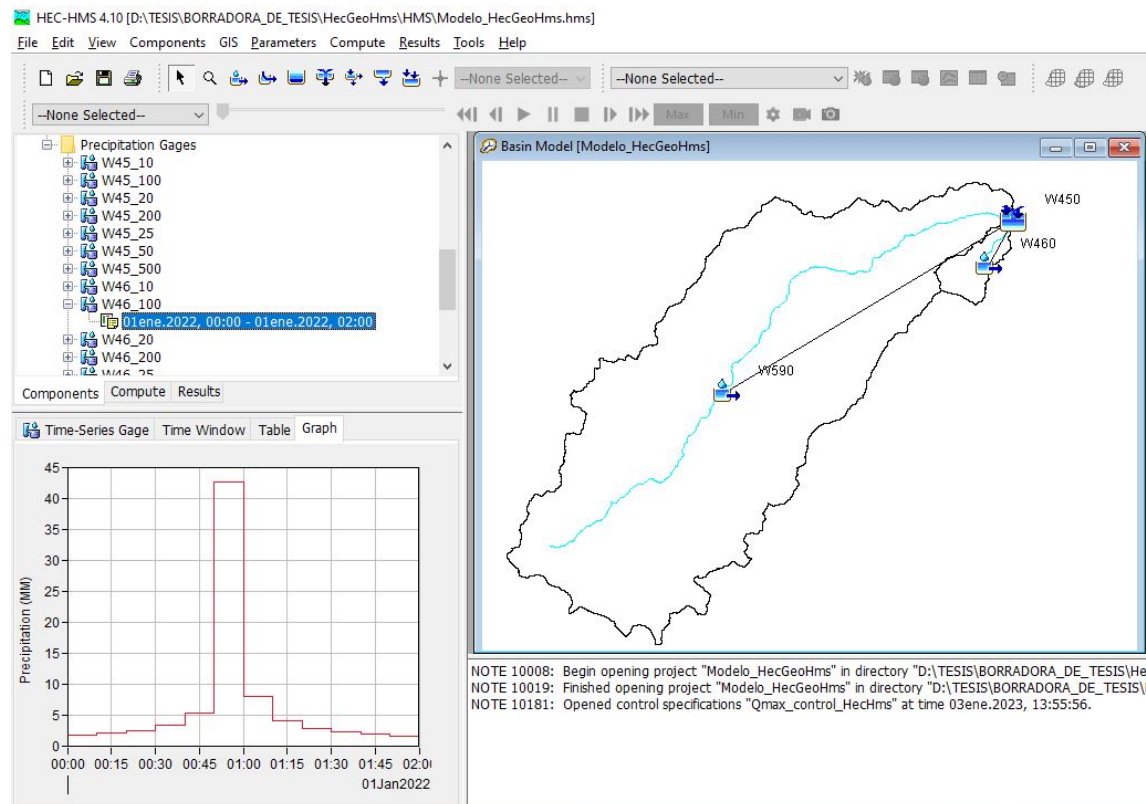
Hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno para la cuenca Tinkuy



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

Hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno para la cuenca Sabogato



Fuente: Elaboración propia

Una vez hecho el modelamiento obtenemos los caudales máximos en de cada cuenca y en determinados tiempos de retorno.

3.9.3 Simulación hidráulica con el modelo HEC-RAS 6.2

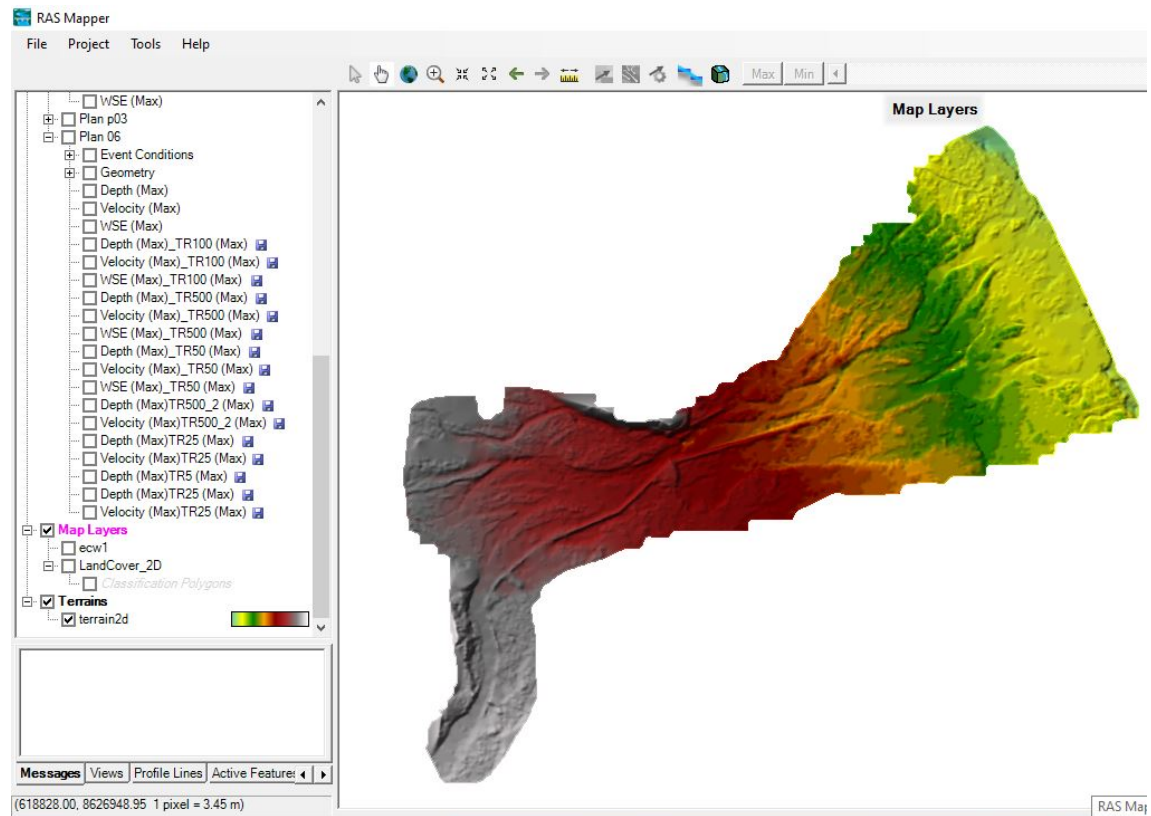
3.9.3.1 Levantamiento topográfico y generación de DEM

Se realizó el levantamiento topográfico mediante DGPS de marca LEICA Geosystems AG Modelo CS 2037G durante 2 días en la cual se hizo un levantamiento topográfico por toda la ribera de la zona de estudio del río Tinkuy y Sabogato también se hizo el levantamiento topográfico de la zona urbana de Llochegua. Posteriormente se procesó los datos en el Civil 3D, luego se trasladó al formato shapefile con el software Global Mapper 20, posteriormente se exportó al ArcGIS donde se transformó a formato TIF para que pueda ser procesado por el software HEC-RAS 2D.

Para poder tener imágenes georreferenciadas de alta calidad se procedió a descargar imágenes del SAS Planet que es una página de origen ruso.

Figura 48

Modelo Digital de elevación de la zona en estudio



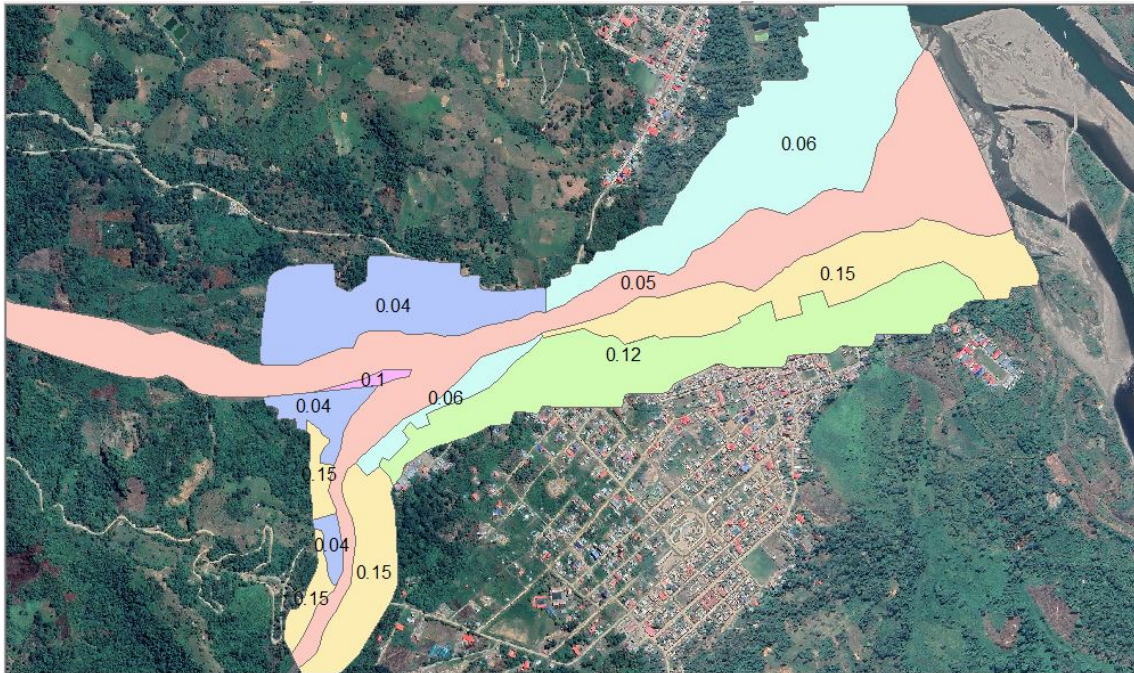
Fuente: Elaboración propia

3.9.3.2 Generación de rugosidades en la zona en estudio

Luego se generó la rugosidad en la zona de estudio como muestra la figura N° 49 con la ayuda del software ArcGIS en formato shapefile, como fuente se utilizó la tabla de rugosidades de Manning del autor Ven Te Chow, considerando ribera, río, árboles, arbustos, zona de cultivo, Viviendas de madera

Figura 49

Valores de Rugosidad en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.9.3.3 Modelación hidráulica con HEC-RAS 6.2 2D

El HEC-RAS 6.2 es de fácil manipulación porque se puede trabajar directamente en el software para el modelamiento de inundación, en versiones anteriores se necesita trabajar primero en el ArcGIS con la extensión HEC-GeoRAS.

Para la presente tesis se utilizó un mallado de 2.5 m y un refinado de 1 m en la zona de mayor incidencia.

El HEC-RAS trabaja como mínimo con 100 datos, nosotros contamos con 145 que son suficientes para que puede correr el programa como muestra las 3 siguientes tablas.

Tabla 38*Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 1*

N° Orden	TINKUY			SABOGATO		
	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)
1	01ene.2022	0:00	0	01ene.2022	0:00	0
2	01ene.2022	0:10	0	01ene.2022	0:10	0
3	01ene.2022	0:20	0	01ene.2022	0:20	0
4	01ene.2022	0:30	0	01ene.2022	0:30	0
5	01ene.2022	0:40	0	01ene.2022	0:40	0
6	01ene.2022	0:50	0	01ene.2022	0:50	0
7	01ene.2022	1:00	0	01ene.2022	1:00	5.2
8	01ene.2022	1:10	0	01ene.2022	1:10	17.7
9	01ene.2022	1:20	0	01ene.2022	1:20	40.2
10	01ene.2022	1:30	0	01ene.2022	1:30	64.3
11	01ene.2022	1:40	0	01ene.2022	1:40	79.9
12	01ene.2022	1:50	0	01ene.2022	1:50	86.3
13	01ene.2022	2:00	0	01ene.2022	2:00	84.3
14	01ene.2022	2:10	0	01ene.2022	2:10	75.7
15	01ene.2022	2:20	0	01ene.2022	2:20	63.1
16	01ene.2022	2:30	0	01ene.2022	2:30	51.6
17	01ene.2022	2:40	0	01ene.2022	2:40	41.1
18	01ene.2022	2:50	0.2	01ene.2022	2:50	31.7
19	01ene.2022	3:00	4.9	01ene.2022	3:00	23.7
20	01ene.2022	3:10	13.5	01ene.2022	3:10	17.3
21	01ene.2022	3:20	28.1	01ene.2022	3:20	12.5
22	01ene.2022	3:30	48.6	01ene.2022	3:30	9.2
23	01ene.2022	3:40	73.3	01ene.2022	3:40	6.7
24	01ene.2022	3:50	101.5	01ene.2022	3:50	4.9
25	01ene.2022	4:00	134.2	01ene.2022	4:00	3.6
26	01ene.2022	4:10	172.3	01ene.2022	4:10	2.6
27	01ene.2022	4:20	216.5	01ene.2022	4:20	1.9
28	01ene.2022	4:30	267.5	01ene.2022	4:30	1.4
29	01ene.2022	4:40	325.8	01ene.2022	4:40	1
30	01ene.2022	4:50	391.3	01ene.2022	4:50	0.8
31	01ene.2022	5:00	461.5	01ene.2022	5:00	0.5
32	01ene.2022	5:10	532.1	01ene.2022	5:10	0.3
33	01ene.2022	5:20	600.2	01ene.2022	5:20	0.2
34	01ene.2022	5:30	664.2	01ene.2022	5:30	0.1
35	01ene.2022	5:40	723.2	01ene.2022	5:40	0.1
36	01ene.2022	5:50	776.6	01ene.2022	5:50	0
37	01ene.2022	6:00	824.1	01ene.2022	6:00	0
38	01ene.2022	6:10	864.3	01ene.2022	6:10	0
39	01ene.2022	6:20	896.4	01ene.2022	6:20	0
40	01ene.2022	6:30	922.2	01ene.2022	6:30	0
41	01ene.2022	6:40	944.2	01ene.2022	6:40	0
42	01ene.2022	6:50	961.3	01ene.2022	6:50	0
43	01ene.2022	7:00	970.3	01ene.2022	7:00	0
44	01ene.2022	7:10	970.4	01ene.2022	7:10	0
45	01ene.2022	7:20	964.5	01ene.2022	7:20	0
46	01ene.2022	7:30	955.1	01ene.2022	7:30	0
47	01ene.2022	7:40	942.2	01ene.2022	7:40	0
48	01ene.2022	7:50	925.2	01ene.2022	7:50	0
49	01ene.2022	8:00	903.8	01ene.2022	8:00	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 39*Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 2*

N° Orden	TINKUY			SABOGATO		
	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)
50	01ene.2022	8:10	877.4	01ene.2022	8:10	0
51	01ene.2022	8:20	845.6	01ene.2022	8:20	0
52	01ene.2022	8:30	807.9	01ene.2022	8:30	0
53	01ene.2022	8:40	765.7	01ene.2022	8:40	0
54	01ene.2022	8:50	721.9	01ene.2022	8:50	0
55	01ene.2022	9:00	679	01ene.2022	9:00	0
56	01ene.2022	9:10	638.3	01ene.2022	9:10	0
57	01ene.2022	9:20	600.5	01ene.2022	9:20	0
58	01ene.2022	9:30	564.9	01ene.2022	9:30	0
59	01ene.2022	9:40	530.4	01ene.2022	9:40	0
60	01ene.2022	9:50	496.8	01ene.2022	9:50	0
61	01ene.2022	10:00	464.6	01ene.2022	10:00	0
62	01ene.2022	10:10	434	01ene.2022	10:10	0
63	01ene.2022	10:20	405.3	01ene.2022	10:20	0
64	01ene.2022	10:30	378.5	01ene.2022	10:30	0
65	01ene.2022	10:40	353.4	01ene.2022	10:40	0
66	01ene.2022	10:50	329.6	01ene.2022	10:50	0
67	01ene.2022	11:00	307	01ene.2022	11:00	0
68	01ene.2022	11:10	285.3	01ene.2022	11:10	0
69	01ene.2022	11:20	264.5	01ene.2022	11:20	0
70	01ene.2022	11:30	244.9	01ene.2022	11:30	0
71	01ene.2022	11:40	226.7	01ene.2022	11:40	0
72	01ene.2022	11:50	210	01ene.2022	11:50	0
73	01ene.2022	12:00	194.9	01ene.2022	12:00	0
74	01ene.2022	12:10	181.2	01ene.2022	12:10	0
75	01ene.2022	12:20	168.6	01ene.2022	12:20	0
76	01ene.2022	12:30	156.9	01ene.2022	12:30	0
77	01ene.2022	12:40	146	01ene.2022	12:40	0
78	01ene.2022	12:50	135.8	01ene.2022	12:50	0
79	01ene.2022	13:00	126.2	01ene.2022	13:00	0
80	01ene.2022	13:10	117.2	01ene.2022	13:10	0
81	01ene.2022	13:20	108.9	01ene.2022	13:20	0
82	01ene.2022	13:30	101.1	01ene.2022	13:30	0
83	01ene.2022	13:40	93.8	01ene.2022	13:40	0
84	01ene.2022	13:50	87.1	01ene.2022	13:50	0
85	01ene.2022	14:00	80.9	01ene.2022	14:00	0
86	01ene.2022	14:10	75.1	01ene.2022	14:10	0
87	01ene.2022	14:20	69.8	01ene.2022	14:20	0
88	01ene.2022	14:30	64.8	01ene.2022	14:30	0
89	01ene.2022	14:40	60.3	01ene.2022	14:40	0
90	01ene.2022	14:50	56.1	01ene.2022	14:50	0
91	01ene.2022	15:00	52.2	01ene.2022	15:00	0
92	01ene.2022	15:10	48.5	01ene.2022	15:10	0
93	01ene.2022	15:20	45.1	01ene.2022	15:20	0
94	01ene.2022	15:30	41.9	01ene.2022	15:30	0
95	01ene.2022	15:40	39	01ene.2022	15:40	0
96	01ene.2022	15:50	36.2	01ene.2022	15:50	0
97	01ene.2022	16:00	33.7	01ene.2022	16:00	0
98	01ene.2022	16:10	31.3	01ene.2022	16:10	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 40*Hidrogramas de entrada para un TR=100 años, parte 3*

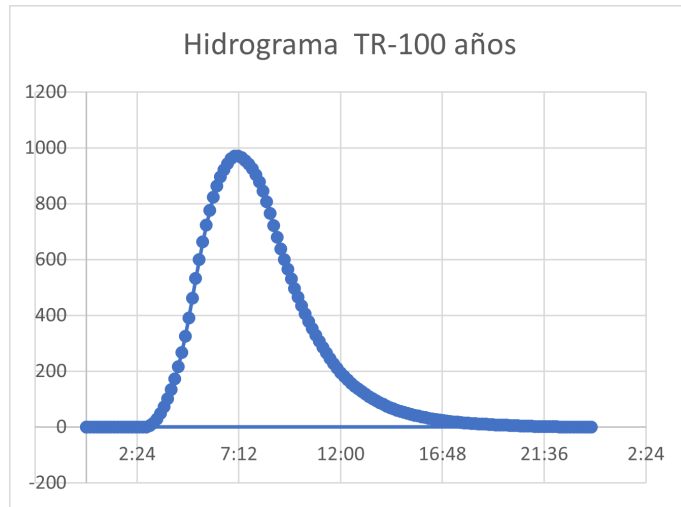
N° Orden	TINKUY			SABOGATO		
	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)	Fecha	Tiempo (Horas)	Caudal (m3/s)
99	01ene.2022	16:20	29.1	01ene.2022	16:20	0
100	01ene.2022	16:30	27	01ene.2022	16:30	0
101	01ene.2022	16:40	25.1	01ene.2022	16:40	0
102	01ene.2022	16:50	23.3	01ene.2022	16:50	0
103	01ene.2022	17:00	21.6	01ene.2022	17:00	0
104	01ene.2022	17:10	20.1	01ene.2022	17:10	0
105	01ene.2022	17:20	18.7	01ene.2022	17:20	0
106	01ene.2022	17:30	17.4	01ene.2022	17:30	0
107	01ene.2022	17:40	16.2	01ene.2022	17:40	0
108	01ene.2022	17:50	15.1	01ene.2022	17:50	0
109	01ene.2022	18:00	14.1	01ene.2022	18:00	0
110	01ene.2022	18:10	13.2	01ene.2022	18:10	0
111	01ene.2022	18:20	12.3	01ene.2022	18:20	0
112	01ene.2022	18:30	11.5	01ene.2022	18:30	0
113	01ene.2022	18:40	10.7	01ene.2022	18:40	0
114	01ene.2022	18:50	10	01ene.2022	18:50	0
115	01ene.2022	19:00	9.3	01ene.2022	19:00	0
116	01ene.2022	19:10	8.6	01ene.2022	19:10	0
117	01ene.2022	19:20	8	01ene.2022	19:20	0
118	01ene.2022	19:30	7.4	01ene.2022	19:30	0
119	01ene.2022	19:40	6.9	01ene.2022	19:40	0
120	01ene.2022	19:50	6.3	01ene.2022	19:50	0
121	01ene.2022	20:00	5.8	01ene.2022	20:00	0
122	01ene.2022	20:10	5.3	01ene.2022	20:10	0
123	01ene.2022	20:20	4.7	01ene.2022	20:20	0
124	01ene.2022	20:30	4.2	01ene.2022	20:30	0
125	01ene.2022	20:40	3.7	01ene.2022	20:40	0
126	01ene.2022	20:50	3.2	01ene.2022	20:50	0
127	01ene.2022	21:00	2.7	01ene.2022	21:00	0
128	01ene.2022	21:10	2.2	01ene.2022	21:10	0
129	01ene.2022	21:20	1.8	01ene.2022	21:20	0
130	01ene.2022	21:30	1.5	01ene.2022	21:30	0
131	01ene.2022	21:40	1.2	01ene.2022	21:40	0
132	01ene.2022	21:50	1.1	01ene.2022	21:50	0
133	01ene.2022	22:00	0.9	01ene.2022	22:00	0
134	01ene.2022	22:10	0.8	01ene.2022	22:10	0
135	01ene.2022	22:20	0.6	01ene.2022	22:20	0
136	01ene.2022	22:30	0.5	01ene.2022	22:30	0
137	01ene.2022	22:40	0.4	01ene.2022	22:40	0
138	01ene.2022	22:50	0.3	01ene.2022	22:50	0
139	01ene.2022	23:00	0.3	01ene.2022	23:00	0
140	01ene.2022	23:10	0.2	01ene.2022	23:10	0
141	01ene.2022	23:20	0.2	01ene.2022	23:20	0
142	01ene.2022	23:30	0.1	01ene.2022	23:30	0
143	01ene.2022	23:40	0.1	01ene.2022	23:40	0
144	01ene.2022	23:50	0	01ene.2022	23:50	0
145	02ene.2022	0:00	0	02ene.2022	0:00	0

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los hidrogramas de la cuenca Tinkuy se muestran en la figura N°50 y para la cuenca Sabogato en la figura N°51 ambos para un tiempo de retorno de 100 años.

Figura 50

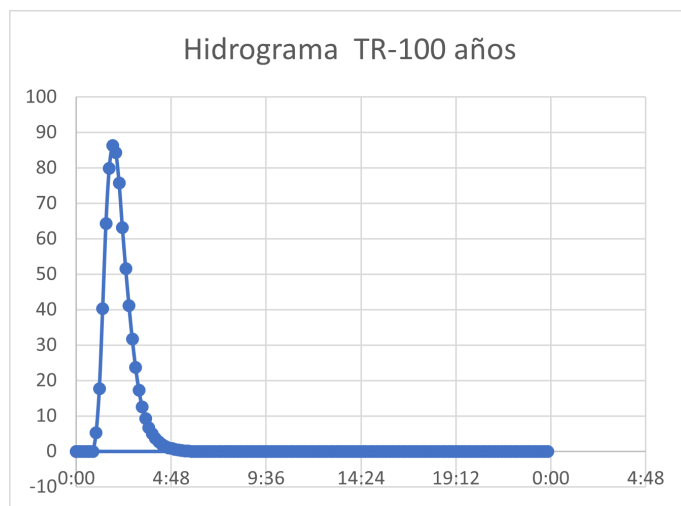
Hidrograma de la cuenca Tinkuy



Fuente: Elaboración propia

Figura 51

Hidrograma de la cuenca Sabogato



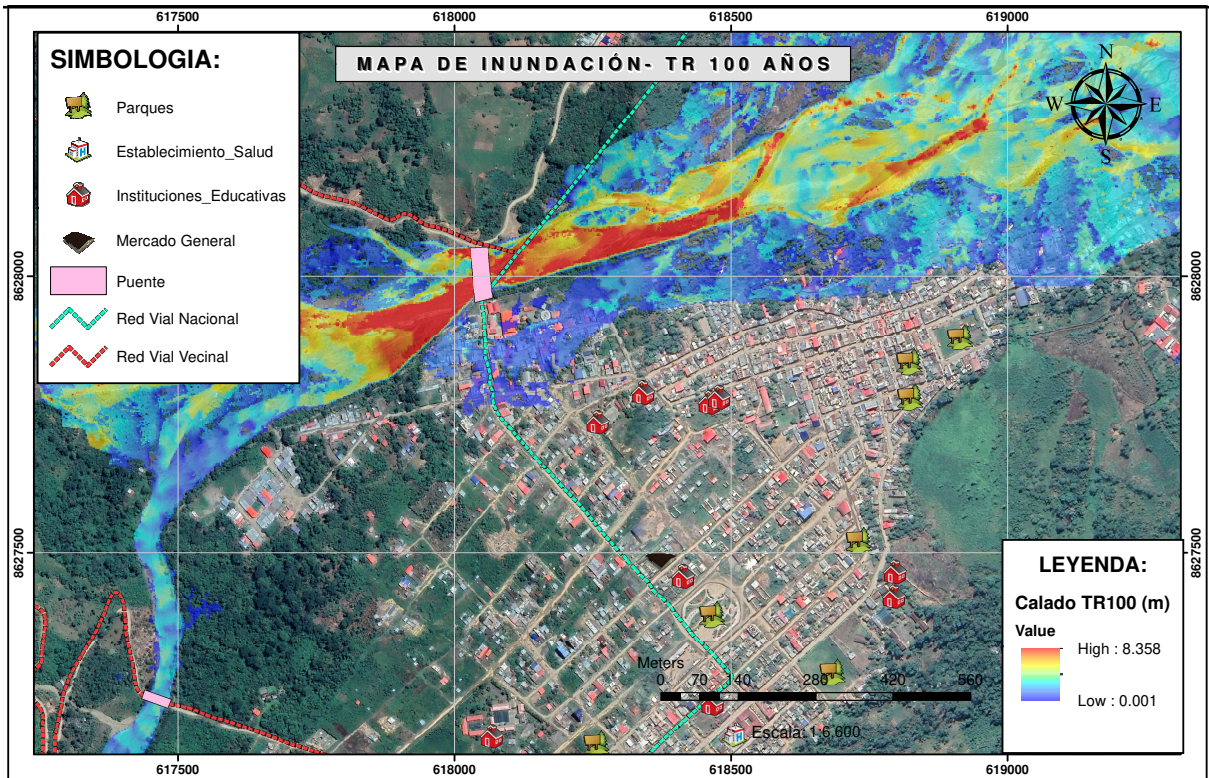
Fuente: Elaboración propia

Para la validación de la presente inundación para un tiempo de retorno de 100 años se tomo a través de la experiencia de los damnificados e imágenes que muestran la proximidad del modelamiento con la hecho suceso el día 7 de enero del 2021 a horas 3am aproximadamente, donde haciendo una comparación de la altura maxima real de inundación y el modelo de inundación mediante software se aproximaron.

El mapa de inundación para un tiempo de retorno de 100 años para la ciudad de Llochegua utilizando el software HEC-RAS 2D se muestra en la siguiente figura:

Figura 52

Mapa de inundación en la ciudad de Llochegua para TR=100 años



Fuente: Elaboración propia

3.9.4 Determinación del peligro

La inundación es un peligro de origen Hidrometeorológico donde se produce cuando las aguas de los ríos se desbordan generando inundación a las zonas aledañas. El peligro se determinará de acuerdo a la normativa del CENEPRED.

3.9.4.1 Metodología para determinar el peligro

La metodología de Saaty consiste en dar valores en escala numérica según el grado de importancia de un parámetro sobre otro. Con esta metodología determinamos el índice de consistencia y la relación de consistencia donde esta última para que sea consistente debe ser menor a 0.1, el vector de priorización es importante para determinar que parámetro es más importante en relación al otro, la suma de vectores de priorización de todos los parámetros analizados debe ser igual a 1, este vector de priorización será utilizado para dar valores numéricos al mapa de ArcGIS.

3.9.4.2 Recopilación de información y desarrollo del peligro

Para determinar el mapa de tiempo de retorno se basa en las inundaciones en diferentes tiempos de retorno en este caso son de 25, 50, 100, 200 y 500 años, donde se va clasificar de acuerdo a su grado de importancia o jerarquía.

El mapa de geomorfología y geología se elaboró en base a la información del INGEMET y la plataforma GEOCATMIN donde se puede descargar dicha información, esta información se puede modificar de acuerdo al reconocimiento de la zona en estudio. El mapa de pendiente se elabora de acuerdo a los datos descargados del ASF Alaska de la zona en estudio.

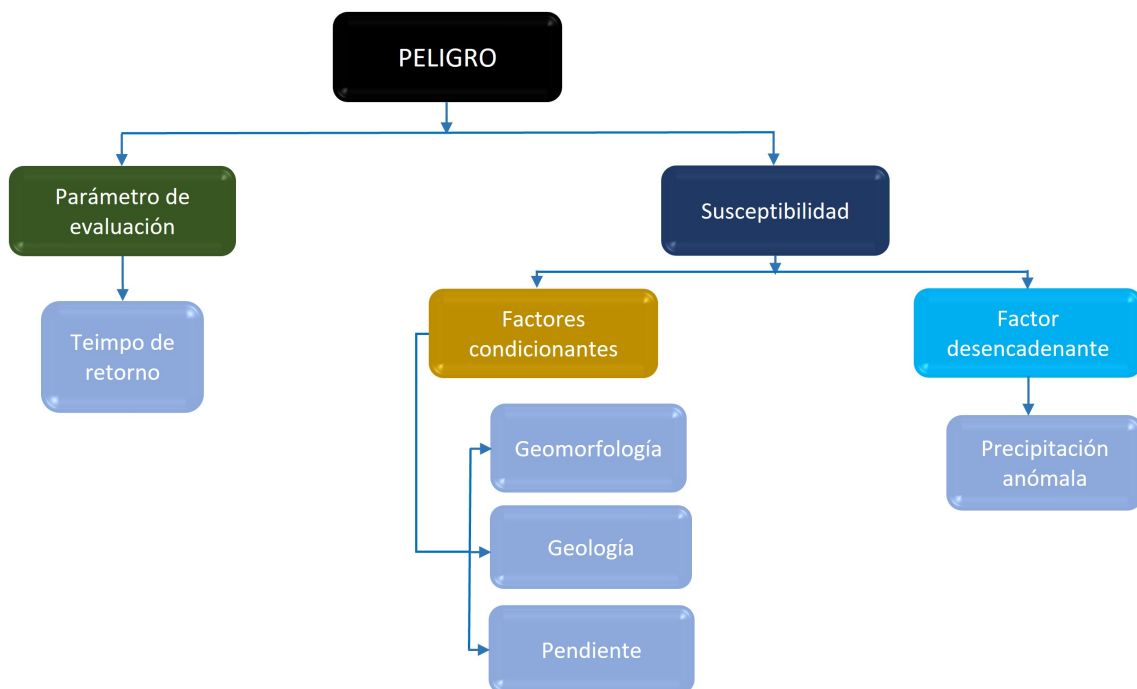
Obtenido estos tres parámetros encontramos el factor condicionante que es determinado gráficamente mediante el software ArcGIS. Para generar el mapa de precipitación anómala se basó en datos descargados del PISCO SENAMHI para diferentes puntos para un periodo de retorno de 100 años, la isoyeta fue creado con el método de interpolación estadístico Kriging. Las precipitaciones anómalas son consideradas el factor desencadenante e intersecando con el factor condicionante se determinó la susceptibilidad de inundación.

El parámetro de evaluación será la inundación en diferentes periodos de retorno 25, 50, 100, 200, 500 años, cabe señalar que todos los parámetros y descriptores serán jerarquizados mediante la escala Saaty.

La intersección del tiempo de retorno y la susceptibilidad de inundación nos da el resultado final que es el mapa de peligro. El flujograma para determinar el peligro se muestra en la figura siguiente.

Figura 53

Flujograma de peligro



Fuente: Elaboración propia

3.9.4.3 Identificación del área de influencia e identificación del peligro.

Para poder identificar la zona de peligro se consideró la información obtenida de la visita a campo y consultando a la población, donde se identificó zonas de potencial inundación latente ya que las

llanuras de inundación se encuentran desprotegidas, al analizar la fotografía satelital de varios años atrás observamos que el río Tinkuy y Sabogato son ríos meándricos ósea cambian constantemente de curso lo que conlleva aun peligro a la ciudadanía Llocheguana.

La presente tesis se identifica como peligro por inundación ocasionado por los ríos Tinkuy y Sabogato donde el agua en sus máximas crecidas se desborda e inunda las zonas aledañas, la zona de Llochegua donde es golpeada por inundaciones constantes generalmente en épocas de lluvia de diciembre a marzo.

3.9.4.4 Parámetro de evaluación

a) Tiempo de retorno

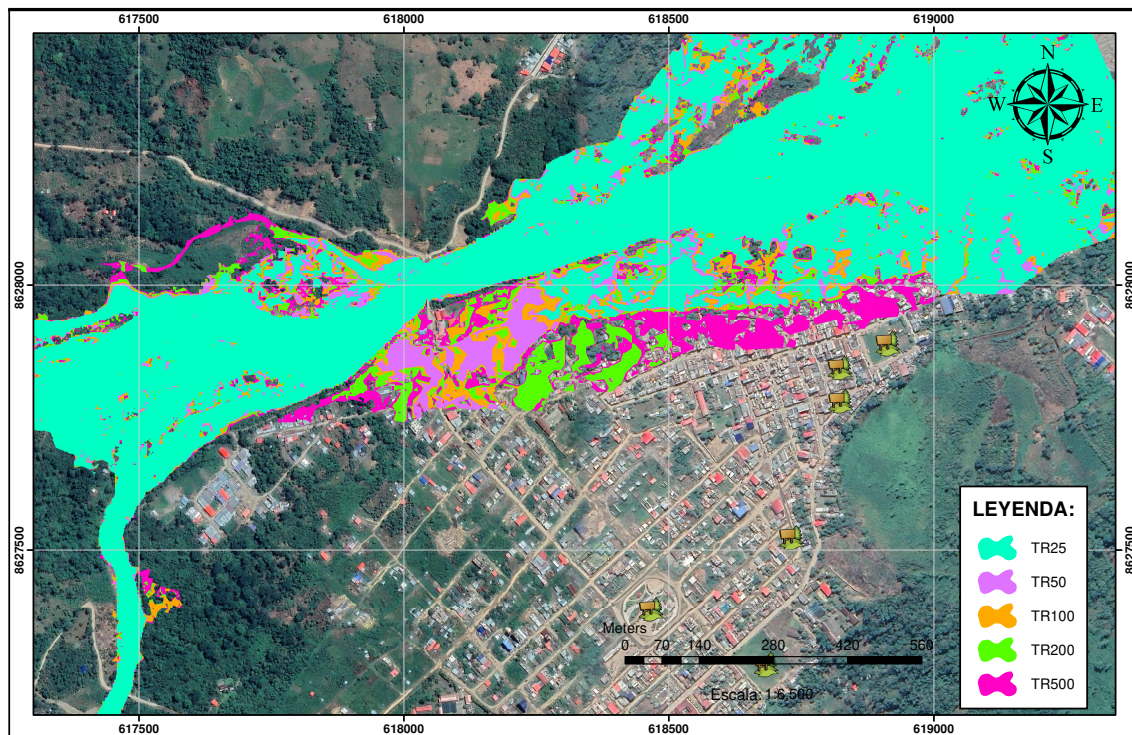
Según el CENEPRED (2014) “es el tiempo en el cual se esperaría la aparición del evento (basado en datos o estadística)”.

Luego se procedió a desarrollar el análisis jerárquico y pesos ponderados mostrados en el anexo de la presente tesis.

Las mapas de inundación para cada tiempo de retorno se muestra en el anexo de la presente tesis. en la figura subsiguiente se muestra la comparación de inundación para diversos periodos de retorno por ejemplo: 25, 50, 100 y 500 años, que sera nuestro parámetro de evaluación siendo en tiempo de retorno 25 años el de mayor incidencia.

Figura 54

Comparación de inundaciones para diferentes periodos de retorno



Fuente: Elaboración propia

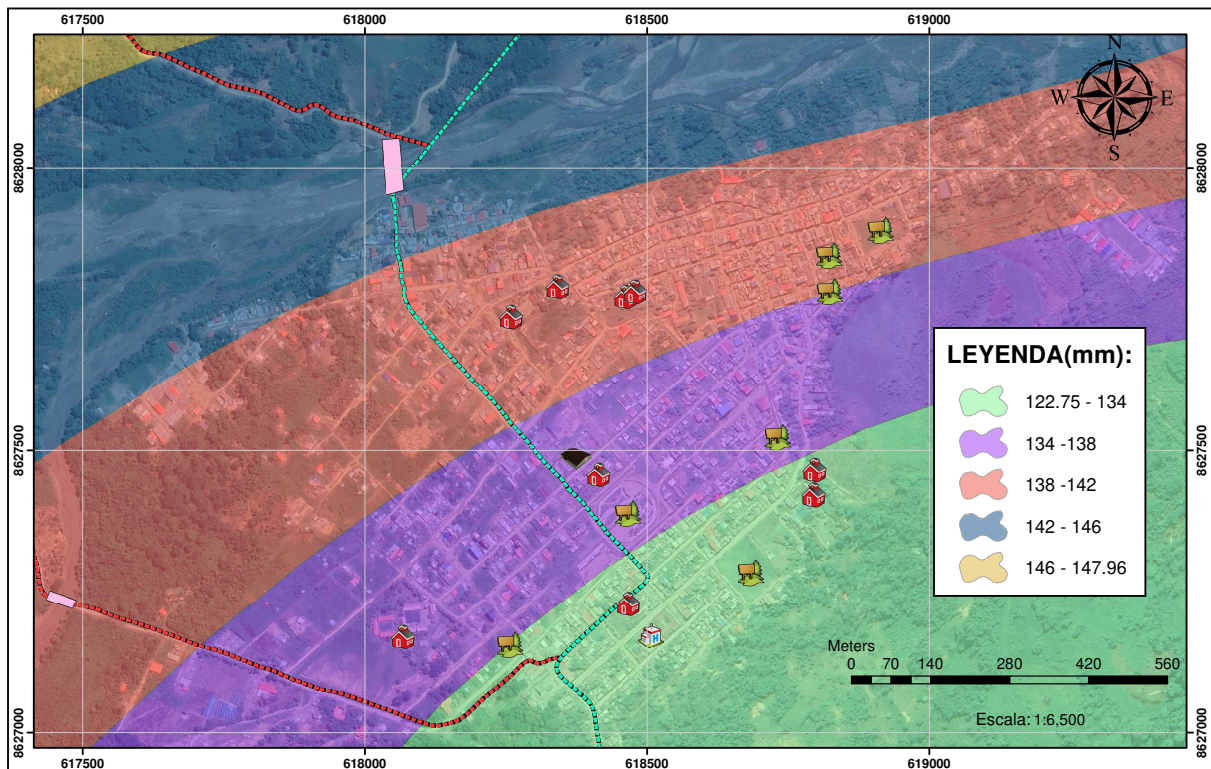
3.9.4.5 Factor desencadenante

a) Precipitación anómala

La precipitación anómala fue realizada mediante la descarga de datos diarios del PISCO SENAMHI de cual se procesó los máximos anuales desde el año 1981 hasta el año 2016, donde se ubicó 5 puntos estratégicos cerca a zona de estudio con lo cual se elaboró el mapa de isoyetas mediante el método de interpolación estadístico Kriging para un tiempo de retorno de 100 años el detalle se desarrolla en tabla N° 56 de los anexos de la presente tesis.

Figura 55

Precipitación anómala para un TR=100 años



Fuente: Elaboración propia

3.9.4.6 Factor Condicionantes

Primeramente, se jerarquizará los 3 parámetros; geomorfológico, Geológico y de pendiente y posteriormente se jerarquizará cada una de ellas como se muestra en las siguientes tablas.

a) Ponderación de parámetros

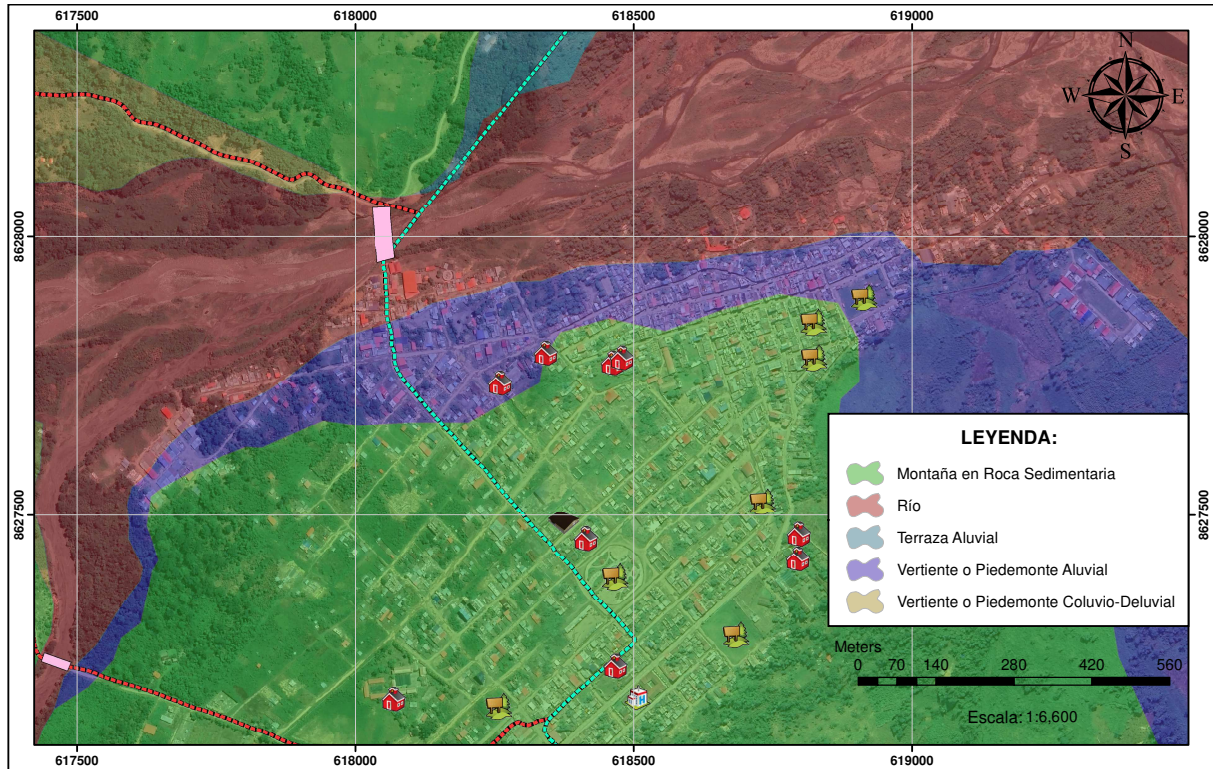
En esta parte se desarrolló la ponderación de parámetros donde se jerarquiza los parámetros escogidos; geomorfológico, geológico y de pendiente los detalles se muestran en tabla N° 57 de los anexos de la presente tesis.

b) Geomorfología

Dentro del parámetro geomorfología se consideró; Río, Terraza Aluvial, Vertiente o Piedemonte Coluvio - Deluvial, Vertiente o Piedemonte Aluvial, Montaña en Roca Sedimentaria. La jerarquización se realizó considerando las zonas más peligrosas a menos peligrosas y de acuerdo al criterio los detalles se muestran en tabla N° 58 de los anexos de la presente tesis.

Figura 56

Mapa de geomorfología



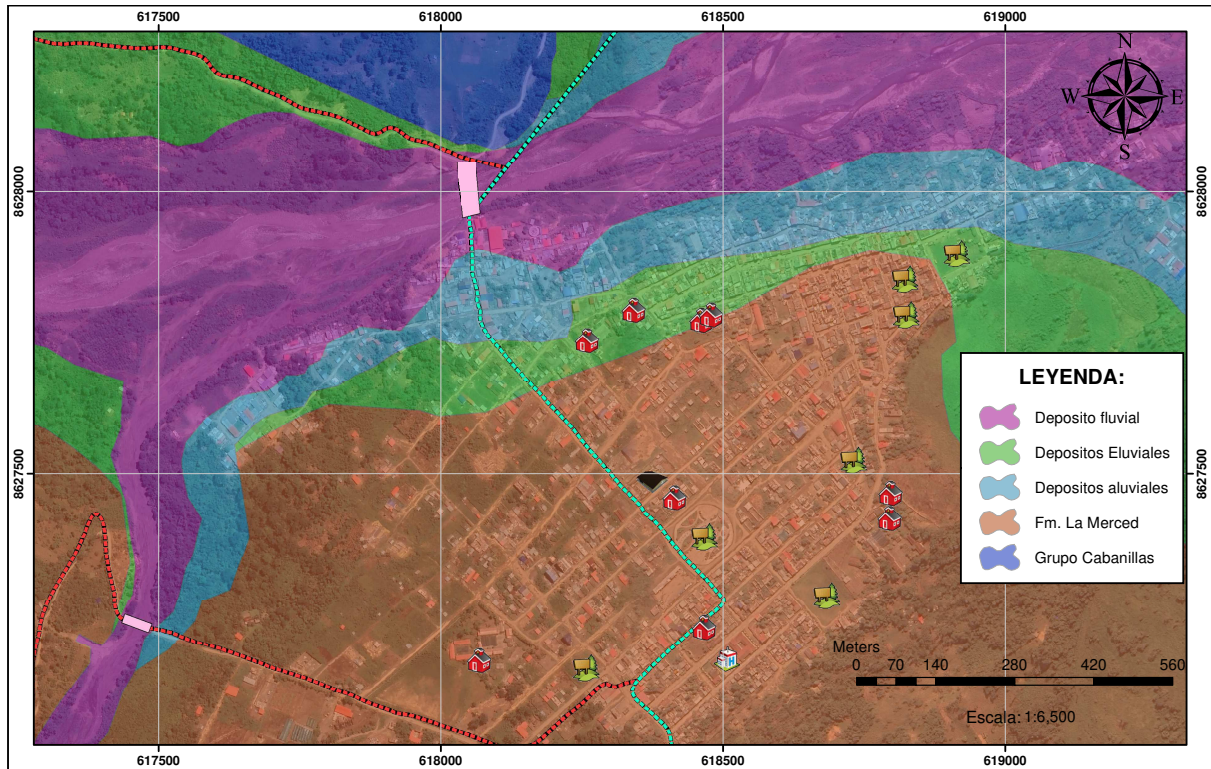
Fuente: Elaboración propia

c) Geología

Dentro del parámetro geología se consideró; Depósitos fluvial, depósitos aluviales, depósitos eluviales, grupo cabanillas, Formación la merced. La jerarquización se realizó considerando las zonas más peligrosas a menos peligrosas y de acuerdo al criterio del tesista los detalles se muestran en tabla N° 59 de los anexos de la presente tesis.

Figura 57

Mapa de geología



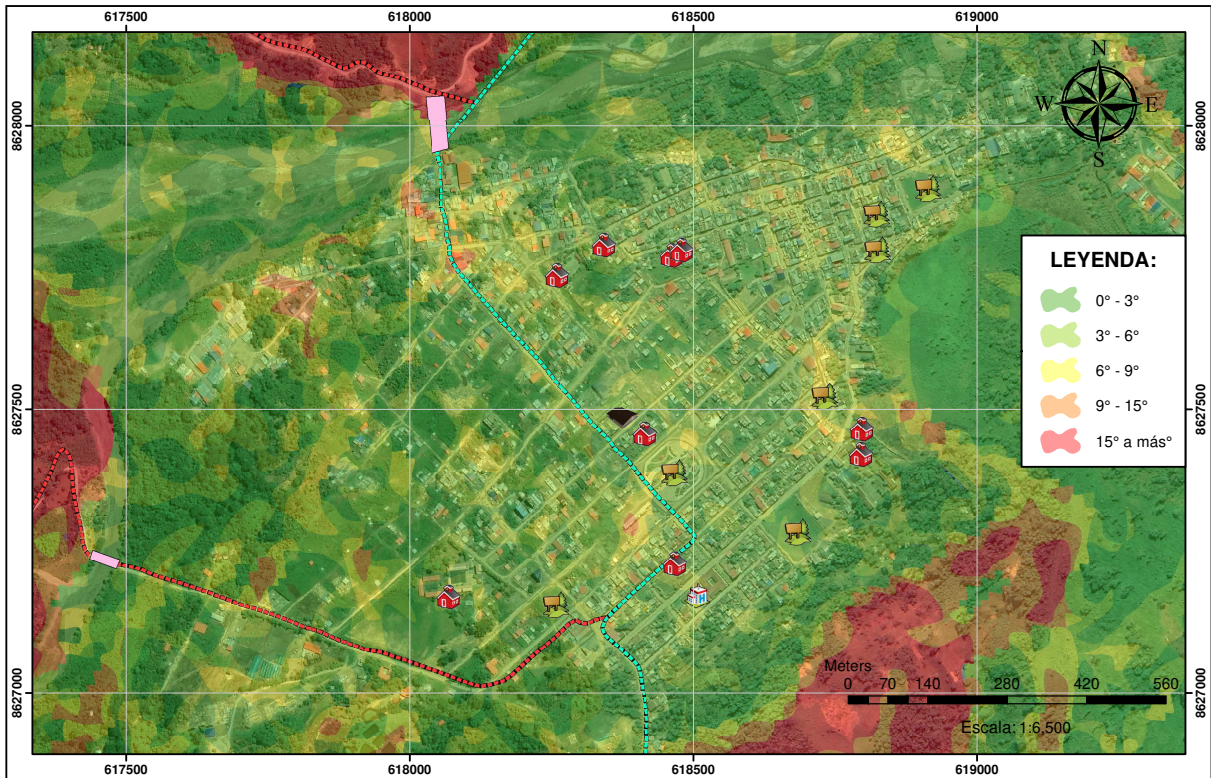
Fuente: Elaboración propia

d) Pendiente

Dentro del parámetro pendiente se consideró; $0^\circ - 3^\circ$, $3^\circ - 6^\circ$, $6^\circ - 9^\circ$, $9^\circ - 15^\circ$ y de 15° - a más. La jerarquización se realizó considerando las zonas más peligrosas a menos peligrosas y de acuerdo al criterio del tesista, donde se obtuvieron los siguientes vectores de priorización los detalles se muestran en tabla N° 60 de los anexos de la presente tesis.

Figura 58

Mapa de pendientes



Fuente: Elaboración propia

3.9.4.7 Susceptibilidad

Haciendo una intersección en el ArcGIS del factor condicionante mas el factor desencadenante obtenemos la susceptibilidad de inundación en esta parte consideramos los vectores de priorización de 0.5 para condicionante y 0.5 para desencadenante tal como se muestra en la tabla N° 41.

3.9.4.8 Niveles de peligrosidad

La peligrosidad es la intersección del parámetro de evaluación y la susceptibilidad, se consideró el valor de 0.5 de peso para la susceptibilidad y 0.5 para el parámetro de evaluación, se considera a “PESO” como el vector de priorización y “Ppar x Pdes” como el peso del parámetro por el peso del descriptor, como se observa en la tabla N° 42 y los rangos se muestran en la tabla N° 43.

Tabla 41

Resumen de la peligrosidad

		FACTOR		PARÁMETRO		DESCRIPTOR		Ppar x Pdesc	
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO		
SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN	50%	Condicionante	50%	Geomorfología	0.613	Rio	0.475	0.291	
						Vertiente o Piedemonte Aluvial	0.266	0.163	
						Terraza Aluvial	0.142	0.087	
						Vertiente o Piedemonte Coluvio-Deluvial	0.075	0.046	
						Montaña en Roca Sedimentaria	0.042	0.026	
				Pendiente	0.118	0° - 3°	0.496	0.059	
						3° - 6°	0.258	0.030	
						6° - 9°	0.138	0.016	
						9° - 15°	0.072	0.008	
						15° - a más	0.036	0.004	
		Geología	0.269	Depósitos Fluvial	0.475	0.128			
				Depósitos Aluviales	0.266	0.072			
				Depositos Eluviales	0.142	0.038			
				Grupo Cabanillas	0.075	0.020			
Fm. La Merced	0.042			0.011					
Desencadenante	50%	Precipitación anómala	1.000	146 - 147.96	0.503	0.503			
				142 - 146	0.260	0.260			
				138 - 142	0.134	0.134			
				134 - 138	0.068	0.068			
				122.75 - 134	0.035	0.035			
PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	50%	Tiempo de retorno	1.000	25 años	0.503	0.503			
				50 años	0.260	0.260			
				100 años	0.134	0.134			
				200 años	0.068	0.068			
				500 años	0.035	0.035			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 42

Desarrollo de la peligrosidad

N°	CONDICIONANTE			DECENCADENANTE			SUSCEPTIBILIDAD		PÁRAMETRO DE EVALUACIÓN		PELIGROSIDAD
	∑ Ppar X Pdesc	Peso con	Valor con	∑ Pdes x Pdesc	Peso des	Valor des	Valor suscs	Peso susc	Valor par-eval	Peso par-eval	
1	0.477		0.239	0.503		0.251	0.490		0.503		0.496
2	0.265		0.132	0.260		0.130	0.263		0.260		0.261
3	0.142	50%	0.071	0.134	50%	0.067	0.138	50%	0.134	50%	0.136
4	0.075		0.037	0.068		0.034	0.071		0.068		0.070
5	0.042		0.021	0.035		0.017	0.038		0.035		0.037

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 43*Niveles de peligrosidad*

Niveles de peligro		
Nivel de peligro	Rango	
Peligro muy alto	0.261	$\leq P \leq$ 0.496
Peligro alto	0.136	$\leq P <$ 0.261
Peligro medio	0.070	$\leq P <$ 0.136
Peligro bajo	0.037	$\leq P <$ 0.070

Nota. Fuente: Elaboración propia

Según el CENEPRED clasifica el peligros en: Muy alto, Alto, Medio y Bajo donde sus características figuran en el cuadro siguiente.

Tabla 44*Estratificación del nivel de Peligro*

Estratificación de nivel de peligro		
Nivel de peligro	Descripción	Rango
Peligro muy alto	Inundación para tiempos de retorno de 25 a 50 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 146 - 147.958 mm, se encuentra geomorfológicamente en cauce natural del río, geológicamente se encuentra en el depósito fluvial, con una pendiente entre 0° y 3°.	0.261 $\leq P <$ 0.496
Peligro alto	Inundación para tiempos de retorno de 50 a 100 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 142 - 146 mm, se encuentra geomorfológicamente en Terraza Aluvial, geológicamente se encuentra en Depósitos Aluviales, con una pendiente entre 3° y 6°.	0.136 $\leq P <$ 0.261
Peligro medio	Inundación para tiempos de retorno de 100 a 200 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 138 - 142 mm, se encuentra geomorfológicamente en Vertiente o Piedemonte Coluvio- Deluvial, geológicamente se encuentra en Depósitos Eluviales, con una pendiente entre 6° y 9°.	0.070 $\leq P <$ 0.136
Peligro bajo	Inundación para tiempos de retorno de 200 a 500 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 134 - 138 mm y 122.747 - 134 mm, se encuentra geomorfológicamente en Vertiente o Piedemonte Aluvial y Montaña en Roca Sedimentaria, geológicamente se encuentra en Grupo Cabanillas y Fm. La Merced, con una pendiente entre 9° a más.	0.037 $\leq P <$ 0.070

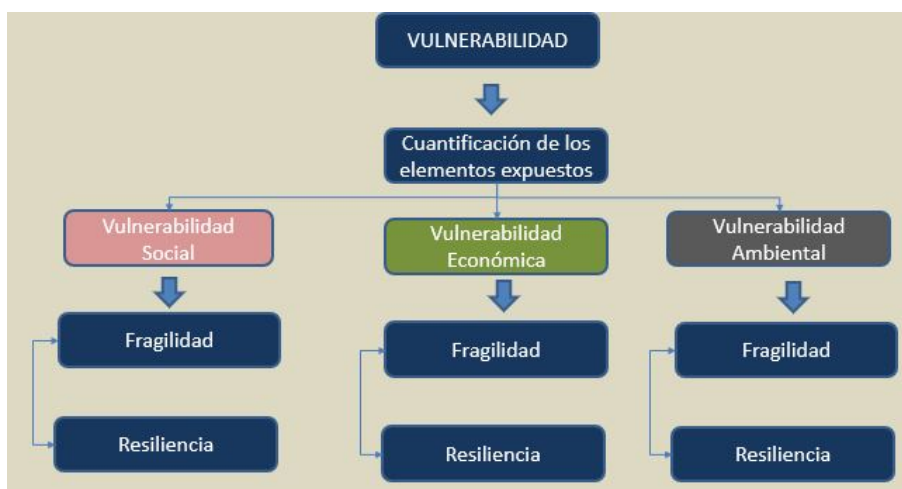
Nota. Fuente: Elaboración propia

3.9.5 Determinación de la vulnerabilidad

Se utilizará la misma metodología que es el análisis de proceso jerárquico como se determinó en el peligro, antes de determinar la vulnerabilidad se realizara la cuantificación de los elementos expuestos por manzana.

Figura 59

Flujograma de vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia

3.9.5.1 Análisis y cuantificación de los elementos expuestos por manzana

Primeramente, determinaremos los elementos expuestos por manzana que van hacer susceptibles cuando ocurra una eventual inundación. Los elementos expuestos identificados son alrededor de 120 manzanas, y además 3 centros educativos de nivel inicial, 4 instituciones educativas de nivel primario entre estatales y particulares y 1 institución educativa de nivel secundario (estas instituciones forman una manzana completa o parte de ella), 1 centro de salud, 1 mercado general, 7 parques, 1 PTAR y 1 cementerio, tal como se muestra en la figura N° 60 mapa de manzanas expuestas a inundación.

a) Dimensión Social

i) Fragilidad

En la fragilidad se consideró el grupo etario y cercanía de la vivienda a la zona de peligro a nivel de manzanas, en el gráfico N° 96 del anexo de la presente tesis se observa la cuantificación de la fragilidad:

ii) Resiliencia

Se consideró: Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad, Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades e Interés de participar en campañas de prevención del riesgo, a nivel de manzanas en el gráfico N° 97 del anexo de la presente tesis se observa la cuantificación de la resiliencia:

b) Dimensión Económica

i) Fragilidad

Se consideró: Material predominante de las paredes, material predominante de los techos, estado de conservación de la vivienda como muestra en la figura N° 98 del anexo de la presente tesis.

ii) Resiliencia

Se consideró: Ocupación principal del jefe de hogar y organización comunitaria como muestra en la figura N° 99 del anexo de la presente tesis.

c) Dimensión Ambiental

i) Fragilidad

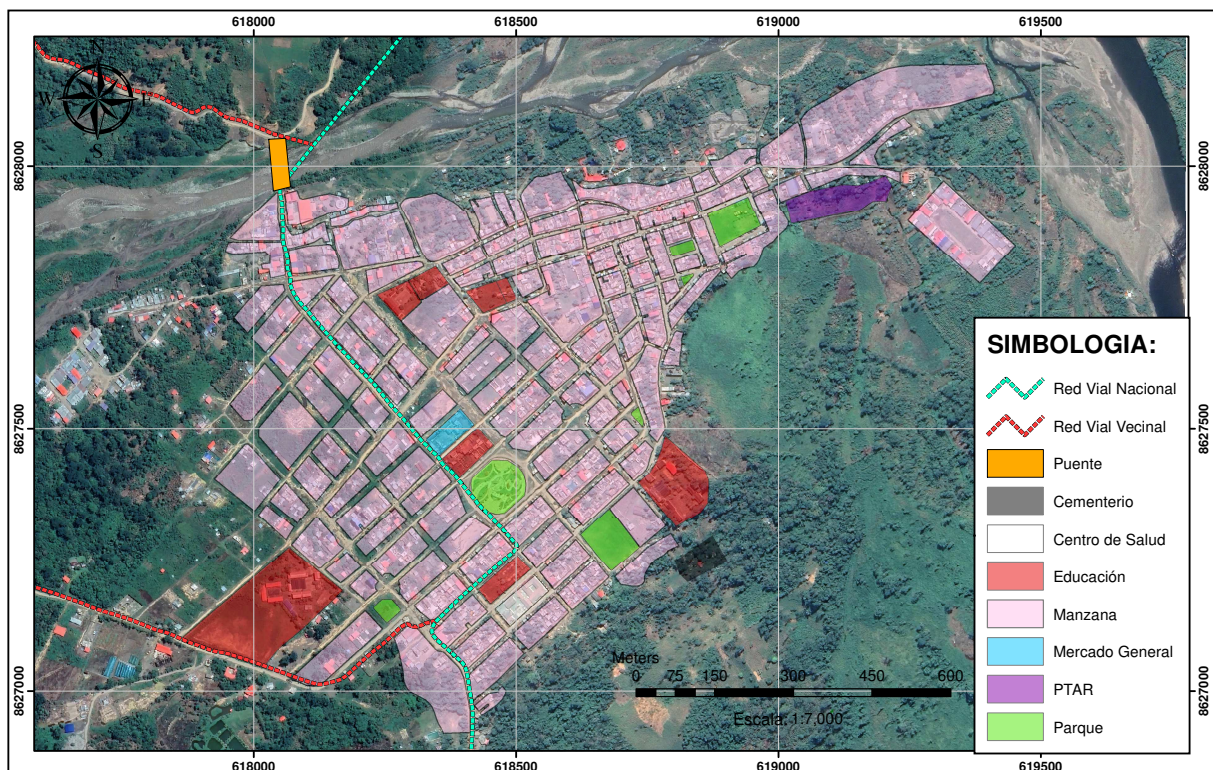
Se consideró: Manejo y disposición de residuos sólidos como muestra en la figura N° 100 del anexo de la presente tesis

ii) Resiliencia

Se consideró: Conocimiento de reciclaje como muestra en la figura N° 101 del anexo de la presente tesis.

Figura 60

Mapa de manzanas expuestas a inundación



Fuente: Elaboración propia

3.9.5.2 Análisis y determinación de la Vulnerabilidad

Para este parámetro se trabajó con las dimensiones sociales, económicas y ambientales, con los factores fragilidad y resiliencia y los parámetros respectivos la vulnerabilidad se determinará mediante la metodología análisis jerárquico del CENEPRED como se detalla en tabla N° 61 del anexo de la presente tesis.

a) Normalización de las dimensiones

las dimensiones utilizadas son: Social, económico y ambiental, que son dimensiones fundamentales para determinar la vulnerabilidad por inundación tal como se detalla en la tabla N° 61 del anexo de la presente tesis.

b) Normalización de los factores

Los factores utilizados son la fragilidad y resiliencia estos factores se encuentran dentro de cada dimension: social, económico y ambiental como se detalla en la tabla N° 62 del anexo de la presente tesis. Para el proceso de análisis jerárquico, al encontrar solo 2 factores se colocó el peso o vector de priorización directamente

c) Normalización de los parámetros

En el caso que se encuentren 1 ó 2 parámetros se colocara el peso directamente como muestra en las tablas N°63, 66, 67, 68 del anexo de la presente tesis , cuando se encuentre de 3 a más parámetros se procede a realizar la normalización como se detalla en las tablas N° 64, 65 .

d) Normalización de los descriptores

En las tablas N° 69,70,71,72,73 del anexo de la presente tesis, se muestran la normalización de los descriptores de la dimensión social. En las tablas N° 74, 75, 76, 77, 78 se muestran la normalización de los descriptores de la dimensión económica. En las tablas N° 79, 80 se muestran la normalización de los descriptores de la dimensión ambiental

Tabla 45

Resumen de las dimensiones parámetros y descriptores con sus pesos respectivos

DIMENSIÓN		FACTOR		PARÁMETRO		DESCRIPTOR	
NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
SOCIAL	0.6	FRAGILIDAD SOCIAL	0.50	Grupo etéreo	0.400	0 a 5 años y mayor a 65 años	0.480
						De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	0.290
						De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	0.127
						De 16 a 30 años	0.065
						De 31 a 50 años	0.038
				Cercanía de la vivienda a la zona de peligro	0.600	Menor a 30 m. de la zona de peligro	0.480
				Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	0.290		
				Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	0.127		
				Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	0.065		
				Mayor a 200 m. de la zona de peligro	0.038		
		RESILIENCIA SOCIAL	0.50	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	0.539	No conoce	0.505
						Escaso conocimiento	0.246
						Poco conocimiento	0.155
						Regular conocimiento	0.059
						Conocimiento amplio	0.035
				Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	0.297	Nunca	0.481
						Cada 5 años	0.274
						Cada 3 años	0.139
Cada 2 años	0.067						
Una (1) vez por año	0.040						
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	0.164			No muestra interes	0.517		
				Muestra interes de vez en cuando	0.232		
		Actua si hay incentivos	0.130				
		Me gusta participar	0.081				
		Siempre estoy atento para participar	0.041				
ECONÓMICA	0.3	FRAGILIDAD ECONÓMICA	0.60	Material predominante - pared	0.539	Triplay	0.451
						Madera	0.277
						Adobe	0.157
						Piedra	0.076
						Ladrillo y/o bloqueta de cemento	0.039
				Material predominante - techo	0.297	Otro material	0.470
						Estera y/o paja	0.261
						Madera o caña	0.155
						Calamina y/o tejas	0.080
		Estado de conservación de la vivienda	0.164	Losa de concreto	0.035		
				Deteriodado	0.445		
				En proceso de deterioro	0.298		
				Con refacciones	0.148		
		RESILIENCIA ECONÓMICA	0.40	Ocupación principal (jefe de hogar)	0.500	Regular estado	0.068
						Buen Estado	0.041
						Trabajador familiar no remunerado	0.503
						Obrero / peon	0.260
						Agricultor	0.134
Organización comunitaria	0.500			Empleo / Trabajador independiente	0.068		
				Empleador	0.035		
				No le interesa	0.465		
				Le interesa participar en las brigadas de emergencia	0.238		
FRAGILIDAD AMBIENTAL	0.50	Manejo y disposición de residuos sólidos	1.000	Conoce las rutas de evacuación	0.171		
				Tiene brigadas de emergencia	0.083		
				Tiene brigadas de emergencia y participa	0.043		
				Sin recojo de residuos solidos	0.422		
				Botadero en el cauce de la quebrada	0.287		
		RESILIENCIA AMBIENTAL	0.50	Conocimiento de reciclaje	1.000	Recojo con motofurgon (reciclador)	0.171
						Recojo municipal (compactadora)	0.076
						No genera (no botan)	0.043
						No conoce	0.440
		Conoce por comentarios de sus vecinos	0.262				
		Tiene ligeras nociones	0.168				
		Solo tiene conocimientos	0.088				
		Conoce y practica el reciclaje	0.042				

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra las dimensiones, factores, parámetros y descriptores con sus respectivos pesos ponderados.

3.9.5.3 Niveles de vulnerabilidad.

Tabla 46

Dimensión Social

DIMENSIÓN SOCIAL										
Fragilidad				Resiliencia					VALOR DIMENSIÓN SOCIAL	PESO DIMENSIÓN SOCIAL
Grupo étnico	Cercanía de la vivienda a la zona de peligro	Valor Fragilidad Social	Peso Fragilidad Social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	Valor Resiliencia Social	Peso Resiliencia Social		
Pdes x P par	Pdes x P par		P_FACTOR	Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par		P_FACTOR		
0.19	0.29	0.48	0.500	0.27	0.14	0.08	0.50	0.500	0.490	0.6
0.12	0.17	0.29	0.500	0.13	0.08	0.04	0.25	0.500	0.271	0.6
0.05	0.08	0.13	0.500	0.08	0.04	0.02	0.15	0.500	0.136	0.6
0.03	0.04	0.07	0.500	0.03	0.02	0.01	0.06	0.500	0.065	0.6
0.02	0.02	0.04	0.500	0.02	0.01	0.01	0.04	0.500	0.038	0.6

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los valores de la dimensión social figuran en el cuadro anterior.

Tabla 47

Dimensión Económica

DIMENSIÓN ECONOMICA										
Fragilidad					Resiliencia				VALOR DIMENSIÓN ECONOMICA	PESO DIMENSIÓN ECONOMICA
Material predominante pared	Material predominante techo	Estado de conservación de la vivienda	Valor Fragilidad Economica	Peso Fragilidad Economica	Ocupación principal (jefe de hogar)	Organización comunitaria	Valor Resiliencia Economica	Peso Resiliencia Economica		
Pdes x P par	Pdes x P par	Pdes x P par			Pdes x P par	Pdes x P par				
0.24	0.14	0.07	0.46	0.60	0.25	0.23	0.48	0.400	0.467	0.28
0.15	0.08	0.05	0.28	0.60	0.13	0.12	0.25	0.400	0.265	0.28
0.08	0.05	0.02	0.16	0.60	0.07	0.09	0.15	0.400	0.154	0.28
0.04	0.02	0.01	0.08	0.60	0.03	0.04	0.08	0.400	0.076	0.28
0.02	0.01	0.01	0.04	0.60	0.02	0.02	0.04	0.400	0.038	0.28

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los valores de la dimensión económica figuran en el cuadro anterior.

Tabla 48*Dimensión Ambiental*

DIMENSIÓN AMBIENTAL					
Fragilidad		Resiliencia		VALOR DIMENSIÓN AMBIENTAL	PESO DIMENSIÓN AMBIENTAL
Manejo y disposición de residuos sólidos		Conocimiento de reciclaje			
Valor Fragilidad Ambiental	Peso Fragilidad Ambiental	Valor Fragilidad Ambiental	Peso Fragilidad Ambiental		
Pdes x P par	P_FACTOR	Pdes x P par	P_FACTOR		
0.42	0.500	0.44	0.500		
0.29	0.500	0.26	0.500	0.275	0.13
0.17	0.500	0.17	0.500	0.169	0.13
0.08	0.500	0.09	0.500	0.082	0.13
0.04	0.500	0.04	0.500	0.043	0.13

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los valores de la dimensión ambiental figuran en el cuadro anterior.

Tabla 49*Niveles de vulnerabilidad*

Niveles de vulnerabilidad	
Nivel de vulnerabilidad	Rangos
Vulnerabilidad Muy Alta	0.270 ≤ v < 0.476
Vulnerabilidad Alta	0.146 ≤ v < 0.270
Vulnerabilidad Media	0.070 ≤ v < 0.146
Vulnerabilidad Baja	0.039 ≤ v < 0.070

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra los rangos de la vulnerabilidad donde el rojo representa el nivel muy alto, el naranja el nivel alto, el amarillo el nivel medio y el verde el nivel bajo.

En la estratificación nos muestra la descripción de cada nivel de la vulnerabilidad:

Tabla 50

Estratificación de los niveles de vulnerabilidad

ESTRATIFICACION DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD		
NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Grupo etáreo (de 0 a 5 años y mayor a 65 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (menor a 30 de la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (No conoce). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Nunca). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (No muestra interés). Material predominante de las paredes (Triplay). Material predominante de techo (Otro material). Estado de conservación de la vivienda (Deteriorado). Ocupación principal del jefe del hogar (Trabajador familiar no remunerado). Organización comunitaria (No le interesa). Manejo y disposición de residuos sólidos (Sin recojo). Conocimiento de reciclaje (No conoce).	0.27 ≤ V < 0.48
VULNERABILIDAD ALTA	Grupo etáreo (de 6 a 12 y 61 a 65 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Entre 30 y 50m a la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Escaso conocimiento). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 5 años). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (muestra interés de vez en cuando). Material predominante de la pared (Madera). Material predominante de techo (Estera y/o paja). Estado de conservación de la vivienda (En proceso de deterioro). Ocupación principal del jefe del hogar (Obrero/Peón). Organización comunitaria (Le interesa participar en las brigadas de emergencia). Manejo y disposición de residuos sólidos (Botadero en cauce de la quebrada). Conocimiento de reciclaje (Conoce por comentarios de sus vecinos).	0.146 ≤ V < 0.27
VULNERABILIDAD MEDIA	Grupo etáreo (De 13 a 15 años y 51 a 60 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Entre 50 y 100 a la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Poco conocimiento). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 3 años). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (Actúa si hay incentivos). Material predominante de los pares (Adobe). Material predominante de techo (Madera o caña). Estado de conservación de la vivienda (Con refacciones). Ocupación principal del jefe del hogar (Agricultor). Organización comunitaria (Conoce las rutas de evacuación). Manejo y disposición de residuos sólidos (Recojo con moto furgón reciclador). Conocimiento de reciclaje (Tiene ligeras nociones).	0.07 ≤ V < 0.15
VULNERABILIDAD BAJA	Grupo etáreo (de 16 a 50 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Mayores a 100 m de la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Regular conocimiento y conocimiento amplio). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 2 años y una vez por año). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (Me gusta participar y Siempre estoy atento a participar). Material predominante de los pares (Piedra y ladrillo y/o bloqueta de cemento). Material predominante de techo (Calamina y/o teja y Losa de concreto). Estado de conservación de la vivienda (Regular estado y en buen estado). Ocupación principal del jefe del hogar (Empleado y/o trabajador independiente y Empleador). Ingreso promedio mensual (Menor al sueldo mínimo). Organización comunitaria (Tiene brigadas de emergencia y Participa). Manejo y disposición de residuos sólidos (Recojo municipal con compactadora y no generan (No botan)). Conocimiento de reciclaje (Solo tiene conocimiento y practica el reciclaje).	0.039 ≤ V < 0.07

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.9.6 Determinación del riesgo

Para determinar el riesgo es simplemente la intersección del peligro mas la vulnerabilidad y unas operaciones matemáticas, esta intersección se realiza mediante el comando Intersect del ArcGIS

$$R_{ie|t} = f(P_i, V_e)|_t \quad (3.1)$$

Dónde:

R = Riesgo.

f =en función.

P_i =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t .

V_e =Vulnerabilidad de un elemento expuesto e .

3.9.6.1 Determinación de riesgo potencial

Tabla 51

Calculo de los niveles de riesgo

PELIGRO (P)	VULNERABILIDAD (V)	VALOR DE RIESGO P*V= (R)
0.496	0.476	0.236
0.261	0.270	0.071
0.136	0.146	0.020
0.070	0.070	0.005
0.037	0.039	0.001

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 52

Niveles de riesgo

Niveles de riesgo		
NIVEL DE RIESGO	RANGO	RANGO
MUY ALTO	0.071 ≤ R <	0.236
ALTO	0.020 ≤ R <	0.071
MEDIO	0.005 ≤ R <	0.020
BAJO	0.001 ≤ R <	0.005

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 53*Matriz de Riesgo*

Peligro Muy Alto	0.496	0.035	0.0720	0.1340	0.2360
Peligro Alto	0.261	0.018	0.0380	0.0710	0.1240
Peligro Medio	0.136	0.010	0.0200	0.0370	0.0650
Peligro Bajo	0.070	0.005	0.0100	0.0190	0.0330
	0.070	0.146	0.270	0.476	
	Vulnerabilidad Bajo	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 54

Estratificación del nivel de Riesgo

ESTRATIFICACION DE NIVELES DE RIESGO		
Niveles	Descripción	RANGO
MUY ALTO	<p>Inundación para tiempos de retorno de 25 a 50 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 146 - 147.958 mm, se encuentra geomorfológicamente en cauce natural del río, geológicamente se encuentra en el depósito fluvial, con una pendiente entre 0° y 3°.</p> <p>Grupo etáreo (de 0 a 5 años y mayor a 65 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (menor a 30 de la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (No conoce). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Nunca). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (No muestra interés). Material predominante de las paredes (Triplay). Material predominante de techo (Otro material). Estado de conservación de la vivienda (Deteriorado). Ocupación principal del jefe del hogar (Trabajador familiar no remunerado). Organización comunitaria (No le interesa). Manejo y disposición de residuos sólidos (Sin recojo). Conocimiento de reciclaje (No conoce).</p>	0.071 ≤ R < 0.236
ALTO	<p>Inundación para tiempos de retorno de 50 a 100 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 142 - 146 mm, se encuentra geomorfológicamente en Terraza Aluvial, geológicamente se encuentra en Depósitos Aluviales, con una pendiente entre 3° y 6°.</p> <p>Grupo etáreo (de 6 a 12 y 61 a 65 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Entre 30 y 50m a la zona de peligro. Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Escaso conocimiento). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 5 años). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (muestra interés de vez en cuando)). Material predominante de la pared (Madera). Material predominante de techo (Estera y/o paja). Estado de conservación de la vivienda (En proceso de deterioro). Ocupación principal del jefe del hogar (Obrero/Peón). Organización comunitaria (Le interesa participar en las brigadas de emergencia). Manejo y disposición de residuos sólidos (Botadero en cauce de la quebrada). Conocimiento de reciclaje (Conoce por comentarios de sus vecinos).</p>	0.02 ≤ R < 0.071
MEDIO	<p>Inundación para tiempos de retorno de 100 a 200 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 138 - 142 mm, se encuentra geomorfológicamente en Vertiente o Piedemonte Coluvio- Deluvial, geológicamente se encuentra en Depósitos Eluviales, con una pendiente entre 6° y 9°.</p> <p>Grupo etáreo (De 13 a 15 años y 51 a 60 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Entre 50 y 100 a la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Poco conocimiento). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 3 años). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (Actúa si hay incentivos). Material predominante de los pares (Above). Material predominante de techo (Madera o caña). Estado de conservación de la vivienda (Con refacciones). Ocupación principal del jefe del hogar (Agricultor). Organización comunitaria (Conoce las rutas de evacuación). Manejo y disposición de residuos sólidos (Recojo con moto furgón reciclador). Conocimiento de reciclaje (Tiene ligeras nociones).</p>	0.005 ≤ R < 0.02
BAJO	<p>Inundación para tiempos de retorno de 200 a 500 años, Nivel de precipitación máxima 24 hr para período de retorno de 100 años de 134 - 138 mm y 122.747 - 134 mm, se encuentra geomorfológicamente en Vertiente o Piedemonte Aluvial y Montaña en Roca Sedimentaria, geológicamente se encuentra en Grupo Cabanillas y Fm. La Merced, con una pendiente entre 9° a más.</p> <p>Grupo etáreo (de 16 a 50 años). Cercanía de la vivienda a la zona de peligro (Mayores a 100 m de la zona de peligro). Conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad (Regular conocimiento y conocimiento amplio). Capacitación en temas de gestión de riesgo por parte de sus autoridades (Cada 2 años y una vez por año). Interés en participar en campañas de prevención de riesgos (Me gusta participar y Siempre estoy atento a participar). Material predominante de los pares (Piedra y ladrillo y/o bloqueta de cemento). Material predominante de techo (Calamina y/o teja y Losa de concreto). Estado de conservación de la vivienda (Regular estado y en buen estado). Ocupación principal del jefe del hogar (Empleado y/o trabajador independiente y Empleador). Ingreso promedio mensual (Menor al sueldo mínimo). Organización comunitaria (Tiene brigadas de emergencia y Participa). Manejo y disposición de residuos sólidos (Recojo municipal con compactadora y no generan (No botan)). Conocimiento de reciclaje (Solo tiene conocimiento y practica el reciclaje).</p>	0.001 ≤ R < 0.005

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.9.7 Reducción de riesgo

Para poder hacer un mapa de reducción de riesgo primero tenemos que determinar las mapas de peligro y vulnerabilidad.

3.9.7.1 Reducción del peligro

Para poder reducir el peligro optamos por construir diques laterales que permitan la protección de las zonas en peligro. Primeramente se utilizará el software RIVER para determinar las dimensiones del dique que serán utilizadas también en el diseño de diques del HEC-RAS.

El dique lateral se diseño para un tiempo de retorno de 100 años con un caudal inicial de $1057\text{m}^2/\text{s}$ que es la suma de los caudales de los ríos Tinkuy y Sabogato, una pendiente de 0.014 y considerando un talud de 2.

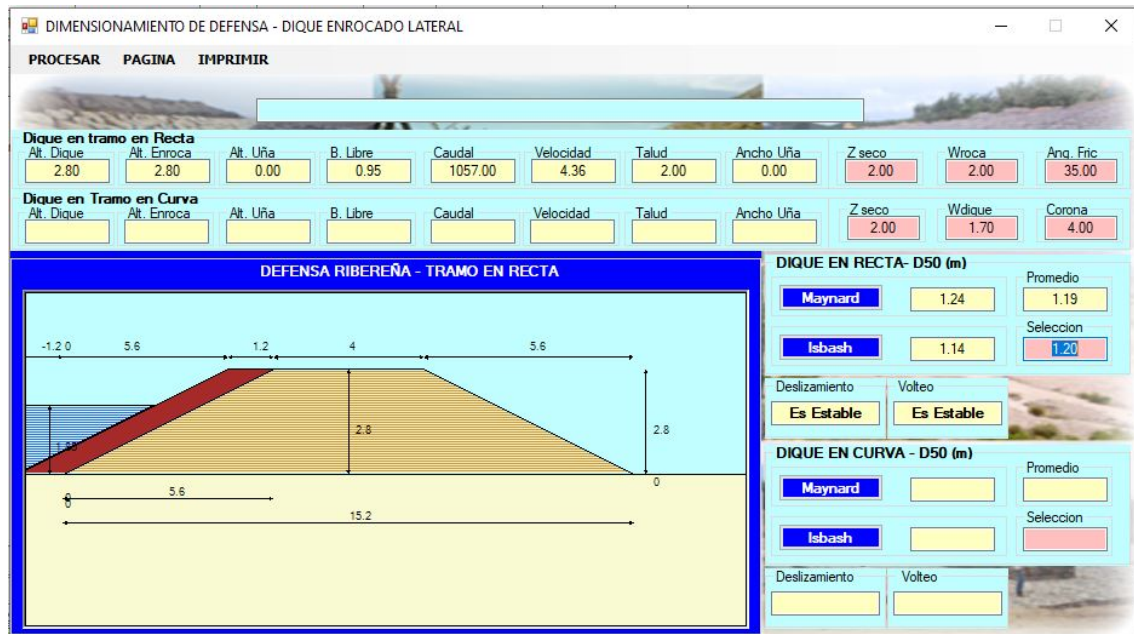
Figura 61

Inserción de datos iniciales al software RIVER

Fuente: Adaptado de RIVER

Figura 62

Resultados de dimensiones de dique con RIVER

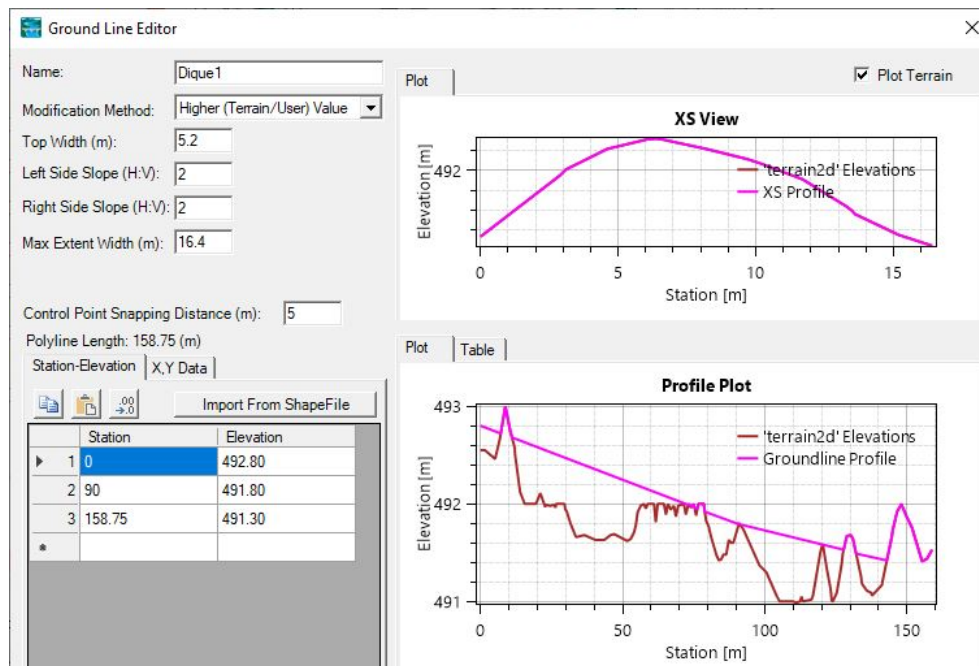


Fuente: Adaptado de RIVER

El programa HEC-RAS cuenta con diseño de diques, para la presente tesis se utilizará diques de alturas pequeñas o mejorar los ya existentes las dimensiones del dique según RIVER es de un ancho de corona de 4.2 metros y taludes izquierdos y derechos de 2 (H:V), diseño de diques se muestra en la imagen siguiente.

Figura 63

Diseño de dique tramo 1



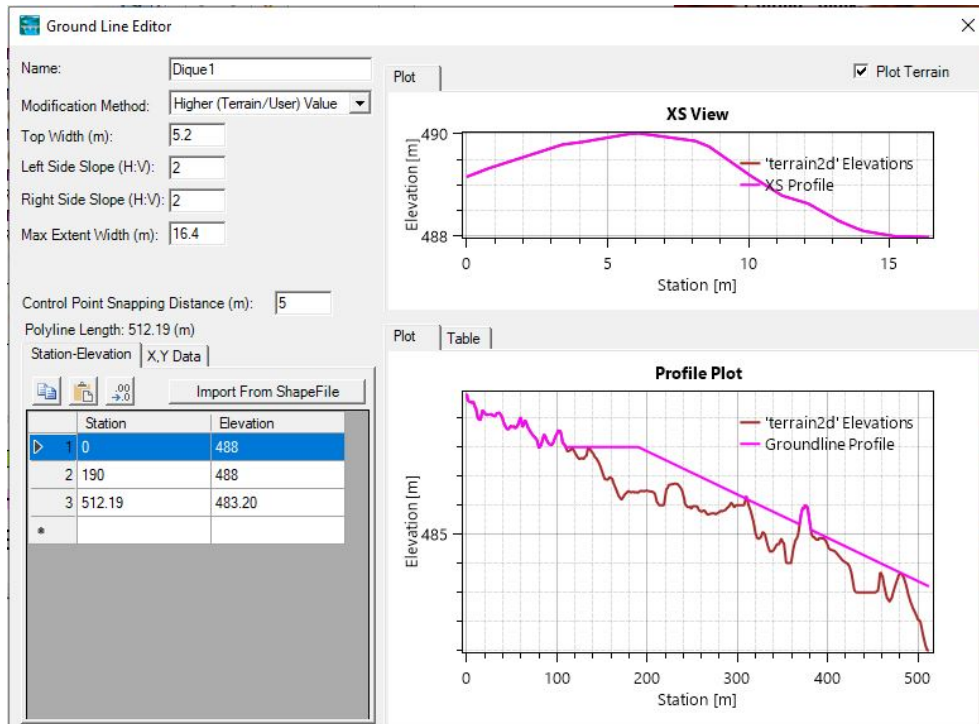
Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se puede observar en la parte inferior derecha (Profile Plot) dos líneas, la línea marrón es la topografía del terreno y la línea rosada es por donde va a atravesar el dique solo se crearan los diques en las partes bajas o donde se necesite que no pase el agua y en las partes altas se dejara la forma del terreno también se muestra en la parte superior (XS View) una sección típica, como se muestra en la imagen anterior.

Lo mismo se realizara en el dique del tramo 2 como muestra la figura N° 65 y con el dique del tramo 3 representado en la figura N° 66.

Figura 64

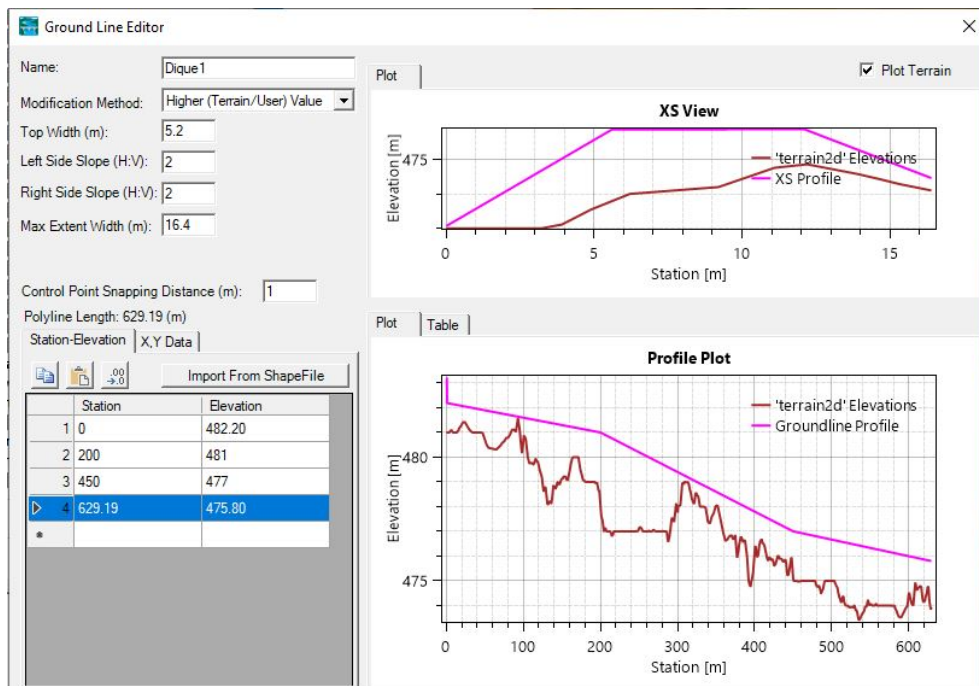
Diseño de dique tramo 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 65

Diseño de dique tramo 3

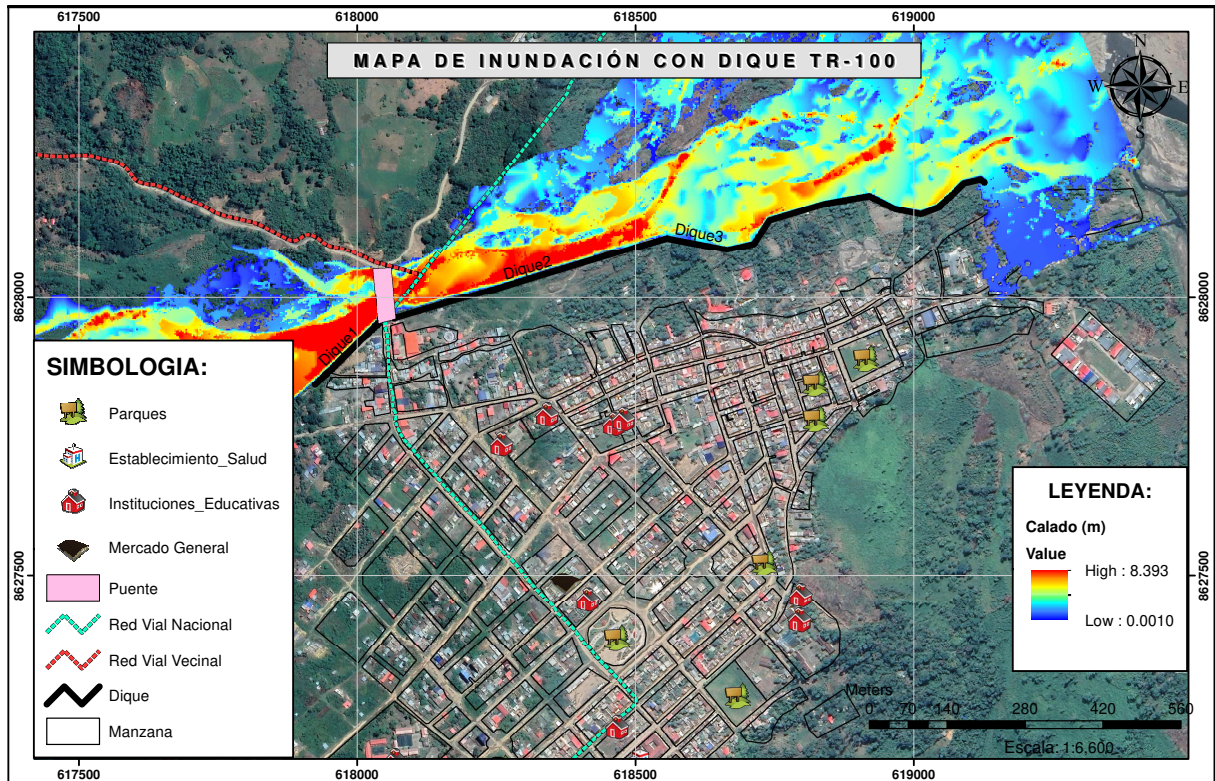


Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se observa la inundación para un tiempo de retorno de 100 años en la ciudad de Llochegua utilizando diques de protección.

Figura 66

Mapa de inundación con dique



Fuente: Elaboración propia

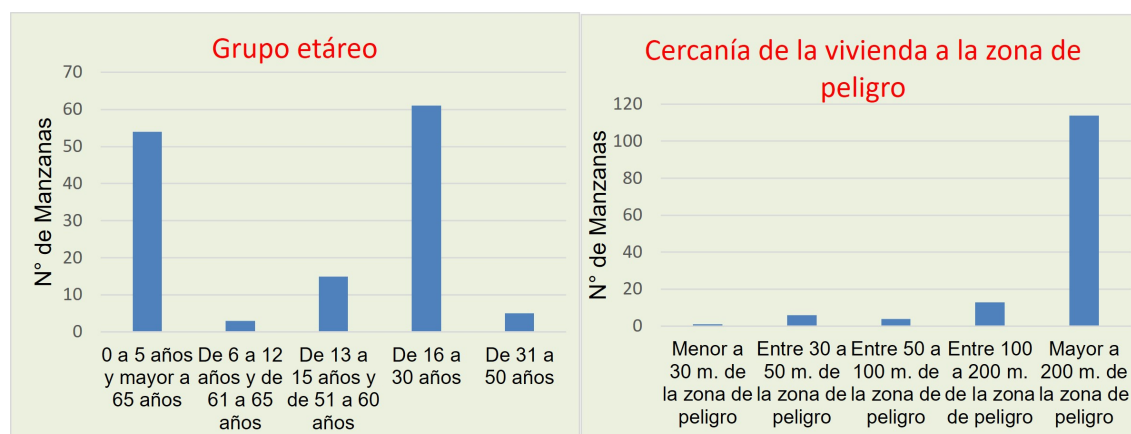
3.9.7.2 Reducción de la vulnerabilidad

Para la reducción de la vulnerabilidad se optó dentro de la dimensión social el parámetro capacitación en temas de Gestión de riesgos por parte de sus autoridades sea por lo menos una vez al año. Al construir un dique de protección hace que la población se aleje de zona de peligro siendo este un parámetro de la dimensión social.

Todas las modificaciones se detallan continuación:

Figura 67

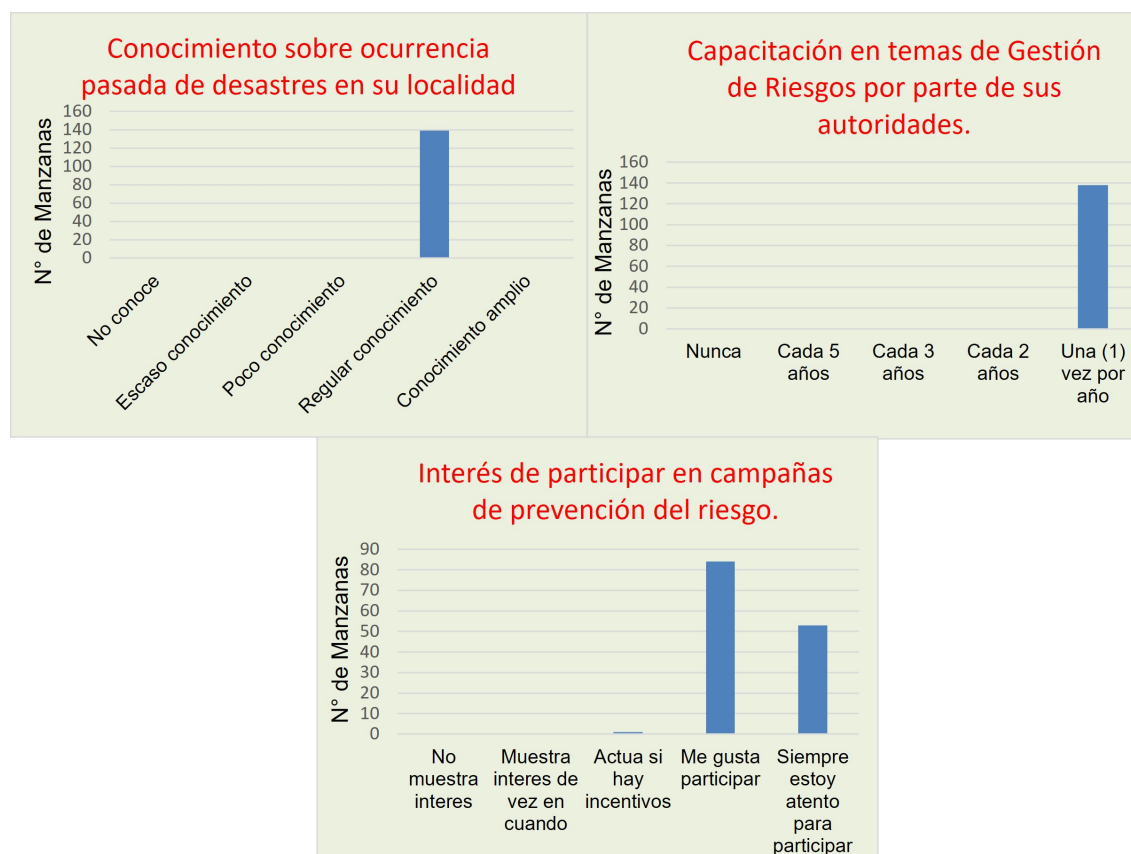
Descriptorios versus numero de manzanas en el ámbito social



Fuente: Elaboración propia

Figura 68

Descriptorios versus Número de manzanas en el ámbito social

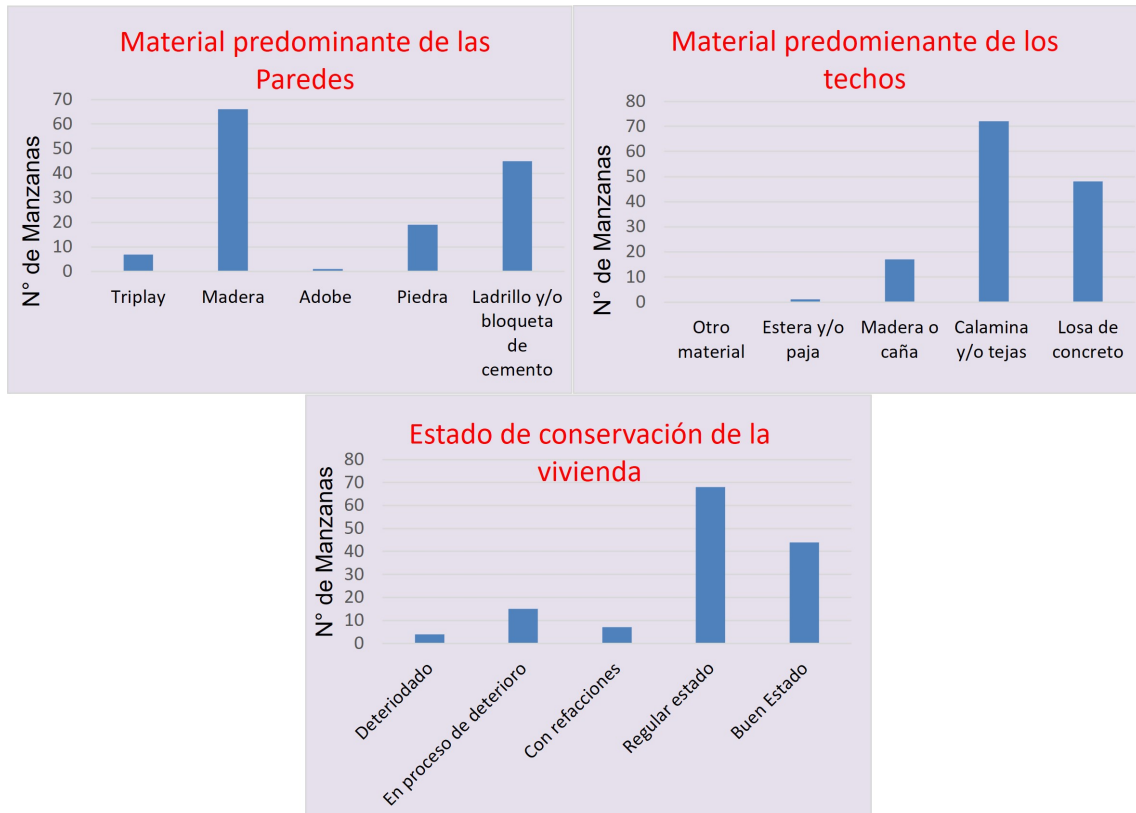


Fuente: Elaboración propia

En la dimension económica de el parámetro organización comunitaria hacer que a la población le interese participar en las brigadas de emergencia.

Figura 69

Descriptorios versus Número de manzanas en el ámbito económico



Fuente: Elaboración propia

Figura 70

Descriptorios versus Número de manzanas en el ámbito económico



Fuente: Elaboración propia

En la dimensión ambiental en el parámetro: Manejo y disposición de residuos sólidos hacer que la población bote la basura mediante la compactadora municipal.

Figura 71

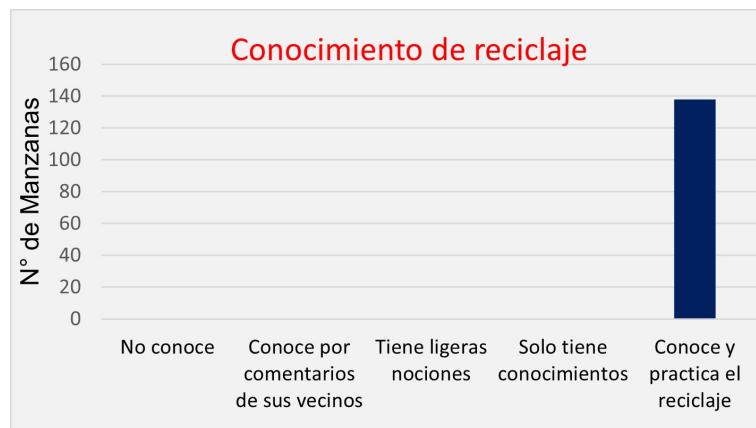
Descriptorios versus Número de manzanas en el ámbito ambiental



Fuente: Elaboración propia

Figura 72

Descriptorios versus Número de manzanas en el ámbito ambiental



Fuente: Elaboración propia

Resultados

En el presente capítulo nos da a conocer el análisis, interpretación y la contrastación de hipótesis.

En la sección N° 4.1.1 nos muestra el riesgo por inundación en la ciudad de Llochegua en su estado natural considerando como parámetro de evaluación el modelo de inundación para tiempos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años, se considera también la topografía del terreno y la vulnerabilidad en sus dimensiones social, económico y ambiental.

En la sección N° 4.1.2 nos muestra el nuevo riesgo por inundación en la ciudad de Llochegua haciendo un nuevo modelo de inundación para los tiempo de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años considerando estructuras de contención y mejorando la vulnerabilidad en sus dimensiones social, económico y ambiental .

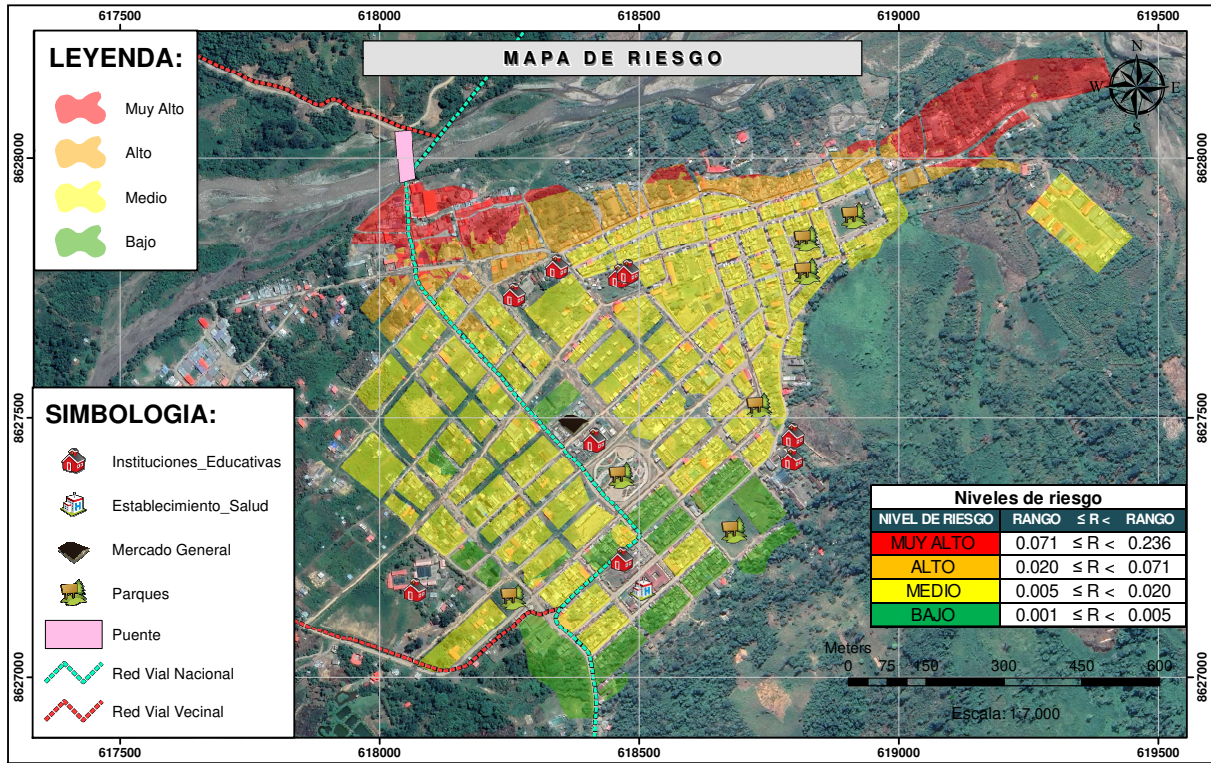
4.1 Análisis e interpretación

4.1.1 Riesgo por inundación

4.1.1.1 Riesgo

Figura 73

Mapa de riesgo



Fuente: Elaboración propia

El desborde del río Tinkuy se debe a las lluvias intensas lo que ocasiona la inundación en la zona urbana de Llochegua, el riesgo se encontró a través de la intersección del peligro y la vulnerabilidad obteniendo un mapa de riesgo a nivel de manzanas.

Se obtuvo los niveles de riesgo: muy alto, alto, medio y bajo, de los cuales se obtuvo que el 14 % del área de las manzanas de la ciudad de Llochegua está en un nivel muy alto, el 12 % en un nivel alto, 60 % en un nivel medio y 13 % en un nivel bajo.

► **Figura 74**

Resultados del riesgo.

NIVEL DE RIESGO	Área (ha)	% Área
MUY ALTO	7.34	14%
ALTO	6.50	12%
MEDIO	31.49	60%
BAJO	6.84	13%
Total	52.17	100%

(a) Porcentaje de área de riesgo



(b) Niveles de riesgo por hectárea

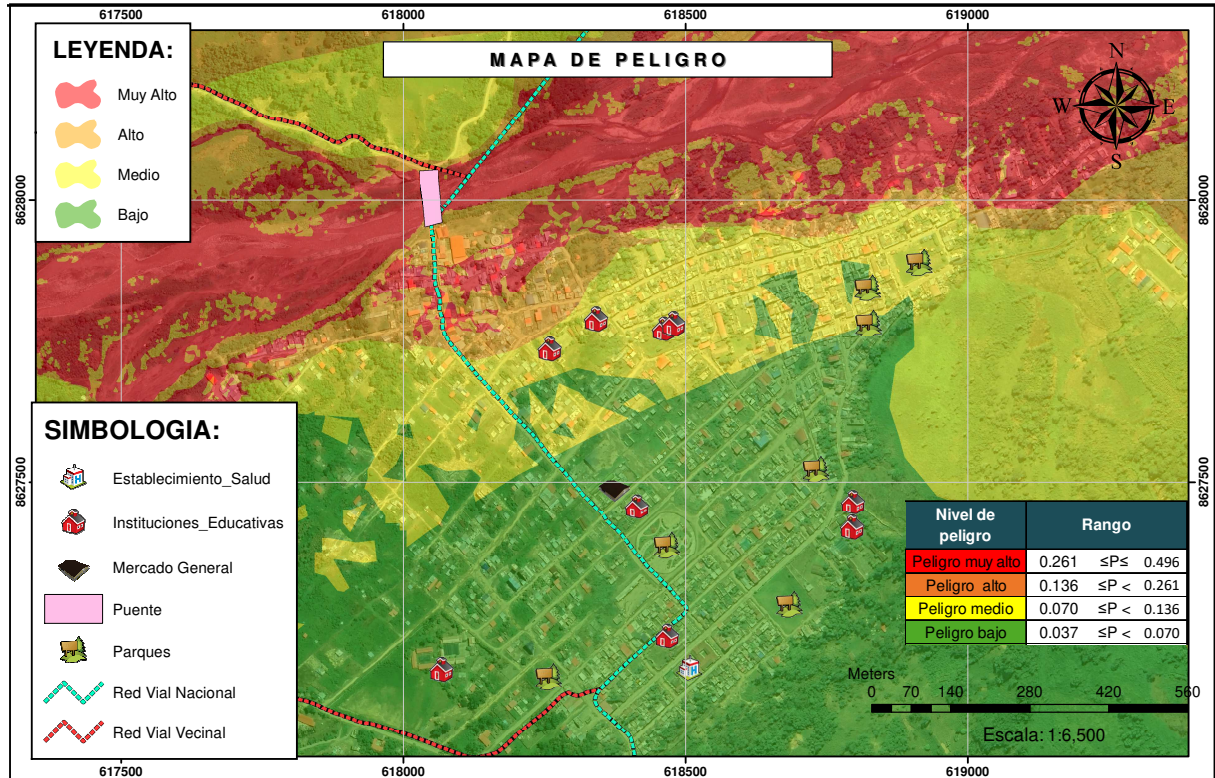
Fuente: Elaboración propia

De la anterior figura se interpreta que un sector de la ciudad de Llochegua se encuentra en riesgo muy alto por lo tanto se tomará medidas para disminuirlo .

4.1.1.2 Peligro

Figura 75

Mapa de peligro



Fuente: Elaboración propia

En la zona en estudio se obtuvo también los niveles de Peligro en la zona de estudio obteniendo los resultados en hectáreas.

Se obtuvo los niveles: muy alto, alto, medio y bajo, de los cuales se obtuvo que el 26 % de la zona en estudio está en un nivel muy alto el 12 % en un nivel alto, 22 % en un nivel medio y 40 % en un nivel bajo.

► **Figura 76**

Resultados del peligro.

NIVEL DE PELIGRO	Área (ha)	% Área
MUY ALTO	36.53	26%
ALTO	16.76	12%
MEDIO	30.60	22%
BAJO	55.77	40%
Total	139.67	100%

(a) Porcentaje de área de peligro



(b) Niveles de peligro por hectárea

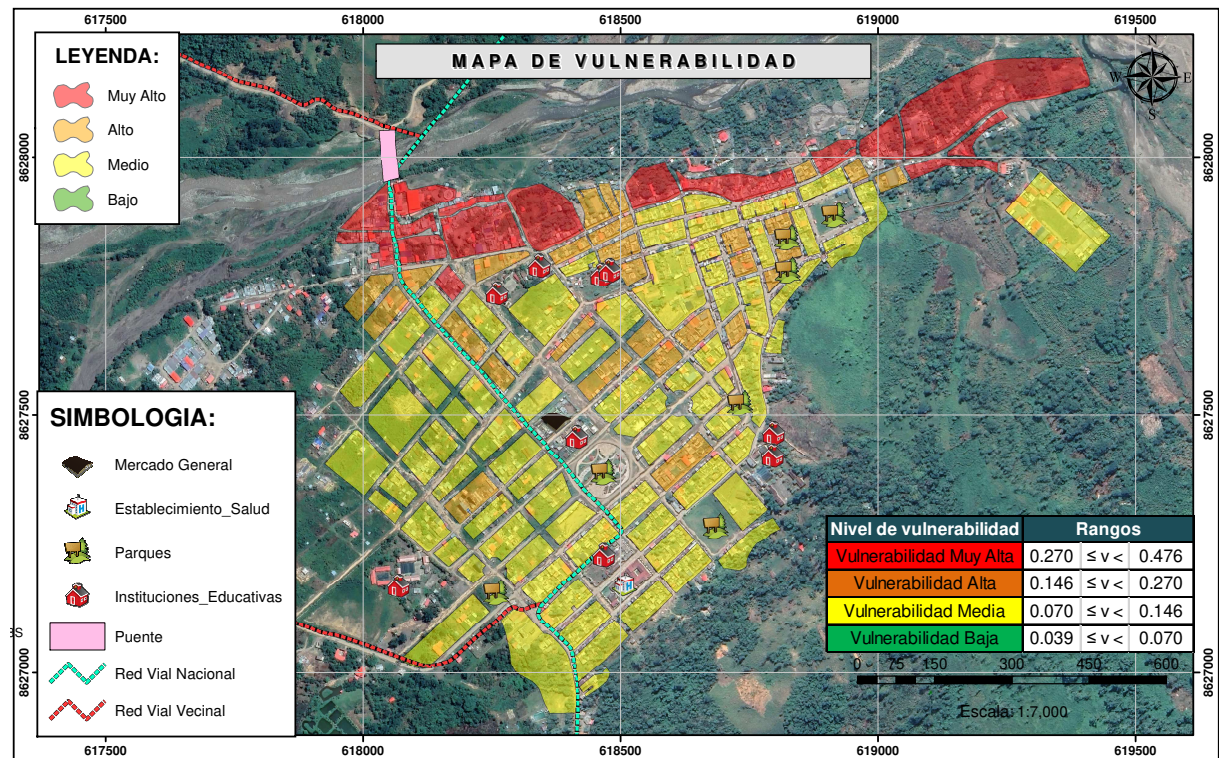
Fuente: Elaboración propia

De figura anterior se interpreta que existe peligro por inundación en la ciudad de Llochegua.

4.1.1.3 Vulnerabilidad

Figura 77

Mapa de Vulnerabilidad.



Fuente: Elaboración propia

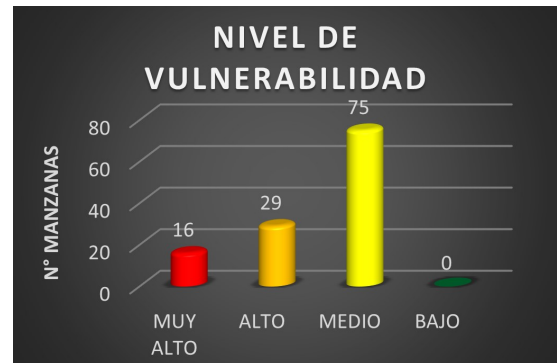
También se obtuvo los niveles de vulnerabilidad en la zona de estudio obteniendo los siguientes resultados en número de manzanas. Se obtuvo la vulnerabilidad: muy alto, alto, medio y bajo, de los cuales se obtuvo que las 16 manzanas en un nivel muy alto, 29 manzanas en un nivel alto, 75 manzanas en nivel medio y 0 manzanas a un nivel bajo.

► **Figura 78**

Resultados del vulnerabilidad.

NIVEL DE VULNERABILIDAD	N° de Manzanas	% Manzanas
MUY ALTO	16	13%
ALTO	29	24%
MEDIO	75	63%
BAJO	0	0%
Total	120	100%

(a) Porcentaje de manzanas de vulnerabilidad



(b) Niveles de vulnerabilidad por número de manzana

Fuente: Elaboración propia

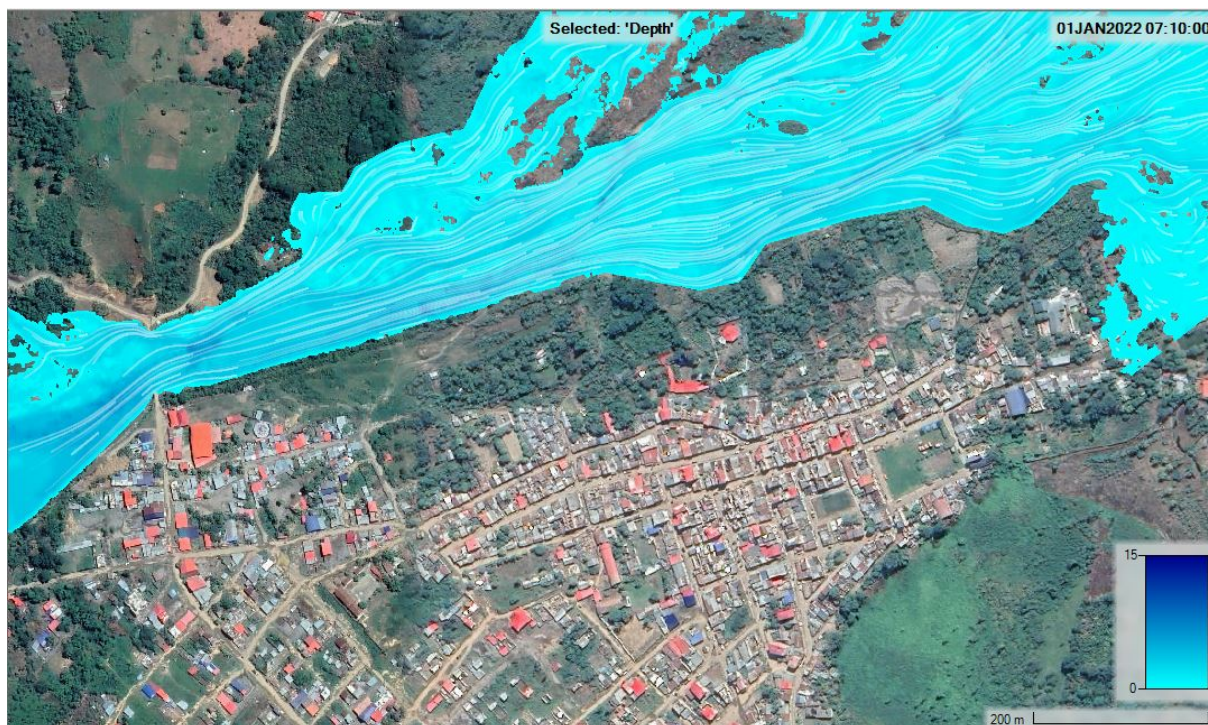
De igual manera la ciudad de Llochegua se encuentra vulnerable al no encontrar manzanas en nivel bajo.

4.1.2 Estructuras de contención

Al proponer un dique lateral en las zonas geográficas necesarias se observa que contiene el desborde de las aguas para un tiempo de retorno de 100 años, también se puede observar las líneas blancas que son el movimiento del flujo del agua y en la parte inferior derecha su muestra la escala de altura de agua en metros también la escala planimétrica.

Figura 79

Comportamiento del flujo de agua en diques laterales



Fuente: Elaboración propia

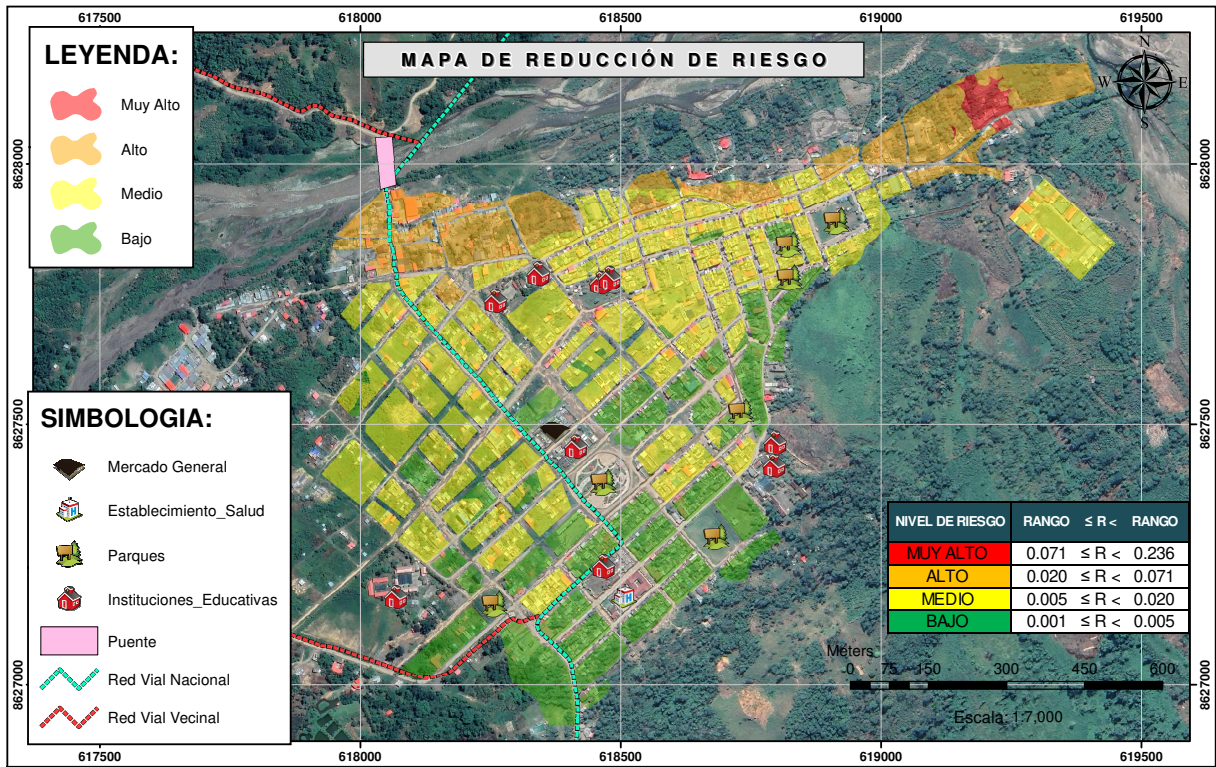
4.1.3 Reducción de riesgo por inundación

4.1.3.1 Reducción de riesgo

Al hacer la intersección del nuevo peligro y la nueva vulnerabilidad nos da un nuevo riesgo:

Figura 80

Mapa de reducción de riesgo.



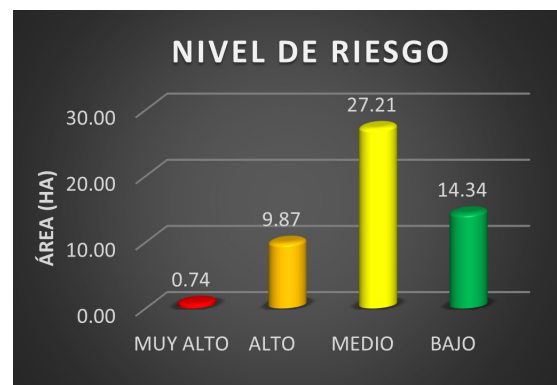
Fuente: Elaboración propia

Figura 81

Resultados de reducción del Riesgo.

NIVEL DE RIESGO	Área (ha)	% Área
MUY ALTO	0.74	1%
ALTO	9.87	19%
MEDIO	27.21	52%
BAJO	14.34	27%
Total	52.17	100%

(a) Porcentaje de área de riesgo



(b) Niveles de riesgo por hectáreas

Fuente: Elaboración propia

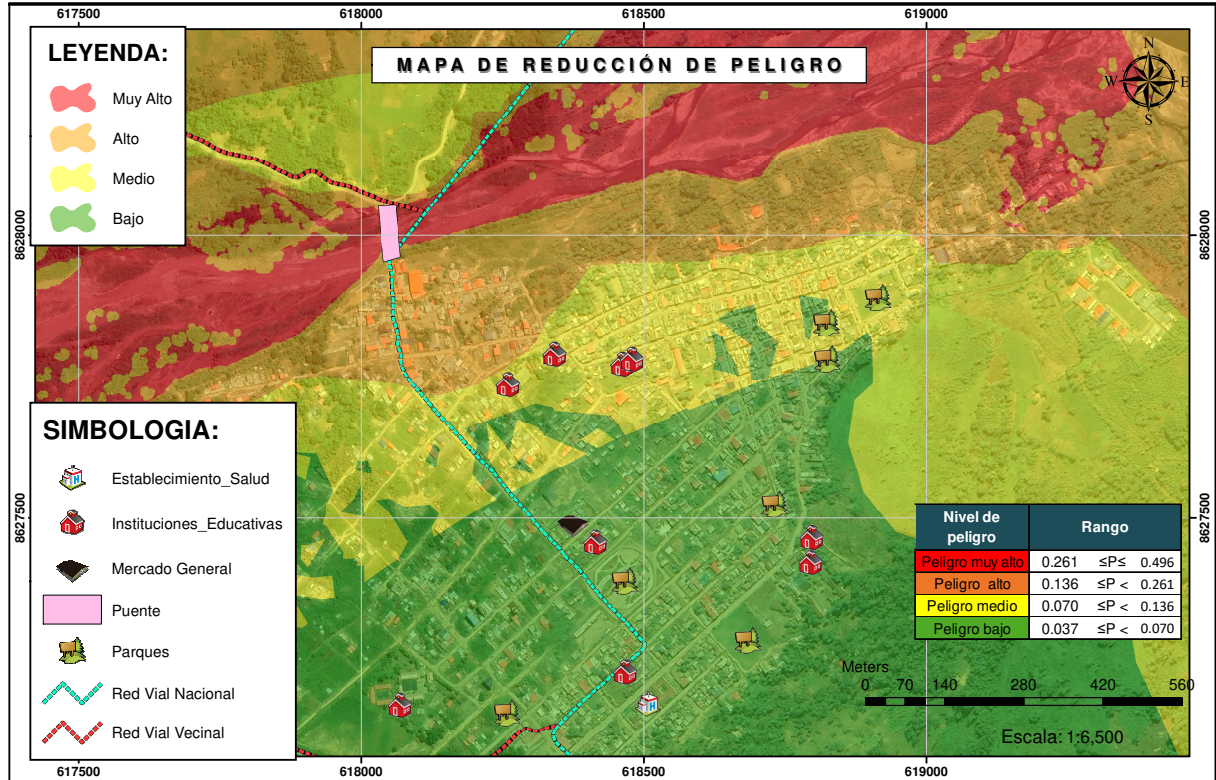
De la figura anterior se interpreta que en la ciudad de Llochegua el riesgo muy alto es de menor área y el riesgo medio de mayor área.

4.1.3.2 Reducción de peligro

Al construir el dique de contención de agua nos da un nuevo peligro:

Figura 82

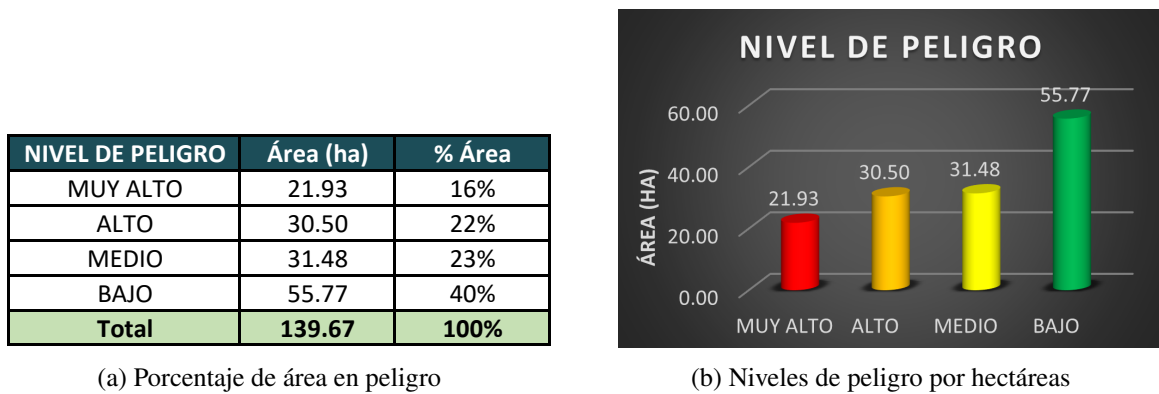
Mapa de reducción de peligro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 83

Resultados de reducción del peligro.



Fuente: Elaboración propia

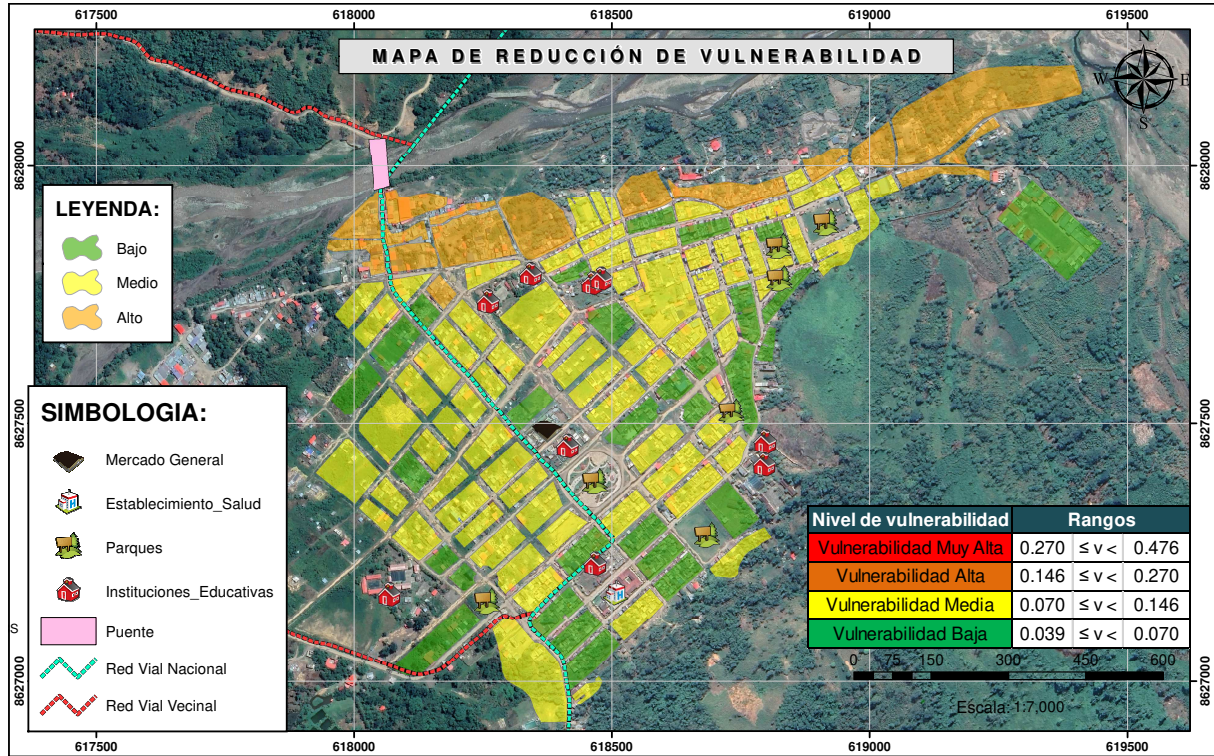
De la figura anterior se interpreta que el nivel de peligro bajo es el que mayor área tiene.

4.1.3.3 Reducción de vulnerabilidad

Al hacer los cambios de vulnerabilidad antes detallados nos muestran una nueva vulnerabilidad:

Figura 84

Mapa de reducción de Vulnerabilidad.



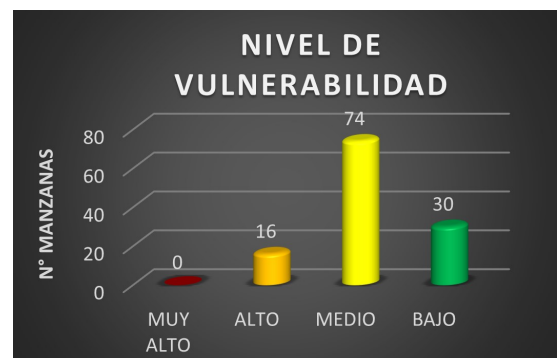
Fuente: Elaboración propia

► **Figura 85**

Resultados de reducción de vulnerabilidad.

NIVEL DE VULNERABILIDAD	N° de Manzanas	% Manzanas
MUY ALTO	0	0%
ALTO	16	13%
MEDIO	74	62%
BAJO	30	25%
Total	120	100%

(a) Porcentaje de manzanas de vulnerabilidad



(b) Niveles de vulnerabilidad por número de manzanas

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera de la figura anterior se concluye que la mayor cantidad de manzanas corresponde a la vulnerabilidad media.

4.2 Contrastación de hipótesis

4.2.1 Hipótesis General

- ① Las estructuras de contención propuestas en las zonas geográficas disminuyen el riesgo por inundación generado por los ríos Tincuy y Sabogato en el distrito de Llochegua, Huanta – Ayacucho.

Supuestos:

Se diseñó estructuras hidráulicas en las zonas de desbordes a lo largo de la ribera del río Tincuy con el software RIVER Y HEC-RAS .

Regla de decisión:

Niveles de riesgo muy alto, alto, medio y bajo.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.1

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al construir diques de contención en las riberas del río disminuyen el riesgo por inundación especialmente el riesgo muy alto.

4.2.2 Hipótesis específicas

- ① El modelo de inundación propuesto disminuye el riesgo por inundación.

Supuestos:

El modelamiento hidráulico se realizó con el software HEC-RAS para tiempos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Regla de decisión:

Niveles de riesgo muy alto, alto, medio y bajo.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.1

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al modelar la inundación para los tiempos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años considerando los diques laterales disminuyen el riesgo por inundación.

- ② Los niveles sociales propuesto disminuye el riesgo por inundación.

Supuestos:

Se propuso realizar cambios a la fragilidad y la resiliencia social.

Regla de decisión:

Niveles de riesgo muy alto, alto, medio y bajo.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.2

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al considerar conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad en regular conocimiento, capacitación en temas de gestión de riesgos por parte de sus autoridades una vez al año, interés de participar en campañas de prevención del riesgo en me gusta participar o siempre estoy atento para participar, reducen el riesgo por inundación, se dejo tal cual el grupo etareo.

- ③ Los niveles económicos propuestos disminuyen en el riesgo por inundación.

Supuestos:

Se propuso realizar cambios a la resiliencia económica.

Regla de decisión:

Niveles de riesgo muy alto, alto, medio y bajo.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.2

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al considerar la organización comunitaria que le interesa participar en las brigadas de emergencia como prioritaria disminuyen el riesgo por inundación, se dejo tal cual los parámetros ocupación principal (jefe de hogar), estado de conservación de la vivienda, material predominante - techo y material predominante - pared.

- ④ Los niveles ambientales propuestos disminuyen en el riesgo por inundación.

Supuestos:

Se propuso realizar cambios a la fragilidad y resiliencia ambiental.

Regla de decisión:

Niveles de riesgo muy alto, alto, medio y bajo.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.2

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al considerar manejo y disposición de residuos sólidos con recojo municipal (compactadora) y conocimiento de reciclaje como conoce y practica el reciclaje a todas la manzanas disminuyen el riesgo por inundación.

- ⑤ La morfometría del río propuesta disminuye en el riesgo por inundación..

Regla de decisión:

Se propuso realizar cambios en la morfometria del cauce del río por la proposición de colocar diques laterales en la ribera del río Tinkuy.

Calculo:

Los cálculos se hicieron en la sección 3.9.8.1

Decisión:

Validados la presente hipótesis porque al modificar la topografía del terreno considerando diques laterales disminuyen el riesgo por inundación en la ciudad de Llochegua .

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

De esta investigación se concluye que la ciudad de Llochegua se encuentra en riesgo por inundación muy alto con 14 %, alto con 12 %, medio con 60 % y bajo con 13 %. Luego de diseñar un dique de contención de agua para un tiempo de retorno de 100 años y mejorar los valores de la vulnerabilidad se obtuvieron los siguientes porcentajes de riesgos: 1 % con un nivel de riesgo muy alto, 19 % con nivel alto, 52 % con un nivel medio, 27 % con un nivel bajo.

De las 52 hectáreas analizadas se concluye que el riesgo el nivel muy alto disminuye en 6.6 hectáreas, el nivel alto aumenta en 3.38 hectáreas, el nivel medio disminuye en 4.28 hectáreas y en nivel bajo aumenta en 7.5 hectáreas.

Para reducir el riesgo se propuso realizar una estructura hidráulica que contenga un caudal para un tiempo de retorno de 100 años. Así mismo el modelamiento hidráulico para tiempo de retorno de 100 años es recomendado por el ANA para cauces de agua que colinda con poblaciones o zonas urbanas. Asimismo del proceso de la investigación se concluyó lo siguiente:

- Al modelar la inundación considerando una estructura hidráulica y la disminución de la vulnerabilidad confirman que disminuye el riesgo por inundación.
- En la dimension social al considerar: Capacitación en temas de gestión de riesgos por parte de sus autoridades como una vez al año, interés de participar en campañas de prevención del riesgo en me gusta participar o siempre estoy atento a participar, conocimiento en ocurrencias pasadas como regular conocimiento, confirma que disminuye el riesgo.
- En la dimension económica al considerar: Organización comunitaria como le interesa participar en las brigadas de emergencia a la mayoría de las manzanas, confirma que disminuye el riesgo.
- En la dimension ambiental al considerar: Manejo y disposición de residuos sólidos como Recojo municipal (compactadora) y conocimiento de reciclaje como conoce y practica el reciclaje a todas las manzanas, confirma que disminuye el riesgo.
- Los resultados de la investigación confirman que al cambiar la morfometría del río considerando un dique disminuye el riesgo por inundación.

Recomendaciones

Las zonas que se encuentren aún a un nivel de riesgo muy alto siendo el area 0.74 hectáreas (1 % del area total), se recomienda a corto plazo su reubicación. Las zonas que se encuentren a un nivel alto siendo el area de 9.87 hectáreas (19 % del area total), se recomienda su reubicación a largo plazo.

- Se recomienda modelar con flujo de detritos para obtener resultados mas reales .
- También se recomienda en el nivel social el parámetro grupo etario disminuir mediante planificación familiar ya que esta zona contiene una mayor cantidad de menores de edad.
- Con respecto a la dimensión económico el parámetro: Estado de conservación de la vivienda se recomienda mantener en buen estado la vivienda así mismo la pared y el techo ya que disminuye la fragilidad y consecuentemente el riesgo.
- Con respecto a la dimensión ambiental se recomienda las buenas practicas de manejo de residuos sólidos y tener conocimiento de reciclaje a través de campañas de concientización.
- Por último si bien es cierto los levantamientos con dron son la mejor alternativa para conocer la topografía en mayor resolución, pero en la selva por la presencia de abundante vegetación y arbóreo las ondas que emiten los drones no permiten el real registro de la topografía, por lo que se recomienda hacer levantamientos topográficos con GPS diferencial.

Trabajos futuros

- Ejecutar trabajos de plan de ordenamiento territorial y desarrollo urbano para que la población tenga calidad de vida.
- Realizar trabajos de investigación de riesgo a nivel de vivienda donde se precise las características de incidencia de la inundación a cada vivienda en la ciudad de Llochegua esto servirá para determinar un nivel de riesgo a mayor detalle.
- Realizar un estudio de socavación en el puente Tinkuy porque las aguas en sus máximas crecidas daña la estructura del puente.

Referencias bibliográficas

- ANA. (s/f). Elaboración de mapas de isoyetas- ámbito político, administrativo y unidades hidrográficas. *Oficina del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH)* (pág. 67).
- Aroni, P. F., y Pareja, H. O. M. (2020). *Gestión de datos con tecnología geomática para la mitigación del riesgo de desastres por fenómenos naturales* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil]. Universidad Ricardo Palma. Lima. (Págs. 9, 11).
- Aybar, C. L., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., y Felipe, O. G. (2017). Uso del producto grillado pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica N 001 SENAMHI-DHI-2017 (págs. 14-16).
- Barreda, J., y Cuba, A. (1998). Geología del cuadrángulo de Quiteni y Canaire. Hojas: 24-ñ y 25-ñ [Boletín A 118] (pág. 48).
- Benítez, L. M. (2016). *Insumos técnicos para la modelación probabilística de riesgo de inundaciones en la cuenca del río Sucio utilizando el modelo Capra* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil]. Universidad de el Salvador. El Salvador. (Pág. 11).
- Callirgos, L. K. (2020). *Evaluación de riesgos por deslizamiento rotacional de tierra mediante el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad en el centro poblado de cuenca – Huancavelica* (T. de pregrado, Ed.; 53.^a ed.). (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Federico Villareal, Lima, Perú. (Pág. 8).
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión*. NEVA STUDIO SAC. (Págs. 52, 53, 55-63, 115).
- Chetyrina, A. (2017). Análisis y determinación de las curvas IDF en Navarra (págs. 23-25).
- Chiew, F., y Siriwardena, L. (2005). *User guide trend change detection software*. CRC for Catchment Hydrology. (Págs. 17-20).
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (M. Graw-Hill, Ed.). (Págs. 20-22, 30, 35, 39).
- Chow, V. T., et al. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill. (Pág. 47).
- COEN-INDECI. (2021). *Reporte SINPAD*. (Pág. 2).
- CRED. (2020). El costo humano de los desastres Una mirada a los últimos 20 años 2000-2019. *Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de desastres*, 17 (pág. 1).

- Estrada, E. L. (2020). *Evaluación del riesgo de inundación fluvial en la cuenca Baja del río esmeraldas*. (Tesis para optar el Título de Magister en Gestion Integral de Cuencas Hidrograficas). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. (Pág. 8).
- Gonzales, H. (2016). *Análisis del riesgo por inundaciones en la Cuenca del rio yucaes sector muyurina - Ayacucho, 2014*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de San Cristobal de Humanaga, Ayacucho, Perú. (Pág. 9).
- Hoyos, C. A., Jaime, M. A., Treviño, F., Sifuentes, A. T., et al. (2018). Las tecnologías de la información en la formación de los estudiantes de ingeniería civil en el Instituto Tecnológico de Tepic. *CONACYT* (pág. 45).
- INDECI. (2020). *Información Estadística De Emergencias Y Daños, Periodo 2003 Al 2019, (Pag.122)*. (Pág. 2).
- Kozanis, S., Christofides, A., Mamassis, N., Efstratiadis, A., y Koutsoyiannis, D. (2010). Hydrognomon—open source software for the analysis of hydrological data. *Proceedings of the European Geosciences Union (EGU) General Assembly, Vienna, Austria, 2(7)* (pág. 22).
- Londoño, J. S. (2021). *Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía*. (Tesis para optar el Título de Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. (Pág. 8).
- Monge, R. W., Valencia, M. M., y Sánchez, J. J. (1998). Geología de los cuadrángulos de Llochegua, Río Picha y San Francisco. Hojas: 25-o, 25-py 26-o-[Boletín A 120] (págs. 48, 49).
- MTC. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. (Págs. 25, 26, 29-31, 34-38, 40-42, 99).
- Nanía, L. (2007). Manual Básico de HEC-HMS 3.0. 0 y HEC-GeoHMS 1.1. Universidad de Granada-España. (Pág. 43).
- OMM. (2011). *Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas* (6.ª ed.). (Pág. 21).
- Prado, H. P. (2016). *Pronóstico de Caudales Mediante el Modelo Matemático Bidimensional Iber Aplicado en la Cuenca del Rio Vinchos - Ayacucho*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de San Cristobal de Humanaga, Ayacucho, Perú. (Pág. 9).
- Puerta, R., Rengifo, J., y Bravo, N. (2011). *Arcgis básico 10*. Universidad nacional agraria de la selva. (Pág. 44).
- Quispe, F. (2018). *Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica-Puno* [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil]. Universidad Alas Peruanas. Juliaca. (Págs. 33, 34).

- Sarazu, J. (2018). *Modelación Hidráulica Con El Modelo Hec-ras 2d*, HyG ingenieros. (Pág. 46).
- Suárez, Z. E., Sepúlveda, O., Patarroyo, M., y Canaria, L. C. (2020). Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia. *Información tecnológica*, 31(1), 193-206 (pág. 29).
- Villón, M. (2002). *Hidrología* (MaxSoft, Ed.). (Págs. 10-14, 17, 26-28, 40).
- Villón, M. (2012). HidroEsta 2: cálculos hidrológicos: manual del usuario. (Pág. 33).
- Wikipedia. (2022). Aluvión — Wikipedia, La enciclopedia libre [Internet; descargado 29-diciembre-2022]. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aluvi%C3%5C%B3n&oldid=145971464> (pág. 49).
- WMO. (2021). 2021 State of climate services Water. *European Journal of Operational Research*, 9 (pág. 1).

ANEXOS

Parte I

Panel Fotográfico

Figura 86

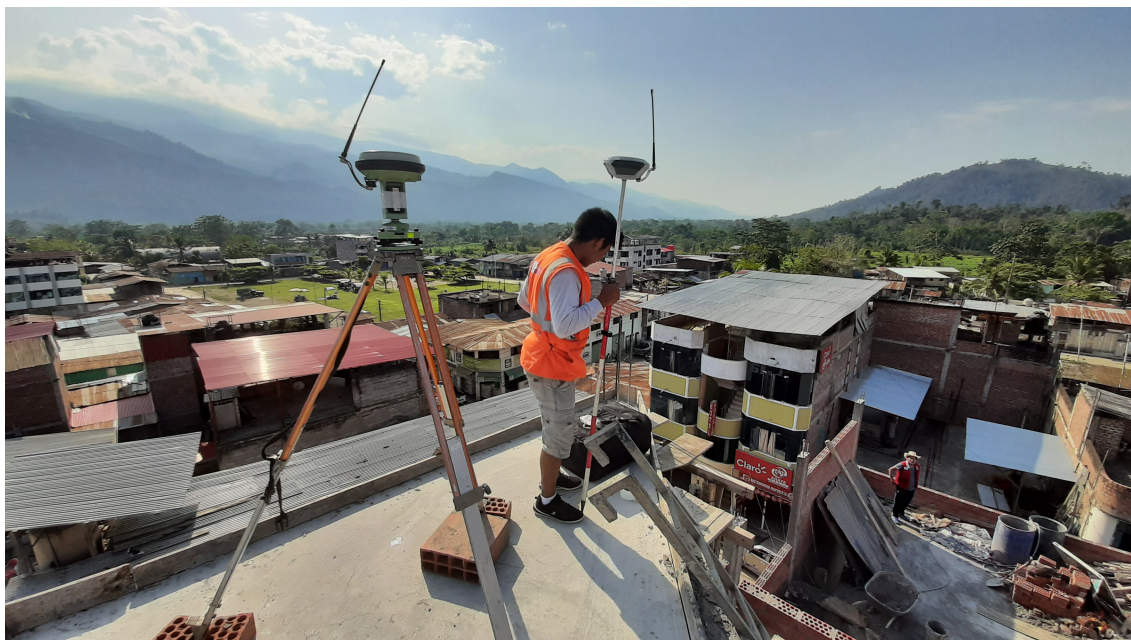
Se observa una vista panorámica de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 87

Se observa el estacionamiento del GPS diferencial en la zona más alta para poder tener un mayor alcance de lectura



Fuente: Elaboración propia

Figura 88

Levantamiento topográfico por la zona del puente Tinkuy



Fuente: Elaboración propia

Figura 89

Vista de erosión de las riberas del río Tinkuy y daño de la estructura del puente Tinkuy



Fuente: Municipalidad de Llochegua

Figura 90

Cauce del río Sabogato, se observa las aguas tiene un tono oscuro por la gran contaminación de productos químicos



Fuente: Elaboración propia

Figura 91

Entrega de frazadas y víveres a los afectados por la inundación en la ciudad de Llochegua



Fuente: Municipalidad de Llochegua

Figura 92

Vista del río Tinkuy horas después de su desborde, donde se observa el encauzamiento con maquinaria



Fuente: Elaboración propia

Figura 93

Se observa una retroexcavadora ayudando a transportar personas y bienes muebles de los afectados



Fuente: Municipalidad de Llochegua

Figura 94

Modelo de encuesta Manzana ID 02

Encuesta de vulnerabilidad
Distrito de Llochegua – Provincia Huanta – Región Ayacucho 2021

FICHA DE ENCUESTA DE VULNERABILIDAD

No. DE FICHA 003

01 CODIGO DE REFERENCIA URBANO CATASTRAL						
DPTO.	UBIGEO	PROV.	DIST.	SECTOR	MANZANA	LOTES
05	04	08	08	0001	02	-

ENCUESTA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Marque con una "X" si corresponde o predomina a su grupo de hogar

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
Grupo etéreo	0 a 5 años y mayor a 65 años	
	De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	X
	De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	
	De 16 a 30 años	
	De 31 a 50 años	
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	No conoce	X
	Escaso conocimiento	
	Poco conocimiento	
	Regular conocimiento	
	Conocimiento amplio	
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Nunca	
	Cada 5 años	X
	Cada 3 años	
	Cada 2 años	
	Una (1) vez por año	
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	No muestra interés	
	Muestra interés de vez en cuando	X
	Actúa si hay incentivos	
	Siempre estoy atento para participar	
Material predominante - pared	Triplay	X
	Madera	
	Adobe	
	Piedra	
	Ladrillo y/o bloqueta de cemento	
Material predominante - techo	Otro material	X
	Estera y/o paja	
	Madera o caña	
	Calamina y/o tejas	
Estado de conservación de la vivienda	Losa de concreto	X
	Deteriorado	
	En proceso de deterioro	
	Con refacciones	
Regular estado		
Buen Estado		

Fuente: Equipo técnico

Figura 95

Modelo de encuesta Manzana ID 02

Encuesta de vulnerabilidad
Distrito de Llochegua – Provincia Huanta – Región Ayacucho 2021

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
Ocupación principal (jefe de hogar)	Trabajador familiar no remunerado	
	Obrero / peón	
	Agricultor	X
	Empleado / Trabajador independiente	
	Empleador	
Organización comunitaria	No le interesa	X
	Le interesa participar en las brigadas de emergencia	
	Conoce las rutas de evacuación	
	Tiene brigadas de emergencia	
Manejo y disposición de residuos sólidos	Tiene brigadas de emergencia y participa	
	Sin recojo de residuos sólidos	
	Botadero en el cauce de la quebrada	X
	Recojo con moto furgón (reciclador)	
	Recojo municipal (compactadora)	
Conocimiento de reciclaje	No genera (no botan)	
	No conoce	
	Conoce por comentarios de sus vecinos	
	Tiene ligeras nociones	X
Solo tiene conocimientos		
Conoce y practica el reciclaje		

Fuente: Equipo técnico

Parte II

Hojas de cálculo

Tabla 55

Desarrollo del parámetro de evaluación

PARAMETROS DE EVALUACION														
Parametro: Tiempo de retorno														
Matriz de Comparación de pares del Parámetro de evaluación														
EVALUACION	Tiempo de retorno	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años								
	25 años	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00								
	50 años	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00								
	100 años	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00								
	200 años	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00								
	500 años	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00								
	SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00								
	1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04								
Matriz de Normalización de pares del Parámetro de evaluación														
Tiempo de retorno	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años	Vector priorización	%							
25 años	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28							
50 años	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02							
100 años	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44							
200 años	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78							
500 años	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48							
						1.00	100.00							
Matriz de Relación de Consistencia del Parámetro de Evaluación														
Tiempo de retorno	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años	Vector suma ponderada	λmax							
25 años	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.74	5.46							
50 años	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.41	5.43							
100 años	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.70	5.20							
200 años	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.34	5.03							
500 años	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.18	5.09							
						Suma	26.21							
						Promedio	5.24							
INDICE DE CONSISTENCIA (IC)														
$IC = \frac{0.24}{4.00} \quad IC = 0.061$														
INDICE ALEATORIO														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
RELACION DE CONSISTENCIA														
$RC = \frac{IC}{IA} \quad RC = 0.054 < 0.1 \quad OK$														
IC	0.061													
RC	0.054													
Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerarquico para el parametro de precipitación anómala														

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 56

Desarrollo del parámetro precipitación anómala

FACTOR DESENCADENANTE - PRECIPITACIÓN ANÓMALA														
Matriz de Comparación de pares del parámetro de Precipitación														
Precipitación (mm)	146 - 147.96	142 - 146	138 - 142	134 - 138	122.75 - 134									
146 - 147.96	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00									
142 - 146	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00									
138 - 142	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00									
134 - 138	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00									
122.75 - 134	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00									
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00									
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04									
Matriz de Normalización de pares del parámetro de Precipitación														
Precipitación (mm)	146 - 147.96	142 - 146	138 - 142	134 - 138	122.75 - 134	Vector priorización	%							
146 - 147.96	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28							
142 - 146	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02							
138 - 142	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44							
134 - 138	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78							
122.75 - 134	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48							
						1.00	100.00							
Matriz de Relación de Consistencia de Precipitación														
Precipitación (mm)	146 - 147.96	142 - 146	138 - 142	134 - 138	122.75 - 134	Vector suma ponderada	λmax							
146 - 147.96	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.74	5.46							
142 - 146	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.41	5.43							
138 - 142	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.70	5.20							
134 - 138	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.34	5.03							
122.75 - 134	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.18	5.09							
						Suma	26.21							
						Promedio	5.24							
INDICE DE CONSISTENCIA (IC)														
$IC = \frac{0.24}{4.00}$		IC = 0.061												
INDICE ALEATORIO														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
RELACION DE CONSISTENCIA														
$RC = \frac{IC}{IA}$		RC = 0.054 < 0.1 OK												
IC	0.061	Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerarquico para el parametro de precipitación anómala												
RC	0.054													

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 57

Ponderación de parámetros

PONDERACIÓN DE PARÁMETROS														
Matriz de Comparación de pares del parámetro de factores condicionantes														
Factores condicionantes	Geomorfología	Geología	Pendiente											
Geomorfología	1.00	2.00	6.00											
Geología	0.500	1.00	2.00											
Pendiente	0.167	0.500	1.00											
SUMA	1.67	3.50	9.00											
1/SUMA	0.60	0.29	0.11											
Matriz de Normalización de pares de los factores condicionantes														
Factores condicionantes	Geomorfología	Geología	Pendiente	Vector priorización	%									
Geomorfología	0.60	0.57	0.67	0.613	61.27									
Geología	0.30	0.29	0.22	0.269	26.93									
Pendiente	0.10	0.14	0.11	0.118	11.80									
				1.000	100.000									
Matriz de Relación de Consistenciae pares de los factores condicionantes														
Factores condicionantes	Geomorfología	Geología	Pendiente	Vector suma ponderada	λmax									
Geomorfología	0.61	0.54	0.71	1.859	3.03									
Geología	0.31	0.27	0.24	0.812	3.01									
Pendiente	0.10	0.13	0.12	0.355	3.01									
				Suma	9.06									
				Promedio	3.02									
INDICE DE CONSISTENCIA (IC)														
	$IC = \frac{0.02}{2.00}$		IC = 0.009											
INDICE ALEATORIO														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
RELACION DE CONSISTENCIA														
	$RC = \frac{IC}{IA}$		RC = 0.017 < 0.1 OK											
IC	0.009													
RC	0.017													
	Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerarquico para los factores condicionantes													

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 58

Desarrollo del parámetro Geomorfológico

FACTOR CONDICIONANTE - GEOMORFOLOGIA					
Matriz de Comparación de pares del parámetro Geomorfología					
Geomorfología	Río	V-al/P-al	T-al	V-cd	RM-rs
Río (Río)	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00
Vertiente o Piedemonte Aluvial (V-al/P-al)	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Terraza Aluvial (T-al)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Vertiente o Piedemonte Coluvio-Deluvial (V-cd)	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Montaña en Roca Sedimentaria (RM-rs)	0.11	0.17	0.25	0.50	1.00
SUMA	2.03	3.92	7.75	13.50	22.00
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.05

Matriz de Normalización de pares del parámetro Geomorfología							
Geomorfología	Río	V-al/P-al	T-al	V-cd	RM-rs	Vector priorización	%
Río (Río)	0.49	0.51	0.52	0.44	0.41	0.475	47.47
Vertiente o Piedemonte Aluvial (V-al/P-al)	0.25	0.26	0.26	0.30	0.27	0.266	26.58
Terraza Aluvial (T-al)	0.12	0.13	0.13	0.15	0.18	0.142	14.20
Vertiente o Piedemonte Coluvio-Deluvial (V-cd)	0.08	0.06	0.06	0.07	0.09	0.075	7.51
Montaña en Roca Sedimentaria (RM-rs)	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.042	4.24
						1.00	100.00

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro Geomorfología							
Geomorfología	Río	V-al/P-al	T-al	V-cd	RM-rs	Vector suma ponderada	λmax
Río (Río)	0.47	0.53	0.57	0.45	0.38	2.41	5.07
Vertiente o Piedemonte Aluvial (V-al/P-al)	0.24	0.27	0.28	0.30	0.25	1.34	5.05
Terraza Aluvial (T-al)	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.71	5.02
Vertiente o Piedemonte Coluvio-Deluvial (V-cd)	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.38	5.01
Montaña en Roca Sedimentaria (RM-rs)	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.21	5.01
						Suma	25.17
						Promedio	5.03

INDICE DE CONSISTENCIA (IC)

$$IC = \frac{0.03}{4.00} \quad IC = 0.008$$

INDICE ALEATORIO

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

RELACION DE CONSISTENCIA

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad RC = 0.007 < 0.1 \quad OK$$

IC	0.008
RC	0.007

Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro Geomorfología

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 59

Desarrollo del parámetro Geológico

FACTOR CONDICIONANTE - GEOLOGÍA														
Matriz de Comparación de pares del parámetro Geología														
Geología	Qh-fl	Qh-al	Qh-el	SD-c	NQ-lm									
Depósitos Fluvial (Qh-fl)	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00									
Depósitos Aluviales (Qh-al)	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00									
Depositos Eluviales (Qh-el)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00									
Grupo Cabanillas (SD-c)	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00									
Fm. La Merced (NQ-lm)	0.11	0.17	0.25	0.50	1.00									
SUMA	2.03	3.92	7.75	13.50	22.00									
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.05									
Matriz de Normalización de pares del parámetro Geología														
Geología	Qh-fl	Qh-al	Qh-el	SD-c	NQ-lm	Vector priorización	%							
Depósitos Fluvial (Qh-fl)	0.49	0.51	0.52	0.44	0.41	0.475	47.47							
Depósitos Aluviales (Qh-al)	0.25	0.26	0.26	0.30	0.27	0.266	26.58							
Depositos Eluviales (Qh-el)	0.12	0.13	0.13	0.15	0.18	0.142	14.20							
Grupo Cabanillas (SD-c)	0.08	0.06	0.06	0.07	0.09	0.075	7.51							
Fm. La Merced (NQ-lm)	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.042	4.24							
						1.00	100.00							
Matriz de Relación de Consistencia de Geología														
Geología	Qh-fl	Qh-al	Qh-el	SD-c	NQ-lm	Vector suma ponderada	λmax							
Depósitos Fluvial (Qh-fl)	0.47	0.53	0.57	0.45	0.38	2.41	5.07							
Depósitos Aluviales (Qh-al)	0.24	0.27	0.28	0.30	0.25	1.34	5.05							
Depositos Eluviales (Qh-el)	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.71	5.02							
Grupo Cabanillas (SD-c)	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.38	5.01							
Fm. La Merced (NQ-lm)	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.21	5.01							
						Suma	25.17							
						Promedio	5.03							
INDICE DE CONSISTENCIA (IC)														
	$IC = \frac{0.03}{4.00}$		IC = 0.008											
INDICE ALEATORIO														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
RELACION DE CONSISTENCIA														
	$RC = \frac{IC}{IA}$		RC = 0.007 < 0.10 OK											
IC	0.008													
RC	0.007													
Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerarquico para el parametro Geología														

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 60

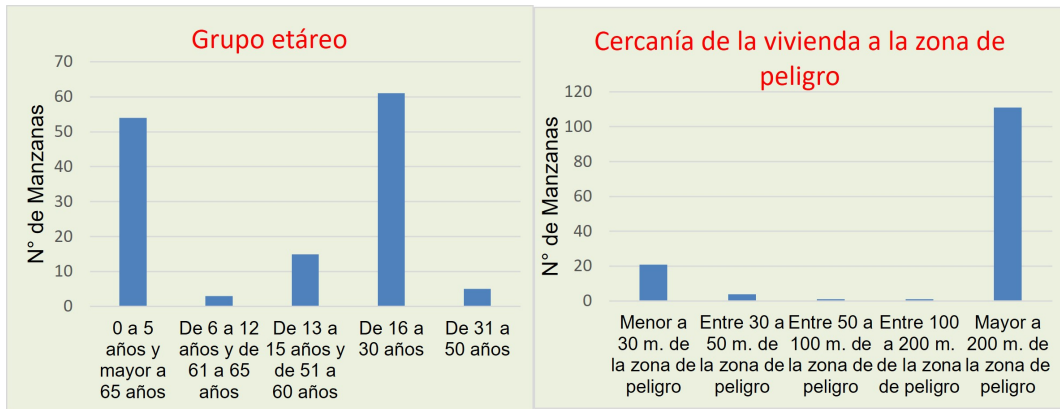
Desarrollo del parámetro Pendiente

FACTOR CONDICIONANTE - PENDIENTE														
Matriz de Comparación de pares del parámetro Pendiente														
Pendiente	0° - 3°	3° - 6°	6° - 9°	9° - 15°	15° - a más									
0° - 3°	1.00	3.00	5.00	6.00	9.00									
3° - 6°	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00									
6° - 9°	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00									
9° - 15°	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00									
15° - a más	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00									
SUMA	1.81	4.70	9.53	15.33	24.00									
1/SUMA	0.55	0.21	0.10	0.07	0.04									
Matriz de Normalización de pares del parámetro Pendiente														
Pendiente	0° - 3°	3° - 6°	6° - 9°	9° - 15°	15° - a más	Vector priorización	%							
0° - 3°	0.55	0.64	0.52	0.39	0.38	0.496	49.62							
3° - 6°	0.18	0.21	0.31	0.33	0.25	0.258	25.75							
6° - 9°	0.11	0.07	0.10	0.20	0.21	0.138	13.80							
9° - 15°	0.09	0.04	0.03	0.07	0.13	0.072	7.20							
15° - a más	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.036	3.62							
						1.00	100.00							
Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro Pendiente														
Pendiente	0° - 3°	3° - 6°	6° - 9°	9° - 15°	15° - a más	Vector suma ponderada	λmax							
0° - 3°	0.50	0.77	0.69	0.43	0.33	2.72	5.47							
3° - 6°	0.17	0.26	0.41	0.36	0.22	1.41	5.49							
6° - 9°	0.10	0.09	0.14	0.22	0.18	0.72	5.22							
9° - 15°	0.08	0.05	0.05	0.07	0.11	0.36	5.02							
15° - a más	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04	0.19	5.13							
						Suma	26.33							
						Promedio	5.27							
INDICE DE CONSISTENCIA (IC)														
$IC = \frac{0.27}{4.00}$				IC = 0.066										
INDICE ALEATORIO														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
RELACION DE CONSISTENCIA														
$RC = \frac{IC}{IA}$				RC = 0.060 < 0.10 OK										
IC	0.066													
RC	0.060													
Relación de consistencia RC obtenido del proceso de análisis jerarquico para el parametro Pendiente														

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 96

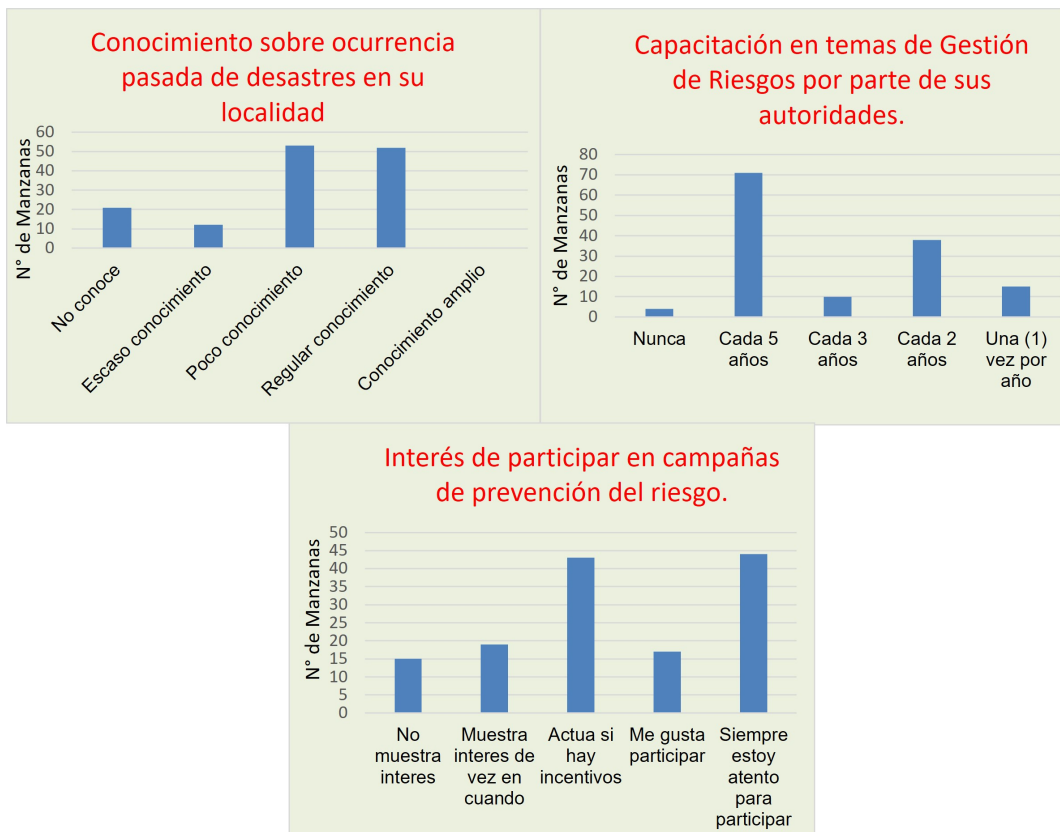
Descriptorios versus Número manzanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 97

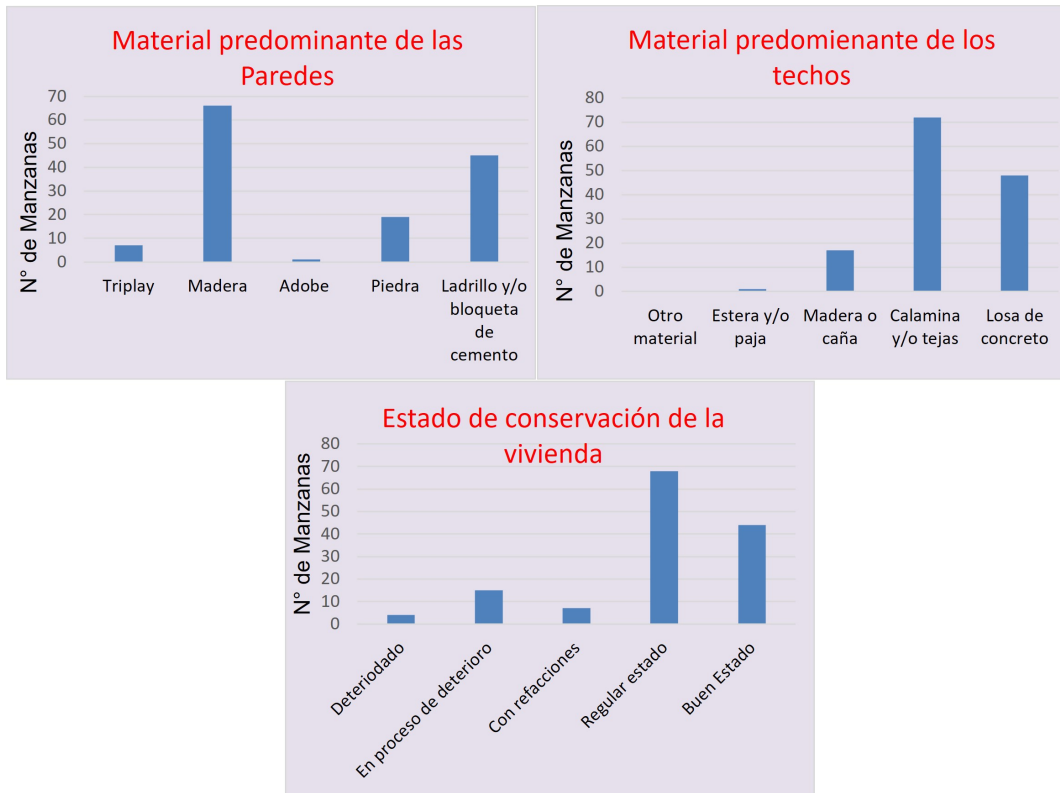
Descriptorios versus Número de manzanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 98

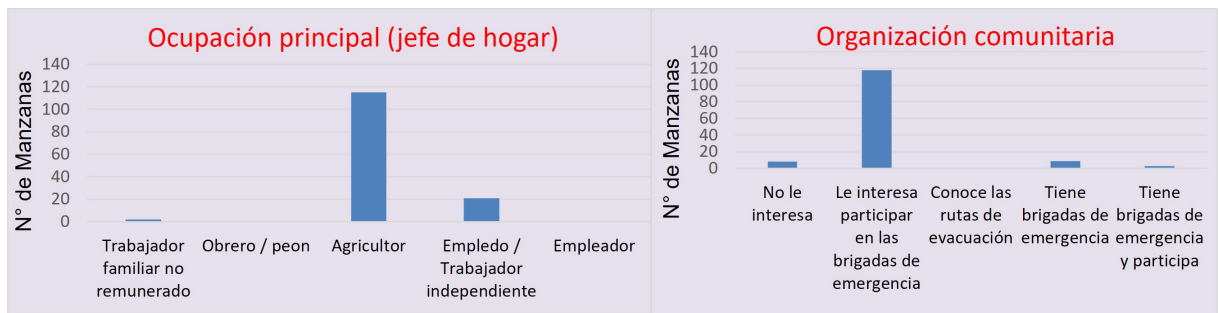
Descriptorios versus Número de manzanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 99

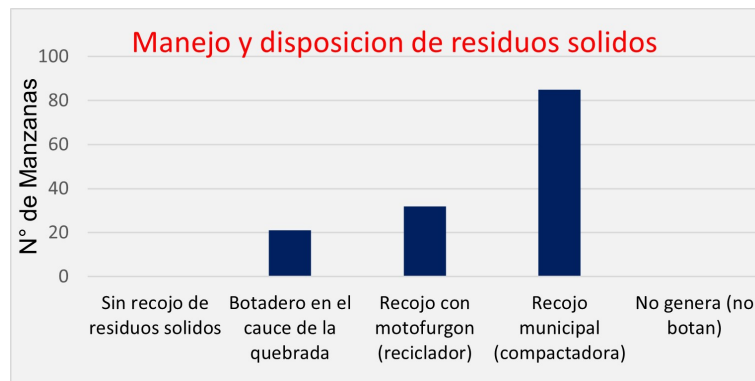
Descriptorios versus Número de manzanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 100

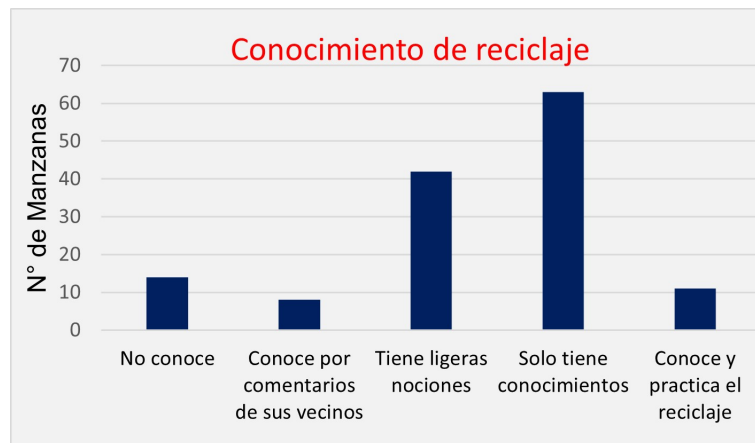
Descriptorios versus Número de manzanas



Fuente: Elaboración propia

Figura 101

Descriptorios versus Número de manzanas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 61

Matriz de normalización de las dimensiones social, económica y ambiental

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN VULNERABILIDAD						
MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES						
SOCIAL	Social	Económico	Ambiental			
Social	1.00	2.00	5.00			
Económico	0.50	1.00	2.00			
Ambiental	0.20	0.50	1.00			
SUMA	1.70	3.50	8.00			
1/SUMA	0.59	0.29	0.13			
MATRIZ DE NORMALIZACIÓN						
SOCIAL	Social	Económico	Ambiental	Vector Priorización		
Social	0.588	0.571	0.625	0.595		
Económico	0.294	0.286	0.250	0.277		
Ambiental	0.118	0.143	0.125	0.129		
				Porcentaje (%)		
				59.489		
				27.661		
				12.850		
				PESO PONDERADO DE LAS DIMENSIONES		
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices				Vector Suma Ponderada		
0.595	0.553	0.643		1.791		
0.297	0.277	0.257		0.831		
0.119	0.138	0.129		0.386		
				$\lambda_{\text{máx}}$		
				Vector Suma Ponderado / Vector		
				3.010		
				3.004		
				3.002		
				SUMA		
				9.017		
				PROMEDIO		
				3.006		
				IC		
				0.003		
				RC		
				0.005		
				ÍNDICE DE CONSISTENCIA		
				RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.1		
n	3	4	5	6	7	8
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 62

Vector de priorización de los factores de la dimensión social, económica y ambiental.

SOCIAL		ECONÓMICO		AMBIENTAL	
Factores utilizados en la Dimensión Social		Factores utilizados en la Dimensión Económica		Factores utilizados en la Dimensión Ambiental	
Dimensión Social	Vector Priorización	Dimensión Económica	Vector Priorización	Dimensión Ambiental	Vector Priorización
Fragilidad	0.50	Fragilidad	0.60	Fragilidad	0.50
Resiliencia	0.50	Resiliencia	0.40	Resiliencia	0.50
SUMA	1.00	SUMA	1.00	SUMA	1.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 63

Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión social

FRAGILIDAD	
Fragilidad Social	Vector Priorizacion
Grupo etéreo	0.40
Cercanía de la vivienda a la zona de peligro	0.60
SUMA	1.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 64

Matriz de normalización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión Social

RESILIENCIA			
Resiliencia Social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	1.00	2.00	3.00
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	0.50	1.00	2.00
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.83	3.50	6.00
1/SUMA	0.55	0.29	0.17

Matriz de normalización de pares del factor Resiliencia Social				
Resiliencia Social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	Vector Priorización
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad.	0.545	0.571	0.500	0.539
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	0.273	0.286	0.333	0.297
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	0.182	0.143	0.167	0.164

PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS		Porcentaje (%)
		1.000
		53.90
		29.73
		16.38

VECTOR SUMA PONDERADO			
Resultados de la operación de matrices			Vector Suma Ponderada
0.539	0.595	0.491	1.625
0.269	0.297	0.328	0.894
0.180	0.149	0.164	0.492

$\lambda_{m\acute{a}x}$	
Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	
	3.015
	3.008
	3.004
SUMA	9.028
PROMEDIO	3.009

n	3	4	5	6	7	8
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404

ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
IC	0.005
RC	0.009

RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.04 (*)

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 65

Matriz de normalización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión Económico

FRAGILIDAD																		
Matriz de comparación de pares del factor Fragilidad de la Dimensión Económica																		
Fragilidad Económica	Material predominante - pared	Material predominante - techo	Estado de conservación de la vivienda															
Material predominante - pared	1.00	2.00	3.00															
Material predominante - techo	0.50	1.00	2.00															
Estado de conservación de la vivienda	0.33	0.50	1.00															
SUMA	1.83	3.50	6.00															
1 / SUMA	0.55	0.29	0.17															
Matriz de Normalización de pares del factor Fragilidad de la Dimensión Económica																		
Fragilidad Económica	Material predominante - pared	Material predominante - techo	Estado de conservación de la vivienda	Vector Priorización														
Material predominante - pared	0.545	0.571	0.500	0.539														
Material predominante - techo	0.273	0.286	0.333	0.297														
Estado de conservación de la vivienda	0.182	0.143	0.167	0.164														
<div style="border: 1px solid red; display: inline-block; padding: 5px; color: red; font-weight: bold;">PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS</div> ↓				<div style="border: 1px solid green; border-radius: 50%; padding: 5px; background-color: #d9ead3; display: inline-block;"> 53.90 29.73 16.38 </div>														
VECTOR SUMA PONDERADO																		
Resultados de la operación de matrices				Vector Suma Ponderada														
0.539	0.595	0.491	1.625															
0.269	0.297	0.328	0.894															
0.180	0.149	0.164	0.492															
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">n</th> <td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td> </tr> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">IA</th> <td>0.525</td><td>0.882</td><td>1.115</td><td>1.252</td><td>1.341</td><td>1.404</td> </tr> </table>				n	3	4	5	6	7	8	IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	$\lambda_{\text{máx}}$
n	3	4	5	6	7	8												
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404												
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">Vector Suma Ponderado / Vector Priorización</th> <td>3.015</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3.008</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3.004</td> </tr> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">SUMA</th> <td>9.028</td> </tr> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">PROMEDIO</th> <td>3.009</td> </tr> </table>				Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	3.015		3.008		3.004	SUMA	9.028	PROMEDIO	3.009					
Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	3.015																	
	3.008																	
	3.004																	
SUMA	9.028																	
PROMEDIO	3.009																	
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">IC</th> <td>0.005</td> </tr> <tr> <th style="background-color: #1a3d4d; color: white;">RC</th> <td>0.009</td> </tr> </table>				IC	0.005	RC	0.009											
IC	0.005																	
RC	0.009																	
<p>INDICE DE CONSISTENCIA RELACION DE CONSISTENCIA < 0.04</p>																		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 66

Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión económico

RESILIENCIA	
Resiliencia Económica	Vector Priorizacion
Ocupación principal (jefe de hogar)	0.50
Organización comunitaria	0.50
SUMA	1.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 67

Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión ambiental

FRAGILIDAD	
Fragilidad Ambiental	Vector Priorizacion
Manejo y disposición de residuos sólidos	1.00
SUMA	1.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 68

Vector de priorización de los parámetros utilizados en el factor resiliencia de la dimensión Ambiental

RESILIENCIA	
Resiliencia Ambiental	Vector Priorizacion
Conocimiento de reciclaje	1.00
SUMA	1.00

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 69

Matriz de normalización del descriptor grupo etáreo, del factor fragilidad de la dimensión social

FRAGILIDAD						
Matriz de Comparación de pares del parámetro Grupo Etáreo						
Grupo etáreo	0 a 5 años y mayor a 65 años	De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	De 16 a 30 años	De 31 a 50 años	
0 a 5 años y mayor a 65 años	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00	
De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00	
De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	0.20	0.33	1.00	2.00	5.00	
De 16 a 30 años	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00	
De 31 a 50 años	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00	
SUMA	1.95	3.68	9.70	15.50	24.00	
1/SUMA	0.51	0.27	0.10	0.06	0.04	
Matriz de Normalización de pares del parámetro Tipo de Discapacidad						
Grupo etáreo	0 a 5 años y mayor a 65 años	De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	De 16 a 30 años	De 31 a 50 años	Vector Priorización
0 a 5 años y mayor a 65 años	0.512	0.544	0.515	0.452	0.375	0.480
De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	0.256	0.272	0.309	0.323	0.292	0.290
De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	0.102	0.091	0.103	0.129	0.208	0.127
De 16 a 30 años	0.073	0.054	0.052	0.065	0.083	0.065
De 31 a 50 años	0.057	0.039	0.021	0.032	0.042	0.038
					SUMA	1.000
						Porcentaje (%)
						47.958
						29.029
						12.670
						6.538
						3.805
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada
0.480	0.581	0.633	0.458	0.342		2.494
0.240	0.290	0.380	0.327	0.266		1.503
0.096	0.097	0.127	0.131	0.190		0.640
0.069	0.058	0.063	0.065	0.076		0.331
0.053	0.041	0.025	0.033	0.038		0.191
						λ_{\max}
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorización
						5.200
						5.179
						5.055
						5.069
						5.015
SUMA						25.518
PROMEDIO						5.104
IC						0.026
RC						0.02
<p>INDICE DE CONSISTENCIA RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1</p>						

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 70

Matriz de normalización del descriptor cercanía de la vivienda a la zona de peligro, del factor fragilidad de la dimensión social

FRAGILIDAD														
Matriz de Comparación de pares del parámetro Cercanía de la vivienda a la zona de peligro														
Cercanía de la vivienda a la zona de peligro	Menor a 30 m. de la zona de peligro	Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	Mayor a 200 m. de la zona de peligro									
Menor a 30 m. de la zona de peligro	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00									
Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00									
Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	0.20	0.33	1.00	2.00	5.00									
Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00									
Mayor a 200 m. de la zona de peligro	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00									
SUMA	1.95	3.68	9.70	15.50	24.00									
1/SUMA	0.51	0.27	0.10	0.06	0.04									
Matriz de Normalización de pares del parámetro Cercanía de la vivienda a la zona de peligro														
Cercanía de la vivienda a la zona de peligro	Menor a 30 m. de la zona de peligro	Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	Mayor a 200 m. de la zona de peligro	Vector Priorizacion								
Menor a 30 m. de la zona de peligro	0.512	0.544	0.515	0.452	0.375	0.480								
Entre 30 a 50 m. de la zona de peligro	0.256	0.272	0.309	0.323	0.292	0.290								
Entre 50 a 100 m. de la zona de peligro	0.102	0.091	0.103	0.129	0.208	0.127								
Entre 100 a 200 m. de la zona de peligro	0.073	0.054	0.052	0.065	0.083	0.065								
Mayor a 200 m. de la zona de peligro	0.057	0.039	0.021	0.032	0.042	0.038								
					SUMA	1.000								
						Porcentaje (%)								
						47.958								
						29.029								
						12.670								
						6.538								
						3.805								
PESO PONDERADO DE LOS DESCRIPTORES														
VECTOR SUMA PONDERADO														
Resultados de la operación de matrices					Vector Suma Ponderada									
0.480	0.581	0.633	0.458	0.342	2.494									
0.240	0.290	0.380	0.327	0.266	1.503									
0.096	0.097	0.127	0.131	0.190	0.640									
0.069	0.058	0.063	0.065	0.076	0.331									
0.053	0.041	0.025	0.033	0.038	0.191									
						λ_{\max}								
Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion														
						5.200								
						5.179								
						5.055								
						5.069								
						5.015								
SUMA						25.518								
PROMEDIO						5.104								
IC						0.026								
RC						0.02								
INDICE DE CONSISTENCIA														
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)														
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 72

Matriz de normalización del descriptor Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades, del factor resiliencia de la dimensión social

RESILIENCIA						
Matriz de Comparación de pares del parámetro Capacitación en temas de Gestión de riesgos por parte de sus autoridades						
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Nunca	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Una (1) vez por año	
Nunca	1.00	2.00	5.00	7.00	8.00	
Cada 5 años	0.50	1.00	2.00	5.00	7.00	
Cada 3 años	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00	
Cada 2 años	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00	
Una (1) vez por año	0.13	0.14	0.20	0.50	1.00	
SUMA	1.97	3.84	8.70	15.50	23.00	
1/SUMA	0.51	0.26	0.11	0.06	0.04	
Matriz de Normalización de pares del parámetro Capacitación en temas de Gestión de riesgos por parte de sus autoridades						
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades.	Nunca	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Una (1) vez por año	Vector Priorizacion
Nunca	0.508	0.520	0.575	0.452	0.348	0.481
Cada 5 años	0.254	0.260	0.230	0.323	0.304	0.274
Cada 3 años	0.102	0.130	0.115	0.129	0.217	0.139
Cada 2 años	0.073	0.052	0.057	0.065	0.087	0.067
Una (1) vez por año	0.064	0.037	0.023	0.032	0.043	0.040
					SUMA	1.000
						Porcentaje (%)
						48.055
						27.422
						13.862
						6.672
						3.988
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada
0.481	0.548	0.693	0.467	0.319	2.508	
0.240	0.274	0.277	0.334	0.279	1.405	
0.096	0.137	0.139	0.133	0.199	0.705	
0.069	0.055	0.069	0.067	0.080	0.339	
0.060	0.039	0.028	0.033	0.040	0.200	
					$\lambda_{\text{máx}}$	
					Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion	
					5.219	
					5.122	
					5.084	
					5.086	
					5.020	
					SUMA	25.530
					PROMEDIO	5.106
					IC	0.027
					RC	0.02
						INDICE DE CONSISTENCIA
						RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 73

Matriz de normalización del descriptor Interés de participar en campañas de prevención del riesgo, del factor resiliencia de la dimensión social

RESILIENCIA														
Matriz de Comparación de pares del parámetro Interés de participar en campañas de prevención de riesgo														
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	No muestra interes	Muestra interes de vez en cuando	Actua si hay incentivos	Me gusta participar	Siempre estoy atento para participar									
No muestra interes	1.00	3.00	4.00	7.00	9.00									
Muestra interes de vez en cuando	0.33	1.00	2.00	4.00	5.00									
Actua si hay incentivos	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00									
Me gusta participar	0.14	0.25	0.50	1.00	3.00									
Siempre estoy atento para participar	0.11	0.14	0.33	0.33	1.00									
SUMA	1.84	4.89	7.83	14.33	21.00									
1/SUMA	0.54	0.20	0.13	0.07	0.05									
Matriz de Normalización de pares del parámetro Interés de prestigiar en campañas de prevención de riesgo														
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo.	No muestra interes	Muestra interes de vez en cuando	Actua si hay incentivos	Me gusta participar	Siempre estoy atento para participar	Vector Priorizacion								
No muestra interes	0.544	0.613	0.511	0.488	0.429	0.517								
Muestra interes de vez en cuando	0.181	0.204	0.255	0.279	0.238	0.232								
Actua si hay incentivos	0.136	0.102	0.128	0.140	0.143	0.130								
Me gusta participar	0.078	0.051	0.064	0.070	0.143	0.081								
Siempre estoy atento para participar	0.060	0.029	0.043	0.023	0.048	0.041								
					SUMA	1.000								
						Porcentaje (%)								
						51.700								
						23.166								
						12.966								
						8.106								
						4.062								
						PESO PONDERADO DE LOS DESCRIPTORES								
VECTOR SUMA PONDERADO														
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada								
0.517	0.695	0.519	0.567	0.366		2.664								
0.172	0.232	0.259	0.324	0.203		1.191								
0.129	0.116	0.130	0.162	0.122		0.659								
0.074	0.058	0.065	0.081	0.122		0.400								
0.057	0.033	0.043	0.027	0.041		0.201								
						λ_{\max}								
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion								
						5.152								
						5.140								
						5.080								
						4.929								
						4.958								
						SUMA								
						25.259								
						PROMEDIO								
						5.052								
						IC								
						0.013								
						RC								
						0.01								
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
INDICE DE CONSISTENCIA														
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)														

Tabla 75

Matriz de normalización del Material predominante - techo, del factor fragilidad de la dimensión Económica

FRAGILIDAD														
Matriz de Comparación de pares del parámetro Material predominante - techo														
Material predominante - techo	Otro material	Estera y/o paja	Madera o caña	Calamina y/o tejas	Losa de concreto									
Otro material	1.00	2.00	4.00	7.00	9.00									
Estera y/o paja	0.50	1.00	2.00	4.00	7.00									
Madera o caña	0.25	0.50	1.00	3.00	5.00									
Calamina y/o tejas	0.14	0.25	0.33	1.00	4.00									
Losa de concreto	0.11	0.14	0.20	0.25	1.00									
SUMA	2.00	3.89	7.53	15.25	26.00									
1/SUMA	0.50	0.26	0.13	0.07	0.04									
Matriz de Normalización de pares del parámetro Material predominante - techo														
Material predominante - techo	Otro material	Estera y/o paja	Madera o caña	Calamina y/o tejas	Losa de concreto	Vector Priorizacion								
Otro material	0.499	0.514	0.531	0.459	0.346	0.470								
Estera y/o paja	0.250	0.257	0.265	0.262	0.269	0.261								
Madera o caña	0.125	0.128	0.133	0.197	0.192	0.155								
Calamina y/o tejas	0.071	0.064	0.044	0.066	0.154	0.080								
Losa de concreto	0.055	0.037	0.027	0.016	0.038	0.035								
					SUMA	1.000								
						Porcentaje (%)								
						46.978								
						26.068								
						15.499								
						7.984								
						3.471								
						PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS								
VECTOR SUMA PONDERADO														
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada								
0.470	0.521	0.620	0.559	0.312		2.482								
0.235	0.261	0.310	0.319	0.243		1.368								
0.117	0.130	0.155	0.240	0.174		0.816								
0.067	0.065	0.052	0.080	0.139		0.403								
0.052	0.037	0.031	0.020	0.035		0.175								
						λ_{máx}								
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion								
						5.284								
						5.247								
						5.264								
						5.043								
						5.045								
					SUMA	25.883								
					PROMEDIO	5.177								
					IC	0.044								
					RC	0.04								
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595
INDICE DE CONSISTENCIA														
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)														

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 76

Matriz de normalización del Estado de conservación de la vivienda, del factor fragilidad de la dimensión Económica

FRAGILIDAD						
Matriz de Comparación de pares del parámetro Estado de conservación de la vivienda						
Estado de conservación de la vivienda	Deteriodado	En proceso de deterioro	Con refacciones	Regular estado	Buen Estado	
Deteriodado	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00	
En proceso de deterioro	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00	
Con refacciones	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00	
Regular estado	0.17	0.25	0.33	1.00	2.00	
Buen Estado	0.13	0.17	0.20	0.50	1.00	
SUMA	2.04	3.75	8.53	15.50	23.00	
1/SUMA	0.49	0.27	0.12	0.06	0.04	
Matriz de Normalización de pares del parámetro Estado de conservación de la vivienda						
Estado de conservación de la vivienda	Deteriodado	En proceso de deterioro	Con refacciones	Regular estado	Buen Estado	Vector Priorizacion
Deteriodado	0.490	0.533	0.469	0.387	0.348	0.445
En proceso de deterioro	0.245	0.267	0.352	0.323	0.304	0.298
Con refacciones	0.122	0.089	0.117	0.194	0.217	0.148
Regular estado	0.082	0.067	0.039	0.065	0.087	0.068
Buen Estado	0.061	0.044	0.023	0.032	0.043	0.041
	SUMA					1.000
						Porcentaje (%)
						44.536
						29.801
						14.789
						6.777
						4.097
PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS						
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada
0.445	0.596	0.592	0.407	0.328		2.367
0.223	0.298	0.444	0.339	0.287		1.590
0.111	0.099	0.148	0.203	0.205		0.767
0.074	0.075	0.049	0.068	0.082		0.348
0.056	0.050	0.030	0.034	0.041		0.210
						$\lambda_{\text{máx}}$
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion
						5.315
						5.335
						5.184
						5.131
						5.120
						SUMA
						26.087
						PROMEDIO
						5.217
						IC
						0.054
						RC
						0.05
INDICE DE CONSISTENCIA						
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)						

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 78

Matriz de normalización del Organización comunitaria, del factor resiliencia de la dimensión Económica

RESILIENCIA						
Matriz de Comparación de pares del parámetro Organización comunitaria						
Organización comunitaria	No le interesa	Le interesa participar en las brigadas de emergencia	Conoce las rutas de evacuación	Tiene brigadas de emergencia	Tiene brigadas de emergencia y participa	
No le interesa	1.00	2.00	4.00	6.00	7.00	
Le interesa participar en las brigadas de emergencia	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	
Conoce las rutas de evacuación	0.25	0.50	1.00	3.00	5.00	
Tiene brigadas de emergencia	0.17	0.25	0.33	1.00	3.00	
Tiene brigadas de emergencia y participa	0.14	0.17	0.20	0.33	1.00	
SUMA	2.06	3.92	7.53	13.33	20.00	
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.08	0.05	
Matriz de Normalización de pares del parámetro Organización comunitaria						
Organización comunitaria	No le interesa	Le interesa participar en las brigadas de emergencia	Conoce las rutas de evacuación	Tiene brigadas de emergencia	Tiene brigadas de emergencia y participa	Vector Priorizacion
No le interesa	0.486	0.511	0.531	0.450	0.350	0.465
Le interesa participar en las brigadas de emergencia	0.243	0.255	0.265	0.225	0.200	0.238
Conoce las rutas de evacuación	0.121	0.128	0.133	0.225	0.250	0.171
Tiene brigadas de emergencia	0.081	0.064	0.044	0.075	0.150	0.083
Tiene brigadas de emergencia y participa	0.069	0.043	0.027	0.025	0.050	0.043
					SUMA	1.000
						Porcentaje (%)
						46.543
						23.772
						17.136
						8.280
						4.269
PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS						
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices						Vector Suma Ponderada
0.465	0.475	0.685	0.497	0.299		2.422
0.233	0.238	0.343	0.248	0.171		1.232
0.116	0.119	0.171	0.248	0.213		0.868
0.078	0.059	0.057	0.083	0.128		0.405
0.066	0.040	0.034	0.028	0.043		0.211
						$\lambda_{\text{máx}}$
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion
						5.204
						5.184
						5.068
						4.891
						4.935
						SUMA 25.282
						PROMEDIO 5.056
						IC 0.014
						RC 0.01
INDICE DE CONSISTENCIA						
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)						

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 79

Matriz de normalización del Manejo y disposición de residuos sólidos, del factor fragilidad de la dimensión Ambiental

FRAGILIDAD						
Matriz de Comparación de pares del parámetro Manejo y disposición de residuos sólidos						
Manejo y disposición de residuos sólidos	Sin recojo de residuos sólidos	Botadero en el cauce de la quebrada	Recojo con motofurgon (reciclador)	Recojo municipal (compactadora)	No genera (no botan)	
Sin recojo de residuos sólidos	1.00	2.00	3.00	5.00	8.00	
Botadero en el cauce de la quebrada	0.50	1.00	2.00	5.00	7.00	
Recojo con motofurgon (reciclador)	0.33	0.50	1.00	3.00	5.00	
Recojo municipal (compactadora)	0.20	0.33	0.33	1.00	2.00	
No genera (no botan)	0.13	0.20	0.20	0.50	1.00	
SUMA	2.16	4.03	6.53	14.50	23.00	
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.07	0.04	
Matriz de Normalización de pares del parámetro Manejo y disposición de residuos sólidos						
Manejo y disposición de residuos sólidos	Sin recojo de residuos sólidos	Botadero en el cauce de la quebrada	Recojo con motofurgon (reciclador)	Recojo municipal (compactadora)	No genera (no botan)	Vector Priorizacion
Sin recojo de residuos sólidos	0.463	0.496	0.459	0.345	0.348	0.422
Botadero en el cauce de la quebrada	0.232	0.248	0.306	0.345	0.304	0.287
Recojo con motofurgon (reciclador)	0.154	0.124	0.153	0.207	0.217	0.171
Recojo municipal (compactadora)	0.093	0.083	0.051	0.069	0.087	0.076
No genera (no botan)	0.058	0.050	0.031	0.034	0.043	0.043
					SUMA	1.000
						Porcentaje (%)
						42.221
						28.698
						17.115
						7.645
						4.322
PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS						
VECTOR SUMA PONDERADO						
Resultados de la operación de matrices					Vector Suma Ponderada	
0.422	0.574	0.513	0.382	0.346	2.238	
0.211	0.287	0.342	0.382	0.303	1.525	
0.141	0.143	0.171	0.229	0.216	0.901	
0.084	0.096	0.057	0.076	0.086	0.400	
0.053	0.057	0.034	0.038	0.043	0.226	
						λ_{\max}
						Vector Suma Ponderado / Vector Priorizacion
						5.300
						5.314
						5.263
						5.233
						5.226
						SUMA
						26.336
						PROMEDIO
						5.267
						IC
						0.067
						RC
						0.06
INDICE DE CONSISTENCIA						
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (*)						

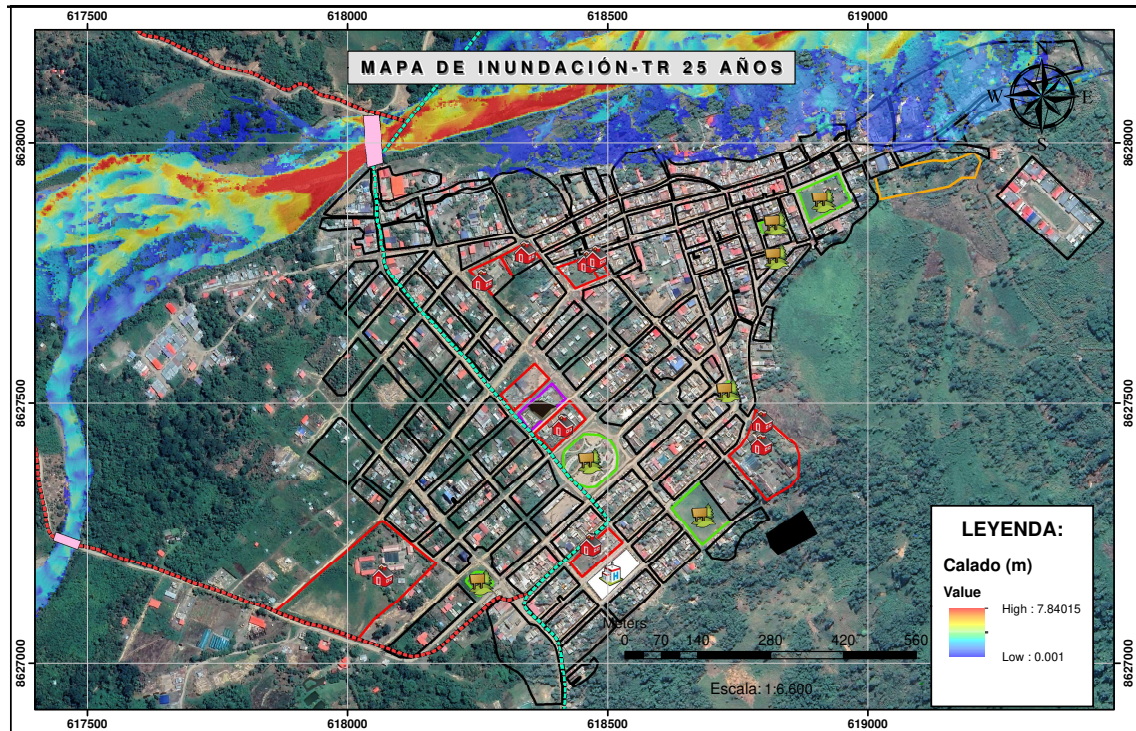
Nota. Fuente: Elaboración propia

Parte III

Mapas de inundación

Figura 102

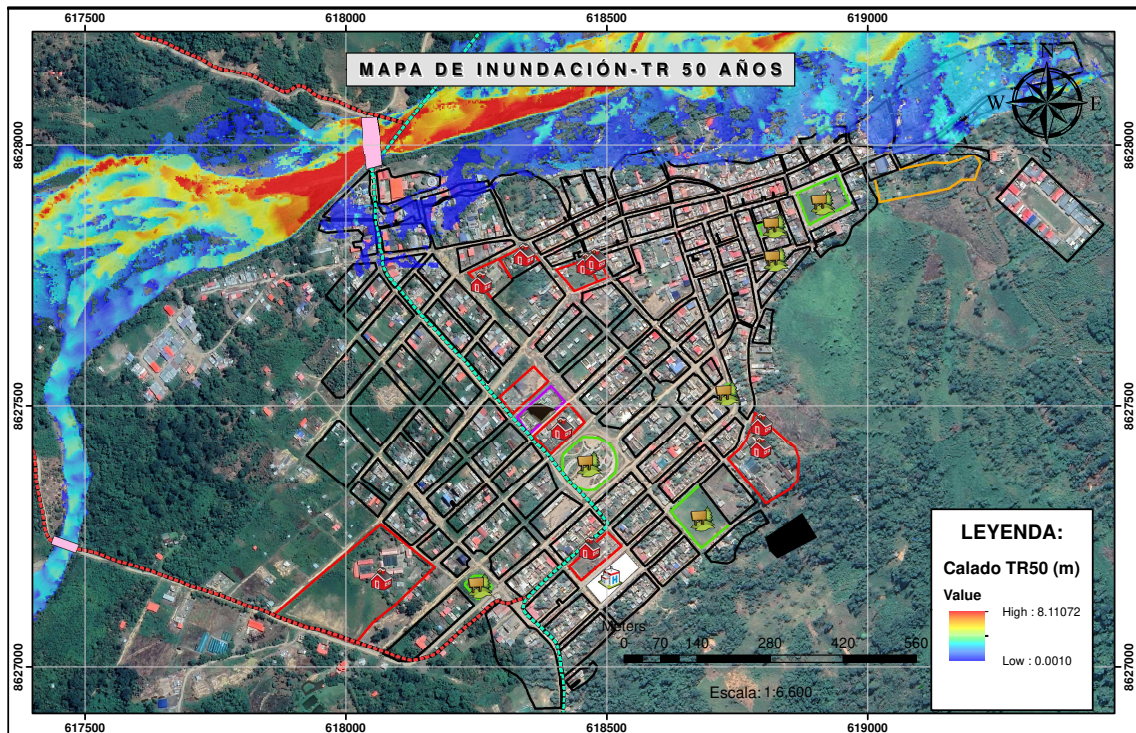
Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 25 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 103

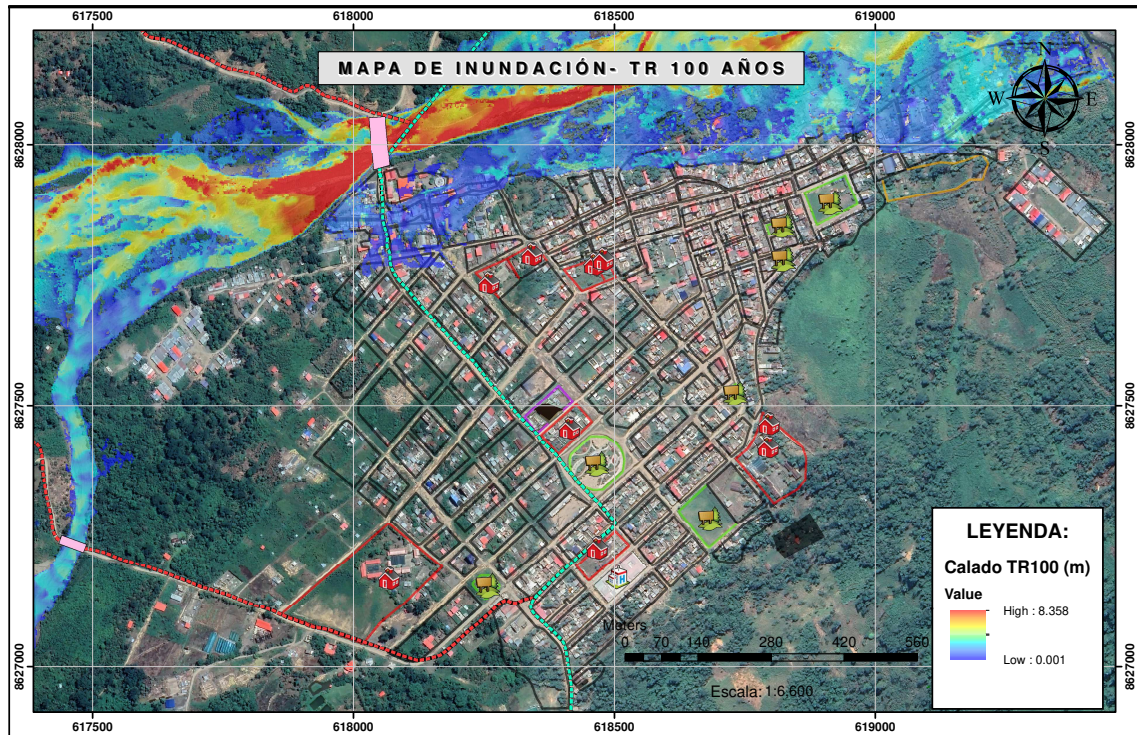
Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 50 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 104

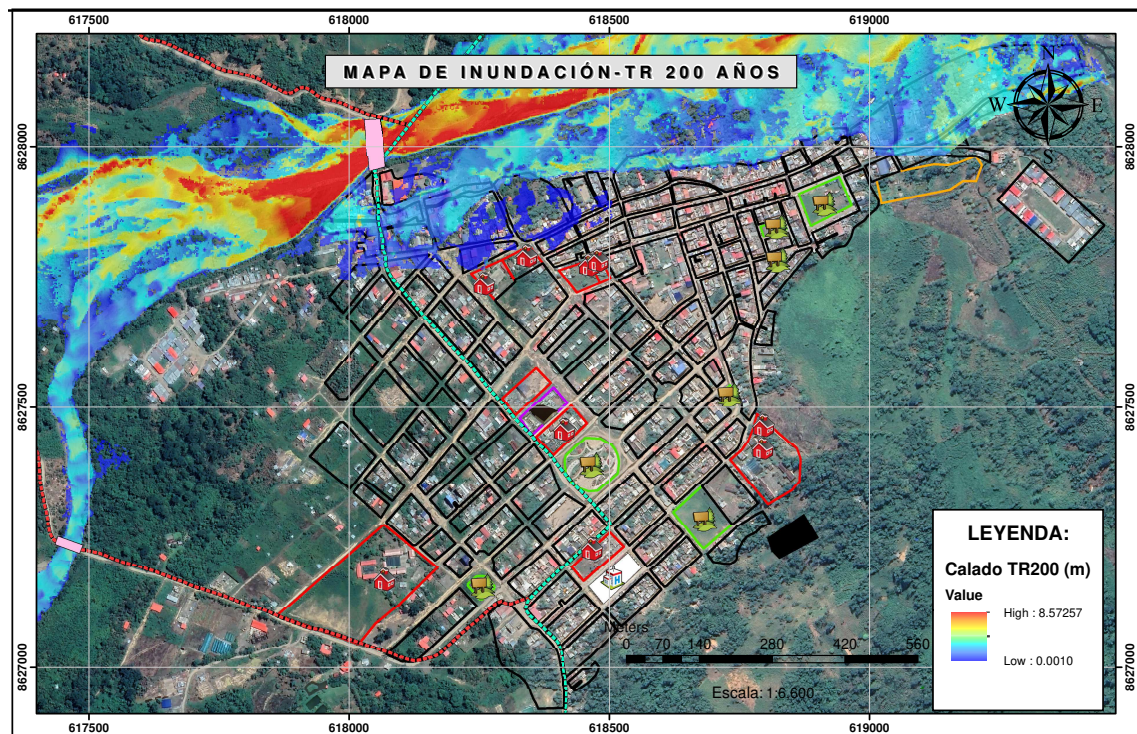
Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 105

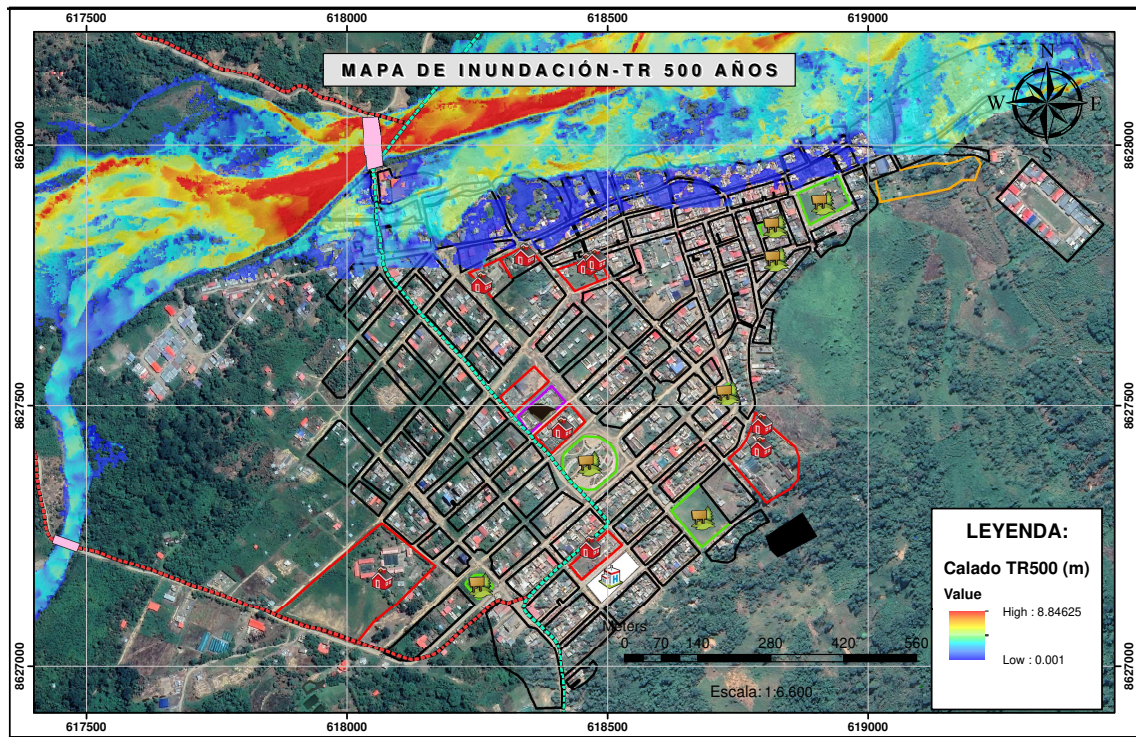
Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 200 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 106

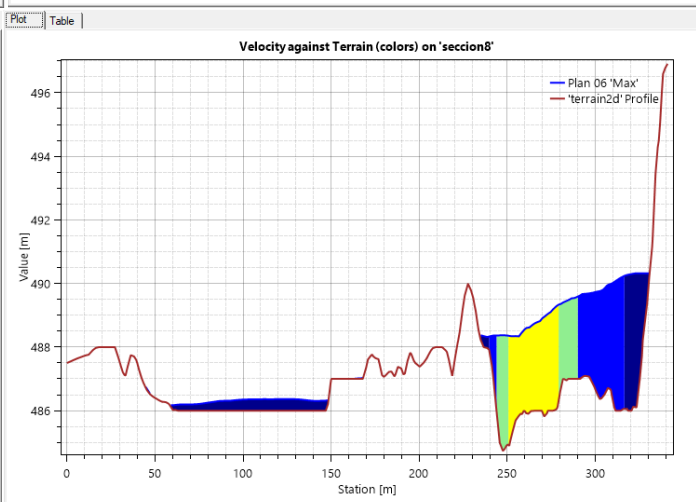
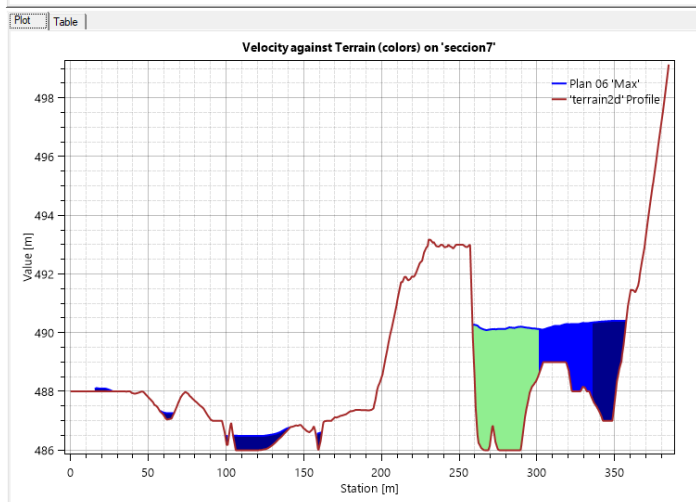
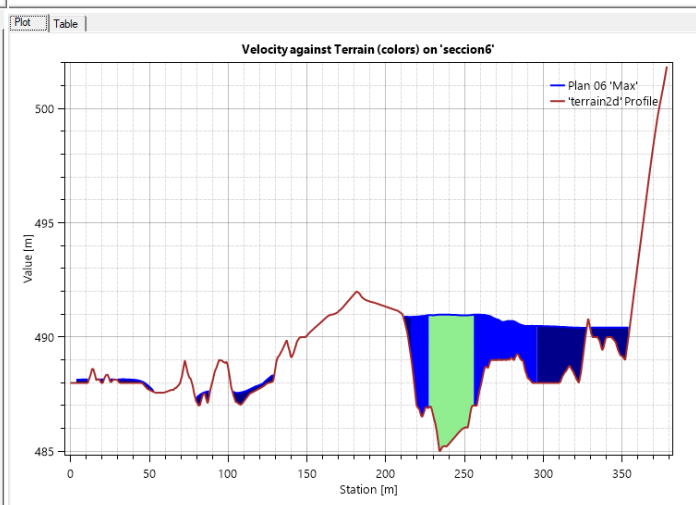
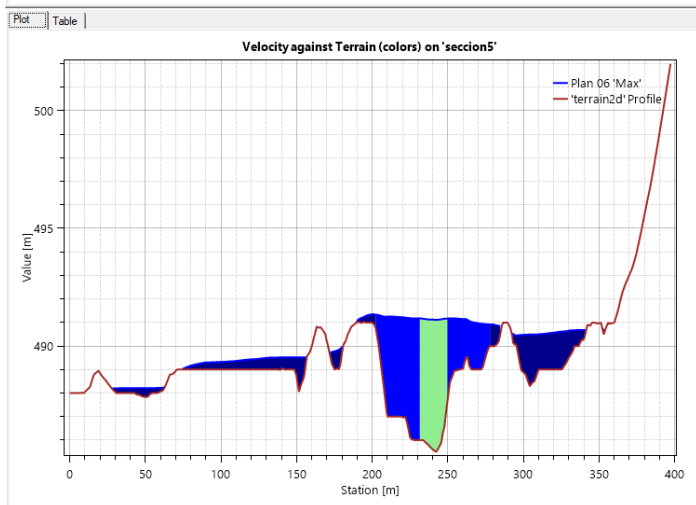
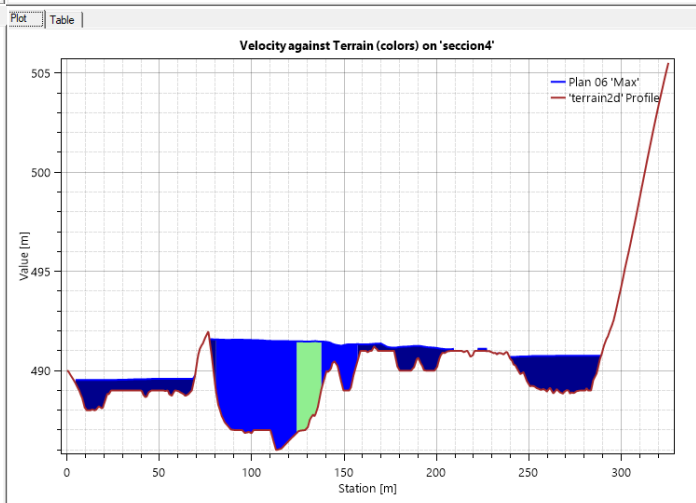
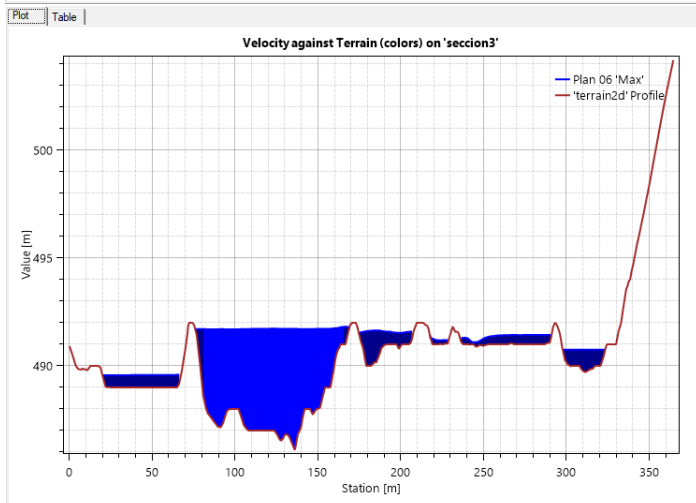
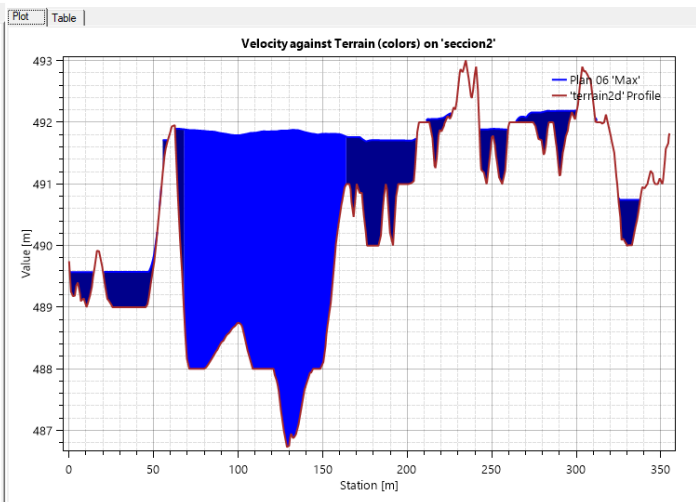
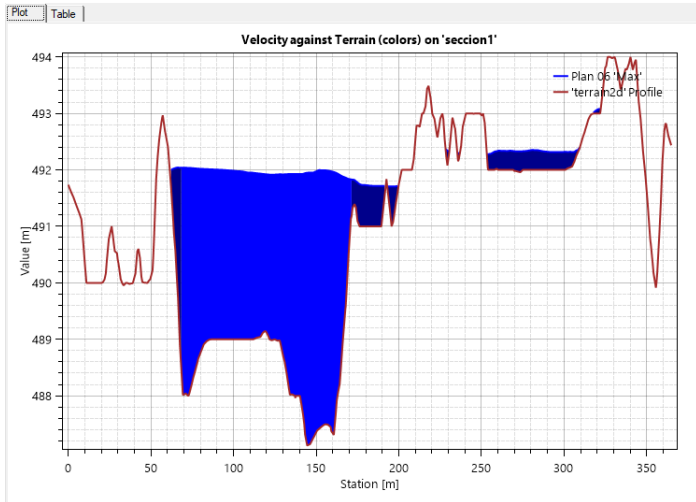
Mapa de inundación para un tiempo de retorno de 500 años.

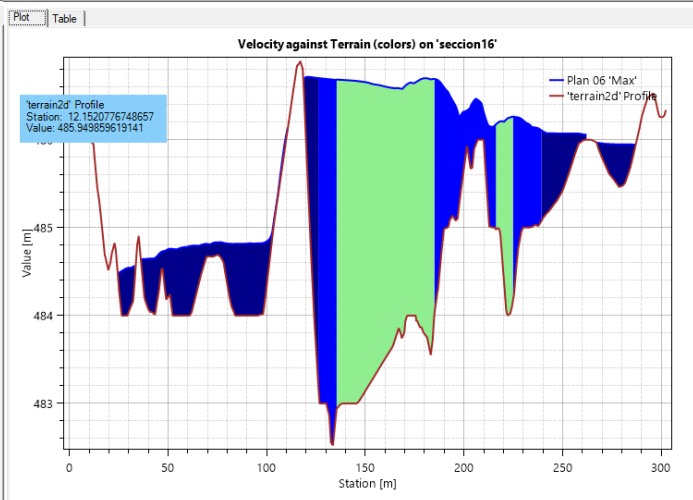
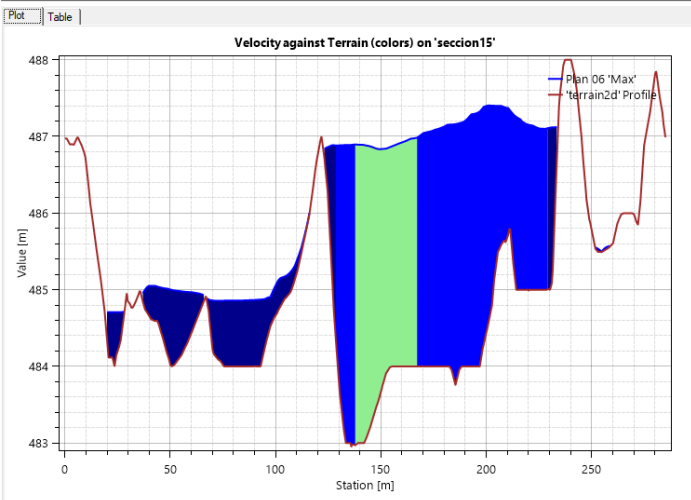
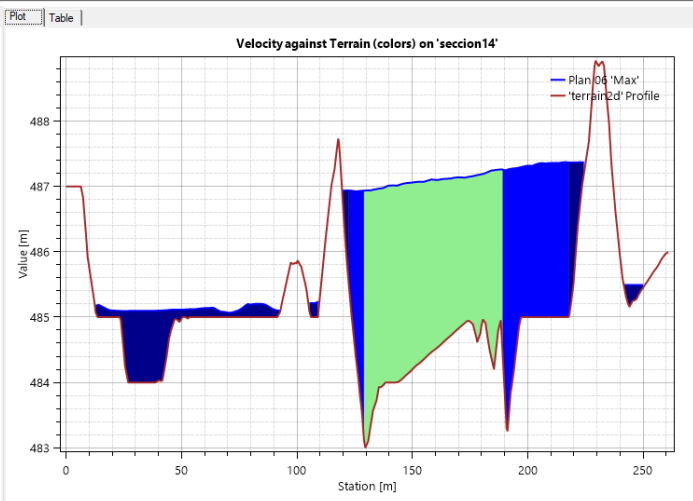
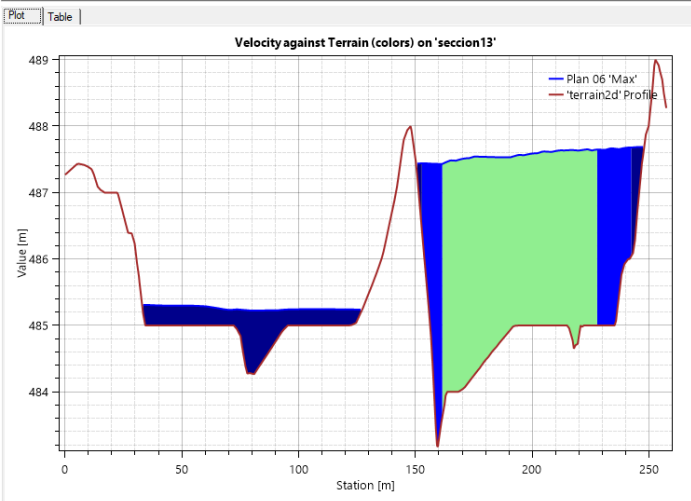
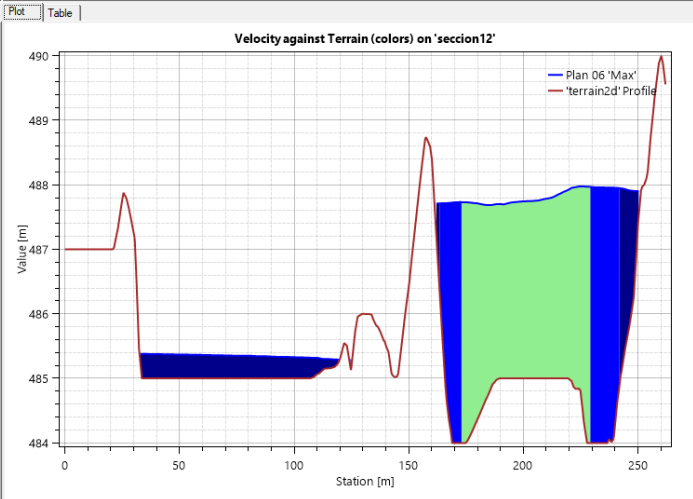
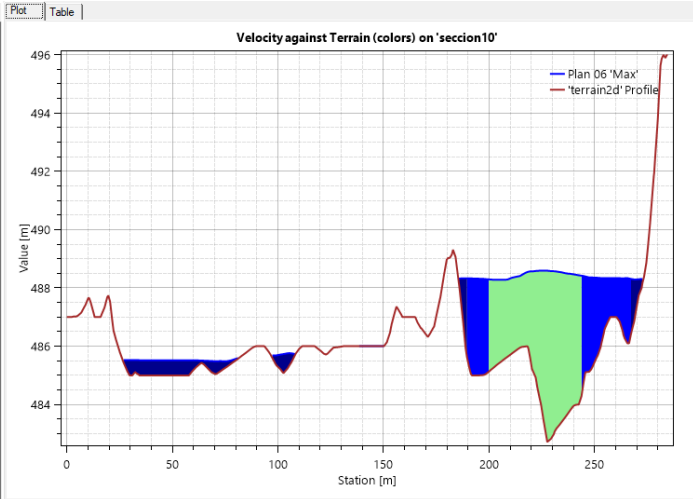
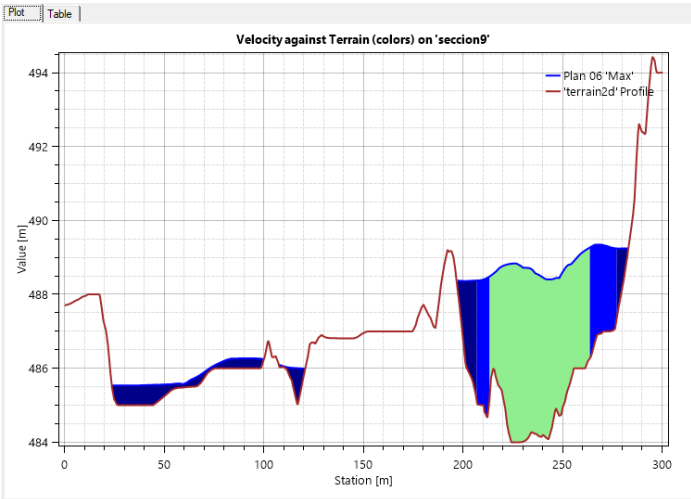


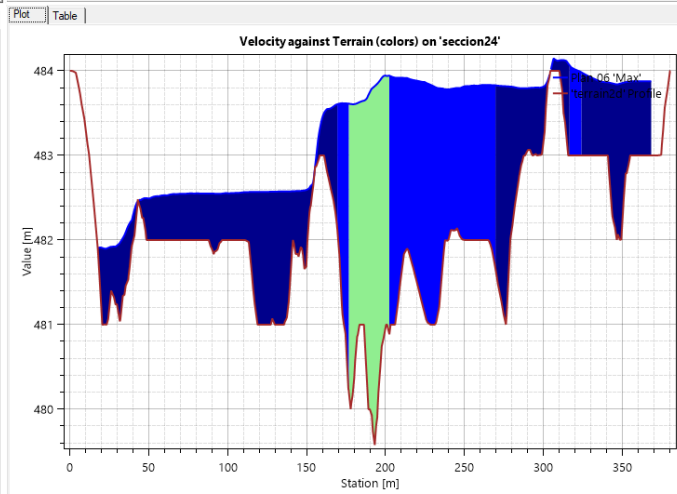
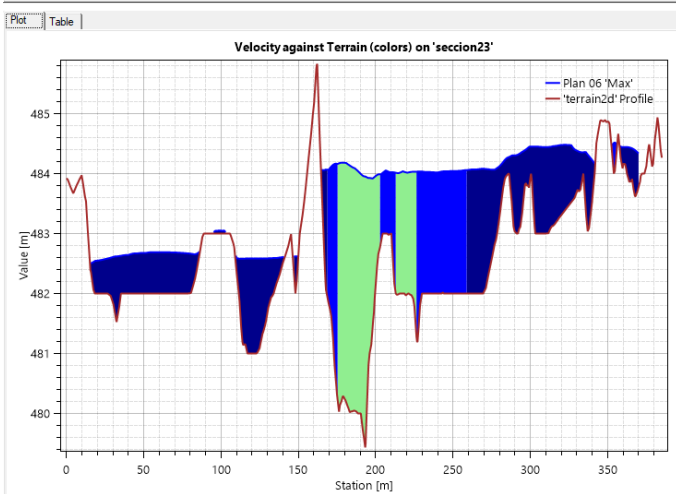
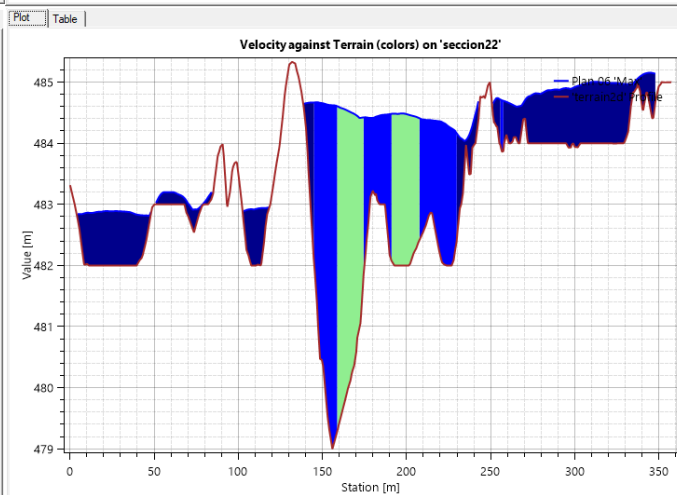
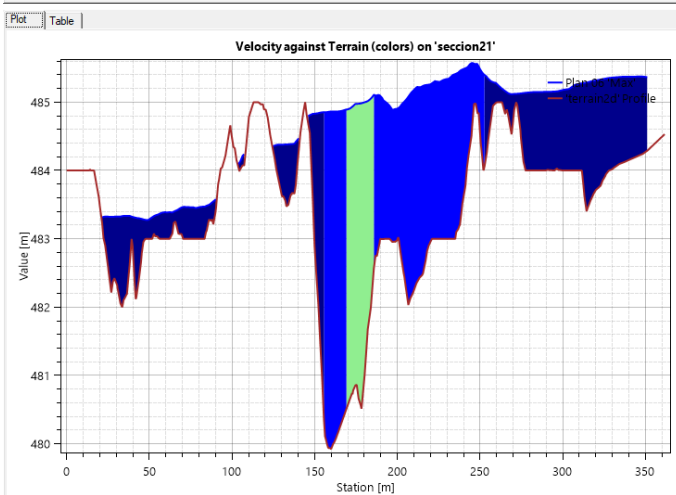
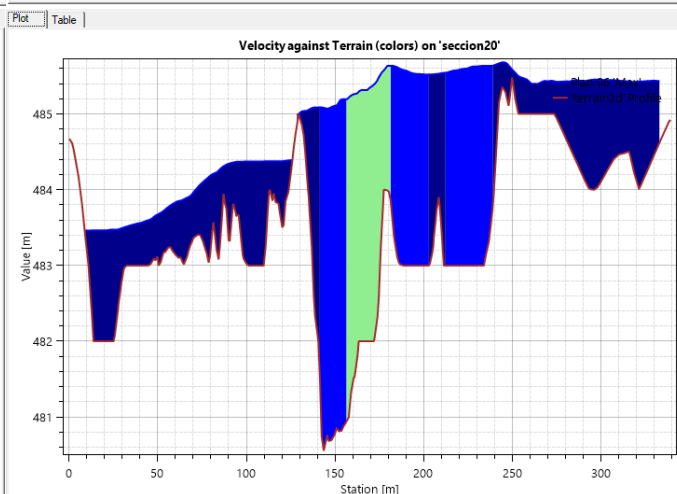
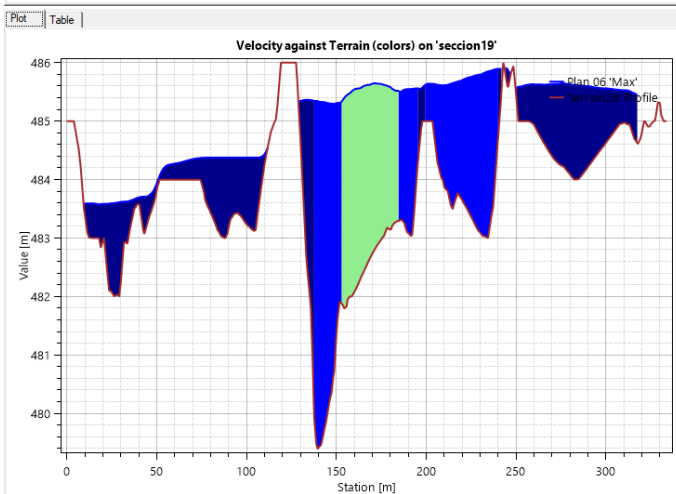
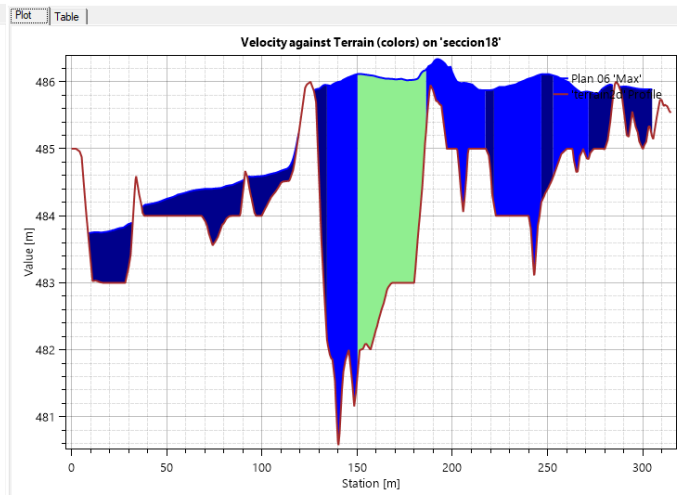
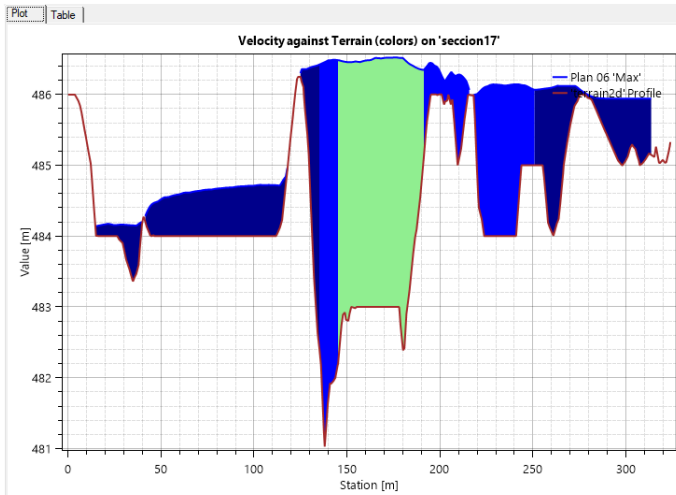
Fuente: Elaboración propia

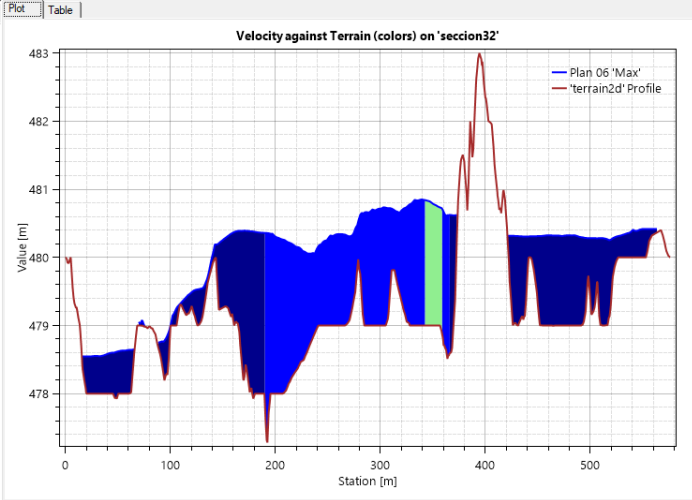
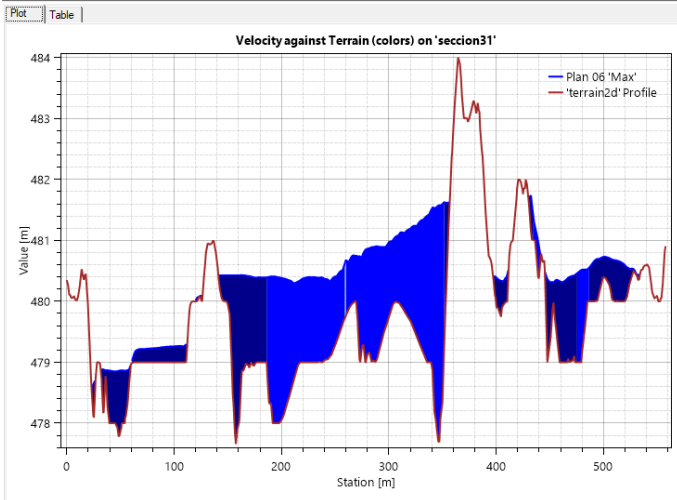
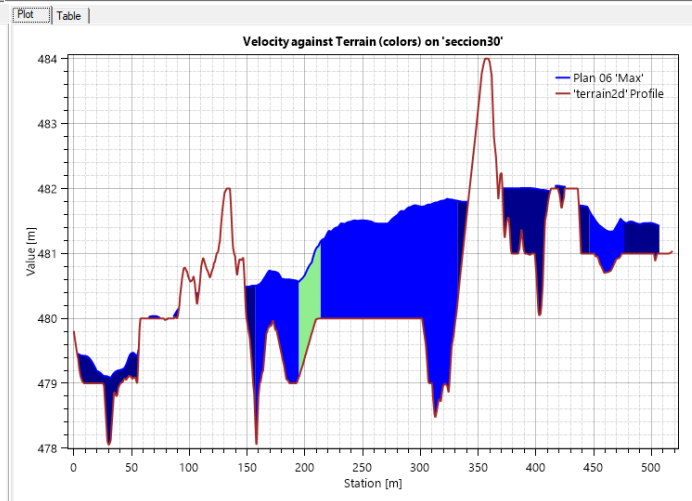
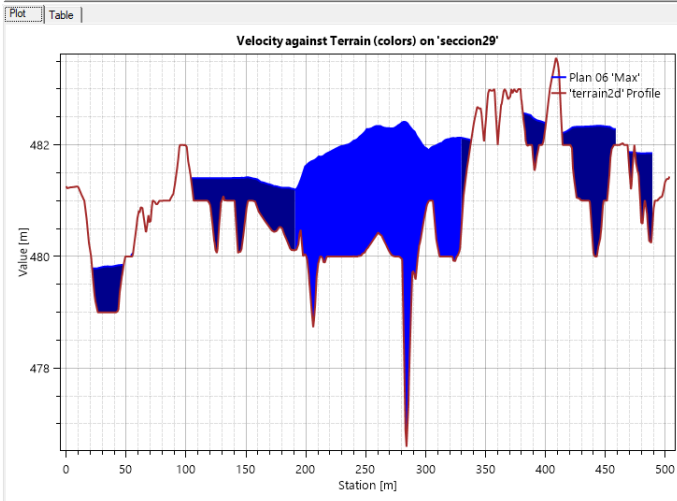
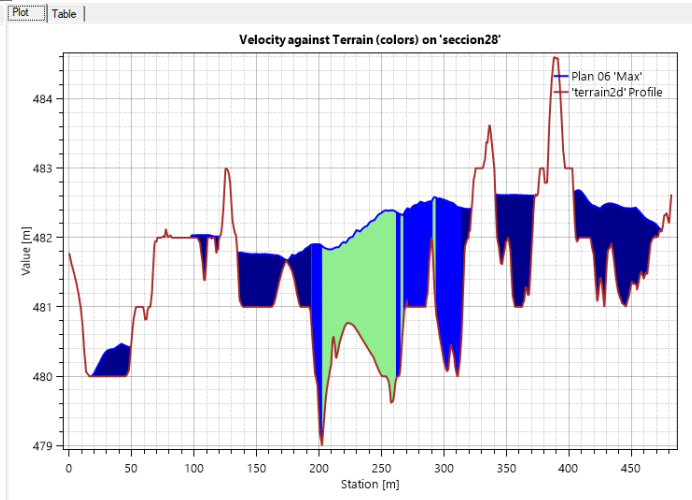
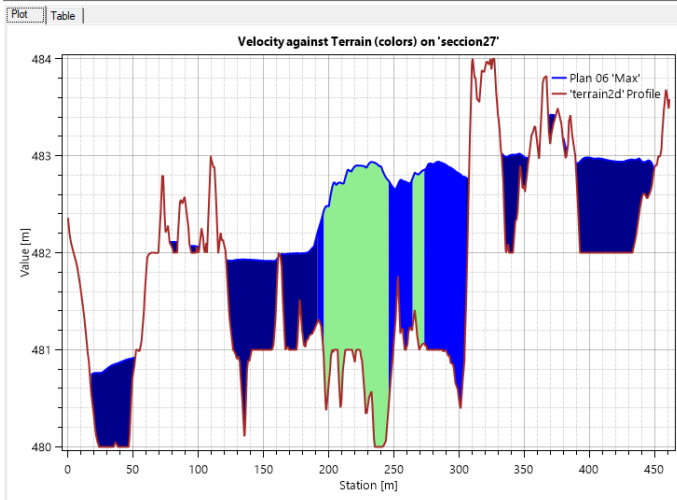
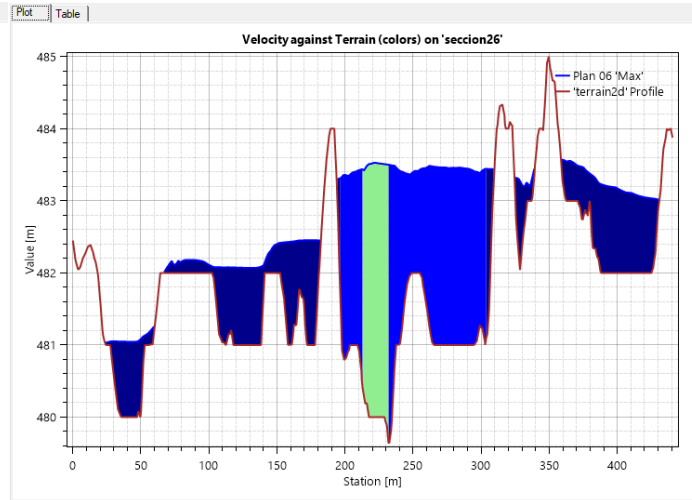
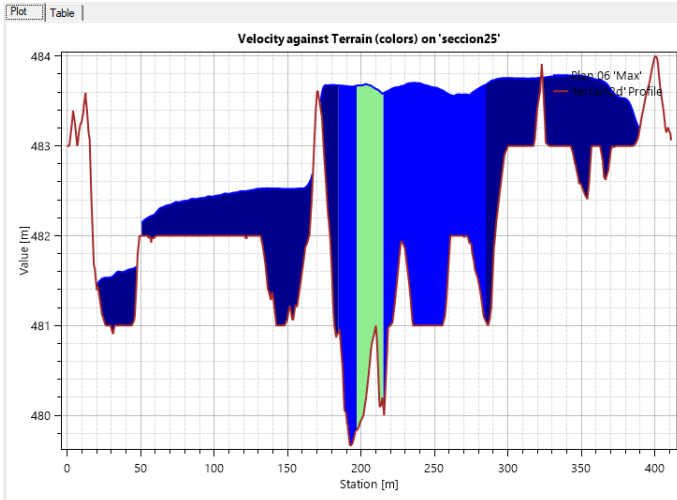
Parte IV

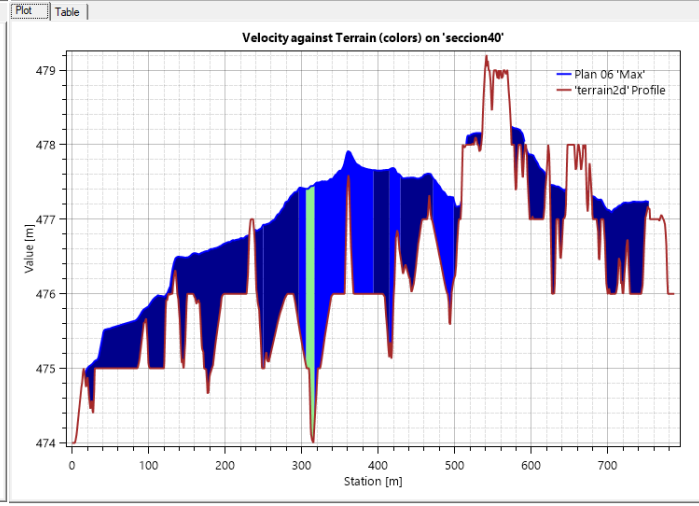
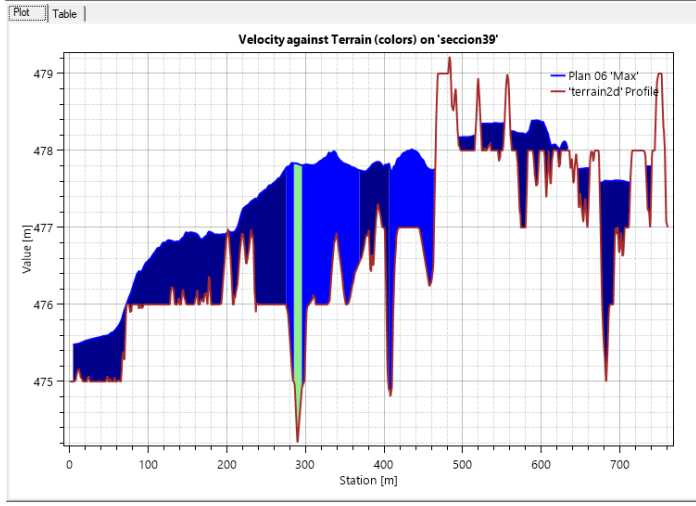
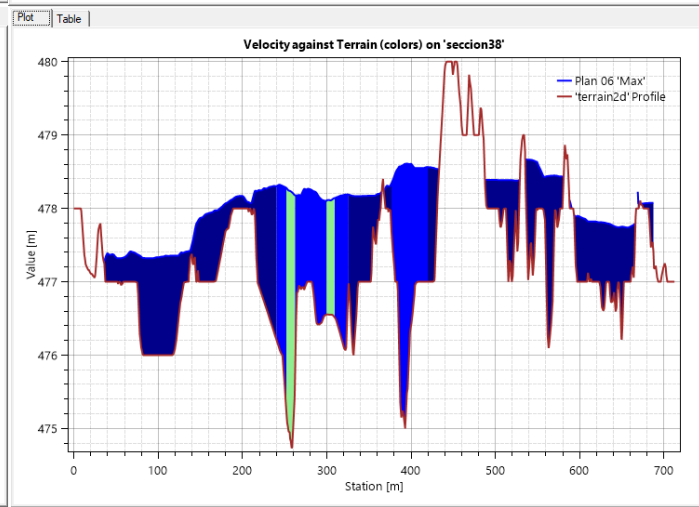
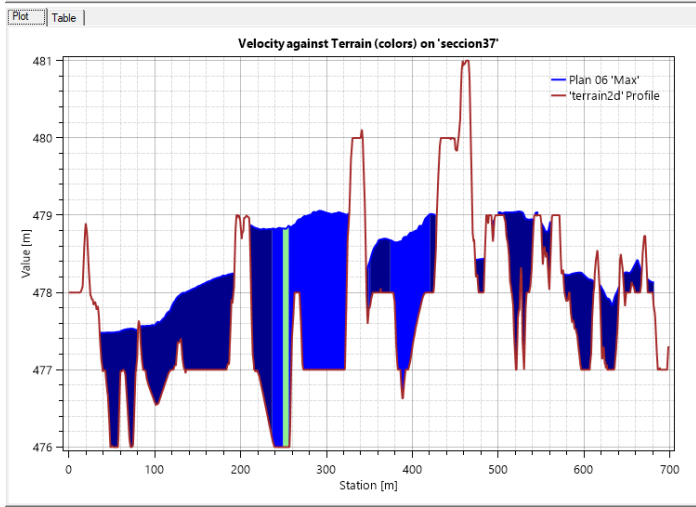
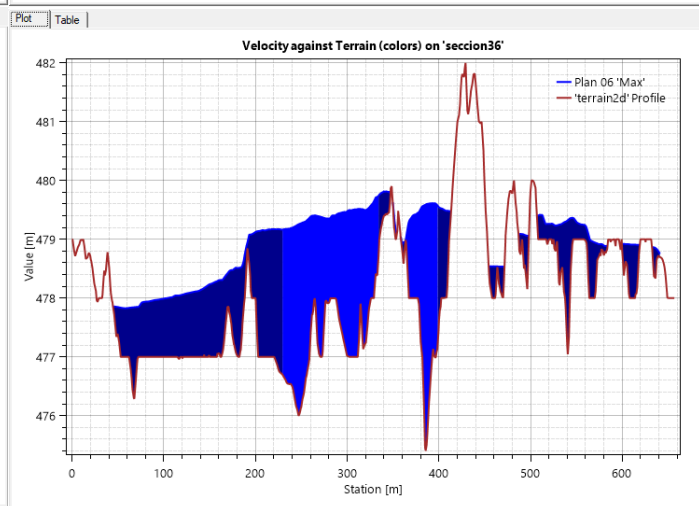
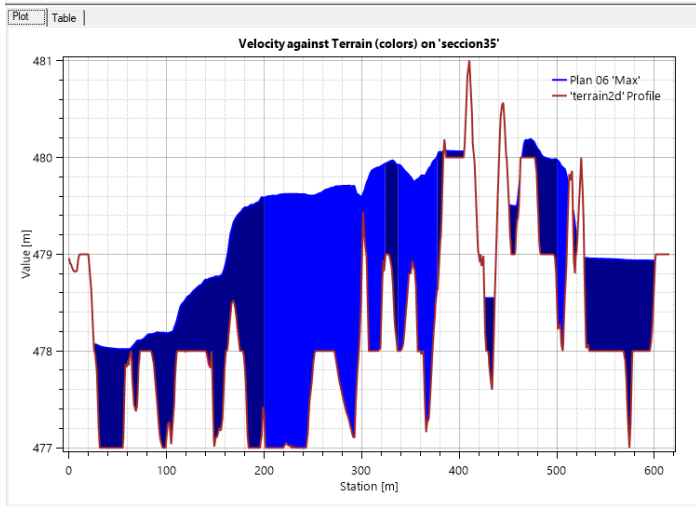
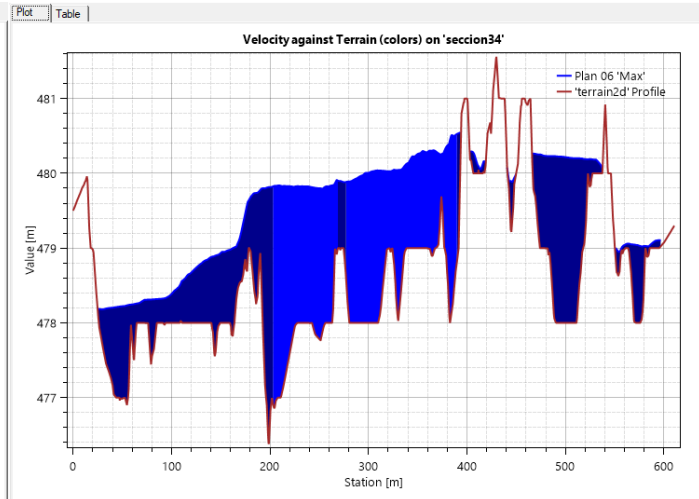
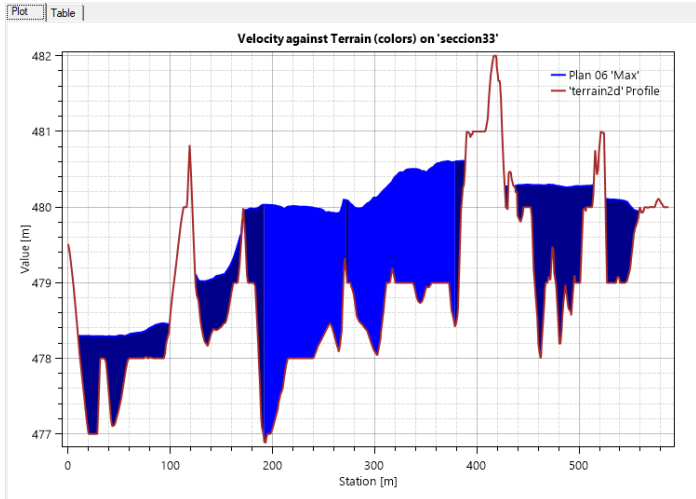
Secciones transversales

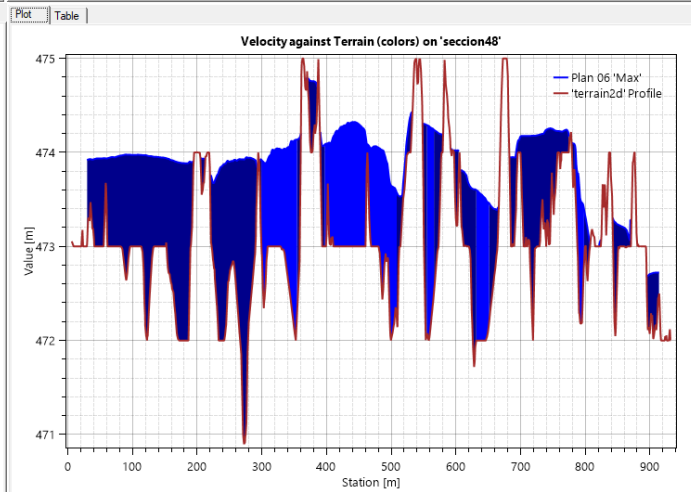
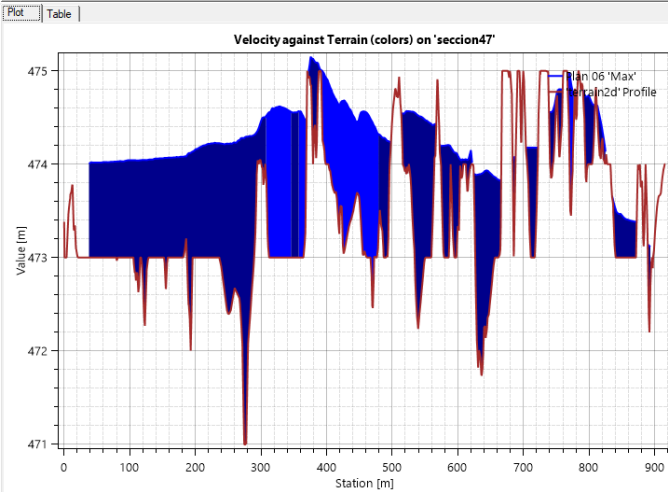
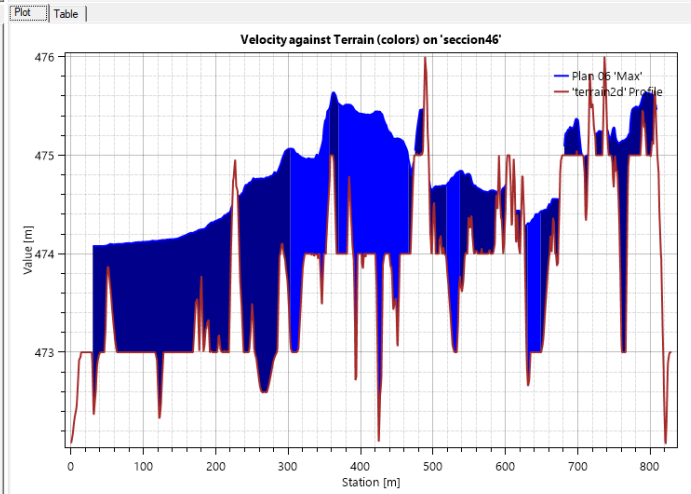
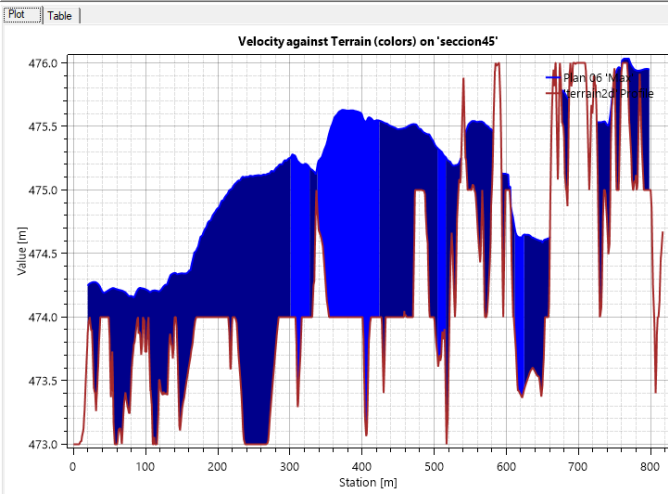
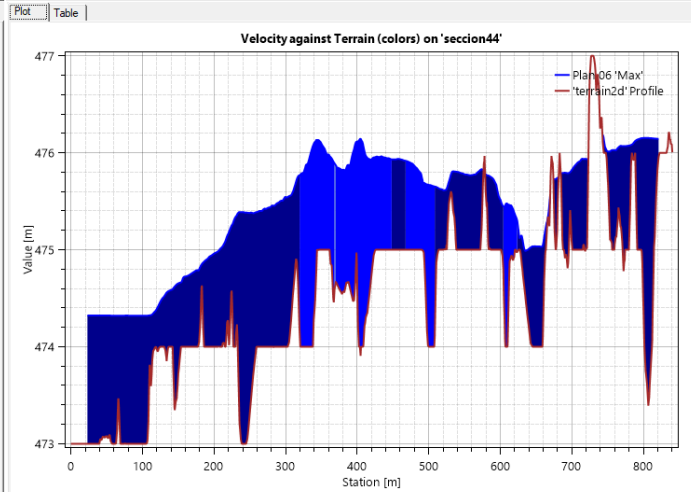
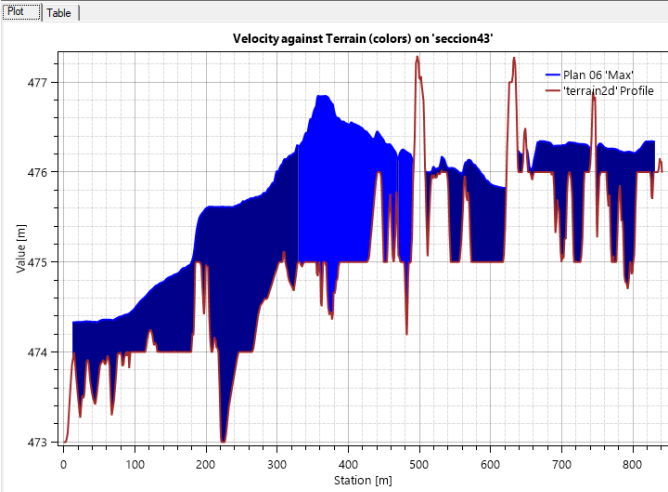
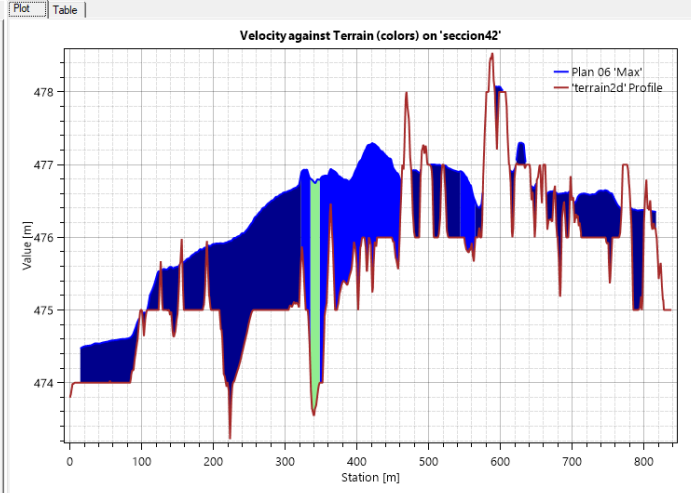
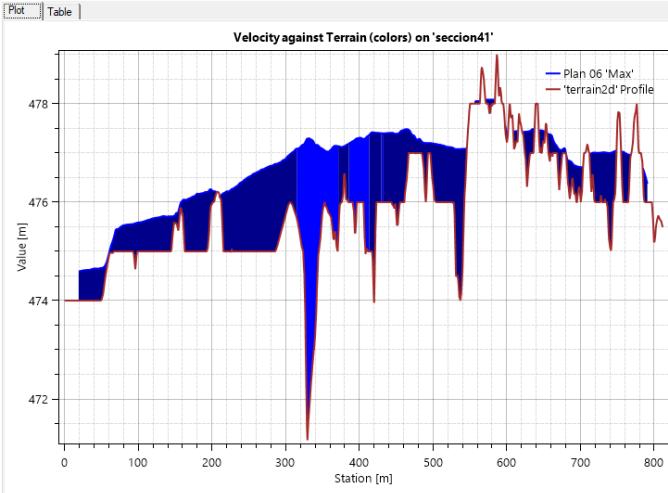














ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 041-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 227-2023-FIMGC-D**, siendo los trece días del mes de junio del 2023, a horas 9:30 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS**, Jurado el **Ing. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ**, Jurado - Asesor el **MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: **“REDUCCIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN OCASIONADO POR LOS RÍOS TINCUY Y SABOGATO EN EL DISTRITO DE LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO”**, presentado por el/la Sr./Srta., **Brigmar PRADO TAQUIRE**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Civil**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por
Efraín Elías Porras Flores
Fecha: 2023.06.17
13:01:06 -05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente

Mg. Ing. Edward LEON PALACIOS
Jurado

MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Jurado Asesor

Ing. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ
Jurado

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

C.c.:
Bach. Brigmar PRADO TAQUIRE
Jurados (4)
Archivo

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN****CONSTANCIA N° 042-2023-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : PRADO TAQUIRE, Brigmar
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : "REDUCCIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN OCASIONADO POR LOS RÍOS TINCUY Y SABOGATO EN EL DISTRITO DE LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO"
Evaluación de la Originalidad : 25 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2112027045

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 08 de junio del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física

REDUCCIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN OCASIONADO POR LOS RÍOS TINCUY Y SABOGATO EN EL DISTRITO DE LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

por Brigmar Prado Taquire

Fecha de entrega: 08-jun-2023 05:07p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2112027045

Nombre del archivo: Tesis_Brigmar_Prado-Taquire_EPIC.pdf (58.09M)

Total de palabras: 50716

Total de caracteres: 238290

REDUCCIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN OCASIONADO POR LOS RÍOS TINCUY Y SABOGATO EN EL DISTRITO DE LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
3	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	2%
6	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	1 %
11	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
14	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	

<1 %

21

dspace.ucacue.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

24

redi.unjbg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

26

www.muniabancay.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

28

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

29

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

30

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

31

Sánchez Rivas Daniel. "Plataforma para la obtención de la ecuación de intensidad de lluvia para el Estado de Hidalgo", TESIUNAM, 2013

Publicación

<1 %

32

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to unasam

Trabajo del estudiante

<1 %

34

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

35

www.ucipfg.com

Fuente de Internet

<1 %

36

CONSORCIO RECUPERACION ANDAHUAYLAS.

"Plan de Recuperación de Área Degradada por Residuos Sólidos Municipales, como Instrumento de Gestión Ambiental

Complementario del Proyecto Recuperación

del Área Degradada por Residuos Sólidos

Cerro San José, Distrito de San Jerónimo,

Provincia de Andahuaylas, Departamento de

Apurímac-IGA0020048", R.G. N° 0237-2021-

GM-MPA, 2022

Publicación

<1 %

37

Submitted to Universidad Alas Peruanas

Trabajo del estudiante

<1 %

38

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

<1 %

39

RISCO MENDOZA JOSE CARLOS. "DIA del Proyecto Infraestructura de Disposición Final de los Residuos Sólidos de la Ciudad de Cangallo y Comunidades de Mollebamba y Huahuapuquio del Distrito de Cangallo y la Ciudad de Pampa Cangallo y las Comunidades de Coraspampa, Hualchancca, Jatunpampa y Pacopata del Distrito de los Morochucos - Cangallo - Ayacucho-IGA0001219", R.D. N° 165-2013/DSB/DIGESA/SA, 2020

Publicación

<1 %

40

Submitted to Universidad de Guayaquil

Trabajo del estudiante

<1 %

41

repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

42

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

43

repositorio.udl.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

44

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45

repositorio.utea.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

46

sit.icl.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

47

purl.org

Fuente de Internet

<1 %

48

ECO PLANET E.I.R.L.. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Defensa Ribereña en los Puntos Críticos para el Río Chicama, Tramo Puente Moreno - Baños Chimú-Huancay-IGA0013880", R.G.D. N° 432-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021

Publicación

<1 %

49

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

50

Submitted to Universidad de Piura

Trabajo del estudiante

<1 %

51

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

52

www.repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

53

www.minem.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

54

Martínez Saldaña Angélica. "Embarazo ectópico, en la perspectiva de Virginia Henderson", TESIUNAM, 2021

Publicación

<1 %

55

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo