

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS EN EL CONTROL DE
INUNDACIONES Y ZONAS DE EVACUACIÓN DEL RÍO
PUYANGO – TUMBES**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. BERNARDO CORTEZ, JORGE ARTURO
Bach. CASTRO BARBACHÁN, IVÁN CHRISTOPHER

ASESOR: PhD. Ing. ESTRADA MENDOZA, MIGUEL LUIS

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Aracelli Cortez, por su inmenso sacrificio y amor incondicional, a mi padre por su incansable apoyo y confianza, a mi abuelita Gumercinda, a mis tíos Norma Bernardo y Carlos Cortez que desde el cielo iluminan mi camino. A mis hermanas, Melina, Diana y Sheyla por brindarme su infinito apoyo.

Jorge Arturo Bernardo Cortez

Esta tesis está dedicada a Dios padre por haberme acompañado todo el camino, a mis padres que a pesar de las dificultades siempre siguieron confiando y apoyándome en cada paso de mi carrera. También a mis hermanos y a todas las personas que, sin ser de mi familia, me apoyaron y ayudaron con su esfuerzo, dedicación y amor, infinitas gracias.

Iván Christopher Castro Barbachán

AGRADECIMIENTO

Nuestro más grande agradecimiento al PhD Ing. Estrada Mendoza, Miguel Luis, por su guía y apoyo en el desarrollo de nuestra investigación.

Jorge Bernardo e Iván Castro

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción de la realidad de la problemática	4
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema principal	4
1.2.2. Problemas secundarios	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1. Objetivo principal.....	5
1.3.2. Objetivos secundarios.	5
1.4. Justificación e importancia de la investigación	5
1.4.1. Conveniencia.....	5
1.5. Relevancia social	5
1.5.1. Implicancia práctica	6
1.6. Limitaciones de la investigación	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. En el ámbito Internacional	7
2.1.2. En el ámbito Nacional	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Sistema de información geográfica.....	11
2.2.2. Modelos.....	11
2.2.3. Definición del modelo digital de elevaciones (MDE).....	12
2.2.4. Estructura de datos en el modelo digital de elevaciones (MDE)	13
2.2.4.1. Modelo vectorial: contornos	13
2.2.4.2. Modelo vectorial: redes de triángulos irregulares (TIN).....	14
2.2.4.3. Modelo ráster: matrices regulares.	15
2.2.5. Modelos Globales: Fuentes de datos libres	15
2.2.6. Definición de cuenca hidrográfica	16
2.2.6.1. Partes de la cuenca hidrográfica.....	17
2.2.6.2. División de la cuenca hidrográfica.....	18

2.2.7. Parámetros morfológicos de cuencas	20
2.2.7.1. Área de la cuenca	20
2.2.7.2. Perímetro de la cuenca	20
2.2.7.3. Coeficiente de compacidad	20
2.2.7.4. Factor de forma	21
2.2.7.5. Rectángulo equivalente	21
2.2.7.6. Numero de orden.....	22
2.2.7.7. Longitud del cauce	22
2.2.7.8. Pendiente del cauce	22
2.2.7.9. Tiempo de concentración	23
2.2.8. Metodología para la estimación de caudales máximos	24
2.2.8.1. Método del SCS	24
2.2.8.2. Método de Creager.....	25
2.2.9. Medidas de control de riesgos por inundación.....	25
2.3. Definiciones conceptuales	26
2.4. Estructura teórica y científica que sustenta la investigación	27
2.4.1. HEC-RAS Versión. 5.0.7 - MODELO 2D.....	27
2.4.2. IBER. Versión 2.5.2. - MODELO 2DH.....	28
2.4.3. Riesgo.....	30
2.4.3.1. Mapa niveles de riesgo.....	31
2.4.3.2. Matriz de riesgo	31
2.4.4. Peligro	34
2.4.4.1. Mapa de peligro.....	34
2.4.4.2. Matriz de peligro.....	34
2.4.4.3. Clasificación de peligros	36
2.4.5. Vulnerabilidad.....	37
2.4.5.1. Mapa de vulnerabilidad.....	37
2.4.5.2. Matriz de vulnerabilidad	37
2.5. Formulación de hipótesis.....	40
2.5.1. Hipótesis general	40
2.5.2. Hipótesis específicas	40
2.6. Variables	40
2.6.1. Definición Conceptual de las Variables	40

2.6.2. Operacionalización de las Variables	41
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	42
3.1. Método	42
3.2. Orientación de investigación	42
3.3. Población y muestra.....	42
3.3.1. Población.....	42
3.3.2. Muestra.....	42
3.4. Técnicas de recolección de datos.....	43
3.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	43
3.4.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	44
3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	44
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN.	45
4.1. Recopilación de información.....	45
4.2. Modelo Hidráulico HEC-RAS.....	46
4.2.1. Datos de entrada utilizados	47
4.2.2. Periodo de retorno	47
4.2.3. Procedimiento general de Modelación 2D en Hec-Ras 5.0.7	48
4.3. Modelo Hidráulico IBER.....	55
4.3.1. Datos de entrada utilizados	55
4.3.2. Periodo de retorno	56
4.3.3. Procedimiento general de Modelación hidraulico 2D en IBER 2.5.2.....	57
4.4. Análisis de peligro	64
4.4.1. Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundaciones	65
4.4.2. Identificación de parámetros y descriptores que son susceptibles al fenómeno de estudio.....	66
4.4.3. Determinación del nivel de peligro	68
4.4.3.1. Descriptores para cuantificación del fenómeno de inundación.....	68
4.4.3.2. Descriptores susceptibles al fenómeno de estudio	68
4.5. Análisis de vulnerabilidad	69
4.5.1. Elementos expuestos sociales, económicos y ambientales	69
4.5.2. Determinación del nivel de vulnerabilidad	82
4.6. Análisis de riesgo.....	97

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	98
5.1. Diagnóstico	98
5.1.1. Clima y temperatura	99
5.1.2. Precipitación.....	100
5.1.3. Principales agentes modeladores.....	101
5.1.4. Contexto hidrológico.....	102
5.1.5. Hidrografía de la cuenca	102
5.1.6. Análisis hidrológico de la cuenca.....	104
5.1.7. Uso del suelo	104
5.1.8. Catastro urbano	105
5.1.9. Catastro vial.....	106
CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS.	107
6.1. Resultados de la Investigación.....	107
6.1.1. Recopilación de información – Base de datos geoespaciales	107
6.1.1.1. Servidor Geo-GPS Perú	107
6.1.1.2. Servidor EARTH DATA.....	107
6.1.1.3. Servidor EARTH EXPLORER.....	108
6.1.1.4. Servidor ASF DATA SEARCH VERTEX.....	108
6.1.2. Modelamiento con HEC-RAS.....	109
6.1.3. Modelamiento con IBER.....	110
6.1.4. Riesgo.....	112
6.1.5. Estimación de pérdidas económicas.....	112
6.1.6. Desarrollo de Plan de mitigación de daños.	117
6.2. Contrastación de Hipótesis	118
6.2.1. Contrastación de la Hipótesis Específica 1	118
6.2.2. Contrastación de la Hipótesis Específica 2	118
6.2.3. Contrastación de la Hipótesis Específica 3	119
6.2.4. Contrastación de la Hipótesis General	119
6.3. Discusión	120
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXOS.....	126

Anexo 1: Matriz de consistencia	126
Anexo 2: Matriz de Operacionalización de variables.....	127
Anexo 3: Base de datos geospaciales	128
Anexo 4: Mapa de Ruta de Evacuación y zonas seguras.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de las estructuras más usuales utilizadas para el almacenamiento de los modelos digitales de elevaciones.....	13
Tabla 2: Tipos de unidad hidrográfica según áreas	20
Tabla 3: Tipos de unidad hidrográfica según áreas	23
Tabla 4: Tipos Matriz de riesgo.....	31
Tabla 5 Matriz de peligro.....	35
Tabla 6: Matriz de peligro	38
Tabla 7: Operacionalización de variables.....	41
Tabla 8: Periodo de retorno	48
Tabla 9: Periodos de Retorno.....	56
Tabla 10: Precipitaciones anómalas positivas	65
Tabla 11: Cercanía a una fuente de agua	65
Tabla 12: Intensidad media en una hora (mm/h).....	65
Tabla 13: Relieve	66
Tabla 14 Tipo de suelo.....	66
Tabla 15: Cobertura vegetal.....	66
Tabla 16: Uso actual de suelos	67
Tabla 17: Hidrometeorológicos	67
Tabla 18: Geológico.....	67
Tabla 19: Inducido por la acción humana.....	67
Tabla 20: Grupo etario	69
Tabla 21: Servicios educativos expuestos	69
Tabla 22: Servicios de salud terciarios	69
Tabla 23: Material de construcción de las edificaciones	70
Tabla 24: Estado de conservación de la edificación	70
Tabla 25: Antigüedad de construcción de la edificación.....	70
Tabla 26: Configuración de elevación de las edificaciones.....	70
Tabla 27: Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	71
Tabla 28: Capacitación en temas de gestión de riesgo	71
Tabla 29: Conocimiento local sobre ocurrencias pasadas	71
Tabla 30: Existencia de normatividad política y local.....	72
Tabla 31: Actitud frente al riesgo	72

Tabla 32: Campaña de difusión	73
Tabla 33: Localización de la edificación	73
Tabla 34: Servicio básico de agua potable y saneamiento.....	73
Tabla 35: Servicios de las empresas de transporte expuesto	73
Tabla 36: Área agrícola.....	74
Tabla 37: Servicios de telecomunicaciones	74
Tabla 38: Material de construcción de la edificación	74
Tabla 39: Estado de conservación de las edificaciones	75
Tabla 40: Antigüedad de construcción de la edificación.....	75
Tabla 41: Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	75
Tabla 42: Topografía del terreno	75
Tabla 43: Configuración de elevación de las edificaciones.....	76
Tabla 44: Población económicamente activa desocupada.....	76
Tabla 45: Ingreso familiar promedio mensual.....	76
Tabla 46: Organización y capacitación institucional.....	77
Tabla 47: Capacitación en temas de gestión del riesgo	78
Tabla 48: Deforestación.....	78
Tabla 49: Porcentaje de deforestación	79
Tabla 50: Pérdida del suelo.....	79
Tabla 51: Características geológicas del suelo	79
Tabla 52: Explotación de recursos naturales	80
Tabla 53: Localización de centros poblados.....	80
Tabla 54: Conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental	81
Tabla 55: Conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales.....	81
Tabla 56: Capacitación en temas de conservación ambiental.....	82
Tabla 57: Valor de exposición social.....	82
Tabla 58: Descriptor de material de construcción de las edificaciones.....	83
Tabla 59: Descriptor de estado de conservación de la edificación	83
Tabla 60: Descriptor de antigüedad de construcción de la edificación	84
Tabla 61: Descriptor de configuración de elevación de las edificaciones.....	84
Tabla 62: Valor de fragilidad social	84

Tabla 63: Descriptor de capacitación en temas de gestión del riesgo	84
Tabla 64: Descriptor de conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	85
Tabla 65: Descriptor de la existencia de normatividad política y local.....	85
Tabla 66: Descriptor de actitud frente al riesgo.....	85
Tabla 67: Descriptor de campañas de difusión.....	85
Tabla 68: Valor de resiliencia social.....	86
Tabla 69: Valor de análisis de dimensión social.....	86
Tabla 70: Descriptor de localización de la edificación.....	86
Tabla 71: Descriptor de servicio básico de agua potable y saneamiento.....	86
Tabla 72: Descriptor de servicio de las empresas eléctricas expuestas	87
Tabla 73: Descriptor de servicio de empresas de transporte expuesto	87
Tabla 74: Descriptor de área agrícola	87
Tabla 75: Descriptor de servicio de telecomunicaciones.....	87
Tabla 76: Valor de exposición económica.....	88
Tabla 77: Descriptor de material de construcción de las edificaciones	88
Tabla 78: Descriptor de estado de conservación de las edificaciones	88
Tabla 79: Descriptor de antigüedad de construcción de la edificación	88
Tabla 80: Descriptor de incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	89
Tabla 81: Descriptor de topografía de terreno	89
Tabla 82: Descriptor de configuración de elevación de las edificaciones	89
Tabla 83: Valor de fragilidad económica	90
Tabla 84: Descriptor de población económicamente activa desocupada	90
Tabla 85: Descriptor de ingreso familiar promedio mensual	90
Tabla 86: Descriptor de organización y capacitación institucional	91
Tabla 87: Descriptor de capacitación en temas de gestión del riesgo	91
Tabla 88: Valor de resiliencia económica.....	91
Tabla 89: Valor de análisis de dimensión económica.....	92
Tabla 90: Descriptor de deforestación	92
Tabla 91: Descriptor de porcentaje de deforestación.....	92
Tabla 92: Descriptor de pérdida de suelo	92
Tabla 93: Descriptor de pérdida de agua	93
Tabla 94: Descriptor de exposición social.....	93

Tabla 95: Descriptor de fragilidad ambiental	93
Tabla 96: Descriptor de explotación de recursos naturales	93
Tabla 97: Valor de fragilidad ambiental	94
Tabla 98: Descriptor de conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental.....	95
Tabla 99: Descriptor de conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales	95
Tabla 100: Descriptor de capacitación en temas de conservación ambiental.....	95
Tabla 101: Valor de resiliencia ambiental	96
Tabla 102: Valor de análisis de dimensión ambiental	96
Tabla 103: Valor de vulnerabilidad	96
Tabla 104: Valor de riesgo.....	97
Tabla 105: Tasa de crecimiento promedio anual en el departamento de Tumbes 1972- 2007 y proyectada al 2012	105
Tabla 106 : Valor de perdidas por Artefacto eléctrico o mueble.....	113

Figura 32: Resultados de la topografía mostrando malla por colores.....	64
Figura 33:: Fragilidad Social	83
Figura 35: Conocimiento y cumplimiento de la norma	94
Figura 36: Capacitación en temas de conservación ambiental	95
Figura 37: Imagen del Tramos del Río Tumbes	99
Figura 38: Periodo de retorno T = 5 años	109
Figura 39: Periodo de retorno T = 10 años	109
Figura 40: Periodo de retorno T = 25 años	110
Figura 41: Periodo de retorno T = 5 años	110
Figura 42: Periodo de retorno T = 10 años	111
Figura 43: Periodo de retorno T = 25 años	111
Figura 44: Imagen de inundación	114
Figura 45: Imagen de inundación	114
Figura 46: Imagen de calles anegadas	115
Figura 47: Imagen extraída ARGIS-PRO Zonas rural y urbana afectadas por inundación	116
Figura 48: Imagen extraída de ARGIS-PRO Lotes urbanos afectados por inundación	116

RESUMEN

Las inundaciones son uno de los riesgos naturales que producen mayor número de pérdidas tanto humanas como materiales. Debido a la presencia del Fenómeno “El Niño” (FEN), que provoca un aumento de las precipitaciones y caudales de los ríos provocando inundaciones. En la presente investigación se ha realizado la simulación de inundación frente a eventos extremos como El Niño, con la finalidad de mitigar las consecuencias de la inundación ante probables y distintos eventos en zonas cercanas al cauce del río. Se ha empleado datos hidrológicos, estadísticos y topográficos de estudios anteriores a la realización de esta investigación.

Para la caracterización morfológica de la zona se ha empleado información de un modelo de elevación digital (DEM), obtenido del satélite ALOS Palsar de resolución 12.5x12.5 metros.

Las modelaciones numéricas fueron realizadas empleando los programas HEC-RAS 5.0. e IBER, con lo que se obtuvo el área de inundación para los periodos de retorno de 5, 10 y 25 años permitiendo identificar el nivel de afectación en relación a las áreas urbanas y rurales de las zonas adyacentes al cauce del río Tumbes.

Los resultados de estas modelaciones produjeron como consecuencia la creación y/o mejora de planes de contingencia y zonas de evacuación, que ayuden a mitigar los daños producidos por la inundación.

Palabras Clave: Inundación, Periodo de Retorno, Modelos Hidráulicos, Modelo de Elevación Digital.

ABSTRACT

Floods are one of the natural risks that cause the greatest number of human and material losses. Due to the presence of the “El Niño” Phenomenon (FEN), which causes an increase in rainfall and river flows, causing flooding. In this research, a flood simulation has been carried out in the face of extreme events such as El Niño, in order to mitigate the consequences of the flood in the event of probable and different events in areas near the riverbed. Hydrological, statistical and topographic data from studies prior to this research has been used.

For the morphological characterization of the area, information from a digital elevation model (DEM) has been used, obtained from the ALOS Palsar satellite with a resolution of 12.5x12.5 meters.

The numerical modeling was carried out using the HEC-RAS 5.0 programs. and IBER, with which the flood area was obtained for the return periods of 5, 10 and 25 years, allowing to identify the level of affectation in relation to the urban and rural areas of the areas adjacent to the bed of the Tumbes River.

The results of these modeling resulted in the creation and / or improvement of contingency plans and evacuation zones, which help mitigate the damage caused by the flood.

Keywords: Flood, Return Period, Hydraulic Models, Digital Elevation Model.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en el Perú son un problema recurrente cada año, debido a las grandes precipitaciones de la zona central (andina), y al fenómeno “El Niño”, que debido al incremento de la temperatura de las aguas del Pacífico (principalmente entre los meses de diciembre a marzo) genera mayor precipitación e incremento del caudal de los ríos de la Sierra.

Los cuales bajan hacia la Costa ocasionando desbordes y daños en las ciudades. Las inundaciones son unos de los riesgos naturales que producen mayor número de pérdidas tanto humanas como materiales. La siguiente investigación, se centra precisamente en el fenómeno de las inundaciones, el cual ha sido recurrente, debido a altas precipitaciones como factor detonante.

El recurso hídrico, es esencial para todos los seres vivos y su dinámica se convierte en una fuerza importante que nos ofrece constantemente grandes beneficios, aunque existen momentos y sitios en los cuales se pueden generar inundaciones con impactos adversos que traen como consecuencias pérdidas económicas, ambientales y sociales en las poblaciones ubicadas próximas a los ríos. En consecuencia, debido a las fuertes precipitaciones existentes en la zona central de país, se generan desbordes, pérdidas humanas, cortes de suministro, etc.

Impactando negativamente en el ambiente y en la sociedad, pues son los responsables de muertes, colapsos de viviendas, contaminación en las aguas de la población y disposición de dinero en grandes cantidades para la sobrevivencia y apoyo a quienes han sido afectados.

Esta investigación se centra en las inundaciones producidas en el río Tumbes, que cuenta con varios poblados en las zonas adyacentes a su cauce. Estos poblados serán el escenario de la presente investigación en la cual se hará uso de herramientas geomáticas para determinar las zonas inundables y posibles zonas de evacuación haciendo uso de plataformas digitales que nos brindaran información geoespacial que será fundamental para crear un plan de mitigación de daños producidos por la inundación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad de la problemática

A raíz de las precipitaciones pluviales constantes ocurridas en la cuenca alta y media del río Puyango – Tumbes, este incrementó su caudal y el día 5 de marzo del año 2021 superó el umbral de alerta roja, alcanzando los 1432 m³/s. Esto generó el desborde del río en diferentes puntos críticos, lo que afectó hasta el momento principalmente el cultivo de plátano además ha ocasionado cuantiosas pérdidas económicas al conseguir dañar muchas viviendas de la población que vive en zonas aledañas, poniendo en riesgo la integridad física y la salud de la población.

De la información recopilada, se llega a la conclusión de que, en general, la escasa preparación de planes de contingencia en la cuenca del río Puyango crea ciertos problemas a la agricultura del valle, no permitiéndole un desenvolvimiento normal, al no asegurarle a los cultivos, en la mayoría parte del tiempo y en su oportunidad.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema principal

¿De qué manera el uso de herramientas geomáticas contribuye a la sistematización de la información geoespacial para el control de las inundaciones y zonas de evacuación del río Puyango – Tumbes?

1.2.2. Problemas secundarios

- a) ¿De qué modo se sistematiza la información geoespacial para evaluar las afectaciones producidas por la inundación gracias al uso de herramientas geomáticas?
- b) ¿De qué forma las bases de datos geoespaciales obtenidas con herramientas geomáticas se pueden usar para establecer las áreas de probable inundación?
- c) ¿Cómo la aplicación de las herramientas geomáticas ayuda a establecer propuestas para mitigar los efectos de una inundación?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo principal

Haciendo uso de herramientas geomáticas se integrará información satelital, catastros y de simulaciones hidráulicas para elaborar planes de contingencia y determinar zonas de evacuación en caso de inundación del río Puyango – Tumbes

1.3.2. Objetivos secundarios.

- a) Acopiar bases de datos geospaciales de diferentes plataformas para tener una mayor precisión en la determinación de las zonas inundables.
- b) Utilizar las plataformas geomáticas para sistematizar la información que ayuden a identificar las zonas afectadas producidas por la inundación.
- c) Desarrollar planes de mitigación de daños, así como establecer zonas de evacuación para mitigar los efectos de las inundaciones del río Puyango Tumbes.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Conveniencia

A partir de los modelamientos hidráulicos e hidrológicos realizados con herramientas geomáticas y diversos periodos de retorno permitiendo la evaluación del alcance de las áreas inundables en las zonas adyacentes al Río Tumbes, además resulta conveniente para la determinación de las áreas de evacuación para los distritos de Tumbes (sector de Huaquilla), distrito de Corrales (sector la Noria), distrito de San Jacinto (sectores del Tamarindo, Plateros y Bocatoma la Peña) y distrito de Pampas de Hospital (sector la polvareda) provincia de Tumbes.

1.5. Relevancia social

La presente investigación analiza un aspecto técnico en relación a las herramientas tecnológicas geomáticas, considerando la caracterización morfológica de la zona empleando información de un modelo de elevación digital (DEM), esto nos permite evaluar la problemática de manera remota, reduciendo los costos de operatividad

que se generarían al movilizarse al tramo del Río en investigación; esta metodología puede ser usada para estudios a nivel de prefactibilidad; además como consecuencia de la investigación los pobladores de las zonas adyacentes al cauce del Río Tumbes, harán uso de las rutas de evacuación durante un evento de esta naturaleza.

1.5.1. Implicancia práctica

La investigación influenciara a nivel de gestión a las autoridades, para incentivar una red de monitoreo y alerta para las quebradas de mayor riesgo, restringiendo el uso inadecuado del suelo sobre todo un mayor control en el balance hídrico.

Fomentar la capacitación continua a toda la población acerca de planes de contingencia y evacuación en caso de inundación y la realización de simulacros de generando conciencia social acerca del peligro de inundación.

1.6. Limitaciones de la investigación

La topografía de la zona de estudio, desde el inicio de la investigación, represento una dificultad, debido a que no se encuentra registrada en ningún estudio independiente y gratuito y tampoco es de libre acceso a través de alguna página de alguna institución del estado, además también cabe mencionar que las distancias (19.25 km) tomadas en el estudio contribuyeron a dificultar más el acceso a esta información , sobre todo porque se habla de casi 20 km de extensión desde el punto de inicio al punto final.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. En el ámbito Internacional

Lluén Chero (2015) en su tesis de pregrado “Aplicación de la nueva Herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos”, centra su investigación en la evaluación de esta nueva versión de HEC-RAS nos permitiendo entender sus capacidades y limitaciones que puedan encontrarse al desarrollar alguna simulación hidráulica. En la parte final del trabajo HEC-RAS se contrasta con el software IBER 2.2., mostrando las posibles aplicaciones de dos herramientas informáticas en el campo de la ingeniería fluvial que a primera vista podrían parecer similares, pero las diferencias en su aproximación al problema (interfaz, método de mallado, importación de datos georreferenciados, etc.), condicionan su potencial en cuanto a tipologías de problema a estudiar y resultados obtenidos.

Angela Gordillo (2013) en su tesis “Análisis de Vulnerabilidad y Medidas Regulatorias para Inundaciones En Bosa”, presenta un análisis sobre la gestión de riesgo por inundación en la ciudad de Bogotá en la localidad de Bosa. Se identificó el riesgo de inundación, se investigaron las medidas y acciones que se utilizaron, las que se recomiendan realizar para reducir dicho riesgo y se analizó la respuesta ante los más recientes eventos que han afectado el área de interés. El trabajo se basó en encuestas y en los informes sobre las inundaciones más recientes tanto de la localidad como de otros lugares. La magnitud y frecuencia de las inundaciones ha aumentado fundamentalmente por impermeabilización de los suelos, por la falta de concientización en la comunidad y por la falta de campañas de prevención y mitigación de los entes territoriales pues poco se ha hecho para reducir el riesgo y por esta razón aún son una zona muy afectada y abatida por inundaciones.

Sevillano Rodríguez & Alatorre Cejudo (2019) en su tesis titulada “Identificación de zonas de inundación a partir de imágenes (SAR) y de eventos históricos de inundación: caso de estudio Santiago de Cali, Colombia.” identifican zonas de inundación en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia mediante imágenes de radar e información histórica. Consistió en una revisión documental, reconocimiento de campo, y el tratamiento digital de datos a partir de clasificación supervisada. Los resultados de la revisión documental y el trabajo de campo indican la ocurrencia de 766 eventos asociados a inundación que han afectado a 186 barrios en un periodo de 32 años. Además de esto, el procesamiento digital de las imágenes identificó 2082, 25 hectáreas inundables, con fiabilidad global del 89 por ciento e índice Kappa de 0.76 por ciento.

John Gonzales (2019) manifiesta en su tesis de pregrado “Función de Costos de las Inundaciones Urbanas Producidas por Problemas en el Sistema de Drenaje” en su trabajo presentará las condiciones actuales de los eventos de inundación urbanos presentados en el mundo y en Colombia. En segundo lugar, describirá la problemática actual de estos en la ciudad de Bogotá y los antecedentes en la estimación de los costos provocados para la capital del país. Finalmente, a través de una revisión de las metodologías a nivel internacional, se proponen diferentes parámetros a tener en cuenta en la construcción de una función de costos por inundaciones urbanas para la ciudad de Bogotá.

Gloria Talavera (2018) en su tesis titulada “Riesgo y vulnerabilidad por inundaciones. Caso de estudio: conjunto urbano San Andrés, municipio de Calimaya”, analiza el nivel de riesgo por inundaciones que presenta en el conjunto urbano Residencial San Andrés, a efecto de mostrar su estado actual para sugerir acciones no estructurales que coadyuven en la mitigación del riesgo. Así mismo hacer una esquematización de la vulnerabilidad debido a los niveles alcanzados por el río Bogotá y reconocer las zonas susceptibles a inundación.

2.1.2. En el ámbito Nacional

Quispe Torres & Sullca Otazu (2015) en su tesis titulada de pregrado “Aplicación del modelo matemático HEC-RAS para el cálculo del perfil hidráulico del río Ramis”, plantea la investigación consiste en la aplicación del Sistema de Información Geográfica como herramienta de análisis hidráulico y modelamiento espacial para evaluar el impacto de posibles inundaciones en un sector del Río Ramis 10+00 Km aguas arriba del puente Ramis. Para ello se integró el software de análisis hidráulico HEC-RAS con software SIG ARCGIS generando como resultado mapas de riesgos por inundaciones, para diferentes perfiles de flujo con períodos de retorno de 2, 10, 50, 100, 200 y 500 años, estableciendo los riesgos de inundación se resumen para los diferentes períodos de retorno, que nos da el nivel de intensidad, la frecuencia de inundación para los períodos de retorno y el % de área afectada por aguas estáticas, según la clasificación de riesgos de INDECI-2011.

Alvarez Montero & Moreno Cueva (2021) en su tesis titulada de pregrado “Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de HEC-Ras 2d en la zona urbana del río Piura”, se ha realizado la simulación numérica de inundación frente a eventos extremos como El Niño, con la finalidad de disminuir el área y nivel de inundación ante probables y distintos eventos en zonas cercanas a los cauces de ríos. Asimismo, se modeló eventos extremos con periodos de retorno mayores a 10 años, ya que sus resultados son relevantes para la implementación de obras de protección ribereñas, en lugares estratégicos identificados por su mayor vulnerabilidad. Finalmente, dichas obras lograron mitigar el impacto generado al disminuir en un porcentaje el área inundada en la zona de estudio, desde la represa “Los Ejidos” hasta el puente Bolognesi en la provincia de Piura.

Najarro Vargas & Sanabria Bardales (2020) en su tesis “Estudio de vulnerabilidad de la carretera central santa cruz de Cocachacra ante precipitaciones extremas” su investigación se realizó con el objetivo de conocer el nivel de vulnerabilidad que presenta la Carretera Central Santa Cruz de Cocachacra ante el peligro de inundación a causa de las precipitaciones extremas por medio de un estudio de vulnerabilidad con enfoque físico, para reconocer la zona de estudio se partió ingresando la data base al software ArcMap, con el fin de determinar la cuenca que engloba el tramo de carretera estudiado concluyendo en la simulación de inundación determinó áreas inundadas que representan la exposición de la carretera ante la inundación.

Miguel Mendoza (2017) en su tesis titulada de pregrado “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada romero, del distrito de Cajamarca, periodo 2011- 2016” se ha realizado haciendo uso del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales (02 versión - 2014) del CENEPRED, recopilando información de tipo social, económica y ambiental. El objetivo de la investigación fue evaluar el nivel de riesgo por inundación, generado por la quebrada Romero del distrito de Cajamarca durante el periodo 2011 -2016, se evaluó la peligrosidad de la quebrada, analizó la vulnerabilidad de las familias aledañas a ésta y en base a ello se han propuesto medidas que reduzcan el riesgo de inundación existente, se ha efectuado una investigación descriptiva, basado en la aplicación de tablas provenientes del manual antes mencionado, de esa manera se ha analizado y evaluado los datos obtenidos.

Chanca Poma & Inga Ramos (2018) en su tesis titulada de pregrado “Influencia de la inundación en el riesgo de desastre del distrito de Moya de la provincia y departamento de Huancavelica 2017” en su investigación tiene como finalidad determinar la influencia de la inundación en el riesgo de desastre del distrito de Moya de la provincia y departamento de Huancavelica 2017, y para lo cual se tuvo

que identificar el nivel de peligrosidad y vulnerabilidad por inundación que presenta el distrito utilizando como metodología general el método científico para llegar a conocer el problema y como específicos el método inductivo – deductivo y el método analítico – sintético; la muestra de la investigación estuvo conformada por 11 centros poblados del distrito de Moya, el instrumento utilizado para la evaluación del nivel de peligrosidad y vulnerabilidad fue el cuestionario de identificación del nivel de peligrosidad por inundación y el cuestionario de identificación del nivel de vulnerabilidad por inundación; que fueron rellenos observando los distintos aspectos necesarios según cada ítem para cada uno de los centros poblados, para luego apoyarnos en el programa Microsoft Excel para interpretar los datos obtenidos de cada uno de los cuestionarios, así hallar el nivel de peligrosidad y vulnerabilidad por inundación que presenta el distrito de Moya.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es la integración de hardware, software y datos geográficos diseñados para la eficiente captura, acumulación, integración, actualización, manipulación, modificación, análisis por diversos métodos de la información geográficamente referenciada, con el propósito de resolver problemas de alta complejidad en las áreas de planificación y gestión.

2.2.2. Modelos

Un modelo es un esquema teórico de un sistema o una realidad compleja, que se elabora para facilitar su entendimiento y comprender su comportamiento. Por ejemplo, la cartografía y las bases de datos geográficos (BDG), son un modelo de la realidad (Robinson, 1987, pág. 105); y, por tanto, conllevan siempre una visión simplificadora, generalizada y más abstracta de lo real.

Los modelos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a. Los modelos físicos: Modelos de la realidad contruidos a escala con materiales adecuados.
- b. Los modelos lógicos o simbólicos: Conjunto de entidades que satisfacen un conjunto de restricciones, axiomas y teoremas.

Desde un ámbito más cartográfico, existen diversas propuestas para entender el complejo sistema de abstracción que ocurre en Cartografía (Bernhardsen, 2002). Según (Peuquet & Marble, 1990) se pueden considerar cuatro niveles de abstracción para definir la geomática:

- i. La realidad: Fenómenos que realmente existen, que pueden ser o no ser percibidos por los individuos.
- ii. Modelo de datos: Elemento necesario para permitir el paso desde el modelo del mundo soportes de almacenamiento.
- iii. Estructura de datos: Se construye sobre el modelo anterior y representa el modelo de datos detallando las relaciones explícitas, generalmente de forma gráfica de diagramas.
- iv. Formato del archivo: Representación de la forma de almacenaje física de los datos en los soportes de almacenamiento.

En el 2001 Martínez Ruiz, González Gámez, & Gordo Murillo señalaron: “La representación del terreno siempre ha sido un aspecto de interés para la Cartografía y en geociencias como la Hidrología, una buena representación del mismo conlleva a mejoras en los resultados obtenidos. La coherencia y calidad de un modelo depende de las características del terreno, la información altimétrica de partida y el método de generación empleado.” (pág. 86)

2.2.3. Definición del modelo digital de elevaciones (MDE)

Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. (Felicísimo, 1994) que pretende representar la distribución espacial de la elevación del terreno, siendo la altura una variable escalar (sobre un nivel de referencia) que se distribuye en un espacio bidimensional.

2.2.4. Estructura de datos en el modelo digital de elevaciones (MDE)

Para la representación de los MDE, los modelos de datos pueden ser vectoriales o ráster (grillados). En los primeros se encuentran las curvas de nivel, los perfiles y la Red de Triángulos Irregulares (TIN, por su acrónimo en inglés). En tanto que, en el TIN, se encuentran las matrices de celdas regulares, con cotas sobre una grilla de filas y columnas equidistantes.

En todas ellas la altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria será, en su caso, estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno. La

Tabla 1 muestra un resumen de las estructuras de datos de mayor interés para la gestión de los MDE.

Tabla 1: Resumen de las estructuras más usuales utilizadas para el almacenamiento de los modelos digitales de elevaciones.

Vectorial		Secuencial: las líneas se almacenan como cadenas de cotas
	Contornos	Analítica: las líneas se almacenan como segmentos de Bezier, polinómicos, etc.
	Perfiles	Cadenas paralelas de cotas en línea con altitud variable.
	Triángulos	Red de triángulos irregulares (TIN)
Ráster		Regulares: cotas sobre una malla cuadrada de filas y columnas equidistantes
	Matrices	Escalables: cotas sobre submatrices jerárquicas y de resolución variable
	Polígonos	Cotas asignadas a teselas poligonales regulares (triángulo o hexágonos)

Fuente: "Modelos Digitales del Terreno - Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales", por Felicísimo A. (1994, pág. 13)

2.2.4.1. Modelo vectorial: contornos

Felicísimo (1994) establece entorno a este concepto lo siguiente:

La estructura básica es el vector, compuesto por un conjunto de pares de coordenadas (x, y) que describe la trayectoria de líneas isométricas (coincidiendo, por tanto, con las curvas de nivel o isohipsas del mapa topográfico convencional). El número de elementos de cada vector es variable y la reducción de éste a un

único elemento permite incorporar cotas puntuales sin introducir incoherencias estructurales. Una curva de nivel concreta queda definida, por tanto, mediante un vector ordenado de puntos que se sitúan sobre ella a intervalos adecuados (no necesariamente iguales) para garantizar la exactitud necesaria del modelo. La localización espacial de cada elemento es explícita, conservando los valores individuales de coordenadas. En el caso más sencillo, el MDE está constituido por el conjunto de las curvas de nivel que pasan por la zona representada, separadas generalmente por intervalos constantes de altitud.

Algunas opciones más avanzadas introducen nociones nuevas en el tratamiento de los datos, especialmente las líneas de rotura (breaklines), que permiten una mejor adaptación a algunos elementos del relieve (fallas, taludes), y que facilitan los tratamientos que necesitan asegurar la conectividad hidrológica. (pág. 13)

2.2.4.2. Modelo vectorial: redes de triángulos irregulares (TIN).

Una estructura de datos cada vez más utilizada es la que se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados y que suele identificarse por las siglas de su denominación inglesa: Triangulated Irregular Network, TIN (Peucker, Fowler, Little, & Mark, 1978, pág. 516)

Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la que el terreno queda representado por el conjunto de superficies planas que se ajustan a una estructura anterior de puntos. (Felicísimo, 1994, pág. 14)

Los TIN pueden considerarse como una estructura derivada de otra anterior de puntos o líneas. Aunque la distribución original puede ser cualquiera (incluso puntos distribuidos aleatoriamente), es frecuente partir de una base de isohipsas (modelo vectorial) para

generar la red de triángulos. Estos están internamente organizados en función de su vecindad mediante un conjunto de información bastante complejo que hace posible un manejo relativamente ágil y eficaz frente a alternativas menos estructuradas. (Felicísimo, 1994, pág. 14)

2.2.4.3. Modelo ráster: matrices regulares.

La estructura matricial tiene antecedentes relativamente remotos: Chapman (1952) propone ya métodos de análisis topográfico basados en matrices regulares. Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda (aunque habitualmente se utiliza un valor puntual, asociado a cada nudo de la retícula o punto medio de la celda, con lo que esencialmente se construye un modelo vectorial de puntos). La retícula puede adoptar formas variadas pero la más utilizada es una red regular de malla cuadrada con filas y columnas equiespaciadas. En esta estructura, la localización espacial de cada dato está implícitamente determinada por su situación en la matriz, una vez definidos su origen y el intervalo entre filas y columnas. Las matrices de altitudes suelen ser generadas por interpolación a partir de un modelo previo de contornos o por métodos fotogramétricos. (Felicísimo, 1994, pág. 14)

2.2.5. Modelos Globales: Fuentes de datos libres

Los MDE globales han sido generados en diferentes momentos por organismos como NASA, y gradualmente pasan a ser de acceso público mediante la Web. Se mencionan a continuación los modelos más usados:

- a) SRTM: La misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se realizó en colaboración entre National Aeronautics and Space Administration (NASA) y National Imagery and Mapping Agency (NIMA), denominada NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) desde 2003. Originalmente los datos libres eran provenientes del proceso de datos en

banda C, con 90 m de resolución, y luego se logró un modelo procesando la banda X, logrando mejorar la resolución a 30 m, pero con menor área de cobertura.

- b) ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model): ASTER es un sensor de imágenes construido por el METI de Japón (Ministry of Economy, Trade and Industry), e instalado en el satélite Terra de la NASA. Puede realizar coberturas estereoscópicas y obtener un MDE de resolución de 30 metros y alturas con errores medios cuadráticos que van de 10 a 25 metros. Luego de generado el modelo, se creó el ASTER GDEM Validation Team, grupo de trabajo que tuvo por cometido la validación del modelo en todo el mundo.

Existen dos versiones de Aster GDEM, la primera versión distribuida en el año 2009 posee una exactitud vertical global de 20 metros, con el 95% de confianza. La versión 2 fue publicada en el año 2011 y reúne una serie de mejoras respecto a la anterior versión, lo que llevó a una exactitud en la vertical de 17 metros en el 95% de confianza. Hoy, el ASTER GDEM es un MDE auditado y de uso libre y gratuito.

2.2.6. Definición de cuenca hidrográfica

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

Otra definición sostiene que es todo un sistema complejo, abierto donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos e institucionales son variables en el tiempo; y se encuentran en estrecha interrelación. Sin embargo, los efectos que resultan de las interacciones entre los diferentes componentes producen algo que es más que la suma de sus partes; tal como ocurre con el cuerpo humano que también es considerado como un sistema complejo. Por otro lado, una cuenca hidrográfica es un sistema abierto a flujos, influencias y líneas de acción que atraviesan sus fronteras; es decir que puede recibir y dar; pues una cuenca

hidrográfica es solo una parte ínfima de la tierra. Además, se debe tener siempre presente que no existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica. (Vásquez, y otros, 2016).

2.2.6.1. Partes de la cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica alto andina normalmente consta de tres partes; tal como se puede observar en la Figura 1:

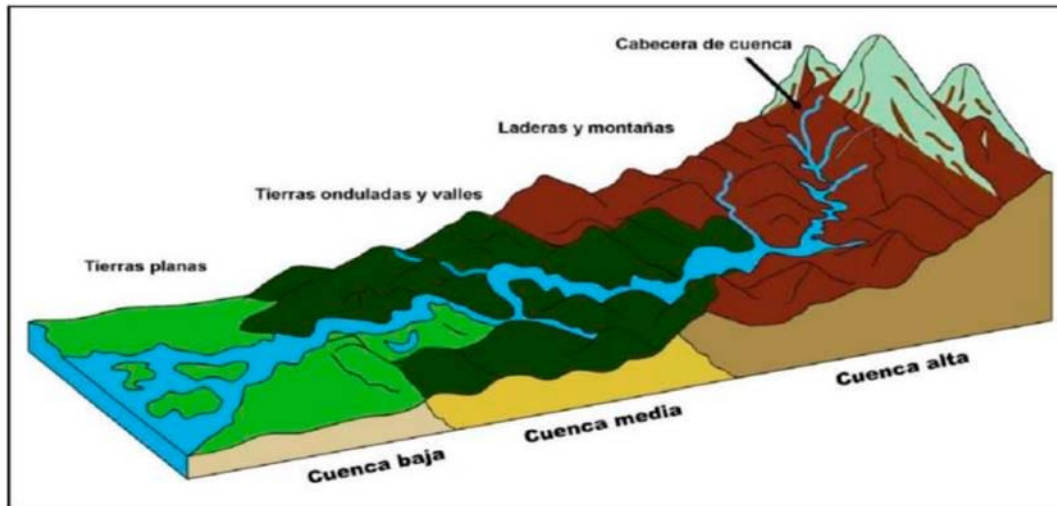


Figura 1: Esquema de una cuenca hidrográfica.

Fuente: Vásquez, y otros, 2016

- a. Partes altas: Estas partes comprenden altitudes superiores a los 3,000 metros sobre el nivel del mar, llegando en algunos casos hasta los 6,500 msnm. En tales áreas se concentra el mayor volumen de agua ya sea en forma de nevados o de lluvia, dado que allí la precipitación pluvial es intensa y abundante; es frecuente asimismo la formación de nevados. La topografía de estas zonas es sumamente accidentada y escarpada; en consecuencia, su potencial erosivo es sumamente alto, pero al mismo tiempo su potencial para la producción hidroenergética también es alta. La precipitación total anual promedio alcanza los 800 hasta 1,600 mm por año. En esta parte es frecuente observar lagos y lagunas con abundante actividad biológica. Aquí se ubican los pastores y campesinos pobres que normalmente desarrollan una economía de autoconsumo y

subsistencia; pero al mismo tiempo en estas zonas se encuentra un gran potencial con recursos mineros. A estas partes altas también se le llama “cabecera de cuenca”, que son las zonas de mayor disponibilidad de agua y de muy buena calidad y que a partir de allí fluyen hacia las partes medias y bajas de las cuencas, ya sea en forma superficial o subterránea. Estas partes altas son claves para su preservación y protección por ser abastecedoras de agua para el resto de la cuenca.

- b. Partes medias: Son las comprendidas entre los 800 y 3000 msnm. Las precipitaciones promedio que caen en estas zonas varían entre los 100 – 800 mm/año. En estas zonas están los valles interandinos, caracterizados por el clima benigno y variado. La función de estas partes de la cuenca está relacionada fundamentalmente con el escurrimiento del agua, siendo frecuente en dicho ámbito la presencia de pequeñas ciudades que la circundan, dándose además como característica, una gran actividad económica.
- c. Partes bajas: Abarcan desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. La precipitación promedio que cae en la zona es muy escasa (< 100 mm/año), su pendiente es igualmente baja. En este ámbito están los amplios valles costeros, donde se desarrolla una intensa actividad agropecuaria, así como también se ubican las medianas y grandes ciudades consumidoras. En estas zonas se ubican los grandes proyectos de irrigación con importantes sistemas de embalse. El potencial de aguas subterráneas de estas zonas es alto. (Vásquez, y otros, 2016)

2.2.6.2. División de la cuenca hidrográfica

Un tema de permanente discusión es lo referente a los conceptos de cuenca, subcuenca y microcuenca. El punto de partida para dicho análisis es el grado de ramificaciones de los cursos de agua que pueden existir; así por ejemplo se pueden considerar como

microcuencas a los cursos de agua de primer, segundo y tercer orden; a subcuencas, los cursos de agua de cuarto y quinto orden y a cuencas los cursos de agua de sexto orden y más. El número de orden de un curso de agua o río se inicia a partir del cauce más pequeño y teniendo como punto de referencia los límites definidos por el “Divortium Acuarum”. Desde el punto de vista práctico en algunos casos el grado de ramificación del curso de agua puede ser rebasado por la magnitud del área de cada una de sus unidades, tal es el caso de la cuenca del río Amazonas en que las subcuencas que la forman (Marañón, Huallaga, etc.), son realmente unas “cuencas” cada una de ellas, pues la magnitud de su área es tan grande que resultaría muy dificultoso su análisis en base al grado de ramificaciones de sus cursos de agua. Es decir, las divisiones en cuencas o microcuencas deben hacerse con criterio técnico y práctico.

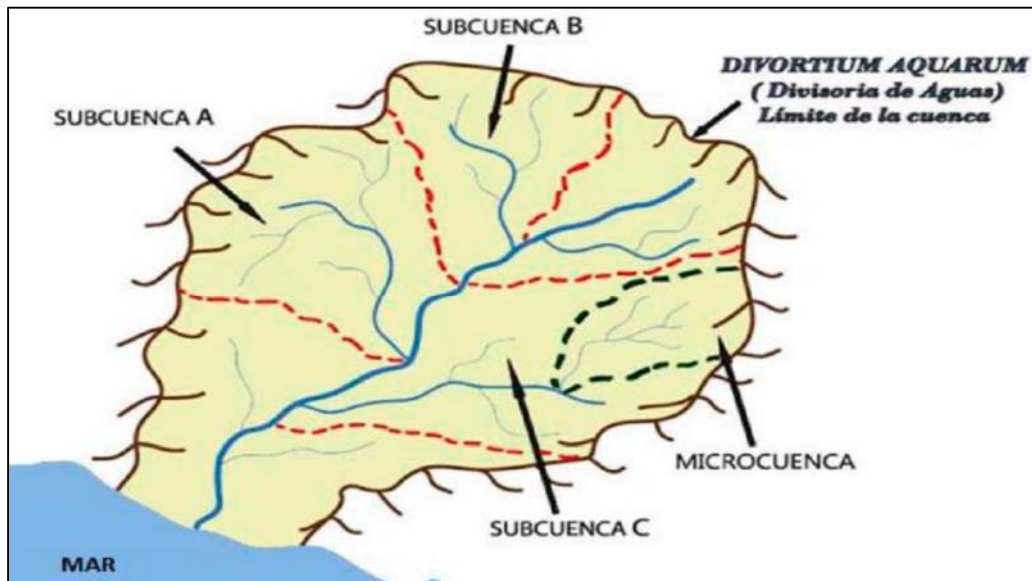


Figura 2: División de una cuenca hidrográfica.
Fuente: Vásquez, y otros, 2016

Por ello, observando la Figura 2 se puede considerar como áreas de referencia de acuerdo con la Tabla 2 para diferentes unidades hidrográficas a las siguientes:

Tabla 2: Tipos de unidad hidrográfica según áreas

Unidad Hidrográfica	Área (miles de has)
Cuenca	> 50
Sub-cuenca	5 – 50
Microcuenca	< 50

Fuente: Vásquez, y otros, 2016

2.2.7. Parámetros morfológicos de cuencas

2.2.7.1. Área de la cuenca

El área o superficie de la cuenca se determina mediante la delimitación de la cuenca a un área proyectada en un plano horizontal. Mayormente son de forma muy irregular, por lo que su cálculo no se puede realizar por fórmulas geométricas. Sin embargo, existen métodos para calcularlas: Uso de la balanza analítica, uso del planímetro, o uso de herramientas de cómputo. (Máximo Villón, 2002, pág. 25)

2.2.7.2. Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca se refiere al borde delimitado de la cuenca proyectada en un plano horizontal, su forma es muy irregular. (Máximo Villón, 2002, pág.25)

2.2.7.3. Coeficiente de compacidad

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un área equivalente a la superficie de la cuenca. El índice representa la forma de la superficie de la cuenca. Cuando el K_c tiende a 1, la cuenca tendrá una forma circular, y si el valor de K_c sobrepasa a 2, es una cuenca de forma alargada (Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987).

El valor de K_c se halla con la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 1

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca en km.

A: Área de la cuenca en km².

2.2.7.4. Factor de forma

El factor de forma explica el alargamiento de una cuenca. Se expresa como la relación entre el área con su longitud (Máximo Villón, 2002). Está definido por la siguiente fórmula:

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Ecuación 2

Donde:

Ff: Factor de forma

A: Área de la cuenca en km².

L: Longitud de la cuenca en km.

2.2.7.5. Rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite simbolizar la cuenca de forma irregular a una rectangular, que tiene la misma área y perímetro, distribución de alturas e igual distribución de terreno (Máximo Villón, 2002).

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$
$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

Ecuación 3

Donde:

L = Lado mayor del rectángulo en km.

l = Lado menor del rectángulo en km.

A = Superficie de la cuenca en km².

P = Perímetro de la cuenca en km.

2.2.7.6. Numero de orden

Es una clasificación que proporciona el grado de ramificación dentro de una cuenca. El orden principal, indica la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca (Máximo Villón, 2002).

Las corrientes pueden dividirse en tres clases: Corriente efímera, corriente intermitente y corriente perenne.



Figura 3: Diagrama número de curva en cuencas
Fuente: Máximo Villón, 2002

2.2.7.7. Longitud del cauce

Es un parámetro importante para el cálculo de flujos de aguas en cuencas. 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 (Máximo Villón, 2002).

2.2.7.8. Pendiente del cauce

Es la relación entre el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo. Existen varios métodos para calcularlo, entre los más conocidos se tiene: método de la pendiente uniforme, método de compensación de áreas, y el método de la ecuación de Taylor y Schwarz (Máximo Villón, 2002).

2.2.7.9. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, está relacionado con el caudal estabilizado mediante una precipitación con intensidad constante de una cuenca. Diversos autores proponen fórmulas para hallarlo mediante tipos de cuencas de diseño. A continuación, se muestra una tabla 3 con diferentes fórmulas aceptadas por la Norma OS.60.

Tabla 3: Tipos de unidad hidrográfica según áreas

METODO Y FECHA	FORMULA PARA t_c (min)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0,01947 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ $t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ <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 de siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3% a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto, multiplicar t_c por 0,4; para canales de concreto, multiplicar por 0,2; sin ajustes para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0,0195 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$ <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)	$t_c = \frac{525 \cdot (0,0000276 \cdot i + c) \cdot L^{0,33}}{S^{0,333} \cdot i^{0,667}}$ <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 césped; 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)	$t_c = 0,7035 \cdot \frac{(1,1 - C) \cdot L^{0,50}}{S^{0,333}}$ <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.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7 \cdot L^{0,6} \cdot n^{0,6}}{i^{0,4} \cdot S^{0,3}}$ <p>L : Longitud del flujo superficial, m n : Coeficiente de rugosidad de Manning i : Intensidad de lluvia, mm/h S : Pendiente promedio del terreno m/m</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto i (intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos; la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0,0136 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{S^{0,5}}$ <p>L : longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m CN: Número de curva SCS S : pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 810 ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1,67$ veces el retardo de la cuenca.

Fuente: Vásquez, y otros, 2016

2.2.8. Metodología para la estimación de caudales máximos

2.2.8.1. Método del SCS

El Soil Conservation Service establece un método para hallar un hidrograma adimensional, que se basa en un amplio estudio de diversas cuencas. Un hidrograma unitario sintético se expresa por la relación entre el caudal Q con respecto al caudal pico Q_p y el tiempo por la relación del tiempo “ t ” con respecto al tiempo de la ocurrencia del pico en el hidrograma unitario T_p (Chow, 2000).

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{A}{T_p}$$

Ecuación 4

Donde:

Q_p = Caudal pico en m³/s.

A = Área de drenaje de la cuenca km².

T_p = Tiempo pico del hidrograma triangular

Para calcular el tiempo pico, se establece la siguiente relación:

$$T_p = \frac{10}{9} \cdot T_r$$

Ecuación 5

Donde:

T_r = Tiempo de retardo

Donde se establece que, para el tiempo de retardo, se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$t_r = 0.005 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

Ecuación 6

Alternativamente se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$t_r = 0.60 t_c$$

Ecuación 7

Donde:

T_r = Tiempo de retardo en hr.

T_c = Tiempo de concentración en hr.

L = Longitud del cauce principal en m.

S = Pendiente del cauce en %.

2.2.8.2. Método de Creager

Este método permite la estimación de los caudales máximos diarios de cuencas, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos (Naranjo B., 2011). El método fue adaptado para el territorio peruano por Trau y Yrigoyen.

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) \cdot \log(T_r) \cdot A^{mA^{-n}}$$

Ecuación 8

Dónde:

Qmax = Caudal máximo en m³/s.

A = Área de la cuenca aportante en km².

T = Periodo de retorno en años.

C1, C2, m y n = Coeficientes adimensionales por regiones hidráulicas del Perú.

2.2.9. Medidas de control de riesgos por inundación

El riesgo de desastres se define como la probabilidad de que durante un período de tiempo específico se produzcan alteraciones severas en el funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a eventos físicos peligrosos ante condiciones sociales vulnerables (IPCC, 2012). El riesgo ante eventos climáticos, de forma general, involucra tres conceptos claves: la amenaza, vulnerabilidad y exposición. La amenaza está asociada al sistema natural climático que provoca eventos como las inundaciones. La vulnerabilidad es la predisposición de que un elemento sea afectado adversamente.

La exposición hace referencia a todo aquello que puede verse afectado como, por ejemplo: personas, infraestructura, servicios y recursos ambientales, activos económicos, etc. Estos tres conceptos se interrelacionan y forman parte del análisis de riesgo.

La evaluación de la amenaza de inundaciones se suele realizar mediante el análisis de frecuencias de caudales máximos instantáneos, los cuales se

pueden obtener a partir de datos observados o modelados. Este análisis permite obtener la probabilidad de ocurrencia de un evento de determinada magnitud. Esta información se complementa con mapas de inundación, vulnerabilidad y exposición de la zona.

2.3. Definiciones conceptuales

a) Inundación

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo de suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda terrenos circundantes.

b) Intensidad de precipitación

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Se clasifica en ligera (menor a 2.5 mm), moderada (entre 2.5 y 7.5 mm) y fuerte (mayor a 7.5 mm).

c) Modelo hidráulico

Los modelos hidráulicos se usan para simular el flujo en canales abiertos, ríos, humedales, lagos, estuarios y zonas costeras. También para describir el flujo sobre planicies de inundación o a través de estructuras hidráulicas como vertederos, compuertas, alcantarillas, puentes, embalses, diques, etc. Estos modelos están enfocados en la obtención de niveles y velocidades del agua en cauces y en las llanuras de inundación. Utilizan cartografías de precisión. Se basan en cálculos hidráulicos complejos. Existen dos tipos de modelos hidráulicos: físicos y matemáticos.

d) Modelo hidrológico

Un modelo hidrológico es la representación simplificada de un sistema hidrológico. Estos modelos nos permiten conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de los diferentes componentes del ciclo hidrológico y están enfocados en la obtención de caudales a partir de precipitaciones. Suelen utilizar modelos topográficos de poca precisión. Normalmente utilizan métodos de transporte por cauce simplificados (Muskingum, onda cinemática, etc.).

2.4. Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

Para la identificar las zonas inundables del tramo en estudio del Rio Tumbes, se establecen las siguientes bases teóricas en relación al modelamiento y al análisis del riesgo:

2.4.1. HEC-RAS Versión. 5.0.7 - MODELO 2D.

En una modelación bidimensional la geometría del cauce es representada en términos de secciones transversales, llevando a cabo el cálculo entre ellas (Ochoa., 2016).

HEC-RAS se fundamenta en la ecuación de energía propuesta por Bernoulli (1738) considerando un fluido incompresible y permanente.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q V^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde Z_1 y Z_2 son las elevaciones del canal principal, Y_1 y Y_2 son las profundidades de la lámina de agua en la sección, V_1 y V_2 son las velocidades promedio, α_1 y α_2 son coeficientes de ponderación de la velocidad según la ecuación 10, g es la aceleración de la gravedad, h_e corresponde a las pérdidas de energía, Q_N y V_N son el caudal y la velocidad en la sección N, respectivamente (USACE, 2016).

La lámina de agua de cada sección es determinada con un procedimiento iterativo resolviendo un sistema de dos ecuaciones 11 y 12 (Chaudhry, 2008).

$$H_2 = H_1 - h_f \quad \text{Ecuación 11}$$

$$H_2 = h_{vel} + h_{ele} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde H_i es la cabeza total en el punto i , h_f representa las pérdidas de energía entre el punto i y el punto $i+1$, h_{vel} es la cabeza de velocidad y h_{ele} es la cabeza de elevación.

Las pérdidas de energía entre dos secciones se determinan según la ecuación 13

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Ecuación 13

Donde L corresponde a la longitud ponderada, S_f corresponde a la pendiente de fricción entre dos secciones y corresponde al coeficiente de expansión o contracción (USACE, 2016).

2.4.2. IBER. Versión 2.5.2. - MODELO 2DH.

En una modelación bidimensional el río es discretizado a través una malla en planta formada por celdas poligonales que representan la topografía del cauce. Este modelo utiliza una malla no estructurada que puede estar formada por triángulos o cuadriláteros (Bladé et al., 2012).

El software IBER está basado en las ecuaciones de Saint-Venant que consideran dos dimensiones. En este caso, se supone un fluido incompresible, condiciones de presión hidrostática, una distribución uniforme de la velocidad según la profundidad y se asume que los efectos del cortante en el eje vertical son despreciables (Randall, 2006). Esta simplificación es generalmente válida cuando la dimensión vertical es mucho menor que cualquiera de las dimensiones horizontales y la pendiente del fondo del cauce es suave (Ruiz, 2017).

A continuación, se presentan las ecuaciones de conservación de la masa ecuación 13 y conservación de momentum ecuación 14 y ecuación 15 aplicables.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0$$

Ecuación 14

Donde corresponde a la profundidad de la lámina de agua U_x y U_y son las velocidades horizontales promediadas en la profundidad.

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}(hU_xU_y) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x}\right) + \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y}\right)$$

Ecuación 15

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y}\right)$$

Ecuación 16

Donde g es la aceleración de la gravedad, Z_b es el fondo del canal, τ_s es la fricción superficial debida al viento calculada por medio de la ecuación de Van Dorn, τ_b es la fricción de fondo calculada con la ecuación de Manning y v_t es la viscosidad turbulenta calculada usando un modelo de turbulencia específico (Bladé et al., 2012).

En este caso el modelo de turbulencia usado fue el $k - \varepsilon$ de Rastogi y Rodi que resuelve una ecuación de transporte para la energía cinética turbulenta k la ecuación 17 y para la tasa de disipación de energía turbulenta ε de la ecuación 18

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial U_x k}{\partial x} + \frac{\partial U_y k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + 2v_t S_{\bar{u}} S_{\bar{v}} + c_k \frac{u_f^3}{h} - \varepsilon$$

Ecuación 17

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U_x \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial U_y \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} 2v_t S_{\bar{u}} S_{\bar{v}} + c_\varepsilon \frac{u_f^4}{h^2} - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

Ecuación 18

Donde:

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad c_k = c_f^{-1/2} \quad c_\varepsilon = 3,6 c_k^{3/2} c_{\varepsilon 2} c_\mu^{1/2} \quad c_f = \frac{\tau_b}{\rho |U|^2}$$

$$c_\mu = 0,09 \quad c_{\varepsilon 1} = 1,44 \quad c_{\varepsilon 2} = 1,92 \quad \sigma_k = 1,0 \quad \sigma_\varepsilon = 1,31$$

Las ecuaciones hidrodinámicas se resuelven por el método conservativo de volúmenes finitos el cual usa la forma integral de la ecuación y trabaja sobre un segmento comprendido entre dos puntos consecutivos de la malla (Ruiz, 2017) determinando los volúmenes finitos (Cuervo, 2012).

2.4.3. Riesgo

Es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. (Carreño et. al. 2005).

El expresar los conceptos de peligro (amenaza), vulnerabilidad y riesgo, ampliamente aceptada en el campo técnico científico Cardona (1985), Fournier d'Albe (1985), Milutinovic y Petrovsky (1985b) y Coburn y Spence (1992), está fundamentada en la ecuación adaptada a la Ley 29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función $f()$ del peligro y la vulnerabilidad.

$$R_{ie} | t = f(P_i, V_e) | t$$

Ecuación 19

Dónde:

R = Riesgo.

f = En función

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

Ve = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

Para el análisis de peligros se identifican y caracterizan los fenómenos de origen natural mediante el análisis de la intensidad, la magnitud, la frecuencia o periodo de recurrencia, y el nivel de susceptibilidad. Asimismo, deberán analizar los componentes que inciden en la vulnerabilidad explicada por tres componentes: exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar.

2.4.3.1. Mapa niveles de riesgo

El conocimiento de las zonas con diferentes niveles de riesgo (Nivel de Peligrosidad y Vulnerabilidad), es utilizado en los procesos de ordenamiento y planificación territorial, por lo que estos deben representar el uso que se le puede dar y los daños potenciales a que este uso estaría expuesto. El mapa de riesgo se genera del análisis de los mapas de peligro y vulnerabilidad.

2.4.3.2. Matriz de riesgo

Se definen 4 valores para análisis del riesgo, las cuales son: bajo, medio, alto y muy alto como se observa en la Tabla 4 extraída del manual del CENEPRED para la evaluación de riesgos:

Tabla 4: Tipos Matriz de riesgo

Nivel	Descripción	Rango
Riesgo muy alto No mitigable	Indica que las medidas de reducción del riesgo son de muy alto costo o el proceso del fenómeno es indetenible, el cual debe ser sustentado en informes técnicos en donde se determine el nivel de peligrosidad elaborado por las instituciones técnicas científica respectiva. Población en extrema pobreza. Muy alto porcentaje de deserción escolar. Geología del suelo: zona muy fracturada, falla, etc. Organización poblacional nula. Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas). No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre Gestión del Riesgo.	0.068≤R<0.253
Riesgo muy alto	Grupo Etario: De 0 a 5 años y mayor a 65 años (hombres y mujeres). Escaso acceso y no permanencia a un puesto de trabajo. Organización poblacional nula. Ingreso familiar promedio mensual menor a 149 soles. Población en extrema pobreza. Muy alto porcentaje de deserción escolar. No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre Gestión del Riesgo. Edificaciones en muy mal estado. Estructura de quincha, caña y otros de menor resistencia, en estado precario. Edificaciones con más de 31 años. Viviendas sin abastecimiento de agua ni desagüe. Sistema de producción basada en actividad primaria extractiva sin tecnificación. Ambiental: terrenos sin vegetación. Erosión provocada por lluvias con pendientes pronunciadas. Demanda agrícola y perdida por contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Geología del suelo: zona muy fracturada, falla, etc. Localización de centros poblados muy cercana de 0 a 0.20km. Actitud fatalista y conformista de la población. No existen instrumentos legales locales que apoyen la reducción del riesgo Relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Tipo de suelo de rellenos sanitarios. Falta de cobertura vegetal 70 - 100 %. Uso actual de suelo Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, Intensidad desastroso. Vulcanismo: piroclastos mayores o igual a 1 000 000 000 m3, alcance mayor a 1000m, IEV mayor a 4. Descenso de Temperatura: Menor a -6°C, altitud 4800 - 6746msnm, nubosidad N = 0. El cielo estará despejado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía cárcavas a	0.068≤R<0.253

Nivel	Descripción	Rango
	<p>la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Torrenciales: mayor a 60. Sequia: severa, precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 8.0: Grandes terremotos, intensidad XI y XII. Pendiente 30° a 45°, Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión.</p> <p>Grupo Etario: De 5 a 12 años y de 60 a 65 años (hombres y mujeres). Bajo acceso y poca permanencia a un puesto de trabajo. Organización poblacional efímera. Ingreso familiar promedio mensual mayor a 149 y menor a 264 soles. Población en condición de pobreza.</p> <p>Alto porcentaje de deserción educativa. Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión de Riesgo. Edificaciones en mal estado. Estructuras de madera, sin refuerzos estructurales. Edificaciones de 21 a 30 años. Viviendas con abastecimiento solo de desagüe. Sistema de producción bajo con muy pocas posibilidades de insertarse a un mercado competitivo. Ambiental: áreas de cultivo. Deforestación agravada, uso indiscriminado de suelos. Prácticas de consumo poblacional uso indiscriminado de riesgo. Geología del suelo: zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante.</p> <p>Localización de centros poblados cercana de 0.20 a 1km. Actitud escasamente previsora de la mayoría de la población. Existe poco interés en el desarrollo planificado del territorio del área en estudio que se presenta en casi todo el territorio.</p> <p>El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas. Tipo de suelo arena Eólica y/o limo (con y sin agua). Falta de cobertura vegetal 40 - 70 %. Uso actual de suelo. Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbechos que se encuentran improductivos por periodos determinados. Tsunami: Grado = 3, magnitud del sismo 7, Intensidad muy grande. Vulcanismo: piroclastos 100 000 000 m³, alcance entre 500 a 1000m, IEV igual a 3. Descenso de Temperatura: - 6 y -3°C, altitud 4000 - 4800msnm, nubosidad N es mayor o igual que 1/8 y menor o igual que 3/8, el cielo estará poco nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60. Sequia: moderada, precipitaciones anómalas negativas 100% a 300%. Sismo: 6.0 a 7.9: sismo mayor, intensidad IX y X. Pendiente 25° a 45°. Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.</p>	0.018≤R<0.068
Riesgo medio	<p>Grupo Etario: De 12 a 15 años y de 50 a 60 años (hombres y mujeres). Regular acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Organización social limitada. Ingreso familiar promedio mensual entre 264 y 1200 soles. Población de clase media baja. Mediano porcentaje de deserción educativa. Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo. Edificaciones en regular estado. Estructura de adobe y piedra, sin refuerzos estructurales. Edificaciones de 16 a 20 años. Vivienda con solo abastecimiento de agua. Sistema de producción con algunos puntos que presentan competitividad. Ambiental: tierras dedicadas al cultivo de pastos. Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua. Consumo industrial y minero, pérdidas de evaporación y otros. Geología del suelo: zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante.</p>	0.005≤R<0.018

Nivel	Descripción	Rango
	<p>Localización de centros poblados medianamente cercana de 1 a 3km. Actitud parcialmente provisoria de la mayoría de la población. Existe un interés tenue en el desarrollo planificado del territorio.</p> <p>Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos. Tipo de suelo granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial. Falta de cobertura vegetal 20 - 40 %. Uso actual de suelo Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc. Tsunami: Grado = 2, magnitud del sismo 6.5, Intensidad grandes. Vulcanismo: piroclastos 10 000 000 m3, alcance entre 100 a 500m, IEV igual a 2.</p> <p>Descenso de Temperatura: -3°C a 0°C, altitud 500 - 4000msnm, nubosidad N es mayor o igual que 4/8 y menor o igual que 5/8, el cielo estará nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30. Sequia: ligera, precipitaciones anómalas negativas 50% a 100%. Sismo: 4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad, intensidad VI, VII y VIII. Pendiente 20° a 30°, Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados</p>	
Riesgo bajo	<p>Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica. Tipo de suelo afloramientos rocosos y estratos de grava. Falta de cobertura vegetal 0 - 20 %. Uso actual de suelo Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias y/o Sin uso/ improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad. Tsunami: Grado = 0 o 1, magnitud del sismo menor a 6.5, Intensidades algo grandes y/o ligeras. Vulcanismo: piroclastos 1 000 000 m3, alcance menor a 100m, IEV menor a 1. Descenso de Temperatura: 0°C a 6°C, altitud menor a 3500msnm, nubosidad N es mayor o igual a 6/8 y menor o igual que 7/8, el cielo estará muy nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas menor a 50%, cercanía a la fuente de agua mayor a 1000m, intensidad media en una hora (mm/h) Moderadas: menor a 15. Sequia: incipiente, precipitaciones anómalas negativas menor a 50%. Sismo: menor a 4.4: Sentido por mucha gente, intensidad menor a V. Pendiente menor a 20°, Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturados.</p> <p>Grupo Etario: De 15 a 50 años (hombres y mujeres). Alto acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Organización social activa. Ingreso familiar promedio mensual mayor a 1200 soles. Población económicamente sostenible. Escaso porcentaje de deserción educativa. Difusión masiva y frecuente en medios de comunicación en temas de Gestión del Riesgo.</p> <p>Edificaciones en buen estado. Estructura de concreto armado y acero, con adecuadas técnicas de construcción. Edificaciones menores a 15 años. Viviendas con abastecimiento de agua y desagüe. Sistema de producción del área en estudio presenta importante inserción a la competitividad. Ambiental: áreas de bosques. Factor cultivo y contenido en sales ocasiona pérdidas por desertificación. Geología del suelo: zona sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas. Localización de centros poblados muy alejada mayor a 5km. Actitud previsora de toda la población, implementando diversas medidas para prevenir el riesgo. El desarrollo planificado del territorio, es un eje estratégico de desarrollo.</p>	0.001≤R<0.005

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

2.4.4. Peligro

El peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, que pueden ser tirante y velocidad del agua alcanzada en las calles, ríos o arroyos. Al desbordamiento del cauce natural de los ríos se le conoce como inundación fluvial. Cuando se debe a un escurrimiento de lluvias dentro de una zona urbana y después de saturarse el suelo, su agua excedente dura horas o días, se le denomina inundación pluvial. Existen otros fenómenos que pueden provocar una inundación, como las mareas altas, que derivan que el nivel medio del mar sea rebasado, provocando inundaciones costeras. Otros fenómenos que pueden provocar una inundación son los tsunamis o la falla de una obra hidráulica (CENEPRED, 2006).

2.4.4.1. Mapa de peligro

La elaboración de este tipo de mapas nos permite reconocer y diferenciar los diferentes peligros existentes con su respectiva clasificación; es importante su correcta planificación ya que ayudan en la localización de áreas con exposición limitada ante diversos usos, tales como, asentamientos humanos, industrias, infraestructura y la agricultura. (CENEPRED, 2014)

2.4.4.2. Matriz de peligro

Según el manual de riesgos establecido por el CENEPRED, para fines de la evaluación del riesgo, las zonas de peligro se pueden diferenciar en cuatro niveles: Bajo, medio, alto y muy alto, cuyos rangos y valores se detallan en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5 Matriz de peligro

Nivel	Descripción	Rango
Peligro muy alto	<p>Relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Tipo de suelo de rellenos sanitarios. Falta de cobertura vegetal 70 - 100 %. Uso actual de suelo Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, Intensidad desastroso. Vulcanismo: piroclastos mayores o igual a 1 000 000 000 m³, alcance mayor a 1000m, IEV mayor a 4. Descenso de Temperatura: Menor a -6°C, altitud 4800 - 6746msnm, nubosidad N = 0. El cielo estará despejado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Torrenciales: mayor a 60. Sequia: severa, precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 8.0: Grandes terremotos, intensidad XI y XII. Pendiente 30° a 45°, Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas).</p>	0.260 ≤ R < 0.503
Peligro alto	<p>El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas. Tipo de suelo arena Eólica y/o limo (con y sin agua). Falta de cobertura vegetal 40 - 70 %. Uso actual de suelo. Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbechos que se encuentran improductivas por periodos determinados. Tsunami: Grado = 3, magnitud del sismo 7, Intensidad muy grande. Vulcanismo: piroclastos 100 000 000 m³, alcance entre 500 a 1000m, IEV igual a 3. Descenso de Temperatura: - 6 y -3°C, altitud 4000 - 4800msnm, nubosidad N es mayor o igual que 1/8 y menor o igual que 3/8, el cielo estará poco nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60. Sequia: moderada, precipitaciones anómalas negativas 100% a 300%. Sismo: 6.0 a 7.9: sismo mayor, intensidad IX y X. Pendiente 25° a 45°. Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.</p>	0.134 ≤ R < 0.26
Peligro medio	<p>Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos. Tipo de suelo granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial. Falta de cobertura vegetal 20 - 40 %. Uso actual de suelo Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc. Tsunami: Grado = 2, magnitud del sismo 6.5, Intensidad grandes. Vulcanismo: piroclastos 10 000 000 m³, alcance entre 100 a 500m, IEV igual a 2. Descenso de Temperatura: -3°C a 0°C, altitud 500 - 4000msnm, nubosidad N es mayor o igual que 4/8 y menor o igual que 5/8, el cielo estará nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30. Sequia: ligera, precipitaciones anómalas negativas 50% a 100%. Sismo: 4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad, intensidad VI, VII y VIII. Pendiente 20° a 30°, Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados</p>	.068 ≤ R < .134

Nivel	Descripción	Rango
Peligro bajo	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica. Tipo de suelo afloramientos rocosos y estratos de grava. Falta de cobertura vegetal 0 - 20 %. Uso actual de suelo Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias y/o Sin uso / improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad. Tsunami: Grado = 0 o 1, magnitud del sismo menor a 6.5, Intensidad algo grandes y/o ligeras. Vulcanismo: piroclastos 1 000 000 m ³ , alcance menor a 100m, IEV menor a 1. Descenso de Temperatura: 0°C a 6°C, altitud menor a 3500msnm, nubosidad N es mayor o igual a 6/8 y menor o igual que 7/8, el cielo estará muy nuboso. Inundación: precipitaciones anómalas positivas menor a 50%, cercanía a la fuente de agua mayor a 1000m, intensidad media en una hora (mm/h) Moderadas: menor a 15. Sequía: incipiente, precipitaciones anómalas negativas menor a 50%. Sismo: menor a 4.4: Sentido por mucha gente, intensidad menor a V. Pendiente menor a 20°, Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturados.	0.035 ≤ R < 0.068

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

2.4.4.3. Clasificación de peligros

Para el estudio estos fenómenos se han agrupado los peligros de acuerdo con su origen. Esta agrupación nos permite realizar la identificación y caracterización de cada uno de ellos. El manual de evaluación de riesgos del CENEPRED cataloga a las inundaciones como peligros generados por fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos como se observa en la Figura 4.



Figura 4: Diagrama número de curva en cuencas
Fuente: CENEPRED, 2014

2.4.5. Vulnerabilidad

En el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM) 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.

El crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, las tendencias en la ocupación del territorio, el proceso de empobrecimiento de importantes segmentos de la población, la utilización de sistemas organizacionales inadecuados y la presión sobre los recursos naturales, han hecho aumentar en forma continua la vulnerabilidad de la población frente a una amplia diversidad de fenómenos de origen natural.

2.4.5.1. Mapa de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se denomina daño potencial, y se define como la característica de una persona o grupo en relación con su capacidad de prever, combatir, resistir y recuperarse del impacto de un suceso natural. Es por esto por lo que la vulnerabilidad presenta un comportamiento desigual según grupos sociales, actividades productivas o territorios (Ribera, 2004).

Estos mapas proporcionan la base para la elaboración de mapas de riesgo, se consideran la entrada para la planificación de emergencia y el sustento ante la toma de decisiones por la gestión de esta, si bien es cierto son la base para la planificación de una contramedida no conducen directamente a la acción.

2.4.5.2. Matriz de vulnerabilidad

Según el CENEPRED, para fines de la Evaluación de Riesgos, las zonas de vulnerabilidad pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6: Matriz de vulnerabilidad

Nivel	Descripción	Rango
Vulnerabilidad muy alta	<p>Grupo etario: de 0 a 5 años y mayor a 65 años. Servicios educativos expuestos: mayor a 75% del servicio educativo expuesto. Servicios de salud terciarios expuestos: mayor a 60% del servicio de salud expuesto. Materia de construcción: estera/cartón. Estado de conservación de la edificación: Muy malo. Topografía del terreno: 50% $\leq P \leq 80\%$. Configuración de elevación de la edificación: 5 pisos. Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo con normatividad vigente: mayor a 80%. Localización de la edificación: Muy cerca 0 a 0.20km. Servicios de agua y desagüe: mayor a 75% del servicio expuesto. Servicio de empresas eléctricas expuestas: mayor a 75%. Servicio de empresas de distribución de combustible y gas: mayor a 75%. Servicio de empresas de transporte expuesto: mayor a 75%. Área agrícola: mayor a 75%. Servicios de telecomunicación: mayor a 75%. Antigüedad de construcción: de 40 a 50 años. PEA desocupada: escaso acceso y la no permanencia a un puesto de trabajo. Organización y capacitación institucional: presentan poca efectividad en su gestión, desprestigio y aprobación popular. Deforestación: áreas sin vegetación, terrenos eriazos. Flora y fauna: 76 a 100% expuesta. Pérdida de suelo: erosión provocada por lluvias. Pérdida de agua: demanda agrícola y pérdida por contaminación.</p>	$0.260 \leq R < 0.503$
Vulnerabilidad alta	<p>Grupo etario: de 5 a 12 años y de 60 a 65 años. Servicios educativos expuestos: menor o igual a 75% y mayor a 50% del servicio educativo expuesto. Servicios de salud terciarios expuestos: menor o igual a 60% y mayor a 35% del servicio de salud expuesto. Materia de construcción: madera. Estado de conservación de la edificación: Malo. Topografía del terreno: 30% $\leq P \leq 50\%$. Configuración de elevación de la edificación: 4. Actitud frente al riesgo: escasamente provisoria de la mayoría de la población. Localización de la edificación: cercana 0.20 a 1km. Servicios de agua y desagüe: menor o igual 75% y mayor a 50% del servicio expuesto. Servicios de agua y desagüe: mayor a 75% del servicio expuesto. Servicio de empresas eléctricas expuestas: menor a 75% y mayor a 50%. Servicio de empresas de distribución de combustible y gas: menor o igual 75% y mayor a 50%. Servicio de empresas de transporte expuesto: menor o igual 75% y mayor a 50%. Servicios de telecomunicación: menor o igual 75% y mayor a 50%. Área agrícola: menor o igual 75% y mayor a 50%.</p>	$0.134 \leq R < 0.260$
Vulnerabilidad media	<p>Grupo etario: de 12 a 15 años y de 50 a 60 años. Grupo etario: de 5 a 12 años y de 60 a 65 años. Servicios educativos expuestos: menor o igual a 50% y mayor a 25% del servicio educativo expuesto. Servicios de salud terciarios expuestos: menor o igual a 35% y mayor a 20% del servicio de salud expuesto. Materia de construcción: quincha (caña con barro). Estado de conservación de la edificación: Regular. Topografía del terreno: 20% $\leq P \leq 30\%$.</p>	$0.068 \leq R < 0.134$

Nivel	Descripción	Rango
Vulnerabilidad baja	<p>Actitud frente al riesgo: parcialmente provisoria de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo sin implementación de medidas para prevenir. Localización de la edificación: medianamente cerca 1 a 3km. Servicios de agua y desagüe: menor o igual a 50% y mayor a 25% del servicio expuesto. Servicios de agua y desagüe: mayoría 75% del servicio expuesto. Servicio de empresas eléctricas expuestas: menor o igual a 25% y mayor a 10%. Servicio de empresas de distribución de combustible y gas: menor o igual a 50% y mayor a 25%.</p> <p>Grupo etario: de 15 a 50 años. Grupo etario: de 5 a 12 años y de 60 a 65 años. Servicios educativos expuestos: menor o igual a 25% del servicio educativo expuesto. Servicios de salud terciarios expuestos: menor o igual a 20% del servicio de salud expuesto. Materia de construcción: ladrillo o bloque de cemento. Estado de conservación de la edificación: Bueno a muy bueno. Topografía del terreno: $P \leq 10\%$.</p> <p>Configuración de elevación de la edificación: menos de 2 pisos. Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente: menor a 40%. Actitud frente al riesgo: parcial y/o provisoria de la mayoría o totalidad de la población, implementando medidas para prevenir el riesgo. Localización de la edificación: alejada a muy alejada mayor a 3km.</p>	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: CENEPRED, 2014

a. Exposición

Referida a las decisiones y prácticas que ubican a la población y su medio de vida en la zona de impacto de un peligro. Se genera por una relación no apropiada con el ambiente, que se puede ocasionar debido a procesos no planificados de crecimiento demográfico (CENEPRED, 2014).

b. Fragilidad

Se refiere a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. Se centra en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno (CENEPRED, 2014).

c. Resiliencia

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 (CENEPRED, 2014).

2.5. Formulación de hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Al implementar el uso de herramientas geomáticas y bases de datos geoespaciales se pueden identificar zonas de probable inundación producidas por el desborde del río Puyango-Tumbes, así como también encontrar rutas y zonas factibles que sirvan para la evacuación de las personas que viven en los alrededores, de esta forma minimizar el impacto social que pueden tener estos fenómenos naturales en la población.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) Al acopiarse bases de datos geoespaciales en una plataforma geomática se podrá determinar las probables áreas de inundación producidas por el desborde del río Puyango.
- b) Con el uso de herramientas geomáticas y software como modelos de elevación digital se podrá identificar y proyectar las zonas de inundación provocadas por el desborde del río Puyango.
- c) Con el uso de herramientas geomáticas y el procesamiento de la información en bases de datos geoespaciales se podrá establecer planes de mitigación de daños.

2.6. Variables

Para este estudio se identificó la variable independiente y dependiente, las cuales se muestran a continuación:

- a) Variable Independiente: Herramientas Geomáticas
- b) Variable Dependiente: Control de inundaciones y zonas de evacuación

2.6.1. Definición Conceptual de las Variables

A continuación, se definen la variable independiente (Herramientas Geomáticas) y dependiente (Control de inundaciones y Zonas de evacuación):

- i. Herramientas Geomáticas: Software que nos ayuda a documentar zonas con poca información geográfica.
- ii. Control de inundaciones y zonas de evacuación: Se genera a partir de la aplicación de Planes de emergencia ante el riesgo de inundaciones.

2.6.2. Operacionalización de las Variables

Tabla 7: Operacionalización de variables

Variable en estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de sub variables	Índice	unidad
Herramienta Geomática	Software que nos ayuda a documentar zonas con poca información geográfica	Delimitación	Medición de los límites del área inundable	Medirse	m
		Cartografía	Representación precisa de un área en particular	Coordenadas	UTM
		Catastro	Padrón de predios rurales y urbanos	Mapas	m ²
Variable en estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de sub variables	Índice	Unidad
Control de inundaciones y zonas de evacuación	Planes de emergencia ante el riesgo de inundaciones	Norma Técnica	Documento aprobado por un organismo reconocido, establece especificaciones técnicas	Vigencia	días
		Diseño del modelo	Modelo de análisis describiendo en mayor detalle la estructura del sistema y como será implementado	Caudal	m ³
		Uso del suelo	Acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie	Área	m ²

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Método

Se utilizó una metodología de investigación de tipo Deductivo. Puesto que intenta demostrar las teorías en un contexto y lugar determinado para asegurar que se cumpla o contrastar la información.

3.2. Orientación de investigación

La investigación tiene una orientación básica, porque esta genera un conocimiento sobre el tema.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población tomada en cuenta para la presente investigación dentro del área de influencia se ubican los distritos de Tumbes, en zonas rurales como urbanas que se encuentran adyacentes al río Tumbes.

3.3.2. Muestra

La muestra se tomó para un tramo del Río Tumbes, comprendido entre los poblados de Pampa Grande la Noria (N 9603506.00; E 559124.00) y Casa Blanqueada (N9584330.00; E560680.00) con una longitud de 26.6 Kilómetros aproximadamente.

Se utilizó la siguiente fórmula de población finita para la obtención del tamaño de muestra:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}}$$

Ecuación 20

Donde:

n: Tamaño de muestra

N: Tamaño de la población = 114 lotes.

e: Error = 0.05

z : Nivel de confianza al 85% entonces $z = 0.85$

p : Variabilidad negativa = 0.5

q : Variabilidad positiva = 0.5

Por lo tanto, el tamaño de la muestra es:

$n = 74$ lotes

- i. Criterios de inclusión: Lotes cercanos al margen del río afectadas por inundaciones en el pasado, lotes dentro de las áreas afectadas por inundaciones pasadas y por la simulación de inundación.
- ii. Criterios de exclusión: Lotes cercanos al margen del río no afectadas por inundaciones en el pasado, lotes fuera de las áreas afectadas por inundaciones pasadas y por la simulación de inundación.

Luego de la modelación utilizando los programas HEC-RAS e IBER , se pudo apreciar la cantidad de Manzanas que podría ser afectada por la inundación en los diferentes poblados .

3.4. Técnicas de recolección de datos

3.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Se empleó la información de los estudios hidrológicos e hidráulicos precedentes, realizados a través de entidades reconocidas a nivel estatal (SENAMHI, ANA, etc.); también se realizó la búsqueda de datos geoespaciales a través de diferentes plataformas digitales.

Para la caracterización morfológica de la zona se empleó información de un modelo de elevación digital (DEM), obtenido del satélite Alos Palsar de resolución 12.5x12.5 metros.

La investigación se realizó mediante lo modelación numérica a través de los programas HEC-RAS 5.0.7 y IBER 2.5.2, para periodos de retorno de 5, 10 y 25 años obteniendo áreas de inundación en las zonas adyacentes al Río Tumbes.

Los resultados de estas modelaciones produjeron como consecuencia la creación y/o mejora de planes de contingencia y zonas de evacuación, que ayuden a mitigar los daños producidos por la inundación.

3.4.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad de nuestro instrumento refiere al grado en que su aplicación bajo condiciones normales, para tiempos de retorno variados genera un modelamiento numérico que simula la inundación, sobre la muestra considerando que el motor numérico de IBER es el código FORTRAN F90, que resuelve las ecuaciones de Navier Stokes 2D integradas en profundidad para aguas poco profundas, conocidas como de Saint Venant o ecuaciones en aguas someras 2D, con ecuaciones de cierre turbulento y en régimen variable. Para resolver estas ecuaciones se emplea el método numérico de los volúmenes finitos.

Así, mismo el HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, e incluirá Flujo variado, Transporte del Sedimento, etc. Este instrumento generara otro modelo numérico usando las mismas condiciones del IBER, para validar la identificación de áreas inundadas.

3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento de la información obtenida de la recolección de datos hidrológicos son: hoja de cálculo de Microsoft Excel, y el uso de programas para el modelamiento: Software IBER 2.5.2 y HEC-RAS 5.0.7 con condiciones iniciales idénticas.

Se elaboró gráficos y mapas acerca de la zona en estudio. Por medio de los datos procesados se podrán analizar el grado de afectación de las zonas rurales y urbanas, para generar un plan de contingencia y zonas de evacuación.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN.

4.1. Recopilación de información

Para la presente investigación se generó la recopilación y análisis de la siguiente información, en una base de datos que se utilizó para almacenar todos los modelos digitales de elevación (DEM) de la zona de estudio. Haciendo uso del DEM tomado del satélite Alos Palsar con resolución de 12.5 x 12.5 metros, así mismo se conto con la recolección de datos para las siguientes áreas:

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| i. Catastro Urbano | v. Catastro de manzanas |
| ii. Catastro rural | vi. Catastro de habilitaciones |
| iii. Catastro vial | vii. Dirección de flujo |
| iv. Catastro de lotes | viii. Acumulación de flujo |

Todas estas informaciones fueron obtenidas por medio de portales web confiables, con información actualizada constantemente y proveniente de organismos estatales confiables (COFOPRI) contando con datos corregidos de todo el territorio nacional.

A su vez, estos datos obtenidos fueron ingresados al programa ARCGIS PRO para facilitar su correcto manejo y obtención de resultados de acuerdo a los objetivos de la investigación.

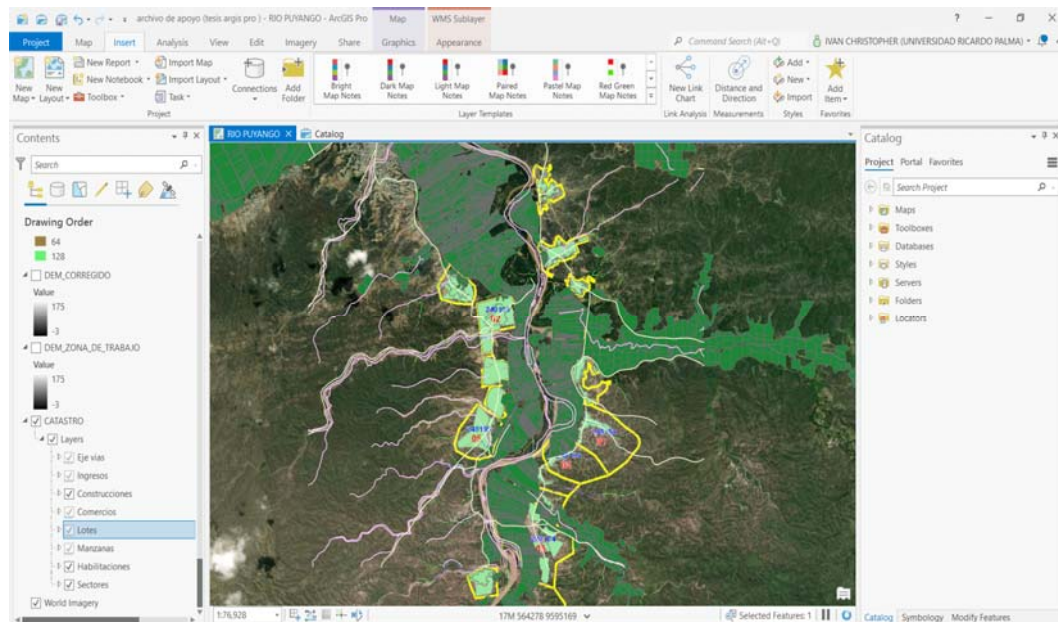


Figura 5: Captura de imagen del Software ARCGIS PRO

Fuente: Elaboración propia

4.2. Modelo Hidráulico HEC-RAS

Sirvió para modelar la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de otros canales artificiales creados por el hombre. Actualmente es uno de los modeladores hidráulicos más utilizados en todo el mundo.

El programa se obtuvo descargándolo de la siguiente página web: www.hec.usace.army.mil, en donde también es posible obtener el manual del usuario y ejemplos de aplicación sin altos costos.

Este programa fue desarrollado para ayudar a los ingenieros hidráulicos en el análisis de flujo de canal y determinación de llanura de inundación, está diseñado para el uso interactivo en un ambiente multitareas. El sistema está compuesto de una interfaz gráfica de usuario (GUI), módulos de análisis separados, módulos de almacenamiento y gestión de datos y módulos para visualizar gráficos, tablas y reportes de las salidas del modelo hidráulico (Brunner, Warner, Wolfe, & Piper, 2016).

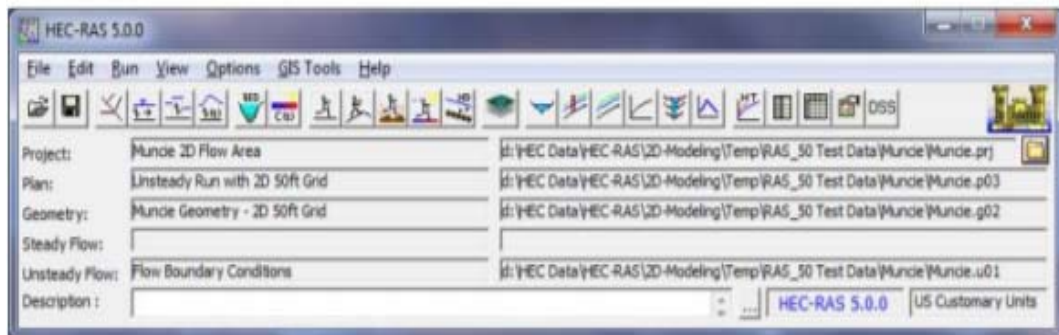


Figura 6: Interfaz gráfica de usuario (GUI)

Fuente: Elaboración propia

El programa tiene varias capacidades de ingreso de datos como componentes de análisis hidráulico, capacidades de almacenamiento y gestión de datos, capacidades gráficas de informes, flujo estacionario, flujo no estacionario unidimensional y bidimensional, transporte de sedimentos de flujos móviles casi no estacionarios o completamente estacionarios y análisis de calidad de agua.

El programa HEC-RAS es bastante utilizado para evaluar áreas susceptibles a una inundación, como por ejemplo las áreas inundadas del Río Tumbes analizadas en la presente investigación.

4.2.1. Datos de entrada utilizados

Los datos de entrada utilizados en el Modelo Hec-Ras son: el eje central del cause del rio, ambas márgenes del rio tanto izquierda como derecha , las secciones transversales y el DEM descargado de la zona de estudio.

En la presente investigacion, el DEM descargado de la zona de estudio tiene una resolucio de 12.5 x 12.5 metros y fue obtenido por el satelite alos pasar y descargado de la pagina web:

<https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=3.417¢er=-69.583,-15.275>

Los datos batimetría y distancia entre secciones transversales fueron tomados del estudio realizado por Senamhi en su evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico – hidráulico en Tumbes.

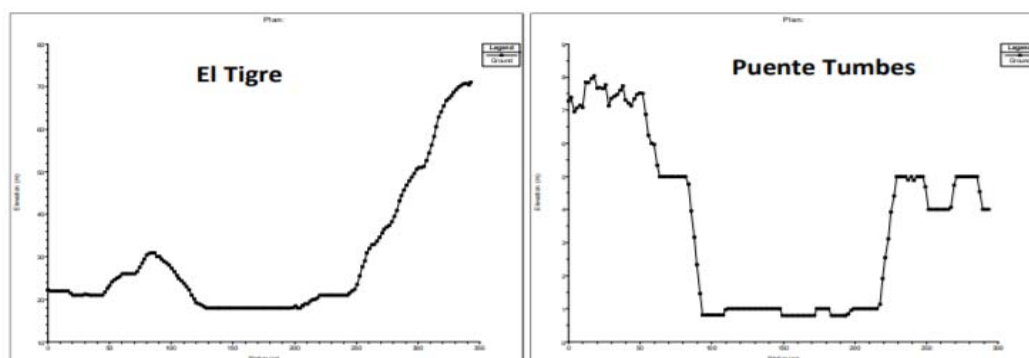


Figura 7: Datos iniciales para modelamiento hidráulico
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Periodo de retorno

El periodo de retorno es el lapso de tiempo o número de años que en promedio se cree que será igualado o excedido el fenómeno que está siendo estudiado, que puede ser una lluvia torrencial, temperaturas extremas, huracanes o inundaciones.

Para la presente investigación se tomaron 3 periodos de retorno. Estos fueron 5, 10 y 25 años. Esto es debido a que el evento donde se presenta el mayor caudal del Rio Tumbes es durante el fenómeno del Niño, la última vez que

sucedió fue en el año 2017 con un caudal algo menor a los 1200 m³/s, situación poco probable.

Tabla 8: Periodo de retorno

Periodo Retorno	Probabilidad	Predicción
500	0.998	2813.40
200	0.995	2485.16
100	0.99	2243.33
50	0.98	2005.88
25	0.96	1771.24
10	0.9	1460.90
5	0.8	1219.40
3	0.67	1030.05
2	0.5	863.31

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 8, el caudal presentado en el año 2017 durante el fenómeno del niño es muy similar al estimado para un periodo de retorno de 5 años.

Es debido a eso que elegimos ese periodo de tiempo como primer parámetro para nuestras estimaciones con el HEC-RAS. Luego utilizamos 10 y 25 años como medida de prevención en caso si se llegara a superar el caudal estimado para 5 años ya tendríamos un margen de error para estimar la inundación y crear adecuados planes de contingencia y mitigación de daños.

4.2.3. Procedimiento general de Modelación 2D en Hec-Ras 5.0.7

El procedimiento a seguir para realizar el modelamiento se detalla a continuación:

i. Creación del modelo base del terreno

Primero se debe crear el proyecto con la extensión “.prj”, luego abrir RAS Mapper. En la pestaña “Tools” definir la referencia espacial (“Set projection for project”) esto puede hacerse seleccionando un archivo base o explorando el directorio de ArcGIS (en el caso que esté instalado), luego cargar los archivos (raster) para crear la capa del terreno (“Add Map Layers”).

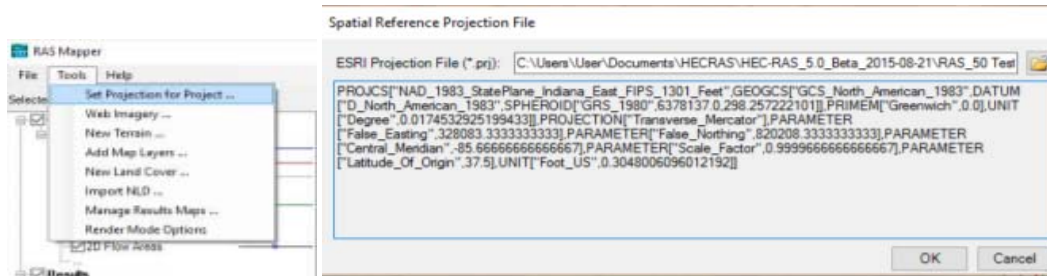


Figura 8: Creación del modelo base del terreno para modelamiento hidráulico
Fuente: Elaboración propia

ii. Uso de datos geométricos para modificar y/o mejorar el terreno

En RAS Mapper ha de activarse la capa de Geometría. También han de activarse las siguientes subcapas: River (línea central de corriente); Bank Line; XS (secciones transversales); y XS Interpolation Surface, luego para crear el modelo del canal dar clic derecho en la pestaña de geometría seleccionar “Export Layer” y luego “Create Terrain GeoTIFF from XS’s (channel only)”. El programa preguntará donde guardarlo y el tamaño de la celda raster.

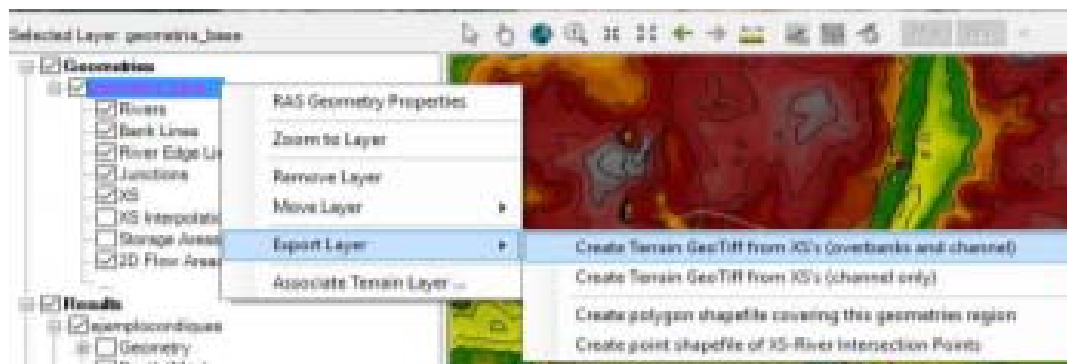


Figura 9: Creación del modelo base del terreno para modelamiento hidráulico
Fuente: Elaboración propia

iii. Creación de malla 2d y líneas de quiebre

Primero se tiene que dibujar el contorno poligonal del área de flujo 2D, esto se realiza en el editor de datos geométricos. Se crea manualmente dibujando el contorno punto por punto dando clic al botón sobre la capa base del terreno creado en los pasos anteriores.

Para mejorar el comportamiento del área de flujo 2D seleccione la herramienta “2D Area Breakline”, luego empiece a dar clic para añadir puntos. Haga doble clic para finalizar. Luego el software le preguntará

que introduzca un nombre para ella. Añada líneas de quiebre a lo largo de diques, carreteras, y cualquier terreno alto a lo largo del cual que desee alinear las caras de la malla.

Para crear una malla computacional del área de flujo 2D, seleccione el botón del editor de área de flujo 2D en el panel izquierdo del editor de geometría. En la siguiente ventana para crear los puntos de centros de celda y definir el espaciamiento dar clic en “Generate Computation points on regular Interval (with breaklines)”, para finalizar seleccionar “Generate Points in 2D Flow Area”. Al regresar a la ventana principal dar clic en OK y la malla se creará.

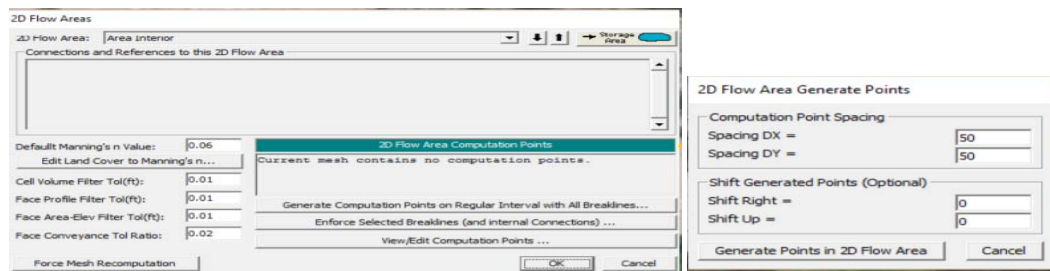


Figura 10: Creación de malla 2d y líneas de quiebre
Fuente: Elaboración propia

Los puntos se pueden editar con las herramientas de edición de la pestaña “edit”, al finalizar la malla se recalculará automáticamente.

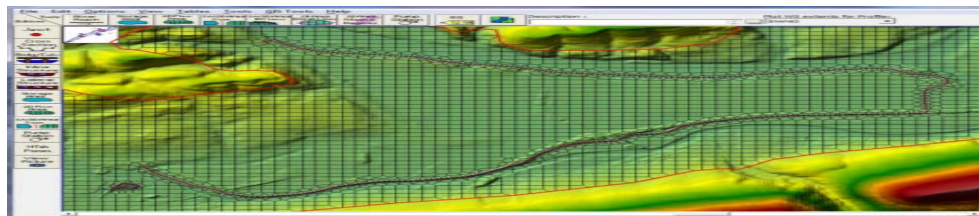


Figura 11: Vista de la malla, línea de quiebre, celdas y centros de celda.
Fuente: Elaboración propia

- iv. Creación de capa de rugosidad de manning variada espacialmente
HEC-RAS puede utilizar la información de cobertura para asignar valores de rugosidad n de Manning de manera areal. En RAS Mapper, en el menú “Tools”, seleccione “New Land Cover” o haga clic derecho en capas de mapa “Map Layers” y seleccione “Add New Land Cover Layer”. En La ventana “Land Cover Layer” seleccione los archivos de entrada (la grilla y los shapefiles) establezca su prioridad, seleccione el

sistema de nomenclatura y la ruta donde guardarlo. Luego que se ha creado la capa de cobertura asociarla con el terreno dando clic derecho en el terreno y seleccionando “Associate Terrain Layers”.

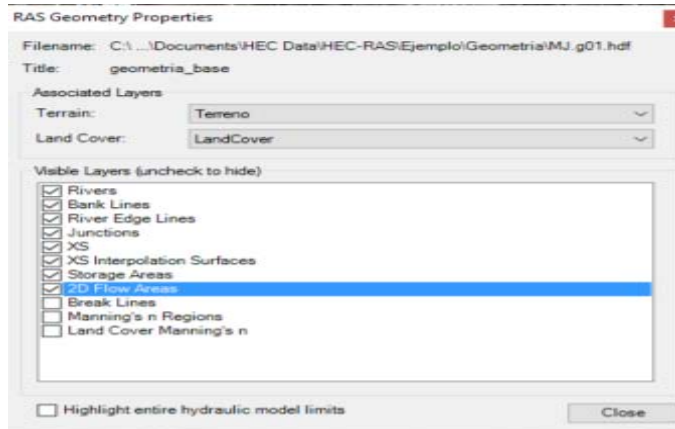


Figura 12: Geometry properties.
Fuente: Elaboración propia

En el menú “Tables” se pueden modificar los valores establecidos por defecto para las distintas clasificaciones de cobertura de suelo.

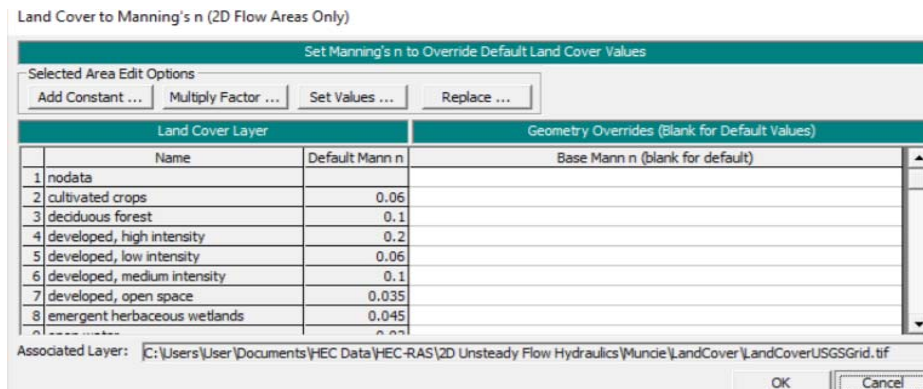


Figura 13: Land cover to Manning's (2D Flow Areas only)
Fuente: Elaboración propia

El usuario también tiene la opción de crear sus propias regiones de n de Manning, dando clic en “2D Mann n Regions” para dibujarlas.

- v. Crear y preprocesar las tablas de propiedades hidráulicas detalladas para celdas y caras de celda 2d

El pre-procesador de malla 2D calcula una relación detallada de elevación-volumen para cada celda. Cada cara de celda de una celda computacional es pre-procesada en tablas detalladas de propiedades hidráulicas (elevación vs perímetro mojado, área, rugosidad, etc.). Esto

permite al usuario utilizar celdas computacionales más grandes, mientras que mantiene los detalles del terreno subyacente.

Primero se tiene que asociar el archivo de geometría a la nueva capa de terreno dando clic derecho en la geometría y seleccionando “Manage Geometry Associations”

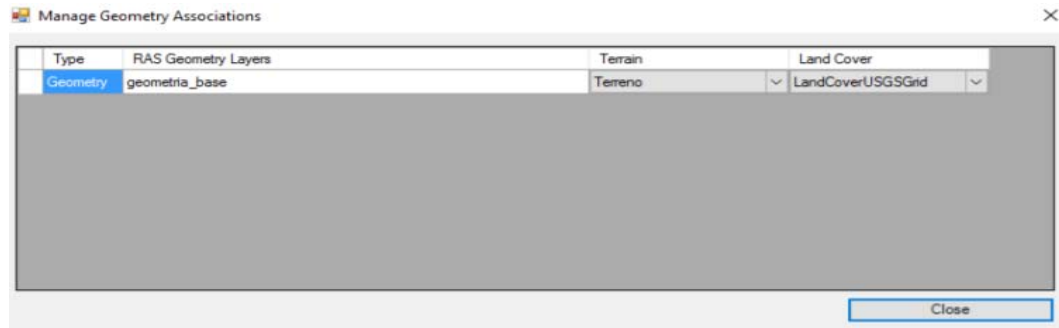


Figura 14: Manage Geometry Associations
Fuente: Elaboración propia

Luego seleccionar la opción “Compute 2D Flow Areas Hydraulic Tables” dando clic derecho en la pestaña “2D flow áreas” de RAS Mapper.

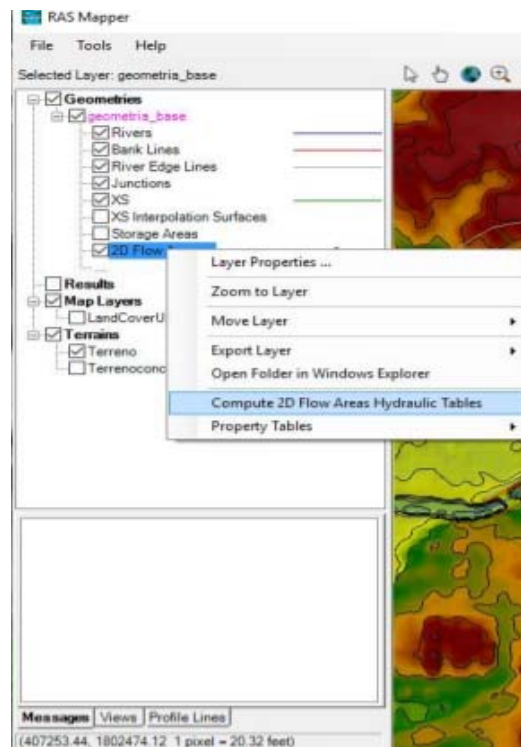


Figura 15: Compute 2D Flow areas hydraulic Tables
Fuente: Elaboración propia

Esta es la opción para preprocesar las celdas computacionales y caras de celda del área de flujo 2D en tablas detalladas sobre la base de los datos del terreno subyacente.

vi. Conectar áreas de flujo 2D a elementos hidráulicos 1D

HEC-RAS puede conectar áreas de flujo 2D a tramos de río 1D, estructuras hidráulicas, áreas de almacenamiento y otras áreas 2D, en el presente caso se hará una conexión a un dique lateral, el cual ha sido importado del ejemplo original. Las áreas de flujo 2D pueden ser utilizadas para modelar zonas detrás de diques o flujos de desbordamiento conectando un tramo de río 1D al área 2D utilizando una estructura lateral.

Para esto, seleccionar la estructura lateral y dar clic derecho para editar. El tipo se deja como “Area/2D flow area”. A continuación, para el campo de “SA / 2DFA”, seleccione el nombre del área de flujo 2D para ser conectado a la estructura lateral pulsando el botón “Set SA / 2DFA” y seleccionando el nombre del área de flujo 2D creado anteriormente.

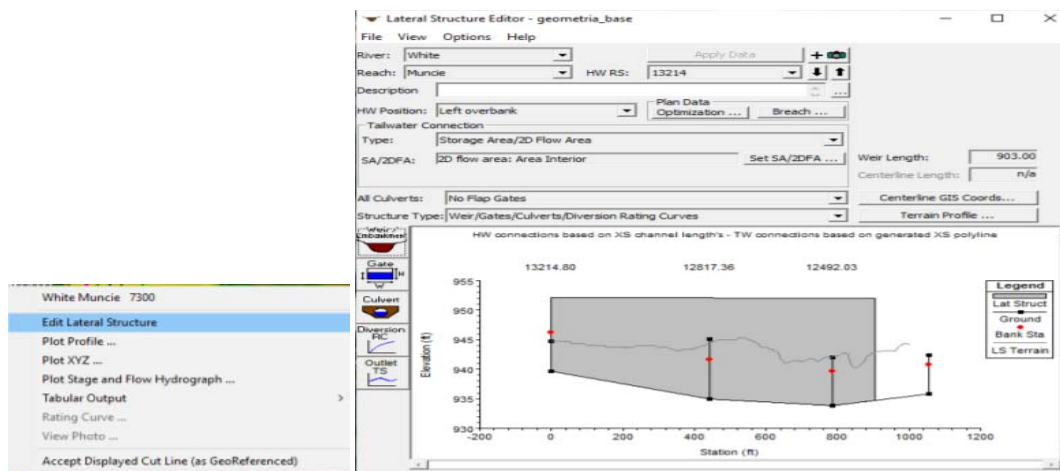


Figura 16: Imagen referencial para Geometry data – Edit lateral Structura

Fuente: Elaboración propia

Luego dar clic en el botón “Weir / Enbankment” para definir el perfil superior del terraplén, alinear la estructura con las secciones transversales del río y vincularlo a los puntos de las caras del área de flujo 2D.

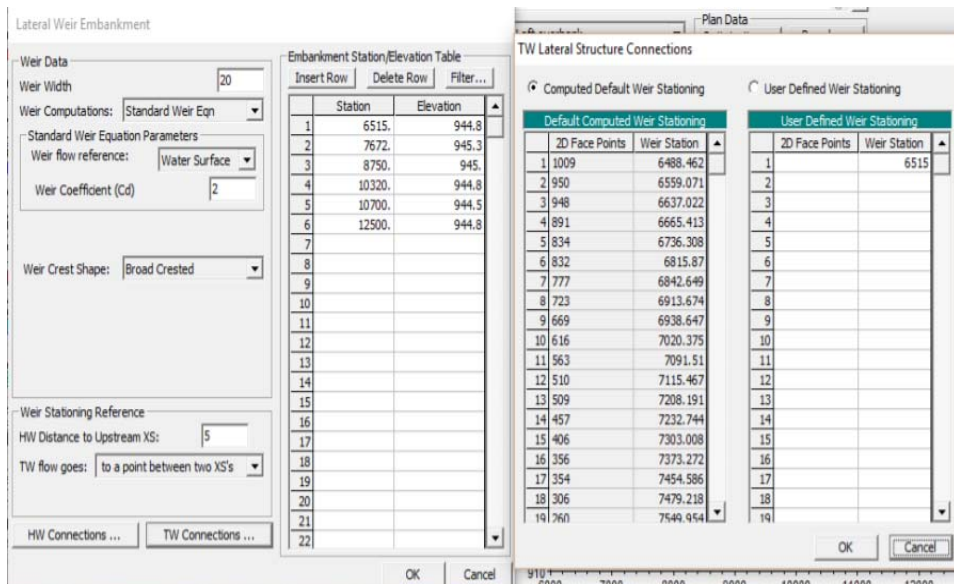



Figura 17: Imagen referencial para Geometry data – Edit lateral Weir data
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se hizo lo anterior, en la estructura lateral 1D y el área de flujo 2D, debería poder verse una línea gruesa de color negro en el límite de ambas. Esto significa que la vinculación se ha completado.

- vii. Definir las condiciones de borde, el plan de ejecución, las opciones de cálculo y las tolerancias.

En el presente ejemplo las condiciones de borde están en los extremos del tramo de río analizado. En la entrada se define el hidrograma de caudal, y en la salida la profundidad normal.

En el caso que desee incluir otras condiciones de borde externas, puede dibujarlas en el editor de datos geométricos con el botón .

El programa cuenta con 4 tipos de condiciones de borde 2D externa que se pueden asignar Hidrograma de caudal, hidrograma de nivel, profundidad normal y curva de gastos.

- viii. Ejecución del modelo y visualizar los resultados

Se procede al procesamiento del modelo una vez que se tienen definidas todas las condiciones iniciales y se visualizara los resultados para cada periodo de retorno a evaluar.

4.3. Modelo Hidráulico IBER

Es un software libre para la modelación hidráulica. Generando un modelo matemático bidimensional, que incluye un módulo hidrodinámico para la simulación de flujos de ríos, canales y cauces naturales, permite el cálculo de avenidas e inundaciones y también la delimitación de zonas inundables. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios.

IBER fue desarrollado por el equipo de investigación FLUMEN, del departamento de energía hidráulica, marítima y ambiental de la escuela técnica superior de caminos canales y puertos de la universidad politécnica de Cataluña.

IBER utiliza mallas irregulares de triángulos o cuadriláteros y en una dimensión agregan secciones transversales (canal principal y llanuras de inundación).

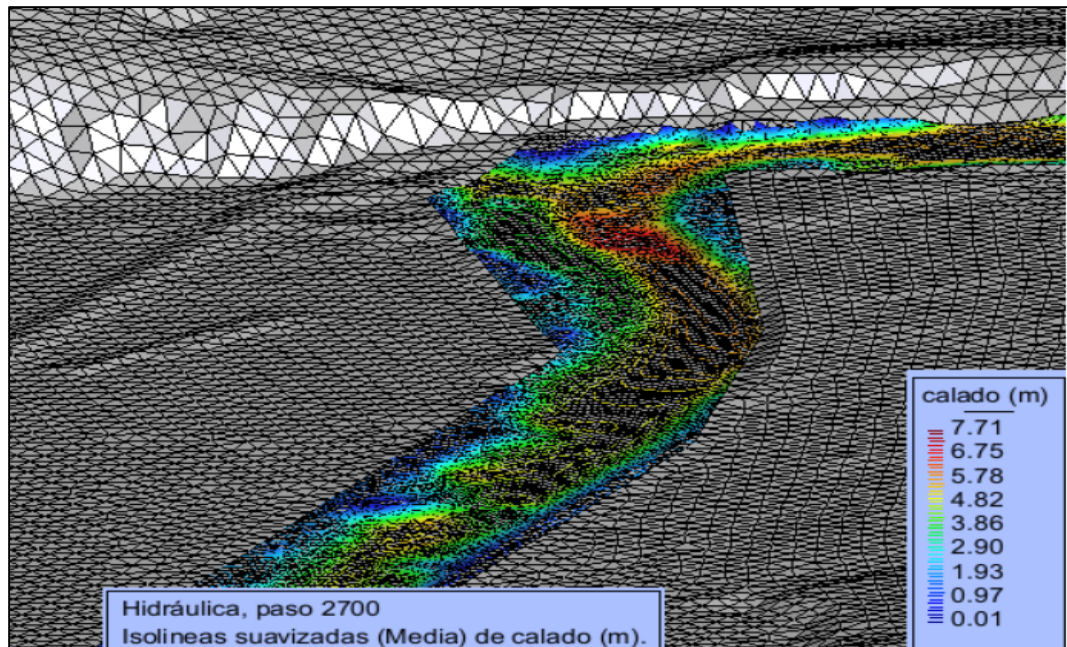


Figura 18: Imagen referencial para Geometry data
Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Datos de entrada utilizados

Los datos de entrada utilizados en el Modelo IBER son: el eje central del cause del rio, ambas márgenes del rio tanto izquierda como derecha, las secciones transversales y el DEM descargado de la zona de estudio.

En la presente investigacion, el DEM descargado de la zona de estudio tiene una resolucion de 12.5 x 12.5 metros y fue obtenido por el satelite alos palsar y descargado de la pagina web:

<https://search.asf.alaska.edu>

Los datos batimetría y distancia entre secciones transversales fueron tomados del estudio realizado por Senamhi en su evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico – hidráulico en Tumbes.

4.3.2. Periodo de retorno

El periodo de retorno es el lapso de tiempo o número de años que en promedio se cree que será igualado o excedido el fenómeno que está siendo estudiado, que puede ser una lluvia torrencial, temperaturas extremas, huracanes o inundaciones.

Para la presente investigación se tomaron 3 periodos de retorno. Estos fueron 5, 10 y 25 años. Esto es debido a que el evento donde se presenta el mayor caudal del Rio Tumbes es durante el fenómeno del Niño, la última vez que sucedió fue en el año 2017 con un caudal algo menor a los 1200 m³/s, situación poco probable.

De acuerdo a la tabla, el caudal presentado en el año 2017 durante el fenómeno del niño es muy similar al estimado para un periodo de retorno de 5 años.

Tabla 9: Periodos de Retorno

Periodo Retorno	Probabilidad	Predicción
500	0.998	2813.40
200	0.995	2485.16
100	0.99	2243.33
50	0.98	2005.88
25	0.96	1771.24
10	0.9	1460.90
5	0.8	1219.40
3	0.67	1030.05
2	0.5	863.31

Fuente: Elaboración propia

Para IBER utilizamos 10 y 25 años como medida de prevención en caso si se llegara a superar el caudal estimado para 5 años ya tendríamos un margen de error para estimar la inundación y crear adecuados planes de contingencia y mitigación de daños.

4.3.3. Procedimiento general de Modelación hidraulico 2D en IBER 2.5.2

- i. Primero elegimos un sitio web del cual se puede descargar el DEM seleccionado y procedemos a descargarlo

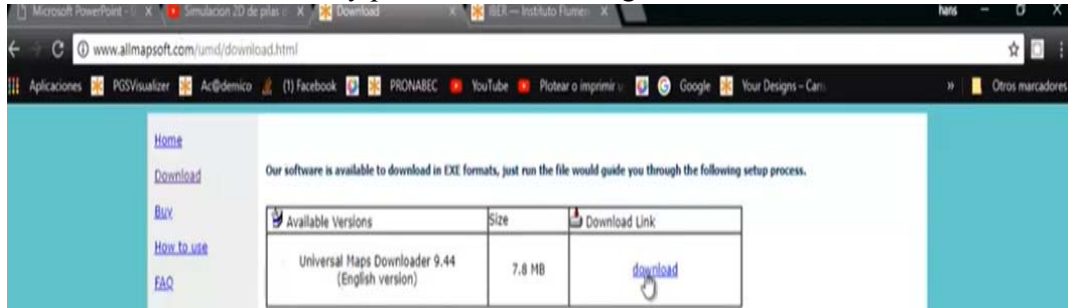


Figura 19: Descarga de DEM
Fuente: Elaboración propia

- ii. Se agrega la longitud y la latitud del poligono luego el satellite que usaremos para toma de la imagen .

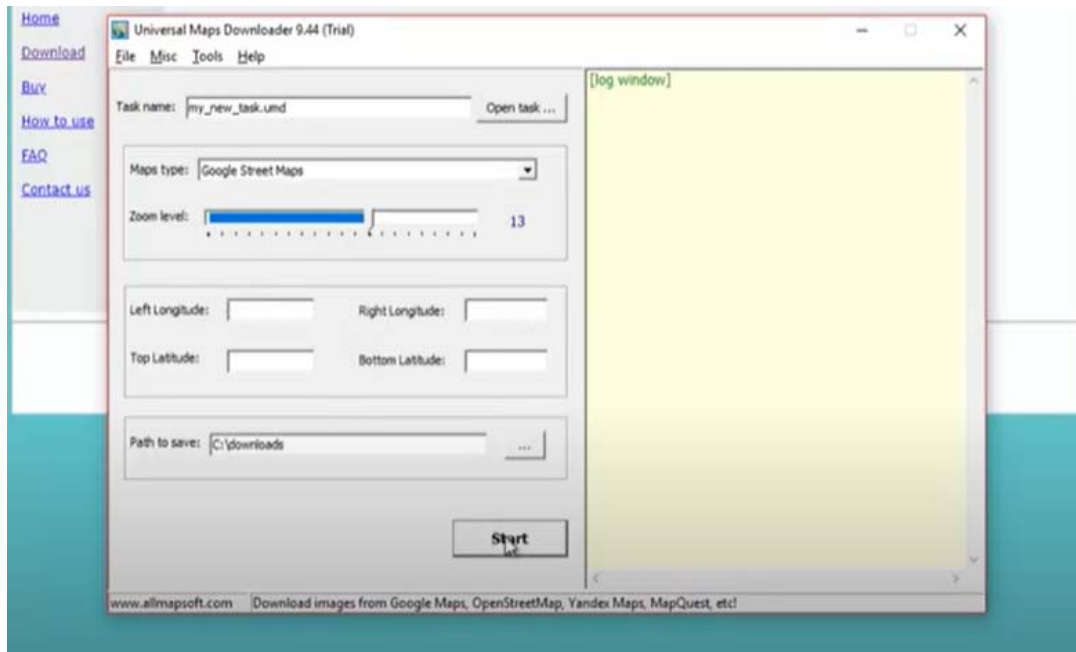


Figura 20: Condiciones de entrada para el Iber
Fuente: Elaboración propia

iii. Se carga la ortofoto elegida al programa

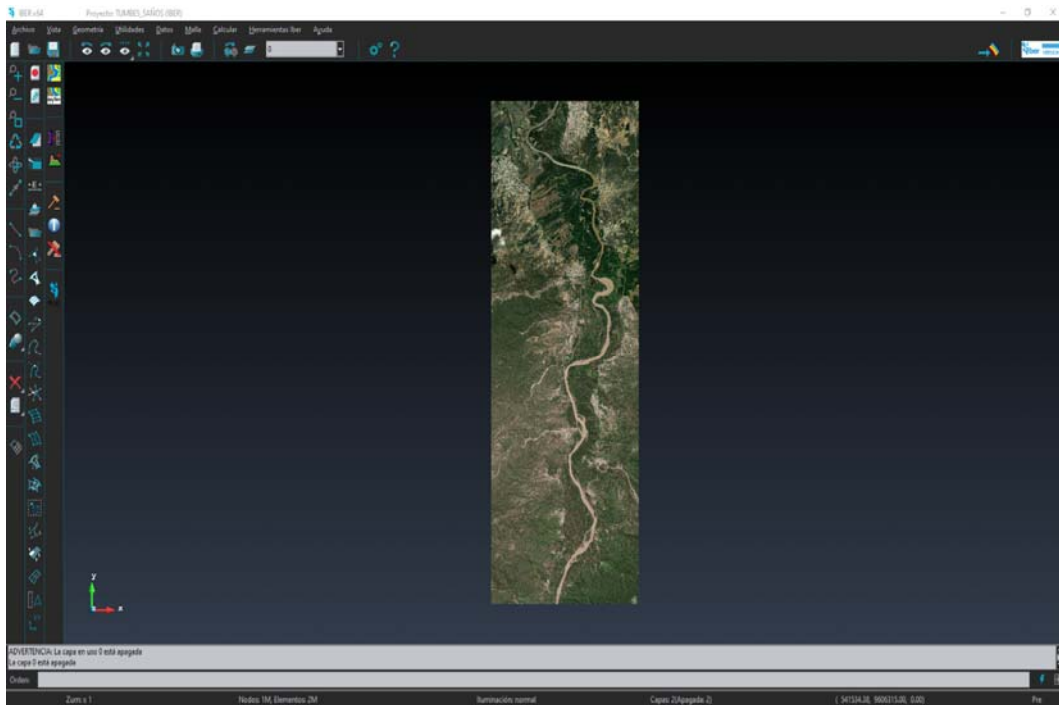


Figura 21: Ingreso de datos - Ortofoto
Fuente: Elaboración propia

iv. Se procede a trazado de líneas del río , de esta forma se dibuja la geometría del modelo y líneas para la superficie

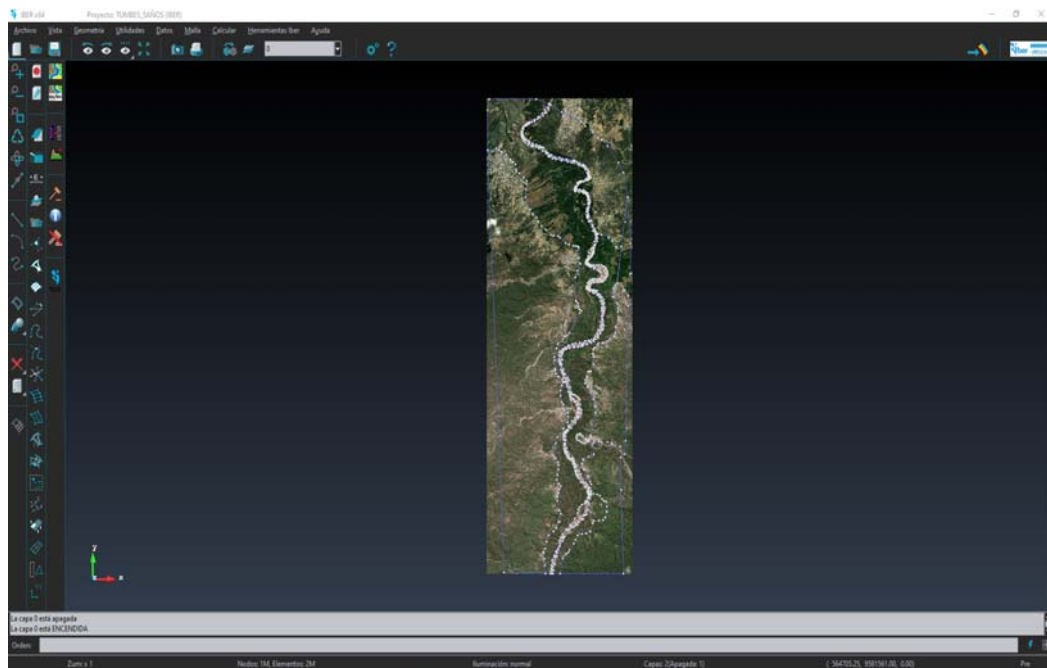


Figura 22: Trazado de líneas – Geometría
Fuente: Elaboración propia

Detalle de líneas dibujadas



Figura 23: Detalle de líneas – Geometria
Fuente: Elaboración propia

v. Se genera superficie de geometria

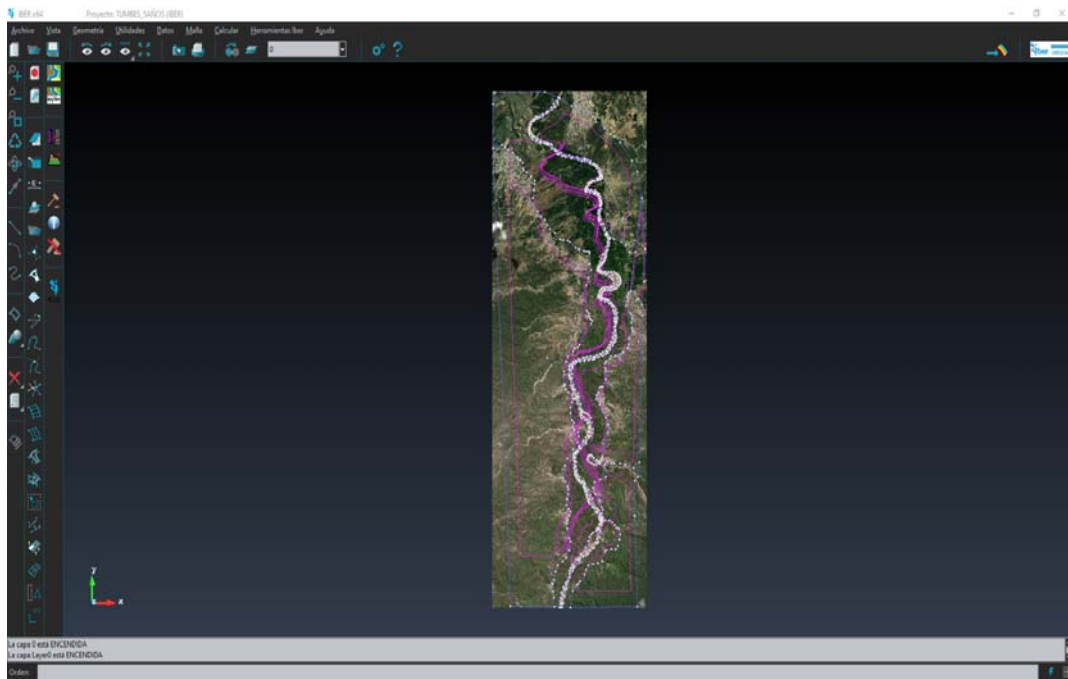


Figura 24: Se genera superficie – Geometria
Fuente: Elaboración propia

- vi. Se asigna entrada de agua inlet al inicio del cause y outlet a la salida del contorno

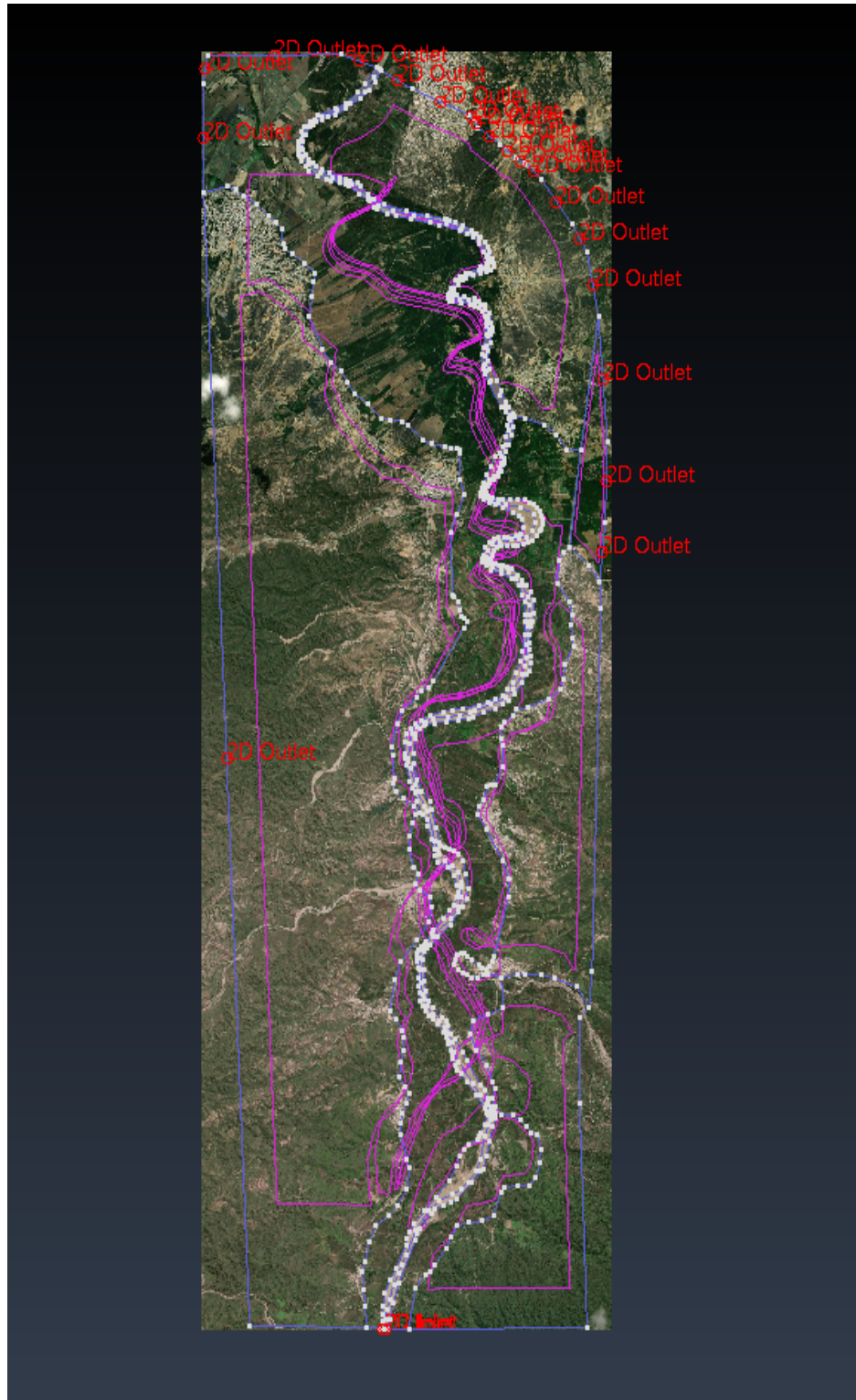


Figura 25: Asignación entrada de agua inlet al inicio del cause y outlet a la salida del contorno
Fuente: Elaboración propia

vii. Se le asigna hidrograma

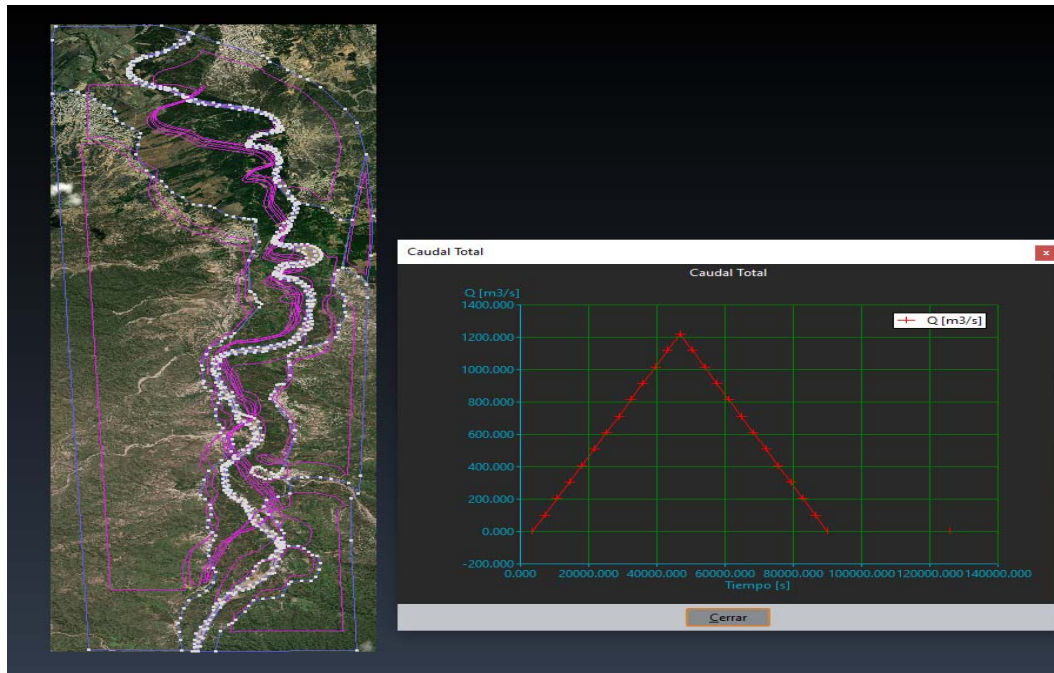


Figura 26: Asignación de hidrograma
Fuente: Elaboración propia

viii. Se le asigna salida de flujo sub critico

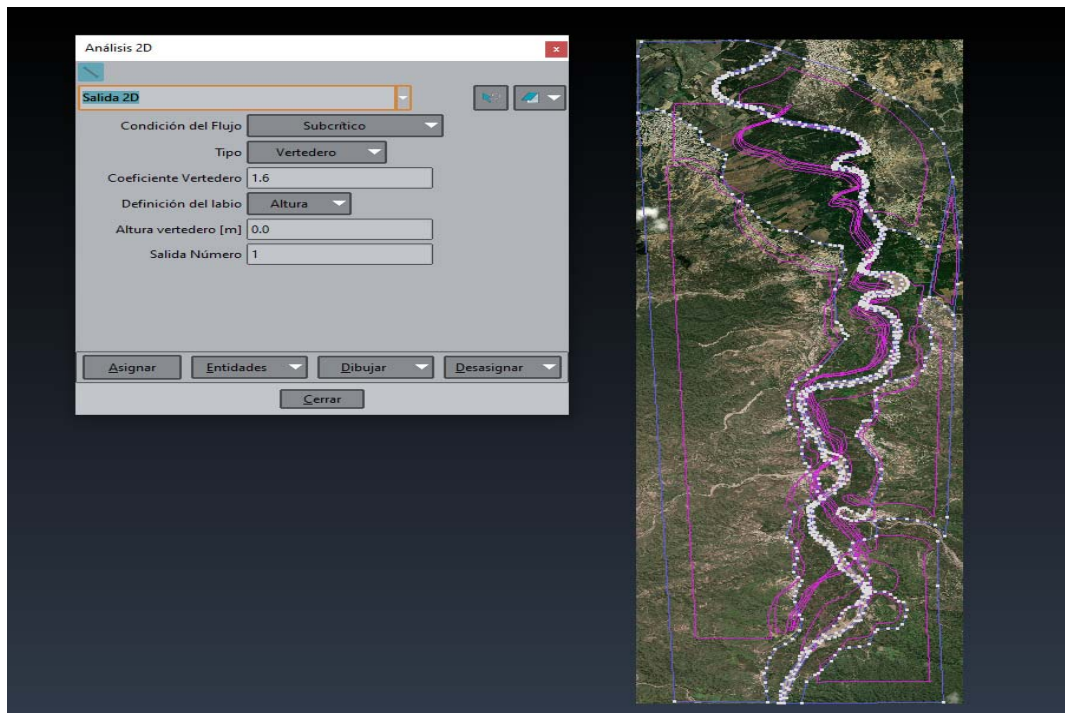


Figura 27: Asignación de salida de flujo sub critico
Fuente: Elaboración propia

ix. Se genera la malla

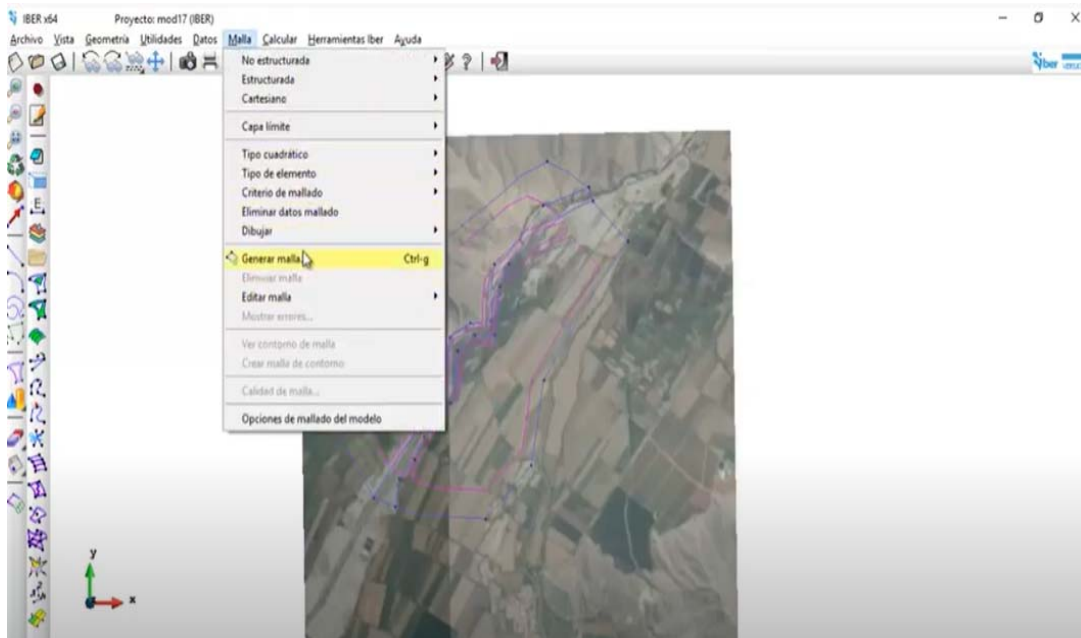


Figura 28: Generación de malla
Fuente: Elaboración propia

x. Valor del tamaño de la malla 12.5

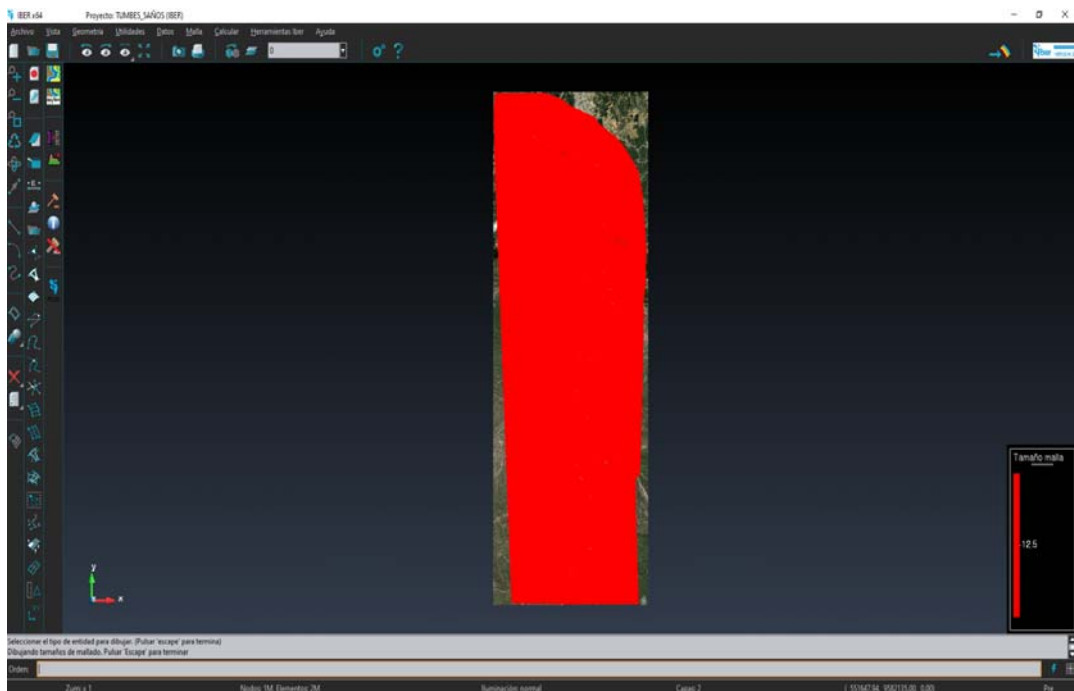


Figura 29: Asignación de tamaño de la malla 12.5
Fuente: Elaboración propia

xi. vista de malla sin elevar

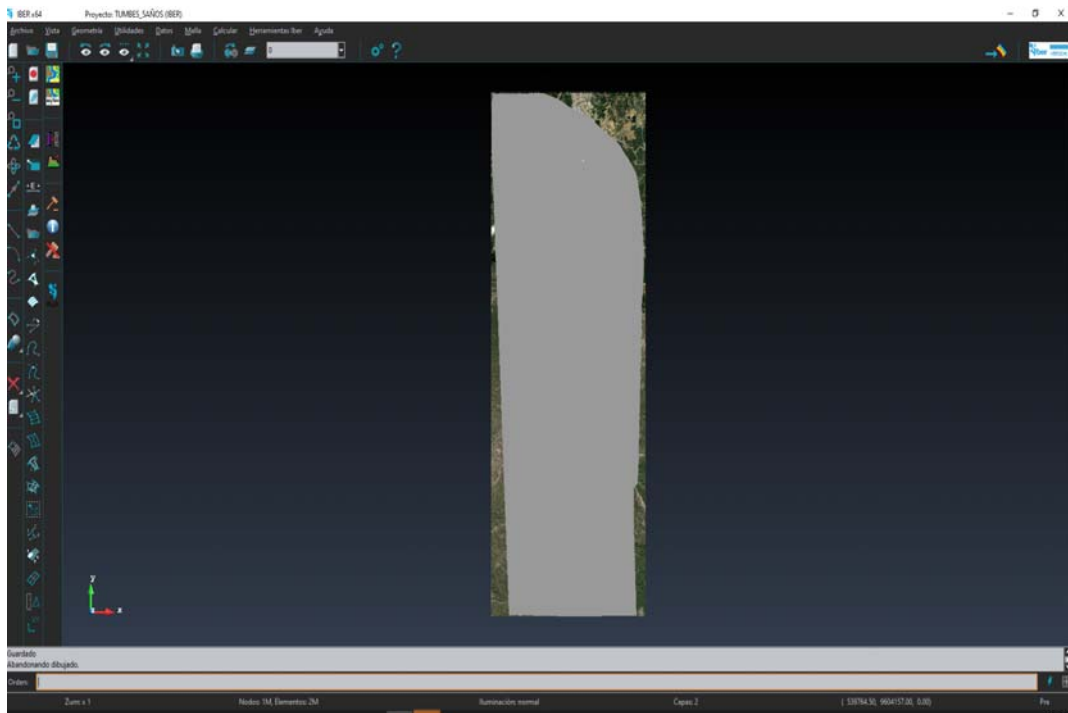


Figura 30: Vista de malla sin elevar
Fuente: Elaboración propia

xii. Vista de la malla elevada

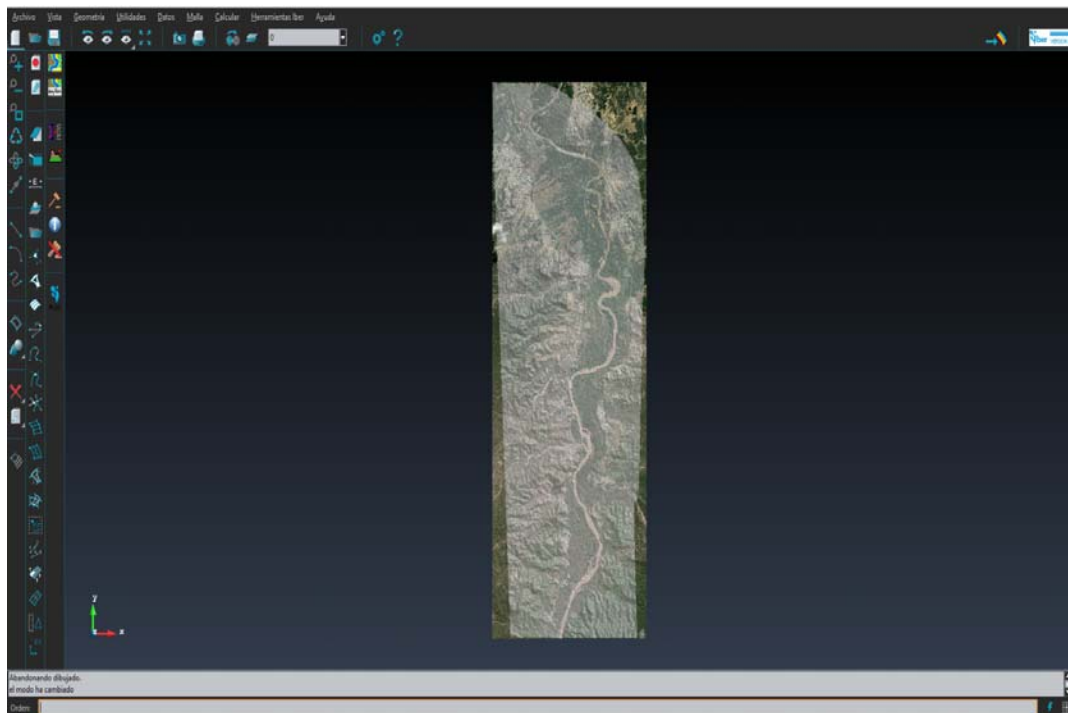


Figura 31: Vista de malla elevada
Fuente: Elaboración propia

xiii. Vista de los resultados de topografía malla por colores

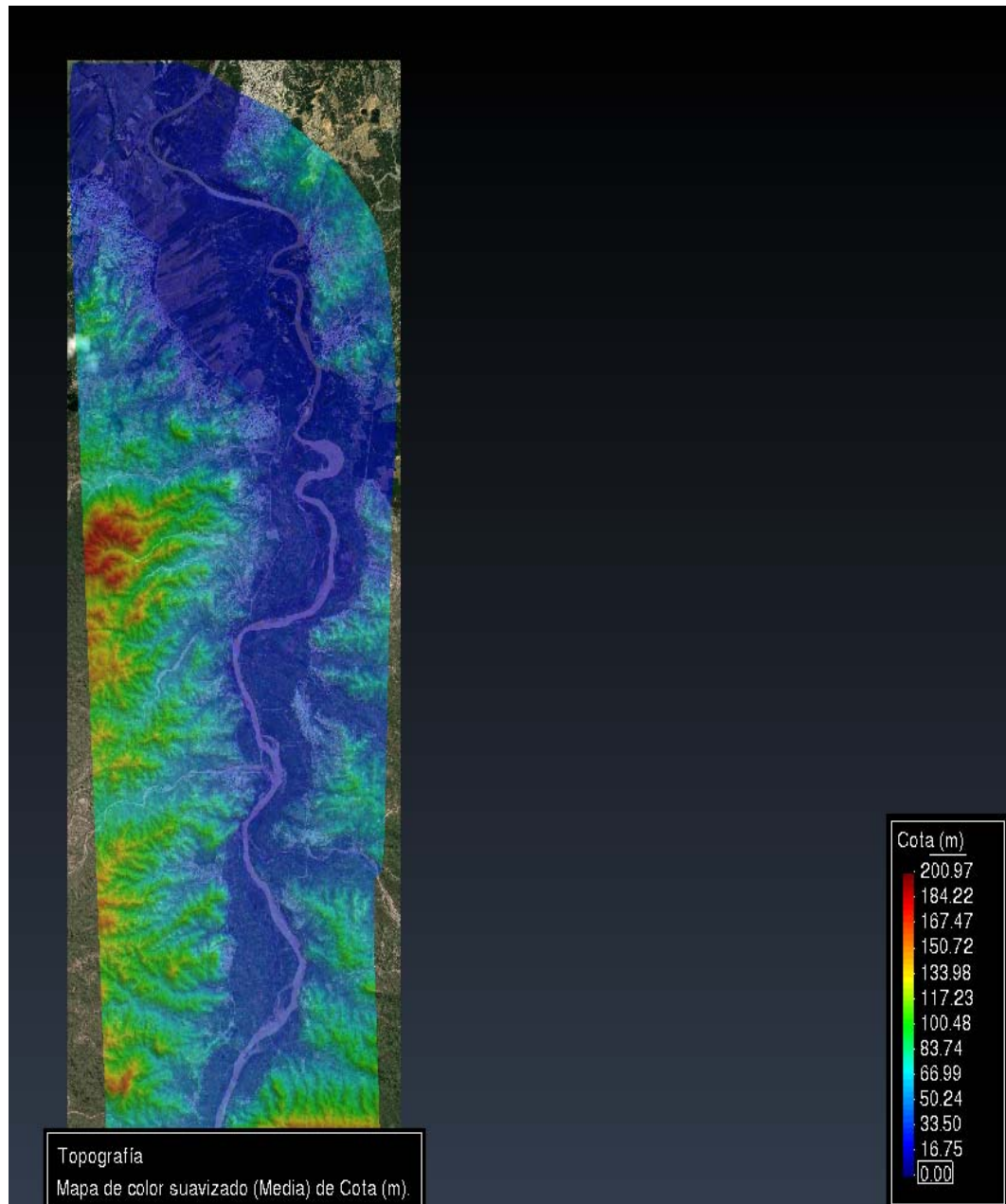


Figura 32: Resultados de la topografía mostrando malla por colores
Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis de peligro

Según el manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión elaborado por el CENEPRED se realizó el procedimiento establecido para el análisis del peligro, a continuación, se muestran las tablas:

4.4.1. Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundaciones

Tabla 10: Precipitaciones anómalas positivas

Parámetro	Velocidad de desplazamiento	Peso ponderado: 0.260		
Descriptores	PAP 1	Anomalía de precipitación mayor a 300 % con respecto al promedio mensual multianual	PPAP 1	0.503
	PAP 2	Anomalía de precipitación de 100 % a 300 % con respecto al promedio mensual multianual	PPAP 2	0.260
	PAP 3	Anomalía de precipitación 50 % a 100% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP 3	0.134
	PAP 4	Anomalía de precipitación de 10 a 50% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP 4	0.068
	PAP 5	Anomalía de precipitación menor al 10% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP 5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014, pág. 77

Tabla 11: Cercanía a una fuente de agua

Parámetro	Cercanía a una fuente de agua	Peso ponderado: 0.106		
Descriptores	CA 1	Menor a 20m	PCA 1	0.503
	CA 2	Entre 20 a 100m	PCA 2	0.260
	CA 3	Entre 100 a 500m	PCA 3	0.134
	CA 4	Entre 500 a 1000m	PCA 4	0.068
	CA 5	Mayor a 1000m	PCA 5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014, pág. 78

Tabla 12: Intensidad media en una hora (mm/h)

Parámetro	Intensidad media en una hora (mm/h)	Peso ponderado: 0.633		
Descriptores	IM 1	Torrenciales: mayor a 60	PIM 1	0.503
	IM 2	Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60	PIM 2	0.260
	IM 3	Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30	PIM 3	0.134
	IM 4	Moderadas: Mayor a 2 y Menor o igual a 15	PIM 4	0.068
	IM 5	Débiles: Menor o igual a 2	PIM 5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014, pág. 79

4.4.2. Identificación de parámetros y descriptores que son susceptibles al fenómeno de estudio

Tabla 13: Relieve

Parámetro	Relieve	Peso ponderado: 0.145		
Descriptores	Y 1	Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares	PY 1	0.503
	Y 2	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas	PY 2	0.260
	Y 3	Relieve rocoso, escarpado y empinado, el ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY 3	0.134
	Y 4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY 4	0.068
	Y 5	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica	PY 5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014, pág. 79

Tabla 14 Tipo de suelo

Parámetro	Tipo de suelo	Peso ponderado: 0.145		
Descriptores	Y6	Rellenos sanitarios	PY6	0.503
	Y7	Arena Eólica y/o limo (con agua)	PY7	0.260
	Y8	Arena Eólica y/o limo (sin agua)	PY8	0.134
	Y9	Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial	PY9	0.068
	Y10	Afloramiento rocoso y estratos de grava	PY10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, CENEPRED, 2014, pág. 79

Tabla 15: Cobertura vegetal

Parámetro	Cobertura vegetal	Peso ponderado: 0.058		
Descriptores	Y11	70 - 100%	PY11	0.503
	Y12	40 - 70%	PY12	0.26
	Y13	20 - 40%	PY13	0.134
	Y14	5 - 20%	PY14	0.068
	Y15	0 - 5%	PY15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 104 (2014)

Tabla 16: Uso actual de suelos

Parámetro	Uso actual de Suelos	Peso ponderado: 0.282		
Descriptores	Y16	Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirven para su normal funcionamiento	PY16	0.503
	Y17	Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentre en descanso como los barbechos que se encuentran improductivas por periodos determinados.	PY17	0.26
	Y18	Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc.	PY18	0.134
	Y19	Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias	PY19	0.068
	Y20	Sin uso improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad	PY20	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 105 (2014)

- Factores desencadenantes del fenómeno en estudio:

Tabla 17: Hidrometeorológicos

Parámetro	Hidrometeorológicos	Peso ponderado: 0.106		
Descriptores	SH1	Lluvias	PSH1	0.503
	SH2	Temperatura	PSH2	0.26
	SH3	Viento	PSH3	0.134
	SH4	Humedad del aire	PSH4	0.068
	SH5	Brillo Solar	PSH5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 105 (2014)

Tabla 18: Geológico

Parámetro	Geológico	Peso ponderado: 0.260		
Descriptores	SG1	Colisión de placas tectónicas	PSG1	0.503
	SG2	Zonas de actividad volcánica	PSG2	0.26
	SG3	Fallas geológicas	PSG3	0.134
	SG4	Movimientos en masas	PSG4	0.068
	SG5	Desprendimiento de grandes bloques (rocas, hielo, etc)	PSG5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 105 (2014)

Tabla 19: Inducido por la acción humana

Parámetro	Inducido por la acción humana	Peso ponderado: 0.633		
Descriptores	SI1	Actividades económicas	PSI1	0.503
	SI2	Sobre explotación de recursos naturales	PSI2	0.26
	SI3	Infraestructura	PSI3	0.134
	SI4	Asentamientos humanos	PSI4	0.068
	SI5	Crecimientos demográficos	PSI5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 106 (2014)

4.4.3. Determinación del nivel de peligro

4.4.3.1. Descriptores para cuantificación del fenómeno de inundación

Según la información procesada por Mendoza (2017), se determinó que la variación de precipitaciones positivas respecto al promedio multianual, observado en el registro de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y las variaciones de precipitaciones registradas en el SENAMHI, es menor al 10%.

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el valor del parámetro de fenómeno de inundación:

$$\sum_{i=1}^n \text{Parámetro de Fenómeno}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

Ecuación 21

Según la ecuación 21 del fenómeno de inundación, el valor resulta:
 $0.26 \times 0.134 + 0.106 \times 0.503 + 0.633 \times 0.068 = 0.131$

4.4.3.2. Descriptores susceptibles al fenómeno de estudio

Factores condicionantes y desencadenante:

$$\sum_{i=1}^n \text{Parámetro}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

Ecuación 22

Según la ecuación 22 del factor condicionante, el valor resulta:

$$0.145 \times 0.035 + 0.515 \times 0.068 + 0.058 \times 0.134 + 0.282 \times 0.26 = 0.121$$

Así mismo mediante la ecuación 22 se determina del factor desencadenante, cuyo valor resulta:

$$0.106 \times 0.503 + 0.26 \times 0.068 + 0.633 \times 0.068 = 0.114$$

Susceptibilidad:

$$\text{Fac. Condicionante} * \text{Peso} + \text{Fac. Desencadenante} * \text{Peso} = \text{Valor}$$

Ecuación 23

El peso para ambos está definido por el CENEPRED, siendo 0.5

De acuerdo con la ecuación 23 se establece el valor:

$$0.121 \times 0.5 + 0.114 \times 0.5 = 0.118$$

Peligro:

$$\text{Fenómeno} * \text{Peso} + \text{Susceptibilidad} * \text{Peso} = \text{Valor}$$

Ecuación 24

Tabla 20: Peligro

Fenómeno de Inundación		Susceptibilidad		Valor
valor	peso	valor	peso	
0.131	0.5	0.118	0.5	0.125

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta el resultado obtenido, en base a la Tabla 5, se define como PELIGRO MEDIO.

4.5. Análisis de vulnerabilidad

4.5.1. Elementos expuestos sociales, económicos y ambientales

- Exposición social

Tabla 21: Grupo etario

Parámetro	Grupo etario	Peso ponderado: 0.260		
Descripciones	ES1	De 0 a 5 años y mayor a 65 años	PES1	0.503
	ES2	De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	PES2	0.26
	ES3	De 12 a 15 años y de 50 a 60 años	PES3	0.134
	ES4	De 15 a 30 años	PES4	0.068
	ES5	De 30 a 50 años	PES5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 125 (2014)

Tabla 22: Servicios educativos expuestos

Parámetro	Servicios educativos expuestos	Peso ponderado: 0.160		
Descriptores	ES6	>75% del servicio educativo expuesto	PES6	0.503
	ES7	≤75% y >50% del servicio educativo expuesto	PES7	0.26
	ES8	≤50% y >25% del servicio educativo expuesto	PES8	0.134
	ES9	≤25% y >10% del servicio educativo expuesto	PES9	0.068
	ES10	≤ y >10% del servicio educativo expuesto	PES10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 125 (2014)

Tabla 23: Servicios de salud terciarios

Parámetro	Servicios de salud terciarios	Peso ponderado: 0.633		
Descriptores	ES11	>75% del servicio de salud terciario	PES11	0.503
	ES12	≤75% y >50% del servicio de salud terciario	PES12	0.26
	ES13	≤50% y >25% del servicio de salud terciario	PES13	0.134
	ES14	≤25% y >10% del servicio de salud terciario	PES14	0.068
	ES15	≤ y >10% del servicio de salud terciario	PES15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 125 (2014)

- Fragilidad social

Tabla 24: Material de construcción de las edificaciones

Parámetro	Material de construcción de las edificaciones	Peso ponderado: 0.43		
Descriptores	FS1	Estera / cartón	PFS1	0.503
	FS2	Madera	PFS2	0.26
	FS3	Quincha (caña con barro)	PFS3	0.134
	FS4	Adobe o Tapial	PFS4	0.068
	FS5	Ladrillo o bloque de cemento	PFS5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 125 (2014)

Tabla 25: Estado de conservación de la edificación

Parámetro	Estado de conservación de la edificación	Peso ponderado: 0.317		
Descriptores	FS6	MUY MALO: Las edificaciones en que las estructuras presentan un deterioro tal que hace presumir su colapso.	PFS6	0.503
	FS7	MALO: Las edificaciones no reciben mantenimiento regular, cuya estructura acusa deterioros que la comprometen, aunque sin peligro de desplome y los acabados e instalaciones tienen visibles desperfectos.	PFS7	0.26
	FS8	REGULAR: Las edificaciones que reciben mantenimiento esporádico, cuyas estructuras no tienen deterioro y si lo tienen, no lo comprometen y es subsanable, o que los acabados e instalaciones tienen deterioro visible debido al mal uso	PFS8	0.134
	FS9	BUENO: Las edificaciones reciben mantenimiento permanente y solo tienen ligeros deterioros en los acabados debido al uso normal.	PFS9	0.068
	FS10	MUY BUENO: Las edificaciones reciben mantenimiento permanente y que no presentan deterioro alguno	PFS10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 125 (2014)

Tabla 26: Antigüedad de construcción de la edificación

Parámetro	Antigüedad de construcción de la edificación	Peso ponderado: 0.042		
Descriptores	FS11	De 40 a 50 años	PFS11	0.503
	FS12	De 30 a 40 años	PFS12	0.26
	FS13	De 20 a 30 años	PFS13	0.134
	FS14	De 10 a 20 años	PFS14	0.068
	FS15	De 5 a 10 años	PFS15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 126 (2014)

Tabla 27: Configuración de elevación de las edificaciones

Parámetro	Configuración de elevación de las edificaciones	Peso ponderado: 0.078		
Descriptores	FS16	5 Pisos	PS16	0.503
	FS17	4 Pisos	PS17	0.26
	FS18	3 Pisos	PS18	0.134
	FS19	2 Pisos	PS19	0.068
	FS20	1 Pisos	PS20	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 126 (2014)

Tabla 28: Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente

Parámetro	Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	Peso ponderado: 0.131	
Descriptores	FS21	80 - 100%	PS21 0.503
	FS22	60 - 80%	PS22 0.26
	FS23	40 - 60%	PS23 0.134
	FS24	20 - 40%	PS24 0.068
	FS25	0 - 20%	PS25 0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 126 (2014)

- Resiliencia social

Tabla 29: Capacitación en temas de gestión de riesgo

Parámetro	Capacitación en temas de gestión del riesgo	Peso ponderado: 0.285	
Descriptores	RS1	La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en tema concerniente a gestión de riesgo	PRS1 0.503
	RS2	La población esta escasamente capacitada en temas concernientes a Gestión de Riesgos, siendo su difusión y cobertura escasa.	PRS2 0.26
	RS3	La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Gestión de Riesgos, siendo su difusión y cobertura mayoritaria	PRS3 0.134
	RS4	La población se capacita constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgos, siendo su difusión y cobertura total	PRS4 0.068
	RS5	La población se capacita constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgos, actualizándose, participando en simulacros, siendo su difusión y cobertura total	PRS5 0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 127 (2014)

Tabla 30: Conocimiento local sobre ocurrencias pasadas

Parámetro	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Peso ponderado: 0.152	
Descriptores	RS6	Existe desconocimiento de toda la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	PRS6 0.503
	RS7	Existe un escaso conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	PRS7 0.26
	RS8	Existe un regular conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres	PRS8 0.134
	RS9	La mayoría de población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres	PRS9 0.068
	RS10	Toda la población tiene conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres	PRS10 0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 127 (2014)

Tabla 31: Existencia de normatividad política y local

Parámetro	Existencia de normatividad política y local	Peso ponderado: 0.096		
Descriptores	RS11	El soporte legal que ayuda a la reducción del riesgo del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio genera efectos negativos a su desarrollo. No existen instrumentos legales locales, que apoyen en la reducción del riesgo (ejemplo: ordenanzas municipales).	PRS11	0.503
	RS12	El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se presenta en casi todo el territorio	PRS12	0.26
	RS13	El soporte legal del territorio que ayuda a la reducción del riesgo del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se cumple ocasionalmente. Existe un interés tenue en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en una importante parte de todo el territorio donde se encuentra el área en estudio. Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres han sido o están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero nunca se implementarán.	PRS13	0.134
	RS14	El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se cumple regularmente. Existe un interés en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en una importante parte de todo el territorio donde se encuentra puntualmente. Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres han sido o están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero nunca se implementarán	PRS14	0.068
	RS15	El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se llega a cumplir de manera estricta. El desarrollo planificado del territorio es un eje estratégico de desarrollo. Se aplican acciones de ordenamiento o reordenamiento territorial. Siempre las acciones de prevención y/o mitigación de desastres están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo (o se vienen implementando).	PRS15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 128 (2014)

Tabla 32: Actitud frente al riesgo

Parámetro	Actitud frente al riesgo	Peso ponderado: 0.421		
Descriptores	RS16	Actitud fatalista, conformista y con desidia de la mayoría de la población.	PRS16	0.503
	RS17	Actitud escasamente previsor de la mayoría de la población	PRS17	0.26
	RS18	Actitud parcialmente previsor de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo, sin implementación de medidas para prevenir el riesgo.	PRS18	0.134
	RS19	Actitud parcialmente previsor de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo e implementando escasas medidas para prevenir riesgo	PRS19	0.068
	RS20	Actitud previsor de toda la población, implementando diversas medidas para prevenir el riesgo.	PRS20	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 128 (2014)

Tabla 33: Campaña de difusión

Parámetro	Campañas de difusión	Peso ponderado:	
		0.421	
Descriptores	RS21	No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión de Riesgo para la población local.	PRS21 0.503
	RS22	Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo, existiendo desconocimiento de la mayoría de la población	PRS22 0.260
	RS23	Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo, existiendo el conocimiento de un gran sector de la población	PRS23 0.134
	RS24	Difusión masiva y frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo, existiendo el conocimiento total de la población	PRS24 0.068
	RS25	Difusión masiva y frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo, existiendo el conocimiento y participación total de la población y autoridades	PRS25 0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 129 (2014)

- Exposición económica

Tabla 34: Localización de la edificación

Parámetro	Localización de la edificación	Peso ponderado:	
		0.318	
EE1	Muy cercana 0 km - 0.2 km	PEE1	0.503
EE2	Cercana 0.2 - 1 km	PEE2	0.26
EE3	Medianamente cerca 1 - 3 km	PEE3	0.134
EE4	Alejada 3 - 5 km	PEE4	0.068
EE5	Muy alejada > 5 km	PEE5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 130 (2014)

Tabla 35: Servicio básico de agua potable y saneamiento

Parámetro	Servicio básico de agua potable y saneamiento	Peso ponderado:	
		0.219	
EE6	>75% del servicio expuesto	PEE6	0.503
EE7	≤75% y >50% del servicio expuesto	PEE7	0.26
EE8	≤50% y >25% del servicio expuesto	PEE8	0.134
EE9	≤25% y >10% del servicio expuesto	PEE9	0.068
EE10	≤ y >10% del servicio expuesto	PEE10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 130 (2014)

Tabla 36: Servicios de las empresas de transporte expuesto

Parámetro	Servicio de empresas de transporte expuesto	Peso ponderado:	
		0.089	
EE21	>75% del servicio expuesto	PEE21	0.503
EE22	≤75% y >50% del servicio expuesto	PEE22	0.260
EE23	≤50% y >25% del servicio expuesto	PEE23	0.134
EE24	≤25% y >10% del servicio expuesto	PEE24	0.068
EE25	≤ y >10% del servicio expuesto	PEE25	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 130 (2014)

Tabla 37: Área agrícola

Parámetro	Área Agrícola	Peso ponderado: 0.121		
Descriptores	EE26	>75% del servicio expuesto	PEE26	0.503
	EE27	≤75% y >50% del servicio expuesto	PEE27	0.260
	EE28	≤50% y >25% del servicio expuesto	PEE28	0.134
	EE29	≤25% y >10% del servicio expuesto	PEE29	0.068
	EE30	≤ y >10% del servicio expuesto	PEE30	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 131 (2014)

Tabla 38: Servicios de telecomunicaciones

Parámetro	Servicio de telecomunicaciones	Peso Ponderado: 0.050		
Descriptores	EE31	>75% del servicio expuesto	PEE31	0.503
	EE32	≤75% y >50% del servicio expuesto	PEE32	0.260
	EE33	≤50% y >25% del servicio expuesto	PEE33	0.134
	EE34	≤25% y >10% del servicio expuesto	PEE34	0.068
	EE35	≤ y >10% del servicio expuesto	PEE35	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 131 (2014)

- Fragilidad económica

Tabla 39: Material de construcción de la edificación

Parámetro	Material de construcción de las edificaciones	Peso ponderado: 0.386		
Descriptores	FE1	Estera/cartón	PFE1	0.503
	FE2	Madera	PFE2	0.260
	FE3	Quincha (caña con barro)	PFE3	0.134
	FE4	Adobe o tapia	PFE4	0.068
	FE5	Ladrillo o bloque de cemento	PFE5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 131 (2014)

Tabla 40: Estado de conservación de las edificaciones

Parámetro	Estado de conservación de las edificaciones	peso ponderado: 0.386	
FE6	MUY MALO: Las edificaciones en que las estructuras presentan un deterioro tal que hace presumir su colapso.	PFE6	0.503
FE7	MALO: Las edificaciones no reciben mantenimiento regular, cuya estructura acusa deterioros que la comprometen, aunque sin peligro de desplome y los acabados e instalaciones tienen visibles desperfectos.	PFE7	0.260
FE8	REGULAR: Las edificaciones que reciben mantenimiento esporádico, cuyas estructuras no tienen deterioro y si lo tienen, no lo comprometen y es subsanable, o que los acabados e instalaciones tienen deterioros visibles debido al mal uso.	PFE8	0.134
FE9	BUENO: Las edificaciones reciben mantenimiento permanente y solo tienen ligeros deterioros en los acabados debido al uso normal.	PFE9	0.068
FE10	MUY BUENO: Las edificaciones reciben mantenimiento presente y que no presentan deterioro alguno.	PFE10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 132 (2014)

Tabla 41: Antigüedad de construcción de la edificación

Parámetro	Antigüedad de construcción de la edificación	Peso ponderado: 0.111	
FE11	De 40 a 50 años	PFE11	0.503
FE12	De 30 a 40 años	PFE12	0.260
FE13	De 20 a 30 años	PFE13	0.134
FE14	De 10 a 20 años	PFE14	0.068
FE15	De 5 a 10 años	PFE15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 132 (2014)

Tabla 42: Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente

Parámetro	Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	Peso ponderado: 0.156	
FE16	80 - 100%	PFE16	0.503
FE17	60 - 80%	PFE17	0.260
FE18	40 - 60%	PFE18	0.134
FE19	20 - 40%	PFE19	0.068
FE20	0 - 20%	PFE20	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 132 (2014)

Tabla 43: Topografía del terreno

Parámetro	Topografía del terreno (p = pendiente)	Peso ponderado: 0.044	
FE21	50% < P ≤ 80%	PFE21	0.503
FE22	30% < P ≤ 50%	PFE22	0.260
FE23	20% < P ≤ 30%	PFE23	0.134
FE24	10% < P ≤ 20%	PFE24	0.068
FE25	P ≤ 10%	PFE25	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 132 (2014)

Tabla 44: Configuración de elevación de las edificaciones

Parámetro	Configuración de elevación de las edificaciones	Peso ponderado: 0.068	
FE26	5 Pisos	PFE26	0.503
FE27	4 Pisos	PFE27	0.260
FE28	3 Pisos	PFE28	0.134
FE29	2 Pisos	PFE29	0.068
FE30	1 Piso	PFE30	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 133 (2014)

- Resiliencia económica

Tabla 45: Población económicamente activa desocupada

Parámetro	Población Económicamente Activa Desocupada	peso ponderado: 0.159	
RE1	Escaso acceso y la no permanencia a un puesto de trabajo. Escasa demanda de mano de obra para las actividades económicas. Escaso nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con serias limitaciones económicas.	PRE1	0.503
RE2	Bajo acceso y poca permanencia a un puesto de trabajo. Poca demanda de mano de obra para las actividades económicas. Bajo nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con limitaciones socioeconómicas.	PRE2	0.260
RE3	Regular acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Demanda de mano de obra para actividades económicas. Regular nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con regulares posibilidades socioeconómicas.	PRE3	0.134
RE4	Acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Demanda de mano de obra para las actividades económicas. Regular nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con posibilidades socioeconómicas.	PRE4	0.068
RE5	Alto acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Alta demanda de mano de obra para las actividades económicas. Alto nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con altas posibilidades socioeconómicas.	PRE5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 133 (2014)

Tabla 46: Ingreso familiar promedio mensual

Parámetro	Ingreso familiar promedio mensual	Peso ponderado: 0.501	
RE6	>3000	PRE6	0.503
RE7	> 1200 - <= 3000	PRE7	0.260
RE8	> 264 <= 1200	PRE8	0.134
RE9	> 149 - <= 264	PRE9	0.068
RE10	<= 149	PRE10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 133 (2014)

Tabla 47: Organización y capacitación institucional

Parámetro	Organización y capacitación institucional	Peso ponderado : 0.077
RE11	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan poca efectividad en su gestión. Cuentan con un gran desprestigio y desaprobación popular (puede existir el caso en el que la gestión sea poco eficiente, pero con apoyo popular basado en el asistencialismo o populismo). Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices de gestión deficientes y trabajo poco coordinado. No existe madurez política. Las instituciones privadas generan conflictos, muestran poco interés con la realidad local, muchas de ellas coadyuvan con la informalidad, o, forman enclaves en el territorio en el que se encuentran. No existe apoyo e identificación institucional e interinstitucional.	PRE11 0.503
RE12	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan poca efectividad en su gestión. Empiezan a generar desprestigio y desaprobación popular. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran algunos índices de gestión de eficiencia, pero en casos aislados. Existe cierta coordinación intersectorial. No existe madurez política. Las instituciones privadas generan conflictos aislados, muestran un relativo interés con la realidad local, algunas de ellas coadyuvan con la informalidad, se encuentran integradas al territorio en el que se encuentran. Existe un bajo apoyo e identificación institucional e interinstitucional.	PRE12 0.260
RE13	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel estándar de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran algunos índices de gestión de eficiencia. Existe cierta coordinación intersectorial. La madurez política es embrionaria. Las instituciones privadas normalmente no generan conflictos, muestran un interés con la realidad local, existe una minoría que coadyuvan con la informalidad, se encuentran integradas al territorio en el que se encuentran. Existe un bajo apoyo e identificación institucional e interinstitucional.	PRE13 0.134
RE14	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel eficiente de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices interesantes de gestión de eficiencia. Existe una progresiva coordinación intersectorial. Existe un proceso de madurez política. Las instituciones privadas normalmente no generan conflictos, muestran un interés con la realidad local, se encuentran integradas y comprometidas al territorio en el que se encuentran. Existe un interesante apoyo e identificación institucional e interinstitucional.	PRE14 0.068
RE15	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales tienen un nivel eficiente de efectividad en su gestión. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices altos de gestión de eficiencia. Existe un proceso de madurez política. Tienen apoyo total de la población y empresas privadas.	PRE15 0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 134 (2014)

Tabla 48: Capacitación en temas de gestión del riesgo

Parámetro	Capacitación en temas de gestión del riesgo	Peso ponderado: 0.263	
RE16	La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Gestión de Riesgo.	PRE16	0.503
RE17	La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura escasa.	PRE17	0.260
RE18	La población se capacitada con regular frecuencia en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	PRE18	0.134
RE19	La población se capacitada constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura total.	PRE19	0.068
RE20	La población se capacitada constantemente en temas concernientes a Gestión de Riesgo, actualizándose, participando en simulacros, siendo su difusión y cobertura total.	PRE20	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 135 (2014)

- Exposición ambiental

Tabla 49: Deforestación

Parámetro	Deforestación	Peso ponderado: 0.501	
EA1	Áreas sin vegetación. Terrenos eriazos y/o áreas donde se levanta diverso tipo de infraestructura.	PEA1	0.503
EA2	Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos de pan llevar.	PEA2	0.260
EA3	Pastos. Tierras dedicadas al cultivo de pastos para fines de alimentación de animales menores y ganado.	PEA3	0.134
EA4	Otras tierras con árboles. Tierras clasificadas como "otras tierras" que se extienden por más de 0.5 hectáreas con una cubierta de dosel al 10% de árboles capaces de alcanzar una altura de 5 m en la madurez.	PEA4	0.068
EA5	Bosques. Tierras que se extienden por más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 %, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.	PEA5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 136 (2014)

Tabla 50: Porcentaje de deforestación

Parámetro	% Deforestación	Peso ponderado: 0.077		
Descriptores	EA6	75 – 100 % del total del ámbito de estudio	PEA6	0.503
	EA7	50 – 75 % del total del ámbito de estudio	PEA7	0.260
	EA8	25 – 50 % del total del ámbito de estudio	PEA8	0.134
	EA9	5 – 25 % del total del ámbito de estudio	PEA9	0.068
	EA10	Menor a 5 % del total del ámbito de estudio	PEA10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 136 (2014)

Tabla 51: Pérdida del suelo

Parámetro	Pérdida de suelo	peso ponderado: 0.263		
Descriptores	EA11	Erosión provocada por las lluvias: pendientes pronunciadas y terrenos montañosos, lluvias estacionales y el fenómeno El Niño.	PEA11	0.503
	EA12	Deforestación agravada, uso indiscriminado de suelos, expansión urbana, sobrepastoreo.	PEA12	0.260
	EA13	Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua en ámbitos geográficos extensos.	PEA13	0.134
	EA14	Longitud de la pendiente del suelo, relaciona las pérdidas de un campo de cultivo de pendiente y longitud conocida.	PEA14	0.068
	EA15	Factor cultivo y contenido en sale ocasiona pérdidas por desertificación.	PEA15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 136 (2014)

- Fragilidad Ambiental

Tabla 52: Características geológicas del suelo

Parámetro	Características geológicas del suelo	Peso ponderado: 0.283		
Descriptores	FA1	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, napa freática alta, turba, material inorgánico, etc.).	PFA1	0.503
	FA2	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante.	PFA2	0.260
	FA3	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante.	PFA3	0.134
	FA4	Zona ligeramente fracturada, suelos de alta capacidad portante.	PFA4	0.068
	FA5	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas.	PFA5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 137 (2014)

Tabla 53: Explotación de recursos naturales

Parámetro	Explotación de recursos naturales	Peso ponderado: 0.047		
Descriptores	FA6	Prácticas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/ uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales), entre otros considerados básicos propios del lugar de estudio.	PFA6	0.503
	FA7	Prácticas negligentes periódicas o estacionales de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales).	PFA7	0.260
	FA8	Prácticas de degradación del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales) sin asesoramiento técnico capacitado. Pero las actividades son de baja intensidad.	PFA8	0.134
	FA9	Prácticas de consumo/uso del cauce y márgenes del río u otro continente de agua (suelo y recursos forestales) con asesoramiento técnico capacitado bajo criterios de sostenibilidad.	PFA9	0.068
	FA10	Prácticas de consumo/uso del cauce y márgenes del río u otro continente de agua con asesoramiento técnico permanente bajo criterios de sostenibilidad económica y ambiental.	PFA10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 137 (2014)

Tabla 54: Localización de centros poblados

Parámetro	Localización de centros poblados	Peso ponderado: 0.643		
Descriptores	FA11	Muy cercana 0 km – 0.2 km	PFA11	0.503
	FA12	Cercana 0.2 km – 1 km	PFA12	0.260
	FA13	Medianamente cerca 1 – 3 km	PFA13	0.134
	FA14	Alejada 3 – 5 km	PFA14	0.068
	FA15	Muy alejada > 5 km	PFA15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 138 (2014)

- Resiliencia ambiental

Tabla 55: Conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental

Parámetro	Conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental	Peso ponderado: 0.633		
Descriptores	RA1	Las autoridades y población desconocen la existencia de normatividad en tema de conservación ambiental.	PRA1	0.503
	RA2	Sólo las autoridades conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. No cumpliéndolas.	PRA2	0.260
	RA3	Las autoridades y población desconocen la existencia de normatividad en temas de conservación cumpliéndola parcialmente.	PRA3	0.134
	RA4	Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. Cumpliciéndola mayoritariamente.	PRA4	0.068
	RA5	Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. Respetándola y cumpliéndola totalmente.	PRA5	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 138 (2014)

Tabla 56: Conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales

Parámetro	Conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales	Peso ponderado: 0.106		
Descriptores	RA6	La población en su totalidad ha perdido los conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA6	0.503
	RA7	Algunos pobladores poseen y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA7	0.260
	RA8	Parte de la población posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA8	0.134
	RA9	La población mayoritariamente posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA9	0.068
	RA10	La población en su totalidad posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA10	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 138 (2014)

Tabla 57: Capacitación en temas de conservación ambiental

Parámetro	Capacitación en temas de conservación ambiental	Peso ponderado: 0.260		
Descriptores	RA11	La totalidad de la población no recibe y/o desarrolla capacitaciones en temas de conservación ambiental.	PRA11	0.503
	RA12	La población está escasamente capacitada en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura escasa.	PRA12	0.260
	RA13	La población se capacita con regular frecuencia en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura parcial.	PRA13	0.134
	RA14	La población se capacita constantemente en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	PRA14	0.068
	RA15	La población se capacita constantemente en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura total.	PRA15	0.035

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, pág. 139 (2014)

4.5.2. Determinación del nivel de vulnerabilidad

I. Análisis de dimensión social

- Exposición social

No hay existencia de servicios de salud terciarios dentro de la faja marginal.

Una vez obtenidos los tres descriptores de exposición social se aplica la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición Social}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 25}$$

Tabla 58: Valor de exposición social

GRUPO ETARIO		SERVIC. EDUCAT. EXPUESTOS		SERVIC. DE SALUD TERCARIOS		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.26	0.503	0.16	0.068	0.633	0.068	0.185

Fuente: Elaboración propia

- Fragilidad Social

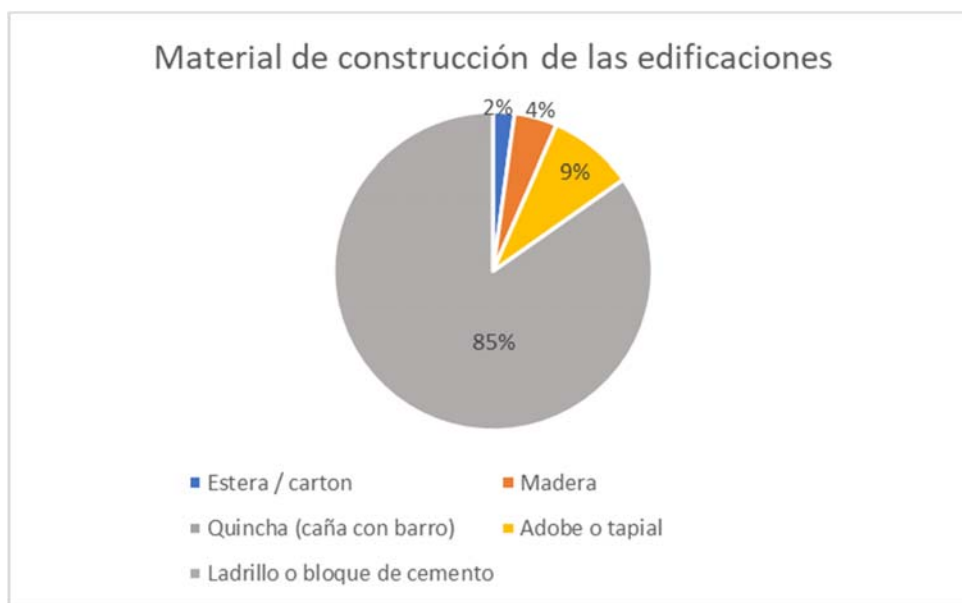


Figura 33:: Fragilidad Social
Fuente: Elaboracion Propia

La Figura 33 detalla que las viviendas predominantes en la zona de estudio son de ladrillo en su mayoría siendo adobe o tapial el siguiente material resaltante.

Tabla 59: Descriptor de material de construcción de las edificaciones

Parámetro	Material de construcción de las Edificaciones	Peso ponderado: 0.43
FS5	Ladrillo o bloque de cemento	PFS5 0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 60: Descriptor de estado de conservación de la edificación

Parámetro	Estado de conservación de la edificación	Peso ponderado: 0.317
FS8	REGULAR: Las edificaciones que reciben mantenimiento esporádico, cuyas estructuras no tienen deterioro y si lo tienen, no lo comprometen y es subsanable, o que los acabados e instalaciones tienen deterioro visible debido al mal uso	PFS8 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Se elige el descriptor de menor valor, ya que existen dos valores con el mismo porcentaje.

Tabla 61: Descriptor de antigüedad de construcción de la edificación

PARÁMETRO	ANTIGÜEDAD DE CONSTRUCCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	PESO PONDERADO: 0.042	
FS15	De 5 a 10 años	PFS15	0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 62: Descriptor de configuración de elevación de las edificaciones

PARÁMETRO	CONFIGURACIÓN DE ELEVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES	PESO PONDERADO: 0.078	
FS18	3 Pisos	PS18	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Se procede a utilizar los cuatro descriptores para así calcular el valor de fragilidad social.

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad Social}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 26}$$

Tabla 63: Valor de fragilidad social

MAT. CONSTRUC DE LAS EDIFICACIONES		EST. CONSERV. DE LAS EDIFICACIONES		ANTIGÜEDAD DE CONST. DE LA EDIFICACIÓN		CONFIG. DE ELEVACION DE LAS EDIFICACIONES		INCUMPLIMIEN TO DE PROC. CONST. DE ACUERDO A NORMATIVIDAD VIGENTE		VALOR
Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
0.43	0.035	0.317	0.134	0.042	0.134	0.078	0.134	0.131	0.134	0.091

Fuente: Elaboración propia

- Resiliencia Social

Tabla 64: Descriptor de capacitación en temas de gestión del riesgo

Parámetro	Capacitación en temas de gestión del riesgo	Peso ponderado: 0.285	
RS3	La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Gestión de Riesgos, siendo su difusión y cobertura mayoritaria	PRS3	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 65: Descriptor de conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres

Parámetro	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Peso ponderado: 0.152	
RS9	La mayoría de población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres	PRS9	0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 66: Descriptor de la existencia de normatividad política y local

Parámetro	Existencia de normatividad política y local	Peso ponderado: 0.096	
RS14	El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se cumple regularmente. Existe un interés en el desarrollo planificado del territorio. El desorden en la configuración territorial del área en estudio se presenta en una importante parte de todo el territorio donde se encuentra puntualmente. Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres han sido o están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero nunca se implementarán	PRS14	0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 67: Descriptor de actitud frente al riesgo

Parámetro	Actitud frente al riesgo	Peso ponderado: 0.421	
RS19	Actitud parcialmente previsor de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo e implementando escasas medidas para prevenir riesgo	PRS19	0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 68: Descriptor de campañas de difusión

Parámetro	Campañas de difusión	Peso ponderado: 0.421	
RS23	Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo, existiendo el conocimiento de un gran sector de la población	PRS23	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Para la población de estudio se considera que no existe una adecuada difusión en temas de gestión del riesgo.

Luego de obtener los cinco descriptores, se procede a aplicar la siguiente fórmula para obtener el valor de resiliencia social.

$$\sum_{i=1}^n Resiliencia\ Social_i * Descriptor_i = Valor \quad \text{Ecuación 27}$$

Tabla 69: Valor de resiliencia social

CAPAC. EN TEMAS DEL GESTIÓN DEL RIESGO		CONOC. LOCAL. SOBRE OCU. PAS. DE DESASTRES		EXISTENCIA DE NORM. POLITICA Y LOCAL		ACTITUD FRENTE AL RIESGO		CAPAÑA DE DIFUSION		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.285	0.134	0.152	0.068	0.096	0.068	0.421	0.068	0.0421	0.134	0.140

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los tres valores de espectro social, se calcula el valor del análisis de dimensión social con la siguiente fórmula:

$$\text{Exposición Social} * \text{Peso} + \text{Frag. Social} * \text{Peso} + \text{Resiliencia Social} = \text{Valor}$$

Ecuación 28

Tabla 70: Valor de análisis de dimensión social

Exposición social	Peso	Fragilidad social	Peso	Resiliencia social	Peso	Valor
0.185	0.633	0.091	0.106	0.140	0.26	0.163

Fuente: Elaboración propia

II. Análisis de dimensión económica

- Exposición económica

Tabla 71: Descriptor de localización de la edificación

Parámetro	Localización de la edificación	Peso ponderado: 0.318
EE1	Muy cercana 0 km - 0.2 km	PEE1 0.503

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 72: Descriptor de servicio básico de agua potable y saneamiento

Parámetro	Servicio básico de agua potable y saneamiento	Peso ponderado: 0.219
EE7	≤75% y >50% del servicio expuesto	PEE7 0.26

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Según la información de la zona, las obras de agua potable y desagüe no cubren en su totalidad a la zona de estudio.

Tabla 73: Descriptor de servicio de las empresas eléctricas expuestas

Parámetro	Servicio de las empresas eléctricas expuestas	Peso ponderado: 0.089	
EE15	≤ y >10% del servicio expuesto	PEE15	0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

El servicio eléctrico no se encuentra expuesto en ninguna forma.

Tabla 74: Descriptor de servicio de empresas de transporte expuesto

Parámetro	Servicio de empresas de transporte expuesto	Peso ponderado: 0.089	
EE24	≤25% y >10% del servicio expuesto	PEE24	0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Existen algunas empresas de transporte que se encuentran expuestas.

Tabla 75: Descriptor de área agrícola

Parámetro	Área agrícola	Peso ponderado: 0.121	
EE26	>75% del servicio expuesto	PEE27	0.503

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Existen gran evidencia de zonas de cultivo cercanas a las viviendas censadas, lotes que, según los pobladores, en un tiempo futuro se utilizarían como terreno de construcción.

Tabla 76: Descriptor de servicio de telecomunicaciones

Parámetro	Servicio de telecomunicaciones	Peso ponderado: 0.050	
EE35	0 ≤ y >10% del servicio expuesto	PEE35	0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Este servicio no se encuentra cerca de la zona de estudio. Obtenidos los seis descriptores, se aplica la siguiente fórmula para obtener el valor de exposición económica:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición Económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 29}$$

Tabla 77: Valor de exposición económica

LOCALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN		SERV. BASIC. DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO		SERVIC. DE LAS EMP. ELECTRICAS EXPUESTAS		SERV. DE LAS EMP. DE TRANSP. EXPUESTO		ÁREA AGRÍCOLA		SERV. DE TELECOMUNICACIONES		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.318	0.503	0.219	0.26	0.089	0.035	0.089	0.068	0.121	0.503	0.05	0.035	0.289

Fuente: Elaboración propia

- Fragilidad económica

Tabla 78: Descriptor de material de construcción de las edificaciones

Parámetro	Material de construcción de las edificaciones	Peso ponderado: 0.386
FE5	Ladrillo o bloque de cemento	PFE5 0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

La mayor parte de las viviendas tienen como material predominante el material noble.

Tabla 79: Descriptor de estado de conservación de las edificaciones

Parámetro	Estado de conservación de las edificaciones	Peso ponderado: 0.386
FE8	REGULAR: Las edificaciones que reciben mantenimiento esporádico, cuyas estructuras no tienen deterioro y si lo tienen, no lo comprometen y es subsanable, o que los acabados e instalaciones tienen deterioros visibles debido al mal uso.	PFE8 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Se define el estado regular de las edificaciones debido al bajo mantenimiento que reciben.

Tabla 80: Descriptor de antigüedad de construcción de la edificación

Parámetro	Antigüedad de construcción de la edificación	Peso ponderado: 0.111
FE13	De 20 a 30 años	PFE15 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 81: Descriptor de incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente

Parámetro	Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	Peso ponderado: 0.156	
FE18	40 - 60%	PFE18	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Se determinó que si bien es cierto existen edificaciones cercanas al río, algunas poseen el retiro suficiente para el tránsito, el uso primario del agua y otros servicios, se utiliza este descriptor ya que es un grupo considerable que incumple la normativa vigente.

Tabla 82: Descriptor de topografía de terreno

Parámetro	Topografía del terreno (p = pendiente)	Peso ponderado: 0.044	
FE25	$P \leq 10\%$	PFE25	0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Según lo calculado en la variación de pendientes, la zona circundante al río posee un desnivel del 5%.

Tabla 83: Descriptor de configuración de elevación de las edificaciones

Parámetro	Configuración de elevación de las edificaciones	Peso ponderado: 0.068	
FE29	2 Pisos	PFE29	0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

La mayoría de las viviendas en la zona de estudio poseen esta elevación promedio en relación a 2 pisos.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el valor de fragilidad económica:

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad Económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

Ecuación 30

Tabla 84: Valor de fragilidad económica

MAT.DE CONSTRUCC. DE LAS EDIFICACIONES		ESTADO DE CONSERV. DE LAS EDIFICACIONES		ANTIGÜEDAD DE CONST. DE LAS EDIFICACIÓN		INCU. DE PROC. CONST. DE AC. A NORMA. VIGENTE		TOPOGRAFIA DEL TERRENO		CONF. DE ELEVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.386	0.035	0.386	0.134	0.111	0.134	0.156	0.134	0.044	0.035	0.068	0.068	0.107

Fuente: Elaboración propia

- Resiliencia Económica

Tabla 85: Descriptor de población económicamente activa desocupada

Parámetro	Población económicamente activa desocupada	Peso ponderado: 0.159	
RE3	Regular acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Demanda de mano de obra para actividades económicas. Regular nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con regulares posibilidades socioeconómicas.	PRE3	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Debido a la pandemia muchas familias se vieron afectadas, se evidencia un índice alto de desempleo.

Tabla 86: Descriptor de ingreso familiar promedio mensual

Parámetro	Ingreso familiar promedio mensual	Peso ponderado: 0.501	
RE7	> 1200 - <= 3000	PRE7	0.260

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Debido a la demora en la activación de trabajos, la población sobrevive con alquileres o pequeñas bodegas.

Tabla 87: Descriptor de organización y capacitación institucional

Parámetro	Organización y capacitación institucional	Peso ponderado: 0.077
RE13	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel estándar de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran algunos índices de gestión de eficiencia. Existe cierta coordinación intersectorial. La madurez política es embrionaria. Las instituciones privadas normalmente no generan conflictos, muestran un interés con la realidad local, existe una minoría que coadyuvan con la informalidad, se encuentran integradas al territorio en el que se encuentran. Existe un bajo apoyo e identificación institucional e interinstitucional.	PRE13 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Este descriptor se ajusta en la percepción de la mayoría de los pobladores entrevistados.

Tabla 88: Descriptor de capacitación en temas de gestión del riesgo

Parámetro	Capacitación en temas de gestión del riesgo	Peso ponderado: 0.263
RE18	La población se capacitada con regular frecuencia en temas concernientes a Gestión de Riesgo, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	PRE18 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Obtenidos los cuatro descriptores, se aplica la siguiente fórmula para determinar el valor de resiliencia económica:

$$\sum_{i=1}^n \text{Resiliencia Económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 31}$$

Tabla 89: Valor de resiliencia económica

POB. ECO. ACTI. DESOCUPADA		INGRESO FAM. PROMEDIO ANNUAL		ORG. Y CAPAC. INSTITUCIONAL		CAPAC. EN TEMAS DE GESTION DEL RIESGO		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.159	0.134	0.501	0.26	0.077	0.134	0.263	0.134	0.197

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los tres valores del aspecto económico, se aplica la siguiente fórmula para calcular el valor del análisis de dimensión económica:

$$\text{Expo. Económica} * \text{Peso} + \text{Frag. Económica} * \text{Peso} + \text{Resil. Económica} = \text{Valor}$$

Ecuación 32

Tabla 90: Valor de análisis de dimensión económica

EXPOSICION ECONOMICA	PESO	FRAGILIDAD ECONOMICA	PESO	RESILIENCIA ECONOMICA	PESO	VALOR
0.286	0.633	0.107	0.106	0.197	0.26	0.243

Fuente: Elaboración propia

III. Análisis de dimensión ambiental

- Exposición ambiental

Tabla 91: Descriptor de deforestación

Parámetro	Deforestación	Peso ponderado: 0.501
EA2	Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos de pan llevar.	PEA2 0.260

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Gran parte de la zona se encuentra ocupada principalmente por terreno de cultivo, edificaciones y pequeños caminos.

Tabla 92: Descriptor de porcentaje de deforestación

Parámetro	% deforestación	Peso ponderado: 0.077
EA9	5 – 25 % del total del ámbito de estudio	PEA9 0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Existe una cantidad considerable de deforestación, valor que podría establecer la carencia de foresta.

Tabla 93: Descriptor de pérdida de suelo

Parámetro	Pérdida de suelo	Peso ponderado: 0.263
EA14	Longitud de la pendiente del suelo, relaciona las pérdidas de un campo de cultivo de pendiente y longitud conocida.	PEA14 0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 94: Descriptor de pérdida de agua

Parámetro	Pérdida de agua	Peso ponderado: 0.159	
EA20	Prácticas de uso del cauce y márgenes del río en graves problemas de conservación y mantenimiento.	PEA20	0.035

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Una vez definidos los 4 descriptores, se opera con la siguiente fórmula para así calcular el valor de exposición ambiental:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición Ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 33}$$

Tabla 95: Descriptor de exposición ambiental

DEFORESTACIÓN		% DEFORESTACIÓN		PÉRDIDA DEL SUELO		PÉRDIDA DEL AGUA		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.501	0.26	0.077	0.068	0.263	0.068	0.159	0.035	0.159

Fuente: Elaboración propia

- Fragilidad ambiental

Tabla 96: Descriptor de fragilidad ambiental

Parámetro	Características geológicas del suelo	Peso ponderado: 0.283	
FA3	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante.	PFA3	0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 97: Descriptor de explotación de recursos naturales

Parámetro	Explotación de recursos naturales	Peso ponderado: 0.047	
FA6	Prácticas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río u otro continente de agua (deterioro en el consumo/ uso indiscriminado de los suelos, recursos forestales), entre otros considerados básicos propios del lugar de estudio.	PFA6	0.503

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Tabla 98: Localización de centros poblados

Parámetro	Localización de centros poblados	Peso ponderado: 0.643	
FA14	Alejada 3 – 5 km	PFA14	0.068

Fuente: Elaboración propia

Existe un gran descuido, así como una mala práctica de conservación del medio ambiente por parte de la población de estudio.

Definidos ambos descriptores, se aplica la siguiente fórmula para obtener el valor de fragilidad ambiental.

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad Ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 34}$$

Tabla 99: Valor de fragilidad ambiental

CARAC/ GEOLÓGICAS DEL SUELO		EXPLO. DE RECURSOS NATURALES		LOCALIZACIÓN DE CENTROS POBLADOS		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.283	0.068	0.047	0.503	0.643	0.068	0.365

Fuente: Elaboración propia

- Resiliencia ambiental

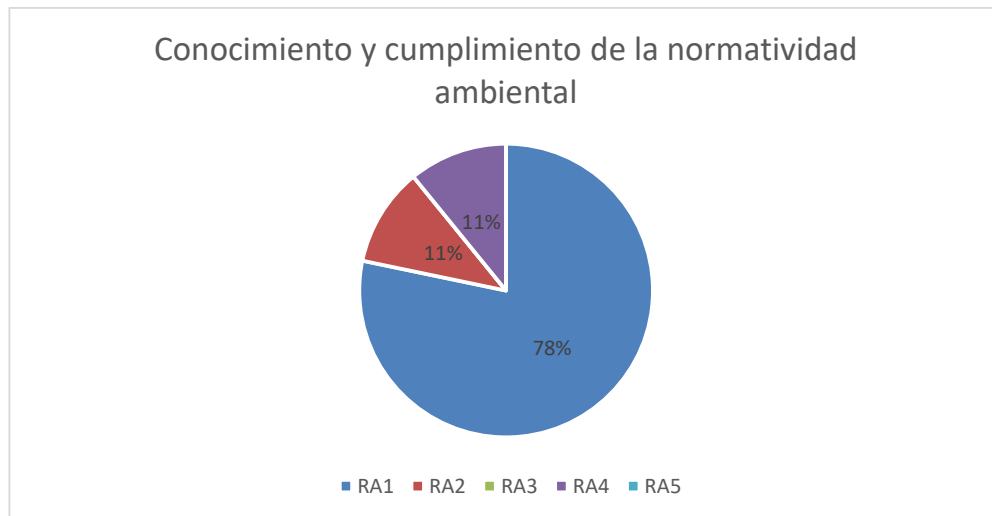


Figura 34: Conocimiento y cumplimiento de la norma

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100: Descriptor de conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental

Parámetro	Conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental	Peso ponderado: 0.633
RA4	Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. Cumpliéndola mayoritariamente.	PRA4 0.068

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

La gran mayoría de la población entrevistada desconoce la existencia de tal normativa.

Tabla 101: Descriptor de conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales

Parámetro	Conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales	Peso ponderado: 0.106
RA8	Parte de la población posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA8 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

Siendo un colectivo cuya migración no es tan proliferada, los conocimientos sobre la protección ambiental se pasan de generación en generación.

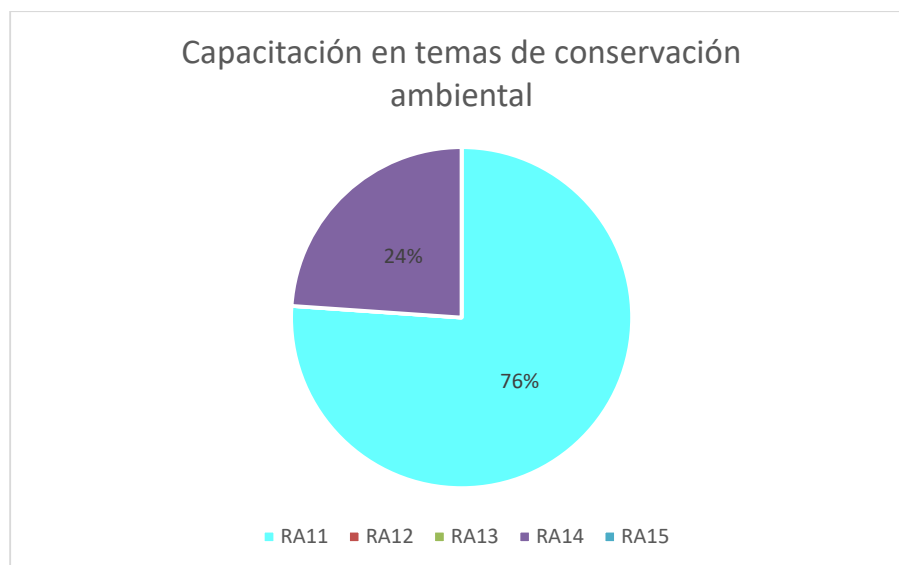


Figura 35: Capacitación en temas de conservación ambiental

Fuente: elaboración propia

Tabla 102: Descriptor de capacitación en temas de conservación ambiental

Parámetro	Capacitación en temas de conservación ambiental	Peso ponderado: 0.260
RA13	La población se capacita con regular frecuencia en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura parcial.	PRA13 0.134

Fuente: Adaptado del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2014)

El gobierno local, no promueve ni propone nuevas medidas para la conservación ambiental.

Obtenidos los tres descriptores, se aplica la siguiente fórmula para obtener el valor de resiliencia ambiental

$$\sum_{i=1}^n \text{Resiliencia Ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{Valor} \quad \text{Ecuación 35}$$

Tabla 103: Valor de resiliencia ambiental

CONOC. Y CUMP. DE NORMATIV. AMBIENTAL		CONOC. ANC. PARA EXPLOT. SOS. DE RRNN		CAPAC. EN TEMAS DE CONSER. AMBIENTAL		VALOR
PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	PARÁMETRO	DESCRIPTOR	
0.633	0.068	0.106	0.134	0.26	0.134	0.092

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculados los tres aspectos ambientales, se aplica la fórmula para así obtener el valor de análisis de dimensión ambiental:

$$\text{Expo. Ambiental} * \text{Peso} + \text{Frag. Ambiental} * \text{Peso} + \text{Resil. Ambiental} = \text{Valor}$$

Ecuación 36

Tabla 104: Valor de análisis de dimensión ambiental

EXPOSICIÓN AMBIENTAL	PESO	FRAGILIDAD AMBIENTAL	PESO	RESILIENCIA AMBIENTAL	PESO	VALOR
0.159	0.633	0.365	0.106	0.26	0.26	0.27

Fuente: Elaboración propia

El valor de la vulnerabilidad se calcula gracias a los tres valores de análisis de dimensión tanto social, económico y ambiental:

$$\text{An. Dim. Social} * \text{Peso} + \text{An. Dim. Econ} * \text{Peso} + \text{An. Dim. Ambi} * \text{Peso} = \text{Valor}$$

Ecuación 37

Tabla 105: Valor de vulnerabilidad

SOCIAL	PESO	ECONÓMICA	PESO	AMBIENTAL	PESO	VALOR
0.163	0.633	0.243	0.106	0.27	0.26	0.199

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el resultado obtenido, de acuerdo a la tabla 6 se define como VULNERABILIDAD ALTA

4.6. Análisis de riesgo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis de peligro y vulnerabilidad, se aplica la siguiente fórmula para obtener el valor del riesgo.

$$\textit{Peligro} * \textit{Vulnerabilidad} = \textit{Riesgo} \qquad \text{Ecuación 38}$$

Tabla 106: Valor de riesgo

Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo
0.125	0.199	0.025

Fuente: Elaboración propia

Según el resultado obtenido en la Tabla 106, se puede calificar en base a la tabla 4 como RIESGO ALTO

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada se ubica en los distritos de Tumbes (sector de Huaquilla), distrito de Corrales (sector la Noria), distrito de San Jacinto (sectores del Tamarindo, Plateros y Bocatoma la Peña) y distrito de Pampas de Hospital (sector la polvareda), donde se ha realizado una recopilación de antecedentes referentes a inundaciones que generaron una gran afectación tanto en zonas rurales como urbanas; reflejando la importancia de sistematizar la información que ayude a identificar zonas afectadas por la inundación.

Se procedió a recopilar datos hidrológicos, estadísticos y topográficos los cuales fueron usados para modelar con herramientas geomáticas, la simulación de eventos periódicos representativos para la investigación.

Además, como consecuencia de este procedimiento se logró reconocer las zonas afectadas, dentro de las áreas rurales y urbanas de acuerdo al catastro actual. Obteniendo como resultado la creación y/o mejora de planes de contingencia y zonas de evacuación que ayuden a mitigar los daños producidos por la inundación.

5.1. Diagnóstico

La cuenca está ubicada en el departamento de Tumbes en Perú, y las provincias de El Oro y Loja en Ecuador. Geográficamente se encuentra en las siguientes coordenadas: N9584330.00 – E560680.00 al N9603506.00 – E 559124.00. Con una extensión total de 5530km², de los cuales el 65% es ecuatoriana (3594.5km²) y el 35% es peruana (1935.5km²), el río tiene un recorrido de 532 km desde Portovelo hasta su desembocadura en el océano pacífico. A la parte peruana se accede por vía aérea a la ciudad de Tumbes, que cuenta con el aeropuerto internacional CAP FAP Pedro Canga Rodríguez y por vía terrestre por la carretera panamericana norte, de la cual salen varios ramales, unos asfaltados y otros son trochas afirmadas que conducen al interior de la cuenca baja y media. Hacia el lado ecuatoriano se accede por vía terrestre mediante carreteras asfaltadas, como la vía Puyango-Loja, Puyango-Alamor, Piñas-Alamor, Piñas-Paccha, Marcavelli-Balsas, Balsas-Piñas-Zaruma, Balsas-Portovelo -Zaruma, de las cuales salen varios ramales como carreteras afirmadas que conducen al interior de las cuencas media y alta. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 7)

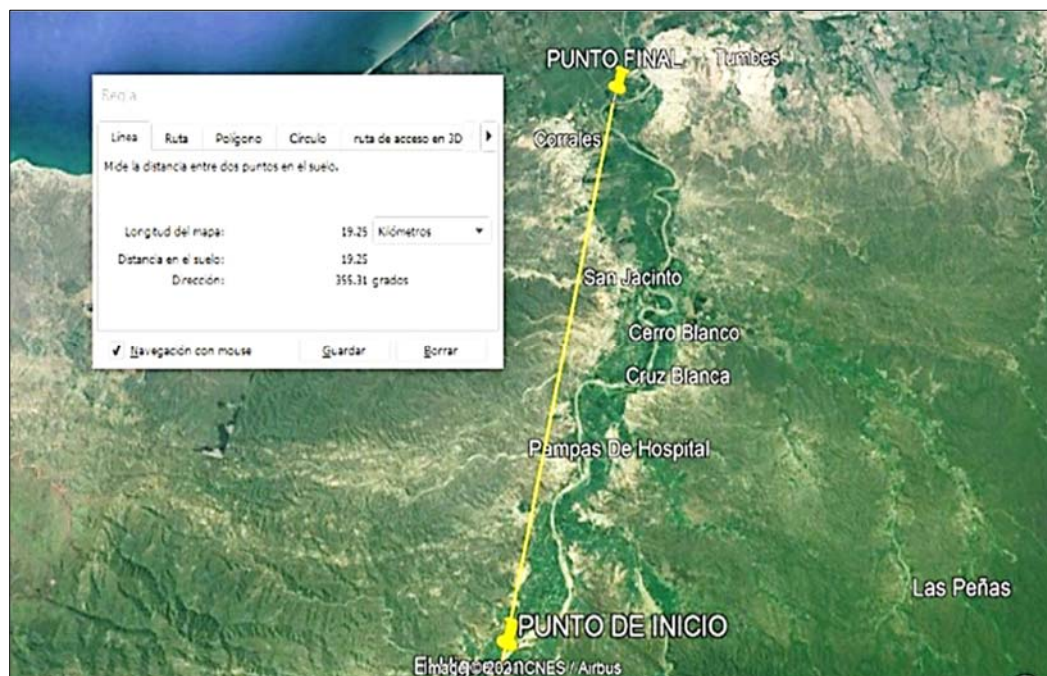


Figura 36: Imagen del Tramos del Río Tumbes
Fuente: Google maps pro

5.1.1. Clima y temperatura

El clima en la cuenca Puyango Tumbes está definido por la cercanía al Círculo Ecuatorial, se encuentra entre los paralelos 3°30' y 4°15' de latitud sur, ocupando una zona de baja presión, donde la masa de aire frío proveniente de las zonas ubicadas a 3° de latitud sur es calentada produciendo gran cantidad de vapor de agua que al ascender se enfría y condensa dando lugar a la abundante precipitación anual. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 21)

Este mayor calentamiento de la superficie terrestre por la incidencia casi perpendicular de los rayos solares tiene una manifestación casi permanente en el calentamiento de las capas superiores del océano Pacífico dando lugar a la Contracorriente Ecuatorial de aguas cálidas que invaden las costas del Ecuador y Perú y con cierta frecuencia se encuentra con la corriente fría de Humboldt que viene del sur desviándola y situándose por encima de ella. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 21)

Se ha tomado la clasificación climática del Perú, que está apoyada en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de lo cual se procedió a formular los «Índices Climáticos» y al trazado de los mismos de acuerdo con el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite, donde se toma en consideración la latitud geográfica, la altitud, la Cordillera de los Andes, la corriente fría marítima peruana, el anticiclón del Pacífico Sur, etc. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 22)

Según esta clasificación climática el lado peruano (zona de Tumbes) se proyecta hacia el lado ecuatoriano, (área comprendida entre 0 y 2000 msnm) se encuentra en una zona desértica con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, y con humedad relativa, calificada como húmeda. Cuando se presenta el fenómeno El Niño varía completamente el clima, se hace más lluvioso y cálido. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 22)

Las áreas comprendidas entre los 2000 y 3000 msnm se encuentran en una zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda donde se ubican las zonas de Zaruma, Paccha, etc. La temperatura media anual en la parte peruana, basándose en el análisis de los registros de 6 estaciones (Cabo Inga , Cañaverl ,El Caucho ,Los Cedros ,Puerto Pizarro , Rica Playa) es de 24.85°C y en la parte ecuatoriana , con datos de 3 estaciones (El Salado, Puente Puyango, Zaruma) es de 24,16 °C . Los meses donde se presenta mayor incremento de temperatura son diciembre, enero, febrero y marzo y una parte de abril, el resto del año se muestra un decrecimiento, la temperatura mínima llega a 21.8 °C. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 22)

5.1.2. Precipitación

Según Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006 La precipitación en la cuenca principalmente ocurre en los meses de enero a marzo, concentrándose en este período el 85,% a 90 % de la precipitación total anual. (pág. 9)

Las precipitaciones totales anuales en la cuenca presentan valores promedio de 300 mm en la parte baja, a 1 150 mm en la parte media en el sector peruano, llegando hasta 2 600 mm, en las zonas altas montañosas del sector ecuatoriano. Para la precipitación media anual de la cuenca se han analizado un total de 53 estaciones, de las cuales 44 se ubican dentro de la cuenca y 9 aledañas a ella. Las precipitaciones en la cuenca siempre se presentan bajas en la parte peruana (cuenca baja) y altas en el lado ecuatoriano (parte media y alta de la cuenca). Las estaciones no tienen una toma de datos uniforme, éstos han sido tomados en diferentes períodos, se tienen datos desde 1964 hasta 2001 en algunas estaciones. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 9)

Se ha hecho un análisis de las precipitaciones, observándose variaciones muy fuertes con períodos de sequía muy importantes, como el del año 1968, y de precipitaciones muy altas como las ocurridas en los años 1983 y 1998 a causa del fenómeno El Niño. La precipitación media anual registrada en las estaciones representativas del lado peruano, Puerto Pizarro y El Caucho, se ubican en altitudes de 1 a 450 msnm y presentan valores entre 300 a 949 mm. Para el Ecuador las precipitaciones van de 679 a 2 528 mm, como se refleja en las estaciones de Quebrada Seca y Salati, respectivamente, las cuales se ubican entre 80 y 1,300 msnm. Este análisis ha considerado el período lluvioso del fenómeno meteorológico El Niño. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 9)

De los datos de precipitaciones estudiados se nota dos estaciones bien marcadas, un periodo húmedo entre los meses de enero y mayo y un periodo seco entre los meses de junio y diciembre, siendo el mes de enero el más lluvioso (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 10)

5.1.3. Principales agentes modeladores

Los agentes modeladores principales que han dado origen a las geoformas actuales, se pueden mencionar las precipitaciones, los flujos de agua y el viento como los que han jugado un papel muy importante. También es

importante señalar que las intensas lluvias que se producen en la región después de largos periodos de precipitación producen grandes torrentes que descienden por las diversas quebradas, estos materiales llevados por dichos torrentes se han acumulado en las planicies bajas.

Cabe mencionar como también un agente modelador de la cuenca el llamado fenómeno del niño, por su capacidad de alterar el sistema usual de la cuenca.

5.1.4. Contexto hidrológico

En el 2002 Asesores Técnicos Asociados S.A, señala: “El río Puyango--Tumbes recorre una longitud de 532 km aproximadamente, desde Portovelo hasta su desembocadura.” (pág. 9)

La precipitación anual varía de 300 mm en la cuenca baja a 2 600 mm en las zonas montañosas de la cuenca alta. Los valores de humedad relativa están por encima del 70 % y la velocidad del viento presenta valores promedio de 5 m/s. (C y A Consultores Asociados, 1990, pág. 12)

La disponibilidad de agua superficial en la cuenca, representada por las descargas medias anuales del río Tumbes están estimadas en 118,1 m³ /s, que equivale a 3 724 MMC. En el año más húmedo, la descarga promedio es de 520 m³ /s y en el año más seco es de 38,3 m³ /s (Asesores Técnicos Asociados S.A, 2002, pág. 9)

El río Puyango-Tumbes se caracteriza por transportar gran cantidad de sedimentos en suspensión en épocas de avenidas, como resultado de las altas precipitaciones y la fuerte pendiente del río, principalmente en la parte ecuatoriana. El aporte de sedimentos de los tributarios es también muy significativo. Esta situación ha generado que en el último tramo del río Tumbes se acumule gran cantidad de sedimentos, formándose un valle relativamente joven sujeto a periódicas modificaciones. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 27)

5.1.5. Hidrografía de la cuenca

El río Puyango-Tumbes nace a una altitud de 3 500 msnm. En su cabecera está formado por numerosas quebradas que discurren principalmente desde la

cordillera de Chilla y Cerro Negro en Ecuador. En la parte alta a menudo es llamado río Pindo o río Grande. Cerca de Balsas, a partir de su confluencia con el río Yaguachi cambia de nombre a río Puyango. Siguiendo la dirección oeste en un tramo de aproximadamente 100 km, el río Puyango recibe a la quebrada Cazaderos para formar el río Tumbes; de allí da una vuelta de 50 km para tomar la dirección norte; después de un recorrido de 80 km llega al océano Pacífico. La pendiente promedio del río es de 1,5 %, sin embargo, en los últimos 40 km de recorrido es de 0,5%. (Asesores Técnicos Asociados S.A, 2002, pág. 10)

La red hidrográfica de la cuenca del río Puyango-Tumbes, la constituyen principalmente los ríos Calera, Moro Moro y Amarillo por la margen derecha y los ríos Yaguachi, Ambocas y quebrada Cazaderos por la margen izquierda. La longitud total de la red hidrográfica es de aproximadamente 950 km y la longitud del cauce principal del río Puyango-Tumbes en la parte peruana es de 230 km aproximadamente. La cuenca presenta un área de 5530 km aproximadamente. (C y A Consultores Asociados, 1990, pág. 12)

En el período 1964-1975 se registró que el escurrimiento anual en la estación de aforos de Puyango, Puente Carretera, localizada en el centro de la cuenca del río Puyango – Tumbes, alcanzó un promedio de $84 \text{ m}^3/\text{s}$. La descarga más baja y alta anual en los 12 años de registro evaluados fueron $33 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1968 y $123 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1973, respectivamente (SENAMHI). Según los registros del SENAMHI, en el período 1964-1975, la descarga anual media en la estación El Tigre fue de $102,8 \text{ m}^3/\text{s}$ común volumen de 3242 millones de m^3 . En 1971, el máximo volumen anual registrado fue de 5400 millones de m^3 ($170,9 \text{ m}^3/\text{s}$), y el mínimo se registró en 1968 con 1210 millones de m^3 ($38,3 \text{ m}^3/\text{s}$). En el período 1963-1979, en la estación El Tigre, el caudal medio anual descendió a $95,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante la ocurrencia del fenómeno El Niño de 1998, el día 8 de febrero la descarga máxima registrada en la estación El Tigre alcanzó los $2570 \text{ m}^3/\text{s}$. Ese mismo día llovió en la cuenca baja 235 mm, estimándose que el caudal frente a la ciudad llegó a $4000 \text{ m}^3/\text{s}$. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 27)

5.1.6. Análisis hidrológico de la cuenca

El río Puyango-Tumbes presenta un régimen de descargas muy marcado según los caudales medios registrados en la estación El Tigre. Esta estación está ubicada a unos 25 km aguas arriba de la ciudad de Tumbes, tiene una altitud de 21,88 msnm, latitud de 3° 46' sur y longitud 80° 27' oeste, y controla una cuenca de aproximadamente 4 380 Km². Se han observado caudales altos durante el período de avenidas en los primeros cinco meses del año, y caudales bajos, durante el período de estiaje, el cual es bastante marcado en los meses de julio a noviembre. Los meses de transición corresponden a junio y diciembre. El caudal medio anual medido en la estación el Tigre es de 114,0 m³ /s, siendo el caudal medio mensual máximo de 336,3 m³ /s en el mes de marzo y el caudal medio mensual mínimo de 19,6 m³ /s en el mes de octubre. El caudal medio mensual durante el período de avenidas entre enero y abril es de 245,1 m³ /s. En los registros de la estación El Tigre, se ha identificado el caudal mínimo mensual con un valor de 7,7 m³ /s registrado en el mes de noviembre del año 1968. El caudal máximo mensual registrado tuvo un valor de 1053,0 m³ /s, en el mes de enero de 1983. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 31)

5.1.7. Uso del suelo

El uso del suelo de la cuenca del río Puyango-tumbes, de acuerdo a la autoridad nacional del agua (ANA), es para la producción agrícola y es para el caso de la cuenca antes mencionada, constante. El área para uso agrícola consta de 16400 ha. Un estudio posterior realizado por LAGESA-C determino que el área agrícola era de 15929 ha. Estos terrenos se hallan en ambas márgenes del río, por lo que siempre están supeditados a inundaciones por efecto de las lluvias de estación y también dependiendo del año por el fenómeno del niño.

Estos terrenos están siendo utilizados además de para uso agrícola en diferentes porcentajes para diferentes actividades tales como; suelo de conservación y protección (58.4%) del área, uso pecuario (18.2%), agropecuario forestal (9.3%) y el ya mencionado agrícola (4.2%).

La parte baja y alta de la cuenca está dominada por el uso de conservación y protección mientras que la parte media de la cuenca está dominada por el uso pecuario y agropecuario forestal.

Existe un porcentaje también (alrededor de 35%) que está dominada por bosques de 3 tipos:

- a) Bosque seco de colina baja
- b) Bosque seco de colina alta
- c) Bosque seco de montaña

El tipo de suelo puede ser clasificado de manera general en arcilloso, árido, erosionado, de tipo volcánico y en otras zonas con gran contenido de materia orgánica.

Es necesario un estudio más exhaustivo para determinar en qué cantidad y en que zonas exactamente el suelo vario sus características físicas.

5.1.8. Catastro urbano

El departamento de Tumbes ha registrado un moderado crecimiento de su población, tasa anual de 1,8% entre los años 1993 y 2007. Las poblaciones de las provincias de Contralmirante Villar y Tumbes crecieron a tasas algo menores, de 1,7% y 1,5%, respectivamente, no obstante, la provincia de Zarumilla registró un notable crecimiento, con un promedio anual de 3 %. Las poblaciones de los distritos que más crecieron fueron los de la provincia de Zarumilla, Matapalo (5,1%), Aguas Verdes (4,8%) y, en menor medida, el distrito de Zarumilla (2,3%), según se describe en el Estudio de Impacto Ambiental y Estudio a Nivel de Factibilidad del Proyecto de Irrigación Margen Derecha del Río Tumbes.

Tabla 107: Tasa de crecimiento promedio anual en el departamento de Tumbes 1972 - 2007 y proyectada al 2012

PROVINCIA	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2011-2012
Tumbes	3,5	3,2	1,5	1,13
C. Villar	1,5	2,8	1,7	1,35
Zarumilla	4,3	5	3	2,68
Total	3,4	3,4	1,8	1,48

Fuente: Censos Nacionales de Población y Vivienda, INEI, 2016, pág. 26

La tasa de crecimiento poblacional se ha reducido progresivamente: en 1961 era de 3,7% mientras que en 1993 era 3,2%. Para el 2010 se estimó una tasa de crecimiento demográfico anual de 3,72%.

La población proyectada para el Departamento de Tumbes, en el año 2012 es de 228 227 habitantes (cálculo propio). Para la provincia de Tumbes es de 159 548 habitantes, representando el 70 % de la población total.

El crecimiento de la población en el departamento de Tumbes está en progreso, esto es acompañado del crecimiento de necesidades vitales, servicios y una celeridad de la dinámica poblacional donde los flujos migratorios o presencia de poblaciones itinerantes es más visible en las zonas agrícolas, caletas y de frontera, generadas por la oferta y escases de trabajo. Estos crecimientos generan en muchos casos un desordenado asentamiento de las poblaciones, quienes se ubican en zonas vulnerables a las avenidas de eventos extremos. (Autoridad Nacional del Agua, ANA , 2019, pág. 1)

5.1.9. Catastro vial

A la parte peruana se accede por vía aérea a la ciudad de Tumbes, que cuenta con el aeropuerto internacional CAP FAP Pedro Canga Rodríguez y por vía terrestre por la carretera panamericana norte, de la cual salen varios ramales, unos asfaltados y otras son trochas afirmadas que conducen al interior de la cuenca baja y media.

Hacia el lado ecuatoriano se accede por vía terrestre mediante carreteras asfaltadas, como la vía Puyango-Loja, Puyango-Alamor, Piñas-Alamor, Piñas-Paccha, Marcavelli-Balsas, Balsas-Piñas-Zaruma, Balsas-Portovelo-Zaruma, de las cuales salen varios ramales como carreteras afirmadas que conducen al interior de las cuencas media y alta. (Núñez Juárez & Zegarra Leo, 2006, pág. 7)

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.1. Resultados de la Investigación

Del desarrollo de la investigación realizado en el Capítulo IV se obtuvieron los siguientes resultados.

6.1.1. Recopilación de información – Base de datos geoespaciales

Esta base de datos se ha usado para seleccionar entre diversos modelos digitales (DEM) de la zona de estudio, habiendo sido elegido uno con una nitidez de 12.5 x 12.5 metros obtenido del satélite Alos Palsar, a continuación, se detallar los servidores usados para la investigación y los DEM se encuentran en el Anexo 01

6.1.1.1. Servidor Geo-GPS Perú

Este servidor proporciona soluciones integrales en ingeniería y geomática adecuadas a las necesidades de los investigadores. Para la investigación se ha considerado las imágenes recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER: ASTER-GDEM, la cual se encuentran en formato GeoTIFF con coordenadas geográficas lat/long, con resolución espacial de 30 metros y con referencia al geoide WGS84/EGM96.

La dirección web donde se ubican las imágenes es:

<https://www.geogpsperu.com/2018/08/descargar-imagenes-aster-gdem-aster.html>

6.1.1.2. Servidor EARTH DATA

La NASA promueve el intercambio completo y abierto de todos sus datos con las comunidades de investigación y aplicaciones, la industria privada, el mundo académico y el público en general. Para satisfacer las necesidades de estas diferentes comunidades, el Sistema de Información y Datos del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS) de la NASA ha proporcionado varias formas de descubrir, acceder y utilizar los datos.

Getting Started es un lugar ideal para comenzar; proporciona una introducción a la búsqueda, el uso y la visualización de datos.

Independientemente de dónde comience, hay tres formas principales de acceder y utilizar los conjuntos de datos.

Busque por palabra clave o instrumento, extensión geográfica o temporal, y más a través de Earthdata Search; datos casi en tiempo real a través de la capacidad terrestre, atmosférica casi en tiempo real para EOS (LANCE) y el sistema de información sobre incendios para gestión de recursos (FIRMS).

Utilice el repositorio común de metadatos (CMR), un sistema de metadatos que cataloga los datos de Ciencias de la Tierra y los registros de metadatos de servicios asociados; o Explore datos y servicios a través de la Red de directorios internacional (IDN).

Visualizar datos: Aquí encontrará varias formas de buscar o crear representaciones visuales de los datos. Gran parte de los datos del instrumento se devuelven como valores cuantitativos; Para ayudar a los usuarios a comprender los datos, EOSDIS ha desarrollado varias formas de visualizar la información.

La dirección web donde se ubican las imágenes es:

<https://earthdata.nasa.gov/>

6.1.1.3. Servidor EARTH EXPLORER

USGS science for a changing world, provee mapas y fotos satelitales de alta resolución.

La dirección web donde se ubican las imágenes es:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

6.1.1.4. Servidor ASF DATA SEARCH VERTEX

Earth observing system data and information system (EOSDIS) es una llave que permite usar el science data system program , es decir usar la información científica de todo el mundo para múltiples usuarios. La dirección web donde se ubican las imágenes es:

<https://search.asf.alaska.edu/#/>

6.1.2. Modelamiento con HEC-RAS

Los resultados del modelamiento para el HEC-RAS se detallará a continuación en función a los periodos de retorno establecidos en 5, 10 y 25 años, considerando los datos iniciales, se muestran a continuación.

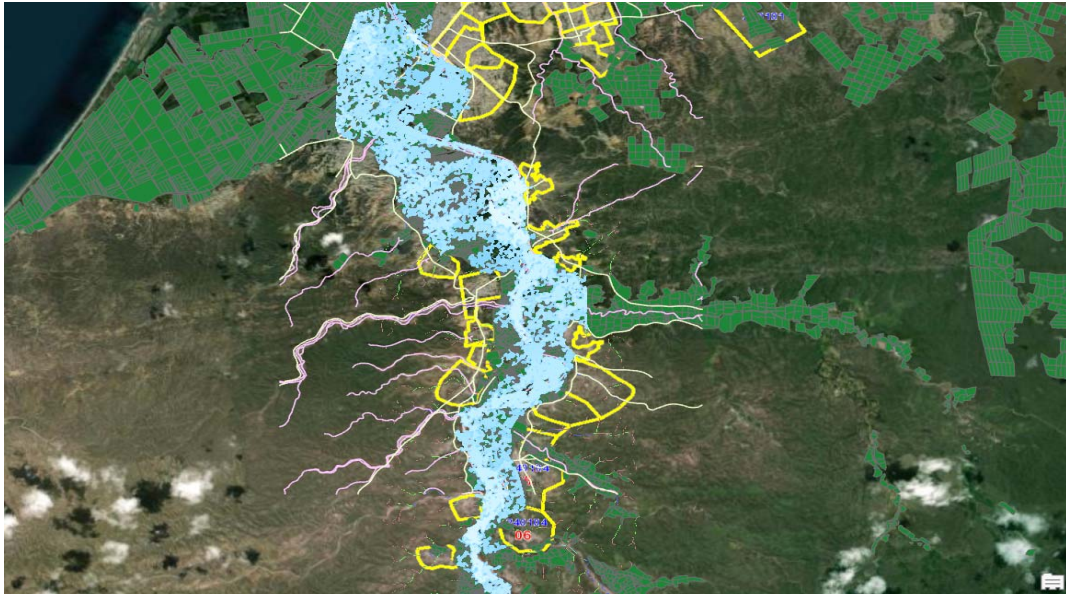


Figura 37: Periodo de retorno $T = 5$ años
Fuente: elaboración propia

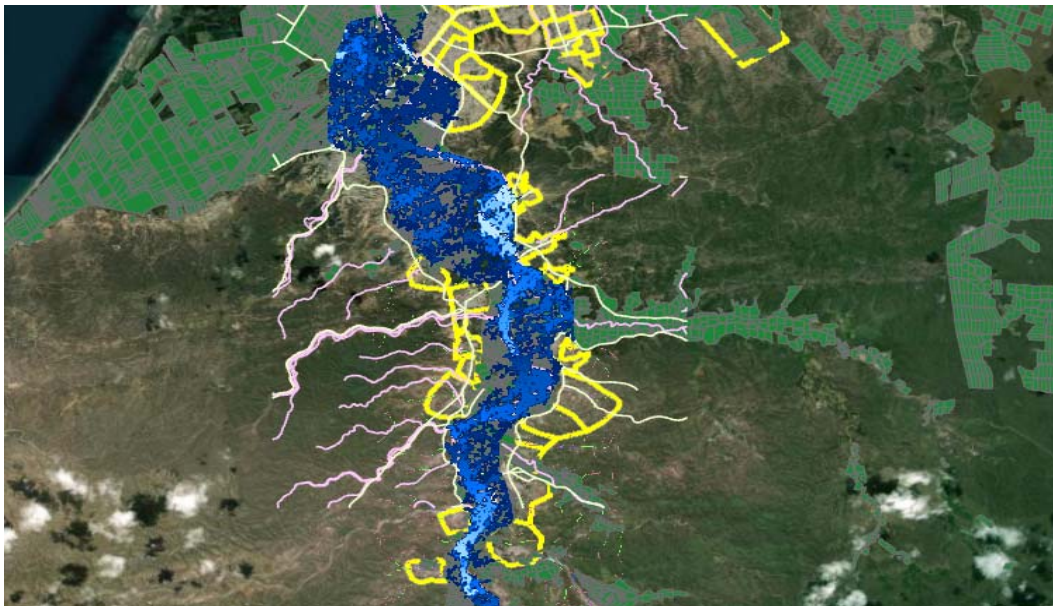


Figura 38: Periodo de retorno $T = 10$ años
Fuente: elaboración propia

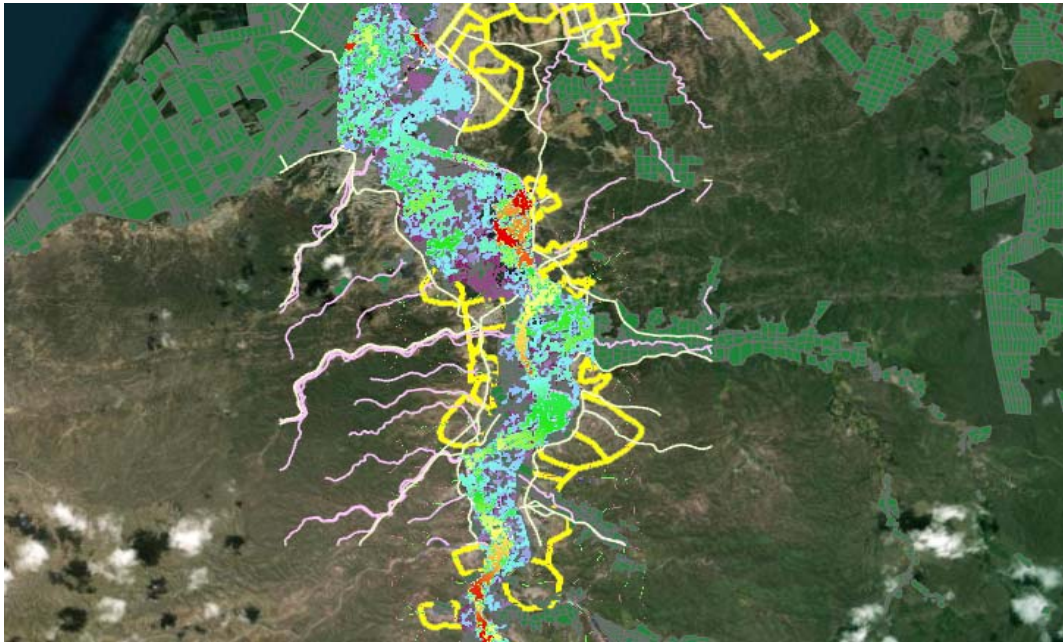


Figura 39: Periodo de retorno $T = 25$ años
 Fuente: elaboración propia

6.1.3. Modelamiento con IBER

Los resultados del modelamiento para el IBER se detallarán a continuación en función a los periodos de retorno establecidos en 5, 10 y 25 años, considerando los datos iniciales, se muestran a continuación.

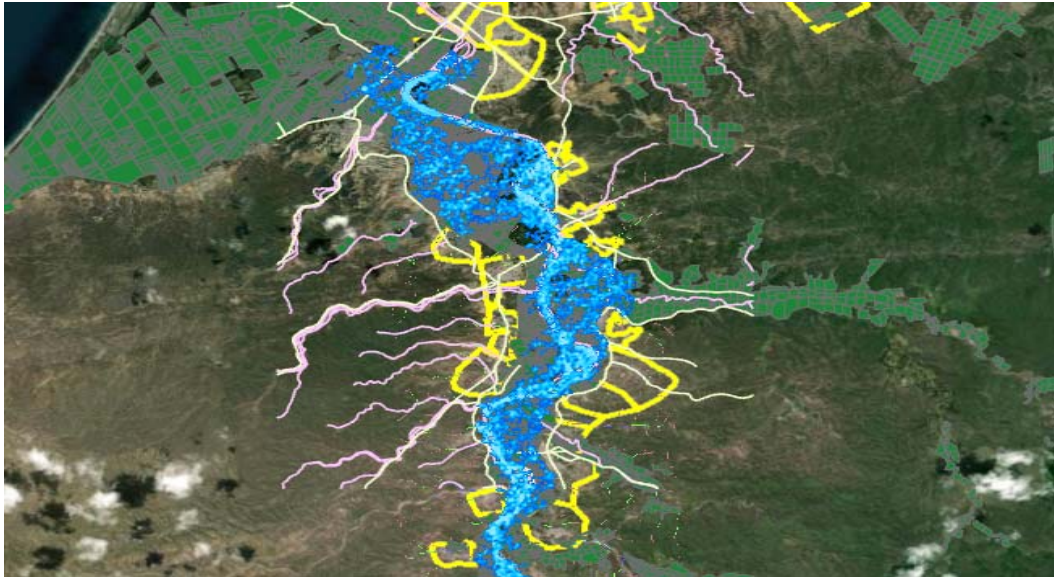


Figura 40: Periodo de retorno $T = 5$ años
 Fuente: elaboración propia

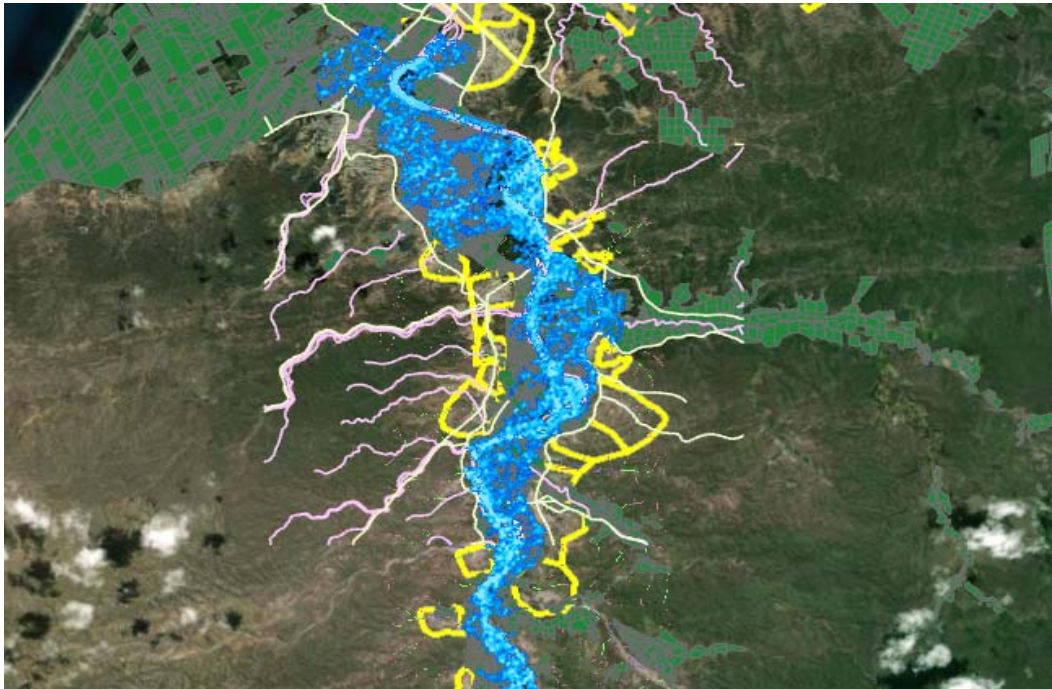


Figura 41: Periodo de retorno $T = 10$ años
Fuente: elaboración propia

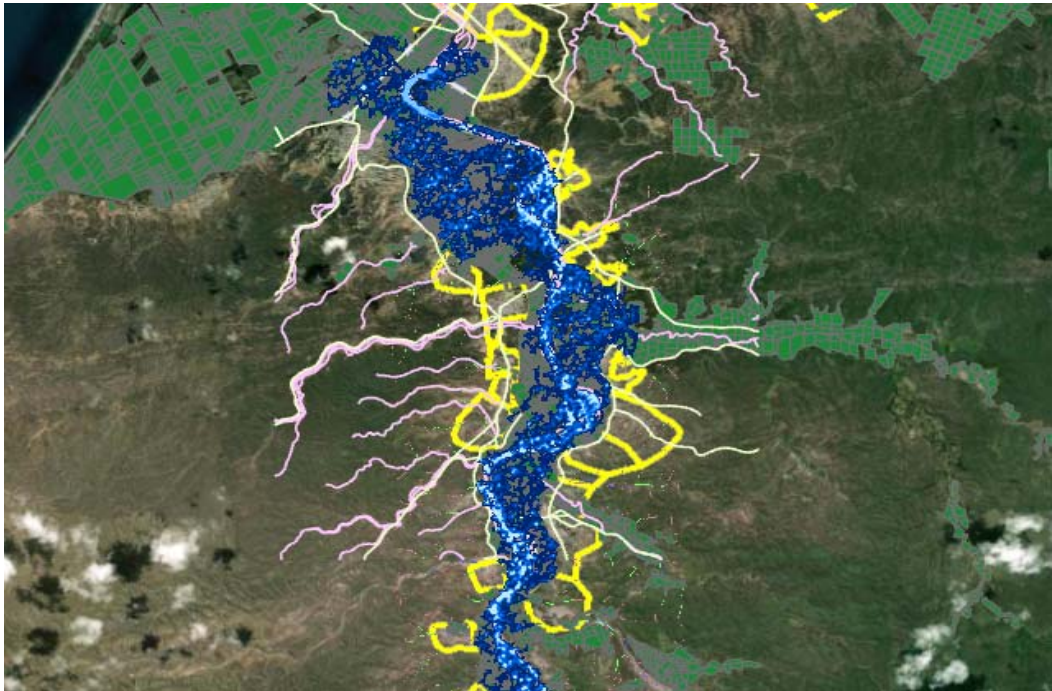


Figura 42: Periodo de retorno $T = 25$ años
Fuente: elaboración propia

6.1.4. Riesgo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del análisis de peligro y vulnerabilidad, se aplica la siguiente fórmula para obtener el valor del riesgo.

$$\text{Peligro} * \text{Vulnerabilidad} = \text{Riesgo} \quad \text{Ecuación 39}$$

Tabla 108: Valor de riesgo

Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo
0.125	0.199	0.025

Fuente: Elaboración propia

Según el resultado obtenido, se puede calificar en base a la tabla 4 como:

RIESGO ALTO

6.1.5. Estimación de pérdidas económicas

Se ofrece una propuesta para estimar pérdidas económicas en las viviendas dentro de las áreas de inundación teniendo como principal herramienta al software SIG ArcGIS Pro. Para realizar esta estimación es necesario contar con los catastros urbanos de la zona de afectación, conteniendo la ubicación de los lotes / manzanas que van a ser evaluadas. Las pérdidas económicas se valorizarán con la siguiente Tabla 109.

Tabla 109 : Valor de perdidas por Artefacto eléctrico o mueble

Contenidos en el primer nivel de la vivienda	Precio Promedio S/	Altura de inundación (m)						
		0.25	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
TV	2,400.00	-	-	800.00	1,600.00	2,400.00	240.00	2,400.00
Teléfono fijo	100.00	-	-	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Refrigeradora	1,649.50	1,650.00	1,649.50	1,649.50	1,649.50	1,649.50	1,649.50	1,649.50
Cocina	600.00	94.00	188.00	285.00	376.00	470.00	564.00	564.00
Muebles de sala	800.00	174.88	349.75	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
TOTAL (S/)	5,549.50	1,918.88	2,187.25	3,484.50	4,425.50	5,319.50	3,253.50	5,413.50

Fuente: Elaboración Propia

Los precios promedio de cada ítem fueron obtenidos de páginas web de grandes distribuidoras de electrodomésticos. Según el ítem y su posición (que puede variar) se le asignó un valor de pérdida en incremento de acuerdo con la altura de inundación que varía desde 0.35m hasta 0.90m.



Figura 43: Imagen de inundación
Fuente: Elaboración propia



Figura 44: Imagen de inundación
Fuente: Elaboración propia



Figura 45: Imagen de calles anegadas
Fuente: Elaboración propia

Se ubica la vivienda en ArcGIS Pro, se activa la capa catastral y la capa de inundación (que en el caso de esta demostración es la altura de inundación para el caudal de diseño mayor: $Tr = 25$ años) y se selecciona un punto por cada cara de la vivienda que está expuesta al agua para poder determinar la altura de inundación promedio que ingresa a la vivienda, como se observa en la siguiente figura:

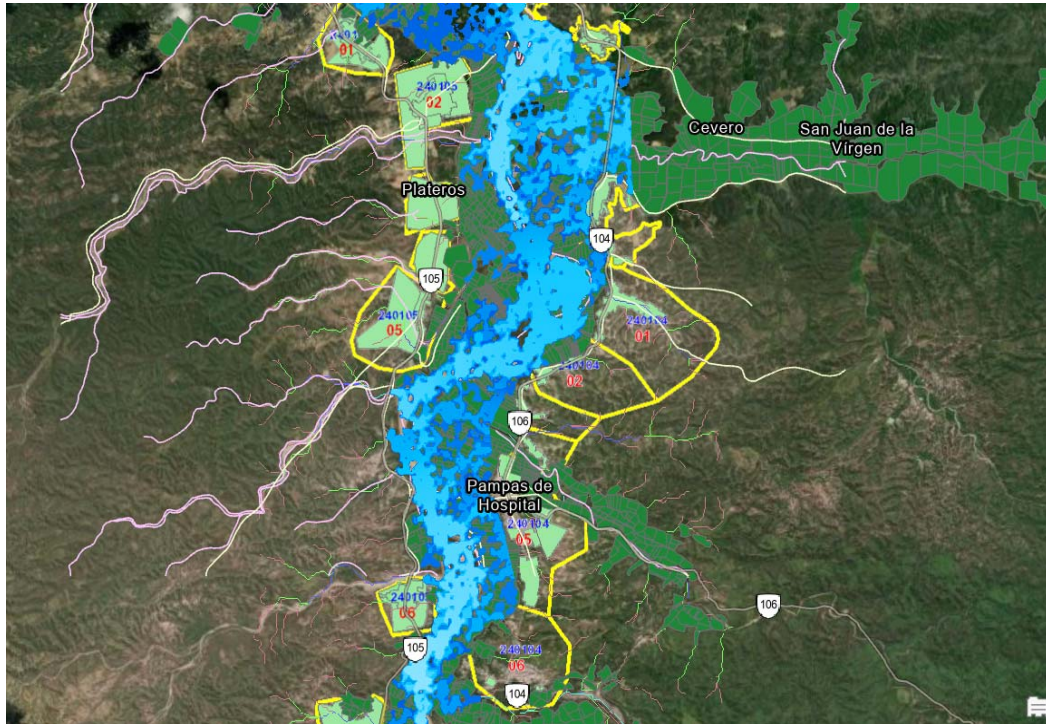


Figura 46: Imagen extraída ARGIS-PRO Zonas rural y urbana afectadas por inundación
Fuente: elaboración propia

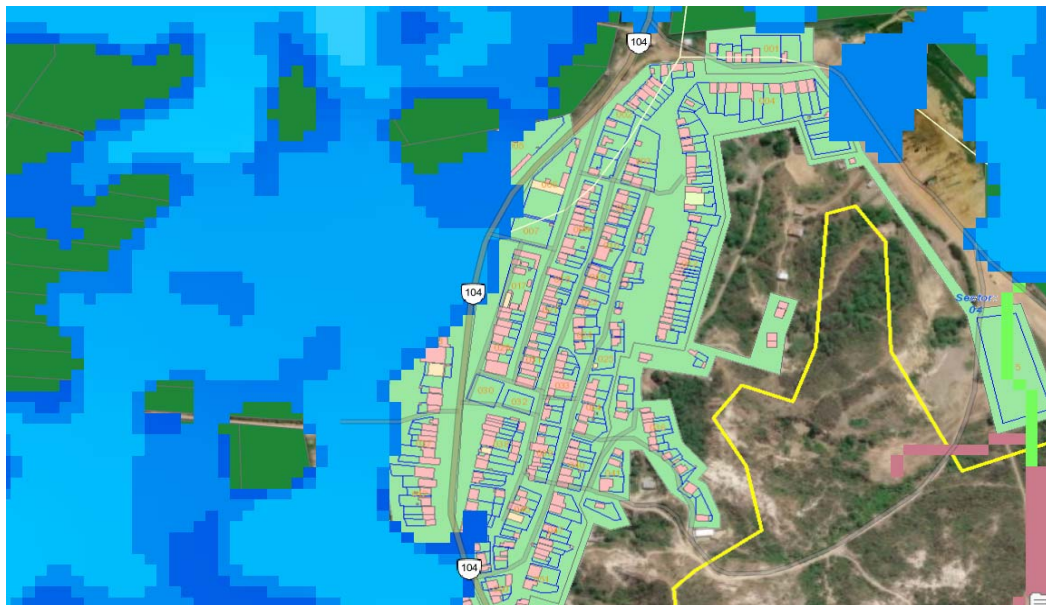


Figura 47: Imagen extraída de ARGIS-PRO Lotes urbanos afectados por inundación
Fuente: elaboración propia

La altura de inundación promedio que ingresa a la vivienda es:

$$H_{\text{promedio}} = 0.67 \approx 0.70\text{m}$$

Teniendo la altura promedio de inundación y la información catastral a nivel de manzana o lotes de vivienda se recurre a la Tabla para observar que las pérdidas económicas por contenido de la vivienda aproximadas son:

Pérdida económica aproximada por altura de inundación = S/. 4425.00 x lote

6.1.6. Desarrollo de Plan de mitigación de daños.

Con la finalidad de disminuir los efectos de las inundaciones que se dan en el río Puyango – Tumbes, se ha desarrollado planes de mitigación de daños que servirán para aliviar los efectos devastadores producidos por las inundaciones que se dan cada cierto tiempo.

Las medidas planteadas a continuación tienen el objetivo tratar de reducir la probabilidad de ocurrencia del riesgo o reducir el impacto que pueda causar.

Medidas basadas en ejecución de obras de protección frente a inundaciones

- a. Crear un sistema de drenaje urbano (alcantarillado pluvial) en los poblados en los que se evidencia la mayor afectación de acuerdo a la simulación con los softwares.
- b. Colocar defensas ribereñas a lo largo del área de influencia de la inundación
- c. Para los casos en que los poblados cuenten con gran cantidad de casas construidas con materiales susceptibles a la humedad como quincha y adobe, colocar barreras con recubrimientos resistentes a la humedad delante de las viviendas.

Medidas basadas a nivel de gestión de las autoridades

- a. Crear un sistema de alerta temprana mediante la instalación de una red de monitoreo y alerta para las quebradas de mayor riesgo.
- b. Restringir el uso inadecuado del suelo que presenta un mayor riesgo hídrico ya sea quebradas activas o inactivas.
- c. Reglamentación estricta del área a los lados del río debido a la urbanización y ocupación de áreas de gran riesgo de inundación.
- d. Capacitación a toda la población acerca de planes de escape y evacuación en caso de una inundación que supere las medidas antes mencionadas.

- e. Realización de simulacros de inundación 2 veces al año que contribuya a la concientización de la población acerca de los peligros de las inundaciones.

6.2. Contrastación de Hipótesis

Se realizará mediante la comparación de la Hipótesis Propuesta y de los resultados obtenidos, para lo cual se determinará primeramente la Contrastación de las Hipótesis Específicas y luego de la Hipótesis General.

6.2.1. Contrastación de la Hipótesis Específica 1

Hipótesis Alternativa (H_{i1}): Al acopiarse bases de datos geoespaciales en una plataforma geomática se podrá determinar las probables áreas de inundación producidas por el desborde del río.

Hipótesis Nula (H_{01}): Al acopiarse bases de datos geoespaciales en una plataforma geomática no se podrá determinar las probables áreas de inundación producidas por el desborde del río.

En vista que con el presente estudio hemos podido determinar que al acopiarse bases de datos geoespaciales en una plataforma geomática se podrá determinar las probables áreas de inundación producidas por el desborde del río, podemos indicar que se acepta la Hipótesis Alternativa y se rechaza la Hipótesis Nula.

6.2.2. Contrastación de la Hipótesis Específica 2

Hipótesis Alternativa (H_{i2}): El uso herramientas geomáticas y software como modelos de elevación digital se podrá identificar y proyectar las zonas de inundación provocadas por el desborde Río.

Hipótesis Nula (H_{02}): El uso herramientas geomáticas y software como modelos de elevación digital no se podrá identificar y proyectar las zonas de inundación provocadas por el desborde Río.

De acuerdo con la modelación realizada si hemos podido determinar que con el uso herramientas geomáticas y software como modelos de elevación digital se podrá identificar y proyectar las zonas de inundación provocadas por el desborde Rio; por lo tanto, podemos indicar que se acepta la Hipótesis Alterna y se rechaza la Hipótesis Nula.

6.2.3. Contrastación de la Hipótesis Específica 3

Hipótesis Alterna (H_{i3}): Con el uso de herramientas geomáticas y el procesamiento de la información en bases de datos geoespaciales se podrá establecer planes de mitigación de daños.

Hipótesis Nula (H_{03}): Con el uso de herramientas geomáticas y el procesamiento de la información en bases de datos geoespaciales se podrá establecer planes de mitigación de daños.

Con el uso de herramientas geomáticas y el procesamiento de la información en bases de datos geoespaciales se podrá establecer planes de mitigación de daños; por lo tanto, podemos indicar que se acepta la Hipótesis Alterna y se rechaza la Hipótesis Nula.

6.2.4. Contrastación de la Hipótesis General

En resumen, la Hipótesis General planteada indica:

“Al implementar el uso de herramientas geomáticas y bases de datos geoespaciales se pueden identificar zonas de probable inundación producidas por el desborde del rio Puyango-Tumbes, así como también encontrar rutas y zonas factibles que sirvan para la evacuación de las personas que viven en los alrededores, de esta forma minimizar el impacto social que pueden tener estos fenómenos naturales en la población.”:

Podemos indicar que a través de la obtención de los resultados expuestos efectivamente se pueden identificar zonas de probable inundación producidas por el desborde del rio Puyango-Tumbes, así como también encontrar rutas y zonas factibles que sirvan para la evacuación de las personas que viven en los alrededores, por lo que se determina que la hipótesis planteada resulta verdadera; por lo tanto, se acepta la Hipótesis planteada.

6.3. Discusión

La ubicación de los distintos poblados en las cercanías del río Tumbes, así como también las actividades agrícolas que realiza la población en sus márgenes contribuyen a incrementar el factor de riesgo durante la crecida del río. Siendo imposible modificar esta realidad, las autoridades están en la obligación de realizar las gestiones adecuadas para evitar que, debido a las acciones tomadas por la población, las consecuencias de una eventual inundación sean más perjudiciales y de mayor impacto social en la zona. En el presente estudio se evidenció que según los resultados del análisis de peligro existen circunstancias que aumentan o favorecen el nivel de amenaza en la zona, como es la influencia de factores antrópicos en el tramo de estudio. Como se evidencia también en informes técnicos anteriores, como los realizados por el Senamhi en recuentos de la última inundación grave de la zona, ocurrida en el año 2017, donde se presentó el llamado evento “Niño Costero” el cual ocasiono desbordes, cuantiosos daños materiales e incluso la pérdida de varias estaciones automáticas ubicadas a lo largo del tramo en estudio. Los factores antrópicos combinados con los factores hidrometeorológicos favorecen al incremento de peligro por inundación en la zona.

En la presente investigación existe una limitación en cuanto a la obtención de la topografía exacta de la zona ya que la envergadura del tramo en estudio es muy grande, lo que dificulta la obtención de esta, por su costo y dificultad. Además, la batimetría empleada en las simulaciones de inundación fue tomada de estudios anteriores por lo cual no generan datos nuevos a considerar en bases de datos topográficos del lecho y cauce del río tumbes.

Como la presente investigación tiene enfoque en la geomática y el manejo de información en una plataforma SIG, los cálculos hidráulicos son utilizados para realizar solamente las simulaciones de inundación. Siendo así, cabe mencionar que la presente investigación tiene su principal enfoque y aporte en el manejo de las herramientas y propiedades de ArcGIS que, haciendo uso de información catastral y imágenes satelitales nos muestra una proyección de la zona en estudio y en conjunto con los softwares IBER y HEC RAS, se realiza una serie de procesos e

ingresos de información a ambos softwares con el fin de obtener productos específicos para la generación de las simulaciones de inundación.

Como resultado de llevar a cabo las simulaciones de inundación para 3 diferentes tiempos de retorno, se pudo apreciar que los resultados arrojados por los softwares coinciden con las imágenes y datos relacionados con área de inundación de otros estudios pasados, además de corroborar testimonios vertidos por los pobladores de la zona que principalmente ven afectadas sus cosechas de plátano banano cada vez que se inunda el río.

Para este tipo de investigación otro limitante podría ser la calidad de la imagen satelital ingresada en el programa ArcGIS, por eso creemos fundamental tener una base de datos geoespaciales para buscar detenidamente la imagen satelital de la zona con la mejor resolución y que nos brinde una simulación más cercana a la realidad. En relación con las pérdidas económicas, en esta investigación se plantea la ejecución de planes de contingencia o de mitigación de daños como por ejemplo el uso de elementos de contención como gaviones, que coincide con algunas medidas de protección que los pobladores de la zona toman para proteger sus electrodomésticos y muebles en general.

CONCLUSIONES

1. El uso de diferentes plataformas geomáticas permite poder utilizar las distintas informaciones con las que se cuentan de la zona, como información catastral ya sea urbana, rural o vial, además de información satelital y de estudios hidrológicos realizados, para llegar a determinar la magnitud del desastre producido por la inundación y diseñar planes de contingencia más eficientes, que ayuden a mitigar los daños producidos por la misma. Estas herramientas geomáticas nos ayudan a identificar también las zonas más adecuadas que pueden servir como zonas de evacuación en caso se produzca la inundación.
2. La generación de una base de datos geoespaciales de diferentes plataformas ha permitido seleccionar un Modelo de elevación digital con mayor nitidez la cual permite establecer con mayor precisión la determinación de las zonas inundables.
3. Al usar distintas plataformas geomáticas nos damos cuenta de que a pesar de usar los mismos datos y ser la misma zona de estudio para ambas, aparecen diferencias en sus resultados. Los dos modelos confrontados en este estudio, IBER y HEC-RAS, usan esquemas de cálculo distintos para la solución de las ecuaciones completas de Saint-Venant, esquema de volúmenes finitos y esquema implícito en diferencias finitas respectivamente, mostrando resultados diferentes. Estas diferencias presentadas se deben en gran medida a que estos esquemas de solución requieren de una discretización espacial distinta que genera algunas discrepancias en los resultados. Al comparar los programas, llegamos a la conclusión que IBER es mucho más riguroso en relación a los datos o información que requiere para iniciar una modelación.
4. Mediante los mapas de inundación de ambos modelamientos se identifican las áreas afectadas directamente por las inundaciones y a partir de este reconocimiento se generan las zonas de evacuación para la población, además se han establecido medidas para el plan de mitigación de daños, logrando establecer zonas de evacuación para mitigar los efectos de las inundaciones del río Puyango-Tumbes.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar la base de datos de geoespaciales con el propósito de obtener modelos de elevación digital de más alta resolución.
2. Como medida de mitigación ante los posibles daños, resulta recomendable la construcción de elementos de protección o gaviones.
3. Informar a los pobladores que residen en las zonas adyacentes al cauce del Río sobre el peligro en el que se encuentran, sus viviendas y familiares
4. Para una mejor obtención de resultados realizar un estudio sobre las inundaciones a nivel de toda la cuenca del Río Tumbes.
5. Realizar un levantamiento topográfico de alta resolución para dar mayor precisión a los resultados.
6. Es recomendable la realización del cálculo de caudal con una serie más extensa de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez Montero, G. F., & Moreno Cueva, C. A. (2021). *Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura*. Lima.
- Asesores Técnicos Asociados S.A. (2002). *Plan de Gestión de la Oferta de Agua en las Cuencas del Ámbito del Proyecto PuyangoTumbes* (Vol. I). (INADE, Ed.) Lima: Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes (PEBPT).
- Autoridad Nacional del Agua, ANA . (2019). *Ministerio del Desarrollo Agrario y riego*. Retrieved from [https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/tumbes/Hidrograf%
c3%ada](https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/tumbes/Hidrograf%c3%ada)
- Bernardo Meza, A. R. (1989). *Control de Inundaciones de la ciudad de Tumbes: Quebrada los Tumpis*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bernhardsen, T. (2002). *Geographic Information Systems: An introduction* (3ra ed.). New York, E.E.U.UU: Wiley.
- C y A Consultores Asociados. (1990). *Estudio de Factibilidad Proyecto PuyangoTumbes* (Vols. Tomo 5: Comisión Mixta Peruano Ecuatoriana para el aprovechamiento de las cuencas Hidrograficas Binacionales Puyango- Tumbes y Catamayo-Chira). Lima.
- Casia Boza, J. (2015). Evaluación estructural de pavimentos flexibles usando el deflectómetro de impacto en la carretera Tarma- La Merced. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Chow, V. T. (2005). *Hidráulica de canales abiertos*. Santa fe de Bogota, Colombia: McGraw-Hill.
- Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno - Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo (España): Ed. Pentalfa.
- INEI. (2016). *Censos Nacionales de Población y Vivienda*. Lima.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1992). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Mexico: Editorial Limusa S.A.
- Lazarte Araoz, E. (2002). *Sig de la cuenca del rio Puyango para la Gestión de Recursos Hidricos*. Peru: Repositorio Institucional Pirhua.
- Leó Altuna, K. B. (2018). *Análisis de riesgo en la cuenca Baja Puyango-Tumbes, Perú, durante eventos el niño extremo*. (D. d. Civil, Ed.) Chile: Universidad de Chile - Facultad de ciencias Fisicas y Matematicas .

- Lluén Chero, W. E. (2015). *Aplicación de la nueva Herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos*. Cataluña.
- Machuca Breña, R. O. (2014). *Calculos de daños Economicos Potenciales en viviendas por Inundaciones durante la Ocurrencia del Fenomeno del Niño, caso Norte Peruano*. Tumbes.
- Martínez Ruiz, R., González Gámez, F., & Gordo Murillo, C. (2001). Análisis de las metodologías habituales para la generación de Modelos. *Revista Mapping*(Nº 71), 86-92.
- Núñez Juárez, S., & Zegarra Leo, J. (2006). *Estudio Geoambiental de la cuenca del Río Puyango-Tumbes*. Lima: Dirección de Geología Ambiental.
- Peucker, T., Fowler, R., Little, J., & Mark, D. (1978). "The triangulated irregular network". *Proceedings of the ASP Digital Terrain Models (DTM) Symposium*: (pp. 516-540). Virginia.: American Society of Photogrammetry. Falls Church.
- Peuquet, D., & Marble, D. (1990). *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis.
- Quispe Torres, J. A., & Sullca Otazu, R. F. (2015). *Aplicación del Modelo Matemático HEC-RAS para el Cálculo del Perfil Hidráulico del Río Ramis RÍO RAMIS*. Juliaca.
- Robinson, A. H. (1987). *Elementos de Cartografía*. Muerhcke: Editorial Omega.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p style="text-align: center;">Problema General</p> <p>¿De qué manera el uso de herramientas geomáticas contribuye a la sistematización de la información geoespacial para el control de las inundaciones y zonas de evacuación del río Puyango – Tumbes?</p> <p style="text-align: center;">Problemas Específicos</p> <p>a) ¿De qué modo se sistematiza la información geoespacial para evaluar las afectaciones producidas por la inundación gracias al uso de herramientas geomáticas?</p> <p>b) ¿De qué forma las bases de datos geoespaciales obtenidas con herramientas geomáticas se pueden usar para establecer las áreas de probable inundación?</p> <p>c) ¿Cómo la aplicación de las herramientas geomáticas ayuda a establecer propuestas para mitigar los efectos de una inundación?</p>	<p style="text-align: center;">Objetivo General</p> <p>Haciendo uso de herramientas geomáticas se contribuirá a crear y/o mejorar los planes de contingencia y zonas de evacuación para tener un mejor control en caso de inundación del río Puyango – Tumbes.</p> <p style="text-align: center;">Objetivos Específicos</p> <p>a) Acopiar bases de datos geoespaciales de diferentes plataformas para tener una mayor precisión en la determinación de zonas inundables</p> <p>b) Utilizar plataformas geomáticas para sistematizar la información que ayuden a identificar las zonas afectadas producidas por la inundación</p> <p>c) Desarrollar planes de mitigación de daños, así como establecer zonas de evacuación para mitigar los efectos de la inundación del río Puyango – Tumbes.</p>	<p style="text-align: center;">Hipótesis General</p> <p>Al implementar el uso de herramientas geomáticas y software como modelos de elevación digital se podrá identificar y proyectar las zonas de inundación provocadas por el desborde del río Puyango.</p> <p>b) Al acopiarse bases de datos geoespaciales en una plataforma geomática se podrá determinar las probables áreas de inundación producidas por el desborde del río Puyango.</p> <p>c) Con el uso de herramientas geomáticas y el procesamiento de la información en bases de datos geoespaciales se podrá establecer planes de mitigación de daños</p>	<p style="text-align: center;">Variable Independiente</p> <p>Herramientas geomáticas</p> <p style="text-align: center;">Indicadores de la V.I</p> <ul style="list-style-type: none"> - Delimitación - Cartografía - Catastro <p style="text-align: center;">Variable Dependiente</p> <p>Control de inundaciones y zonas de evacuación</p> <p style="text-align: center;">Indicadores de la V.D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Norma técnica - Diseño del modelo - Uso del suelo 	<p style="text-align: center;">Tipo de investigación</p> <p>Deductivo</p> <p style="text-align: center;">Orientación de la investigación</p> <p>Básica</p> <p style="text-align: center;">Enfoque de la investigación</p> <p>Cualitativo</p> <p style="text-align: center;">Instrumento de recolección de datos</p> <p>Prolectivo</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de Operacionalización de variables

Variable en estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de sub variables	Índice	Unidad
Herramienta Geomática	Software que nos ayuda a documentar zonas con poca información geográfica	Delimitación	Medición de los límites del área inundable	Medirse	m
		Cartografía	Representación precisa de un área en particular	Coordenadas	UTM
		Catastro	Padrón de predios rurales y urbanos	Mapas	m ²
Variable en estudio	Definición conceptual	Indicador	Definición de sub variables	Índice	Unidad
Control de inundaciones y zonas de evacuación	Planes de emergencia ante el riesgo de inundaciones	Norma Técnica	Documento aprobado por un organismo reconocido, establece especificaciones técnicas	Vigencia	días
		Diseño Del Modelo	Modelo de análisis describiendo en mayor detalle la estructura del sistema y como será implementado	Caudal	m ³
		Uso Del Suelo	Acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie	Área	m ²

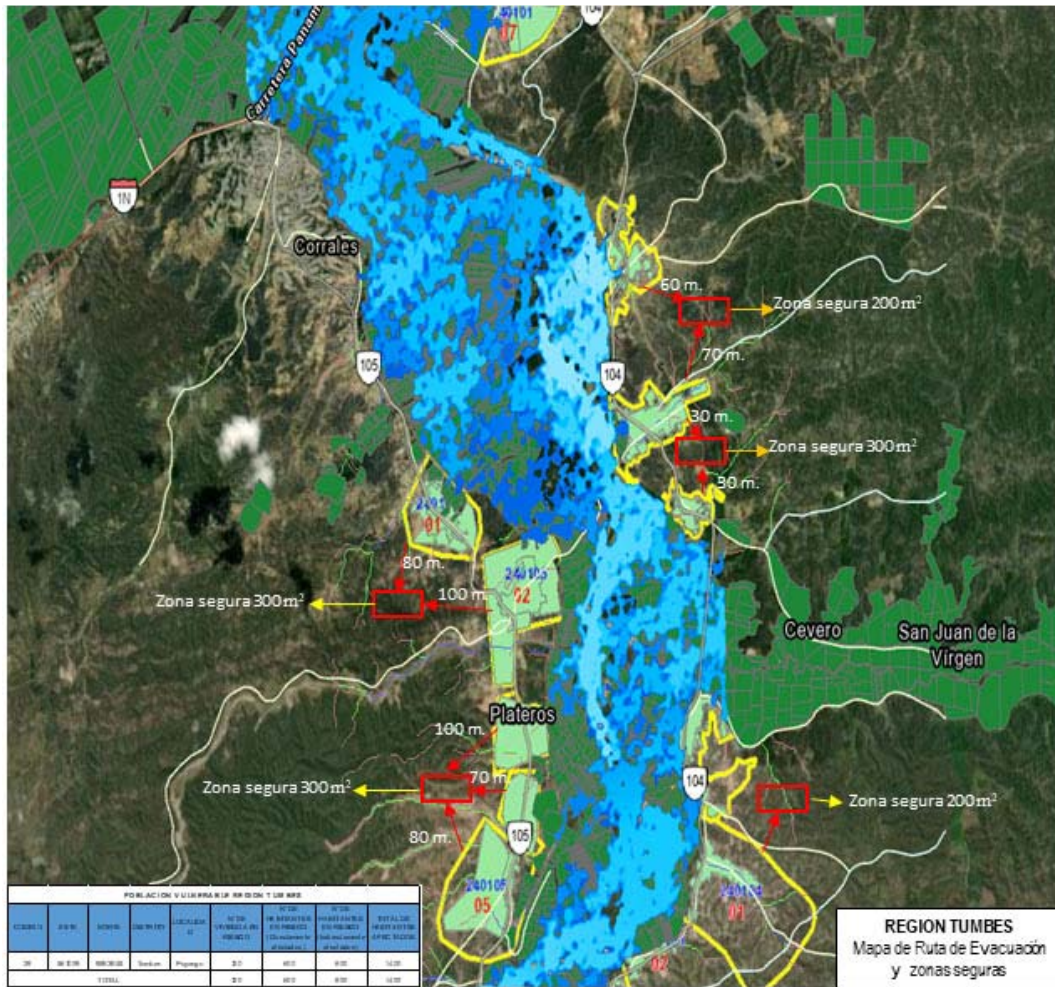
Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Base de datos geoespaciales

Nº	BASE DE DATOS Y PLATAFORMAS DIGITALES
1	<p>ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) ASTER es el resultado de un trabajo cooperativo entre la NASA, el Ministerio japonés de Economía, Comercio e Industria (METI) y Japan Space Systems (J-spacesystems), es un modelo de elevación digital que se utiliza para crear mapas detallados de la temperatura de la superficie terrestre, la reflectancia y la elevación, como se puede ver en su web oficial donde podrás leer sobre cómo fue creado este increíble MDE. https://asterweb.jpl.nasa.gov/index.asp</p>
2	<p>ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite) ALOS es el satélite conocido como DAICHI que te permite obtener Modelos Digitales de la Superficie con una resolución horizontal de 30 metro en todo el globo terráqueo y PALSAR es uno de los tres instrumentos del satélite, en su web encontrarás toda la información además de detalles sobre el proyecto. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/index_e.htm</p>
3	<p>STRM (stands for Shuttle Radar Topography Mission) Es uno de los MDEs gratuito más conocidos en internet y puedes encontrarlo en casi todas partes, tiene una cobertura global con 30 metros de resolución horizontal, puedes leer todos los detalles técnicos en su web proporcionada por la NASA. La forma más fácil de obtener SRTM es a través de Earth Explorer, y simplemente selecciona el área de interés, navegue por todos los formatos de dataset disponibles y seleccione SRTM de la categoría Digital Elevation https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/</p>
4	<p>LiDAR (Light Detection and Ranging) LiDAR es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. No es fácil encontrar datos LiDAR, existen sitios web en los que puedes encontrarlos pero la mayoría no son gratuitos, algunas fuentes proporcionan los datos de manera gratuita para un número limitado de lugares, en cambio algunos países proporcionan los datos LiDAR a través de sus propias páginas web. En la web de Open Topography se pueden encontrar datos LiDAR gratuitos en Globe, por otro lado, también proporciona datos LiDAR ya mencionada anteriormente Earth Explorer, pero solo para un número limitado de lugares como es el caso de Estados Unidos, donde existe el Inventario de Elevación Interagencial de los Estados Unidos. https://coast.noaa.gov/inventory/</p>
5	<p>MAAP (Multi-Mission Algorithm and Analysis Platform) La NASA y la ESA (Agencia Espacial Europea) lanzaron públicamente una revolucionaria herramienta científica de código abierto para analizar datos científicos de la Tierra en la nube: la Plataforma de análisis y algoritmos de misiones múltiples (MAAP). MAAP proporciona un acceso perfecto a los datos de ciencias de la Tierra de la NASA y la ESA y es un modelo para la colaboración y el análisis científico de código abierto. Como parte del área de énfasis inicial respaldada por MAAP en la biomasa aérea, es la plataforma anfitriona para la primera evaluación globalmente armonizada del carbono superficial, información que es vital para la gestión del cambio climático global. https://earthdata.nasa.gov/</p>
6	<p>GTOPO30 GTOPO30 ha sido proporcionado por el USGS y es un modelo de elevación digital (DEM) con una cobertura global. GTOPO30 fue producido a partir de varias fuentes ráster y de información vectorial topográfica. Puedes descargar los datos de GTOPO30 desde Earth Explorer, pero solo pueden usarse en mapas de mediana a pequeña escala, ya que al cargarlos en QGIS en tamaño de las celdas es tan grande en medianas y grandes escalas que casi no muestra nada en la pantalla, mientras que en las escalas más pequeñas tiene más sentido. https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30 https://dds.cr.usgs.gov/ee-data/coveragemaps/shp/ee/gtopo30/gtopo30.zip</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Mapa de Ruta de Evacuación y zonas seguras



Fuente: Elaboración propia