

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACION POR LA
QUEBRADA TATAQUE EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA
BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN.**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. AMASIFEN TERÁN ROYER ANTHONY

ASESOR:

Dr. Ing° MÉNDEZ CRUZ GASPAS VIRILO

CAJAMARCA - PERÚ

-2024-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador: ROYER ANTHONY AMASIFÉN TERÁN**
DNI: 72446630
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor: Dr. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**
Facultad: INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LA QUEBRADA TATAQUE EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN"
- Fecha de evaluación: 19 de junio del 2024**
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 23% (veintitrés por ciento)**
- Código Documento: oid:3117:361972659**
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19 de junio 2024



Dr. Ing° GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ
DNI: 26631950
ASESOR



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258601 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 19/06/2024 21:05:27-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

A Dios por estar siempre a mi lado y a mi familia, quienes me brindaron la fuerza, la dedicación y la determinación necesarias para alcanzar mis objetivos.

A mi asesor, el Dr. Ing^o Gaspar Virilo Méndez Cruz por sus consejos, enseñanzas, y su desinteresada ayuda en el proceso de desarrollo de esta investigación.

A todos mis compañeros, colegas y amigos, que de alguna u otra forma colaboraron con conocimiento e información haciendo posible la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis queridos padres.

Con infinito amor y profunda gratitud, dedico esta tesis a ustedes. Su inquebrantable apoyo, sacrificio y aliento han sido la luz que ha guiado cada paso de mi camino académico. Gracias por su constante inspiración, por creer en mí incluso cuando dudaba, y por ser mi fuente inagotable de fuerza y motivación.

A mis hermanas

Quienes han sido mi apoyo incondicional y fuente constante de inspiración a lo largo de este camino

ÍNDICE GENERAL

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1.1	CONTEXTUALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:	16
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1	JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA:.....	20
1.3.2	JUSTIFICACIÓN TÉCNICO-PRÁCTICA:.....	20
1.3.1	JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL Y PERSONAL:.....	20
1.4	ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5	LIMITACIONES.....	20
1.6	OBJETIVOS:	21
1.6.1	OBJETIVO PRINCIPAL:.....	21
1.6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	21
2.1	ANTECEDENTES TEORICOS.	21
2.1.1	INTERNACIONALES	21
2.1.2	NACIONALES	22
2.1.3	LOCALES.....	22
2.2	BASES TEORICAS.	23
2.2.1	CARTOGRAFÍA Y USO DE SUELOS.	23
2.2.2	HIDROLOGÍA.....	24
	<i>a) Cuenca Hidrográfica.</i>	<i>24</i>
	<i>b) Análisis Hidrológico de cuencas.</i>	<i>24</i>
	<i>c) Evaluación de la información hidrológica.....</i>	<i>24</i>
	<i>d) Parámetros geomorfológicos de la Cuenca hidrográfica.....</i>	<i>25</i>
	<i>Parámetros de forma</i>	<i>25</i>
	<i>Tamaño de la cuenca.</i>	<i>25</i>
	<i>Perímetro (P).....</i>	<i>25</i>
	<i>Longitud del río principal (L).....</i>	<i>26</i>
	<i>factor de forma de la cuenca:.....</i>	<i>26</i>
	<i>Índice de compacidad (coeficiente de Gravelius).....</i>	<i>26</i>
	<i>Parámetros de relieve</i>	<i>27</i>
	<i>Curva Hipsométrica.....</i>	<i>27</i>
	<i>Cálculo de la elevación media:</i>	<i>27</i>
	<i>Cálculo de altura media:.....</i>	<i>28</i>
	<i>Rectángulo equivalente:</i>	<i>28</i>
	<i>Índice de pendiente</i>	<i>28</i>
	<i>Pendiente de la cuenca:</i>	<i>29</i>
	<i>Parámetros relativos.....</i>	<i>29</i>
	<i>Coficiente de Fourier o coeficiente de masividad</i>	<i>29</i>
	<i>Densidad de drenaje:</i>	<i>29</i>

<i>Tiempo de concentración:</i>	30
<i>Número de orden de la cuenca:</i>	30
2.2.3 HIDRÁULICA	31
<i>Geometría del cauce.</i>	31
<i>Pendiente longitudinal.</i>	31
<i>Sección transversal.</i>	31
<i>Cause definido: cuando la corriente de estiaje fluye por un solo canal con límites bien demarcados. (Ven Te, 1994).</i>	31
<i>Cause indefinido: Cuando la corriente va por pequeños cauces o brazos que se entrecruzan en una misma sección transversal. (Ven Te, 1994).</i>	31
<i>Régimen del flujo.</i>	32
<i>Métodos estadísticos de datos hidrológicos.</i>	32
<i>Distribución Normal.</i>	32
<i>Distribución Log Normal 3 parámetros.</i>	32
<i>Distribución Log Pearson Tipo III</i>	33
<i>Distribución Gumbel.</i>	34
<i>Análisis estadístico de datos hidrológicos.</i>	35
<i>Cálculo de la probabilidad Empírica o Experimental.</i>	35
<i>Análisis de Frecuencia</i>	35
<i>Frecuencia absoluta y frecuencia relativa.</i>	36
<i>Periodo de Retorno (Tr)</i>	36
<i>Prueba de bondad de ajuste.</i>	37
<i>Prueba Kolmogorov– Smirnov.</i>	37
<i>Simulación del modelo ajustado.</i>	38
<i>Estimación de tránsito de avenidas</i>	39
<i>Estimación de caudales.</i>	42
<i>Método racional</i>	42
<i>Coficiente de escorrentía</i>	43
<i>Modelamiento hidráulico.</i>	43
2.2.4 ASPECTOS TEÓRICOS CONCEPTUALES	45
<i>Inundación.</i>	45
<i>Tipos de inundación.</i>	45
<i>Inundaciones dinámicas o rápidas.</i>	45
<i>Inundaciones estáticas o lentas.</i>	45
<i>Precipitación.</i>	46
<i>Zonas inundables.</i>	46
<i>Inundaciones en el Perú.</i>	46
<i>Causas de las inundaciones.</i>	46
2.2.5 ESTIMACIÓN DEL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO.....	48
2.2.5.1 Peligro.....	48

2.2.5.2	<i>Vulnerabilidad</i>	48
	<i>Indicadores de Vulnerabilidad</i>	48
	<i>Tipos de Vulnerabilidad</i>	48
	<i>Vulnerabilidad física</i>	48
	<i>Vulnerabilidad Económica</i>	50
	<i>Vulnerabilidad social</i>	51
	<i>Vulnerabilidad educativa</i>	51
	<i>Vulnerabilidad cultural e ideológica</i>	53
	<i>Vulnerabilidad política e institucional</i>	54
	<i>Vulnerabilidad científica y tecnológica</i>	54
	<i>Estratificación de la vulnerabilidad</i>	55
2.2.5.3	RIESGO	57
	<i>Cálculo del riesgo</i>	57
2.2.6	DESASTRE	59
2.2.7	Mitigación	59
2.2.8	Emergencia	59
2.2.9	Área de Inundación	59
3.1	UBICACIÓN POLÍTICA	60
3.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	62
3.3	POBLACIÓN	63
3.4	MUESTRA	63
3.5	UNIDAD DE ANÁLISIS	63
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	63
3.6.1	TÉCNICAS	63
3.6.2	INSTRUMENTOS	64
3.6.3	EQUIPOS	64
3.7	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	64
4.1	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA	70
4.1.1	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	70
4.1.2	PARÁMETROS DE FORMA	71
4.1.3	PARÁMETROS DE RELIEVE	72
4.1.4	PARÁMETROS RELATIVOS	77
4.2	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	78
4.2.1	ANÁLISIS DE FRECUENCIAS	81
4.2.2	CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS	83
4.2.3	AJUSTE A UN MODELO GENERALIZADO DE CURVA IDF	86
4.3	MODELAMIENTO HIDRÁULICO	88
4.3.1	PROCEDIMIENTO DEL MODELO HIDRÁULICO	91
	<i>En el proceso de modelado actual, utilizamos los siguientes elementos clave</i>	91
5.1	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	108

5.1.1	<i>ESTIMACIÓN TOTAL DE LA VULNERABILIDAD.</i>	111
5.2	ESTIMACIÓN DEL PELIGRO DE INUNDACIÓN.	112
5.2.1	<i>IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO.</i>	112
5.2.2	<i>ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO TOTAL.</i>	114
5.3	ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO.	115
6.1	CONCLUSIONES.	116
6.2	RECOMENDACIONES.	117
6.3	ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1.	<i>CLASIFICACIÓN DE CUENCAS POR SUPERFICIE</i>	25
------------	--	----

TABLA N°2.	ÍNDICE DE COMPACIDAD – FORMA DE LA CUENCA	26
TABLA N°3.	VALORES CRÍTICOS DE $\Delta 0$ DEL ESTADÍSTICO SMIRNOV - KOLMOGOROV	38
TABLA N°4.	COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA MÉTODO RACIONAL.....	43
TABLA N°5.	ESTRATO, DESCRIPCIÓN Y VALOR DE LAS ZONAS DE PELIGRO	47
TABLA N°6.	VULNERABILIDAD FÍSICA.	49
TABLA N°7.	VULNERABILIDAD ECONÓMICA.	50
TABLA N°8.	VULNERABILIDAD SOCIAL.....	51
TABLA N°9.	VULNERABILIDAD EDUCATIVA.....	52
TABLA N°10.	VULNERABILIDAD CULTURAL E IDEOLÓGICA.....	53
TABLA N°11.	VULNERABILIDAD POLÍTICA INSTITUCIONAL.....	54
TABLA N°12.	VULNERABILIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA.....	55
TABLA N°13.	ESTRATO, DESCRIPCIÓN Y VALOR DE LA VULNERABILIDAD.....	56
TABLA N°14.	MATRIZ DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD.....	58
TABLA N°15.	ANCHO MEDIO.....	72
TABLA N°16.	FACTOR DE FORMA.....	72
TABLA N°17.	LONGITUD PRINCIPAL DEL CAUCE.....	72
TABLA N°18.	ÍNDICE DE COMPACIDAD	72
TABLA N°19.	DISTRIBUCIÓN ALTIMÉTRICA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA TATAQUE.....	73
TABLA N°20.	ELEVACIÓN MEDIA.....	74
TABLA N°21.	RECTÁNGULO EQUIVALENTE	74
TABLA N°22.	SUB ÁREAS DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE	75
TABLA N°23.	PENDIENTE DE LA CUENCA.....	75
TABLA N°24.	PERFIL LONGITUDINAL DE LA CUENCA TATAQUE	76
TABLA N°25.	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL.....	77
TABLA N°26.	PARÁMETROS RELATIVOS DE LA CUENCA TATAQUE.....	77
TABLA N°27.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS	78
TABLA N°28.	DATOS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS DE CADA AÑO HISTÓRICO	79
TABLA N°29.	DATOS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS AMPLIFICADAS DE CADA AÑO HISTÓRICO	80
TABLA N°30.	VALORES DELTA TEÓRICO	81

TABLA N°31.	RESUMEN DE LOS TEST DE KOLMOGOROV.....	82
TABLA N°32.	DATOS DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA	83
TABLA N°33.	CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS PARA DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO	83
TABLA N°34.	INTENSIDADES MÁXIMAS (MM/HR).....	85
TABLA N°35.	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE REGRESIÓN POTENCIAL MÚLTIPLE.....	87
TABLA N°36.	CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	88
TABLA N°37.	CAUDAL MÁXIMO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.....	89
TABLA N°38.	COEFICIENTES PARA HIDROGRAMA UNITARIOS ADIMENSIONALES DE LA SCS.	89
TABLA N°39.	VALORES DE HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL DE LA SCS.	90
TABLA N°40.	ÁREAS INUNDADAS PARA TR=15 AÑOS.....	101
TABLA N°41.	ÁREAS INUNDADAS PARA TR=25 AÑOS.....	102
TABLA N°42.	ÁREAS INUNDADAS PARA TR=50 AÑOS.....	103
TABLA N°43.	ÁREAS INUNDADAS PARA TR=100 AÑOS.....	103
TABLA N°44.	ÁREAS INUNDADES PARA TR=200 AÑOS.....	104
TABLA N°45.	NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICA.....	108
TABLA N°46.	NIVEL DE VULNERABILIDAD ECONÓMICA.....	108
TABLA N°47.	NIVEL DE VULNERABILIDAD SOCIAL.....	109
TABLA N°48.	NIVEL DE VULNERABILIDAD EDUCATIVA.....	109
TABLA N°49.	NIVEL DE VULNERABILIDAD CULTURAL E IDEOLÓGICA.....	110
TABLA N°50.	NIVEL DE VULNERABILIDAD POLÍTICA E INSTITUCIONAL.....	110
TABLA N°51.	NIVEL DE VULNERABILIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA.....	111
TABLA N°52.	NIVEL DE VULNERABILIDAD TOTAL.....	111
TABLA N°53.	DATOS GENERALES DE LA LOCALIDAD.....	112
TABLA N°54.	DATOS DEL PELIGRO YA OCURRIDO.....	112
TABLA N°55.	FICHA TÉCNICA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN DAMIANA BAJA	113
TABLA N°56.	NIVEL DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES FLUVIALES.....	113
TABLA N°57.	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO POR INTENSIDAD.....	114
TABLA N°58.	ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO TOTAL.....	114
TABLA N°59.	NIVEL DE RIESGO DE INUNDACIÓN.....	115

TABLA N°60.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD NORMAL.	127
TABLA N°61.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD LOG NORMAL 2 PARÁMETROS.....	128
TABLA N°62.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD LOG NORMAL 3 PARÁMETROS.....	129
TABLA N°63.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD GAMMA 2 PARÁMETROS.	130
TABLA N°64.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD GAMMA 3 PARÁMETROS.	131
TABLA N°65.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD LOG PEARSON TIPO III.	132
TABLA N°66.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD GUMBEL.	133
TABLA N°67.	AJUSTE DE PRECIPITACIONES A DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD LOG GUMBEL.	134

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1. ESCENARIO POR LLUVIAS (ENERO-MARZO 2020) EN LA PROVINCIA DE JAÉN.	27
FIGURA N°2. EJEMPLO DE CURVA HIPSOMÉTRICA.....	27
FIGURA N°3. CAUCE DEFINIDO Y CAUCE INDEFINIDO.	32
FIGURA N°4. SECCIÓN TÍPICA DE UNA LLANURA INUNDADA. (CENEPRED,2014).....	45
FIGURA N°5. MAPA DE LA UBICACIÓN DE LA REGIÓN CAJAMARCA	60
FIGURA N°6. MAPA DE LA UBICACIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN	61
FIGURA N°7. MAPA DE LA UBICACIÓN DEL DISTRITO DE SANTA ROSA.....	62
FIGURA N°8. MAPA DE LA UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	63
FIGURA N°9. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA TATAQUE.....	70
FIGURA N°10.ÁREA Y PERÍMETRO DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA TATAQUE.....	71
FIGURA N°11.CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA TATAQUE	73
FIGURA N°12.GRÁFICA DEL PERFIL LONGITUDINAL DE LA CUENCA TATAQUE.....	76
FIGURA N°13.GRAFICA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS AMPLIFICADAS DE LA ESTACIÓN JAÉN.....	81
FIGURA N°14.DATOS DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN EL SOFTWARE HIDROESTA.....	83
FIGURA N°15.CÁLCULOS CON ECUACIONES DE REGRESIÓN POTENCIAL MÚLTIPLE EN HIDROESTA.....	87
FIGURA N°16.GRÁFICA DE HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL DE LA SCS.....	91
FIGURA N°17.CONFIGURACIÓN DE UNIDADES DEL SOFTWARE HEC-RAS 6.3.1.....	92
FIGURA N°18.INGRESO DEL TERRENO EN RASS MAPPER.....	92
FIGURA N°19.DEFINICIÓN DE LA PROYECCIÓN Y COORDENADAS.....	93
FIGURA N°20.INGRESO DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN	93
FIGURA N°21.VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN.....	94
FIGURA N°22.SELECCIÓN DEL ARCHIVO TIFF PARA INGRESAR TERRENO.	94
FIGURA N°23.MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES INGRESADO EN RAS MAPPER.....	95
FIGURA N°24.INGRESO DEL ARCHIVO SHAPEFILE.	95
FIGURA N°25.DEFINICIÓN DE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD	96

FIGURA N°26.VISUALIZACIÓN DE LOS COFICIENTES DE RUGOSIDAD EN LA SUPERFICIE CREADA.....	96
FIGURA N°27.CREACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE	97
FIGURA N°28.VISUALIZACIÓN DEL MALLADO GENERADO.....	97
FIGURA N°29.DETALLE DE LA CONFIGURACIÓN DEL ÁREA DE MALLADO.	98
FIGURA N°30.ASIGNACIÓN DE LOS BORDES DE SALIDA EN LA GEOMETRÍA GENERADA.	98
FIGURA N°31.DETALLE DE LA GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE EN GEOMETRIC DATA	99
FIGURA N°32.INGRESO DE DATOS DEL HIDROGRAMA.....	99
FIGURA N°33.INGRESO DE LA CONFIGURACIÓN PARA EL COMPUTADO DE LA MODELACIÓN.....	100
FIGURA N°34.RESULTADO DEL MODELO HIDRÁULICO EN HEC-RAS 2D PARA UN TR 200 AÑOS – MOVIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DE FLUJO.....	105
FIGURA N°35.RESULTADO DEL MODELO HIDRÁULICO EN HEC-RAS 2D PARA UN TR 200 AÑOS – MAPA DE TIRANTES EN METROS.	106
FIGURA N°36.RESULTADO DEL MODELO HIDRÁULICO EN HEC-RAS 2D PARA UN TR 200 AÑOS – MAPA DE VELOCIDADES EN M/S.....	106
FIGURA N°37.RESULTADO DEL MODELO HIDRÁULICO EN HEC-RAS 2D PARA UN TR 200 AÑOS- MAPA DE ALTURA DE COTAS DE AGUA EN METROS.	107
FIGURA N°38.RESULTADO DEL MODELO HIDRÁULICO EN HEC-RAS 2D PARA UN TR 200 AÑOS- MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN PARA UN TR 200 AÑOS.....	107
FIGURA N°39.RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO E INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN TOTAL PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CAUCE DE LA QUEBRADA TATAQUE.....	120
FIGURA N°40.TOMA DE COORDENADAS BM PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	120
FIGURA N°41.MEDIDA DE ALTURA DE INSTRUMENTO PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.	121
FIGURA N°42.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CAUCE AGUAS ABAJO.	121
FIGURA N°43.ESTACIÓN TOTAL SOUTH – LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL MARGEN DERECHO DEL CAUCE DE LA QUEBRADA TATAQUE	122
FIGURA N°44.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CAUCE AGUAS ARRIBA	122
FIGURA N°45.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CAUCE.....	123
FIGURA N°46.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL CAUCE.....	123

FIGURA N°47.MARGE DERECHA TOMADA EN CUENTA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE MANNING.....	124
FIGURA N°48.MARGEN IZQUIERDA TOMANDA EN CUENTA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE MANNING.....	124
FIGURA N°49.NIÑOS REGRESANDO DE SU CENTRO DE ESTUDIOS IE. RICARDO PALMA C.P ZAPOTAL-HUARANGO HACIA LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, LUGAR DE SU RESIDENCIA.....	125
FIGURA N°50.ZONA EROSIONADA POR LA FUERZA HIDRODINÁMICA DEL AGUA.....	125
FIGURA N°51.ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	126
FIGURA N°52.VEGETACIÓN EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	126

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo evaluar el riesgo de inundación provocado por la quebrada Tataque en Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, Jaén. La investigación se llevó a cabo entre noviembre de 2022 y mayo de 2023 mediante inspecciones en el terreno, recopilación de datos de fichas técnicas previamente elaboradas, encuestas a los habitantes locales y consulta de información del SENAMHI. El proceso comenzó con la delimitación de la cuenca de Tataque para obtener los parámetros necesarios y realizar el modelamiento hidrológico. Se utilizó información de precipitaciones máximas obtenidas de la Estación Meteorológica Automática Jaén para calcular el hidrograma unitario con un período de retorno de 200 años. Luego se procedió al modelamiento hidráulico bidimensional utilizando el software HEC-RAS 6.3.1 en un tramo de 1200 metros del cauce natural de la quebrada Tataque. Los resultados del modelamiento mostraron los niveles máximos alcanzados por la quebrada y las velocidades del flujo, indicando que las áreas más vulnerables se encuentran en el margen izquierdo aguas abajo, predominantemente dedicadas a la agricultura y con presencia de viviendas locales, donde los niveles de agua superan los 2 metros. Se evaluó el peligro de inundación considerando la frecuencia, intensidad y características geológicas locales, determinándose un riesgo muy alto. Además, se evaluó la vulnerabilidad de la localidad mediante encuestas a 20 viviendas, revelando un grado de vulnerabilidad también muy alto. Finalmente, se determinó el nivel de riesgo de inundación por la quebrada Tataque en Damiana Baja utilizando una matriz de doble entrada que consideró el peligro y la vulnerabilidad, resultando en un riesgo clasificado como muy alto.

Palabras Clave: Vulnerabilidad, Inundación, Precipitación Máxima, HEC-RAS 6.3.1.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the risk of flooding caused by the Tataque stream in Damiana Baja, district of Santa Rosa, Jaén. The investigation was carried out between November 2022 and May 2023 through field inspections, data collection from previously prepared technical sheets, surveys of local inhabitants and consultation of information from SENAMHI. The process began with the delimitation of the Tataque basin to obtain the necessary parameters and carry out hydrological modeling. Maximum rainfall information obtained from the Jaén Automatic Meteorological Station was used to calculate the unit hydrograph with a return period of 200 years. Then, two-dimensional hydraulic modeling was carried out using the HEC-RAS 6.3.1 software in a 1,200-meter section of the natural channel of the Tataque stream. The modeling results showed the maximum levels reached by the stream and the flow velocities, indicating that the most vulnerable areas are located on the left bank downstream, predominantly dedicated to agriculture and with the presence of local homes, where water levels exceed 2 meters. The danger of flooding was evaluated considering the frequency, intensity and local geological characteristics, determining a very high risk. In addition, the vulnerability of the locality was evaluated through surveys of 20 homes, revealing a very high degree of vulnerability. Finally, the level of flood risk for the Tataque stream in Damiana Baja was determined using a double-entry matrix that considered danger and vulnerability, resulting in a risk classified as very high.

Keywords: Vulnerability, Flooding, Maximum Precipitation, HEC-RAS 6.3

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú por su ubicación geográfica en la cuenca del pacifico, está sometido permanentemente a diferentes tipos de fenómenos naturales que pueden producir desastres en su población, la Cordillera de los Andes condiciona la presencia del peligro de inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas, incendios forestales, etc., que requieren ser vigilados y monitoreados continuamente, mejorando y diseñando nuevos sistemas de monitoreo y de alerta temprana de esos peligros, con la finalidad de generar y difundir información que sea oportuna y significativa y así contribuir a las comunidades.(Becerra Guayama 2017).

En esta última década, debido a las precipitaciones con gran intensidad provocadas por el Fenómeno del niño en todo el país, se han generado máximas avenidas en muchos lugares donde existen quebradas secas y ríos con un caudal regular. Esto ha generado peligro a las viviendas y habitantes que colindan cerca a los cauces de estos mismos. La quebrada Tataque, que es un afluente muy importante ya que sirve como delimitación entre las provincias de Jaén y San Ignacio permanece seca la mayoría del año, teniendo poco caudal entre los meses de septiembre a diciembre, cruza una gran parte del Sector Hidráulico Menor Jaén- San Ignacio encontrándose a 300 metros aproximadamente de la localidad de Damiana Baja (distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén) y a 1 km de la localidad de Zapotal (distrito de Huarango, provincia de San Ignacio) sirviendo como límite natural entre las dos provincias. Desemboca en el río Chinchipe, aproximadamente a un kilómetro aguas abajo al sur de la localidad Damiana Baja.

1.1.1 Contextualización y Descripción del Problema:

Según una investigación publicada en el año 2022 titulada **Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú. Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI.** (Sardon, H.; Lavado-Casimiro, W. y Felipe, O. 2022), en la página 67 describe un antecedente de inundación producido por el desborde de la quebrada Tataque en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Jaén, distrito de Santa Rosa, el 01 de marzo del 2015 clasificando al evento como como una inundación extraordinaria que no dejó daños de viviendas afectadas, pero según encuestas a los pobladores, dicha inundación alcanzó una elevación de 2 metros de altura, tomando este dato como referencia en el modelamiento hidráulico en HEC-RAS. (<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1786>).

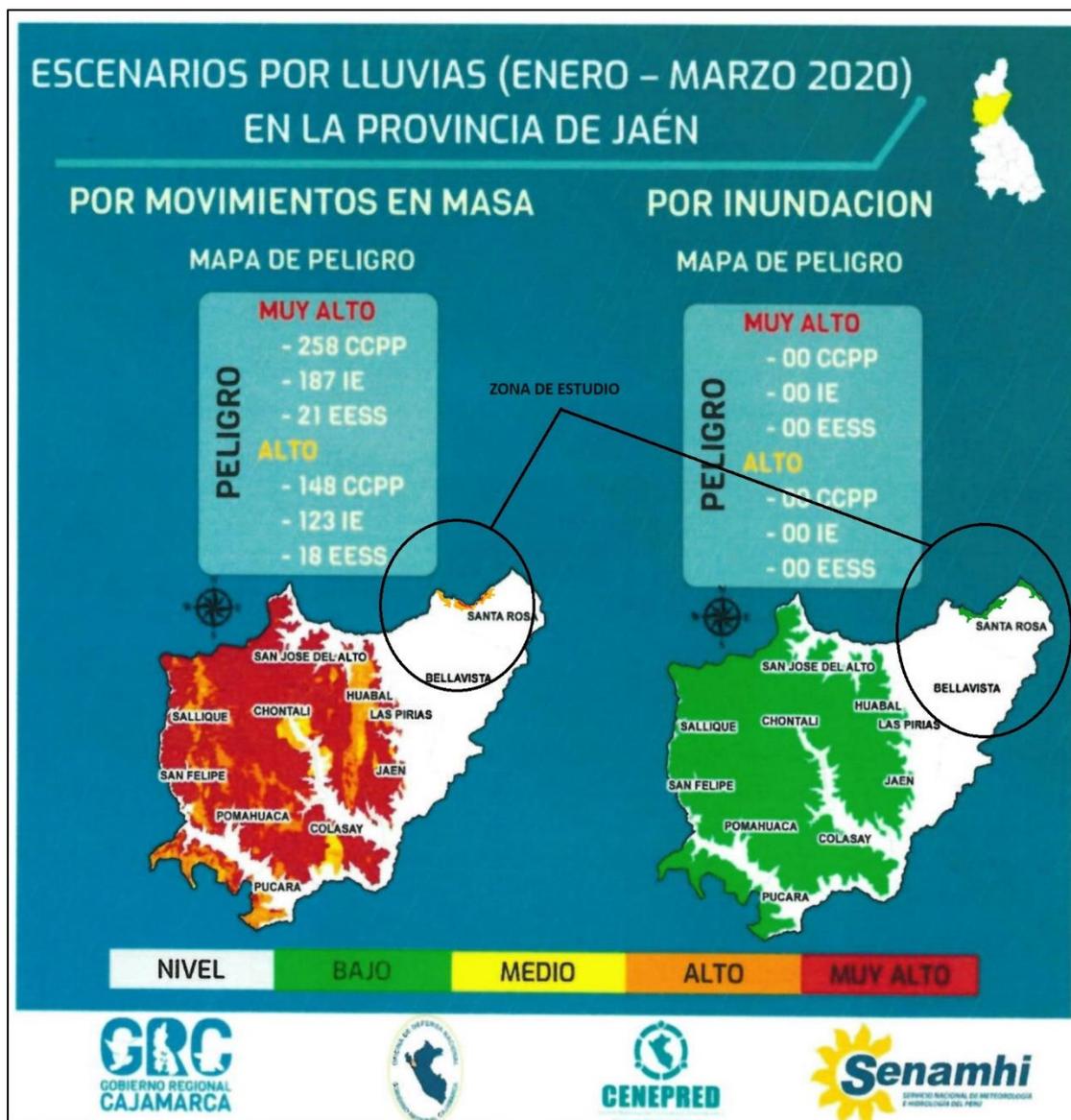
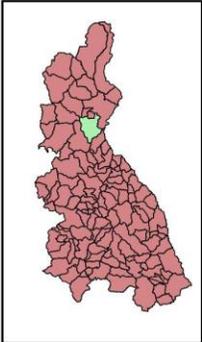


Figura N°1. Escenario por lluvias (enero-marzo 2020) en la provincia de Jaén.

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (GRC,2020)

De acuerdo a información recopilada, se diseñó un mapa con imágenes satelitales delimitando el área que afectó la inundación ocurrida que alcanzó tirantes de 2m de altura generando el siguiente mapa con un periodo de retorno de 200 años.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERIA CIVIL**

TESIS:
ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACION POR LA QUEBRADA TATAQUE EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAEN.

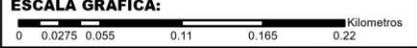
MAPA DE INUNDACIÓN

ELABORADO POR:
- ROYER ANTHONY AMASIFÉN
TERÁN

UBICACIÓN: Región: CAJAMARCA
Provincia: JAÉN
Distrito: SANTA ROSA

PROYECCIÓN/DATUM/ZONA: UTM
Sistema de Coordenadas: WGS 1984
DATUM: 17 Sur
Zona:
ESCALA: 1:4,346.71

FECHA: Junio - 2024
LAMINA: **R-01**



La ANA, en el marco de sus competencias y del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - SINAGERD, Identificó 63 puntos críticos con riesgo de inundación y erosión fluvial utilizando fichas técnicas de referencia en los departamentos de Piura, Amazonas, Cajamarca y Huancavelica. Dentro de estas fichas técnicas se considera a la zona de estudio como un punto crítico señalando la margen izquierda de la quebrada Tataque y teniendo como propuesta técnica referencial la limpieza, descolmatación y protección con muro de gaviones en la margen izquierda de la quebrada Tataque en una longitud de 1,55 kilómetros con una inversión de 1.471.994,87 soles. (INFORME TECNICO N° 0113-2023-ANA-DPDRH/JSQR)

Al ser una quebrada seca, la población de este caserío se dedica a actividades económicas como la agricultura con grandes extensiones de valles arroceros, canteras de agregados en riberas de la quebrada, turismo, etc. y además la trocha carrozable que une Jaén y San Ignacio pasa por su cauce uniendo las poblaciones de Damiana Baja (distrito de Santa Rosa- Jaén) y Zapotal (distrito de Huarango) pero la población desconoce del peligro que puede ser esta quebrada cuando haya intensas precipitaciones pluviales, las cuales podrían generar máximas avenidas que pueden provocar cuantiosas pérdidas materiales debido a que en ciertas zonas del cauce de la quebrada no cuentan con protección o muros de encauzamiento, provocando que el gran caudal se disperse y destruya hogares, parcelas de sembrío, corrales, etc.

Debido al aumento desordenado de población tanto urbana como rural, el riesgo por inundación se ha incrementado debido a precipitaciones pluviales constantes que hay, según Mondragón Delgado (2013), debido a una falta de conocimientos sobre riesgos se siguen invadiendo áreas peligrosas sin aplicar prácticas de prevención y mitigación.

Al no existir estudios o trabajos de investigación en este caserío, se propone este tema de investigación, para evaluar y dar a conocer el nivel de riesgo de inundación por la Quebrada Tataque en la localidad Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, Provincia de Jaén. Así mismo, este estudio será de guía para futuras investigaciones en la zona y para la Municipalidad Distrital de Santa Rosa en conjunto con la Municipalidad distrital de Huarango para el tema de sectorización de áreas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según la inspección realizada en campo, hay dificultad en el transporte por la trocha carrozable que pasa por la zona de estudio debido a las lluvias, es por eso que a través de esta investigación se quiere determinar cuál es el riesgo de inundación por la quebrada Tataque en la localidad Damiana baja, distrito de Santa Rosa, Provincia de Jaén.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación Científica:

El estudio se justificó porque en épocas de lluvia, la zona de estudio tiene un problema en transitabilidad por las trochas carrozables originado principalmente por el desborde de la quebrada en la localidad Damiana Baja, por ello, se plantea esta investigación con la finalidad de dar a conocer el peligro que existe al ocurrir máximas avenidas debido a intensas precipitaciones y no contar con muros de encauzamiento.

1.3.2 Justificación Técnico-Práctica:

La investigación se justifica por desarrollar un método de diagnóstico que sea eficiente para identificar los niveles de riesgo y peligro, y de forma práctica evitando de manera posible un desastre con pérdida de vidas humanas y económicas. Esta investigación nos permitirá determinar las zonas con mayor riesgo a inundación.

1.3.1 Justificación Institucional y Personal:

Los resultados obtenidos servirán de forma institucional como una guía en el repositorio de la universidad para que demás profesionales de ingeniería tengan en cuenta los datos encontrados y así tengan una mejor percepción para el diseño de nuevos proyectos viales, irrigación y agricultura por la zona, proyectándose a anticiparse a estos problemas y planificar los respectivos mantenimientos de sus proyectos con las alternativas de solución evitando así los posibles daños y contribuyendo a la seguridad y bienestar de la población. De forma personal, servirá para la obtención del grado académico de titulado en la carrera de ingeniería civil.

1.4 ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación, toma de muestras, recopilación de datos se realizará en la Localidad de Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén, Región Cajamarca, durante los meses establecidos en el cronograma.

Se pretende detallar aspectos generales acerca del nivel de peligro de inundación y grado de vulnerabilidad de viviendas, analizando distancias a la ribera de la quebrada. El trabajo de investigación abarcara un aproximado de 500 metros de quebrada aguas abajo, distancia que se tomara desde la vía (trocha carrozable) que une las localidades de Damiana Baja (Jaén) y Zapotal (San Ignacio) y todas las viviendas que se hallen cerca de la ribera de la quebrada, hasta su desembocadura en el río Chinchipe. Las viviendas se hallan al margen izquierdo de la quebrada cruzando la trocha carrozable (afirmado), la localidad en total cuenta con unas 80 viviendas.

1.5 LIMITACIONES

Teniendo como limitaciones para este tipo de investigación es el acceso de información pluviométrica brindada por SENAMHI, además de aquella información que se va a extraer de la

misma zona de estudio, ya que algunos datos se recolectaran mediante encuestas, y estudios topográficos, existe la probabilidad limitante por parte de los propietarios de las viviendas de brindarnos dicha información de la zona donde se realizara la investigación.

1.6 OBJETIVOS:

1.6.1 Objetivo Principal:

Estimar el riesgo de inundación por la Quebrada Tataque en la localidad de Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- a) Recopilar información cartográfica e información hidrológica de la Quebrada Tataque.
- b) Caracterizar los tipos de suelo y uso de suelo en la zona de estudio.
- c) Determinar el caudal y el periodo de retorno de las inundaciones ocurridas en la zona de estudio.
- d) Estimar los parámetros utilizados en el tránsito de avenidas.
- e) Realizar el modelamiento hidrológico y simulación de máximos caudales de la Quebrada Tataque.
- f) Realizar el modelamiento hidráulico y determinar de áreas inundables con diversos grados de certeza.
- g) Delimitar un mapa de riesgo de inundación como aporte de estudio para los gobiernos locales de la zona de estudio.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES TEORICOS.

2.1.1 INTERNACIONALES

Lucas Vera (2018). Realizo en Ecuador la tesis titulada “Análisis del riesgo por inundación en la localidad de Roblecito, cantón Urdaneta: propuesta de medidas de mitigación” concluyendo que: Este estudio se centró en evaluar el riesgo de inundación en la comunidad de Roblecito y sugerir medidas correctivas para reducir los posibles daños. La primera etapa implicó la evaluación de la vulnerabilidad global, para lo cual se analizaron siete tipos de vulnerabilidad: ambiental, física, económica, social, educativa, cultural y científica. En la segunda etapa, se realizó un análisis a nivel de microcuenca, utilizando mapas de elevación, pendiente, curvatura, TWI, SPI, número de curva y distancia al río para evaluar el grado de amenaza. Luego, con el uso de sistemas de información geográfica, se elaboraron mapas de vulnerabilidad y amenaza para

determinar el riesgo. Los resultados mostraron altos niveles de vulnerabilidad en gran parte del área estudiada, mientras que la amenaza fue clasificada como muy alta. A partir de estos cálculos, se concluyó que la mayor parte de la población está expuesta a un riesgo alto y muy alto de inundación, por lo que se sugieren medidas de prevención, mitigación y respuesta.

2.1.2 NACIONALES

Mostacero (2020) en la tesis de investigación: “Nivel de riesgo por inundación del área urbana del distrito de Chilete - provincia de Contumazá- región Cajamarca” concluye que:

Este estudio tuvo como propósito evaluar el riesgo de inundación en el área urbana del distrito de Chilete, ubicado en la provincia de Contumazá, región Cajamarca. Se realizó una investigación de tipo no experimental y descriptiva, centrada en el análisis de la quebrada de Huertas. Para la recolección de datos se empleó una ficha de registro. Los resultados indicaron que la subcuenca de la quebrada de Huertas, con un área de 100,784 km², es considerada pequeña, con un perímetro de 42,333 km, un índice de Gravelius de 1,3201, un coeficiente de forma de 0,72 y un coeficiente de escorrentía de 0,52. Respecto al riesgo, se identificó una alta vulnerabilidad del 56%, influenciada principalmente por factores como el tipo de material de las viviendas, su ubicación, la vulnerabilidad de la población, el nivel de conocimiento y las edificaciones en áreas propensas a inundaciones.

Chagua Cierito (2018) en su investigación titulada “Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS” Se llevó a cabo un análisis hidrológico e hidráulico con el propósito de generar mapas de inundación, utilizando los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS, así como el SIG ARCGIS. Tras realizar los procedimientos pertinentes a la investigación, se concluyó que tanto el análisis hidrológico como el hidráulico fueron esenciales para la creación del mapa de inundación. En el análisis hidrológico, se determinaron los caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años. Por su parte, el análisis hidráulico permitió modelar el río Mala, identificando las zonas de riesgo de inundación, con áreas que varían entre 177,140.00 m² y un máximo de 254,170.00 m², siendo predominantemente áreas de cultivo.

2.1.3 LOCALES

Becerra (2017) en la tesis de investigación: “Evaluación del riesgo, en el sector el Parral de la ciudad de Jaén, ante el peligro de inundación” concluye que: Se delimitó el área de la cuenca del río Amojú y se establecieron los "Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Hidrográfica". Posteriormente, se llevó a cabo el levantamiento topográfico en la zona de El Parral. Los datos pluviográficos correspondientes a un periodo crítico de 28 años (1964-1991) fueron obtenidos del

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) desde la Estación Jaén. Se analizaron estas 28 series de datos para determinar las máximas intensidades de lluvia en diferentes periodos estándar de duración. Luego, se procedió al modelamiento y ajuste utilizando el modelo de variable Extrema Gumbel para obtener las intensidades máximas. Estas intensidades se simularon considerando diferentes periodos consecutivos de años (N), tiempos de retorno (Tr) y niveles de incertidumbre de diseño (J) para distintas duraciones, calculando así el caudal máximo. El modelamiento hidráulico se llevó a cabo utilizando el software HEC-RAS, utilizando información topográfica e hidrológica, para determinar los niveles máximos de agua en cada sección. Cada sección fue analizada junto con el plano del sector El Parral, delimitando las áreas de inundación. Para evaluar la vulnerabilidad, se identificaron y caracterizaron las zonas propensas a inundaciones mediante encuestas y observación directa. El nivel de riesgo se determinó utilizando la matriz de doble entrada proporcionada por CENEPRED, que considera el nivel de peligro y la vulnerabilidad correspondiente, permitiendo así establecer el nivel de riesgo expuesto.

Mondragón Delgado (2013) desarrolló su tesis “Evaluación del nivel de Riesgo de Inundación por el río Amojú en la parte baja de la ciudad de Jaén”. En la cual, El propósito principal de esta investigación fue determinar el nivel de riesgo de inundación en la parte baja de la ciudad de Jaén. El procesamiento de los datos se llevó a cabo utilizando software especializado y fórmulas empíricas. Para evaluar el peligro de inundación, se realizaron estudios hidrológicos y modelaciones hidráulicas del río Amojú, obteniendo como resultado que la zona estudiada presenta un riesgo de inundación muy alto. Asimismo, la evaluación del grado de vulnerabilidad, basada en encuestas realizadas a 96 viviendas, concluyó que la zona presenta una alta vulnerabilidad. El mapa de peligro de inundación, descrito como llanura de inundación y obtenido a partir de la modelación hidráulica, muestra que la mayoría de las viviendas adyacentes a la ribera del río Amojú serían afectadas.

2.2 BASES TEORICAS.

2.2.1 CARTOGRAFÍA Y USO DE SUELOS.

Características de cuadrantes usados de la Carta Nacional

Los cuadrantes mencionados, se encuentran en la base de datos descargables del IGN en escala 1:100 000.

Mapa de Tipo de suelo

La información es extraída del servidor geoespacial del MINAM y se relaciona con la Zonificación Ecológica y Económica de Cajamarca a una escala macro de 1/250 000. Este sistema

de ordenamiento territorial fue desarrollado por el Gobierno Regional de Cajamarca, del cual se extrajeron los mapas de uso del suelo en formato shapefile.

Cobertura vegetal

Es la información alcanzada por MINAM según estudio realizado en el año 2015 mediante procesamiento digital de imágenes satelitales del satélite Landsat del año 2011 que cubren el territorio nacional fueron georreferenciadas y ortorectificadas, en Proyección UTM, referidas a la Zona 17 y 18 y con el Datum WGS 84. (MINAM, 2015) 8 Archivos shapefile Es uno de los formatos de datos espaciales con las que puede trabajar y editar en ArcGIS, el cual es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica e información de atributos de las entidades geográficas. Estas entidades pueden representarse utilizando puntos, líneas o polígonos (áreas). Además, el espacio de trabajo puede contener tablas que almacenan atributos, los cuales pueden asociarse a las entidades de un shapefile

2.2.2 HIDROLOGÍA.

a) Cuenca Hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica puede ser definida como un espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas 1993).

b) Análisis Hidrológico de cuencas.

La hidrología se relaciona con la investigación de procesos naturales, lo cual implica que sus métodos no son totalmente inflexibles, permitiendo cierta discreción en la toma de decisiones. En el análisis de ciertos fenómenos, la hidrología emplea técnicas estadísticas. La información sobre precipitaciones, temperatura, evaporación y otros datos, serán obtenidos del Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) (Chereque Morán 1989).

c) Evaluación de la información hidrológica.

Debido a que hay escasez de datos precisos sobre niveles de agua y precipitaciones en muchas cuencas hidrográficas no equipadas con instrumentos adecuados, se recurre comúnmente a métodos indirectos para calcular el caudal estimado necesario para el diseño. La representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio del estudio hidrológico,

por ello, se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro que permita a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables (ICG 2011).

d) Parámetros geomorfológicos de la Cuenca hidrográfica.

La forma de la cuenca se describe utilizando tres categorías de características:

Parámetros de forma

Tamaño de la cuenca.

La extensión de la cuenca está definida por la superficie delimitada por los límites naturales o divisoria de aguas; esto afecta la capacidad de recoger agua de lluvia que cubre toda el área. El área de la cuenca es el elemento básico para el cálculo de las otras características físicas, se expresa en km² (Jildibrán Núñez, 2017).

Tabla N°1. Clasificación de Cuencas por superficie

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy pequeña
De 25 a 250	Pequeña
De 250 a 500	Intermedia pequeña
De 500 a 2500	Intermedia grande
De 2500 a 5000	Grande
De 5000 a mas	Muy grande

Fuente: Jildibrán Núñez 2017

Perímetro (P).

El perímetro de la cuenca (P), que se representa por la longitud de la línea que separa las aguas y se denomina "divisoria de aguas", se mide en kilómetros. El perímetro es de importancia porque junto con el área se describe aproximadamente la forma de la cuenca. (Jildibrán Núñez, 2017)

Longitud del río principal (L).

Es la longitud mayor de recorrido que realiza el río, desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, hasta un punto fijo de interés, expresado en unidades de longitud. (Jildibrán Núñez, 2017)

factor de forma de la cuenca:

Expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud, es decir: (Ven Te, 1994)

$$F = \frac{B}{L} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

B: Ancho promedio de la cuenca

L: Longitud de la cuenca

Índice de compacidad (coeficiente de Gravelius)

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra cuenca teórica circular de la misma superficie, se expresa por la siguiente formula: (Ven Te, 1994).

$$Cg = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

Cg: Coeficiente de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en Km

A: Superficie de la cuenca en Km²

La forma de la cuenca está considerada de la siguiente manera:

Tabla N°2. Índice de compacidad – Forma de la cuenca

Índice Cg	Forma de la cuenca
1.00 - 1.25	Redonda
1.26 - 1.50	Ovalada
1.51 - 1.75	Oblonga a rectangular

Fuente. Hidrología Aplicada (Ven te, 1994)

Parámetros de relieve

Curva Hipsométrica

Es una curva que indica el porcentaje existente de área de la superficie o en kilómetros cuadrados de una cuenca, la cual se encuentra por en el nivel superior de una cota de nivel determinada. Esta curva ofrece datos como elevaciones o altitudes, de la cuenca. (Jildibrán Núñez, 2017)

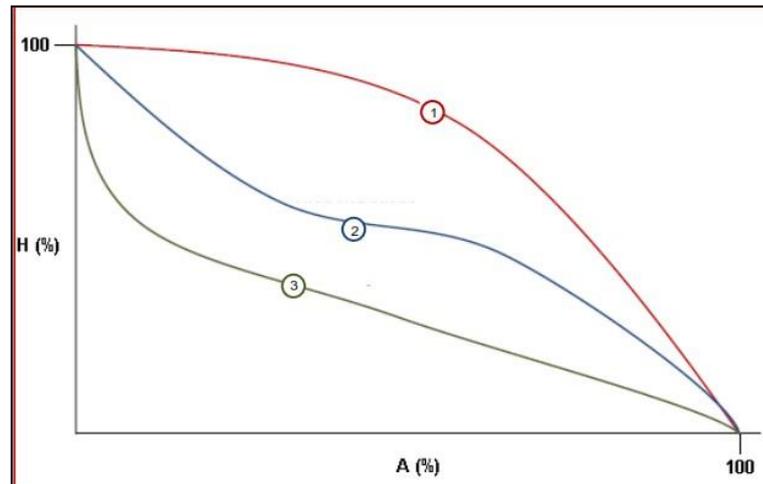


Figura N°2. Ejemplo de curva hipsométrica

Fuente: (Jildibrán Núñez, 2017)

Donde:

Curva 1: Representa una cuenca con gran potencial erosivo (Fase de juventud)

Curva 2: Es una cuenca en equilibrio. (Fase de madurez)

Curva 3: Es una cuenca sedimentaria (Fase de vejez)

Cálculo de la elevación media:

En términos visuales, se calcula la elevación promedio de la cuenca trazando una línea desde el punto donde el 50% del área está en el eje X, perpendicularmente hasta que interseque con la curva hipsométrica. Luego por este punto trazar una horizontal hasta cortar el eje Y. (Ven Te, 1994)

$$Em = \frac{\sum axe}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Em: Elevación media

a: Área entre dos contornos

e: Elevación media entre dos contornos

A: Área total de la cuenca

Cálculo de altura media:

Este parámetro que inicia en el punto de aforo está dado por:

$$H = E_m - H_o \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

Em: Elevación media

Ho: Cota de aforo

H: Altura media

Rectángulo equivalente:

El rectángulo equivalente es una técnica geométrica que transforma la representación de una cuenca de manera que, aunque originalmente heterogénea en forma, se pueda describir como un rectángulo con la misma área y perímetro (manteniendo así un índice de compacidad idéntico). Además, este rectángulo equivalente conserva la misma distribución de altitudes (o curva hipsométrica) y mantiene la misma distribución del terreno con respecto a las condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curva de nivel. (Ven Te, 1994).

El lado mayor del rectángulo equivalente se toma como:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Coefficiente de Gravelius: $C_g = K$

Área de la cuenca (km²): A

Índice de pendiente

El índice de pendiente es un factor que relaciona las pendientes del terreno con la distancia del recorrido del río. Este parámetro permite determinar el tamaño de las partículas que conforman el lecho del río. Además, expresa en cierto modo, el relieve de la cuenca. (Ven Te, 1994)

Se calcula usando el rectángulo equivalente, con la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \times \frac{1}{\sqrt{L}} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

Ip: Índice de pendiente

n: Número de curvas de nivel existentes en el rectángulo.

ai: Cotas de las n curvas de nivel consideradas.

Bi: Fracción de la superficie total de la cuenca, comprendida entre las cotas ai - (ai-1).

L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

Pendiente de la cuenca:

La inclinación promedio de la cuenca está estrechamente vinculada de manera significativa pero compleja con la manera en que se filtra el agua en el suelo, el flujo superficial, la humedad del suelo y cómo el agua subterránea contribuye al movimiento del agua en los cursos naturales. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. (Ven Te, 1994)

Lo encontraremos por el criterio de rectángulo equivalente.

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots (7)$$

Parámetros relativos.

Coefficiente de Fourier o coeficiente de masividad

Es un coeficiente relacionado con la erosión en la cuenca, permite diferenciar netamente cuencas de igual altura media y relieve diferentes, aun cuando no es suficiente para caracterizar la proclividad a la erosión en una cuenca, ya que da valores iguales en el caso de cuencas diferenciadas como es el caso en el que la altura media y superficie aumenten proporcionalmente. (Ven Te, 1994). Se representa por.

$$T = \frac{H}{A} \dots\dots\dots (8)$$

Dónde:

H: Altura media de la cuenca en Km

A: Superficie de la cuenca en Km²

Densidad de drenaje:

Está definida por la longitud de todos los cauces divididos entre el área total de la cuenca. Sin tomar en consideración otros aspectos de la cuenca, cuando mayor sea la densidad de drenaje más rápida es la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, drenando el agua. (Ven Te, 1994)

Se determina con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{L_c}{A} \dots\dots\dots (9)$$

Dónde:

D: Densidad de drenaje

Lc: Sumatoria de los cauces parciales

A: Área de la cuenca

Tiempo de concentración:

Este parámetro, conocido también como tiempo de equilibrio, indica el tiempo requerido para que la partícula de agua más distante hidráulicamente viaje desde el punto de origen. En este contexto, se asume que la duración de la lluvia es al menos igual al tiempo de concentración y que se distribuye de manera uniforme en toda la cuenca. Este parámetro tiene estrecha relación con el volumen máximo y con el tiempo de recesión de la cuenca, tiempos de concentración muy cortos tienen volúmenes máximos intensos y recesiones muy rápidas, en cambio los tiempos de concentración más largos determinan volumen máximo más atenuado y recesiones mucho más sostenidas. (Ven Te, 1994). Existen muchas fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración de la cuenca, siendo una de las más completas la siguiente:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{(P_c)^{1/4}} \right)^{3/4} \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en Km.

Pc: Pendiente media del cauce principal de la cuenca.

Número de orden de la cuenca:

Este número está estrechamente vinculado al número de ramificaciones en la red de drenaje. Cuanto mayor sea este número, mayor será el potencial erosivo y el transporte de sedimentos. Además, aumentará el componente de escorrentía directa en comparación con una cuenca de

tamaño similar. El número de orden de una cuenca es muy vulnerable a sufrir el efecto de escala, la misma que es necesario especificar siempre. (Ven Te, 1994)

2.2.3 HIDRÁULICA.

Geometría del cauce.

Viene determinada por la inclinación del terreno a lo largo de su longitud y por cómo se presenta la sección del río en términos de su forma y dimensiones.

Pendiente longitudinal.

La pendiente del cauce es crucial para su capacidad de transporte de sedimentos, ya que determina la velocidad del agua. En tramos con pendientes pronunciadas, superiores al 3 %, las corrientes son rápidas y pueden arrastrar sedimentos de gran tamaño, además de los que ruedan por el fondo debido al efecto lubricante del agua.

En cauces naturales, la pendiente se mide a lo largo de la línea del agua debido a la inestabilidad y las irregularidades del fondo. En los periodos que tienen un caudal más o menos estable es posible relacionar las pendientes con los caudales utilizando registros de aforos. (Ven Te, 1994)

Sección transversal.

En los ríos naturales, las formas de las secciones transversales son variadas y se determinan mediante estudios topográficos. La línea que conecta los puntos más bajos de estas secciones a lo largo del flujo se conoce como thalweg. En las corrientes del lecho aluvial se observan continuas variaciones en las secciones transversales y en la línea de thalweg. Las magnitudes y frecuencias de estas variaciones dependen del régimen de caudales, de la capacidad de transporte de sedimentos, y del grado de estabilidad del cauce. (Ven Te, 1994)

Cause definido: cuando la corriente de estiaje fluye por un solo canal con límites bien demarcados. (Ven Te, 1994)

Cause indefinido: Cuando la corriente va por pequeños cauces o brazos que se entrecruzan en una misma sección transversal. (Ven Te, 1994)

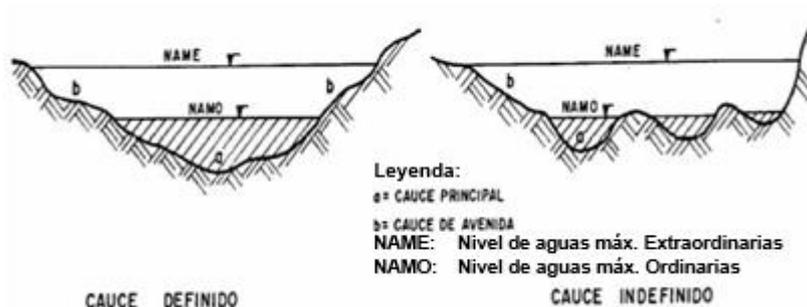


Figura N°3. Cauce Definido y Cauce Indefinido.

Régimen del flujo.

El régimen de flujo se refiere a una sección específica de un curso de agua natural, categorizado según el número de Froude, que compara fuerzas de inercia y gravedad de manera adimensional. En condiciones supercríticas ($F > 1$), el flujo ocurre a alta velocidad, característico de ríos con pendientes pronunciadas como los de montaña. En condiciones subcríticas ($F < 1$), el flujo se da en áreas llanas con velocidades más bajas. El flujo crítico ($F=1$) es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico (Fattorelli y Fernández 2011).

Métodos estadísticos de datos hidrológicos.

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos (Béjar 2006).

Se recomienda utilizar las siguientes distribuciones:

Distribución Normal.

La función densidad de probabilidad normal se define con la expresión:

$$\frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \dots\dots\dots (11)$$

- f (x)** = función densidad normal de la variable x
- X** = variable independiente.
- μ** = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x
- S** = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

Distribución Log Normal 3 parámetros.

La función densidad de x se expresa con la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{S_y}\right)^2} \dots\dots\dots (12)$$

Para $x > x_0$ Donde:

X0: parámetro de posición
 Uy: parámetro de escala o media
 Sy²: parámetro de forma o varianza

$$x_0 = \frac{x_1 * x_n - x_{mediana}^2}{x_1 + x_n - 2x_{mediana}} \dots\dots\dots (13)$$

Cuando:

$x_1 + x_n - 2x_{mediana} > 0$, x_0 Representa el límite inferior y μ_y y σ se estiman como la media y desviación de $y_i = \ln(x_i - x_0)$.

$x_1 + x_n - 2x_{mediana} < 0$, x_0 Representa el límite superior y μ_y y σ se estiman como la media y desviación de $y_i = \ln(x_0 - x_i)$.

La mediana se calcula como:

$$n = par \rightarrow x_{mediana} = \left(x_{n/2} + x_{\frac{n}{2}+1}\right) \dots\dots\dots (14)$$

$$n = impar \rightarrow x_{mediana} = (x_{n+1/2}) \dots\dots\dots (15)$$

Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \tau(\gamma)} \dots\dots\dots (16)$$

Válido para: $x_0 \leq x < \infty$

$-\infty < x_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

Dónde:

X0: origen de la variable x, parámetro de posición

γ : parámetro de forma.

β : parámetro de escala,

Media:

$$\bar{x} \ln x = \frac{\sum \ln x}{N} \dots\dots\dots (17)$$

Desviación estándar:

$$S_{\ln x} = \sqrt{\frac{\sum(\ln x - \bar{x} \ln x)^2}{N-1}} \dots\dots\dots (18)$$

Sesgo:

$$C_{S \ln x} = \frac{N \sum((\ln x - \bar{x} \ln x)^3)}{(N-1)(N-2)S^3_{\ln x}} \dots\dots\dots (19)$$

Además:

$$x_0 = \bar{x} \ln x - \frac{2S_{\ln x}}{C_{S \ln x}} \dots\dots\dots (20)$$

$$\gamma = \frac{4}{C_{S \ln x}^2} \dots\dots\dots (21)$$

$$\beta = \frac{C_{S \ln x} * S_{\ln x}}{2} \dots\dots\dots (22)$$

Distribución Gumbel.

La función de distribución probabilística que mejor describe las características muestrales de una variable anual extrema, es el Modelo EV1 o de Gumbel (Ortiz Vera, 2003), dada por siguiente expresión:

$$F(x < X) = \exp(-\exp(-\alpha(x - \beta))) \dots\dots\dots (23)$$

$$\bar{X} = \beta + 0.45005S \dots\dots\dots (24)$$

$$\alpha = \frac{1.28255}{S} \dots\dots\dots (25)$$

Las ecuaciones (24) y (25), relacionan los parámetros del modelo con la media \bar{X} y desviación estándar S de la muestra, según el método de momentos.

Donde:

$F(x < X)$: Probabilidad acumulada de que cualquier evento x será menor que determinado evento X

x : Magnitud de la variable aleatoria.

α : Parámetro de escala del modelo

β : Parámetro de posición del modelo

\bar{X} : Promedio de los datos observados

S : Desviación estándar de la muestra

Análisis estadístico de datos hidrológicos.

Cálculo de la probabilidad Empírica o Experimental

La frecuencia experimental de una muestra implica asignar a cada elemento de una serie valores específicos según su posición en el orden de magnitud, ya sea de mayor a menor para valores altos o de menor a mayor para valores bajos. Para ello, es fundamental ordenar inicialmente los valores registrados y luego asignarles una posición numérica secuencial desde 1 hasta N .

Se tiene un conjunto de datos ordenados:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$$

Se pueden emplear diversas fórmulas para calcular la probabilidad de que ocurran los datos en orden específico. Se sugiere utilizar la fórmula de probabilidad de Weibull, que se expresa de la siguiente manera cuando los datos están ordenados de manera descendente::

$$P(x > X) = \frac{m}{N+1} \dots\dots\dots (26)$$

$P(x > X)$: Probabilidad acumulada de que cualquier evento x será mayor que determinado evento X .

m : orden que ocupa cada dato de la serie descendente.

N : tamaño de la muestra o número de datos.

Análisis de Frecuencia

El diseño hidrológico requiere comprender la frecuencia con que pueden ocurrir eventos de diversas magnitudes, para así diseñar una estructura adecuada.

Para garantizar la seguridad, dicha estructura debe ser capaz de manejar el evento extremo más severo posible. Desde un punto de vista económico, el costo de la estructura debe justificar los intervalos de tiempo esperados para su construcción o asegurar un nivel de seguridad aceptable en relación con los posibles daños por su fallo. En consecuencia, el diseño hidrológico representa un equilibrio entre seguridad y eficiencia económica, integrando el concepto de riesgo calculado o riesgo de fallo. En el diseño hidrológico la probabilidad de ocurrencia de un evento se estima a

través de métodos estadísticos mediante el análisis de frecuencia. es decir el objetivo principal del análisis de frecuencia de una serie hidrológica es determinar el periodo de retorno de un evento de determinada magnitud (Fattorelli y Fernández 2011).

Frecuencia absoluta y frecuencia relativa.

Si de una muestra de N valores X_i de una variable discreta, existen n_j casos de un determinado evento, X_j . Estos n_j números son la frecuencia absoluta de los eventos X_j . Las frecuencias relativas se definen como:

$$f = \frac{n_j}{N} \dots\dots\dots (27)$$

En las frecuencias absolutas $\sum n_j = N$

En las frecuencias relativas $\sum_{i=1}^N f_i = 1$

La suma de los valores de las frecuencias relativas es la frecuencia acumulada así:

$$F = \sum_{i=1}^j f_i \dots\dots\dots (28)$$

Periodo de Retorno (Tr)

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “Tr” años, se le denomina Período de Retorno “Tr”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. (Manual de Hidrología y Drenaje, 2008)

Promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud X pueda ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio (Béjar 2006).

$$P(X \geq x) = \frac{1}{Tr} \dots\dots\dots (29)$$

$$Tr = \frac{1}{P(X \geq x)} \dots\dots\dots (30)$$

Si un evento igual o mayor a X ocurre una vez en Tr años su probabilidad de ocurrencia P, es igual a 1 en Tr años.

El tiempo de retorno en función de la incertidumbre d diseño se expresa mediante:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-P)^{1/N}} \dots\dots\dots (31)$$

Tr: Periodo de retorno en años

J: Probabilidad de ocurrencia de un evento mayor que *x* en un periodo de *N* años consecutivos.

Prueba de bondad de ajuste.

La prueba de bondad de ajuste es una prueba de hipótesis que se usa para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida (MTC 2008).

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov - Smirnov, de las cuales solo se estudiará la Kolmogorov -Smirnov, por tratarse de un estudio específicamente hidrológico (Bacchini et al. 2018).

Prueba Kolmogorov– Smirnov.

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste. (Manual de Hidrología y Drenaje, 2008)

La prueba de ajuste de Smirnov- Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo (Béjar 2006) es decir:

$$\Delta_0 = \text{MAX.} |F(x < X) - P(x < X)| \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

Δ =estadístico de Smirnov-Kolmogorv, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x < X)$ =probabilidad de la distribución teórica

$P(x < X)$ =probabilidad experimental o empírica de los datos denominada también frecuencia acumulada.

Tabla N°3. Valores críticos de $\Delta 0$ del estadístico Smirnov - Kolmogorov

TAMAÑO MUESTRAL	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN			
	0.20	0.10	0.05	0.01
N				
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Hidrología Estadística, Máximo Villón B. Pág. 108

Beneficios y restricciones:

- No es necesario conocer de antemano la función de distribución teórica.
- Puede utilizarse con datos no agrupados, evitando la necesidad de crear intervalos de clase.

Simulación del modelo ajustado.

El modelo ajustado se prueba en diversas condiciones simuladas de posibles eventos esperados, eligiendo la variable de diseño más adecuada según la importancia de la estructura proyectada, para asegurar durabilidad y funcionalidad óptimas con el menor costo posible.

Haciendo hincapié, que no se trata entonces de sobre proteger las estructuras, sino más bien de optimizar el diseño, cuya incertidumbre sea tanto menor cuanto mayor sea el riesgo de pérdidas sea poco significativo, la variable de diseño deberá tener una frecuencia concordante con la periodicidad del mantenimiento de la estructura y las molestias producidas, con sentido técnico y económico (Ortiz Vera 2003).

Estimación de tránsito de avenidas

Ecuaciones de Saint-Venant

Las ecuaciones de Saint-Venant son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen el flujo de agua en canales abiertos. Estas ecuaciones se derivan de la aplicación de las leyes de conservación de la masa y la cantidad de movimiento al flujo en canales con geometría variable y se utilizan en la ingeniería hidráulica para modelar fenómenos como las ondas de inundación y el flujo en ríos y canales.

Definición

Las ecuaciones de Saint-Venant constan de dos ecuaciones principales:

- Ecuación de continuidad (conservación de la masa)
- Ecuación de cantidad de movimiento (conservación de la cantidad de movimiento)

Ecuaciones

a) Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad para un flujo en un canal se expresa como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Donde:

- A es el área de la sección transversal del flujo (m^2).
- Q es el caudal volumétrico del flujo (m^3/s).
- t es el tiempo (s).
- x es la coordenada espacial a lo largo del canal (m).

b) Ecuación de Cantidad de Movimiento

La ecuación de cantidad de movimiento para un flujo en un canal se expresa como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + gAh \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_0 \right) = 0$$

Donde:

- Q es el caudal volumétrico del flujo (m^3/s).
- A es el área de la sección transversal del flujo (m^2).
- g es la aceleración debida a la gravedad (9.81 m/s^2).
- h es la profundidad del flujo (m).
- S_f es la pendiente del fondo del canal debida a la fricción (pendiente de energía).
- S_0 es la pendiente del fondo del canal (pendiente geométrica).

Consideraciones Adicionales

Las ecuaciones de Saint-Venant son no lineales y acopladas, lo que significa que deben ser resueltas simultáneamente. Estas ecuaciones pueden ser resueltas numéricamente utilizando diversos métodos, como el método de diferencias finitas, el método de elementos finitos o el método de volúmenes finitos, entre otros.

Aplicaciones

Las ecuaciones de Saint-Venant se utilizan en una variedad de aplicaciones prácticas, incluyendo:

- Predicción de inundaciones.
- Diseño y gestión de canales y ríos.
- Análisis de mareas en estuarios.

Modelado de flujos transitorios en sistemas de drenaje urbano.

Estas ecuaciones son fundamentales en la hidrodinámica de canales abiertos y proporcionan una base teórica sólida para el análisis y la simulación de flujos de agua en entornos n.

Método de Muskingum

El método de Muskingum es una técnica ampliamente utilizada en hidrología e ingeniería hidráulica para la modelización del movimiento de la onda de crecida a lo largo de un río o canal. Este método se utiliza principalmente para el ruteo hidrológico, que es el proceso de predicción de la forma y el tiempo de paso de una onda de crecida a medida que avanza aguas abajo.

Descripción del Método de Muskingum

El método de Muskingum se basa en una ecuación de balance de volumen que toma en cuenta tanto el almacenamiento del agua en el tramo del río como el flujo de entrada y salida del mismo. Se considera que el almacenamiento en el tramo de río tiene dos componentes: el almacenamiento prismático (debido al volumen de agua si no hubiera flujo) y el almacenamiento en forma de onda (debido a la variación de caudal con el tiempo).

Ecuaciones del Método de Muskingum

La ecuación básica del método de Muskingum puede expresarse de la siguiente manera:

$$S = K [xI + (1 - x)O]$$

Donde:

- S es el almacenamiento en el tramo del río.
- K es el coeficiente de almacenamiento (tiempo de viaje del flujo a través del tramo).
- x es el coeficiente de peso de Muskingum, que varía entre 0 y 0.5.
- I es el caudal de entrada al tramo (inflow).
- O es el caudal de salida del tramo (outflow).

La variación del almacenamiento ΔS en un intervalo de tiempo Δt se puede relacionar con el flujo de entrada y salida mediante la ecuación de continuidad.

$$\Delta S = \frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t$$

Donde:

- I_1 e I_2 son los caudales de entrada al inicio y al final del intervalo de tiempo, respectivamente.
- O_1 y O_2 son los caudales de salida al inicio y al final del intervalo de tiempo, respectivamente.

Combinando estas ecuaciones y resolviendo para O_2 , obtenemos:

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Donde los coeficientes C_0 , C_1 y C_2 se calculan como:

$$C_0 = \frac{\Delta t - 2Kx}{2K(1-x) + \Delta t}$$

$$C_1 = \frac{\Delta t + 2Kx}{2K(1-x) + \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{2K(1-x) - \Delta t}{2K(1-x) + \Delta t}$$

Aplicaciones

El método de Muskingum es utilizado en:

- Predicción de inundaciones.
- Diseño y gestión de presas y embalses.
- Modelado del flujo en sistemas de drenaje urbano.
- Estudios de impacto ambiental relacionados con cambios en el régimen de flujo de ríos.

Es una herramienta esencial para ingenieros y científicos dedicados a la gestión y protección de recursos hídricos.

Los estudios hidráulicos se utilizan para identificar las curvas de superficie libre bajo distintos caudales de crecida. Esto incluye el uso de programas como HEC-RAS o HEC-GeoRAS, que se aplican en el análisis de inundaciones, riesgos y vulnerabilidad. La técnica de HEC-RAS debe evaluar eficientemente las variaciones en la capacidad de conducción del canal principal y las áreas laterales propensas a inundaciones.

Estimación de caudales.

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q . cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial (MTC 2008).

Método racional

Calcula la máxima cantidad de agua que fluye usando la lluvia, combinando todos los factores en un único coeficiente c (coeficiente de escorrentía), determinado según las características de la cuenca. Se asume que la duración de la lluvia es equivalente al tiempo de concentración. (MTC 2008).

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$Q = CIA \dots \dots \dots (37)$$

Donde:

Q = Descarga máxima de diseño

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad máxima

A = Área de la cuenca

Tabla N°4. Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	SUAVE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Semipermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Permeable	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
	Semipermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Permeable	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Semipermeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05

Fuente: *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC)*

Coeficiente de escorrentía

Cuando el área de drenaje (Cuenca) está constituida por diferentes tipos de cubierta y superficies, el coeficiente de escurrimiento puede obtenerse en función de las características de cada porción del área como un promedio ponderado (MTC 2008).

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (33)$$

Donde:

$C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ = Coeficiente de escurrimiento correspondiente a cada área.

$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ = Área parcial que tiene cierto tipo de superficie.

Modelamiento hidráulico.

Para determinar el nivel del agua en cada sección transversal de la quebrada Tataque en Damiana Baja, se utilizará el programa Hec-Ras 6.3.1. Este proceso requiere disponer de la ubicación exacta de las secciones transversales, la distancia entre ellas, el coeficiente de Manning para cada segmento de cada sección y el caudal de diseño necesario. El trabajo se realizará mediante una simulación hidráulica con Hec-Ras.

Para ríos o arroyos con formas simples y preferiblemente un único puente, el software unidimensional Hec-RAS emerge como la opción más adecuada debido a su capacidad para proporcionar resultados confiables de manera más rápida. Por otro lado, el software bidimensional IBER, utilizado también en estos escenarios, se posiciona como la elección preferida para modelar ríos con geometrías más complejas, especialmente cuando se requiere analizar el comportamiento hidráulico detallado alrededor de pilares y estribos, así como en situaciones con dos o más puentes con poca separación entre ellos. A continuación, se presenta algunas comparaciones entre ambos programas:

En IBER, la mejor adaptación de la malla permite modelos más rápidos para una misma precisión en el cauce por lo que se puede ir viendo el resultado del modelo a medida que se va calculando cada paso. Las mallas de las celdas son triangulares y rectangulares por lo que permiten más direcciones de flujo en las mallas triangulares. Este modelo permite diversos tipos de mallado. (tamaño, error cordal, divisiones). Los resultados finales obtenidos en un modelamiento dependen poco del tamaño de la malla donde además se pueden observar más resultados como caudal específico y ver su evolución el tiempo o a lo largo del perfil.

En HEC-RAS, el cálculo es rápido para modelos pequeños, pero se enlentece mucho a medida que aumentamos el modelo manteniendo la precisión ya que la capacidad de adaptación de la malla es menor. Es necesario esperar al que termine el cálculo para poder ver los resultados. Las celdas son cuadradas, excepto en las zonas donde se definen breaklines lo que limita en muchos casos las direcciones de flujo permitiendo también un solo tipo de mallado a excepción de la posibilidad de forzar mallado con breaklines. Resuelve ecuaciones de Saint Venant 2D y los resultados dependen mucho del tamaño de malla donde solo se pueden ver cota, velocidad y calado y sacar gráficas temporales de caudal y volumen acumulado en un perfil.

Un análisis hidráulico se compone de dos componentes esenciales: la forma del canal y las variables de flujo, como el volumen de agua y las condiciones en los límites. La variación en estas formas y condiciones genera efectos diversos, los cuales pueden ser evaluados de manera individual o en conjunto. Esta es la base del enfoque del software Hec-Ras, que permite incorporar múltiples análisis dentro de un único proyecto. (Nanía 2007).

2.2.4 ASPECTOS TEÓRICOS CONCEPTUALES.

Inundación.

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes (CENEPRED 2013).

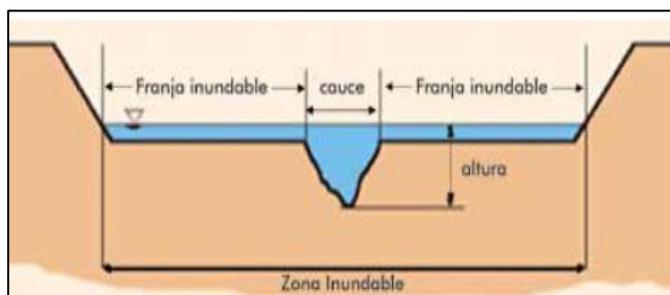


Figura N°4. Sección típica de una llanura inundada. (Cenepred,2014)

Tipos de inundación.

Las inundaciones pueden originarse por factores fluviales o pluviales. Las inundaciones fluviales son causadas cuando el agua de los ríos se desborda y cubre áreas específicas de terreno. En contraste, las inundaciones pluviales se producen debido a lluvias intensas que pueden ocurrir en cualquier parte de una cuenca, haciendo que los ríos se desborden y afecten las áreas circundantes. Mientras que las inundaciones pluviales son producidas por el exceso de lluvia que cae en un terreno ya saturado, se genera la inundación debido a que el terreno comienza a acumularse grandes cantidades de agua hasta que comienza a evaporarse y secar el terreno para ser utilizado (CENEPRED 2013).

Inundaciones dinámicas o rápidas.

Se forman en cursos de agua ubicados en áreas con pendientes pronunciadas, debido a precipitaciones intensas. Estas crecidas son repentinas y breves, causando graves daños a personas y construcciones, ya que no hay tiempo suficiente para reaccionar. Un ejemplo son los ríos que desembocan en el Océano Pacífico.

Inundaciones estáticas o lentas.

Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de inundación (CENEPRED 2013).

Precipitación.

Las lluvias y nevadas son esenciales en el ciclo del agua, siendo la caída de agua en forma líquida o sólida sobre la superficie terrestre un componente crucial del ciclo hidrológico. Dichas precipitaciones son generadas por las nubes, y una vez que alcanzan un punto de saturación, cae a la tierra en forma de gotas, nieve o pedazos de hielo (Ortiz Vera 2003).

Zonas inundables.

Se originan a partir de lluvias intensas o persistentes que exceden la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de los ríos, arroyos y zonas costeras para contenerlas. El desarrollo de actividades urbanas en zonas inadecuadas ocasiona el aumento de la altura y la extensión de las llanuras de inundación (CENEPRED 2013).

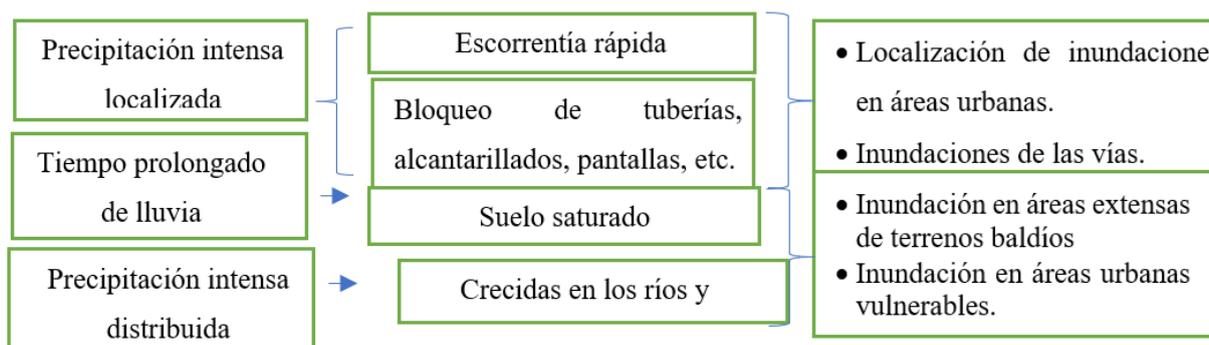
Inundaciones en el Perú.

En el país, las inundaciones suelen acontecer entre noviembre y mayo, debido a intensas precipitaciones en la región Andina. Esta área es crucial, ya que muchos ríos que fluyen hacia la cuenca del Pacífico, como el Santa, Rímac, La Leche y Piura, tienen su origen en los Andes. Por otro lado, ríos importantes como el Marañón, Chinchipe, Huallaga y Utcubamba se dirigen hacia la cuenca del Atlántico.

El incremento en el caudal de estos ríos resulta en considerables pérdidas económicas, sociales y materiales. El fenómeno del Niño ejerce una significativa influencia en el país, especialmente en la costa, donde puede causar aumentos drásticos en los caudales de los ríos, tal como ocurrió en 2017. Es esencial que el gobierno implemente políticas preventivas para mitigar los riesgos y evitar pérdidas humanas y materiales.

Causas de las inundaciones.

Éstas se originan por diversas razones, y el nivel de daño está estrechamente relacionado con estas causas. El impacto de las inundaciones puede ser considerable, con potenciales consecuencias severas. Algunas de las causas destacadas incluyen



Fuente: (Barón, 2012)

Tabla N°5. Estrato, descripción y valor de las zonas de peligro

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
PB (Peligro Bajo)	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc. Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	1 < de 25%
PM (Peligro Medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	2 De 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico	3 De 51% a 75% ^o
PMA (Peligro Muy Alto)	Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (“lloclla”). Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colápsales en grandes proporciones. Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico	4 De 76% a 100%

Fuente: (CENEPRED 2013).

2.2.5 ESTIMACIÓN DEL PELIGRO, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO.

En un entorno urbano expuesto a riesgos, intervienen dos elementos esenciales: el fenómeno natural que puede causar daños (la amenaza) y la comunidad vulnerable que puede verse afectada por estos daños (la sociedad vulnerable). El término "sociedad" abarca no solo a los individuos, sino también a las estructuras en las que operan y a las redes que establecen. El riesgo en una zona urbana surge de la interacción entre un evento potencialmente dañino y la vulnerabilidad de los elementos expuestos dentro del sistema urbano. Esta combinación de amenaza y vulnerabilidad define el riesgo como un fenómeno multidimensional dentro de un sistema complejo como es la ciudad o la sociedad urbana en una situación particular de exposición a una amenaza.

Los factores de vulnerabilidad pertenecen a campos diversos (naturales, materiales, sociales, funcionales, en materia de decisiones, etc.) e influyen no solamente considerándolos individualmente, sino también en interacción los unos con los otros, conformando así un Sistema (CENEPRED 2013).

2.2.5.1 Peligro.

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente (CENEPRED 2013).

2.2.5.2 Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad es la susceptibilidad de la población, sus bienes o sus actividades sociales y económicas de sufrir daños por acción de un peligro o una amenaza (INDECI 2011).

Indicadores de Vulnerabilidad.

Según Cenepred (2014), los indicadores de vulnerabilidad son un conjunto de criterios generales que abarcan aspectos sociales, económicos y ambientales, los cuales se enumeran a continuación:

Tipos de Vulnerabilidad.

Vulnerabilidad física:

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central

hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), para asimilar los efectos del peligro (CENEPRED 2013).

Tabla N°6. Vulnerabilidad física.

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructura resistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero)	Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario
Localización de viviendas (*)	Muy alejada > 5 Km	Medianamente cerca 1 – 5 Km	Cercana 0.2 – 1 Km	Muy cercana 0.2 – 0 Km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freático alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

(*) Es necesario especificar la distancia, de acuerdo a la ubicación del tipo de vulnerabilidad

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: (CENEPRED 2013).

Vulnerabilidad Económica

Se refiere a la capacidad de los habitantes de una comunidad para utilizar los recursos económicos disponibles (como tierra, infraestructura, servicios y empleo remunerado) con el fin de enfrentar y recuperarse de desastres.

Está determinada, fundamentalmente, por el nivel de ingreso o la capacidad para satisfacer las necesidades básicas por parte de la población, la misma que puede observarse en un determinado centro poblado, con la información estadística disponible en los Mapas de Pobreza que han elaborado las Instituciones Públicas (CENEPRED 2013).

Tabla N°7. Vulnerabilidad económica.

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Actividad Económica	Alta productividad y Recursos bien distribuidos. Productos para el comercio exterior o fuera de la localidad	Medianamente productiva y distribución regular de los recursos. Productos para el comercio interior, a nivel local.	Escasamente productiva y distribución deficiente de los recursos. Productos para el autoconsumo.	Sin productividad y nula distribución de recursos.
Acceso al mercado laboral	Oferta laboral > Demanda	Oferta laboral = Demanda	Oferta laboral < Demanda	No hay Oferta Laboral.
Nivel de ingresos	Alto nivel de ingresos	Suficientes niveles de ingresos	Nivel de ingresos que cubre necesidades básicas	Ingresos inferiores para cubrir necesidades básicas.
Situación de pobreza Desarrollo Humano	Población sin pobreza	Población con menor porcentaje pobreza	Población con pobreza mediana	Población con pobreza total o extrema

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Vulnerabilidad social.

Se analiza a partir del nivel de organización y participación que tiene una colectividad, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia (CENEPRED 2013).

Tabla N°8. Vulnerabilidad social.

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Nivel de Organización	Población totalmente organizada.	Población organizada	Población escasamente organizada	Población no organizada.
Participación de la población en los trabajos comunales	Participación total	Participación de la mayoría.	Mínima Participación	Nula participación
Grado de relación entre las instituciones y organizaciones locales.	Fuerte relación	medianamente relacionados	Débil relación	No existe
Tipo de integración entre las organizaciones e Institucionales locales.	Integración total.	Integración parcial	Baja integración	No existe integración

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Vulnerabilidad educativa.

Se refiere a una adecuada implementación de las estructuras curriculares, en los diferentes niveles de la educación formal, con la inclusión de temas relacionados a la prevención y atención de desastres, orientado a preparar (para las emergencias) y educar (crear una cultura de prevención) a los estudiantes con un efecto multiplicador en la sociedad (CENEPRED 2013).

Tabla N°9. Vulnerabilidad educativa.

VARIABLES	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Programas educativos formales (Prevención y Atención de Desastres - PAD).	Desarrollo permanente de temas relacionados con prevención de desastres	Desarrollo con regular permanencia sobre temas de prevención de desastres	Insuficiente desarrollo de temas sobre prevención de desastres	No están incluidos los temas de PAD en el desarrollo de programas educativos.
Programas de Capacitación (educación no formal) de la población en PAD.	La totalidad de la población está capacitada y preparada ante un desastre	La mayoría de la población se encuentra capacitada y preparada.	La población Esta escasamente capacitada y preparada.	no está capacitada ni preparada la totalidad de la población
Campañas de difusión (TV, radio y prensa) sobre PAD.	Difusión masiva y frecuente	Difusión masiva y poco frecuente	Escasa difusión	No hay difusión
Alcance de los programas educativos sobre grupos estratégicos	Cobertura total	Cobertura mayoritaria	Cobertura insuficiente menos de la mitad de la población objetivo	Cobertura desfocalizada

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Vulnerabilidad cultural e ideológica

Se refiere a la percepción que un individuo o grupo tiene de sí mismo como sociedad o colectividad, lo cual influye en sus reacciones frente a un peligro de origen natural o tecnológico. Esta percepción está afectada por su nivel de conocimiento, creencias, costumbres, actitudes, temores, mitos, entre otros factores

El desarrollo histórico de nuestros pueblos ha determinado la presencia de un conjunto de valores que les son propios y que marcan la pauta de las relaciones mutuas, entre la solidaridad y el individualismo, así mismo el avance tecnológico, a través de la televisión y la informática, viene influyendo en la conducta y comportamiento de las personas (CENEPRED 2013).

Tabla N°10. Vulnerabilidad cultural e ideológica.

7	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres	Conocimiento total de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres	La mayoría de la población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres	Escaso conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres	Desconocimiento total de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres
Percepción de la población sobre los desastres	La totalidad de la población tiene una percepción real sobre la ocurrencia de desastres	La mayoría de la población tiene una percepción real de la ocurrencia de los desastres.	La minoría de la población tiene una percepción realista y más místico y religioso.	Percepción totalmente irreal – místico – religioso.
Actitud frente a la ocurrencia de desastres	Actitud altamente previsoras	Actitud parcialmente previsoras	Actitud escasamente previsoras	Actitud fatalista, conformista y con desidia.

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Vulnerabilidad política e institucional.

Establece el nivel de independencia y autoridad política que las entidades públicas pueden tener en una localidad o comunidad específica, con el fin de mejorar la administración de situaciones de desastre. La misma que está ligada con el fortalecimiento y la capacidad institucional para cumplir en forma eficiente con sus funciones, entre los cuales está el de prevención y atención de desastres o defensa civil, a través de los Comités de Defensa Civil (CDC), en los niveles Regional, Provincial y Distrital (CENEPRED 2013).

Tabla N°11. Vulnerabilidad política institucional.

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Autonomía local	Total autonomía	Autonomía parcial	Escasa autonomía	No existe autonomía
Liderazgo político	Aceptación y respaldo total	Aceptación y respaldo parcial.	Aceptación y respaldo Minoritario.	No hay aceptación ni respaldo
Participación ciudadana	Participación total	Participación mayoritaria	Participación minoritaria	No hay participación
Coordinación de acciones entre autoridades locales y funcionamiento del CDC	Permanente coordinación y activación del CDC	Coordinaciones esporádicas	Escasa coordinación	No hay coordinación inexistencia CDC

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Vulnerabilidad científica y tecnológica.

Es el nivel de conocimiento científico y tecnológico que la población debe tener sobre los peligros de origen natural y tecnológico, especialmente los existentes en el centro poblado de residencia (CENEPRED 2013).

Tabla N°12. Vulnerabilidad científica y tecnológica.

VARIABLE	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Existencia de trabajos de investigación sobre Desastres naturales en la localidad	La totalidad de los peligros naturales fueron estudiados	La mayoría de los peligros naturales fueron estudiados	Existen pocos estudios de los peligros naturales	No existen estudios de ningún tipo de los peligros.
Existencia de Instrumentos para medición (sensores) de fenómenos completos.	Población totalmente instrumentada	Población parcialmente instrumentada	Población con escasos instrumentos	Población sin instrumentos
Conocimiento sobre la existencia de estudios	Conocimiento total de los estudios existentes	Conocimiento parcial de los estudios	Mínimo conocimiento de los estudios existentes	No tienen conocimiento de los estudios
La Población cumple las conclusiones y recomendaciones	La totalidad de la población cumplen las conclusiones y recomendaciones	La mayoría de la población cumple las conclusiones y recomendaciones	Se cumple en la mínima proporción las conclusiones y recomendaciones	No cumplen las conclusiones y recomendaciones

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

Estratificación de la vulnerabilidad:

La vulnerabilidad puede clasificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. Las características y los valores correspondientes de cada nivel se describen en la tabla a continuación:

Tabla N°13. Estrato, descripción y valor de la vulnerabilidad.

Estrato/nivel	Descripción /características	Valor
<p style="text-align: center;">VB (Vulnerabilidad Baja)</p>	<p>Viviendas que están ubicadas en áreas seguras y construidas con materiales resistentes a los terremotos, bien mantenidas. Los residentes tienen ingresos medios a altos, están educados en la prevención y tienen acceso a servicios básicos. Además, cuentan con una organización comunitaria sólida, participación activa y colaboración efectiva entre instituciones y organizaciones locales</p>	<p style="text-align: center;">1 < de 25%</p>
<p style="text-align: center;">VM (Vulnerabilidad Media)</p>	<p>Viviendas ubicadas en terreno de calidad media, experimentando movimientos sísmicos moderados. Inundaciones poco frecuentes, de bajo nivel de agua y velocidad. Construidas con materiales duraderos, en estado de conservación variable entre regular y bueno. Los habitantes tienen un nivel económico medio, están desarrollando una cultura de prevención y cuentan con acceso parcial a servicios básicos y facilidades para la atención de emergencias. La población está organizada, con participación mayoritaria, relaciones institucionales medianamente consolidadas e integración parcial entre diversas entidades y organizaciones existentes.</p>	<p style="text-align: center;">2 De 26% a 50%</p>
<p style="text-align: center;">VA (Vulnerabilidad Alta)</p>	<p>Viviendas ubicadas en áreas propensas a fuertes movimientos sísmicos debido a sus características geológicas particulares, construidas con materiales de baja calidad y en condiciones de mantenimiento variable. Estas áreas experimentan problemas de sobrepoblación y deterioro de la infraestructura urbana. La población residente se caracteriza por escasos recursos económicos, falta de conocimientos en medidas preventivas y cultura de preparación limitada. Además, los servicios básicos tienen una cobertura parcial, la accesibilidad a servicios de emergencia es limitada y la organización comunitaria es insuficiente. Existe una débil coordinación e integración entre las instituciones y organizaciones locales</p>	<p style="text-align: center;">3 De 51% a 75%</p>

<p>VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)</p>	<p>Las viviendas están ubicadas en áreas donde el suelo tiene una alta posibilidad de licuación o colapso, construidas con materiales deficientes y en mal estado, y con un rápido aumento de la sobrepoblación y la informalidad. La población residente tiene bajos recursos económicos, carece de conciencia sobre medidas preventivas, enfrenta la falta de servicios básicos y tiene dificultades de acceso a la ayuda en situaciones de emergencia. Además, existe una falta de organización, participación y coordinación entre las instituciones y organizaciones disponibles.</p>	<p>4 De 76% a 100%</p>
--	--	--------------------------------

Fuente: CENEPRED 2013

2.2.5.3 Riesgo.

El riesgo es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro (INDECI 2011).

Cálculo del riesgo.

Después de identificar y describir todas las vulnerabilidades presentes en la zona, el siguiente paso será calcular su valor total. Este cálculo se realizará utilizando una estratificación porcentual y siguiendo los siguientes pasos:

En primer lugar, se calculará el valor de cada tipo de vulnerabilidad. Este valor dependerá del número de vulnerabilidades físicas (VF) y otras vulnerabilidades (VR). Se establecerá una distinción entre la vulnerabilidad física y las demás para determinar la vulnerabilidad total (VT):

$$VT = \frac{VF + VR}{2} \dots\dots\dots (34)$$

Donde el resto de vulnerabilidades (VR) será:

$$VR = \frac{VAE + VE + VS + Ved + VCI + VCT}{N} \dots\dots\dots (35)$$

Donde N es el número de vulnerabilidades; entonces tendremos que:

En segundo lugar, tendremos que la vulnerabilidad total (VT) será:

$$VT = \frac{VA + VF + VE + VS + Ved + VCI + VPI + VCT}{N} \dots\dots\dots (36)$$

Después de identificar los riesgos que enfrenta el sector (P) y completar el análisis de vulnerabilidad (V), se lleva a cabo una evaluación combinada para determinar el riesgo (R). Este procedimiento incluye calcular la probabilidad de sufrir pérdidas y daños anticipados (tales como afectaciones a personas, bienes materiales y recursos económicos) en caso de que ocurra un fenómeno natural o tecnológico.

El cálculo del riesgo implica utilizar tanto información teórica como empírica sobre la probabilidad de que ocurra un peligro específico, considerando su fuerza e intensidad. También implica evaluar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, como la población, las viviendas y la infraestructura en una región geográfica determinada, para entender su capacidad de resistencia frente a dicho peligro.

Existen varios métodos para calcular el riesgo, siendo el más utilizado y recomendado el método descriptivo. Este método se apoya en una "Matriz de Peligro y Vulnerabilidad" (Tabla N° 14), donde se establecen previamente los niveles de probabilidad de ocurrencia tanto del peligro identificado como de la vulnerabilidad analizada.

Al cruzar estos porcentajes en la matriz, se determina el nivel estimado de riesgo esperado, considerando tanto el valor y nivel del peligro como el nivel promedio de vulnerabilidad.

Tabla N°14. *Matriz de peligro y vulnerabilidad.*

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

Descripción:

- Riesgo Bajo (< de 25%)
- Riesgo Medio (26% al 50%)
- Riesgo Alto (51% al 75%)
- Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

Fuente: CENEPRED 2013.

2.2.6 Desastre.

Interrupción severa que afecta profundamente a una comunidad, resultando en pérdidas significativas en términos humanos, materiales o ambientales, que son tan graves que la comunidad no puede recuperarse sin ayuda externa. Los desastres se clasifican de acuerdo a su origen (natural o tecnológico) (INDECI 2011).

2.2.7 Mitigación.

Reducción de los impactos de un desastre, especialmente mediante la reducción de la susceptibilidad a sus efectos. Las medidas de prevención que se toman a nivel de ingeniería, dictado de normas legales, la planificación y otros, están orientadas a la protección de vidas humanas, de bienes materiales y de producción contra desastres de origen natural, biológicos y tecnológicos (INDECI 2011).

2.2.8 Emergencia.

Estado de daños sobre la vida, el patrimonio y el medio ambiente ocasionados por la ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico que altera el normal desenvolvimiento de las actividades de la zona afectada (INDECI 2011).

2.2.9 Área de Inundación

Zonas inundadas de áreas habitacionales en distintos tiempos de retorno del caudal mostrando daño de zona urbana en estudio. (Ven Te, 1994)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN POLÍTICA

Región: Cajamarca

Provincia: Jaén

Distrito: Santa Rosa

La región Cajamarca, situada en la zona Norte del país, limita con el Norte con la República del Ecuador, por el Este con la región Amazonas, por el Sur con la Libertad y por el Oeste con Lambayeque y Piura. Está localizada entre las coordenadas geográficas 4 ° 30' y 7 ° 45' de latitud Sur y entre 77° 33' y 79° de longitud Oeste.

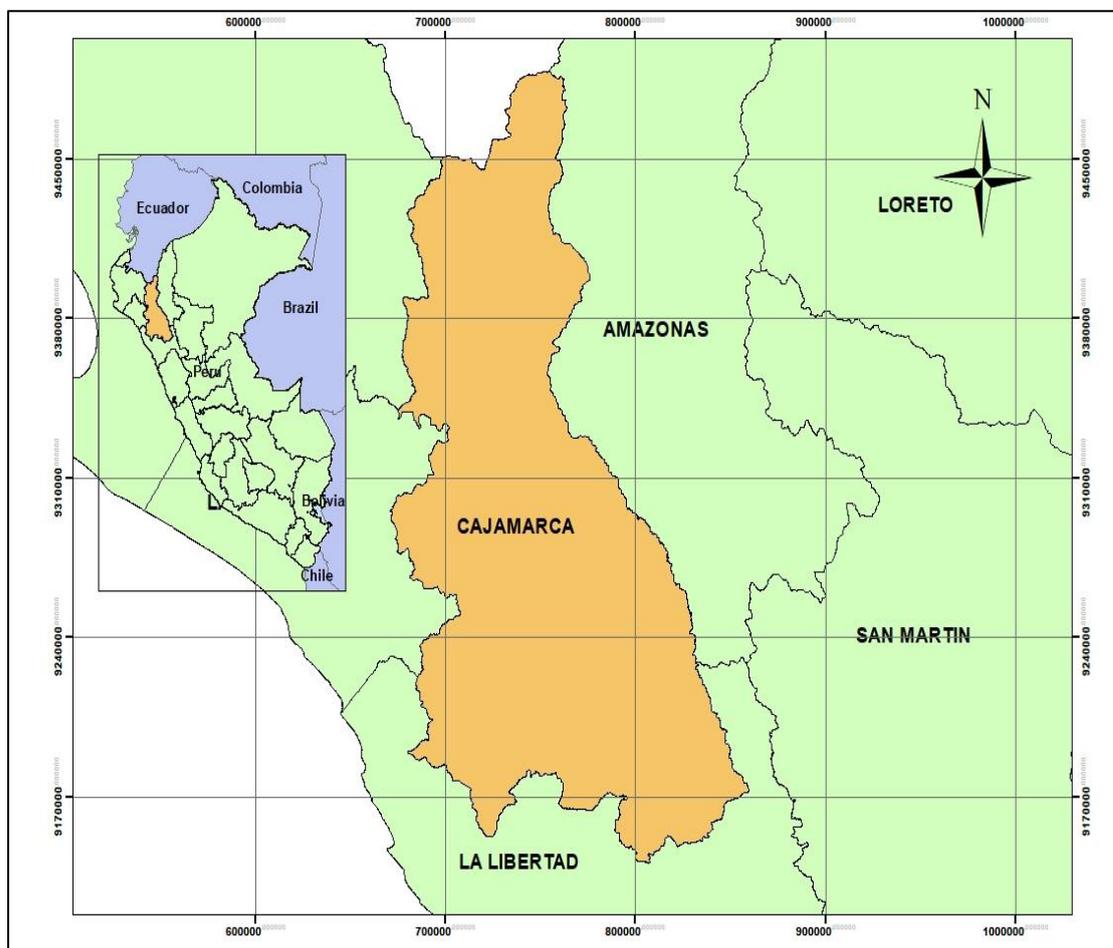


Figura N°5. Mapa de la ubicación de la región Cajamarca

Fuente: ArcMap v10.5

La provincia de Jaén se encuentra al norte de la región Cajamarca. Limita al norte con San Ignacio, al este con Bagua y Utcubamba en la región Amazonas, al oeste con Huancabamba en

Piura, y al sur con Cutervo, Ferreñafe y Lambayeque en la región Lambayeque. Sus coordenadas geográficas son 5° 42' 15" de latitud Sur y 78° 48' 29" de longitud Oeste.

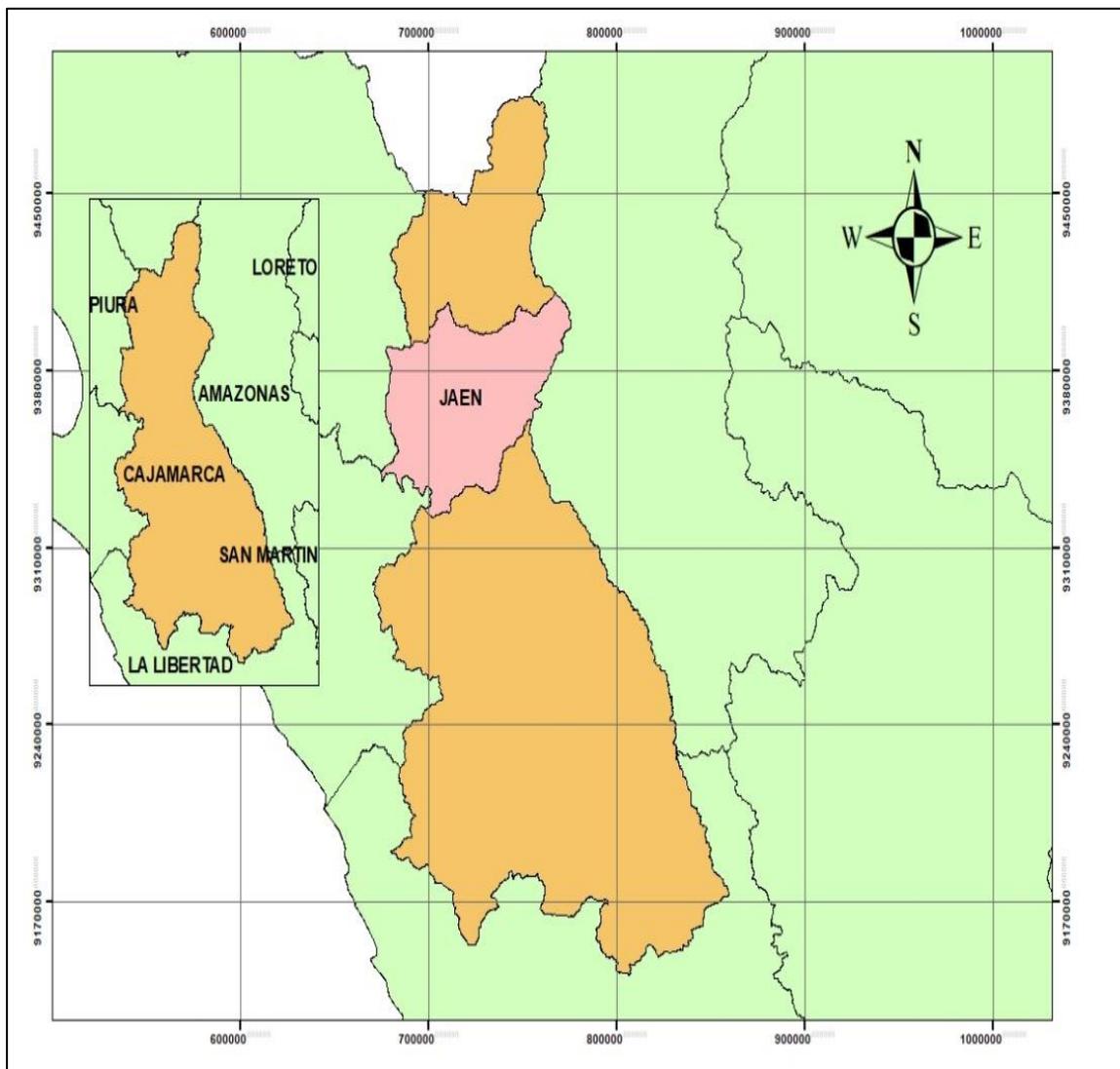


Figura N°6. Mapa de la ubicación de la provincia de Jaén

Fuente: ArcMap v10.5

El distrito de Santa Rosa, situada en la parte Nororiental de la provincia de jaén, limita por el Norte con el distrito de Huarango de provincia de San Ignacio, por el Este con la provincia de Bagua de la región Amazonas, por el Oeste con el distrito de Bellavista, y por el Sureste con la provincia de Bagua de la región Amazonas.

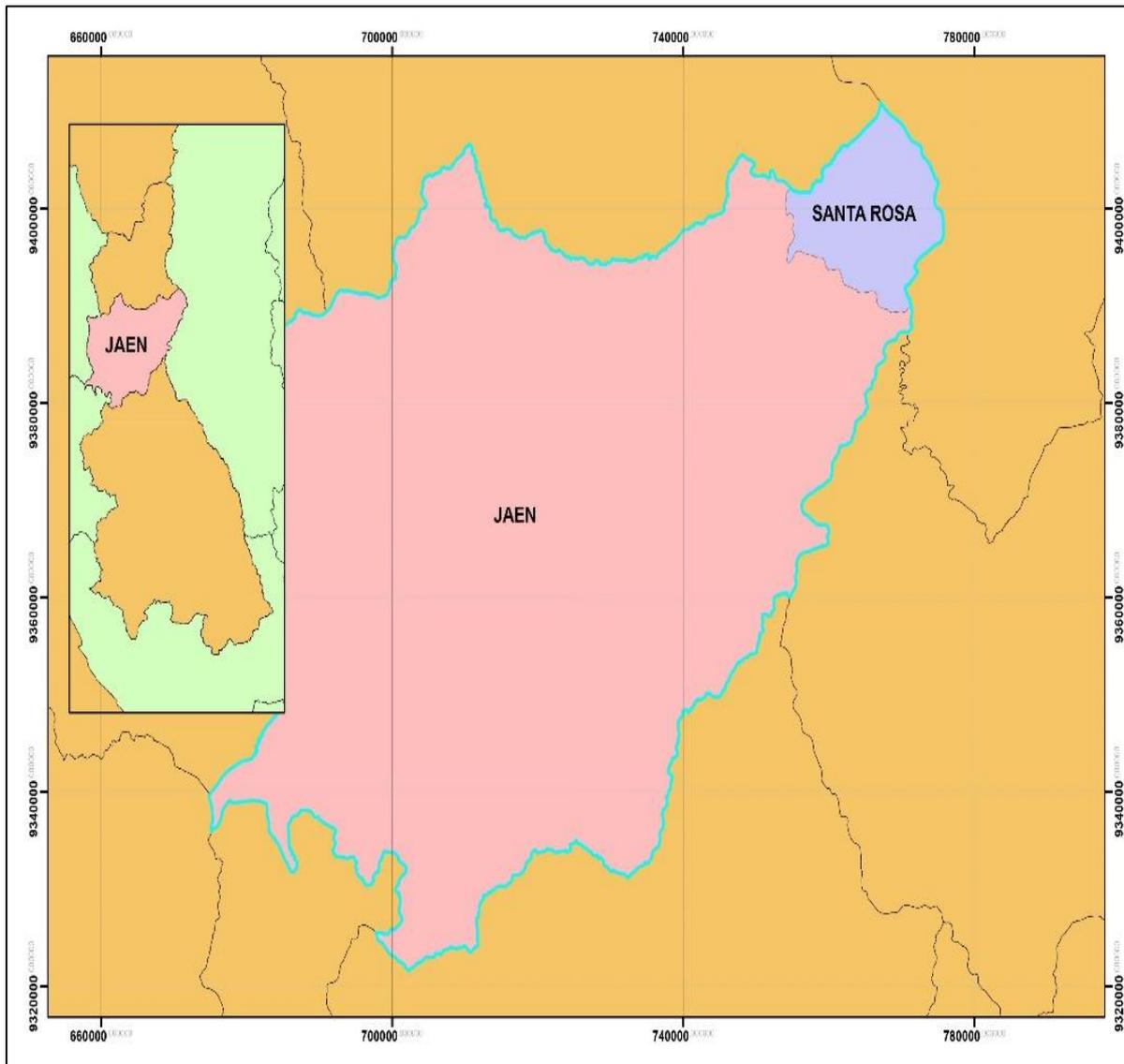


Figura N°7. Mapa de la ubicación del distrito de Santa Rosa

Fuente: ArcMap v10.5

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación tendrá lugar en Damiana Baja, situada en el lado izquierdo de la quebrada Tataque, en el distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén, en la región de Cajamarca.

El tramo de la quebrada estudiado se encuentra a una altitud de 1450 metros sobre el nivel del mar en Damiana Baja, con coordenadas UTM del sistema WGS 84, huso 17, zona M. **Localidad Damiana Baja: 755064.9 E - 9401746.6 N**



Figura N°8. Mapa de la ubicación de la zona de estudio

Fuente: Google Earth pro.

3.3 POBLACIÓN

La localidad de Damiana Baja (población y viviendas) ubicada en la provincia de Jaén, y cuenta con un total de 80 viviendas.

3.4 MUESTRA

Para esta investigación, la población y la muestra tienen la misma concepción.

3.5 UNIDAD DE ANÁLISIS

Quebrada aguas abajo pasando la trocha carrozable Damiana Baja-Zapotal y su entorno.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1 TÉCNICAS

- La recolección de información de los habitantes de dichas viviendas en la localidad Damiana Baja a través de guías de entrevista, fichas técnicas, revisión de documentos anteriores, además de observación directa y sentido común.

- Para plasmar el riesgo de inundación de la quebrada se utilizó la técnica de observación directa.
- Análisis documental y encuestas.
- Recolección de información de precipitaciones de lluvias.
- Procesamiento de datos (hidrológico e hidráulico)
- Utilizamos un mapa de la Carta Nacional Geográfica (escala 1:100,000, hoja 11-F) con curvas de nivel cada 50 metros, descargado de GeoGps.com, para definir los límites de nuestra cuenca principal.

3.6.2 INSTRUMENTOS

- Fichas Técnicas: Estas nos permitirán evaluar características geológicas, calidad y tipo de suelo de la localidad Damiana Baja.
- Información del Senamhi: Nos permitirán aplicar formulas empíricas y científicas en gabinete para calcular probabilidades de máximas avenidas.
- Softwares específicos (hidrológicos e hidráulicos).

3.6.3 EQUIPOS

- Estación Total South N40 (01 unidad).
- Mira Topográfica: Prisma (01 unidad).
- Wincha: Stanley- 50 metros (01 unidad).
- Cámara Fotográfica.

3.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Los datos obtenidos en campo se analizaron descriptiva, analíticamente y cuantitivamente teniendo soporte en bases teóricas anteriormente mencionadas.

a) Análisis Descriptivo

Se basó generalmente en la observación general del estado situacional, evaluando los tipos de vulnerabilidad que producirían una eventual máxima avenida y posterior inundación a la localidad Damiana Baja por parte de la quebrada Tataque.

b) Análisis Analítico

Se basó en la evaluación en gabinete mediante software como el Microsoft Excel, AutoCAD, HidroEsta, HEC RAS. Se hará el procesamiento de datos, descripción, análisis e interpretación, permitiendo así mostrarlo en gráficos estadísticos, que nos permita tener conclusiones confiables. Se modelará la sección de la quebrada utilizando software HEC-RAS.

▪ Uso de suelos, y cobertura vegetal

El mapa Se descargó desde la página web del de la mapoteca del Gobierno Regional de Cajamarca (<https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/node/588>), la cual vincula y relaciona originalmente a los mapas de MINAM y ZEE los mapas temáticos de cobertura, uso y tipo de suelo. (GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA, 2022) Después, se llevó a cabo una reorganización basada en el tipo de cobertura y otra según las características del suelo en términos de su grupo hidrológico para ambos mapas temáticos. Luego, utilizando la herramienta HEC-GeoHMS en ArcGIS, se cargaron y procesaron los mapas y tablas correspondientes. Esto resultó en la generación del Mapa Temático de Número de Curva para la condición de humedad Tipo II seleccionada en este caso, debido a la frecuencia de lluvias durante las temporadas de avenidas y al estado de humedad media del suelo, considerado como una condición promedio previa a los eventos de crecidas en los diseños. Finalmente, para determinar el valor del Número de Curva (CN) de la cuenca, se dividió la suma de los productos de cada área por su respectivo CN entre el área total de la cuenca.

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS 24 HORAS

Debido a la escasez de estaciones hidrométricas adecuadas en toda la extensa cuenca estudiada, se aplicó el método de precipitación-escorrentía. Este enfoque requiere que la precipitación sea uniforme en toda la cuenca para poder estimar los caudales máximos en diferentes períodos de retorno. Se utilizaron datos históricos de precipitación máxima registrada en 24 horas. Se recopiló información mensual de precipitación y registros históricos de máximas precipitaciones en 24 horas; cualquier dato faltante fue completado utilizando el método de razones promedio, utilizando la estación Jaén como estación principal después de su calibración. Es importante destacar que estos cálculos se basaron en datos provenientes de una sola estación gestionada por el SENAMHI.

✓ Ajuste a función de probabilidad

Se emplearon los programas HidroEsta y Microsoft Excel para simplificar los cálculos estadísticos necesarios en el análisis de distribuciones de datos. Inicialmente, se identificaron las

precipitaciones máximas anuales antes de proceder con el análisis de frecuencia. Este análisis se realizó utilizando la distribución Log Gumbel, especialmente adecuada para evaluar casos de inundaciones por avenidas excepcionales.

El software HidroEsta simplificó el análisis de probabilidad usando la distribución Gumbel. Se examinó la correspondencia de los datos con esta distribución con un nivel de significancia del 0.05 (o confianza del 95%), utilizando el método de Kolmogórov-Smirnov. Para cada conjunto de datos, se calculó la máxima discrepancia Δ entre la función de distribución acumulativa observada $F_0(X_m)$ y la función de distribución acumulativa estimada $F(X_m)$. La distribución que mostró el valor mínimo de Δ fue identificada como el mejor ajuste, concluyendo que todas las estaciones evaluadas se adecuaron mejor a la distribución Log Gumbel.

✓ **Cálculo de precipitaciones para distintos periodos de retorno**

Una vez determinados los parámetros probabilísticos de las variables correspondientes a cada grupo de datos y estación, se emplean junto con los periodos de retorno para calcular la precipitación. Esto se realiza utilizando las ecuaciones de la distribución Log Gumbel descritas en la teoría. Además, se ajusta cada valor de precipitación multiplicándolo por un factor de corrección de 1.13, basado en un intervalo fijo de ajuste también explicado en el marco teórico. La distribución Gumbel se considera la más adecuada para modelar las inundaciones por máximas avenidas, y se han obtenido los valores de precipitación máxima en 24 horas (en mm) para cada periodo de retorno.

✓ **Obtención de curvas Intensidad, duración y frecuencia (IDF)**

Después de considerar una duración de tormenta de 24 horas, adecuada debido al gran tamaño de la cuenca y siguiendo las pautas del marco teórico, se recopilaron los datos de precipitación mediante el método de isoyetas para varios períodos de retorno. Estos datos se convirtieron luego para diferentes duraciones, desde 5 hasta 1440 minutos, utilizando la fórmula de Dick y Peschke.

Después, se empleó la ecuación de intensidad mediante el método de regresión lineal para los coeficientes K , m y n , descritos previamente en el marco teórico, resultando en la fórmula usada para calcular la intensidad de la lluvia. Esta fórmula se utilizó para crear las curvas IDF correspondientes a diferentes períodos de retorno. Para obtener el hietograma de diseño a partir de estas curvas IDF, se utilizó el método de bloque alterno con una duración de tormenta de 1440 minutos (24 horas), elegida debido al largo tiempo de concentración de la cuenca, atribuido a su extenso tamaño según se detalla en el marco teórico.

PROCESAMIENTO GEOESPACIAL CON HEC-GEORAS EN ARCGIS Y OBTENCION DE LOS PARÁMETROS DE TRÁNSITO DE AVENIDAS.

Descripción del Proceso

En esta fase, se llevó a cabo la digitalización de la quebrada Tataque, donde se delimitaron sus bordes, se identificó el curso principal del agua, las líneas de flujo, las áreas de inundación y las secciones transversales del segmento específico elegido para el modelado en HEC-RAS.

✓ Procesamiento de la geometría (RAS Geometry)

En primer lugar, la topografía fue importada a ArcGIS. Posteriormente, se emplearon las herramientas de la extensión Hec-geoRAS para generar la línea representativa del cauce principal, así como las márgenes derecha e izquierda, las líneas de flujo y las secciones transversales. Es importante destacar que no se encontraron puentes dentro del tramo estudiado y que el proceso de seccionamiento se realizó utilizando progresivas que aseguran la continuidad entre las secciones, lo cual resulta complicado debido a la sinuosidad del terreno.

✓ Descripción del modelo

Se empleó el software HEC-RAS para analizar la sección estudiada de la quebrada Tataque, simular el flujo de agua en condiciones de régimen permanente y flujo subcrítico, y determinar los niveles de agua para diferentes caudales. El modelo utiliza la resolución de la Ecuación de conservación de la energía, calculando los niveles de agua mediante un proceso iterativo entre secciones transversales perpendiculares al flujo. El archivo de geometría, inicialmente creado como un TIN en la fase de procesamiento geoespacial, se importó a HEC-RAS para llevar a cabo un análisis detallado de la geometría. Durante este análisis, se asignaron valores para el coeficiente de rugosidad de Manning, así como para los coeficientes de contracción y expansión. A continuación, se presentan las consideraciones importantes que se tuvieron en cuenta al elaborar los datos geométricos.

Información topográfica

La geometría tiene un formato shape y está vinculada al sistema de proyección UTM 18S y al Datum WGS1984. Para su análisis geoespacial, se utilizó el modelo topográfico en formato TIN, utilizando la herramienta "Create Tin" del ArcToolBox para su creación. Además, se empleó una ortofoto de alta resolución como guía para definir los elementos geométricos.

➤ **Seccionamiento hidráulico**

El tramo que se está evaluando comienza en las pequeñas playas de Damiana Baja y termina en la desembocadura de la quebrada que desemboca en el Río Chinchipe. La longitud total del río que se va a modelar es de 3.5 km. Para llevar a cabo este estudio, se han establecido secciones cada 300 metros, considerando esta distancia como la mínima para evitar que las secciones se superpongan debido a la sinuosidad natural de la quebrada. El ancho de las secciones varía; inicialmente se consideró una distancia de 1 km para cubrir la llanura de inundación, pero se ajustaron las líneas de flujo hacia el exterior para garantizar que no se solapen y así cubrir adecuadamente la planicie de inundación.

➤ **Coefficientes de rugosidad de Manning**

Con respecto al coeficiente de rugosidad de Manning, “n”, se tomó como guía las tablas establecidas por Chow (1994) y la U.S.G.S. (1989).

Los coeficientes fueron los siguientes:

Urbano: 0.015.

Agricultura: 0.03

Cauce: 0.02

➤ **Coefficientes de contracción y expansión**

Los cambios en el flujo entre dos secciones consecutivas dentro de un canal pueden provocar pérdidas de energía. Cuando estas variaciones son menores o poco significativas, los coeficientes de contracción y expansión suelen ser aproximadamente 0.1 y 0.3, respectivamente. Sin embargo, en casos de cambios bruscos debido a la sinuosidad del cauce o grandes diferencias entre secciones transversales abruptas, se utilizan coeficientes más altos, como 0.6 y 0.8, según se detalla en el modelo propuesto (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2016).

➤ **Condiciones iniciales**

El Condiciones de borde

Los cursos de agua naturales experimentan fluctuaciones en su caudal a lo largo del tiempo, lo que significa que no son permanentes. Sin embargo, para cumplir con el objetivo de este estudio de determinar el nivel de agua durante inundaciones extremas, se decidió modelar el

flujo como permanente, utilizando únicamente el caudal pico de cada evento hidrológico. Esta elección elimina la necesidad de condiciones iniciales en el modelo, aunque es crucial especificar el tipo de régimen de flujo. Dado que la pendiente del tramo analizado es suave, se considera que el flujo es subcrítico.

Simulación de escenarios

Después de integrar todas las consideraciones mencionadas previamente en el modelo HEC-RAS, se procedió a simular computacionalmente diferentes escenarios correspondientes a diversos periodos de retorno para el caudal máximo.

- ✓ Escenario 1: Simulación hidráulica del cauce en el tramo de estudio para un periodo de retorno de 15 años, con un caudal pico de 90.26 m³/s.
- ✓ Escenario 2: Simulación hidráulica del cauce en el tramo de estudio para un periodo de retorno de 25 años, con un caudal pico de 216.90 m³/s.
- ✓ Escenario 3: Simulación hidráulica del cauce en el tramo de estudio para un periodo de retorno de 50 años, con un caudal pico de 420.91 m³/s.
- ✓ Escenario 4: Simulación hidráulica del cauce en el tramo de estudio para un periodo de retorno de 100 años, con un caudal pico de 604.91 m³/s.
- ✓ Escenario 5: Simulación hidráulica del cauce en el tramo de estudio para un periodo de retorno de 200 años, con un caudal pico de 737.66 m³/s. (simulación de inundación estimada en marzo de 2015).

Es importante destacar que el Escenario 5 se calculó utilizando el caudal máximo estimado para el año 2002, basándose en la huella de inundación observada en el terreno mediante pruebas.

Tras obtener los resultados, se convirtió cada archivo de velocidad del flujo y profundidad del tirante al formato "raster" para su posterior procesamiento en ArcGIS.

Características de áreas inundables

Se determinó el coeficiente de rugosidad del lecho del río mediante observación directa en el terreno. Además, se emplearon imágenes satelitales y mapas de cobertura para asignar los coeficientes de rugosidad de Manning correspondientes a las llanuras de inundación. Estos datos se integraron en un archivo utilizado posteriormente en el software HEC-RAS

Cálculo del nivel de Riesgo

Mediante entrevista y encuestas, utilizaremos la metodología dada por el Indeci y Cenepred, para poder hallar el nivel de riesgo ante una inundación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA.

4.1.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.

En el cálculo y delimitación de los parámetros de la cuenca Tataque, se utilizó el modelo de elevación digital del satélite Alos Palsar, con una resolución espacial de 12.5m. y se procesó con ayuda del software ArcGIS 10.5.

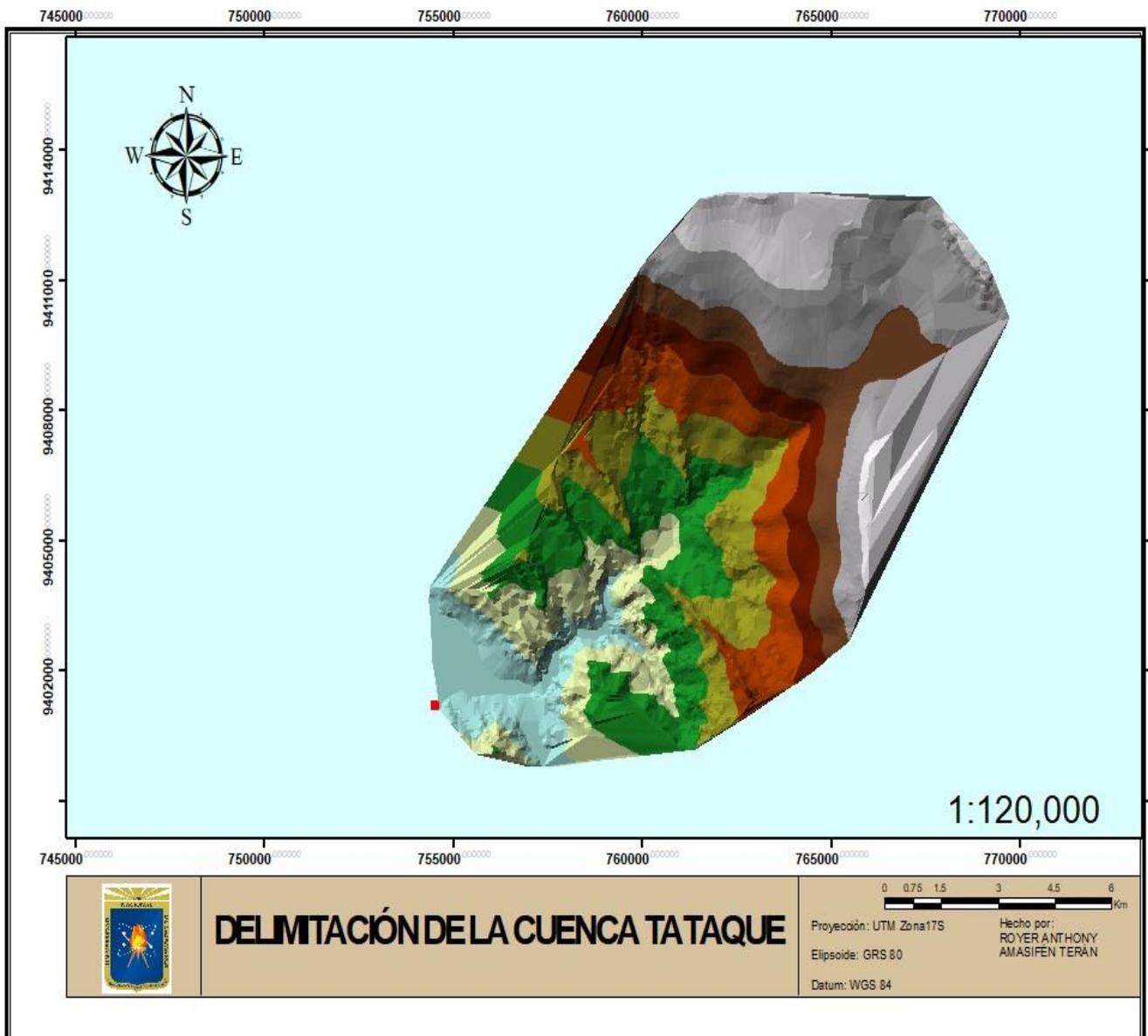


Figura N°9. Delimitación de la cuenca de la quebrada Tataque

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 PARÁMETROS DE FORMA.

La cuenca de la quebrada Tataque cubre un área de 110.69 km² y se extiende desde los 450 m sobre el nivel del mar hasta los 24311.24 msnm como altitud máxima. Esta área recoge toda la precipitación que fluye hacia las aguas de la quebrada Tataque, que desemboca en el río Chinchipe. Asimismo, tiene un perímetro de 48.87 km.

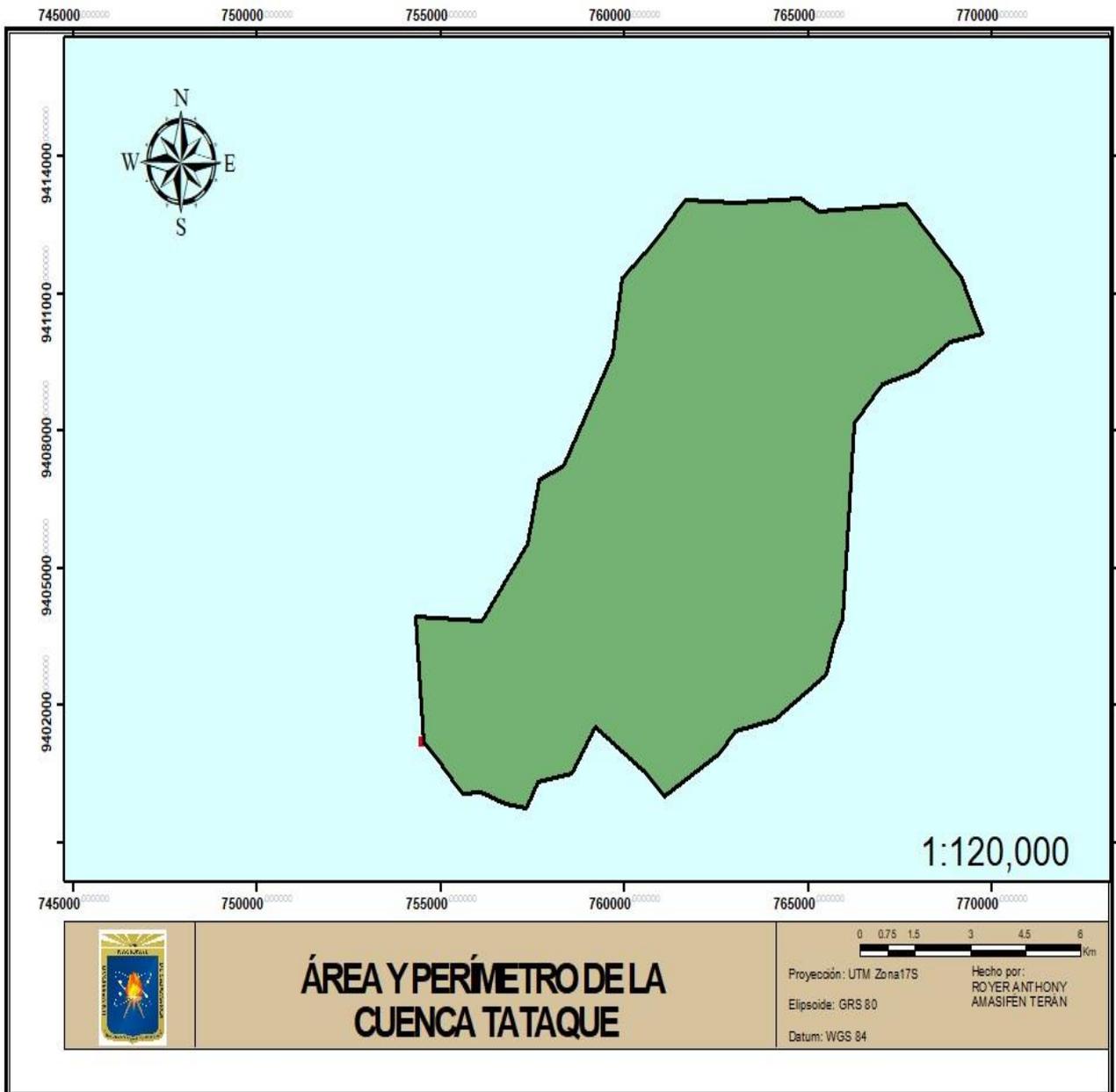


Figura N°10. Área y perímetro de la Cuenca de la quebrada Tataque

Fuente: Elaboración propia.

De dichos parámetros, vamos a calcular los siguientes parámetros que ayudan a caracterizar nuestra cuenca.

Tabla N°15. Ancho medio

Ancho medio			
CUENCA	A (Km2)	L (Km)	Am
QUEBRADA TATAQUE	110.69	5.29	20.92

Tabla N°16. Factor de forma

Factor de Forma			
CUENCA	Am (Km2)	L (Km)	Factor Forma
QUEBRADA TATAQUE	20.92	5.29	3.95

Tabla N°17. Longitud principal del cauce

DATOS DE ARC MAP 10.5	
NOMBRE AFLUENTE	LONGITUD (Km)
QUEBRADA TATAQUE	5.29

Tabla N°18. Índice de Compacidad

Índice de Compacidad			
CUENCA	P (Km)	A (Km2)	KC
QUEBRADA TATAQUE	48.87	110.69	1.31

Las tablas presentan los datos sobre la forma de la cuenca de la quebrada Tataque. Según el Coeficiente de Gravelius, se concluye que la cuenca tiene una "forma oblonga a rectangular". Además, el factor de forma indica que la cuenca está propensa a experimentar crecientes de manera constante.

4.1.3 PARÁMETROS DE RELIEVE.

Utilizando el software ArcGIS, se logró generar el perfil altimétrico de la cuenca de la quebrada Tataque y derivar de estos datos los indicadores topográficos que describen las características del relieve en la cuenca Tataque.

Tabla N°19. Distribución altimétrica de la cuenca de la quebrada Tataque

AREA (m2)	AREA (Km2)	MIN	MAX	PROMEDIO	ACUMULADO	% ACUMULADO
9389247.87	9.39	26.116964	524.702148	275.41	110.82	100.00
7890963.63	7.89	525.680603	853.465332	689.57	101.43	91.53
11137246.1	11.14	854.947632	1155.727417	1005.34	93.54	84.41
11636674.2	11.64	1156.45178	1465.394775	1310.92	82.41	74.36
10088447.2	10.09	1466.94836	1776.069214	1621.51	70.77	63.86
9089591.02	9.09	1776.8761	2079.358398	1928.12	60.68	54.75
7391535.55	7.39	2080.06152	2375.309082	2227.69	51.59	46.55
5993136.94	5.99	2375.86621	2675.861084	2525.86	44.20	39.88
9988561.56	9.99	2676.90747	2997.539307	2837.22	38.21	34.47
12086159.5	12.09	2999.03247	3346.218994	3172.63	28.22	25.46
8839876.98	8.84	3346.88574	3729.3125	3538.10	16.13	14.56
7291649.94	7.29	3731.23462	4299.42627	4015.33	7.29	6.58
TOTAL	110.82					

Con estos datos altimétricos, se obtiene la gráfica de curva Hipsométrica.

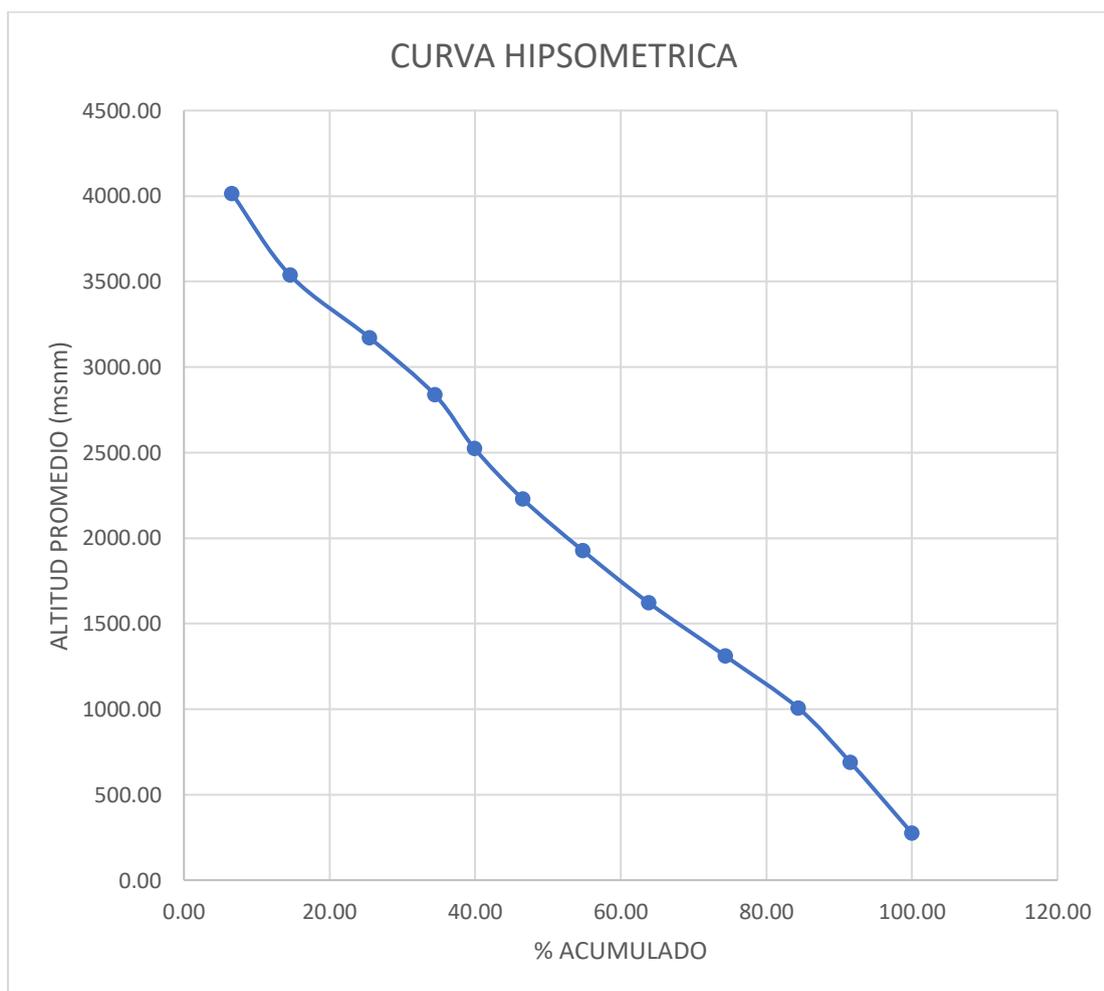


Figura N°11. Curva hipsométrica de la cuenca Tataque

El gráfico de la Figura 11 muestra cómo varía la elevación en la cuenca de la quebrada Tataque, indicando el porcentaje de área de la cuenca que se encuentra por encima de distintas altitudes. La curva hipsométrica es de tipo 2 y refleja un equilibrio y madurez en el relieve de la región.

Tabla N°20. Elevación media

CALCULO DE LA ELEVACION MEDIA			
ALTITUDES	AREA PARC (a)	ELEVACION MEDIA (e)	(a) x (e)
450.00	0	0	0
625.56	9.39	538	5049
820.92	7.89	723	5707
992.53	11.14	907	10098
1153.26	11.64	1073	12485
1317.38	10.09	1235	12462
1489.61	9.09	1403	12757
1685.98	7.39	1588	11736
1884.84	5.99	1785	10700
2031.39	9.99	1958	19559
2138.92	12.09	2085	25201
2249.71	8.84	2194	19397
2431.24	7.29	2340	17066
TOTAL	110.82		162220

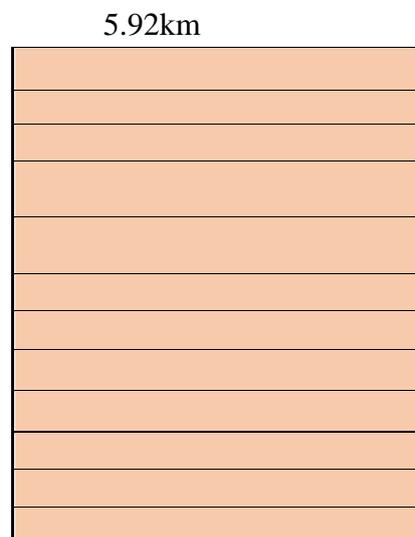
Em = 1464msnm

Tabla N°21. Rectángulo equivalente

Rectángulo equivalente	
Lado mayor	18.70km
Lado menor	5.92km

Tabla N°22. Sub áreas del rectángulo equivalente

COTA (msnm)	DIFERENCIA (msnm)	SUB-AREAS (km2)	li (km)
450	0	0	0
626	176	10	1.66
821	195	11	1.84
993	172	10	1.62
1153	161	9	1.52
1317	164	9	1.55
1490	172	10	1.63
1686	196	11	1.85
1885	199	11	1.88
2031	147	8	1.38
2139	108	6	1.01
2250	111	6	1.05
2431	182	10	1.71



La Tabla 22 presenta de manera gráfica la representación del rectángulo equivalente, que es una transformación geométrica de la cuenca de la quebrada Tataque. Para determinar la dimensión más larga y la más corta, se utilizan las ecuaciones (6) y (7) respectivamente. Las curvas de nivel se convierten en líneas rectas que corren paralelas al lado más corto del rectángulo, el cual está delimitado por la primera y la última curva de nivel. La longitud del lado más largo se calcula sumando las distancias verticales del rectángulo equivalente.

Tabla N°23. Pendiente de la cuenca

PENDIENTE DE LA CUENCA			
COTA DE AFORO	450	LONGITUD	5291.31 m
COTA MAYOR	2431		
DIF	1981	msnm	
S	37.44	%	0.37 m

Tabla N°24. Perfil longitudinal de la cuenca Tataque

PERFIL LONGITUDINAL DE LA CUENCA					
COTA MAS	COTA MAS	DIFERENCIA	LONGITUD	DISTANCIA	DISTANCIA
BAJA (1)	ALTA (2)	DE ELEV. (3)	DEL TRAMO	ACUMULADA	ACUMULADA
(en msnm)	(en msnm)	(en m.)	(4) (en m.)	(5) (en m.)	(6) (en Km.)
0	450	450	0.00	0.00	0.00
450	626	176	1656.69	1656.69	1.66
626	821	195	1843.64	3500.32	3.50
821	993	172	1619.41	5119.73	5.12
993	1153	161	1516.82	6636.55	6.64
1153	1317	164	1548.74	8185.30	8.19
1317	1490	172	1625.28	9810.58	9.81
1490	1686	196	1853.10	11663.68	11.66
1686	1885	199	1876.62	13540.30	13.54
1885	2031	147	1382.90	14923.20	14.92
2031	2139	108	1014.76	15937.97	15.94
2139	2250	111	1045.54	16983.51	16.98
2250	2431	182	1713.02	18696.53	18.70

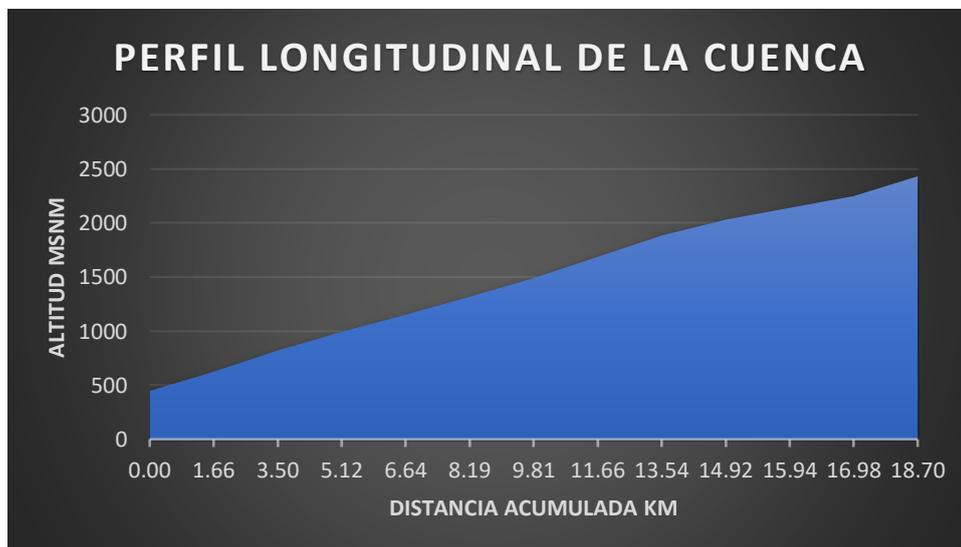


Figura N°12. Gráfica del perfil longitudinal de la cuenca Tataque

La Figura 11 presenta el Perfil Longitudinal de la cuenca de la quebrada Tataque, donde se observa la inclinación del curso de agua, la cual está vinculada con las propiedades hidráulicas del flujo.

4.1.4 PARÁMETROS RELATIVOS.

Los parámetros relativos que describen la red hidrográfica, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°25. *Pendiente del cauce principal*

COTAS	TRAMOS	LONGITUD Li	DESNIVEL(H)	S(m/m)	Li/RAIZ(S)
450	0	0	0	0	0
626	1.66	1656.69	176	0.106	5089.24
821	3.50	1843.64	195	0.106	5663.53
993	5.12	1619.41	172	0.106	4974.72
1153	6.64	1516.82	161	0.106	4659.57
1317	8.19	1548.74	164	0.106	4757.64
1490	9.81	1625.28	172	0.106	4992.76
1686	11.66	1853.10	196	0.106	5692.61
1885	13.54	1876.62	199	0.106	5764.84
2031	14.92	1382.90	147	0.106	4248.19
2139	15.94	1014.76	108	0.106	3117.29
2250	16.98	1045.54	111	0.106	3211.83
2431	18.70	1713.02	182	0.106	5262.29
TOTAL		18696.53		TOTAL	57434.51

Dd= 0.17 Km

N de orden 3

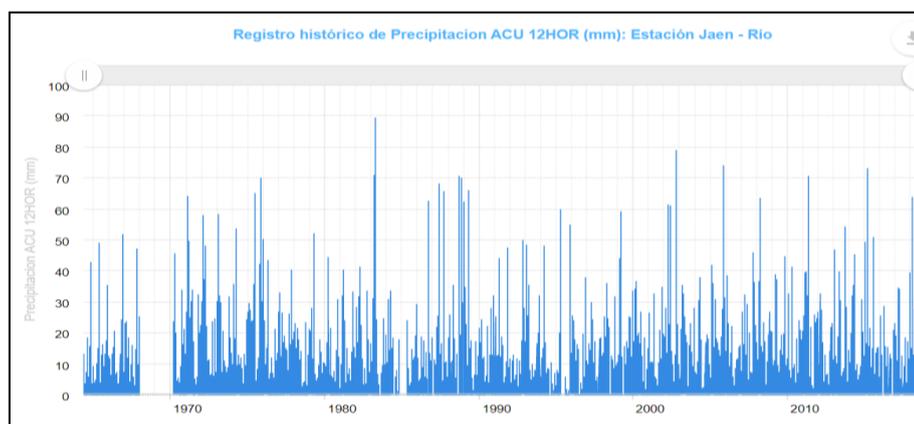
S= 10.60 %

Tabla N°26. *Parámetros relativos de la cuenca Tataque*

Densidad de drenaje	0.17/km
Pendiente del cauce	10.60%
Numero de orden	3

4.2 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.

Los datos meteorológicos e hidrológicos empleados para analizar la evaluación del riesgo de inundación causado por la quebrada Tataque en Damiana Baja son los siguientes:



Los datos incluyen información recopilada durante un período histórico de 30 años, desde 1989 hasta 2018. Esta información sobre las máximas precipitaciones en un lapso de 24 horas fue obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi).

Tabla N°27. Precipitaciones máximas en 24 horas

ESTACION JAEN - Pp máxima 24 h													
AÑO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax
1989	62.50	37.00	22.80	18.50	66.00	6.70	17.50	1.50	7.40	17.20	6.50	12.60	66.00
1990	21.70	18.20	24.30	12.50	17.60	6.20	27.70	7.20	13.10	28.00	25.00	32.00	32.00
1991	25.30	10.00	12.90	44.90	20.90	18.90	22.70	4.10	6.00	14.00	47.50	11.80	47.50
1992	4.70	9.30	12.00	19.10	4.90	11.80	3.70	11.00	6.70	17.60	57.40	29.40	57.40
1993	4.90	48.50	35.50	8.00	8.20	10.30	6.50	12.00	16.80	12.00	20.00	32.00	48.50
1994	5.50	12.00	48.20	23.30	7.20	12.40	8.20	5.97	12.20	9.92	2.00	9.00	48.20
1995	8.00	12.00	20.00	70.00	13.18	15.15	15.12	6.00	2.00	1.50	55.00	48.00	70.00
1996	7.90	25.70	18.00	11.20	16.50	14.70	0.50	6.70	13.70	19.80	18.40	38.00	38.00
1997	11.00	16.70	14.40	30.00	24.40	16.90	17.40	6.00	3.50	16.00	18.60	6.60	30.00
1998	14.40	25.40	18.80	36.00	24.80	22.00	12.60	4.50	12.40	31.70	11.20	2.60	36.00
1999	13.00	44.20	59.20	12.20	27.54	15.80	17.40	5.60	25.40	25.00	12.20	33.60	59.20
2000	17.20	34.40	36.60	19.00	20.00	16.60	27.00	9.00	18.60	9.60	8.40	30.20	36.60
2001	26.6	10.4	10.8	10.40	39.10	5.80	5.40	4.80	21.00	11.80	35.00	27.80	39.10
2002	18.9	28	13.5	61.50	61.20	4.00	14.30	1.50	13.00	88.00	31.00	15.10	88.00
2003	7.8	35.6	13.7	32.80	25.20	23.00	8.00	16.20	16.00	23.20	10.60	29.10	35.60
2004	7.5	6.8	19.7	30.60	38.10	18.00	2.40	7.20	17.00	19.40	18.20	12.00	38.10
2005	6.5	42	36.2	31.00	10.20	18.30	1.90	14.50	18.70	27.90	78.50	31.50	78.50
2006	18.5	38.7	23	9.40	13.50	26.50	1.30	8.50	5.60	11.70	15.50	16.00	38.70
2007	7.6	27	32.5	29.00	29.30	13.00	27.20	7.50	7.20	45.90	38.90	22.60	45.90
2008	17	37.2	63.7	10.20	15.80	26.90	17.40	3.40	18.40	26.70	20.60	20.60	63.70
2009	20.5	11.5	38.8	37.60	10.30	7.50	14.60	19.50	13.00	44.60	13.80	21.20	44.60
2010	16.6	35.8	5.5	41.50	12.50	10.00	4.00	18.30	9.60	24.00	21.50	20.60	41.50
2011	25.9	39.5	34.7	39.80	13.31	13.55	12.11	9.04	28.79	14.17	38.03	24.77	39.80
2012	23.80	32.60	22.50	27.50	6.00	13.00	6.40	6.80	5.20	22.00	23.20	11.50	32.60
2013	5.80	47.00	10.30	18.80	39.90	30.70	6.20	7.40	8.50	54.40	0.70	14.40	54.40
2014	11.80	20.00	32.00	35.60	45.30	8.00	10.00	6.50	6.50	9.40	30.80	20.50	45.30
2015	49.50	16.60	73.00	15.60	21.60	4.00	51.00	7.00	6.00	13.60	15.00	15.40	73.00

2016	25.60	14.50	2.20	28.60	12.50	9.20	15.40	13.20	11.60	21.30	14.20	23.00	28.60
2017	19.20	11.20	34.60	26.80	1.50	12.80	9.40	18.50	2.00	17.40	15.00	39.60	39.60
2018	15.20	63.80	5.50	27.80	16.00	6.80	16.30	9.40	21.50	12.80	6.40	15.70	63.80

Fuente: Senamhi

Ajuste a una distribución de probabilidad teórica.

Para determinar la distribución más apropiada para los datos disponibles de precipitaciones máximas anuales de cada año histórico, se utilizó el software Hidroesta para organizar los registros. Los valores originales de los datos fueron ajustados multiplicándolos por un factor de 1.13 y luego se ingresaron de nuevo en Hidroesta con el fin de encontrar la distribución teórica que mejor se ajuste a estos nuevos datos de precipitaciones máximas.

Tabla N°28. *Datos de precipitaciones máximas de 24 horas de cada año histórico*

AÑO	Pmax(mm/h)
1989	66.00
1990	32.00
1991	47.50
1992	57.40
1993	48.50
1994	48.20
1995	70.00
1996	38.00
1997	30.00
1998	36.00
1999	59.20
2000	36.60
2001	39.10
2002	88.00
2003	35.60
2004	38.10
2005	78.50
2006	38.70
2007	45.90
2008	63.70
2009	44.60
2010	41.50
2011	39.80
2012	32.60

2013	54.40
2014	45.30
2015	73.00
2016	28.60
2017	39.60
2018	63.80

Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO), se sugiere amplificar los valores de precipitación máxima en 24 horas proporcionados oficialmente por el Senamhi multiplicándolos por un factor de 1.13, basándose en el registro histórico disponible. Por lo tanto, se multiplican los datos por este factor para obtener los valores amplificados correspondientes.

Tabla N°29. *Datos de precipitaciones máximas de 24 horas amplificadas de cada año histórico*

AÑO	Pmax Amp (mm/h)
1989	74.58
1990	36.16
1991	53.68
1992	64.86
1993	54.81
1994	54.47
1995	79.10
1996	42.94
1997	33.90
1998	40.68
1999	66.90
2000	41.36
2001	44.18
2002	99.44
2003	40.23
2004	43.05
2005	88.71
2006	43.73
2007	51.87
2008	71.98
2009	50.40
2010	46.90
2011	44.97

2012	36.84
2013	61.47
2014	51.19
2015	82.49
2016	32.32
2017	44.75
2018	72.09

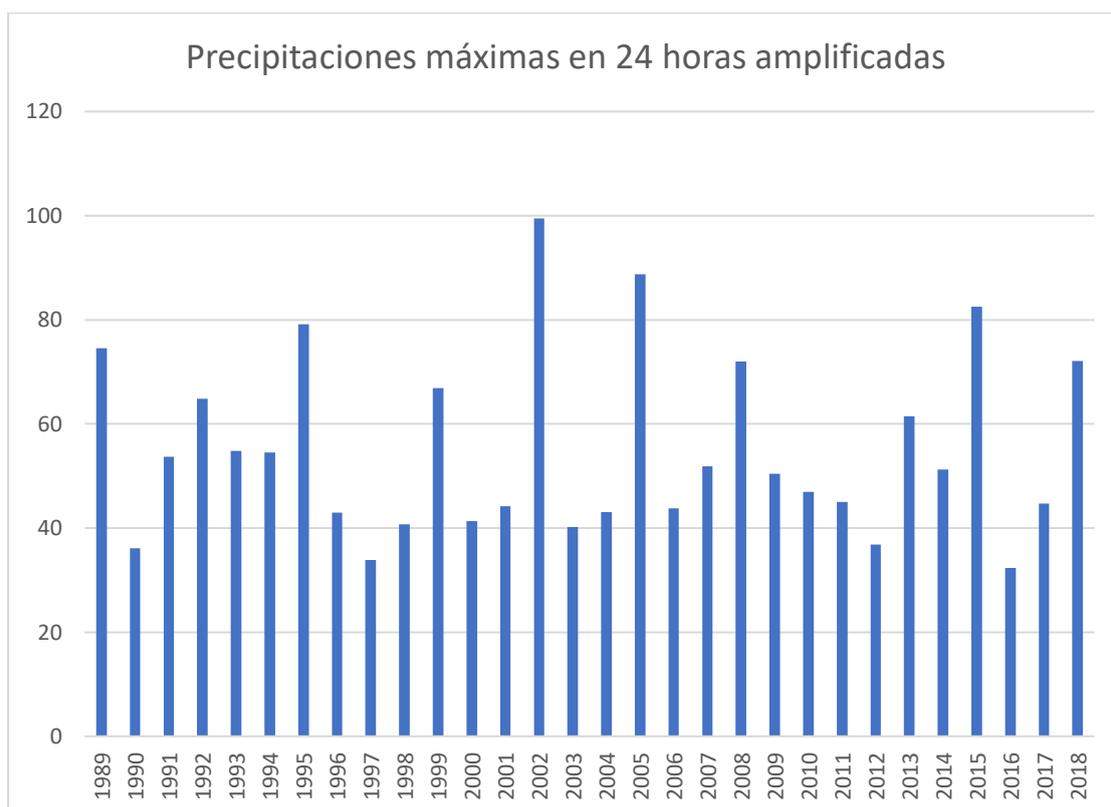


Figura N°13. *Grafica de los datos de precipitaciones máximas amplificadas de la estación Jaén.*

4.2.1 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS.

Al ingresar la información sobre las lluvias en el Hidroesta, se calcularon los valores delta teóricos correspondientes para cada distribución.

Tabla N°30. *Valores Delta teórico*

Orden (M)	Pp(Máx 24hr (x))	Normal	Log N 2 parámetros	Log N 3 parámetros	Gamma 2 parámetros	Gamma 3 parámetros	Log Pearson tipo III	Gumbel	Log Gumbel
1	32.32	0.0642	0.0198	0.0076	0.0294	0.0278	0.0047	0.0184	0.0213
2	33.90	0.0483	0.0068	0.0202	0.0156	0.0174	0.0074	0.0057	0.0393
3	36.16	0.0429	0.0088	0.0127	0.0150	0.0225	0.0016	0.0088	0.0355
4	36.84	0.0195	0.0127	0.0305	0.0065	0.0029	0.0203	0.0112	0.0531

5	40.23	0.0369	0.9813	0.0229	0.0231	0.0410	0.0264	0.0277	0.0093
6	40.68	0.0119	0.0021	0.0032	0.0000	0.0189	0.0058	0.0060	0.0083
7	41.36	0.0991	0.0145	0.0095	0.0181	0.0023	0.0084	0.0100	0.0179
8	42.94	0.0138	0.0088	0.0048	0.0158	0.0076	0.0028	0.0026	0.0044
9	43.05	0.0440	0.0384	0.0241	0.0456	0.0220	0.0264	0.0321	0.0240
10	43.73	0.0638	0.0536	0.0360	0.0623	0.0377	0.0395	0.0467	0.0324
11	44.18	0.0876	0.0745	0.0546	0.0841	0.0589	0.0590	0.0671	0.0488
12	44.75	0.1090	0.0922	0.0697	0.1029	0.0770	0.0750	0.0842	0.0611
13	44.97	0.1370	0.1188	0.0953	0.1299	0.1038	0.1010	0.1106	0.0857
14	46.90	0.1307	0.1005	0.0698	0.1151	0.0877	0.0780	0.0909	0.0519
15	50.40	0.0881	0.0404	0.0021	0.0592	0.0325	0.0130	0.0291	0.0259
16	51.19	0.1027	0.0521	0.0131	0.0714	0.0454	0.0242	0.0406	0.0163
17	51.87	0.1197	0.0668	0.0274	0.0865	0.0612	0.0388	0.0553	0.0028
18	53.68	0.1109	0.0534	0.0143	0.0735	0.0506	0.0256	0.0421	0.0172
19	54.47	0.1251	0.0534	0.0277	0.0863	0.0646	0.0390	0.0552	0.0039
20	54.81	0.1496	0.0903	0.0521	0.1103	0.0891	0.0632	0.0793	0.0204
21	61.47	0.0326	0.0213	0.0474	0.0068	0.0148	0.0391	0.0282	0.0724
22	64.86	0.0046	0.0483	0.0664	0.0384	0.0397	0.0600	0.0524	0.0858
23	66.90	0.0108	0.0472	0.0605	0.0401	0.0379	0.0552	0.0496	0.0765
24	71.98	0.0610	0.0784	0.0816	0.0778	0.0688	0.0785	0.0773	0.0895
25	72.09	0.0303	0.0473	0.0503	0.0468	0.0377	0.0473	0.0461	0.0581
26	74.58	0.0308	0.0395	0.0386	0.0415	0.0303	0.0365	0.0369	0.0430
26	79.10	0.0458	0.0425	0.0364	0.0479	0.0346	0.0355	0.0382	0.0358
28	82.49	0.0395	0.0303	0.0216	0.0372	0.0236	0.0214	0.0253	0.0183
29	88.71	0.0380	0.0240	0.0132	0.0372	0.0195	0.0136	0.0187	0.0064
30	99.44	0.0269	0.0155	0.0054	0.0217	0.0137	0.0061	0.0112	0.0038

La tabla que sigue resume los resultados de los test de Kolmogorov, indicando que cuanto menor sea el valor delta teórico obtenido, más uniforme es la distribución. Estos cálculos se realizaron utilizando el software Hidroesta..

Tabla N°31. Resumen de los test de Kolmogorov

Delta	Distribución de probabilidad.							
	Normal	Log Normal 2P	Log Normal 3P	Gamma 2P	Gamma 3P	Log Pearson 3P	Gumbel	Log Gumbel
Δ teórico	0.1496	0.1188	0.0953	0.1299	0.1038	0.1010	0.1106	0.0895
Δ tabular	0.2483	0.2483	0.2483	0.2483	0.2483	0.2483	0.2483	0.2483
Decisión	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta

Muestras estadísticas.

La siguiente figura muestra los parámetros estadísticos de los datos de precipitación máxima, obtenidos con el software Hidroesta.

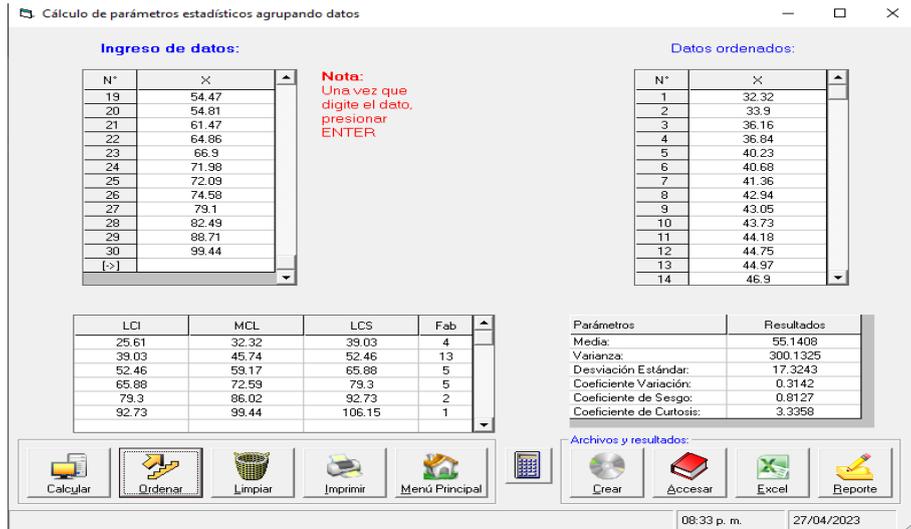


Figura N°14. Datos de parámetros estadísticos de los datos de precipitación máxima en el software Hidroesta.

Figura N°15.

Tabla N°32. Datos de parámetros estadísticos de los datos de precipitación máxima

N	35
Pp min.	32.32
Pp máx.	99.44
Pp promedio	55.14
Desviación Estándar.	17.32
Coficiente Variación.	0.31
Coficiente de Sesgo.	0.81
Coficiente Curtosis.	3.34

Se selecciona una distribución de la tabla N° 32 basándose en el menor valor de delta calculado o teórico. En este ejemplo, la distribución elegida es la Log Gumbel, la cual tiene un delta teórico de 0.0895.

Hallamos las precipitaciones máximas para los tiempos de retorno: 2, 10, 15,25,50,100 y 200 años.

4.2.2 CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS.

Tabla N°33. Cálculo de intensidades máximas para diversos periodos de retorno

Estación	Altitud	Distribución	Periodo tiempo de retorno						
			2	10	15	25	50	100	200
Jaén	710 m.s.n.m	Log Gumbel	50.07	77.74	85.82	97.01	114.33	134.58	158.33

A continuación se presentan las cantidades de lluvia máximas esperadas para diferentes intervalos de tiempo, utilizando la fórmula del método de Dick y Peschke.

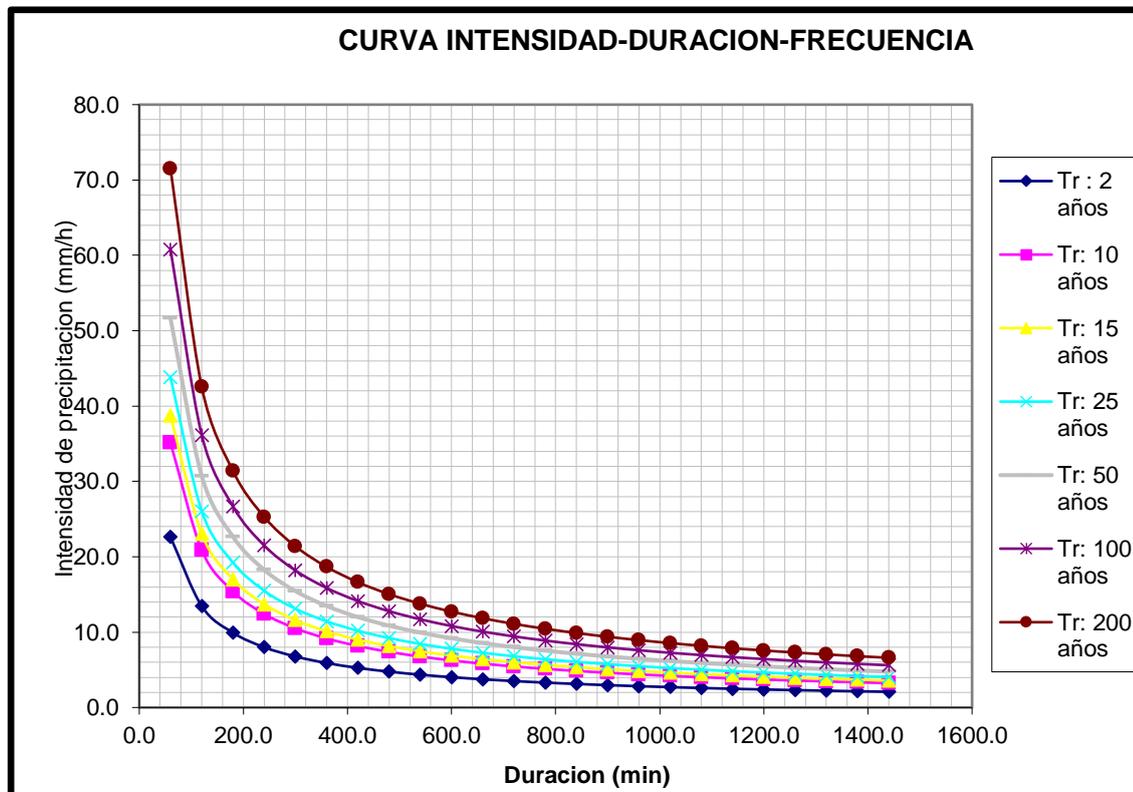
Duración (Min)	Precipitación en 24 horas (mm)						
	50.07	77.74	85.82	97.01	114.33	134.58	158.33
	Periodo de Retorno (Años)						
	2	10	15	25	50	100	200
	Precipitación (mm)						
5	12.15	18.87	20.83	23.55	27.75	32.67	38.43
10	14.45	22.44	24.77	28.00	33.00	38.85	45.71
15	16.00	24.84	27.42	30.99	36.53	42.99	50.58
20	17.19	26.69	29.46	33.30	39.25	46.20	54.35
25	18.17	28.22	31.15	35.21	41.50	48.85	57.47
30	19.02	29.53	32.60	36.86	43.44	51.13	60.15
35	19.77	30.70	33.89	38.30	45.14	53.14	62.52
40	20.44	31.74	35.04	39.60	46.68	54.94	64.64
45	21.05	32.69	36.08	40.79	48.07	56.58	66.57
50	21.61	33.56	37.05	41.88	49.35	58.09	68.35
55	22.13	34.37	37.94	42.89	50.54	59.50	69.99
60	22.62	35.12	38.77	43.83	51.65	60.80	71.53
120	26.90	41.77	46.11	52.12	61.43	72.31	85.07
180	29.77	46.22	51.03	57.68	67.98	80.02	94.14
240	31.99	49.67	54.83	61.98	73.05	85.99	101.16
300	33.83	52.52	57.98	65.54	77.24	90.92	106.97
360	35.40	54.97	60.68	68.60	80.84	95.16	111.96
420	36.80	57.13	63.07	71.29	84.02	98.90	116.35
480	38.04	59.07	65.21	73.71	86.87	102.26	120.30
540	39.18	60.83	67.16	75.91	89.47	105.31	123.90
600	40.23	62.46	68.95	77.94	91.86	108.13	127.21
660	41.20	63.96	70.61	79.82	94.07	110.73	130.27
720	42.10	65.37	72.17	81.58	96.14	113.17	133.14
780	42.95	66.69	73.62	83.22	98.08	115.46	135.83
840	43.76	67.94	75.00	84.78	99.92	117.61	138.37
900	44.52	69.12	76.31	86.26	101.66	119.66	140.78
960	45.24	70.25	77.55	87.66	103.31	121.61	143.07
1020	45.93	71.32	78.73	89.00	104.89	123.46	145.25
1080	46.60	72.35	79.86	90.28	106.40	125.24	147.34
1140	47.23	73.33	80.95	91.51	107.84	126.95	149.35
1200	47.84	74.28	82.00	92.69	109.24	128.58	151.28
1260	48.43	75.19	83.00	93.82	110.58	130.16	153.13
1320	48.99	76.07	83.97	94.92	111.87	131.68	154.92
1380	49.54	76.92	84.91	95.98	113.12	133.16	156.65
1440	50.07	77.74	85.82	97.01	114.33	134.58	158.33

Se empleó la misma ecuación matemática para calcular las máximas intensidades según diferentes duraciones y periodos de retorno..

Tabla N°34. *Intensidades Máximas (mm/hr)*

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)						
		2.00	10.00	15.00	25.00	50.00	100.00	200.00
		Intensidad (mm/hr)						
0.08	5	145.85	226.45	249.99	282.59	333.04	392.02	461.21
0.17	10	86.72	134.65	148.64	168.03	198.03	233.10	274.24
0.25	15	63.98	99.34	109.67	123.97	146.10	171.98	202.33
0.33	20	51.57	80.06	88.38	99.91	117.75	138.60	163.06
0.42	25	43.62	67.73	74.76	84.51	99.60	117.24	137.93
0.50	30	38.04	59.07	65.21	73.71	86.87	102.26	120.30
0.58	35	33.89	52.62	58.09	65.66	77.39	91.09	107.17
0.67	40	30.66	47.61	52.55	59.41	70.01	82.41	96.96
0.75	45	28.07	43.58	48.11	54.38	64.09	75.45	88.76
0.83	50	25.94	40.27	44.46	50.25	59.22	69.71	82.02
0.92	55	24.15	37.49	41.39	46.78	55.14	64.90	76.36
1.00	60	22.62	35.12	38.77	43.83	51.65	60.80	71.53
2.00	120	13.45	20.88	23.05	26.06	30.71	36.15	42.53
3.00	180	9.92	15.41	17.01	19.23	22.66	26.67	31.38
4.00	240	8.00	12.42	13.71	15.50	18.26	21.50	25.29
5.00	300	6.77	10.50	11.60	13.11	15.45	18.18	21.39
6.00	360	5.90	9.16	10.11	11.43	13.47	15.86	18.66
7.00	420	5.26	8.16	9.01	10.18	12.00	14.13	16.62
8.00	480	4.76	7.38	8.15	9.21	10.86	12.78	15.04
9.00	540	4.35	6.76	7.46	8.43	9.94	11.70	13.77
10.00	600	4.02	6.25	6.90	7.79	9.19	10.81	12.72
11.00	660	3.75	5.81	6.42	7.26	8.55	10.07	11.84
12.00	720	3.51	5.45	6.01	6.80	8.01	9.43	11.09
13.00	780	3.30	5.13	5.66	6.40	7.54	8.88	10.45
14.00	840	3.13	4.85	5.36	6.06	7.14	8.40	9.88
15.00	900	2.97	4.61	5.09	5.75	6.78	7.98	9.39
16.00	960	2.83	4.39	4.85	5.48	6.46	7.60	8.94
17.00	1020	2.70	4.20	4.63	5.24	6.17	7.26	8.54
18.00	1080	2.59	4.02	4.44	5.02	5.91	6.96	8.19
19.00	1140	2.49	3.86	4.26	4.82	5.68	6.68	7.86
20.00	1200	2.39	3.71	4.10	4.63	5.46	6.43	7.56
21.00	1260	2.31	3.58	3.95	4.47	5.27	6.20	7.29
22.00	1320	2.23	3.46	3.82	4.31	5.08	5.99	7.04
23.00	1380	2.15	3.34	3.69	4.17	4.92	5.79	6.81
24.00	1440	2.09	3.24	3.58	4.04	4.76	5.61	6.60

Graficamos las curvas de intensidad duración y período de retorno de las intensidades máximas.



4.2.3 AJUSTE A UN MODELO GENERALIZADO DE CURVA IDF

El modelo IDF de ecuaciones que emplearemos es el basado en regresión potencial múltiple.

$$I_{max} = K * T^a * D^{-b}$$

Donde:

I máx.: Intensidad máxima, en mm/hr

K, a, b : Parámetro característicos de la zona de estudio.

T : Período de retorno, en años

D : Duración de la precipitación, en minutos

Se utilizaron los datos de la tabla 35 para calcular la ecuación de intensidad, utilizando una hoja de cálculo en Excel y el software Hidroesta. Se empleó un modelo de regresión potencial múltiple para ajustar los datos y obtener los coeficientes requeridos para la ecuación.

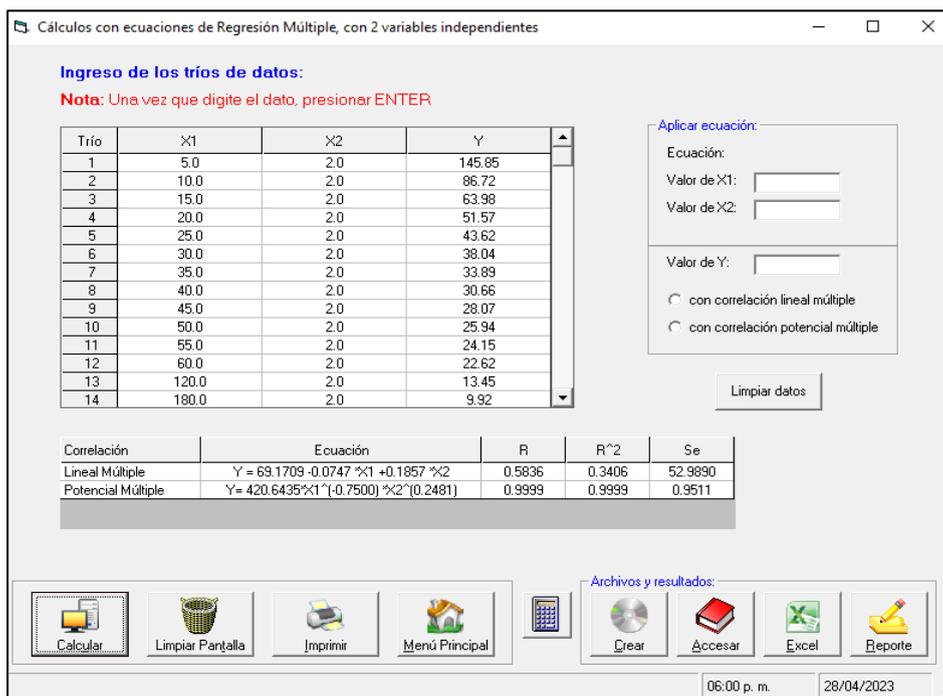


Figura N°16. Cálculos con ecuaciones de regresión potencial múltiple en Hidroesta

Tabla N°35. Resultados de Análisis de regresión potencial múltiple

Constante	2.6239
Coefficiente de correlación múltiple R	0.9999
Coefficiente de correlación múltiple R ²	0.9999
Coefficientes x	0.2481
	-0.7500

Se obtiene la ecuación matemática representativa de la de la intensidad.

$$K = 10^{2.6339} = 430.4274$$

$$I_{max} = K * T^a * D^{-b} = 430.4274 * T^{0.2481} * D^{-0.7500}$$

$$I = \frac{430.4274 * T^{0.2481}}{D^{0.75}}$$

Donde:

$$a = 0.2082$$

$$b = 0.7500$$

$$K = 430.4274$$

T = Años

D = minutos.

4.3 MODELAMIENTO HIDRÁULICO.

El enfoque de este estudio es analizar el riesgo de inundación causado por la quebrada Tataque en Damiana Baja, mediante la aplicación de un modelo hidráulico bidimensional utilizando el software Hec Ras.

a) Cálculo del tiempo de concentración

Empleamos la ecuación de Temez para determinar el tiempo necesario de concentración:

$$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud del cauce (kilómetros)

S = Pendiente Media (m/m)

Tabla N°36. Cálculo del tiempo de concentración

Longitud(km)	5.29km
S(m/m)	0.106
tc	97.8 minutos
tc	1.63 hr

b) Caudal de diseño

Empleamos el método racional modificado para determinar el caudal de diseño.

$$Q = 0.287CIAK$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad máxima para ese tiempo.

A: Área en km²

K: Coeficiente de uniformidad.

Los valores que hemos obtenido se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla N°37. Caudal máximo para diferentes periodos de retorno.

Tr (años)	Área (Km2)	C	I (mm/hr)	K	Q (m3/s)
15	110.69	0.08	31.71	1.12	90.26
25	110.69	0.17	35.86	1.12	216.90
50	110.69	0.28	42.25	1.12	420.91
100	110.69	0.38	44.74	1.12	604.91
200	110.69	0.45	46.07	1.12	737.63

c) Construcción del Hidrograma unitario adimensional de la SCS.

Para desarrollar el hidrograma unitario, empleamos el tiempo de concentración y el caudal de diseño..

$$T_c = 1.63hr.$$

$$\text{Tiempo pico } T_p: \sqrt{t_c} + 0.6t_c = 7.85hr$$

Tabla N°38. Coeficientes para hidrograma unitarios adimensionales de la SCS.

t/tp	q/qu
0.0	0.000
0.1	0.015
0.2	0.075
0.3	0.160
0.4	0.280
0.5	0.430
0.6	0.600
0.8	0.890
1.0	1.000
1.2	0.920
1.4	0.750
1.6	0.560
1.8	0.420
2.0	0.320
2.2	0.240
2.4	0.180
2.6	0.130
2.8	0.098
3.0	0.075
3.5	0.036
4.0	0.018
4.5	0.009
5.0	0.004

Entonces al multiplicar cada coeficiente por el tiempo pico y el caudal pico se obtiene la siguiente tabla.

Tabla N°39. *Valores de hidrograma unitario adimensional de la SCS.*

Tiempo(horas)	Caudal(q)
0	0.00
0	11.06
0	55.32
1	118.02
1	206.54
1	317.18
1	442.58
2	656.49
2	737.63
3	678.62
3	553.22
4	413.07
4	309.80
5	236.04
5	177.03
5	132.77
6	95.89
6	72.29
7	55.32
8	26.55
9	13.28
10	6.64
11	2.95

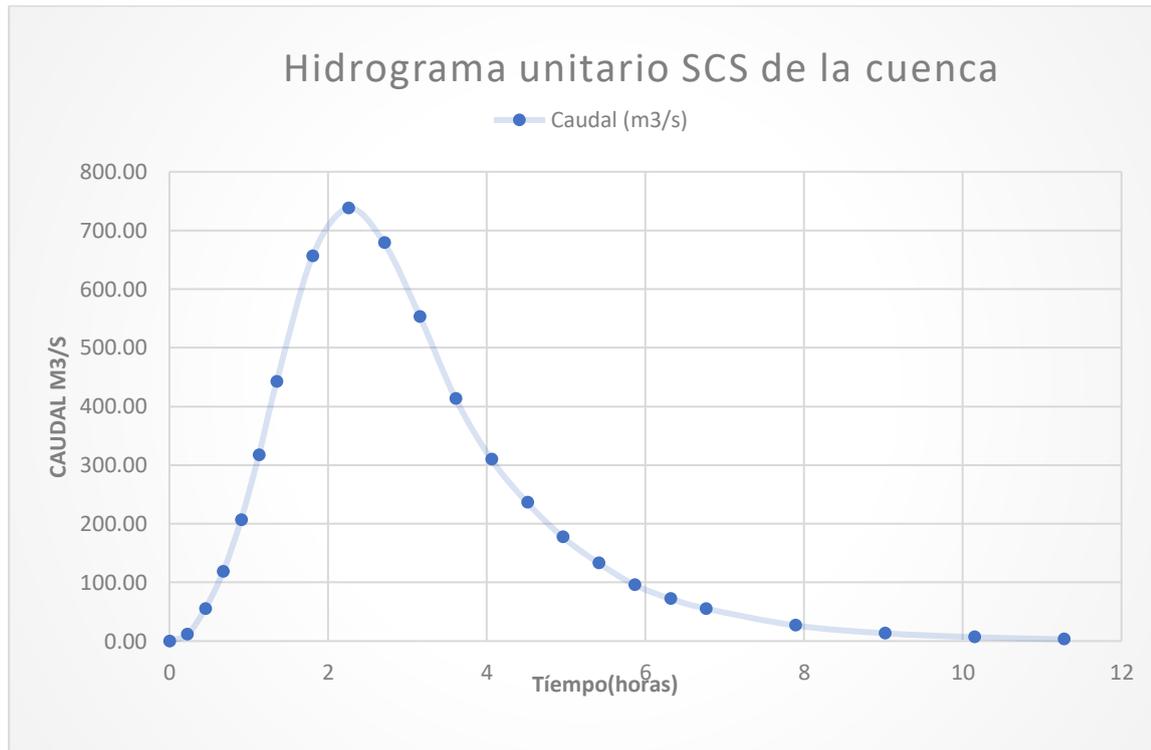


Figura N°17. Gráfica de hidrograma unitario adimensional de la SCS

Ahora vamos a introducir esta información de los hidrogramas en el programa HEC-RAS, junto con los detalles topográficos, coeficientes de rugosidad y elevaciones, para realizar el modelado hidráulico correspondiente.

4.3.1 PROCEDIMIENTO DEL MODELO HIDRÁULICO

En el proceso de modelado actual, utilizamos los siguientes elementos clave:

- Un modelo digital del terreno (MDT) generado a partir de curvas de nivel obtenidas durante el levantamiento topográfico.
- Un hidrograma diseñado específicamente para este estudio hidrológico.
- Un archivo SHAPEFILE creado en ARC-GIS, que incluye capas definidas para el uso del suelo junto con sus correspondientes coeficientes de Manning.

a) Data Topográfica

Empezamos utilizando el modelo digital del terreno (MDT), el cual nos ofrece una representación gráfica y numérica de las altitudes con respecto al nivel del mar. Esto nos facilitará el análisis del relieve de la región en estudio, específicamente de Damiana Baja.

A continuación, abrimos el programa HEC-RAS 6.3.1 y guardamos la modelación en la carpeta seleccionada.

Después, modificamos las unidades en **Options > Unit System (US Customary / SI) > System Internacional (Metric System)**.

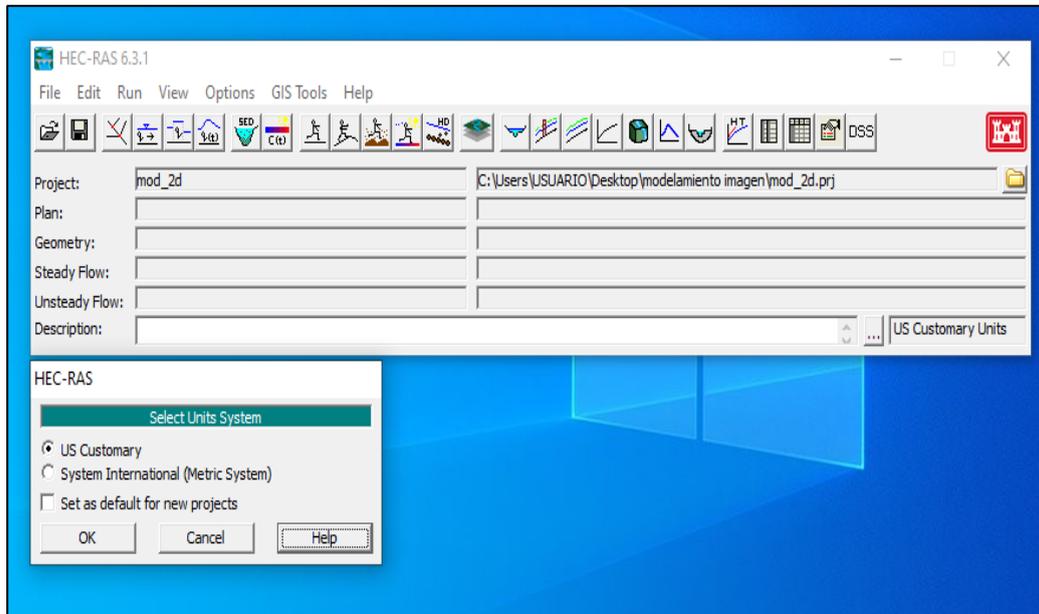
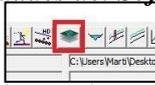


Figura N°18. Configuración de unidades del Software HEC-RAS 6.3.1.

LA continuación, hacemos clic en el ícono  para abrir la herramienta **RAS MAPPER**. Seleccionamos la casilla de **Terrain**, luego hacemos clic derecho en **Terrain** y elegimos la opción **Create a New Terrain**, y finalmente hacemos clic en **No**.

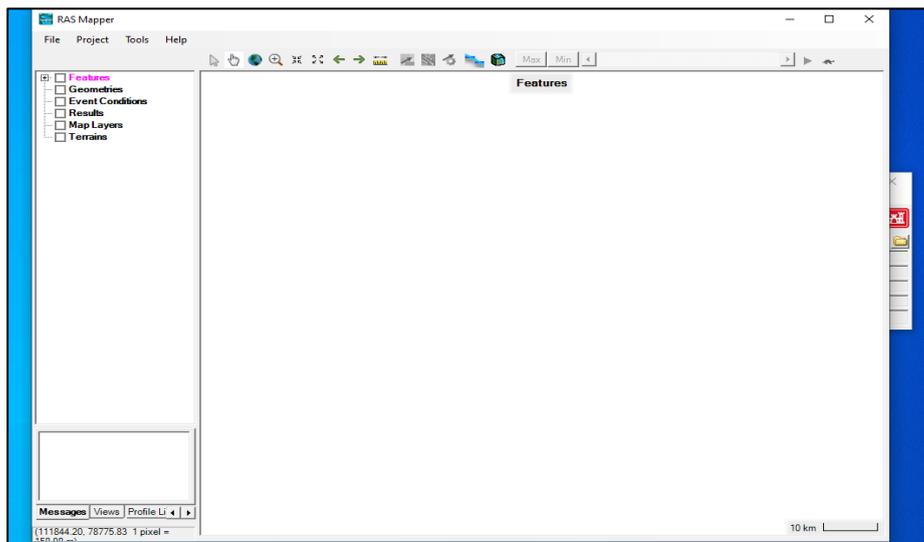


Figura N°19. Ingreso del terreno en RASS MAPPER.

Definimos la proyección de las coordenadas a trabajar a través de la pestaña **PROJECT** > **NEW PROJECT**. Que se encuentra en la parte superior derecha de la ventana.

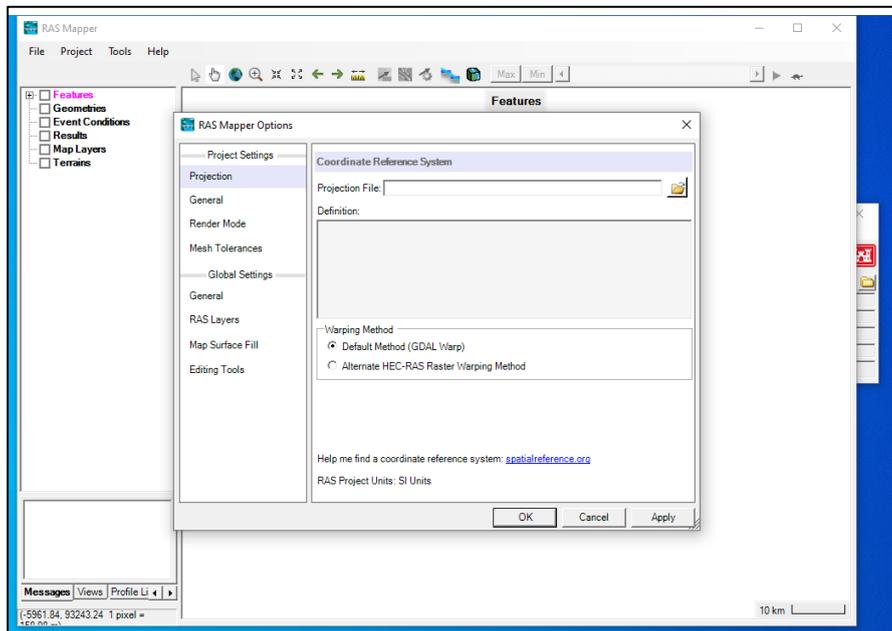


Figura N°20. Definición de la proyección y coordenadas

Ingresamos la proyección ya definida en ARC-GIS mediante un archivo Shapefile.

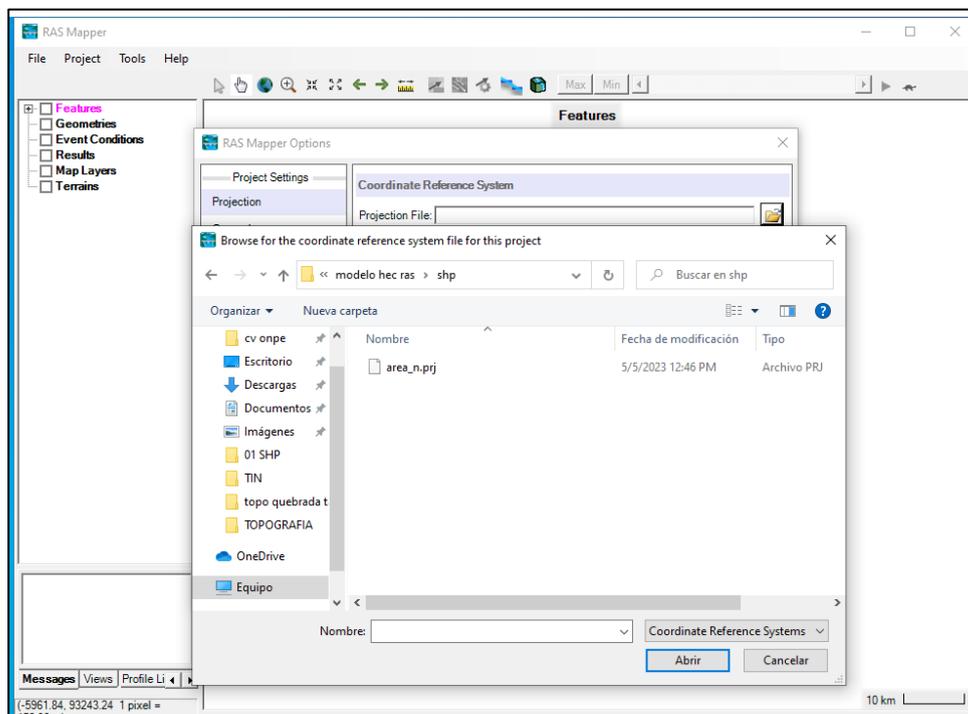


Figura N°21. Ingreso del sistema de proyección

Al darle click en abrir, se visualiza el sistema de proyección.

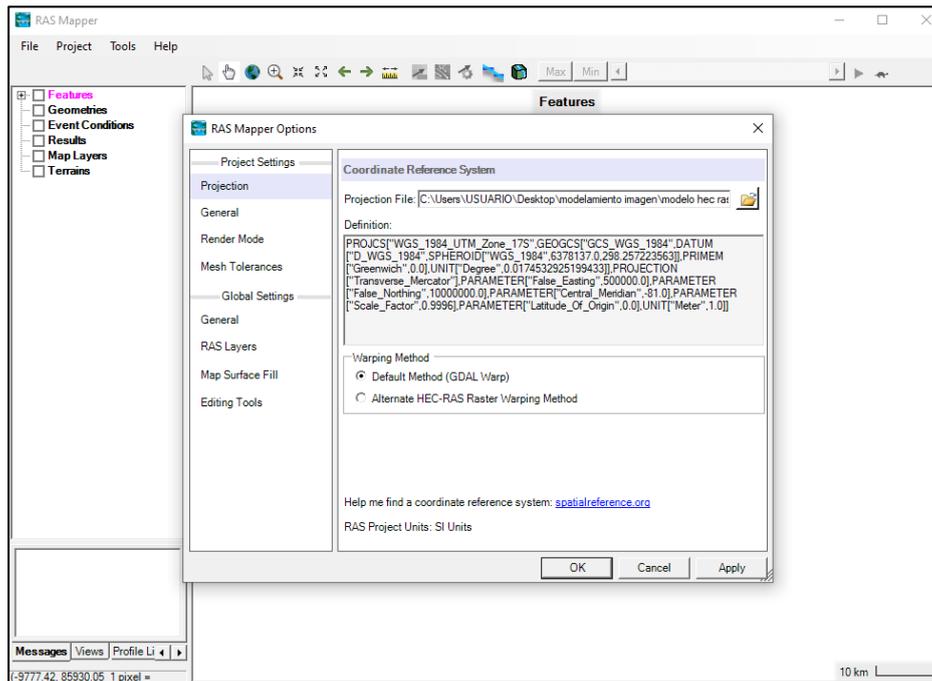


Figura N°22. Visualización del sistema de proyección.

Seleccionamos la opción de **Terrain**, hacemos clic derecho sobre **Terrain** y elegimos la opción de **create a new terrain**. Después, hacemos clic en No. Luego, cargamos nuestro modelo digital de elevación (**Raster**)

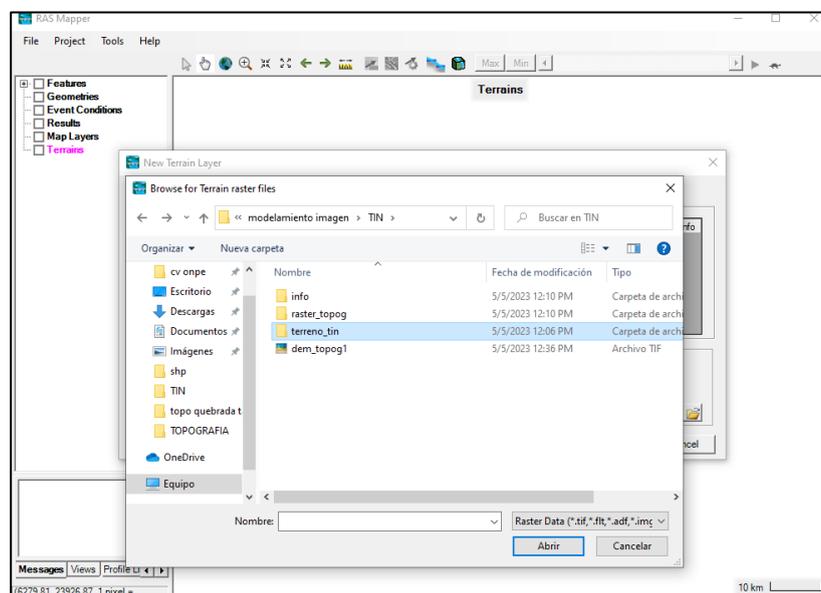


Figura N°23. Selección del archivo TIFF para ingresar terreno.

Hacemos click en  para poder ver el Raster exportado.

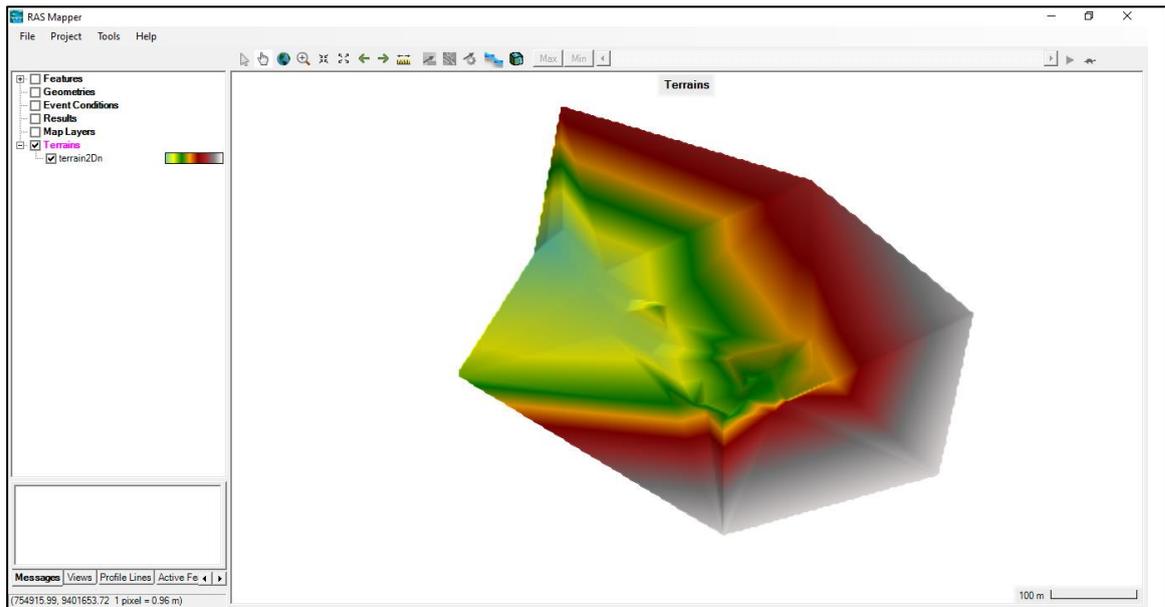


Figura N°24. Modelo digital de elevaciones ingresado en RAS MAPPER.

A través de **MAP LAYER**, Añadimos el Archivo en formato **SHAPEFILE** creado en **ARC-GIS**, con las capas definidas del uso del terreno y su respectivo coeficiente de Manning

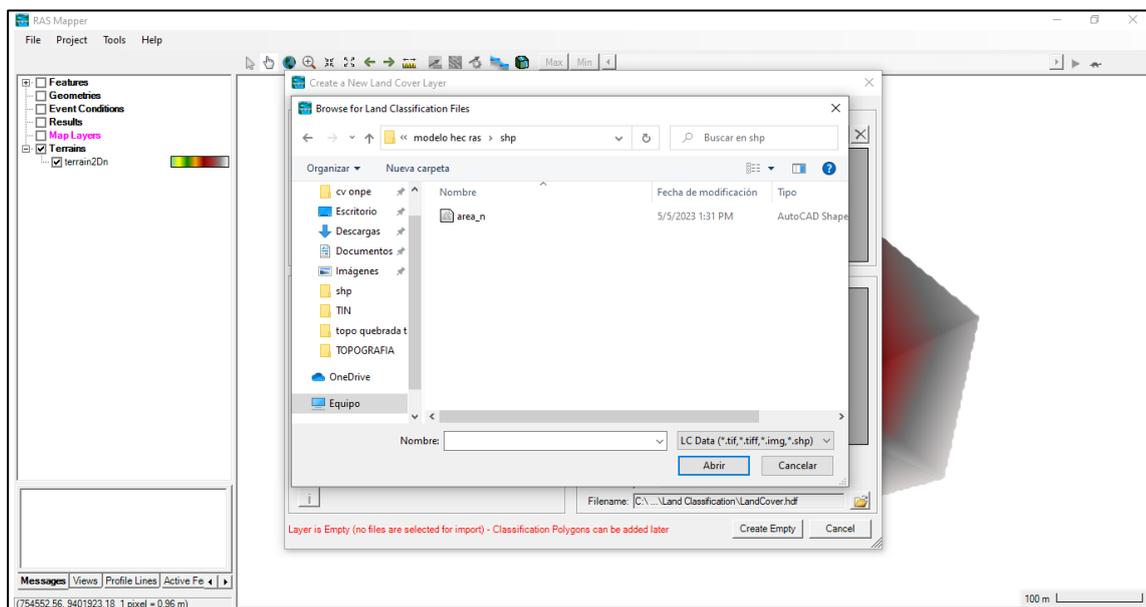


Figura N°25. Ingreso del archivo SHAPEFILE.

En **MAP LAYER > LAND COVER LAYER**, ingresamos los coeficientes de Rugosidad (Manning).

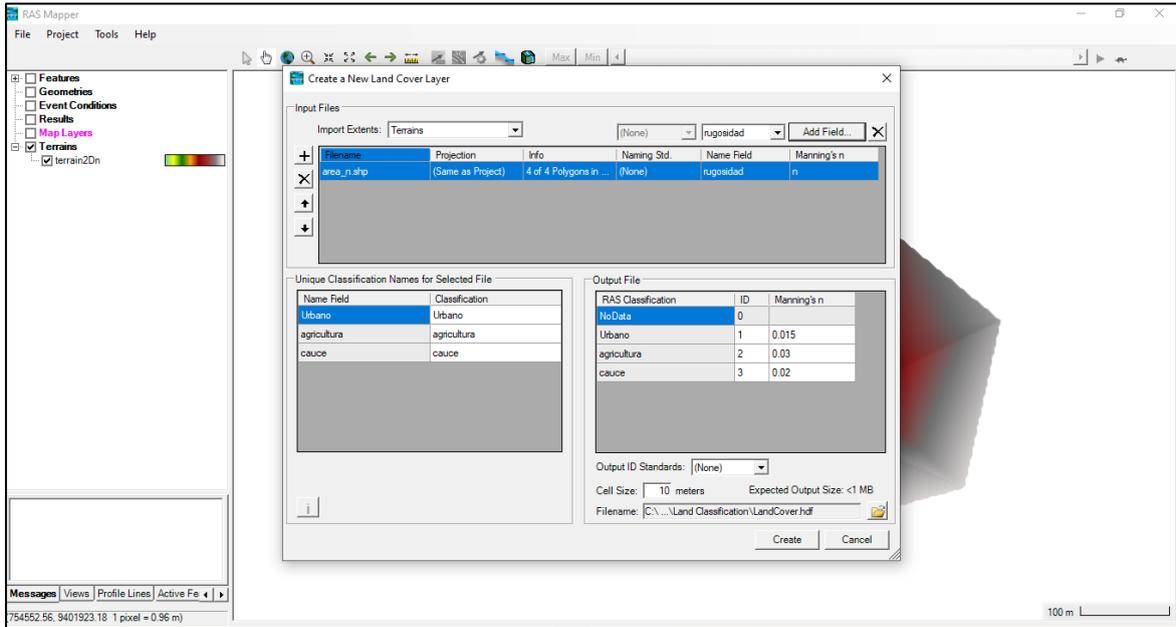


Figura N°26. Definición de los coeficientes de rugosidad

Ahora, pasando el cursor por la superficie creada, se puede apreciar los coeficientes de rugosidad.

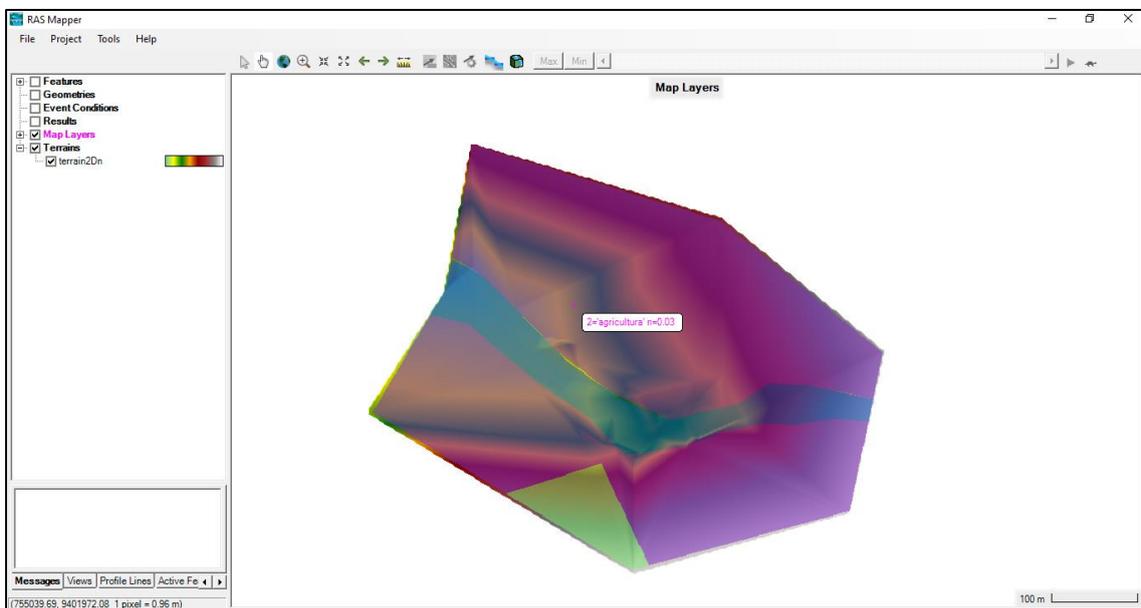


Figura N°27. Visualización de los coeficientes de rugosidad en la superficie creada.

Con las versiones más recientes del software, podemos trabajar desde el módulo RAS MAPPER. Esto nos permite establecer el mallado y las condiciones de borde para entrada y salida, donde luego se puede introducir nuestra información hidrológica.

A través de la pestaña **GEOMETRIES**, creamos la geometría para generar el mallado.

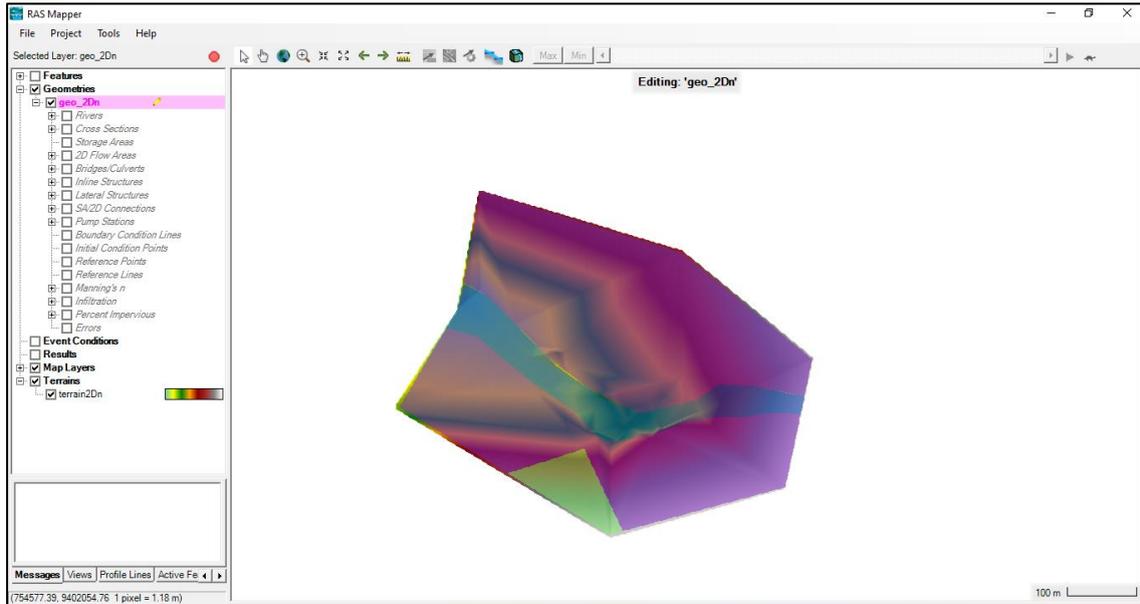


Figura N°28. Creación de la geometría de la superficie

Se configura del mallado 2d en terreno generado.

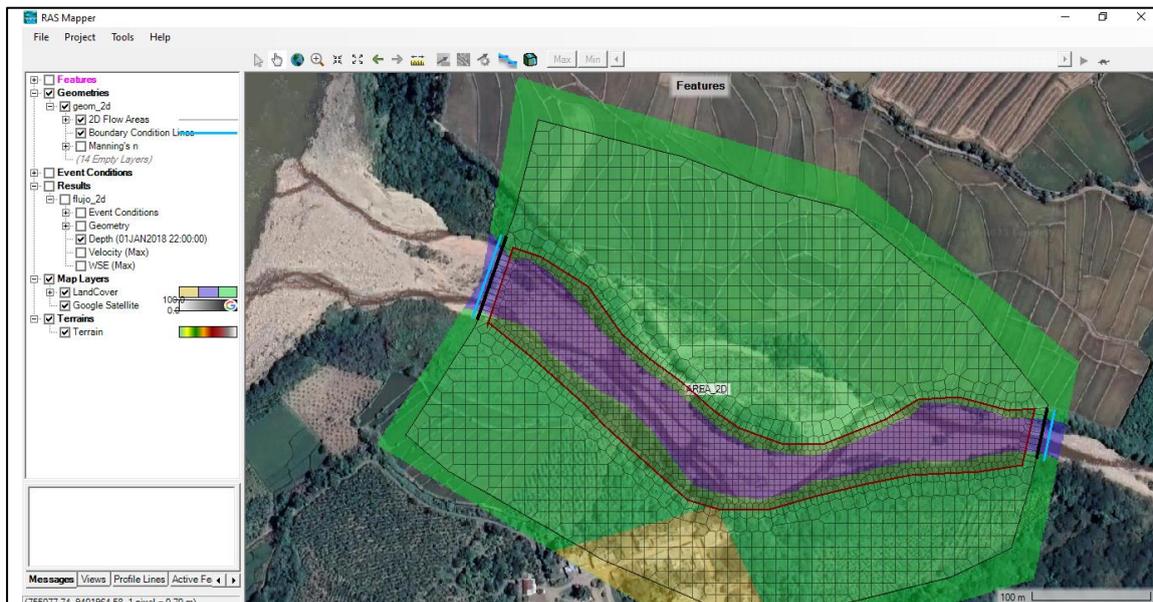


Figura N°29. Visualización del mallado generado

Se designó un tamaño de malla más pequeño para las vías de tránsito urbanas (2 m) y un tamaño más grande dentro de las manzanas (10 m), con un valor de Manning de 0.018 correspondiente al concreto en esas áreas. A continuación, se muestra un cuadro con estos valores:

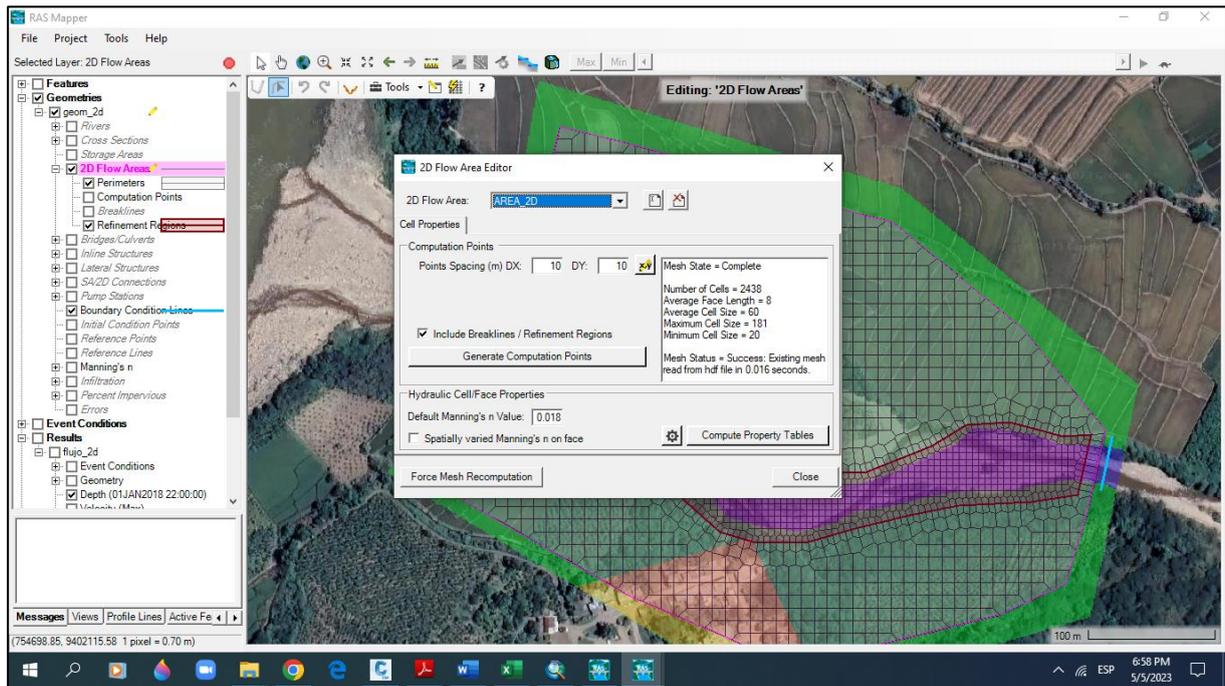


Figura N°30. Detalle de la configuración del área de mado.

En la pestaña **BC LINES**, configuramos los bordes de salida (aguas arriba y aguas abajo) de la superficie.

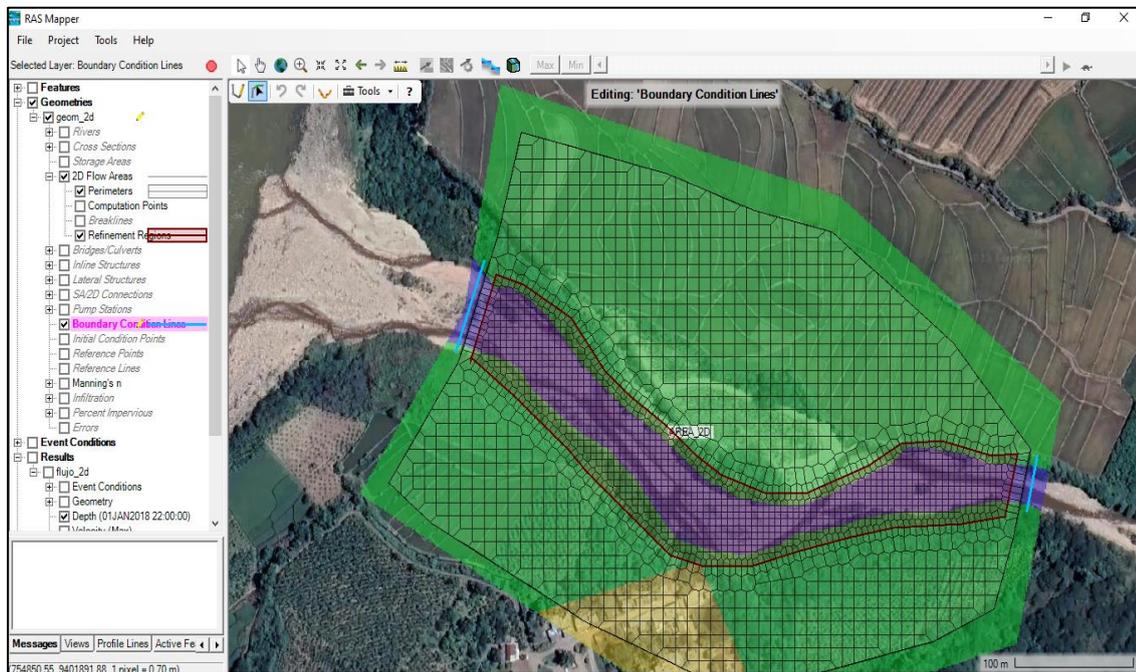


Figura N°31. Asignación de los bordes de salida en la geometría generada.

Cerramos la ventana **RAS MAPPER**, guardando los cambios y abrimos la ventana **GEOMETRIC DATA**, para poder verificar los detalles de la geometría

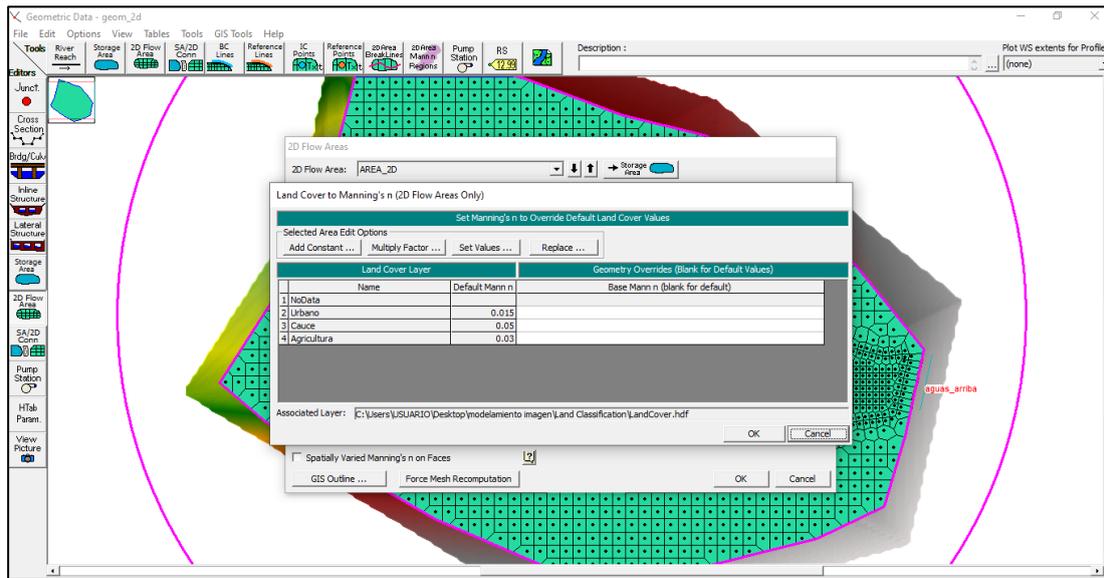


Figura N°32. Detalle de la geometría de la superficie en GEOMETRIC DATA

b) Data Hidrológica

La información disponible para este estudio proviene de un análisis hidrológico realizado, en el que se ha determinado un periodo de retorno (TR) de 200 años. Los datos del hidrograma se presentan en la tabla 38.

Accedemos a la pestaña **Edit/Unsteady Flow data**, donde introducimos nuestra información hidrológica, así como los datos de las condiciones de borde de salida. Posteriormente, guardamos los datos del hidrograma.

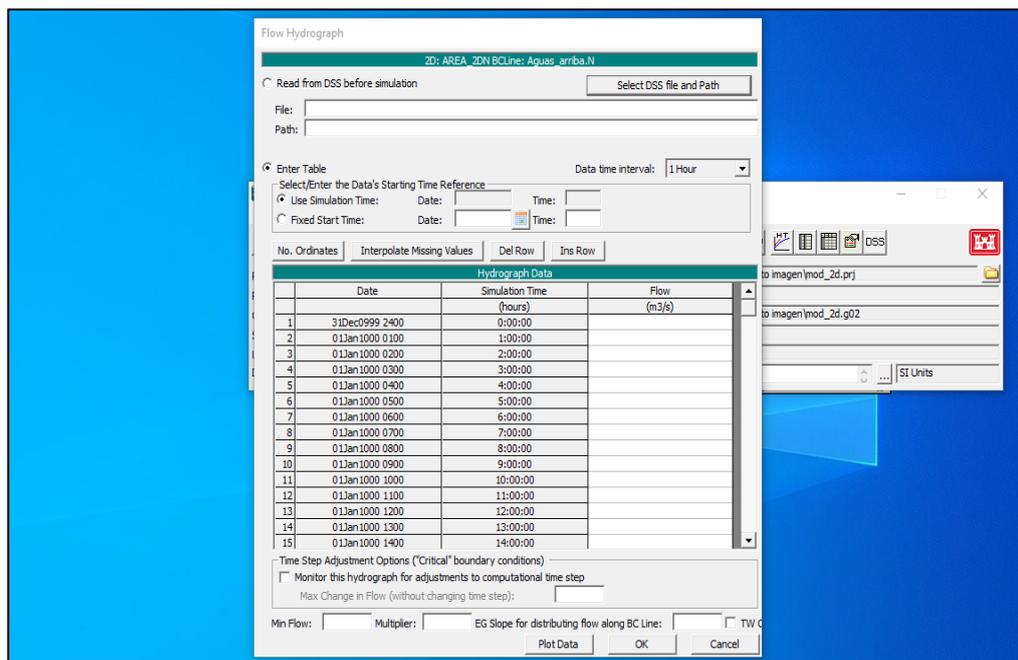


Figura N°33. Ingreso de datos del Hidrograma.

A continuación, procederemos a procesar todos los datos que hemos ingresado anteriormente en el programa. Primero, vamos a **Run > Unsteady Flow Analysis**, donde especificaremos al programa qué datos procesar, así como el inicio y fin de los datos de precipitaciones y los intervalos correspondientes. Luego, guardamos nuestro Plan de trabajo y hacemos clic en **Compute**.

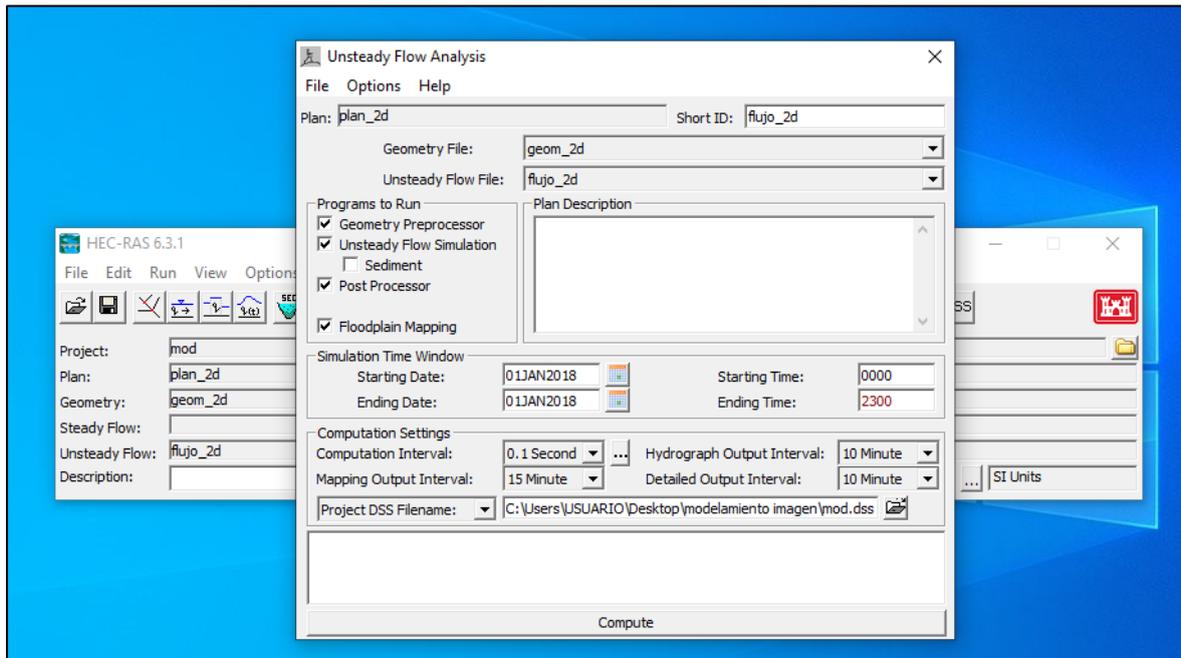


Figura N°34. Ingreso de la configuración para el computado de la modelación.

c) Resultado de la modelación hidráulica

Después de llevar a cabo las simulaciones, se verifica que no haya errores y que los resultados sean satisfactorios. Para ello, se examinan los archivos finales de simulación que genera HEC-RAS.

Modelamiento hidráulico y evaluación de áreas inundables

Se consideran los parámetros globales del tramo, como el nivel del agua y la anchura promedio del canal, los cuales son estimaciones aproximadas de las dimensiones reales y pueden variar. Una vez determinados los caudales máximos y con la topografía obtenida del Modelo Digital de Elevación (DEM), se introducen los archivos shapefile (.shp) con el coeficiente de Manning y otros datos esenciales, como los coeficientes de contracción y expansión. Además, se establecen las condiciones iniciales de flujo permanente para simular una inundación por eventos extraordinarios en un área determinada y flujo subcrítico debido a la leve pendiente, que también se incluye como dato. Después de completar el cálculo del

modelo, se generan los resultados correspondientes para cada escenario evaluado.

A través del modelamiento hidráulico, se determinaron las velocidades de flujo y los tirantes en las zonas de inundación. Estos datos se exportaron desde HEC-RAS a ArcGIS, donde se crearon los mapas de inundación del área de estudio.

Resultados para Primer Escenario: TR=15 años

Los resultados obtenidos para este modelo tienen un caudal $Q=90.26 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Velocidades

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó una velocidad máxima de 9.08 m/s.

- Tirante de agua

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó un tirante máximo de 4.45 m.

- Nivel de inundación:

Según los resultados del modelado hidráulico en el tramo, el nivel de inundación es muy alto, afectando un total de 15.97 hectáreas.

Tabla N°40. Áreas inundadas para TR=15 años.

Nivel de inundación	Inundación por zona (Ha)			
	Agricultura	Matorrales dispersos	Zona urbana	Total
Baja	1.20	0.64	0.001	1.84
Media	1.31	0.50	0.001	1.81
Alta	5.85	2.12	0.000	7.97
Muy alta	2.11	2.24	0.001	4.35
Total	10.47	5.50	0.003	15.97

Resultados para Segundo Escenario: TR=25 años

Los resultados obtenidos para este modelo tienen un caudal $Q=216.90 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Velocidades

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó una velocidad máxima de 9.25 m/s.

- Tirante de agua

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó un tirante máximo de 4.70 m.

- Nivel de inundación

Según los resultados del modelado hidráulico en el tramo, el nivel de inundación es muy alto, afectando un total de 112.885 hectáreas.

Tabla N°41. Áreas inundadas para TR=25 años.

Nivel de inundación	Inundación por zona (Ha)			
	Agricultura	Matorrales dispersos	Zona urbana	Total
Baja	4.53	1.05	0.002	5.58
Media	3.12	1.22	0.001	4.34
Alta	8.45	4.22	0.001	12.67
Muy alta	2.67	2.89	0.001	5.56
Total	18.77	9.38	0.005	28.15

Resultados para Tercer Escenario: TR=50 años

Los resultados obtenidos para este modelo tienen un caudal $Q=420.91 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Velocidades

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó una velocidad máxima de 10.32 m/s.

- Tirante de agua

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó un tirante máximo de 4.91 m.

- Nivel de inundación

Según los resultados del modelado hidráulico en el tramo, el nivel de inundación es muy alto, afectando un total de 115.307 hectáreas.

Tabla N°42. Áreas inundadas para TR=50 años.

Nivel de inundación	Inundación por zona (Ha)			
	Agricultura	Matorrales dispersos	Zona urbana	Total
Baja	0.24	0.13	0.001	0.37
Media	1.97	0.37	0.001	2.34
Alta	6.71	3.85	0.000	10.56
Muy alta	3.21	3.57	0.001	6.78
Total	12.13	7.92	0.003	20.05

Resultados para Cuarto Escenario: TR=100 años

Los resultados obtenidos para este modelo tienen un caudal $Q=604.91 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Velocidades

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó una velocidad máxima de 12.38 m/s.

- Tirante de agua

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó un tirante máximo de 2.06 m.

- Nivel de inundación

Según los resultados del modelado hidráulico en el tramo, el nivel de inundación es muy alto, afectando un total de 120.304 hectáreas.

Tabla N°43. Áreas inundadas para TR=100 años.

Nivel de inundación	Inundación por zona (Ha)			
	Agricultura	Matorrales dispersos	Zona urbana	Total
Baja	1.49	0.36	0.001	1.85
Media	2.87	0.92	0.001	3.79
Alta	7.56	2.45	0.001	10.01
Muy alta	4.09	2.69	0.001	6.78
Total	82.436	37.406	0.004	22.43

Resultados para Quinto Escenario: TR=200 años

Los resultados obtenidos para este modelo tienen un caudal $Q=737.63 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Velocidades

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó una velocidad máxima de 15.85 m/s.

- Tirante de agua

Luego del modelamiento en la zona de estudio, se calculó un tirante máximo de 2.59 m.

- Nivel de inundación

Según los resultados del modelado hidráulico en el tramo, el nivel de inundación es muy alto, afectando un total de 128.969 hectáreas.

Tabla N°44. Áreas inundadas para TR=200 años.

Nivel de inundación	Inundación por zona (Ha)			
	Agricultura	Matorrales dispersos	Zona urbana	Total
Baja	0.50	0.11	0.001	0.61
Media	4.10	1.25	0.001	5.35
Alta	7.20	3.61	0.001	10.81
Muy alta	3.56	3.73	0.001	7.29
Total	15.36	8.70	0.004	24.06

En las simulaciones, se han observado errores mínimos de convergencia, los cuales son siempre localizados y han sido examinados en detalle. Se ha confirmado que estos errores no afectan significativamente la solución, ya que todos ocurren durante los primeros momentos del cálculo. A medida que avanza la simulación, se alcanza una solución estable.

Además, los resultados incluyen mapas de niveles freáticos, velocidades y alturas máximas de cada simulación, presentados en las siguientes figuras. Estos resultados permiten comparar las áreas críticas con el análisis realizado usando el diagrama de direcciones de flujo, mostrando resultados similares.

Podemos obtener información de alturas de tirantes de agua, velocidades y elevaciones del nivel del agua en formato .tif, que serán útiles para crear mapas de riesgo.

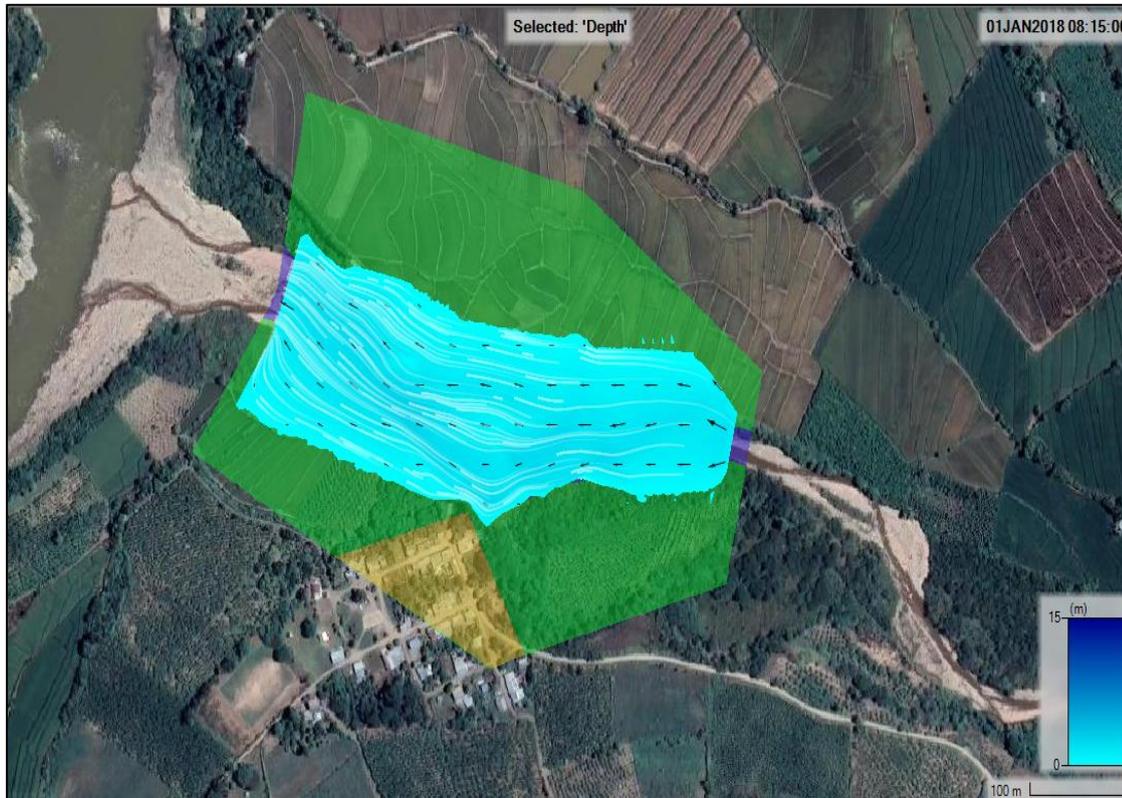


Figura N°35. Resultado del modelo hidráulico en HEC-RAS 2D para un TR 200 años – Movimiento de las partículas de flujo.

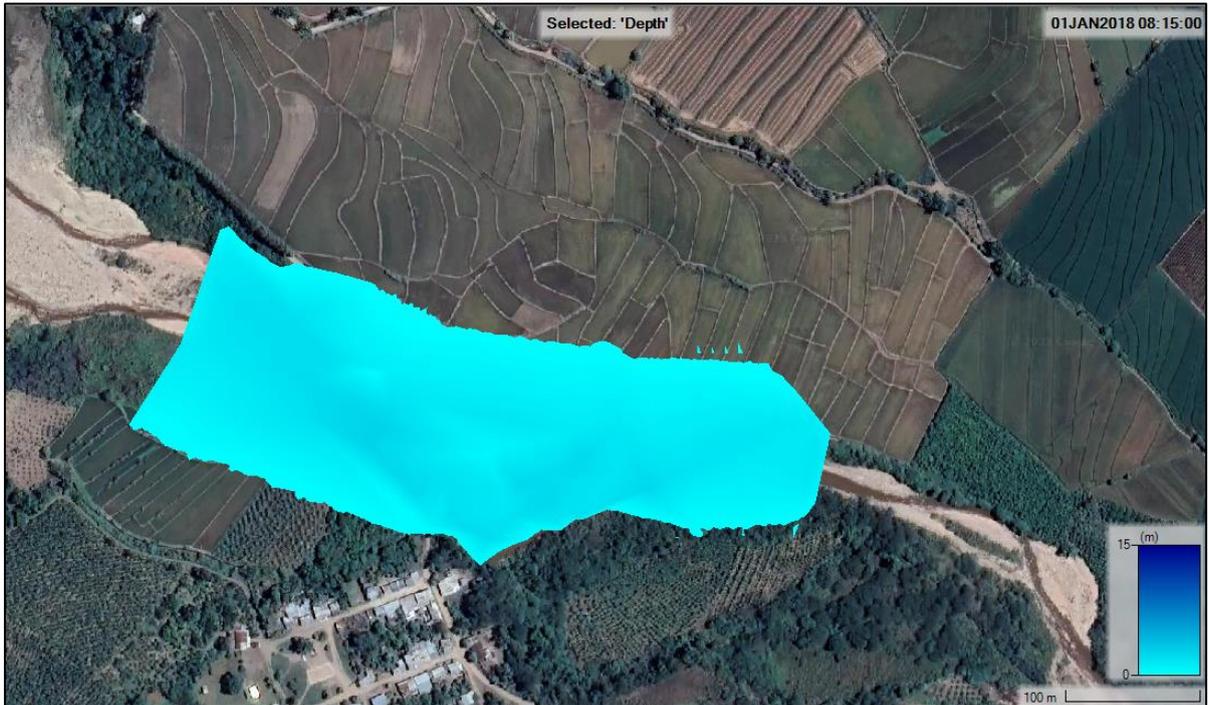


Figura N°36. Resultado del modelo hidráulico en HEC-RAS 2D para un TR 200 años – Mapa de Tirantes en metros.

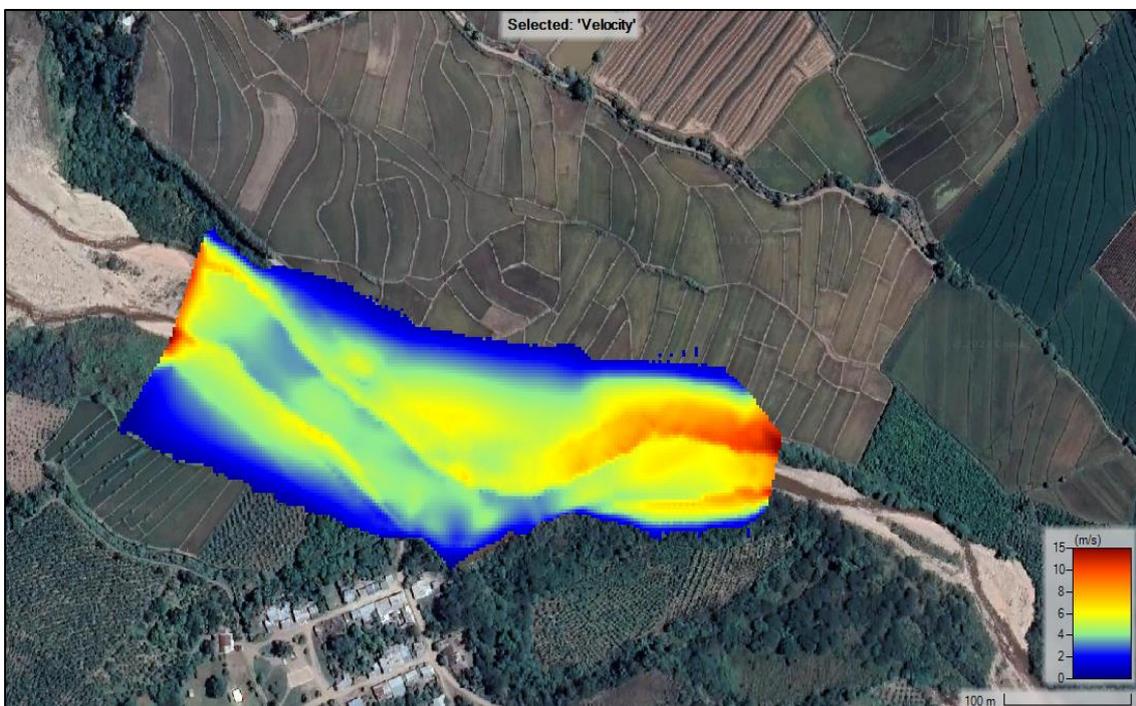


Figura N°37. Resultado del modelo hidráulico en HEC-RAS 2D para un TR 200 años – mapa de Velocidades en m/s.

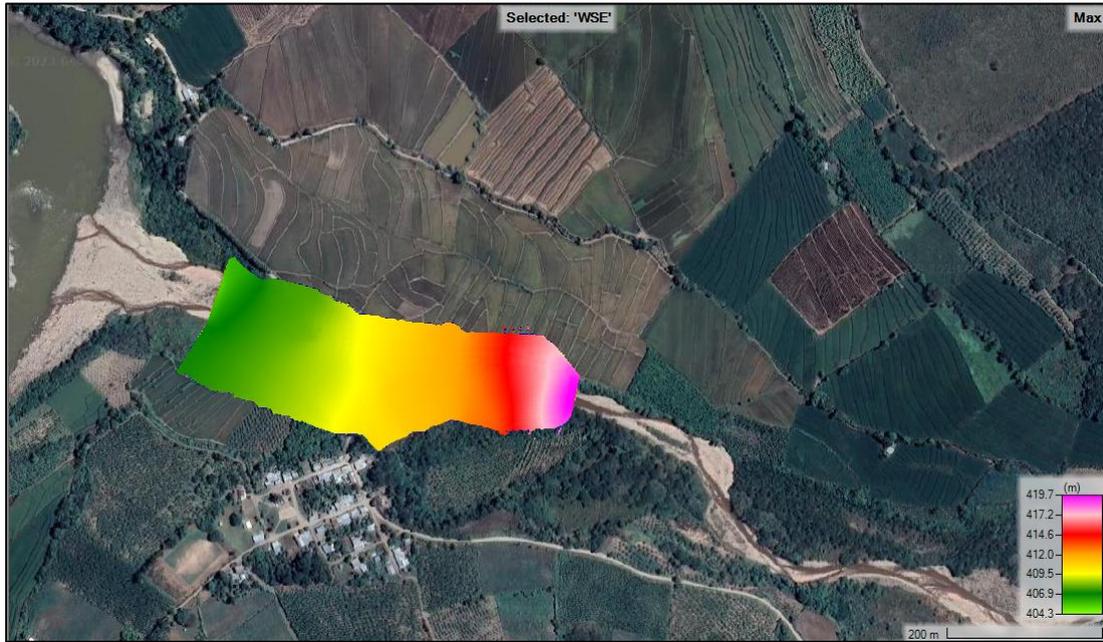


Figura N°38. Resultado del Modelo Hidráulico en HEC-RAS 2D para un TR 200 años-
 mapa de altura de cotas de agua en metros.

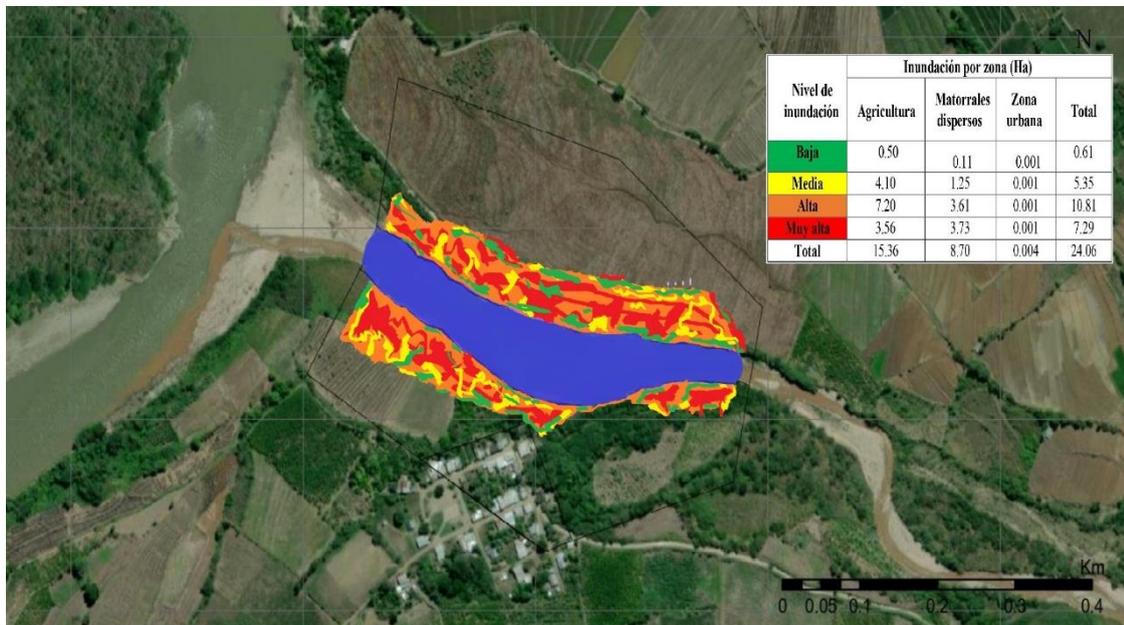


Figura N°39. Resultado del Modelo Hidráulico en HEC-RAS 2D para un TR 200 años-
 mapa de riesgo de inundación.

CAPÍTULO V: ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN

5.1 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

a) Vulnerabilidad Física

Tabla N°45. Nivel de Vulnerabilidad física

Variable	Nivel de vulnerabilidad (%)
Material de construcción utilizada en las viviendas de la zona de estudio.	75
Localización de viviendas frente al peligro.	90
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	80
Cumplimiento con la normativa vigente y las normas de construcción	100

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 45 presenta los resultados de las variables examinadas en relación a una vulnerabilidad física, con un promedio obtenido del 86.%.

b) Vulnerabilidad Económica

Tabla N°46. Nivel de vulnerabilidad Económica

Variable	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Actividad Económica	50
Acceso al mercado laboral	70
Nivel de ingresos	75
Condición de pobreza	80

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 46 presenta los resultados de las variables examinadas en relación a una vulnerabilidad física, con un promedio obtenido del 68.75%.

c) Vulnerabilidad Social

Tabla N°47. Nivel de Vulnerabilidad Social

Variable	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Nivel de Organización	50
Participación de la población en los trabajos comunales	50
Grado de relación entre instituciones públicas y organizaciones locales	75
Tipo de integración entre las organizaciones e instituciones locales.	75

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 47 se presenta el resultado de las variables estudiadas sobre una vulnerabilidad social, con un promedio del 62.5%. Esto indica que la comunidad no está muy organizada, aunque hay una participación ciudadana regular, pero una relación débil entre la comunidad y su gobierno local.

d) Vulnerabilidad Educativa

Tabla N°48. Nivel de Vulnerabilidad Educativa

VARIABLES	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Programas educativos formales sobre PAD (Prevención y atención en Desastres)	100
Programas de capacitación (PAD).	90
Alcance de los programas educativos sobre gruposestratégicos (PAD).	100
Campañas de difusión (TV, radio y prensa)sobre PAD.	100

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 48 presenta los resultados de las variables examinadas en relación a una vulnerabilidad física, con un promedio obtenido del 97.5%.

e) Vulnerabilidad Cultural e Ideológica

Tabla N°49. Nivel de Vulnerabilidad cultural e ideológica

Variables	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres.	70
Percepción de la población sobre los desastres.	50
Actitud frente a la ocurrencia de desastres.	50

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 49 presenta los resultados de las variables examinadas en relación a una vulnerabilidad física, con un promedio obtenido del 56.7%.

f) Vulnerabilidad Política e Institucional

Tabla N°50. Nivel de Vulnerabilidad Política e Institucional

Variables	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Autonomía Local.	75
Liderazgo Político.	90
Participación Ciudadana.	60
Coordinación de acciones entre autoridades locales y funcionamiento del CDC (Comité de defensa Civil)	90

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 50 se presenta cómo la población tiene poca independencia respecto a las instituciones públicas, las cuales son aceptadas pero respaldadas solo por una minoría. Esto se traduce en un índice del 78.75% de vulnerabilidad en términos de Política Institucional.

g) Vulnerabilidad Científica y Tecnológica

Tabla N°51. Nivel de Vulnerabilidad científica y Tecnológica

Variables.	Nivel de Vulnerabilidad (%)
Existencia de estudios sobre desastres naturales en la localidad.	75
Existencia de instrumentos de medición para estudio de fenómenos naturales.	100
Conocimientos sobre algún estudio en la localidad.	70
La localidad cumple con las conclusiones y recomendaciones.	100

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 51 se muestra que hay un bajo nivel de comprensión científica y tecnológica entre la población acerca del riesgo de inundaciones. Además, no se dispone de ningún dispositivo para recabar información, lo que resulta en un promedio que refleja una vulnerabilidad científica y tecnológica del 86.25% en los factores analizados.

5.1.1 ESTIMACIÓN TOTAL DE LA VULNERABILIDAD.

Tabla N°52. Nivel de Vulnerabilidad total

Tipo	Nivel de Vulnerabilidad				TOTAL
	VB	VM	VA	VMA	
	<25 %	26 a 50%	51 a 75%	76 a 100%	
Física				86.3	86.30
Económica			68.75		68.75
Social			62.75		62.75
Educativa				97.5	97.50
Cultural e ideológica			56.7		56.70
Política e Institucional				78.75	78.75
Científica y Tecnológica				86.25	86.25
Nivel de Vulnerabilidad total	76.71 %				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 52 se muestra que la población tiene una vulnerabilidad del 76.71% ante el riesgo de inundaciones. Este porcentaje representa el promedio de varias mediciones de vulnerabilidad realizadas por Indeci en la población. Según estos datos, se considera que la vulnerabilidad es muy alta, ya que se sitúa dentro del rango del 76% al 100%.

5.2 ESTIMACIÓN DEL PELIGRO DE INUNDACIÓN.

5.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO.

a) Ubicación y Descripción General

Tabla N°53. Datos Generales de la Localidad

Ubicación y Descripción General			
Región: Cajamarca	Provincia: Jaén	Distrito: Jaén	Localidad: Damiana Baja
Servicios Básicos	Agua: existe	Electricidad: existe	Desagüe: no existe

b) Peligros de Mayor Impacto

Tabla N°54. Datos del Peligro ya Ocurrido

Peligro	Años de ocurrencia	Causas	Consecuencias
Inundación pluvial	Años del 2018, 2019 y 2022	Intensas lluvias, suelo impermeable, falta de muros de contención, erosión de la rivera y colmatación de la quebrada. Escasa vegetación; deposición de sedimentos que generan cambios bruscos en el cauce.	Desbordes e inundaciones del área agrícola; pérdida de cultivos y deterioro de viviendas cercanas al cauce de la quebrada. Interrupción de acceso terrestre por la trocha carrozable hacia el distrito de Huarango.

Fuente: Elaboración propia.

c) Características del Suelo de Damiana Baja.

Tabla N°55. Ficha Técnica de las Características del suelo en Damiana Baja

Serie	Holoceno.
Unidades lito Estratigráficas	Depósitos aluviales y fluviales.
Clasificación SUCS	SP, MP, SM
Descripción del suelo.	Predominan arenas y limos poco consolidados, exentos a baja plasticidad.
Consistencia	De blando a medio.
Capacidad portante.	0.8 – 1.2 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia.

Damiana Baja está compuesta por depósitos de la era cuaternaria, principalmente formados por sedimentos fluviales y aluviales, así como por acumulaciones coluviales y aluviales que se han depositado a lo largo de la quebrada Tataque.

d) Peligro para el nivel de intensidad de inundación.

Según el informe del Indeci Lima 2011, la manera de evaluar la gravedad de una inundación depende de su categoría. En el caso de las inundaciones fluviales estáticas, se determina la profundidad o altura del agua. En contraste, para las inundaciones dinámicas, se recomienda calcular el resultado de multiplicar la velocidad del agua por la profundidad del flujo.

Tabla N°56. Nivel de Intensidad para Inundaciones Fluviales

Nivel de Intensidad	Profundidad del flujo en inundaciones fluviales estáticas.
Muy alta	$H > 1.5\text{m}$
Alta	$0.5\text{m} < H \leq 1.5\text{m}$
Media	$0.25\text{m} < H \leq 0.5\text{m}$
Baja	$H < 0.25\text{m}$

Fuente: Indeci (2011)

Según la tabla de Hec Ras 6.3.1 modelando hidráulicamente, se obtienen tirantes máximos de 2.596m para un flujo no permanente de periodo de retorno de 200 años.

Tabla N°57. Determinación del nivel de Peligro por Intensidad

Descripción	Rango	Rango calculado	Nivel
Profundidad del rio	$H < 1.5m$	2.596m	Muy alto
Tipo de inundación fluvial.	Estática		
Nivel de intensidad fluvial.		$2.596m > 1.5m$	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO TOTAL.

La información recopilada a través de fichas técnicas describe que la comunidad de Damiana Baja enfrenta un riesgo extremadamente alto de inundación debido a la quebrada Tataque, con un nivel de riesgo evaluado en un 100%. Esta situación se observa en el sector Zapotal, Huallape y Damiana, en la quebrada Tataque, ubicados en los distritos de Huarango y Santa Rosa, en las provincias de San Ignacio y Jaén, departamento de Cajamarca.

Tabla N°58. Estratificación del Nivel de Peligro Total

Nivel	Rango	Valor
Peligro muy alto (PMA)	75% - 100%	100

Fuente: Elaboración propia.

5.3 ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO.

Tabla N°59. Nivel de Riesgo de Inundación

Descripción.	Rango (%)	Rango Calculado (%)	Nivel
Nivel de peligro deinundación.	75-100	100	Muy Alto
Grado de Vulnerabilidad.	75-100	76.71	Muy Alto
Nivel de riesgo por inundación.		76.71	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 59 se presenta un riesgo significativamente alto de inundación, con un 76.71% en Damiana Baja. Se empleó un enfoque descriptivo utilizando una matriz de doble entrada conocida como "Matriz de Peligro y Vulnerabilidad". Este método evaluó el nivel de peligro identificado junto con el cálculo de vulnerabilidad. Con base en estos porcentajes, se determinó el nivel de riesgo frente al peligro de inundación en esa área específica.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.

- El nivel de riesgo por inundación y la vulnerabilidad en la localidad Damiana Baja es muy alto frente al peligro que presenta la Quebrada Tataque.
- Se logró procesar la información cartográfica obtenida con la finalidad de delimitar nuestra cuenca y parámetros para después ejecutar un modelamiento hidráulico Bidimensional de flujo no permanente para un tiempo de retorno de 200 años, utilizando el Software HEC-RAS 6.3. 1.
- Los sectores más vulnerables a inundaciones son las que se encuentran en el margen izquierdo de la quebrada, con dirección aguas abajo, donde el flujo entra por las zonas agrícolas al estar al mismo nivel que el cauce de la quebrada, llegando a la localidad con tirantes de agua mayores a los 2 metros, afectando viviendas que se encuentran al borde de la quebrada y construidas con material rústico, obteniéndose algunas pérdidas materiales.
- En el margen derecho de la quebrada se inundan mayormente áreas agrícolas y algunos accesos a ellas, aproximadamente 1 ha, por lo que no existe riesgo de pérdidas humanas, pero si materiales. En este margen también se puede deducir que parte de la vía terrestre que une las provincias de Jaén (localidad de Damiana Baja) y San Ignacio (Centro Poblado Zapotal) compuesta por una trocha carrozable se ve seriamente afectada volviéndose intransitable en épocas de lluvia interrumpiendo el acceso hacia la provincia de San Ignacio a través de esta vía terrestre
- Según el modelamiento hidráulico bidimensional con el software HEC-RAS 6.3.1., se obtuvo velocidades de hasta 15.84 m/s, del flujo no permanente para un tiempo de retorno de 200 años.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda construir muros de contención de concreto principalmente a lo largo de la margen izquierda de la quebrada Tataque.
- Realizar procesos de descolmatación de forma continua, debido a la acumulación de sedimentos, escasa vegetación y erosión existente para evitar los desbordes e inundaciones del área agrícola. A través de este proceso se evitará el efecto que tiene los tirantes máximos sobre la margen izquierda de la quebrada, menorando el riesgo de inundación y permitiendo que el flujo continúe desplazándose por su cauce natural. Estos proyectos se deben gestionar a través de las autoridades locales, en conjunto con la población.
- Gestionar a través de las autoridades locales la construcción de un puente, para mejorar la transpirabilidad de la vía terrestre existente que permitirá mejor comunicación entre las provincias, incrementando en intercambio comercial, económico y educativo, ya que la mayoría de población educativa de la Localidad de Damiana Baja estudia en el Centro Poblado Zapotal, que se encuentra a dos kilómetros de dicha localidad.
- Generar campañas de prevención y mitigación a la población como actuar frente a desastres naturales, concientizarlos sobre el peligro que es vivir cerca de una quebrada y el riesgo que implica eso tanto a sus vidas como viviendas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCHINI, R., VÁSQUEZ, L., BIANCO, M. y GARCÍA, J., 2018. *Introducción a la Probabilidad y a la Estadística*. 1 Ed. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Buenos Aires. ISBN 978 - 950 - 29 - 1734 - 4.
- BECERRA GUAYAMA, G., 2017. *Evaluación del riesgo, en el sector El Parral de la ciudad de Jaén, ante el peligro de inundación* [en línea]. Tesis Licenciatura. Jaén, Perú.: Universidad Nacional de Cajamarca. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1069>.
- BÉJAR, M.V., 2006. *Hidrología estadística* [en línea]. S.l.: Instituto Tecnológico de Costa Rica. ISBN 978-9977-66-279-4. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=b3HhYgEACAAJ>.
- CENEPRED, 2013. *Manual Básico para la estimación del Riesgo* [en línea]. Lima, Perú.: s.n. Disponible en: https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf.
- CHEREQUE MORÁN, W., 1989. *Hidrología : para estudiantes de ingeniería civil* [en línea]. 2 ed. Lima, Perú.: CONCYTEC. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>.
- FATTORELLI, S. y FERNÁNDEZ, P., 2011. *Diseño Hidrológico* [en línea]. 2 ed. Italia: WASA GN. ISBN 978-987-05-2738-2. Disponible en: <https://webooks.co/images/team/academicos/ingenieria/civil/5.Diseno%20Hidrologico-%20Fattorelli%20y%20Fernandez.pdf>.
- INDECI, 2011. *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales* [en línea]. Lima, Perú.: Litigraf EIRL. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>.
- LLAMAS, J., 1993. *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. España: Omega. ISBN 978-84-7585-435-9.
- LUCAS VERA, G.E., 2018. *Análisis del riesgo por inundación en la localidad de Roblecito, cantón Urdaneta: propuesta de medidas de mitigación* [en línea]. bachelorThesis. S.l.: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29502>.
- MONDRAGÓN DELGADO, E.P., 2013. *Evaluación del nivel de riesgo de inundación por el río amojú en la parte baja de la ciudad de Jaén*. [en línea]. Tesis Licenciatura. Jaén, Perú.: Universidad Nacional de Cajamarca. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/510>.
- MOSTACERO, A., 2020. *Nivel de riesgo por inundación del área urbana del distrito de Chilete - provincia de Contumazá - región Cajamarca* [en línea]. Tesis Licenciatura. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/25374>.
- MTC, 2008. *Manual de Hidrología y Drenaje* [en línea]. Lima, Perú.: s.n. Disponible en: <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>.

NANÍA, L., 2007. *Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1*. Granada, España: s.n. ISBN 978-84-690-5876-3.

ORTIZ VERA, O., 2003. *Pronóstico de variables aleatorias en el diseño de ingeniería*. Cajamarca, Perú: UNC.

6.3 ANEXOS

Anexo 01. Fotografías del trabajo realizado en Campo



Figura N°40. Reconocimiento de la zona de estudio e instalación de la estación total para el levantamiento topográfico del cauce de la quebrada Tataque.



Figura N°41. Toma de coordenadas BM para levantamiento topográfico.



Figura N°42. Medida de Altura de Instrumento para el Levantamiento Topográfico.



Figura N°43. Levantamiento topográfico del cauce aguas abajo.



Figura N°44. Estación total South – levantamiento topográfico del margen derecho del cauce de la quebrada Tataque



Figura N°45. Levantamiento topográfico del cauce aguas arriba



Figura N°46. Levantamiento topográfico del cauce.



Figura N°47. Levantamiento Topográfico del Cauce



Figura N°48. Marge derecha tomada en cuenta para determinar el coeficiente de Manning.



Figura N°49. Margen izquierda tomada en cuenta para determinar el coeficiente de Manning.



Figura N°50. Niños regresando de su centro de estudios IE. Ricardo Palma C.P Zapotal-Huarango hacia la localidad de Damiana Baja, lugar de su residencia



Figura N°51. Zona erosionada por la fuerza Hidrodinámica del agua



Figura N°52. Acumulación de sedimentos en la zona de estudio



Figura N°53. Vegetación existente en la zona de estudio

Anexo 02. Tablas de distribución de frecuencias.

Tabla N°60. *Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Normal.*

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0964	0.0940	0.0642
2	33.90	0.0645	0.1128	0.1103	0.0483
3	36.16	0.0968	0.1397	0.1371	0.0429
4	36.84	0.1290	0.1485	0.1459	0.0195
5	40.23	0.1613	0.1982	0.1956	0.0369
6	40.68	0.1935	0.2055	0.2029	0.0119
7	41.36	0.2258	0.2167	0.2142	0.0991
8	42.94	0.2581	0.2443	0.2419	0.0138
9	43.05	0.2903	0.2463	0.2439	0.0440
10	43.73	0.3226	0.2588	0.2565	0.0638
11	44.18	0.3548	0.2672	0.2650	0.0876
12	44.75	0.3871	0.2781	0.2759	0.1090
13	44.97	0.3871	0.2823	0.2802	0.1370
14	46.90	0.3871	0.3209	0.3191	0.1307
15	50.40	0.4839	0.3958	0.3947	0.0881
16	51.19	0.5161	0.4134	0.4124	0.1027
17	51.87	0.5484	0.4287	0.4279	0.1197
18	53.68	0.5806	0.4698	0.4694	0.1109
19	54.47	0.6129	0.4878	0.4877	0.1251
20	54.81	0.6452	0.4956	0.4956	0.1496
21	61.47	0.6774	0.6448	0.6463	0.0326
22	64.86	0.7097	0.7143	0.7164	0.0046
23	66.90	0.7419	0.7527	0.7551	0.0108
24	71.98	0.7742	0.8352	0.8378	0.0610
25	72.09	0.8065	0.8367	0.8394	0.0303
26	74.58	0.8387	0.8695	0.8721	0.0308
26	79.10	0.8710	0.9168	0.9191	0.0458.
28	82.49	0.9032	0.9427	0.9447	0.0395
29	88.71	0.9355	0.9735	0.9748	0.0380
30	99.44	0.9677	0.9946	0.9951	0.0269

Tabla N°61. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Log Normal 2 parámetros.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0520	0.0559	0.0198
2	33.90	0.0645	0.0713	0.0757	0.0068
3	36.16	0.0968	0.1055	0.1105	0.0088
4	36.84	0.1290	0.1173	0.1224	0.0127
5	40.23	0.1613	0.1855	0.1907	0.9813
6	40.68	0.1935	0.1956	0.2007	0.0021
7	41.36	0.2258	0.2113	0.2163	0.0145
8	42.94	0.2581	0.2492	0.2539	0.0088
9	43.05	0.2903	0.2520	0.2565	0.0384
10	43.73	0.3226	0.2689	0.2733	0.0536
11	44.18	0.3548	0.2803	0.2845	0.0745
12	44.75	0.3871	0.2949	0.2989	0.0922
13	44.97	0.4194	0.3006	0.3045	0.1188
14	46.90	0.4516	0.3511	0.3541	0.1005
15	50.40	0.4839	0.4435	0.4447	0.0404
16	51.19	0.5161	0.4641	0.4648	0.0521
17	51.87	0.5484	0.4816	0.4820	0.0668
18	53.68	0.5806	0.5272	0.5267	0.0534
19	54.47	0.6129	0.5466	0.5456	0.0534
20	54.81	0.6452	0.5548	0.5537	0.0903
21	61.47	0.6774	0.6987	0.6948	0.0213
22	64.86	0.7097	0.7580	0.7533	0.0483
23	66.90	0.7419	0.7891	0.7841	0.0472
24	71.98	0.7742	0.8526	0.8474	0.0784
25	72.09	0.8065	0.8538	0.8485	0.0473
26	74.58	0.8387	0.8782	0.8731	0.0395
26	79.10	0.8710	0.9135	0.9088	0.0425
28	82.49	0.9032	0.9335	0.9293	0.0303
29	88.71	0.9355	0.9595	0.9562	0.0240
30	99.44	0.9677	0.9833	0.9813	0.0155

Tabla N°62. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Log Normal 3 parámetros.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	(Z)	F(Z)	Delta
1	32.32	0.0323	-1.9659	0.0247	0.0076
2	33.90	0.0968	-1.7030	0.0443	0.0202
3	36.16	0.0968	-1.3781	0.0841	0.0127
4	36.84	0.1290	-1.2899	0.0986	0.0305
5	40.23	0.1613	-0.8997	0.1841	0.0229
6	40.68	0.1935	-0.8531	0.1968	0.0032
7	41.36	0.2258	-0.7848	0.2163	0.0095
8	42.94	0.2581	-0.6344	0.2629	0.0048
9	43.05	0.2903	-0.6244	0.2662	0.0241
10	43.73	0.3226	-0.5633	0.2866	0.0360
11	44.18	0.3548	-0.5238	0.3002	0.0546
12	44.75	0.3871	-0.4750	0.3174	0.0697
13	44.97	0.4194	-0.4564	0.3241	0.0953
14	46.90	0.4516	-0.3006	0.3819	0.0698
15	50.4	0.4839	-0.0456	0.4818	0.0021
16	51.19	0.5161	0.0077	0.5031	0.0131
17	51.87	0.5484	0.0525	0.5209	0.0274
18	53.68	0.5806	0.1671	0.5664	0.0143
19	54.47	0.6129	0.2152	0.5852	0.0277
20	54.81	0.6452	0.2355	0.5931	0.0521
21	61.47	0.6774	0.5972	0.7248	0.0474
22	64.86	0.7097	0.7590	0.7761	0.0664
23	66.90	0.7419	0.8505	0.8025	0.0605
24	71.98	0.7742	1.0616	0.8558	0.0816
25	72.09	0.8065	1.0659	0.8568	0.0503
26	74.58	0.8387	1.1617	0.8773	0.0386
26	79.10	0.8710	1.3246	0.9073	0.0364
28	82.49	0.9032	1.4386	0.9073	0.0216
29	88.71	0.9355	1.6324	0.9073	0.0132
30	99.44	0.9677	1.9283	0.9731	0.0054

Tabla N°63. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Gamma 2 parámetros.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0617	0.1719	0.0294
2	33.90	0.0645	0.0801	0.1961	0.0156
3	36.16	0.0968	0.1118	0.2325	0.0150
4	36.84	0.1290	0.1226	0.2439	0.0065
5	40.23	0.1613	0.1844	0.3022	0.0231
6	40.68	0.1935	0.1935	0.3101	0.0000
7	41.36	0.2258	0.2077	0.3222	0.0181
8	42.94	0.2581	0.2423	0.3503	0.0158
9	43.05	0.2903	0.2448	0.3522	0.0456
10	43.73	0.3226	0.2603	0.3644	0.0623
11	44.18	0.3548	0.2708	0.3724	0.0841
12	44.75	0.3871	0.2842	0.3826	0.1029
13	44.97	0.4194	0.2895	0.3865	0.1299
14	46.90	0.4516	0.3365	0.4209	0.1151
15	50.40	0.4839	0.4247	0.4822	0.0592
16	51.19	0.5161	0.4447	0.4958	0.0714
17	51.87	0.5484	0.4619	0.5073	0.0865
18	53.68	0.5806	0.5071	0.5375	0.0735
19	54.47	0.6129	0.5266	0.5504	0.0863
20	54.81	0.6452	0.5349	0.5559	0.1103
21	61.47	0.6774	0.6842	0.6563	0.0068
22	64.86	0.7097	0.7481	0.7015	0.0384
23	66.90	0.7419	0.7820	0.7265	0.0401
24	71.98	0.7742	0.8520	0.7823	0.0778
25	72.09	0.8065	0.8533	0.7834	0.0468
26	74.58	0.8387	0.8803	0.8072	0.0415
26	79.10	0.8710	0.9189	0.8451	0.0479
28	82.49	0.9032	0.9404	0.8693	0.0372
29	88.71	0.9355	0.9673	0.9054	0.0372
30	99.44	0.9677	0.9673	0.9475	0.0217

Tabla N°64. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Gamma 3 parámetros.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0601	0.0253	0.0278
2	33.90	0.0645	0.0819	0.0531	0.0174
3	36.16	0.0968	0.1193	0.1038	0.0225
4	36.84	0.1290	0.1319	0.1209	0.0029
5	40.23	0.1613	0.2023	0.2131	0.0410
6	40.68	0.1935	0.2125	0.2258	0.0189
7	41.36	0.2258	0.2281	0.2452	0.0023
8	42.94	0.2581	0.2657	0.2902	0.0076
9	43.05	0.2903	0.2683	0.2933	0.0220
10	43.73	0.3226	0.2849	0.3126	0.0377
11	44.18	0.3548	0.2960	0.3253	0.0589
12	44.75	0.3871	0.3101	0.3413	0.0770
13	44.97	0.4194	0.3156	0.3474	0.1038
14	46.90	0.4516	0.3639	0.4002	0.0877
15	50.40	0.4839	0.4514	0.4903	0.0325
16	51.19	0.5161	0.4707	0.5094	0.0454
17	51.87	0.5484	0.4872	0.5255	0.0612
18	53.68	0.5806	0.5301	0.5665	0.0506
19	54.47	0.6129	0.5483	0.5835	0.0646
20	54.81	0.6452	0.5560	0.5907	0.0891
21	61.47	0.6774	0.6923	0.7130	0.0148
22	64.86	0.7097	0.7494	0.7625	0.0397
23	66.90	0.7419	0.7798	0.7885	0.0379
24	71.98	0.7742	0.8430	0.8427	0.0688
25	72.09	0.8065	0.8441	0.8437	0.0377
26	74.58	0.8387	0.8690	0.8652	0.0303
26	79.10	0.8710	0.9056	0.8975	0.0346
28	82.49	0.9032	0.9268	0.9168	0.0236
29	88.71	0.9355	0.9550	0.9436	0.0195
30	99.44	0.9677	0.9814	0.9716	0.0137

Tabla N°65. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Log Pearson tipo III.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0369	0.0295	0.0047
2	33.90	0.0645	0.0571	0.0514	0.0074
3	36.16	0.0968	0.0952	0.0944	0.0016
4	36.84	0.1290	0.1087	0.1097	0.0203
5	40.23	0.1613	0.1877	0.1983	0.0264
6	40.68	0.1935	0.1994	0.2112	0.0058
7	41.36	0.2258	0.2174	0.2309	0.0084
8	42.94	0.2581	0.2608	0.2777	0.0028
9	43.05	0.2903	0.2639	0.2810	0.0264
10	43.73	0.3226	0.2831	0.3013	0.0395
11	44.18	0.3548	0.2958	0.3148	0.0590
12	44.75	0.3871	0.3121	0.3318	0.0750
13	44.97	0.4194	0.3184	0.3384	0.1010
14	46.90	0.4516	0.3736	0.3951	0.0780
15	50.40	0.4839	0.4709	0.4918	0.0130
16	51.19	0.5161	0.4919	0.5123	0.0242
17	51.87	0.5484	0.5096	0.5294	0.0388
18	53.68	0.5806	0.5550	0.5728	0.0256
19	54.47	0.6129	0.5739	0.5907	0.0390
20	54.81	0.6452	0.5819	0.5982	0.0632
21	61.47	0.6774	0.7165	0.7229	0.0391
22	64.86	0.7097	0.7697	0.7713	0.0600
23	66.90	0.7419	0.7971	0.7963	0.0552
24	71.98	0.7742	0.8527	0.8472	0.0785
25	72.09	0.8065	0.8538	0.8481	0.0473
26	74.58	0.8387	0.8752	0.8679	0.0365
26	79.10	0.8710	0.9064	0.8972	0.0355
28	82.49	0.9032	0.9246	0.9145	0.0214
29	88.71	0.9355	0.9491	0.9387	0.0136
30	99.44	0.9677	0.9738	0.9646	0.0061

Tabla N°66. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Gumbel.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0506	0.0590	0.0184
2	33.90	0.0645	0.0703	0.0798	0.0057
3	36.16	0.0968	0.1056	0.1162	0.0088
4	36.84	0.1290	0.1178	0.1287	0.0112
5	40.23	0.1613	0.1890	0.1999	0.0277
6	40.68	0.1935	0.1995	0.2103	0.0060
7	41.36	0.2258	0.2158	0.2264	0.0100
8	42.94	0.2581	0.2554	0.2653	0.0026
9	43.05	0.2903	0.2583	0.2680	0.0321
10	43.73	0.3226	0.2759	0.2853	0.0467
11	44.18	0.3548	0.2877	0.2968	0.0671
12	44.75	0.3871	0.3029	0.3115	0.0842
13	44.97	0.4194	0.3087	0.3172	0.1106
14	46.90	0.4516	0.3607	0.3677	0.0909
15	50.40	0.4839	0.4548	0.4586	0.0291
16	51.19	0.5161	0.4755	0.4786	0.0406
17	51.87	0.5484	0.4931	0.4956	0.0553
18	53.68	0.5806	0.5386	0.5396	0.0421
19	54.47	0.6129	0.5577	0.5581	0.0552
20	54.81	0.6452	0.5658	0.5660	0.0793
21	61.47	0.6774	0.7056	0.7019	0.0282
22	64.86	0.7097	0.7621	0.7573	0.0524
23	66.90	0.7419	0.7915	0.7864	0.0496
24	71.98	0.7742	0.8514	0.8459	0.0773
25	72.09	0.8065	0.8526	0.8459	0.0461
26	74.58	0.8387	0.8756	0.8702	0.0369
26	79.10	0.8710	0.9092	0.9042	0.0382
28	82.49	0.9032	0.9285	0.9240	0.0253
29	88.71	0.9355	0.9542	0.9505	0.0187
30	99.44	0.9677	0.9789	0.9767	0.0112

Tabla N°67. Ajuste de precipitaciones a distribución de probabilidad Log Gumbel.

Orden	Pp (mm) Máx. 24 hr	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	32.32	0.0323	0.0109	0.0119	0.0213
2	33.90	0.0645	0.0252	0.0379	0.0393
	36.16	0.0968	0.0613	0.0800	0.0355
	36.84	0.1290	0.0759	0.0960	0.0531
	40.23	0.1613	0.1706	0.1929	0.0093
6	40.68	0.1935	0.1852	0.2072	0.0083
7	41.36	0.2258	0.2079	0.2293	0.0179
8	42.94	0.2581	0.2625	0.2817	0.0044
9	43.05	0.2903	0.2663	0.2854	0.0240
10	43.73	0.3226	0.2902	0.3080	0.0324
11	44.18	0.3548	0.3060	0.3230	0.0488
12	44.75	0.3871	0.3260	0.3418	0.0611
13	44.97	0.4194	0.3337	0.3491	0.0857
14	46.90	0.4516	0.3998	0.4110	0.0519
15	50.40	0.4839	0.5098	0.5137	0.0259
16	51.19	0.5161	0.5324	0.5348	0.0163
17	51.87	0.5484	0.5512	0.5524	0.0028
18	53.68	0.5806	0.5979	0.5962	0.0172
19	54.47	0.6129	0.6168	0.6140	0.0039
20	54.81	0.6452	0.6247	0.6215	0.0204
21	61.47	0.6774	0.7498	0.7406	0.0724
22	64.86	0.7097	0.7955	0.7850	0.0858
23	66.90	0.7419	0.8184	0.8076	0.0765
24	71.98	0.7742	0.8637	0.8527	0.0895
25	72.09	0.8065	0.8646	0.8535	0.0581
26	74.58	0.8387	0.8818	0.8709	0.0430
26	79.10	0.8710	0.9068	0.8966	0.0358
28	82.49	0.9032	0.9215	0.9119	0.0183
29	88.71	0.9355	0.9419	0.9334	0.0064
30	99.44	0.9677	0.9639	0.9574	0.0038

ANEXO 03. Encuesta a pobladores de la localidad de Damiana Baja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



Facultad de Ingeniería

Escuela Académica Profesional Ingeniería Civil-Sede Jaén

Tesis: “Estimación del riesgo de inundación por la quebrada Tataque en la localidad de Damiana Baja, distrito de Santa Rosa, Jaén”.

Evaluador: Bach. Royer Anthony Amasifén Terán.

Fecha: 17/04/2023

Asesor: Dr. Ing°. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

Lugar: Damiana Baja

Vulnerabilidad Física

Material de Construcción

(N° DE VIVIENDAS ENCUESTADAS)

- ¿Qué tipos de materiales de construcción se usó y que calidad constructiva presenta?

A. Adecuada técnica constructiva (de concreto y acero)	(...)
B. Sin adecuada técnica constructiva (concreto, acero o madera)	(60)
C. Sin refuerzos estructurales (adobe, piedra o madera)	(20)
D. En estado precario (adobe o cañas)	(...)

Localización de vivienda

- ¿Qué distancia se encuentra la población frente al peligro?

A. > 5 Km	(...)
B. 1 – 5 Km	(...)
C. 0.2 – 1Km	(80)
D. 0.2 – 0 Km	(...)

Características geológicas, calidad y tipo de suelo

- ¿Qué características geotécnicas tiene el terreno del área de estudio?

A. Buenas características geotécnicas	(...)
B. Suelos de mediana capacidad portante	(...)
C. Suelos de baja capacidad portante	(80)
D. Suelos colapsables	(...)

Cumplimiento con la normativa técnica vigente en los procedimientos constructivos

- ¿Se aplicó las leyes y normativas técnicas vigentes en la ejecución de la vivienda?
 - A. Con normativa vigente estrictamente cumplidas (...)
 - B. Con normativa vigente medianamente cumplidas (...)
 - C. Con normativa vigente sin cumplimiento (...)
 - D. Desconocimiento e incumplimiento con normativa vigente (80)

Vulnerabilidad Económica

Actividad Económica

- ¿Qué nivel de producción de recursos tienen los pobladores en la localidad?
 - A. Altamente productiva (...)
 - B. Medianamente productiva (80)
 - C. Escasamente productiva (...)
 - D. Sin producción (...)

Acceso al mercado laboral

- ¿Cuál es la situación sobre la oferta laboral en la localidad?
 - A. Con oferta laboras > demanda (...)
 - B. Oferta laboral =demanda (...)
 - C. Oferta laboral <demanda (80)
 - D. Sin oferta laboral (...)

Nivel de ingresos

- ¿Qué cantidad de ingreso mensual reciben?
 - A. Alto nivel de ingresos (...)
 - B. Suficiente nivel de ingresos (...)
 - C. Ingreso que cubre las necesidades básicas (70)
 - D. Nivel de ingreso menores que el salario básico (10)

Situación de pobreza

- ¿Qué nivel de pobreza tienen los pobladores?

A. Población sin pobreza	(...)
B. Población con poca pobreza	(...)
C. Población con mediana pobreza	(70)
D. Población con pobreza total	(10)

Vulnerabilidad Social

Nivel de organización

- ¿Cuál es el nivel de Organización de la población en la localidad?

A. Población totalmente organizada.	(...)
B. Población organizada	(...)
C. Población escasamente organizada	(80)
D. Población no organizada.	(...)

Participación de la población en los trabajos comunales

- ¿Los habitantes de esta vivienda participan en trabajos comunales de la localidad?

A. Participación total	(...)
B. Participación de la mayoría	(...)
C. Mínima participación	(80)
D. sin participación	(...)

Grado de relación entre las instituciones y organizaciones locales

- ¿Qué grado de relación existe entre la comunidad y las instituciones?

A. Fuerte relación	(...)
B. Medianamente relacionados	(...)
C. Débil relación	(80)
D. No existe	(...)

Tipo de integración entre las organizaciones e Institucionales locales

- ¿Qué nivel de integración existe entre las organizaciones e instituciones locales?
 - A. Integración total. (...)
 - B. Integración parcial (...)
 - C. Baja integración (80)
 - D. No existe integración (...)

Vulnerabilidad Educativa

Programas educativos formales.

- ¿Con qué frecuencia recibe la población programas de capacitación?
 - A. Desarrollo permanente de temas (...)
 - B. Desarrollo con regular permanencia (...)
 - C. Insuficiente desarrollo de temas (80)
 - D. No están incluidos los temas de PAD (...)

Programas de Capacitación.

- ¿Qué porcentaje de la población está realmente capacitada?
 - A. La totalidad está preparada ante desastres (...)
 - B. La mayoría de la población está preparada (...)
 - C. La población esta escasamente preparada (10)
 - D. La población no está capacitada (70)

Programas educativos sobre grupos estratégicos.

- ¿Qué cantidad del área total recibe programas de capacitación?
 - A. Cobertura total (...)
 - B. Cobertura mayoritaria (...)
 - C. Cobertura insuficiente (...)
 - D. Cobertura desfocalizada (80)

Vulnerabilidad cultural e ideológica

Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres.

- ¿Qué cantidad de la población tiene conocimiento sobre la ocurrencia de desastres?
 - A. Conocimiento total de la población (...)
 - B. Conocimiento de la mayoría (...)
 - C. Escasos conocimientos (80)
 - D. Desconocimiento total (...)

Percepción de la población sobre los desastres.

- ¿Qué percepción tienen los pobladores sobre los desastres?
 - A. La totalidad (...)
 - B. La mayoría (...)
 - C. La minoría (80)
 - D. Percepción totalmente irreal –místico – religioso (...)

Actitud frente a la ocurrencia de desastres.

- ¿Qué actitud presentara la población frente a los desastres?
 - A. Actitud parcialmente previsoras (...)
 - B. Actitud escasamente previsoras (80)
 - C. Actitud fatalista, conformista y con desidia. (...)

Vulnerabilidad Política Institucional

Autonomía local.

- ¿Qué nivel de autonomía presenta las instituciones locales?
 - A. Total autonomía (...)
 - B. Autonomía parcial (...)
 - C. Escasa autonomía (80)
 - D. No existe autonomía (...)

Liderazgo político.

- ¿Qué cantidad de respaldo presenta la población frente a las instituciones?

- A. Aceptación y respaldo total (...)
- B. Aceptación y respaldo parcial (...)
- C. Aceptación y respaldo Minoritario (80)
- D. No hay aceptación ni respaldo (...)

Participación ciudadana.

- ¿Qué nivel de participación tiene la población frente a un desastre?

- A. Participación total (...)
- B. Participación mayoritaria (...)
- C. Participación minoritaria (80)
- D. No hay participación (...)

Vulnerabilidad Científica y Tecnológica

Existencia de trabajos de investigación.

- ¿Qué cantidad de peligros fueron estudiados en el sector?

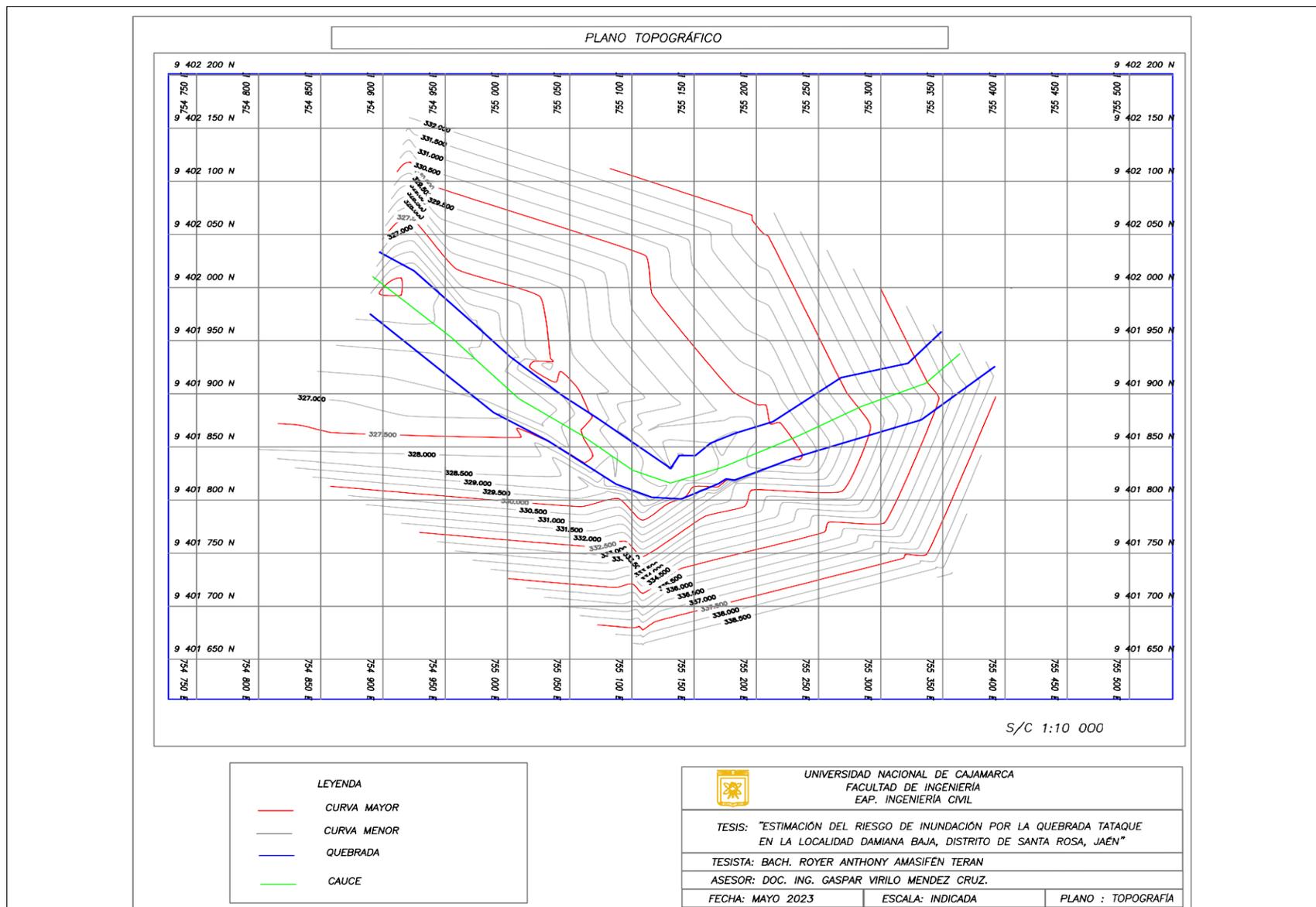
- A. La totalidad de los peligros naturales fueron estudiados (...)
- B. La mayoría de peligros fueron estudiadas (...)
- C. Existen pocos estudios (80)
- D. No existen estudios (...)

Participación de la población en los trabajos comunales.

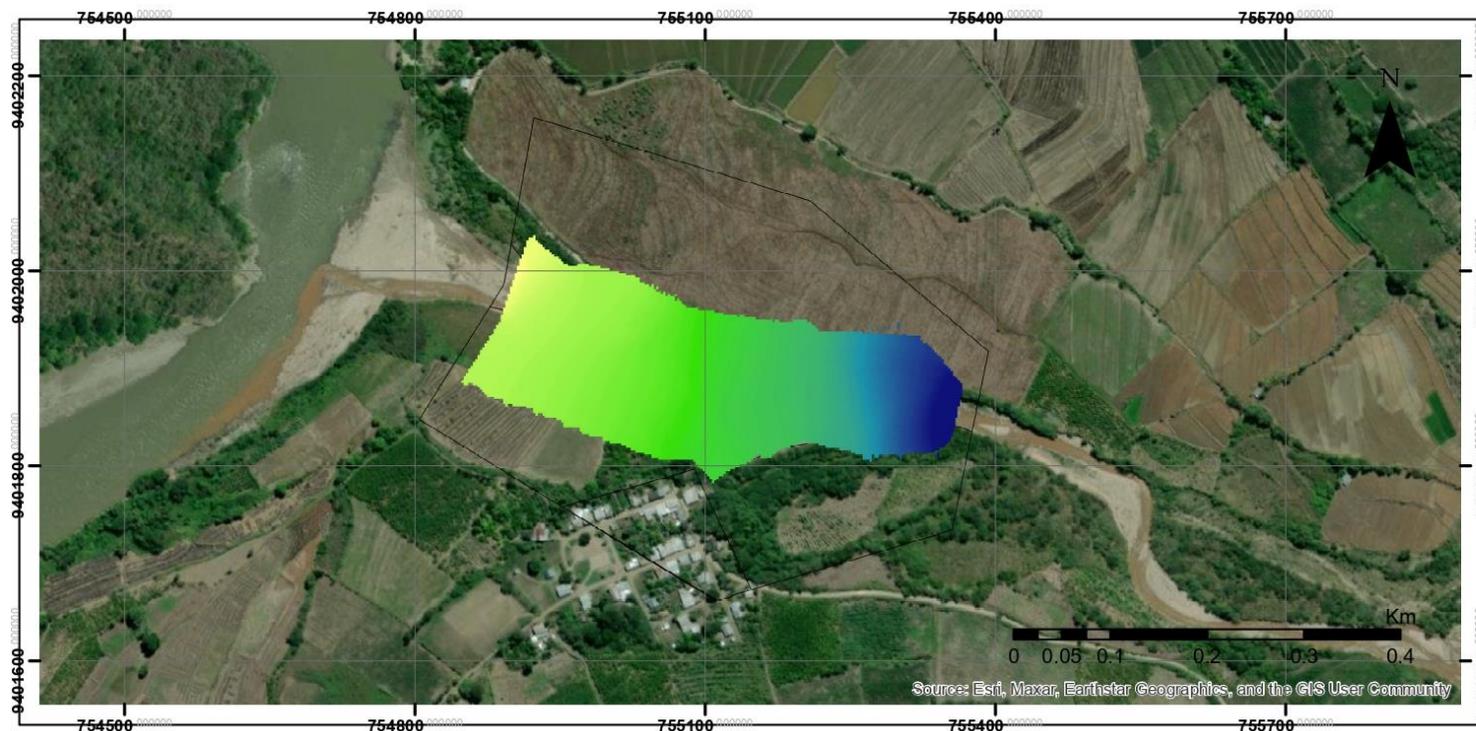
- ¿Qué cantidad de instrumentos de medición existe?

- A. Totalmente instrumentada (...)
- B. Parcialmente instrumentada (...)
- C. Escasos instrumentos (...)
- D. Sin instrumentos (80)

ANEXO 04. PLANOS



MAPA DE ATURA MÁXIMA DE COTA MSNM – TR=200 AÑOS, Q = 737.63 m³/s



LEYENDA

ALTITUDES

Valor(m)

High : 419.736

Low : 405.308



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. INGENIERÍA CIVIL



TESIS

"ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LA QUEBRADA TATAQUE
EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN."

TESISTA: BACH. ROYER ANTHONY AMASIFÉN TERÁN

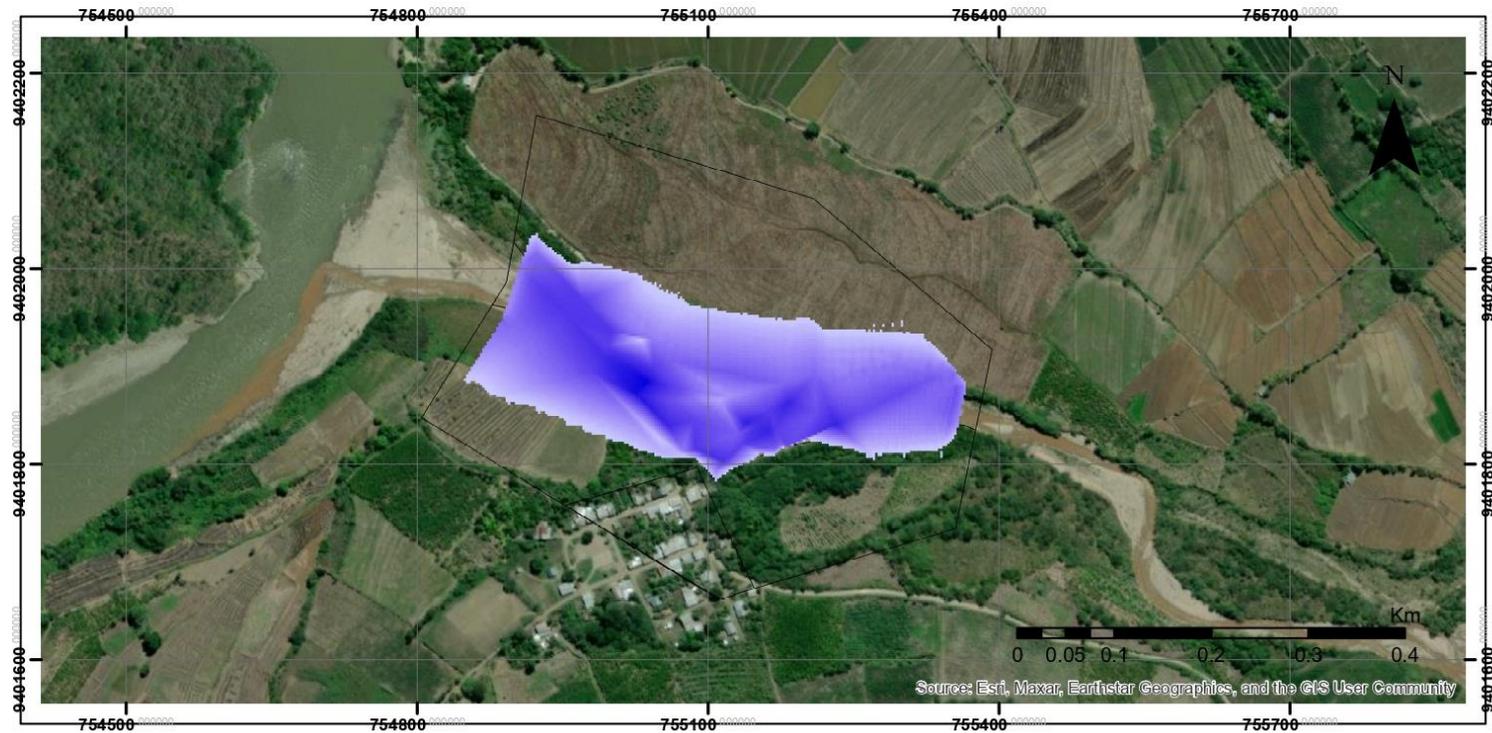
ASESOR: DOC. ING. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

FECHA : MAYO 2023

ESCALA : INDICADA

PLANO : LÁMINA 03

MAPA DE TIRANTES MÁXIMOS – TR=200 AÑOS, Q = 737.63 m³/s



LEYENDA

TIRANTE MÁXIMO (m)

Valor

High : 2.596m

Low : 0.001m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. INGENIERÍA CIVIL



TESIS

"ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LA QUEBRADA TATAQUE
EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN."

TESISTA: BACH. ROYER ANTHONY AMASIFÉN TERÁN

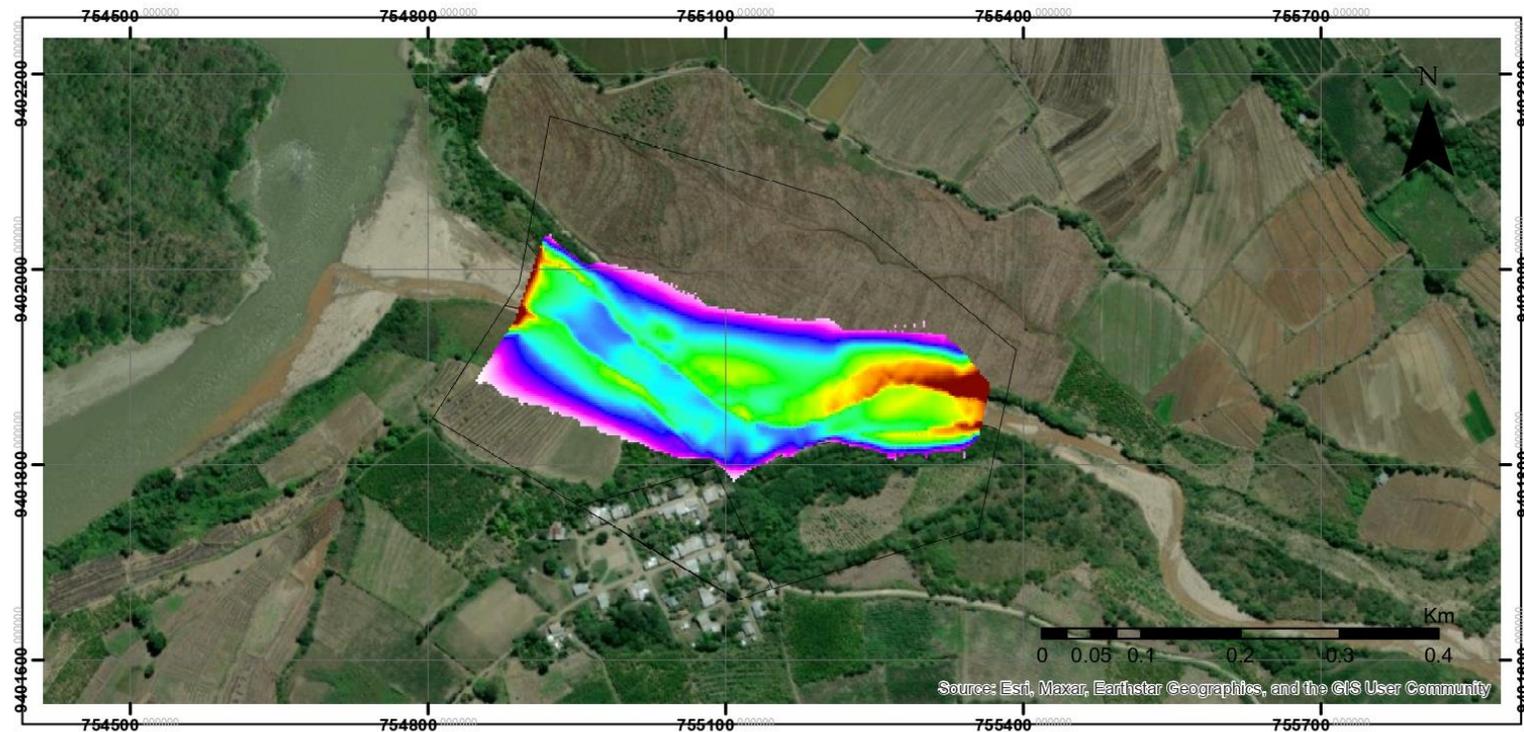
ASESOR: DOC. ING. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

FECHA : MAYO 2023

ESCALA : INDICADA

PLANO : LÁMINA 01

MAPA DE VELOCIDADES MÁXIMAS – TR=200 AÑOS, Q = 737.63 m³/s



LEYENDA

VELOCIDADES MÁXIMAS (m/s)

Valor

High : 15.8445



Low : 0.0514667



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. INGENIERÍA CIVIL



TESIS

"ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LA QUEBRADA TATAQUE
EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN."

TESISTA: BACH. ROYER ANTHONY AMASIFÉN TERÁN

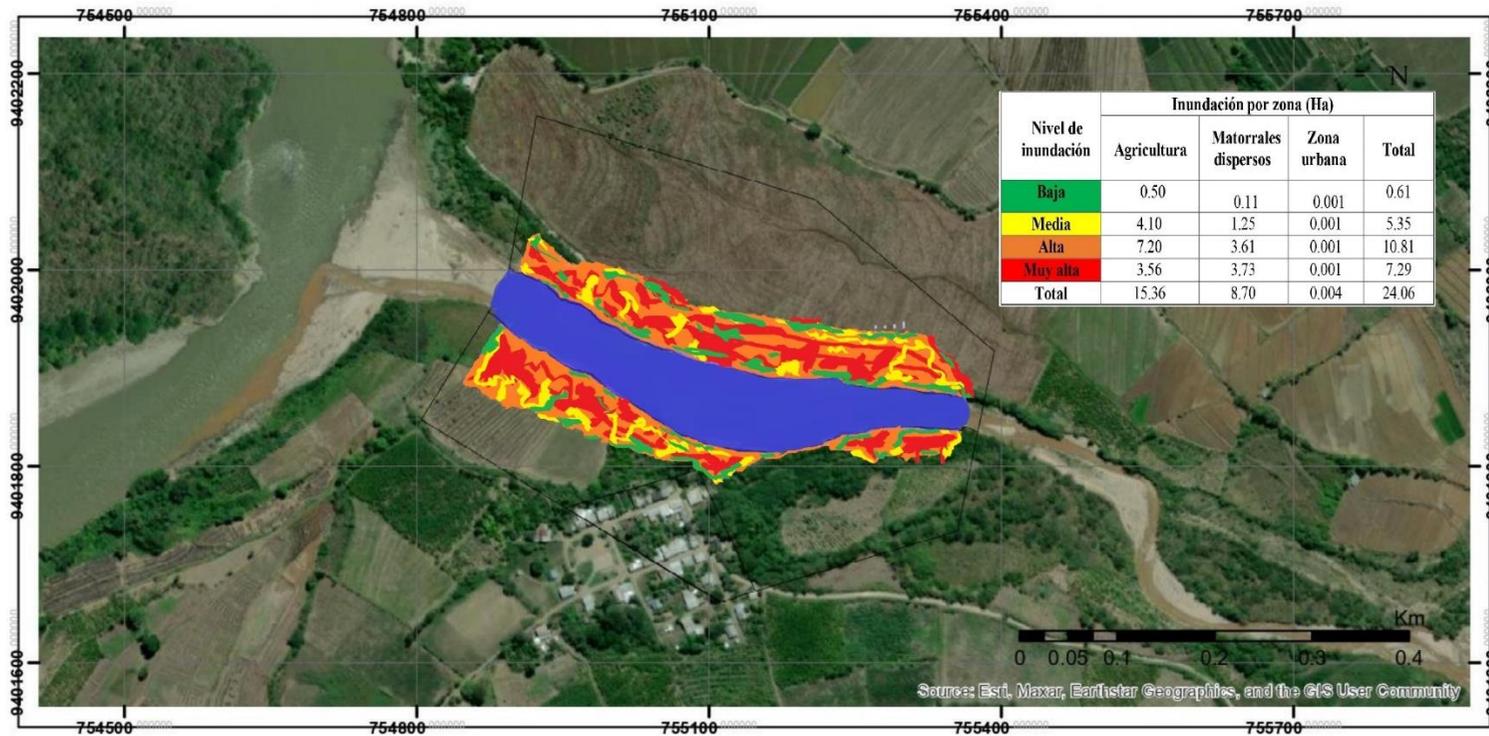
ASESOR: DOC. ING. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

FECHA : MAYO 2023

ESCALA : INDICADA

PLANO : LÁMINA 02

MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN – TR=200 AÑOS, Q = 737.63 m³/s



Leyenda

Nivel de inundación

- H < 0.25 (Baja)
- 0.25 < H < 0.50 (Media)
- 0.50 < H < 1.50 (Alta)
- H > 1.50 (Muy alta)
- Río



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. INGENIERÍA CIVIL



TESIS

"ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR LA QUEBRADA TATAQUE EN LA LOCALIDAD DE DAMIANA BAJA, DISTRITO DE SANTA ROSA, JAÉN."

TESISTA: BACH. ROYER ANTHONY AMASIFÉN TERÁN

ASESOR: DOC. ING. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

FECHA : MAYO 2023

ESCALA : INDICADA

PLANO : LÁMINA 04