

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS:

**“ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MODELAMIENTO
HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DE LA QUEBRADA TINGOMAYO EN LA CIUDAD DE
LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

Bach. CASAS OCAS GABRIEL

ASESOR:

Dr. Ing. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

CAJAMARCA-PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **GABRIEL CASAS OCAS**
DNI: 47560183
Escuela Profesional: Ingeniería Hidráulica
2. Asesor: **Gaspar Virilo Méndez Cruz**
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRAULICO BIDIMENSIONAL DE LA QUEBRADA TINGOMAYO EN LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, 2024
6. Fecha de evaluación: **25/01/2026**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **21 %**
9. Código Documento: **Old: 3117-549248854**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 28 de enero de 2026



FIRMA DEL ASESOR
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950



Firmado digitalmente por
BAZAN DIAZ Laura Tanya
FAJ 20148298001 v011
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 28/01/2026 07:59:46-0630

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0033-2026

TÍTULO : ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DE LA QUEBRADA TINGOMAYO EN LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, 2024.

ASESOR : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que a los **dos días del mes de marzo de 2026**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Vocal : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DE LA QUEBRADA TINGOMAYO EN LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA, 2024**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica **GABRIEL CASAS OCAS**, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 07 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS.

Decidido (En letras)

En consecuencia, se lo declara aprobado con el calificativo de Decidido.
Acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 11:30 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Presidente

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Vocal

M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Secretario

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Asesor

DEDICATORIA

Quiero dejar unas palabras que exprese mi más profunda gratitud, al todopoderoso nuestro Dios, por otorgarme salud, bienestar y permitirnos un día más de vida para poder alcanzar nuestros sueños. Agradezco, a mis padres Elvira Ocas Cholan y Noé Casas Linares y hermanos, por el apoyo en todo momento, por la motivación y sus consejos. Agradecer a mi familia, Mersy y Mady que son mi fuerza y mi motivación para ser mejor cada día.

Así mismo, me siento feliz de haber estudiado en la prestigiosa Universidad Nacional de Cajamarca de igual forma expreso mi gratitud para la E.A.P. Ing. Hidráulica, al equipo docentes que con su conocimiento y su guía ayudo a mi formación profesional, formando y tallando nuestro carácter y pasión por la carrera profesional.

Mi reconocimiento al Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz por si gran labor como asesor, gracias a su profesionalismo logro disipar mis dudas y poder completar este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Este logro académico es para quien yo me apoyo ya que me mostro apoyo incondicional e inagotable, al gran equipo de docentes y en especial a mi mentor de tesis. Gracias por la confianza depositada en mí, hoy presento este P.I. con el anhelo de que aporte soluciones prácticas.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del problema.....	1
1.1.3. Formulación del problema.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Justificación científica	2
1.2.2. Justificación técnica practico	2
1.2.3. Justificación institucional y personal	2
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4. LIMITACIONES.....	3
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes locales.....	5
2.2. MARCO CONCEPTUAL	6
2.2.1. Sistemas de información geográfica (SIG)	6
2.2.2. Hidrología	6
2.2.3. Cuenca hidrológica	6
2.2.4. Balance hidrológico	7
2.2.5. Precipitación	7

2.2.6. Intensidad de precipitación.....	8
2.2.7. Medidas pluviométricas.....	8
2.2.8. Crecida máxima probable	9
2.2.9. Coeficiente de escorrentía	10
2.2.10. Análisis estadístico	11
2.2.11. Análisis de frecuencia.....	13
2.2.12. Distribuciones de probabilidades aplicadas a la hidrología.....	15
2.2.13. Ajuste de la distribución y estimación de parámetros	15
2.2.14. Pruebas de bondad de ajuste.....	15
2.2.15. Hidrogramas.....	16
2.2.16. Estimación de la escorrentía superficial con datos de lluvia	17
2.2.17. Modelos de eventos	18
2.2.18. Tipos de flujo	18
2.2.19. Modelo digital de terreno	19
2.2.20. Modelo digital de elevaciones	19
2.2.21. Modelización numérica	20
2.2.22. Modelamiento con HEC-RAS	21
1.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINO BÁSICOS.....	25
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1. ZONA DE ESTUDIO	26
2.1.1. Cuenca de estudio	27
2.1.2. Descripción de sector de estudio.....	29
2.1.3. Descripción de estructuras existentes en el tramo de estudio	34
2.1.4. Descripción de viviendas vulnerables.....	36
2.2. MATERIALES Y EQUIPOS	38
2.2.1. Materiales	38
2.2.2. Equipos	39
2.3. HIPOTESIS.....	40
2.4. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	40
2.4.1. Variables.	40
2.4.2. Metodología de la investigación.	40
2.4.3. Estudio hidrológico.	40
2.4.4. Precipitación de Diseño para $Tr = 2, 5, 10, 25, 50$ Y 100 años.....	48
2.4.5. Análisis de Tiempo de retorno según la vida útil de estructuras existentes.....	55
2.4.6. Análisis del riesgo de falla admisible y el tiempo de retorno.	55
2.4.7. Cálculo del número de curva.....	56
2.4.8. Orden de los drenes Cuenca de aporte.....	60
2.4.9. Mapa de rugosidad n del suelo.....	60
2.4.10. Coeficiente de escorrentía.	61
2.4.11. Cálculo del caudal.	63

2.4.12.	Hidrograma Triangular SCS (Servicio de conservación de suelos).....	65
2.4.13.	Procesamiento de datos de la topografía.....	72
2.4.14.	Elaboración de TIN (Redes irregulares de Triángulos) y DEM.....	73
2.4.15.	Modelación hidráulica para HEC-RAS Versión 6.5.....	74
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		77
4.1.	RESULTADOS	77
4.1.1.	Escenario $QTingo. = 11.78m^3s$ y $QAport. = 5.54m^3s$, periodo de retorno 2 años.	77
4.1.2.	Escenario $QTingo. = 13.40m^3s$ y $QAport. = 6.30m^3s$, periodo de retorno 5 años... ..	79
4.1.3.	Escenario $QTingo. = 14.77m^3s$ y $QAport. = 6.94m^3s$, periodo de retorno 10 años.	81
4.1.4.	Escenario $QTingo. = 16.80m^3s$ y $QAport. = 7.90m^3s$, periodo de retorno 25 años.	83
4.1.5.	Escenario $QTingo. = 18.53m^3s$ y $QAport. = 8.71m^3s$, periodo de retorno 50 años.	85
4.1.6.	Escenario $QTingo. = 20.43m^3s$ y $QAport. = 9.60m^3s$, periodo de retorno 100 años.....	87
4.1.7.	Calibración del modelo hidráulico.	89
4.1.8.	Hidrogramas de salida al Rio Chonta.	95
4.1.9.	Mapas de tirantes.....	97
4.1.10.	Mapas de velocidades.....	101
4.1.11.	Matrices de peligrosidad	105
4.1.12.	Zonificación de las áreas inundables según los rangos de peligrosidad para los $Tr = 25$, 50, 100 años.	105
4.2.	DISCUSIÓN	109
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		112
5.1.	CONCLUSIONES	112
5.2.	RECOMENDACIONES	113
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS		114
6.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA	114
ANEXOS		118

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- FUNCIONALIDAD BÁSICA DE UN SIG	6
FIGURA 2. HIDROGRAMA ANUAL. FUENTE: (FATTORELLI S. & FERNANDEZ P., 2011).....	17
FIGURA 3. HIDROGRAMA DE CAUDAL. FUENTE (VILLÓN M., 2011).....	17
FIGURA 4.-DESCRIPCIÓN DE PROPIEDADES DE MALLA 2D EN HEC-RAS. (C.I.E. DE LOS EE.UU., 2021)	24
FIGURA 5.- DIAGRAMA DE DELAUNAY-VORONOI. (C.I.E. DE LOS EE.UU., 2021).....	24
FIGURA 6.- MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA QUEBRADA TINGOMAYO	26
FIGURA 7.- UBICACIÓN DE LA CUENCA TINGOMAYO.	27
FIGURA 8.- VEGETACIÓN, TIPO DE SUELO AL INTERIOR DE LA QUEBRADA TINGOMAYO Y UNA SECCIÓN IRREGULAR.	28
FIGURA 9.- SECCIÓN DE QUEBRADA TINGOMAYO AGUAS ARRIBA DEL PUNTO EMISOR.	28
FIGURA 10.- CARRETERA QUE CRUZA A LA QUEBRADA TINGOMAYO.	29
FIGURA 11.- CANALIZACIÓN DE QUEBRADA TINGOMAYO EN LA PROGRESIVA 2+165 KM.	29
FIGURA 12.-MARGEN IZQUIERDA DE LA QUEBRADA TINGOMAYO. OBSERVAMOS UNA CARRETERA DESDE LAS PROGRESIVAS 2+165 HASTA LA 2+490 KM.	30
FIGURA 13.- SE APRECIA A LA DERECHA DE LA QUEBRADA CON COLINDANTES CON CASAS.....	30
FIGURA 14.- EN LA MARGEN DERECHA SE UBICA LA URBANIZACIÓN LAGUNA SECA.	31
FIGURA 15.- ORIFICIOS DE INGRESO DE DOS ALCANTARILLAS QUE PASAN AL LARGO DEL JR. SINCHI ROCA EN LA PROGRESIVA 3+740 KM.	31
FIGURA 16.- ORIFICIOS DE EVACUACIÓN DE AGUA DE LA QUEBRADA TINGOMAYO HACIA EL RIO CHONTA.....	32
FIGURA 17.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA E IMAGEN SATELITAL DEL ÁREA DE ESTUDIO....	33
FIGURA 18.- VISTA PANORÁMICA DEL PUENTE EL RELOJ.	34
FIGURA 19.- VISTA PANORÁMICA DEL PUENTE EL CRUCE, Y PARTE DEL JR. LOS EUCALIPTOS.	34
FIGURA 20.- INTERSECCIÓN DE CANALIZACIÓN EN EL JR. EL SOL.	35
FIGURA 21.-AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE LA CANALIZACIÓN DE QUEBRADA Y ORIFICO DE SALIDA.	35
FIGURA 22.- CASAS DE CONCRETO CON UN MARGEN DE UN APROXIMADO DE 3 METROS Y CASAS ALEDAÑAS DE DIFERENTES MATERIALES.	36
FIGURA 23.- CASAS DE MATERIAL DE MADERA Y CASA DE ADOBE CON UN ESPACIAMIENTO APROXIMADO DE 3 METROS.	37
FIGURA 24.-CASAS CONSTRUIDAS CON CONCRETO, EN LA FRANJA MARGINAL DE LA QUEBRADA TINGOMAYO.....	37

FIGURA 25.- SE DETALLA LA CASA EN LA PARTE URBANA (ZONA RESIDENCIAL), SE OBSERVA COLOCARON 2 HILADAS DE LADRILLO PARA EVITAR DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA.	38
FIGURA 26.-PUNTO GEODÉSICO INSTALADO EN LA PLAZA DE ARMAS DE LOS BAÑOS DEL INCA.	39
FIGURA 27.- HISTOGRAMA DE BARRAS DE PRECIPITACIÓN Y LAS SERIES TEMPORALES EN AÑOS DE LA ESTACIÓN AUGUSTO WEBERBAUER.	46
FIGURA 28.- RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS CON DATOS AGRUPADOS DE PRECIPITACIÓN.	47
FIGURA 29.- INGRESO DE DATOS AL SOFTWARE HYDROGNOMON 4, EN COLUMNA LOS AÑOS Y LA PRECIPITACIÓN EN MM.	47
FIGURA 30.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 2 AÑOS.	49
FIGURA 31.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 5 AÑOS.	50
FIGURA 32.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 10 AÑOS.	51
FIGURA 33.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 25 AÑOS.	52
FIGURA 34.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 50 AÑOS.	53
FIGURA 35.- PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA UN INTERVALO DE RECURRENCIA DE 100 AÑOS.	54
FIGURA 36.- PLANO DE NC EN LA CUENCA TINGOMAYO	58
FIGURA 37.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=5 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 13.40 M3/S.	66
FIGURA 38.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=2 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 11.78 M3.....	66
FIGURA 39.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=10 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 14.77 M3/S.	67
FIGURA 40.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=25 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 16.80 M3/S.	67
FIGURA 41.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=50 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 18.52 M3/S.	68
FIGURA 42.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=100 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 20.42M3/S.	68
FIGURA 43.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=2 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 5.54 M3/S.	69
FIGURA 44.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=10 AÑOS Y UN GASTOL PICO DE 6.94 M3/S.....	70

FIGURA 45.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=5 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 6.30 M3/S.	70
FIGURA 46.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=50 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 8.71 M3/S.	71
FIGURA 47.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=25 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 7.90 M3/S.	71
FIGURA 48.- HIDROGRAMA TRIANGULAR SCS APLICADO A UN TR=100 AÑOS Y UN GASTO PICO DE 9.60M3/S.	72
FIGURA 49.- TIN (RED IRREGULAR DE TRIÁNGULOS), CREADA EN CIVIL 3D.	73
FIGURA 50.- CURVAS A NIVEL CREADAS A PARTIR DEL TIN.	73
FIGURA 51.- TRANSFORMACIÓN DE TIN A DEM. (MODELOS DIGITAL DE ELEVACIÓN), CREADA EN QGIS 3.40.2. CON FORMATO(.TIF)	74
FIGURA 52.- SE IMPORTA EL ARCHIVO .TIF DE NUESTRA TOPOGRAFÍA AL PROGRAMA HEC-RAS 6.5.	75
FIGURA 53.- SE CREA EL PERÍMETRO Y MALLADO DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA.....	75
FIGURA 54.- VISUALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DETALLE DE MALLADO EN ESTRUCTURA DE ENCAUZAMIENTO DE 0.5 M.	76
FIGURA 55.- VISUALIZACIÓN DE LÍNEAS DE RUPTURA PARA AFINAR EL CÁLCULO Y EVITAR ERRORES DE FALSOS DESBORDAMIENTOS.	76
FIGURA 56.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=2 AÑOS.	77
FIGURA 57.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 2 AÑOS.	78
FIGURA 58.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=5 AÑOS.	79
FIGURA 59.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 5 AÑOS.	80
FIGURA 60.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=10 AÑOS.	81
FIGURA 61.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 10 AÑOS.	82
FIGURA 62.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=25 AÑOS.	83
FIGURA 63.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 25 AÑOS.	84
FIGURA 64.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=50 AÑOS.	85
FIGURA 65.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 50 AÑOS.	86

FIGURA 66.- SE OBSERVA UN DESBORDAMIENTO ZONA DE LA CIUDAD DE LOS BAÑOS DEL INCA PARA TR=100 AÑOS.	87
FIGURA 67.- IMAGEN SATELITAL CON LOS RESULTADOS DE HEC-RAS PARA UN TR = 100 AÑOS.	88
FIGURA 68.- PUNTOS DE CONTROL EN VIVIENDAS CON HUELLAS HÍDRICAS.	89
FIGURA 69. VISTA PANORÁMICA DE LA CALLE WIRACocha DONDE SE UBICA EL PUNTO DE CONTROL 1.	90
FIGURA 70,. VISTA FRONTAL DE PUNTO DE CONTROL 1, MOSTRANDO LA HUELLA HÍDRICA.	90
FIGURA 71.-SE MIDE LA DISTANCIA DE 33 CM ENTRE LA VEREDA Y LA HUELLA HÍDRICA.	91
FIGURA 72.- SE OBSERVA LOS TIRANTES PARA TR=2, 5, 10, 25, 50, 100 AÑOS CON REFERENCIA AL PUNTO DE CONTROL 1.	91
FIGURA 73.- PERFIL TRANSVERSAL DE LA CALLE WIRACocha Y EL PUNTO DE CONTROL 1, LÍNEA ROJA ES EL TERRENO, TIRANTE DE AGUA ESTA CON SU LEYENDA.	92
FIGURA 74.- SE VISUALIZA LA HUELLA HÍDRICA EN LAS COLUMNAS DE COLOR BLANCO EN LA CALLE EL MUTUY CON LA INTERSECCIÓN CON LA CALLE EL MOLLE.	93
FIGURA 75.-LA HUELLA HÍDRICA ES DE 0.80 METROS EN LA CALLE MUTUY.	93
FIGURA 76.- SE OBSERVA LOS TIRANTES PARA TR=2, 5, 10, 25, 50, 100 AÑOS CON REFERENCIA AL PUNTO DE CONTROL 2.	94
FIGURA 77.-ANÁLISIS DE TIRANTES RESULTADO DEL MODELAMIENTO PARA DIVERSOS TIEMPOS DE RETORNO.	94
FIGURA 78.- PROGRESIVA 4+118 KM PARA EVALUAR LOS HIDROGRAMAS DE SALIDA. ...	95
FIGURA 79.-MAPA DE TIRANTE PARA TR= 5 AÑOS.	97
FIGURA 80.- MAPA DE TIRANTES TR=25 AÑOS.	98
FIGURA 81.- MAPA DE TIRANTES TR=50 AÑOS.	99
FIGURA 82.- MAPA DE TIRANTES TR=100 AÑOS.	100
FIGURA 83.- MAPA DE VELOCIDADES PARA UN TR=5 AÑOS.	101
FIGURA 84.- MAPA DE VELOCIDADES PARA UN TR=25 AÑOS.	102
FIGURA 85.-MAPA DE VELOCIDADES PARA UN TR=50 AÑOS.	103
FIGURA 86.-MAPA DE VELOCIDADES PARA UN TR=100 AÑOS.	104
FIGURA 87.- MAPA DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO, TR=25 AÑOS	106
FIGURA 88.- MAPA DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO. TR=50 AÑOS	107
FIGURA 89.- MAPA DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO. TR=100 AÑOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN FUNCIÓN DE COBERTURA VEGETAL, PENDIENTE Y TEXTURA. (MTC, 2012).....	10
TABLA 2.- PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO RECOMENDADO PARA ESTRUCTURAS MENORES.	14
TABLA 3.-LONGITUD DE LAS CURVAS A NIVEL	41
TABLA 4.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA CUENCA TINGOMAYO	42
TABLA 5.- PORCENTAJE DE ÁREA ENTRE CURVA Y CURVA DE NIVEL	43
TABLA 6.-ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUGUSTO WEBERBAUER.	45
TABLA 7.- PRECIPITACIONES MÁXIMAS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL.....	48
TABLA 8.- VALORES DEL NÚMERO DE CURVA Y ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CUENCA TINGOMAYO.	57
TABLA 9.- VALORES DEL NC Y ÁREA DE LA CUENCA APORTANTE 1.....	57
TABLA 10.-VALORES DE RUGOSIDAD CON QUE SE CONSTRUYE EL MAPA DE RUGOSIDAD DE LA CUENCA APORTANTE Y ÁREA DE ESTUDIO.....	60
TABLA 11.- COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y COBERTURA EXISTENTE EN LA CUENCA	61
TABLA 12.-COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA DE CUENCA APORTANTE.....	62
TABLA 13.- ANÁLISIS DE TIRANTE EN EL PUNTO DE CONTROL 1.....	92
TABLA 14.- ANÁLISIS DE TIRANTE EN EL PUNTO DE CONTROL 2.....	95
TABLA 15.- PARÁMETRO DE EVALUACIÓN DE PELIGRO POR INUNDACIÓN (FUENTE CENEPRED).	105
TABLA 16.-CATEGORÍA DE INTENSIDAD.	105
TABLA 17.- MATRIZ DE PELIGROSIDAD ENERGÍA DE FLUJO Y TR.	105

RESUMEN

La investigación propuesta se planteó como objetivo fundamental realizar la zonificación de las áreas inundables en la ciudad de Los Baños del Inca, afectada de manera recurrente por el desbordamiento de la quebrada Tingomayo. Para el estudio hidrológico, se procesó la data hidrológica de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, ubicando el punto emisor en el puente "El Reloj" (ubicado en la progresiva 1+953 Km del cauce principal), cuyas coordenadas geográficas son Este=781314.82 m y Norte=9206723.22 m (UTM WGS 84, Zona 17S). El área de estudio para la simulación hidráulica comprendió la parte urbana entre las progresivas 2+165 Km y 3+740 Km.

La investigación incluyó la estimación de caudales máximos para $Tr = 2, 5, 10, 25, 50$ y 100 años. No obstante, para la zonificación de riesgos se seleccionaron los escenarios de $Tr = 25, 50$ y 100 años, en relación con la normativa de vida útil para alcantarillado (MTC) y edificaciones de concreto (ANA/RNE). El modelamiento hidráulico se realizó en flujo no permanente bidimensional utilizando el software HEC-RAS 6.5. El modelo fue calibrado y validado mediante las huellas hídricas del evento de inundación del año 2017 (asociado a un $Tr = 5$ años), logrando una precisión global del 98%.

Los resultados indicaron que, ante un evento extremo de $Tr = 100$ años, la ciudad enfrenta un riesgo crítico con inundaciones que cubren 7.22 Ha en nivel bajo y 2.57 Ha en nivel alto, afectando viviendas e infraestructura pública esencial. Como propuestas de solución a esta problemática, se diseñó una estrategia integral de mitigación que prioriza medidas estructurales y de control de sedimentos. Se propone la construcción de un reservorio de amortiguamiento y una alcantarilla de alivio para mitigar y distribuir caudales pico, complementariamente se plantea la reforestación de la cuenca alta y la implementación de presas de sedimentación. Además, se plantea la optimización hidráulica de las alcantarillas existentes para corregir estrangulamientos de flujo, con esto se garantiza la protección de la población y la resiliencia de la infraestructura urbana.

Palabras clave: Modelamiento hidráulico bidimensional, HEC-RAS 6.5, Zonificación de Inundaciones, Gestión de Riesgos, Mitigación de Desastres.

ABSTRACT

The fundamental objective of this research was to conduct flood hazard zoning for the city of Los Baños del Inca, which is recurrently affected by the overflowing of the Tingomayo creek. For the hydrological study, data from the Augusto Weberbauer meteorological station were processed, establishing the emission point at "El Reloj" bridge (located at station 1+953 km of the main channel), with geographic coordinates East=781314.82 m and North=9206723.22 m (UTM WGS 84, Zone 17S). The study area for the hydraulic simulation encompassed the urban section between stations 2+165 km and 3+740 km. The investigation included the estimation of peak flows for return periods (Tr) of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years. However, for risk zoning, scenarios of $Tr = 25, 50$, and 100 years were selected, in accordance with the service life regulations for sewerage (MTC) and concrete structures (ANA/RNE). The hydraulic modeling was performed under two-dimensional unsteady flow conditions using HEC-RAS 6.5 software. The model was calibrated and validated using high-water marks from the 2017 flood event (associated with a $Tr = 5$ years), achieving an overall precision of 98%. Results indicated that, during an extreme $Tr = 100$ years event, the city faces critical risk, with flooding covering 7.22 hectares at low hazard levels and 2.57 hectares at high hazard levels, impacting housing and essential public infrastructure. As proposed solutions, a comprehensive mitigation strategy was designed, prioritizing structural measures and sediment control. This includes the construction of a detention basin and a relief culvert to mitigate and distribute peak flows; additionally, reforestation of the upper basin and the implementation of check dams for sedimentation are proposed. Furthermore, the hydraulic optimization of existing culverts is suggested to correct flow bottlenecks, thereby ensuring population protection and the resilience of urban infrastructure.

Keywords: Two-dimensional hydraulic modeling, HEC-RAS 6.5, Flood Zoning, Risk Management, Disaster Mitigation.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Contextualización

En la ciudad de Los Baños del Inca identificamos tres cuencas principales como son el río Chonta sus aguas fluyen de Norte a Sur, su caudal es variable ya depende de los meses lluvioso aumenta el caudal y en ausencia de lluvia disminuye; en las laderas de la ciudad existen dos quebradas “Mayopata” y “Tingomayo” las cuales ingresan a la ciudad en el caso de la quebrada “Mayopata” ingresa desde Este a Oeste y vierte sus aguas al canal de riego Remonta II, en el caso de la quebrada “Tingomayo” ingresa a la ciudad de Este a Oeste dicha quebrada esta canalizada un tramo en donde ingresa a la ciudad y desemboca sus aguas en el río Chonta.

En la ciudad de Los baños del inca tiene un grave problema que al activarse la quebrada Tingomayo genera inundación a lo largo de su trayectoria, eventos del 1992 y 1993 donde se generó eventos del fenómeno del niño fueron de gran magnitud generando graves daños dentro de las viviendas. Por otro lado, se registró la activación de la quebrada Tingomayo en los años 2017 y 2021 generando daños materiales y pérdidas económicas. Por lo que se zonifica las áreas inundables que genera la máxima avenida de la quebrada Tingomayo. La quebrada tengo mayo tiene un parte que tiene el cauce hasta la progresiva 2+160 km y a partir de ahí está el encauzamiento es de concreto.

Realizamos el estudio de la cuenca, así como el levantamiento topográfico respectivo para luego elaborar el estudio hidrológico y el modelamiento hidráulico de la quebrada con HEC RAS Versión 6.5, generando las zonas de inundación.

1.1.2. Descripción del problema.

Las permanentes y largas precipitaciones registradas en la parte alta de Shaullo chico en noviembre del 2017 y octubre del 2021 genero la activación y desbordamiento de la quebrada Tingomayo, afectando al menos 175 viviendas afectadas y 900 personas afectadas, en la ciudad de baños del inca (Informe de emergencia N° 854 - 24/11/2017/COEN - INDECI 15 : 30 Horas).

En el año 2021 teniendo otra tormenta que desencadeno otra inundación sobre el área urbana ocasionados daños en infraestructura de salud, comercio y en viviendas.

Este problema se ha identificado por entidades como INDECI, municipalidad distrital, notas de prensa y el clamor de la población afectada, los cuales nos impulsaron a realizar el estudio de investigación.

1.1.3. Formulación del problema

No existe zonificación de las áreas inundables ocasionadas por la máxima avenida de la quebrada Tingomayo en la ciudad de Los Baños del Inca.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Justificación científica

Esta investigación uso el modelamiento hidráulico con HEC RAS versión 6.5, brinda una representación precisa del comportamiento tanto de la quebrada Tingomayo como del fluido que transporta, así como de los tirantes, velocidades dentro de las áreas inundables. Nuestra investigación aporta datos sobre la dinámica de las inundaciones de la quebrada Tingomayo, lo que servirá como base para nuevos estudios en gestión de riesgos para la ciudad de Los Baños del Inca.

1.2.2. Justificación técnica practico

Este estudio de investigación nos brinda soluciones prácticas y reales a un problema que tiene la localidad de Los Baños del Inca. Los resultados del modelamiento nos ayudan a ubicar las zonas más expuestas a inundarse convirtiéndose en un instrumento técnico e indispensable para la gestión de riesgos y la proyección urbana.

1.2.3. Justificación institucional y personal

Nuestra investigación refleja el compromiso de la universidad nacional de Cajamarca frente a la realidad de la región de Cajamarca, siendo este proyecto un claro ejemplo de cómo la universidad brinda posibles alternativas de solución para identificar y mitigar las zonas de inundación de la cuidad de los baños del inca.

En lo personal, esta tesis viene a sintetizar parte de mi formación académica en las materias de hidrología e hidráulica con apoyo del software HEC RAS versión 6.5, el cual nos apoya a ver el comportamiento del problema y brindar analizar, modelar y proponer posibles soluciones.

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio solo se enfoca en el análisis de la cuenca de la quebrada Tingomayo, ya que en la ciudad de Los Baños del Inca tiene otra quebrada aportantes que es la quebrada Mayopata la cual también genera zonas de inundación diferentes vías de la ciudad de Los Baños del Inca.

Delimitación espacial se enfoca en la localidad de Los Baños del Inca, por donde pasa la trayectoria del cauce de la quebrada Tingomayo, desde la progresiva 2+165 Km hasta desembocar en el rio Chonta que es en la progresiva 4+118 km del cauce principal y las zonas colindantes al cauce de la quebrada.

Delimitación metodológica se basa en el modelamiento hidráulico bidimensional con el programa HEC RAS versión 6.5. La calibración de nuestro modelo hidráulico se realiza a través de huellas hídricas, resultado de la investigación en campo y los resultados de los modelamientos hidráulicos. Esta investigación se centra en la peligrosidad que genera el desborde de la quebrada Tingomayo.

Para el estudio hidrológico se empleó datos de precipitación máximas anuales en 24 horas de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, dichos datos proporcionados por el SENAMHI.

1.4. LIMITACIONES

Dado que en la quebrada Tingomayo no se cuenta con estaciones hidrométricas que nos generen datos pluviométricos dentro de Los Baños del Inca. Limitando la obtención intensidades en tramos de tiempos más cortos.

En el área de estudio no se cuenta con información de concentración de sedimentos ya que los datos pueden ser muy alterados debido a las actividades aguas arriba del cauce ya que la población no toma conciencia y suele rellenar el cuce de la quebrada ya sea para rellenar una carretera que cruza el cauce de la quebrada o desechando desmonte el cual altera el cauce. Por lo que las condiciones del modelamiento hidráulico se desarrollaron bajo un escenario de aguas limpias, excluyendo el transporte de sedimentos.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Zonificar las áreas inundables por el desborde de la quebrada Tingomayo, en la ciudad de Los Baños del Inca.

1.5.2. Objetivos específicos

- Consolidar la información geoespacial y el levantamiento del relieve del distrito de Los Baños del Inca (región Cajamarca).
- Analizar la información hidrológica de la estación Augusto Weberbauer.
- Estimar los caudales de máxima avenida de la quebrada Tingomayo para distintos periodos de retorno.
- Modelar Hidráulicamente la quebrada Tingomayo y su entorno.
- Delimitar las áreas propensas a inundación.
- Evaluar las medidas de mitigación para reducir potenciales por desborde de la quebrada Tingomayo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Galvis, 2019) En su investigación denominada “Determinación De Zonas De Inundación Mediante El Modelo Hidráulico Unidimensional Hec-Ras, En La Cuenca Media Del Rio Pamplonita, Tramo La Don Juana, Norte De Santander”, donde concluyó sobre el río Pamplonita que la combinación de actividades en la zona, la ocupación de la ronda hídrica y las características geológicas y topográficas hacen que la cuenca sea altamente vulnerable a inundaciones y avenidas torrenciales. Se determinó que la deforestación y el reemplazo de la cobertura ribereña por pastos agropecuarios han reducido el aforo de medición del agua, aumentando la erosión y la inestabilidad del terreno.

El análisis hidrológico e hidráulico, basado en datos del IDEAM y modelado con HEC-RAS, permitió identificar las áreas inundables para distintos periodos de retorno (2.33, 5, 25 y 100 años). Se evidenció que las inundaciones menores no generan mayores afectaciones, pero para eventos de 25 y 100 años, el área inundable alcanza hasta 1.20 ha, con aumentos significativos en el calado de agua y la velocidad del flujo, superando los 5 m/s en algunos tramos. Estas condiciones generan riesgos para las viviendas cercanas al cauce, con potenciales daños estructurales y socavación, lo que podría derivar en colapsos y afectar el bienestar socioeconómico de la población.

(Macchia M., 2023), en su investigación denominada “Modelización hidrodinámica bidimensional y riesgo Delaware Inundación mediante TIG: Potencialidades de aplicación para la cuenca urbana de la localidad de Tandil desde una Geografía Aplicada”, donde presenta la modelización hidrodinámica en 2D realizada para examinar el peligro de inundaciones en el fragmento urbano de Tandil ha presentado desafíos significativos. Este enfoque interdisciplinario permite abordar la complejidad de los procesos urbanos y su impacto en la vulnerabilidad. El estudio recalca la calidad de generar mapas que clasifiquen el peligro y la vulnerabilidad, facilitando la toma de decisiones en gestión y planificación. Se han utilizado diversas herramientas geo tecnológicas para integrar datos y mejorar la simulación de escurrimientos superficiales, considerando factores como la topografía, densidades urbanas y características del suelo. A pesar de las limitaciones, como la obtención de datos y la falta de instrumental, el estudio ofrece contribuciones metodológicas valiosas y resalta la necesidad de un enfoque completo en la optimización del riesgo a inundaciones, considerando las dinámicas urbanas y la adaptación a eventos hidrometeorológicos extremos. Este trabajo sirve como una guía para detectar y evaluar zonas potencialmente inundables, promoviendo la sostenibilidad ambiental y la planificación territorial efectiva.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(MENA P., 2017); En su investigación llamada “Modelamiento Hidráulico Bidimensional Del Río Rímac En El Sector Huachipa, Tramo Km. 27+450 Al Km. 28+525”. Se efectuó un estudio hidrológico en la cuenca del río Rímac, determinando un gasto máximo de 271.2 m³/s para un lapso de tiempo de retorno de 140 años, lo que provocó desbordes hacia la margen izquierda en Huachipa. El área afectada fue de 3.94 ha según IBER y 5.39 ha en HEC-RAS 2D, con diferencias significativas en las áreas inundadas. La zona crítica de desbordes se identificó entre las estaciones 0+637.34 y 0+957.13, donde se registraron los picos de velocidades y tirantes. A pesar de una disparidad mínima en los caudales máximos (menos del 2%), el modelo IBER mostró mayores caudales, mientras que HEC-RAS 2D generó tirantes máximos superiores en ciertos tramos. Ambos modelos mostraron tendencias similares, aunque variaron en resultados debido a la geometría de la malla y las simplificaciones en sus ecuaciones hidrodinámicas. La modelación bidimensional se ajustó a las condiciones del tramo estudiado, evidenciando la importancia de considerar las características del cauce natural en los cálculos hidráulicos.

(Alvarez G. & Moreno C., 2021); En su trabajo de investigación nombrada “Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de HEC-RAS 2d en la zona urbana del río Piura”. Se Concluye que la solución para mitigar las inundaciones mediante la implementación de estructuras verticales, como son los muros de contención, que logran reducir el área de inundación hasta

el 78% para un gasto con periodo de retorno de 10 años, protegiendo las áreas entre la presa Los Ejidos y el Open Plaza. Sin embargo, persisten áreas de inundación entre el centro comercial Open Plaza y el viaducto Sánchez Cerro. Para eventos de mayor periodo de retorno, la mitigación disminuye, logrando solo un 22% de reducción debido al caudal extremo. La modelación con HEC-RAS da una concordancia del 75% con eventos históricos, reflejando la efectividad de las obras propuestas. El cálculo de gastos para distintos periodos de retorno sugiere que las obras de contención deben ser proporcionales al incremento del caudal. A pesar de las medidas implementadas, las inundaciones persisten, lo que indica la necesidad de ejecutar obras en partes aguas arriba de la represa para reducir significativamente el caudal en eventos de más de 100 años.

2.1.3. Antecedentes locales

(Villena K., 2018); En su investigación nombrada “Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del río Chonta tramo de la alameda La Chonta distrito de Los Baños del Inca”. Se concluye que las áreas inundables de alta peligrosidad a lo largo de la margen del río Chonta, incluyendo lugares como Alameda la Chonta y Laguna artificial La Isla, con calados mayores a 1.5 metros. Las áreas con peligrosidad media, como la Plaza de Armas de los Baños del Inca, presentan calados menores a 1.5 metros. Se utilizó información cartográfica del satélite ASTER y levantamientos topográficos para identificar estas áreas. La caracterización del río Chonta reveló un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.033 en su tramo no encausado y de 0.034 en el encausado, afectando el comportamiento hidráulico. Se modelaron intensidades máximas de precipitación, obteniendo valores de 9.513 mm/h, 9.977 mm/h y 10.205 mm/h para escenarios de vida útil de 25, 40 y 50 años, respectivamente. Los caudales máximos calculados fueron de 369.62 m³/s, 387.64 m³/s y 396.53 m³/s. Se concluyó que la reducción del cauce en el puente Chonta es la principal causa de inundaciones, y se recomendó recuperar el ancho natural del río en lugar de aumentar la altura de los muros de contención existentes.

(Hernández J., 2018). En su tesis titulada “Zonificación De Áreas Inundables De La Localidad De Santa Bárbara Ocasionado Por Avenidas Extraordinarias De La Quebrada Sambarbamba – Baños Del Inca”. Se determinó que la cuenca hidrográfica de la quebrada Sambarbamba abarca 15.32 km² y presenta un lecho principal de unos 11.29 km con pendiente del 6.72%. Se calcularon los gastos de 53.41, 66.06, 72.39 y 79.33 m³/s para los tiempos de retorno de 10 años, 50 años, 100 años y 200 años, equitativamente, con un riesgo de falla del 25%. El modelamiento hidráulico reveló áreas afectadas por desbordamientos de 3.07, 4.01, 4.89 y 6.39 ha para los mismos periodos de retorno, siendo la margen derecha la más perjudicada, especialmente en el lugar de Santa Bárbara. Las áreas críticas de colapso se identificaron con tramos que aumentan en longitud según el tiempo de retorno, alcanzando hasta 561 m en el borde derecho para un Tr de 200 años. Estos resultados indican un riesgo significativo de inundación por avenidas extraordinarias en la zona.

(Chávez C., 2021) en su tesis con título “Diseño de Gaviones Tipo Caja en Zonas Vulnerables de la Quebrada Tingomayo, Cajamarca, 2021”. Se menciona que las comunidades cercanas al lecho de la quebrada Tingomayo enfrentan un alto grado de vulnerabilidad, ya que los identificadores de vulnerabilidad real no se verifican adecuadamente. Se estima un coeficiente de escorrentía de 0.50, basado en la cobertura vegetal y características geomorfológicas del área considerando 15.32 km². Se

identificaron franjas con riesgo de inundación por crecidas extraordinarias en la ciudad de Baños del Inca, con áreas afectadas por desbordamientos de 3.07 ha, 4.01 ha, 4.89 ha y 6.39 ha para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente. Los caudales vinculados a estos periodos de retorno indican un aumento en el potencial de inundación. Para mitigar este riesgo, se plantea el esbozo estructural de gaviones tipo Caja, utilizando el programa River, debido a su firmeza, adaptación y porosidad, adaptándose así a las situaciones específicas de la quebrada Tingomayo.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

“Un SIG es un sistema de hardware, software, personas, organizaciones, almacenaje, análisis y distribución de información de territorios de la tierra.” (Deuker K. & Kjerne D., 1989).

Los SIG se tiene cinco módulos básicos: datos, software, hardware o información geográfica.

- “Datos: Simbolizan la situación geográfica y son en núcleo vital del SIG.
- Hardware: Elementos informáticos físicos diferentes que gestionan y ejecutan grandes bases de datos gráficas.” (Amaya J., 2010)
- “Software: grupo de programas informáticas didácticos para elaboración, ordenar, mantenimiento y utilización de la base de información. Los softwares son herramientas creados con fines funcionales que nos ayudan a crear mapas, y nos personalizar las aplicaciones, así como y cartografía en internet, con las posibles descargas de datos, consultas y análisis de forma remota a través de dispositivos fijos o móviles.” (Marqués J., 1996)
- Personas: Los consumidores de otras disciplinas, que utilizan el sistema.
- “Organización: La organización ha ido incrementado su importancia ya que el SIG desarrollaba en complejidad y se duplicaban los usos en el mundo.” (Del Bosque G., Fernández F., Martín, M., & Pérez A., 2012)

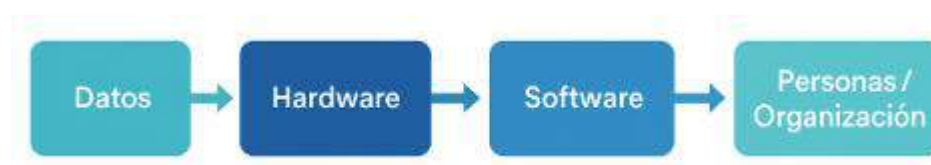


Figura 1.- Funcionalidad básica de un SIG

2.2.2. Hidrología

“Estudia al agua, como se genera, transporte y distribución en la zona global, sus cualidades físicas y químicas, así como el vínculo con nuestro entorno y los seres vivos que nos rodean.” (Chow V., 1964)

2.2.3. Cuenca hidrológica

“Es un área ubicada en el plano terrestre en donde esta si fuese impermeable las gotas de lluvia que precipitan sobre esta tienden a deslizarse por el sistema de colectores hacia la única salida.” (Aparicio M., 1992)

“La cuenca hidrográfica se puede decir que es un sistema que tiene como principal factor de ingreso a la lluvia, y en el paso por la cuenca se acumula en caudal, evapotranspiración, flujo sub-superficial y percolación. Las salidas mencionadas son en menor medida en el marco de una precipitación repentina, pero son significativos con respecto al flujo base.” (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

“La cuenca de drenaje de un flujo es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se acoplan para crear un solo recorrido de agua. Cada recorrido de agua posee una cuenca bien delimitada, para cada lugar de su recorrido.” (Villón B., 2011)

2.2.4. Balance hidrológico

“El Balance Hidrológico evalúa de los ingresos, las salidas y las diferenciaciones en la acumulación de una masa de agua en un específico período de tiempo.” (UNESCO, 2012)

“Al evaluar el recurso del agua en una cuenca es preciso fijar un balance hídrico, así nos ayuda a identificar el ciclo hidrológico y nos permite predecir permutaciones de régimen de los ríos y arroyos.” (Marini M.& Piccolo M., 2000)

Se obtiene un buen análisis del balance hídrico de las cuencas cuando existe información. Las ecuaciones de cálculo están orientada a cuantificar la salida y entrada de agua en un lapso, con unidades de volumen por unidad de tiempo.

$$(P + C) - (Q + Et) \pm M = \Delta S_s + \Delta H + \Delta G \quad \dots(1)$$

Donde:

P: Precipitación.

C: Es el agua Atmosférica que es interceptada por la vegetación.

Q: Es la escorrentía generada por la cuenca.

Et: Es la Evapotranspiración.

M: Es los aprovechamientos hidráulicos, siendo positivo ingresa agua de otra cuenca, negativo cuando exporta agua.

Ss: Es el almacenamiento superficial.

H: humedad del suelo.

G: Es el almacenamiento subterráneo del acuífero. (León G., 2005)

2.2.5. Precipitación

“Es común, indicar que la palabra hace referencia a todos los tipos de humedad emanadas de la atmosfera y acumuladas en la superficie terrestre, tales como granizo, lluvia, nieve, neblina, rocío o helada.” (Sáenz G., 1995)

Creación de las precipitaciones

Los elementos obligatorios en la creación de las precipitaciones se visualizan a continuación:

- Radiación solar
- Presencia de núcleos higroscópicos para que haya condensación.
- Humedad atmosférica.
- Mecanismo de enfriamiento del aire.
- Mecanismo de crecimiento de las partículas. (Te Chow V., Maidment D., & Mays L., 1994)

La precipitación son las gotas que se desplazan hacia la superficie por acción de la fuerza gravitatoria, formadas por vapor de agua que por fuertes corrientes verticales descendentes enfrían al aire, predominante sobre la ascendente dan origen a la lluvia, granizo y la nieve. (Breña A. & Jacobo M., 2006)

Las nubes cumplen un ciclo antes de convertirse en precipitación, el vapor de agua es arrastrado por corrientes de aire, enfriándose y a la vez uniéndose en micropartículas de agua haciéndose cada vez más grande para luego precipitarse a la superficie. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

2.2.6. Intensidad de precipitación

La intensidad es la cuantía de precipitación (altura de lluvia) precipitada en un tiempo fijo y se expresa generalmente (lámina/tiempo), la herramienta nos permite calcular la intensidad de las lluvias en un determinado tiempo es el pluviógrafo. (Román J., 2022)

La aproximación de la intensidad de lluvia se realizó dividiendo el número de la elevación de lluvia por el intervalo considerando. Para calcular la intensidad pico, se observan diversos lapsos de tiempo que se cuantifican en las estaciones pluviográficas, logrando un valor pico para cada lapso. (Breña A. & Jacobo M., 2006)

2.2.7. Medidas pluviométricas

Se simboliza por la cantidad de lluvia, Δh , como la altura caída y almacenada en una área plana e impermeable. Estas mediciones se pueden realizar con pluviómetros y los pluviógrafos.

- “Altura pluviométrica, en mm.
 - Intensidad de precipitación.
 - Duración es el intervalo de tiempo en horas, como el inicio de la precipitación hasta el fin.”
- (Sáenz G., 1995)

DATOS FALTANTES

Para encontrar los datos faltantes usamos distintos métodos, y a su vez estos métodos hacen uso de fórmulas empíricas interactuando distintas variables hidrológicas. (Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D.; Sanguesa, C., León, L., Balocchi, F., 2009)

Método de la relación normal

En hidrología se utilizan series continuas, por lo que cuando no se tienen datos, se realiza algunos cálculos con la siguiente fórmula, con datos de otras estaciones pluviométricas cercanas. (Sáenz G., 1995)

Cuando la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones cercanas es diferente al 10%, se usa esta fórmula:

$$PX = \frac{\overline{PX}}{N} \left[\left(\frac{PA}{\overline{PA}} \right) + \left(\frac{PB}{\overline{PB}} \right) + \dots + \left(\frac{PN}{\overline{PN}} \right) \right] \quad \dots(2)$$

Donde:

$\overline{PA}, \overline{PB}, \overline{PN}$ y $\overline{PX}$: Media de las lluvias anuales registradas en un determinado tiempo.

N : Número de estaciones durante el período que falta en X .

$PA, PB, \dots, PN$: Precipitaciones anuales registradas en un determinado período. (Romero A.& Casimiro W., 2015)

Método del promedio aritmético

Este método utilizado lluvias son menores de un año, se debe tener en cuenta la ubicación de la estación, esta tiene que estar ubicada en el centro de tres estaciones y tiene que ser zonas no montañosas: (Romero A.& Casimiro W., 2015)

$$P_x = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \quad \dots(3)$$

Donde:

n : Número de las estaciones.

P_i : Precipitación de las estaciones alrededor de la estación x .

ANÁLISIS DE DOBLES MASAS

Método que grafica que representa la lámina de lluvia anual acumulada con relación de la media anual de una reducida cantidad de estaciones cercanas, para comprobar la homogeneidad de los valores en una estación pluviométrica en el caso de lluvia, este tratamiento de datos debe de tener consistencias y filtrado visual para el control de la consistencia temporal. (Aparicio F., 1992)

Las gráficas de doble masa son utilizadas para analizar la consistencia de datos en lapsos de tiempo. Comparando serie de a estudiar con una serie patrón esta tiene que estar libre de problemas de homogeneidad, tendencia o cambio. Se realiza una comparación gráfica en las abscisas los datos acumulados de la estación modelo y en ordenadas de datos almacenados de la estación. (Lobo L., 2004)

2.2.8. Crecida máxima probable

Es aquel incremento causado por la inflexible combinación de condiciones meteorológicas e hidrológicas. En primer lugar, se tiene que analizar la precipitación máxima probable, la Organización Meteorológica Mundial nos encarga el uso del método de base física, siendo necesaria valores meteorológicos tal temperatura del punto de rocío velocidad de la humedad y viento. (Dussaubat S. & Gonzales J., 2011)

Calculada la precipitación máxima promedio, como consecuencia de la maximización de las tormentas analizadas disponible en la atmósfera en un intervalo de tiempo; se considera las curvas de distribución

de precipitaciones, así como lluvias para distintas duraciones y diferentes probabilidades de excedencias. (Vargas X., 1999)

2.2.9. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro adimensional que cuantifica la proporción de la precipitación total que se convierte en flujo superficial. Matemáticamente, se expresa como el cociente entre el volumen de agua que escurre y el volumen total de agua caída sobre una superficie en un intervalo de tiempo específico. (Chow V., 1964)

$$C = \left(\frac{V_{\text{escorrentía superficial total}}}{V_{\text{precipitado total}}} \right)_{\text{intervalo de tiempo}} \quad \dots(4)$$

Se muestran diferentes datos de coeficientes de escorrentía en las tablas 1.

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 1 Coeficiente de escorrentía en función de cobertura vegetal, pendiente y textura. (MTC, 2012)

Si la cuenca se compone de superficies de distintas características, el valor de C se obtiene como una media ponderada, es decir:

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \dots(5)$$

Donde:

C= coeficiente de escorrentía ponderada

C_i = coeficiente de escorrentía para el área A_i

A_i = Area parcial *i*

n= Numero de áreas parciales (Villon M., 2002)

Correlación entre la cantidad máxima de escorrentía directa y la intensidad media de lluvia en una tormenta. Un coeficiente de escorrentía igualmente se define como la correlación entre la escorrentía y la precipitación en un intervalo tiempo.

Si $\sum_{m=1}^M R_m$ es la precipitación total y r_d la correspondiente profundidad de escorrentía, entonces se puede definir como: (Chow V., 1964)

$$C = \frac{r_d}{\sum_{m=1}^M R_m} \quad \dots(6)$$

Donde:

M: Cantidad de lapsos de lluvia que contribuyen a la escorrentía directa.

r_d : Profundidad de escorrentía directa sobre la cuenca.

R_m : Precipitación (pulgadas) en un intervalo de tiempo m. (Chow V., 1964)

2.2.10. Análisis estadístico

- **Variables aleatorias**

La variable aleatoria X(t) es cuando los datos de una variable se asemejan a una distribución de probabilidad. Las conocer a las variables aleatorias es necesario saber los posibles valores y la probabilidad de ocurrencia. (Ochoa C., Molina M., & Ortega E., 2019)

- **Series de tiempo**

Es la cantidad de un evento en forma discreta a tramo de tiempo. En el análisis estadístico de una serie puede aumentarnos el conocimiento de un fenómeno a estudiar, o un modelamiento matemático con el objetivo de representar diferentes situaciones que se presentaron en los registros históricos. (Fernández B., 1985)

- **Parámetros estadísticos**

El fin de la estadística es sacar la información de un conjunto de datos, reducen y limitan la cantidad de datos. Un parámetro estadístico va a caracterizar a una determinada distribución. (Del Pino S., 2008)

Medidas de tendencia hacia un valor central de la serie

Media aritmética(μ) es el primer instante cerca del origen. Sin embargo, nos brinda información de la muestra, pero no caracteriza toda la variable aleatoria. Dependerá mucho del tamaño de muestra que se elija, por lo que la media no es un parámetro real en referencia a la población. Se computa mediante la siguiente ecuación: (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

$$\bar{x} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \dots(7)$$

Donde:

x_i es valor observado de la variable.

N es el número de observaciones.

Promedio geométrico: se calcula con la siguiente expresión:

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n} \quad \dots(8)$$

Mediana (M): Si la variable aleatoria X y F(x) la función de distribución acumulada, la solución de x es F(x)=0.5, a estos se le conoce como mediana. (Béjar M., 2006)

Moda: es el valor que se repite con mayor frecuencia. De esta manera el valor que más se repite es el valor de X y maximiza f(x). (Béjar M., 2006)

Los tres parámetros ya mencionados (La media aritmética, la mediana y la moda) son similares para distribuciones simétricas. Para series pequeñas, se usa la mediana.

En hidrología hay muestras de distintos tamaños $N_1, N_2, N_3, \dots, N_R$ y se calcula con el promedio ponderado de todas las muestras, de la siguiente manera: (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^k (N_i x_i)}{\sum_{i=1}^k N_i} \quad \dots(9)$$

Medidas de dispersión

Estas miden en cuanto difieren los datos entre sí. Está a su vez nos permitir describir un conjunto de datos identificando su posición y su dispersión. (Ricardi F., 2011)

Desviación media ($D_{\bar{x}}$): Este indicador de dispersión, calcula el grado de distancia o diferencia media, de cada elemento de la muestra con referencia al término medio central. Se expresa por la siguiente formula.

$$D_{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N - 1} \quad \dots(10)$$

Desviación estándar (σ): indicador de dispersión nos ayuda identificar las variaciones de cada valor con referencia a la media aritmética y tienen las mismas unidades que los datos observados. Se expresa de la siguiente manera: (Rosales D., Púa J., & Herrera R., 2017)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad \dots(11)$$

La varianza: Es el valor de dispersión que se consigue al promediar cada una de las mediciones de un conjunto de datos con relación a la media. No usa las mismas unidades, sino que utiliza

las medidas al cuadrado, se puede calcular con la siguiente formula: (Mayorga R., Reyes S., Baltazar R., & Martínez A., 2021)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad \dots(13)$$

2.2.11. Análisis de frecuencia

Es necesario saber la posibilidad que ocurra un evento de determinadas dimensiones, para realizar diseño de una buena estructura y drenaje apropiados. El diseño hidrológico tiene dos reglas fundamentales las cuales son la seguridad y economía. En el caso de seguridad debe resistir el mayor evento extremo que puede ocurrir y en lo económico se deben justificar con los periodos de retorno o un nivel de seguridad tolerable en función del deterioro que su falla pueda causar. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

- **Frecuencia acumulada y frecuencia relativa**

El número de valores de una clase se le denomina frecuencia de la clase y la segmentación entre el tamaño N de la muestra es la frecuencia relativa de clase. Esta frecuencia considerada como función de las marcas de clase, se le denomina frecuencias de la muestra, y se representa como f(x). La función de la frecuencia acumulada de la modelo se expresa como F(x), y se reduce como: (Villón M., 2006)

$$F(x) = \sum_{t \leq x} f(t) \quad \dots(14)$$

Período de retorno

En hidrología, cada población de datos posee una distribución de probabilidad propia que suele ser desconocida de un inicio. Aunque al utilizar con una muestra aleatoria característica, se asume que su comportamiento estadístico manifiesta fielmente el del espacio muestral completo. El objetivo fundamental del análisis de frecuencias es aproximar el periodo de retorno vinculado a eventos de una magnitud específica. Para conseguirlo se emplea la frecuencia experimental, que consiste en asignar a cada dato de la serie un valor basado en su posición jerárquica. Este proceso requiere organizar los registros de la siguiente manera: De mayor a menor: Cuando el interés se centra en eventos máximos (avenidas o caudales pico). De menor a mayor: Cuando se analizan eventos mínimos (sequías o caudales de estiaje). A cada dato se le asigna un número de orden (m = 1, 2, 3, ..., N), donde N es el tamaño total de la muestra, permitiendo así el cálculo de probabilidades empíricas. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

La fórmula más conocida es de Weibull

$$P(x) = \frac{m}{N + 1} \quad \dots(15)$$

Donde:

m: Es la perspectiva que se ubica a un evento que depende de la secuencia ordenada de los eventos 1, 2, 3, ..., N.

N: Es el tamaño de la muestra.

La inversa de $P(x)$ se nombra tiempo de retorno o (T_R). El periodo de retorno de un evento de una magnitud determinada es el intervalo entre un evento de determinada magnitud puede ser igualado o excedido. Si la muestra de la variable si nos hace referencia a un año, un mes, o una estación, el T_R estará indicando a un período y se cuenta en años, meses o estaciones climáticas. (Yevjevich V., 1982).

Es importante saber el riesgo de falla en el periodo de vida útil de una estructura.

Si la probabilidad de ocurrencia anual (probabilidad de excedencia), P , de un evento es:

$$P = \frac{1}{T_R} \quad \dots(16)$$

y la probabilidad de no ocurrencia (probabilidad de no excedencia) es:

$$P' = 1 - P \quad \dots(17)$$

La probabilidad de que un evento igual o mayor a uno dado, para determinado T_R , ocurra en n años es:

$$j = 1 - (1 - P)^n$$

$$j = 1 - (P')^n \quad \dots(18)$$

Existe una fórmula que puede aproximar con:

$$T_R = V_U \left(\frac{1}{j} - \frac{1}{2} \right) \quad \dots(19)$$

Donde: V_U es la vida útil de la estructura considerada, en años.

j es el riesgo de falla que es adimensional. (Yevjevich V., 1982).

Tabla 2.- Período de retorno de diseño recomendado para estructuras menores.

Tipo de estructura	Período de Retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 -100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5 - 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 - 2
Drenaje urbano	2 - 10
Muros de encauzamiento	2 - 50

Fuente: (Villón M., 2011).

2.2.12. Distribuciones de probabilidades aplicadas a la hidrología

Se obtiene un tiempo de retorno para el caudal de diseño del proyecto, resulta fundamental que el caudal de diseño sea extrapolado con los caudales picos anuales observados, dado que es inusual que este intervalo sea menor al periodo de registro. (Villón M., 2011)

En el campo de la estadística hay múltiples funciones de distribución de probabilidades teóricas, por lo que se escogen las que mejor se ajusten a nuestro problema a analizar en hidrología:

- o Normal.
- o Lognormal.
- o Pearson tipo III.
- o Gumbel.
- o Funciones para dos poblaciones.
- o Exponencial.
- o Gamma.
- o Log-Pearson tipo III.
- o Binomial
- o Poisson (Fattorelli & Fernandez, 2011)

Las más usadas para variables aleatorias es la función normal y log normal, abarcando la totalidad del intervalo de datos de los resultados aleatorios de problema a analizar. El modelo Gumbel se emplea en análisis de datos atípicos (gastos máximos o mínimos anuales).

La totalidad de los modelos probabilísticos en hidrología tienen un eje principalmente empírico, de un registro limitado de datos. Dichas funciones requieren la determinación de coeficientes basados en el muestreo. Si el valor del parámetro de la distribución es reducido, dicha función no será maleable al arreglo y si el valor es excesivo, la fiabilidad de ciertos coeficientes disminuirá. (Sáenz G, 1995)

2.2.13. Ajuste de la distribución y estimación de parámetros

Estas pruebas de ajuste tienen dos categorías: analíticos o/y visual El proceso de datos analítico con efecto analítico- visual es adjunto en los softwares recientes. Con frecuencia la información de parámetros que ajustan la distribución mediante 3 metodologías analíticas: Técnica de los momentos, técnica de mínimos cuadrados, técnica de máxima verosimilitud. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

2.2.14. Pruebas de bondad de ajuste

En los ensayos de bondad de ajuste, en donde se corroboran visualmente y con ayuda de la estadística, cuando frecuencia de lapsos de tiempo, se asemejan a la función de probabilidad teórica, indicando las medidas estimadas y con base en los datos muestrales. (Villón M., 2006)

Los Ensayos de bondad de ajuste miden la certidumbre de la suposición estadística, califica el acto de admitir un dato aleatoria semejante a una posible función probabilidad (Villón M., 2006). Ji²/cuadrado y Kolmogorov-/Smirnov, determinan si hay certezas para admitir o refutar las suposición realizadas para elegir determinadas distribuciones. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

- **Test de Chi-cuadrado (χ^2)**

Se utiliza cuando vamos a contrastar hipótesis provenientes de distribuciones de frecuencia, o sea compara repeticiones observadas con repeticiones esperadas en concordancia con la suposición nula.

$$\chi^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad \dots (20)$$

Donde:

o_i : Es cada frecuencia observada.

e_i : Es cada frecuencia esperada. (Ricardi F., 2011)

- **Test de Kolmogorov-Smirnov (K-S)**

“Se basa en la semejanza entre funciones de distribución acumulativa y se estudia la muestra ordenada y distribución teórica definida en la hipótesis nula.” (Contreras K., Juárez B., Hernández J.&Reyes K., 2021)

“Con este procedimiento, se mide la diferencia máxima entre la posición grafica de los datos experimentales ($P(x_i)$) la distribución acumulada teórica ($F(x)$). Teniendo un tipo de n valores $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ en ascendente orden o descendente y sus ubicaciones de visualización dadas por $P(x_i) = m/n+1$, se consigue el gráfico de una anterior distribución empírica. Después, $F(x)$ es efectivo valor de la distribución teórica la mayor disconformidad se define como:” (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

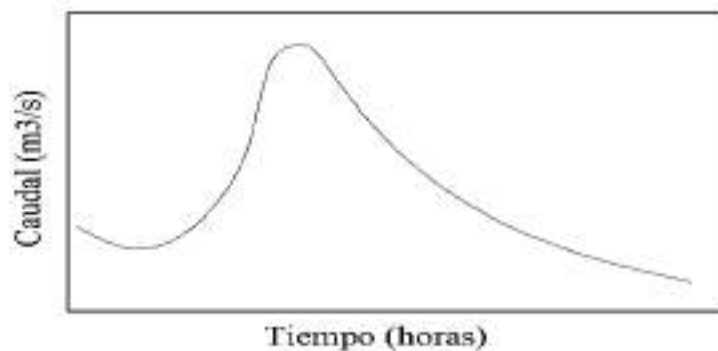
$$D_o = \max[F(x) - P(x_i)] \quad \dots (21)$$

Donde:

D_o : Valor máxima desviación comparando la curva experimental con la teórica.

2.2.15. Hidrogramas

El hidrograma es la visualización de una variación de gasto en el tiempo (esto puede variar de horas a años) de los caudales que pasan por un cauce.



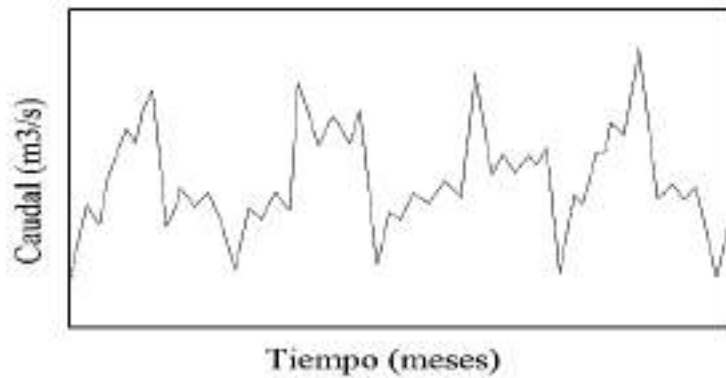


Figura 2. Hidrograma anual. Fuente: (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

La parte bajo la curva bajo es el volumen de agua que atravesó el punto de medición, en un determinado tiempo luego convertido en hidrograma. La morfología irregular de las cuencas, la característica espacial y estacional de la precipitación, el alcance de la infiltración, representan a los hidrogramas de uno o varios picos máximos (gasto máximo). (Villón M, 2011)

- o Hidrograma unitario.
- o Hidrograma unitario sintético.
- o Hidrograma S. (Breña A. & Jacobo M., 2006)

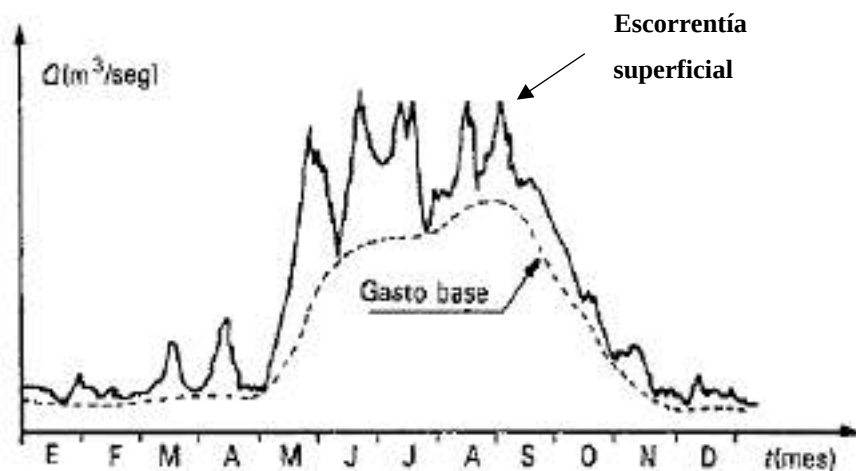


Figura 3. Hidrograma de caudal. Fuente (Villón M., 2011)

2.2.16. Estimación de la escorrentía superficial con datos de lluvia

Es común que la escorrentía superficial es el resultado hidrológico a la precipitación de gran intensidad (Triviño A. & Ortiz S., 2004).

Es el un fragmento de lluvia que logra infiltrarse en el suelo. Por lo que se puede decir que, si la intensidad de lluvia es menor que la cantidad de infiltración, no se producirá escorrentía superficial, pero si se genera escorrentía superficial cuando la cantidad de infiltración del terreno es mucho más baja que la intensidad de lluvia. (Chow V., 1964)

- **Fórmula racional modificado**

Método racional calcula el pico de escorrentía ocasionada por una precipitación se genera cuando la duración de la lluvia es equivalente al tiempo de concentración (t_c). Si la condición anterior sucede, entonces esto quiere decir que toda la cuenca aporta con el gasto en el punto emisor. Cuando la duración es más que el tiempo de concentración, aporta toda la cuenca, y si la intensidad de la precipitación es baja, por ser más alto que la duración y, por lo tanto, el caudal es bajo. (Villón M., 2011)

Cuando el tiempo de precipitación es menor que el tiempo de concentración la intensidad de lluvia es alta, pero el instante que la lluvia termina, las gotas caídas en el límite más alejado tardan en llegar al punto de control; por lo que contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía, por ende, el caudal es menor. El caudal máximo se calcula con la fórmula: (Villón M., 2011)

$$Q = 0.278CIAK \quad \dots (22)$$

Donde:

Q: gasto máximo ($\frac{m^3}{s}$)

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad máxima de la lluvia (mm/hr)

K: Coeficiente de uniformidad.

A es el área de la cuenca, en Km^2 . (MTC, 2012)

o *Tiempo de concentración (t_c)*

Es el tiempo que reacciona una cuenca para que agrupe la generación de flujo en el punto de salida, dicho de otra manera, tiempo que le toma a una gota de agua trasladarse desde la ubicación más alejada del perímetro de la cuenca hasta el punto de drenaje. (Vélez J. & Botero A., 2011)

2.2.17. Modelos de eventos

Los modelos de eventos estudian específicamente la elaboración de hidrogramas de crecida durante un periodo. Podemos considera un humedecimiento del suelo por una precipitación anterior, pero su estructura no contempla un balance hídrico continuo. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

2.2.18. Tipos de flujo

Flujo permanente y no permanente. Aquí influye el tiempo para este análisis. Flujo permanente cuando la sección y la velocidad media es uniforme a través del tiempo. En materia de flujo no permanente también conocido como flujo impermanente es cuando la variación de volumen en el tiempo es diferente de cero, otras palabras cuando varia la sección y la velocidad media no son uniformes en el tiempo. (Ávila G., 2002)

Flujo uniforme y variado. En el análisis influye el espacio para la clasificación. El flujo uniforme existe cuando la velocidad media es uniforme, a pesar cambien la sección de canal, por esta razón se dice que el área hidráulica y tirante se mantienen uniformes en cualquier parte del canal. El flujo variado es cuando

la velocidad media no es constante en todo el canal, esto se puede dar por la variación de las secciones del canal o por la presencia de cambios en el terreno, etc. (Ávila G., 2002)

Flujo laminar y turbulento. Aquí influye la inercial con la resistencia viscosa, a esta relación entre ambos componentes ya mencionados, da lugar al número de Reynolds (Cadavid J., 2006)

$$R = \frac{Vl}{\nu} \quad \dots (23)$$

Donde:

V es la velocidad media de la corriente.

l es la longitud clave, en superficie libre es igual al radio hidráulico; en conductos circulares presurizados aquí remplazamos con el diámetro.

ν es la viscosidad cinemática. (Cadavid J., 2006)

El cálculo del valor de Reynolds lo usamos para determinar el flujo como:

Flujo laminar.

Flujo de transición.

Flujo turbulento. (Cadavid J., 2006)

Flujo subcrítico y supercrítico. La relación entre la inercia, gravedad y la masa, se mide con el número de Froude.

El flujo es crítico cuando $F=1$

El flujo es subcrítico cuando $F<1$, se puede decir que el flujo es tranquilo.

El flujo es supercrítico cuando $F>1$, se puede describir que el flujo es rápido o torrencial. (Ávila G., 2002)

2.2.19. Modelo digital de terreno

Es una organización numérica de valores y datos que simbolizan la repartición espacial de una variable cuantitativa y continua, dichos datos se aproximan al relieve de un territorio. En cartografía el MDT es equivalente a decir modelo digital de elevación (MDE), mediante los datos de las cotas se describe la elevación, con esto se indica que se pueden construir modelos derivados. (Felicísimo A. , 1994)

2.2.20. Modelo digital de elevaciones

El significado de modelo digital de elevación tiene dos significados. El primero, es una agrupación de medidas, que estas son las elevaciones de la superficie terrestre, un simple conjunto de elevaciones no es un DEM, lo que lo convierte en DEM es la georreferenciación que son el norte y el este. El segundo significado es que el DEM son datos de elevación que tiene una ubicación específica en una cuadrícula regular, esta cuadrícula puede ser de forma cuadrada, triangular o de forma rectangular. (FISHER P.& TATE N., 2006)

En los MDE el número z simboliza la altitud, que esta acompañados de valores de y e x , mencionados en un sistema de proyección geográfica. Los MDE se dividen en dos grupos: vectorial y ráster. En el caso de modelo ráster se aplica al caso SIG, se considera como una agrupación de puntos identificados, sin asumir precisamente que el carácter se determina a una altitud uniforme con su celda cuadrada. (Felicísimo A. , 1994)

Modelo vectorial: contornos.

El vector como unidad principal los cuales están conformados por pares ordenados como son x , y , esta marca las trayectorias de las isométricas. Dado que la longitud del vector es variable, esta estructura nos permite incorporar curvas a nivel complejas as su vez estas conformadas por ordenadas con una densidad considerable para que nos garantice que el modelo sea preciso, podemos indicar que estos vectores de un solo elemento. Lo que se busca es tener una determinada coherencia estructural y se pueda localizar espacialmente un punto mediante coordenadas. (Felicísimo A., 1994)

Modelo vectorial: redes de triángulos irregulares (TIN).

Esta estructura se conforma por una red de triángulos irregulares creados al ajustar un plano sobre tres puntos vecinos no colineales. Estos elementos se integran sobre el terreno creando un mosaico continuo semejante a la superficie real variando su densidad y agregando un nivel de precisión que se asemeja a la compleja topografía de nuestro relieve. (Felicísimo A., 1994)

Modelo ráster

Tiene una forma matricial, el cual de adopta a la topografía de en forma una de pixeles esto indica la superficie, dichos pixeles tiene datos de altitud en cada una de las celdas, esta a su vez se representan por un valor puntual. (Parrot J. & OchoaV., 2005)

2.2.21. Modelización numérica

“Es la utilización de teorías hidráulicas del flujo en contacto con la superficie de la atmosfera y el uso de los métodos numéricos para solucionar las distintas ecuaciones de conservación, cada día los ordenadores se han posicionado con mayor velocidad para resolver cálculos complejos y mejor apariencia del software con el usuario. La simulación numérica es una herramienta de los últimos tiempos orientadas para la modelización de inundaciones.” (Bladé E. , Cea L., & Corestein G., 2014)

Discretización Espacial

“La modelización numérica es un mapa simple del entorno, en el caso de ríos se representa por la topografía del cauce y parte del área de inundación. Las herramientas de modelización numérica pueden ser unidimensional (1D), bidimensional(2D), en consecuencia, el número de dimensiones no implica que se obtenga mejores resultados, sino que los resultados depende fundamentalmente de las ecuaciones que se resuelvan, una discretización espacial, condiciones de contorno y rugosidades de la superficie.” (Bladé E. , Cea L., & Corestein G., 2014)

Modelos bidimensionales

En dos dimensiones las superficies son representadas por un mallado que toman la forma de un conjunto de polígonos regulares como irregulares, estructurada o no estructurada. Las superficies para que sean representadas con mayor fiabilidad a la realidad, se utilizan las mallas irregulares con pequeñas dimensiones. En la actualidad está teniendo mayor aceptación debido a que genera un resultado más preciso a comparación que el modelamiento unidimensional. Este modelamiento utiliza dos dimensiones como puede ser la latitud y la longitud, es por ese motivo que nos brinda mejores resultados. (Bladé , Cea, & Corestein, Modelización numérica de inundaciones fluviales, 2014). Las ecuaciones utilizadas en el modelamiento bidimensional son las de Saint Venant utilizadas para el análisis de ecuaciones del flujo variable de agua en lámina libre. (Castellet E., 2005)

Modelos tridimensionales

En el entorno del modelamiento de tres dimensiones se utiliza el método de volúmenes finitos ya las ecuaciones fundamentales de Navier-Stokes, ecuaciones de Reynolds formando esquemas numéricos complejos con dificultad para desarrollar hasta con las computadoras medias existentes en el mercado. (Castellet E., 2005)

2.2.22. Modelamiento con HEC-RAS

El cuerpo de ingeniero del ejército de los E.E.U.U. ha trabajado en el sistema de análisis de ríos a través de la creación y mejoramiento de HEC-RAS. El programa HEC-RAS es un programa de computador que realiza el modelamiento hidráulico de flujos constantes unidimensionales, flujos inestables 1D y 2D, modelar el cauce móvil del traslado de sedimentos, calidad de agua y estudio de temperatura de agua. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

El sistema HEC-RAS cuenta con los siguientes componentes hidráulicos:

Todos tienen la representación de información geométrica común y procesamiento de datos hidráulicos y geométricos.

- Cálculo del perfil de la superficie de agua en un flujo constante e inestable.
- modelamiento del flujo no estacionario tanto bidimensional y unidimensional.
- Cálculos del arrastre de sedimentos.
- Temperatura del agua y modelado de transporte de constituyentes. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

HEC-RAS ha evolucionado de tal manera que puede realizar modelamiento de flujo inestable bidimensional en la superficie computacional a través del método de onda de difusa, ecuaciones de aguas poco profundas (Shallow Water Equations-SWE-ELM) con un enfoque Euleriano lagrangiano que soluciona la advección o las ecuaciones de aguas poco profundas (SWE-EM) con enfoque Euleriano que conserva el momento, requiriendo tiempo más pequeño y produciendo tiempos prologados en la ejecución. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

Ecuaciones conservación.

El sistema de análisis de ríos utiliza las ecuaciones de conservación de masa (continuidad). (HEC-RAS, 2023)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad \dots (24)$$

Donde:

t= tiempo.

u = unidad de velocidad en x

v = unidad de velocidad en y

q= flujo de ingreso (+) y salida (-). (HEC-RAS, 2023)

Conservación del momento.

En la modelación se observa que la escala horizontal es mayor que la escala vertical, analizando la conservación del volumen resulta que la velocidad vertical es insignificante en comparación con las velocidades horizontales, por este motivo que en la ecuación de momento vertical de Navier-Stokes se logra demostrar que el fluido tiene una presión es casi hidrostática. Al simplificar la ecuación es adecuado un promedio vertical de la ecuación del impulso y despreciarse en las ecuaciones de masa y de momento obteniendo las ecuaciones de aguas poco profundas. (HEC-RAS, 2023)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} \quad \dots (25)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} \quad \dots (26)$$

Donde:

u, v: En las direcciones cartesianas representa las velocidades

g: Representa la aceleración gravitacional

z_s: Elevación de la superficie del agua.

v_{t,xx}, v_{t,yy}: Coeficiente de viscosidad de remolino horizontal en las direcciones x e y.

τ_{b,x}, τ_{b,y}: En x/y Esfuerzos cortantes inferiores.

R: Radio hidráulico.

τ_{s,x}, τ_{s,y}: Esfuerzos de viento en la superficie en las direcciones x e y.

h: Profundidad del agua.

f_c: Parámetro Coriolis.

p_a: Presión atmosférica. (HEC-RAS, 2023)

Aceleración

La aceleración euleriana se puede convertir en una aceleración derivado de Lagrangiano a lo largo que se desarrolla con el término de velocidad. (HEC-RAS, 2023)

$$\frac{DV}{Dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V \quad \dots (27)$$

Donde:

V : Vector velocidad (u, v).

∇ : operador de gradiente.

t : tiempo. (HEC-RAS, 2023)

DATOS GEOMÉTRICOS

La geometría nos permite identificar la forma del esquema fluvial, ingresando estructuras hidráulicas, secciones transversales, áreas de flujo bidimensional entre otros, HEC RAS en la actualidad tiene un sistema netamente geoespacial con el HEC-RAS Mapper. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

MALLA DE CÁLCULO EN DOS DIMENSIONES

En HEC RAS para el modelado en dos dimensiones se inicia realizando el mallado o cuadrícula donde se desarrollará el dominio. Cada celda dentro de la malla cuenta con tres características: (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

- Eje de celda (Cell Center): Aquí se realiza el cálculo de la superficie de agua.
- Caras de celda (Cell face): Es el límite de celda.
- Punto de cara de celda (Cell face Points): extremos de caras de celda y vincula el flujo 2D con una estructura lateral. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

La malla puede ser estructurada o no estructurada de formas geométricas triangulares, cuadriláteros o polígonos hasta de 8 u 8 lados como máximo, para obtener la forma de la superficie más fiable a la realidad. El método usado es el Delaunay que es un método de triangulación y después se elabora un esquema de Voronoi. (C.I.E. de los EE.UU., 2021).

Tamaño de celda esta se basa principalmente en la inclinación de la lámina de agua, ya que a menor pendiente no hay cambios bruscos y el tamaño de celda puede ser grandes, y en pendiente brusca el tamaño de celda será pequeñas por los cambios significativos en la geometría. (C.I.E. de los EE.UU., 2021). Se representa en la figura 5.

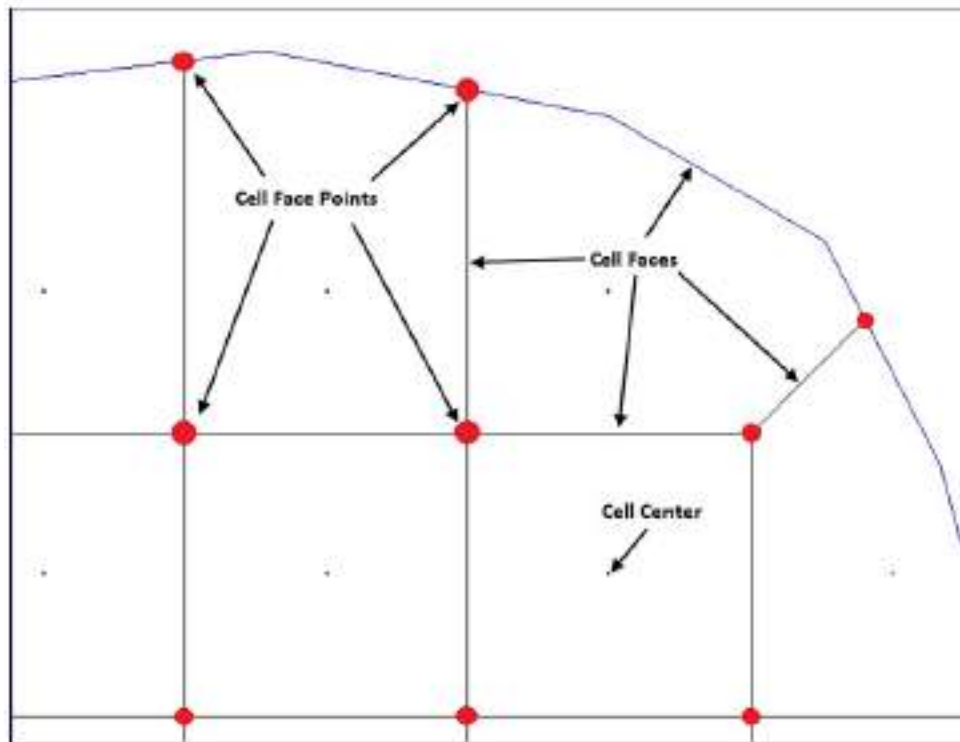


Figura 4.-Descripción de propiedades de malla 2D en HEC-RAS. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

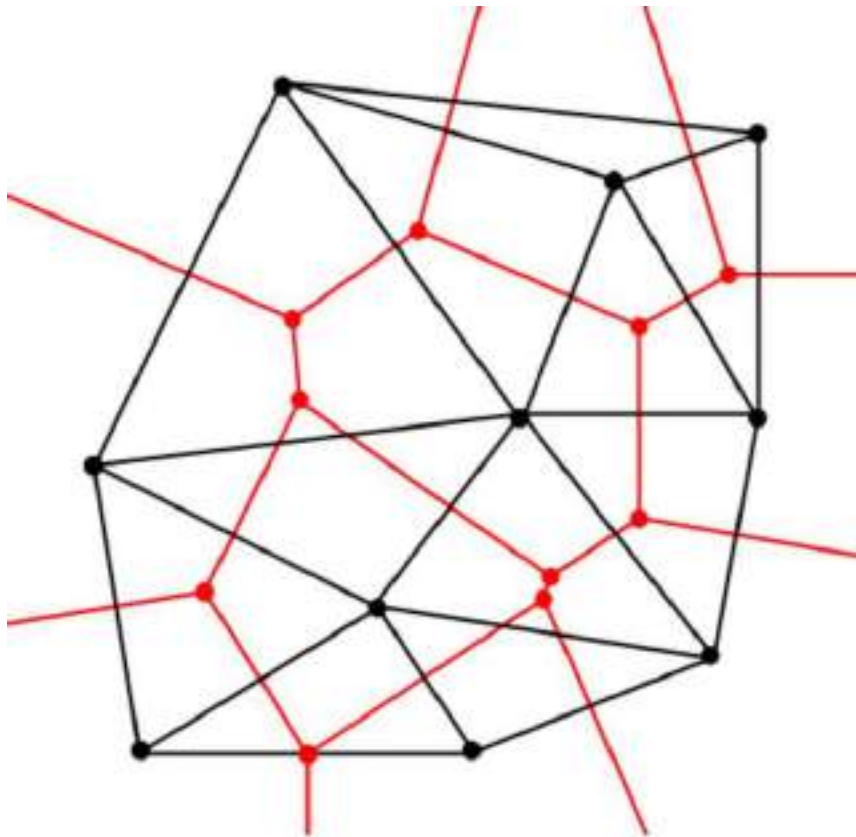


Figura 5.- Diagrama de Delaunay-Voronoi. (C.I.E. de los EE.UU., 2021)

1.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINO BÁSICOS

Caudal: Volumen de fluido observado desde punto de control en un río o canal en un lapso de tiempo (Villón M., 2011)

Cuenca: Área recibe la precipitación y se dirigen a curso de agua. (Villón M., 2002)

Hidrograma: Es una simbolización gráfica del gasto que pasa por una sección en lapso de tiempo. (Fattorelli S. & Fernandez P., 2011)

Inundación: “Desborde temporal de agua en un terreno normalmente seco, que causa pérdidas en la salud, daños en actividad económica e infraestructura.” (CENEPRED, 2014)

Peligrosidad: “Posibilidad que un fenómeno latentemente de origen natural o inducido por la acción humana se origine en una zona específica, con una intensidad, período de tiempo y frecuencia determinados.” (CENEPRED, 2014)

Máxima avenida: Es el máximo caudal que está vinculado a un periodo de retorno definido. (MTC, 2012)

Tiempo de retorno: “Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud cualquiera puede ser igualado o sobrepasado.” (Villón M., 2002)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ZONA DE ESTUDIO

DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

NORTE: 9207369.51 m

PROVINCIA: CAJAMARCA

ESTE: 780275.33 m

DISTRITO: LOS BAÑOS DEL INCA

COTA: 2660.00 m.s.n.m.

La influencia del estudio se realiza en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca distrito de Los Baños del Inca, se analiza la parte alta de la ciudad donde el crecimiento poblacional es acelerado, pasando de zonas de cultivo a zona de expansión urbana y en la parte inferior tenemos la ciudad de Los Baños del Inca por donde pasa la quebrada Tingomayo.

Este estudio tiene un área de influencia de la quebrada Tingomayo desde las progresivas 2+165 donde inicia la canalización de la quebrada a la progresiva 3+740 al costado del mercado en donde inicia la calle de Jr. Sinchi Roca, teniendo la quebrada una longitud total de 4.118 Km, donde finaliza y desemboca al río Chonta.

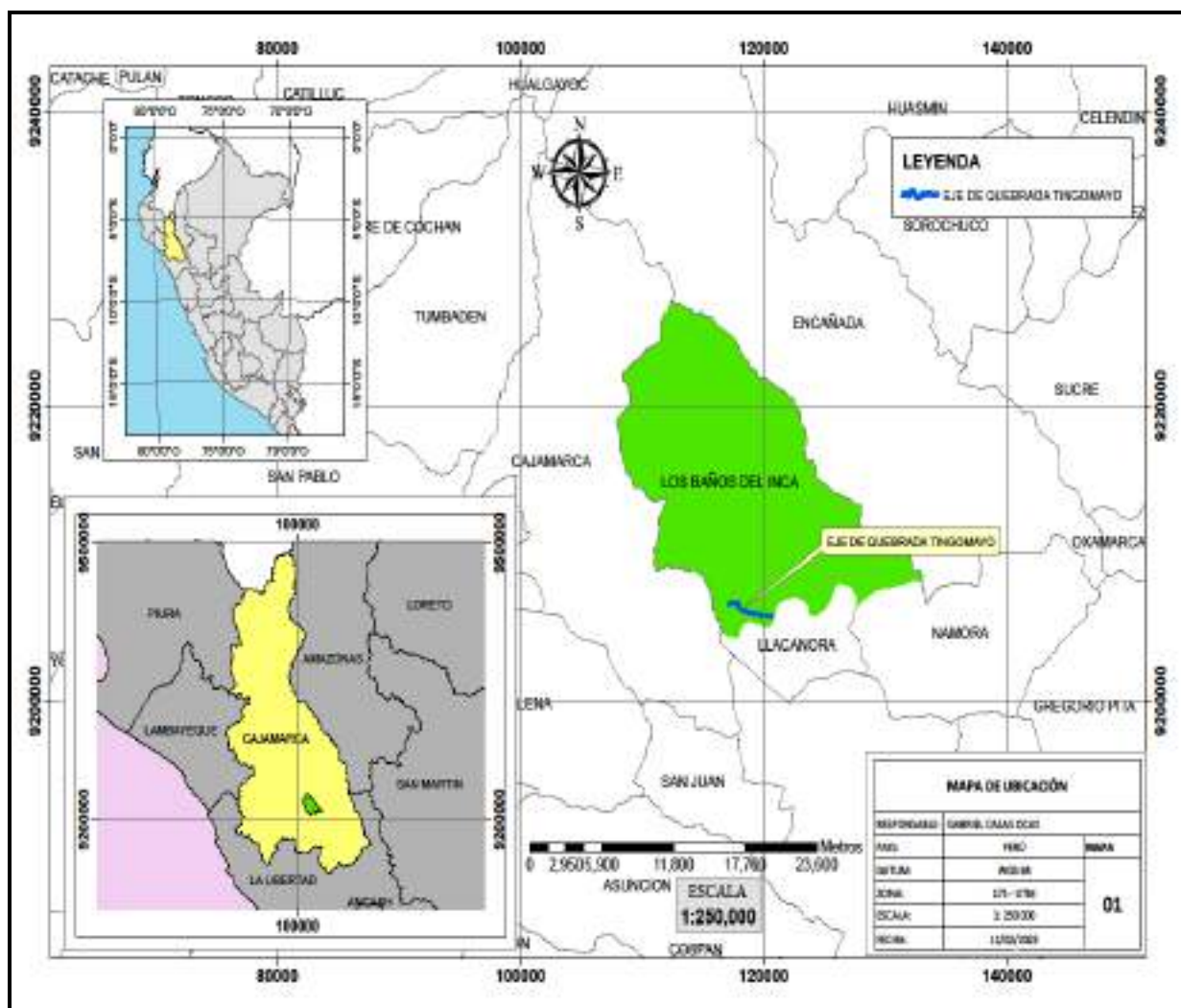


Figura 6.- Mapa de ubicación geográfica de la quebrada Tingomayo

2.1.1. Cuenca de estudio

La quebrada Tingomayo es una afluente a la cuenca de río Chonta a su vez pertenece a la vertiente del Atlántico, la cuenca que forma la quebrada pasa por el centro de la ciudad de los baños del Inca, por lo que se delimita para su estudio.

En los mapas hidrográficos la cuenca se localiza en la carta nacional 15-g, la cuenca de la quebrada Tingomayo se alimenta de la precipitación que genera la escorrentía superficial por las lluvias en la parte alta.

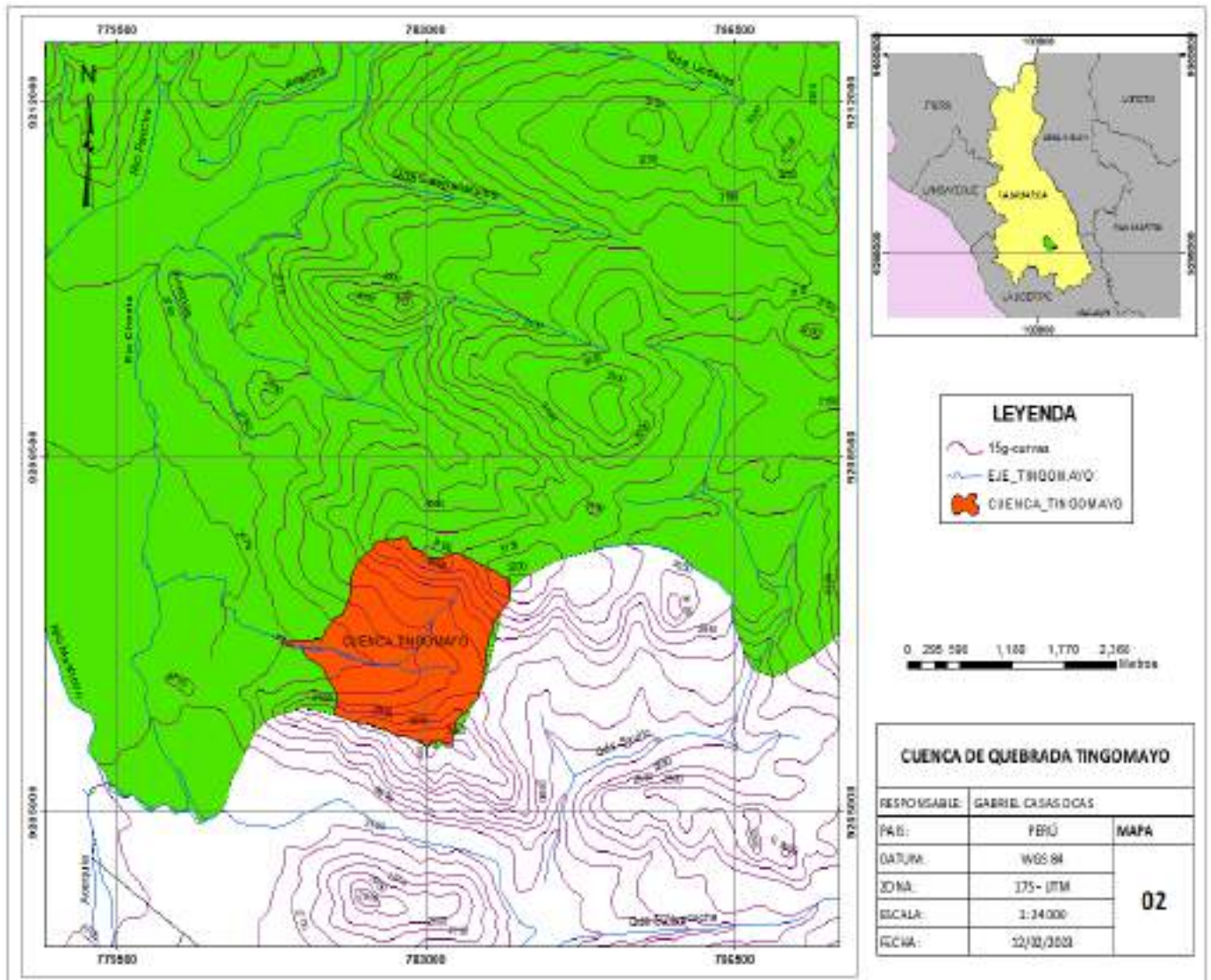


Figura 7.- Ubicación de la cuenca Tingomayo.

Aquí apreciamos el tipo de suelo, vegetación y una carretera que atraviesa a esta de la quebrada Tingomayo.



Figura 8.- Vegetación, tipo de suelo al interior de la quebrada Tingomayo y una sección irregular.



Figura 9.- Sección de quebrada Tingomayo aguas arriba del punto emisor.



Figura 10.- Carretera que cruza a la quebrada Tingomayo.

2.1.2. Descripción de sector de estudio.

La sección de estudio se ubica desde la canalización de la quebrada Tingomayo en la progresiva 2+165, a partir de aquí encontramos un puente y a continuación el cauce recubierto de concreto, se visualiza en la figura 11.



Figura 11.- Canalización de quebrada Tingomayo en la progresiva 2+165 Km.

Para el análisis de la margen izquierda se puede observar una carretera afirmada de unos 4 metros de ancho, a continuación, encontramos casas ya sea de concreto o de adobe; en la margen derecha encontramos de la misma forma que en tramo derecho encontramos casas y carretera a algunos tramos.



Figura 12.-Margen izquierda de la quebrada Tingomayo. Observamos una carretera desde las progresivas 2+165 hasta la 2+490 Km.

En la trayectoria de la quebrada desde las progresivas 3+443 Km hasta 3+737 Km, podemos apreciar la urbanización Laguna seca, la cota del fondo de la quebrada Tingomayo queda por encima de la cota de sus calles y casas.



Figura 13.- Se aprecia a la derecha de la quebrada con colindantes con casas.

Los muros de la canalización de la quebrada sirven de protección para evitar que se inunde las casas y calles de la urbanización ya mencionada. Figura 13.

Aquí se observa que la canalización ingresa a una alcantarilla al inicio del Jr. Sinchi Roca, siendo esta transición la que ocasiona estrangulamiento. Se localiza en la progresiva 3+740 Km, finalizando el estudio en esta progresiva.



Figura 14.- En la margen derecha se ubica la urbanización Laguna seca.

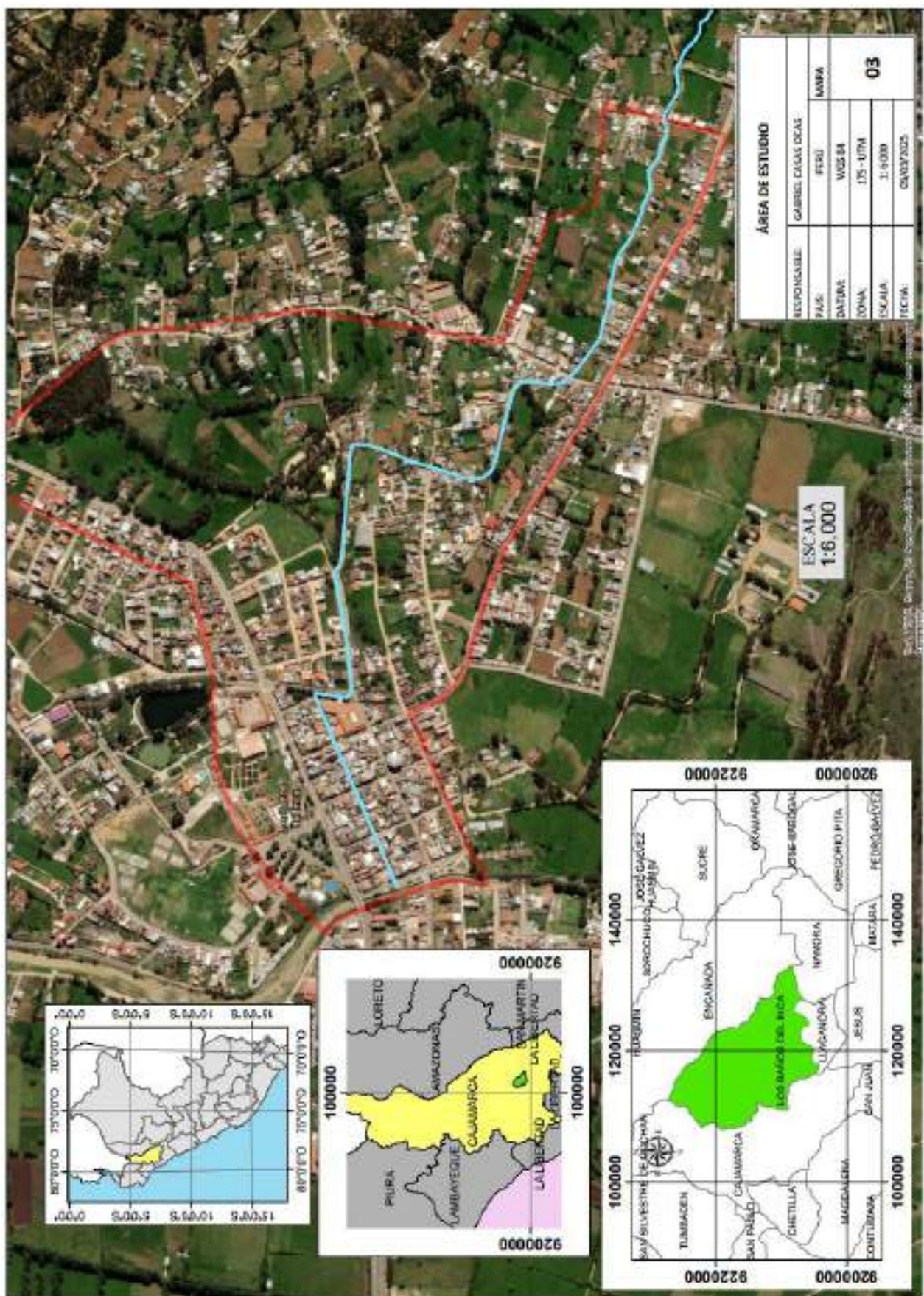


Figura 15.- Orificios de ingreso de dos alcantarillas que pasan al largo del Jr. Sinchi Roca en la progresiva 3+740 Km.

La evacuación de las aguas de la quebrada Tingomayo al río Chonta en la progresiva 4+118 Km.



Figura 16.- orificios de evacuación de agua de la quebrada Tingomayo hacia el río Chonta.



2.1.3. Descripción de estructuras existentes en el tramo de estudio

- **Puente El reloj (Jr. Los Cipreses)**

Es un puente carrozable sobre la quebrada Tingomayo para tránsito liviano, este puente es de concreto con una luz de 6 m. Los beneficiarios son los pobladores que pueden transportarse sin dificultad, conectando el Jr. Los cipreses y los alrededores con el Jr. Prolongación Yahuar Huaca. El estudio comprende desde aguas abajo del puente El reloj, teniendo una distancia de cauce principal de 1.953 Km.



Figura 18.- Vista panorámica del Puente El Reloj.

- **Puente El Cruce (Jr. Los Eucaliptos)**

Es un puente carrozable sobre la quebrada Tingomayo para tránsito liviano y pesado, este puente es de concreto con una luz de 6.80 m. Los beneficiarios son los pobladores del sector Baños Punta que nos conecta con el sector de Esperanza, conectando el Jr. Los Yahuar huaca con el Jr. Cusmanco Cápac.



Figura 19.- Vista panorámica del puente El Cruce, y parte del Jr. Los Eucaliptos.

- **Canalización pasa sobre el Jr. El sol.**

Esta estructura de la canalización de la quebrada Tingomayo pasa por encima del Jr. El sol con un ancho de calle de 7 metros, generando un baden que se inunda de agua en épocas de lluvia, dificultando el tránsito de esta calle.



Figura 20.- Intersección de canalización en el Jr. El sol.

- **Cambio de sentido brusco de Quebrada Tingomayo.**

Esta estructura forma parte de la canalización en donde se amplía el ancho de la canalización y disminuye la pendiente contribuyendo a disminuir la velocidad, y cambiando el sentido con un ángulo aproximado de 110° . A continuación, se une con el desagadero de las aguas termales del Hotel laguna seca. Después pasa por un puente peatonal, de esta manera convirtiéndose en un orificio aumentando la presión de salida.

- **Puente El Mercado (Jr. Los Sauces)**

Es un puente carrozable sobre la quebrada Tingomayo para tránsito liviano y pesado, este puente es de concreto con distancia de 11.00 m. Los beneficiarios son los pobladores de la parte urbana de la ciudad de los baños del inca y este puente conecta con el sector de Esperanza, la ubicación del puente es en la progresiva Km 3+661, que se ubica a un costado del mercado modelo de los baños del inca.



Figura 21.-Ampliación del ancho de la canalización de quebrada y orificio de salida.

2.1.4. Descripción de viviendas vulnerables.

Alrededor de la quebrada Tingomayo ubicamos una gran cantidad de viviendas cuya disposición refleja un escenario de vulnerabilidad ante posibles aumentos repentinos del caudal de dicha quebrada. Estas casas construidas con materiales como tapial, adobe, madera y en su mayoría de concreto. Algunas viviendas tienen evidencia de no tener estudios de riesgos o un planeamiento urbano, lo que los expone a catástrofes a causa de fenómenos naturales.

Las construcciones se localizan a orillas de la quebrada, en algunos tramos se realizaron carreteras paralelo al cauce de la quebrada y en las otras partes notamos que la quebrada colinda con dichas casas.

Las características del terreno aguas arriba del estudio con pendientes pronunciadas, suelos inestables, deslizamientos de terrenos y actividad del hombre; y el depósito de desechos sólidos en el cauce de la quebrada agravan el riesgo de obstrucción del cauce y, por ende, de inundaciones repentinas generando graves daños a viviendas vulnerables.



Figura 22.- Casas de concreto con un margen de un aproximado de 3 metros y casas aledañas de diferentes materiales.



Figura 23.- Casas de material de madera y casa de adobe con un espaciamiento aproximado de 3 metros.



Figura 24.-Casas construidas con concreto, en la franja marginal de la quebrada Tingomayo.



Figura 25.- Se detalla la casa en la parte urbana (zona residencial), se observa colocaron 2 hiladas de ladrillo para evitar desbordamiento de la quebrada.

Se muestra las viviendas de distintos materiales de construcción, siendo algunas más frágiles. De acuerdo al Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENEPRED), se evidencia dentro del área de estudio, que se lo clasifican como muy alto propenso a inundación y recomiendan realizar un estudio más detallado de distintas quebradas para una mejor comprensión del comportamiento de las quebradas como es el caso de Tingomayo. Ver Anexo 1 y Anexo 2, mapas de inundación de INDECI y plano de susceptibilidad a inundación según CENEPRED.

Se determino los puntos de desborde históricos a través de un plano que se puede apreciar en el Anexo 3.

2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

2.2.1. Materiales

Para la investigación se utiliza información topográfica recolectada del campo como el cauce de la quebrada Tingomayo, así como las cuadras, carreteras, estructuras; este levantamiento topográfico se utilizó el GPS diferencial y estación total para luego ser procesada y generar los planos del terreno, con ayuda de plano catastral de la ciudad de los Baños del inca.

- **Imágenes Satelitales.**

Se ha usado imágenes satelitales de programa Google Earth y SASPlanet, en la plataforma de QGIS 3.40.2, estas imágenes satelitales están georreferenciadas con una resolución en horizontal y en vertical de 0.29 m por píxel, georreferenciado con el punto geodésico.



Figura 26.-Punto Geodésico instalado en la plaza de armas de Los Baños del Inca.

- **Información Meteorológica.**

La información meteorológica nos brinda el Sistema nacional e hidrología del Perú en sus siglas SENAMHI, en donde encontramos información de precipitación acumulada de 24 horas en donde se analiza una data de 89 años desde 1933 al 2024.

- **Usos de suelo.**

Para generar los mapas de uso de suelo se utilizó los coeficientes de rugosidad dado por Horton en la bibliografía de hidrología de Máximo Villón (2002).

2.2.2. Equipos

- o GPS diferencial Trimble R8.
- o Estación total Leyca TS06.
- o Celular Honor 6x.
- o Laptop.
- o GPS Garmin navegador.
- o Libreta topográfica.
- o Espray.
- o Wincha
- o Estacas.
- o Camioneta.
- o USB.
- o Programas computacionales.

2.3. HIPOTESIS

La Calibración de mi modelamiento hidráulico bidimensional con HEC RAS versión 6.5 y los datos de tirante de las huellas hídricas generadas por la inundación del 2017 permitirá general una zonificación del peligro de inundación en la ciudad de Los Baños del Inca. Esta zonificación se utilizará como un instrumento técnico para la gestión de riegos.

2.4. METODOLOGIA DE TRABAJO

2.4.1. Variables.

Variable independiente: (Precipitación y máxima avenida)

Debido a la variabilidad de los datos de precipitación máxima anual en 24 horas, generando caudales aleatorios en función a un riesgo de falla aceptable en función a las estructuras presentes en nuestra área de estudio.

Variable dependiente: (Zonas Inundables)

Los mapas de zonificación de áreas inundables van a ser variables en función a caudal generado en un tiempo determinado, variando los resultados de nuestro modelamiento hidráulico y planteando distintas soluciones acordes a los resultados.

2.4.2. Metodología de la investigación.

El método empleado en esta investigación se fundamentó en un enfoque analítico-sintético. En primer lugar, El estudio del fenómeno de inundación con sus elementos para su estudio individual. A través de la simulación de diversos escenarios hidrológicos, se evaluaron bajo diferentes condiciones (como la intensidad y duración de las precipitaciones, las características de la cuenca de la quebrada Tingomayo), los posibles efectos (la extensión y profundidad de la inundación en diferentes áreas de Los Baños del Inca), y la correlación entre estos factores.

A continuación, la etapa sintética consistió en reintegrar todos estos elementos para comprender como se genera la inundación en Los Baños del Inca. Al observar cómo interactúan las diferentes causas y efectos a través de las simulaciones, se puede visualizar el comportamiento de las inundaciones en la quebrada Tingomayo y su impacto en el entorno urbano de la ciudad de Los Baños del Inca. El modelamiento hidráulico bidimensional es un instrumento clave para estudiar las partes y luego sintetizar la dinámica del fenómeno.

2.4.3. Estudio hidrológico.

a. Punto emisor

El punto emisor en nuestro estudio en el puente llamado el reloj, se única en la progresiva del cauce principal en la progresiva 1+953 Km. Este punto nos ayuda a definir la cuenca aportante para realizar nuestro modelamiento hidráulico. Su ubicación geográfica en coordenadas UTM, Datum WGS 84, zona 17s, Este= 781314.82m, Norte= 9206723.22m.

b. Análisis de la cuenca Tingomayo.

La microcuenca de la quebrada Tingomayo cuenta con una longitud de cauce de 4.118 km, aproximadamente, con un pendiente promedio del cauce es de 8.50% desde la parte de la conga hasta la parte donde inicia el modelamiento hidráulico en la zona llama “El Reloj” en la progresiva 2+165 Km, se analiza esta parte de la cuenca ya que estas aguas son canalizadas hasta desembocar en el rio chonta, ocasionando desbordamiento.

Se analiza los parámetros morfológicos de la cuenca Tingomayo la cuales son las siguientes:

- Área de la cuenca: 3.101704 Km².

Es la superficie que drena hacia un drenaje en común

- Perímetro de la cuenca: 7.838 Km.

Es el contorno que delimita al área de la cuenca de la quebrada Tingomayo.

- Longitud del máx. recorrido: 3.284 Km.

La distancia del cauce principal de la cuenca Tingomayo.

- Índice de compacidad : 1.246

Este coeficiente de compacidad como tiende al 1, significa que estas cuencas recogen de forma uniforme el agua y la drene rápidamente, creando hidrograma con un pico alto y angosto.

- Factor de forma: 0.288

Esta es la relación entre la longitud y el ancho, como tiene un valor de 0.288, nos muestra que es una cuenca larga lo que genera una respuesta más prolongada de la cuenca, lo que es equilibrado con la pendiente pronunciada de nuestra cuenca.

- Pendiente de la cuenca: 0.3211

Este es un parámetro de la cuenca fundamental ya que nos indica que tiene una pendiente del 32.11%. Generando una velocidad de escorrentía superficial muy alta y a su vez produce caudales picos extremadamente altos.

Tabla 3.-Longitud de las curvas a nivel

Cota/m	Longitud/m	Longitud/Km
2725	130.178	0.130
2750	551.246	0.551
2775	1521.789	1.522
2800	1899.345	1.899
2825	2401.848	2.402
2850	2833.036	2.833

2875	3386.003	3.386
2900	3727.453	3.727
2925	3713.439	3.713
2950	3356.961	3.357
2975	3084.894	3.085
3000	2554.012	2.554
3025	2391.232	2.391
3050	2283.067	2.283
3075	2059.880	2.060
3100	1467.732	1.468
3125	968.407	0.968
3150	573.154	0.573
3175	473.160	0.473
3200	347.556	0.348
3225	119.654	0.120
Suma	:	39.843

- Altitud media: 2905.822 m.

Esta altitud calculada en 2905.822 m.s.n.m. se asocia a una cuenca en la sierra del Perú lo nos permite demostrar que nuestra cuenca es proclive a lluvias torrenciales en cortos tiempos.

Tabla 4.- Caracterización física de la cuenca Tingomayo

Cota inf.	Cota sup.	Area parcial Km ²	$h(i)*A(i)$	$L(i)$	$S(i)$	$(L(i)^2)/S(i)^{0.5}$	Área sobre la cota	% del total
2713	2725	0.017	0.046	0.306	0.03922	1.545	3.085	0.548%
2726	2750	0.087	0.238	0.433	0.05543	1.839	2.998	2.805%
2751	2775	0.196	0.542	0.539	0.04453	2.554	2.802	6.319%
2776	2800	0.220	0.613	0.251	0.09562	0.812	2.582	7.092%
2801	2825	0.254	0.715	0.319	0.07524	1.163	2.328	8.188%
2826	2850	0.276	0.783	0.203	0.11823	0.59	2.052	8.897%

2851	2875	0.310	0.888	0.271	0.08856	0.911	1.742	9.994%
2876	2900	0.323	0.933	0.141	0.17021	0.342	1.419	10.413%
2901	2925	0.307	0.894	0.146	0.16438	0.36	1.112	9.897%
2926	2950	0.234	0.687	0.122	0.19672	0.275	0.878	7.544%
2951	2975	0.168	0.498	0.096	0.25	0.192	0.710	5.416%
2976	3000	0.130	0.388	0.000	0.000	0.000	0.580	4.191%
3001	3025	0.109	0.328	0.060	0.4	0.095	0.471	3.514%
3026	3050	0.096	0.292	0.048	0.5	0.068	0.375	3.095%
3051	3075	0.095	0.291	0.035	0.68571	0.042	0.280	3.063%
3076	3100	0.097	0.300	0.048	0.5	0.068	0.183	3.127%
3101	3125	0.071	0.221	0.041	0.58537	0.054	0.112	2.289%
3126	3150	0.036	0.113	0.043	0.55814	0.058	0.076	1.161%
3151	3175	0.023	0.073	0.041	0.58537	0.054	0.053	0.741%
3176	3200	0.026	0.083	0.038	0.63158	0.048	0.027	0.838%
3201	3225	0.023	0.074	0.071	0.33803	0.122	0.004	0.741%
3226	3235	0.004	0.013	0.035	0.25714	0.069	0.000	0.129%
Totales	:	3.102	9.013	3.287		11.261		

- Pendiente del cauce principal: 8.50 %

El parámetro indica la correlación que tiene todo el cauce de la quebrada Tingomayo con relación de la longitud horizontal, el valor de 8.50% nos indica que tiene una pendiente moderada.

- Altitud más frecuente: 2876 – 2900

Este parámetro proporcional una mejor compresión de la configuración de la cuenca de la quebrada Tingomayo, siendo poco agreste y con pendientes no tan pronunciadas.

Tabla 5.- Porcentaje de Área entre curva y curva de nivel

Cota inf.	Cota sup.	Área parcial (Km ²)	Área parcial (%)
2713	2725	0.017	0.548
2726	2750	0.087	2.805
2751	2775	0.196	6.319

2776	2800	0.220	7.092
2801	2825	0.254	8.188
2826	2850	0.276	8.897
2851	2875	0.310	9.994
2876	2900	0.323	10.413
2901	2925	0.307	9.897
2926	2950	0.234	7.544
2951	2975	0.168	5.416
2976	3000	0.130	4.191
3001	3025	0.109	3.514
3026	3050	0.096	3.095
3051	3075	0.095	3.063
3076	3100	0.097	3.127
3101	3125	0.071	2.289
3126	3150	0.036	1.161
3151	3175	0.023	0.741
3176	3200	0.026	0.838
3201	3225	0.023	0.741
3226	3235	0.004	0.129
Suma	:	3.102	

- Coeficiente de masividad: 0.937

Este valor muestra que la cuenca de la quebrada Tingomayo es pequeña poco accidentando y con áreas suaves

- Relación de confluencias: 2.243

Este valor representa que la cuenca tiene ramificaciones bajas las cuales tienden a ser más largas en otras palabras tiene varias ramificaciones.

- Densidad de drenaje: 7.403

Este valor indica que nuestra cuenca tiene terrenos impermeables o montañosos, el cual nos puede generar alta erosión.

- Frecuencia de ríos: 39.978

En la cuenca de la quebrada Tingomayo existen gran cantidad de cauces en un kilómetro cuadrado de área indicando el número de cauces por un km².

c. Información de Precipitación.

Se utiliza los datos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, ubicada en la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca con una cota de 2673 m.s.n.m. la información que brinda se evalúa es la precipitación máxima anual de 24 horas, dicha información nos brinda en su página web del SENAMHI, el cual se encuentra libre en su plataforma. Dicha estación se localiza una distancia de 4.4 Km con características similares.

Estación: AUGUSTO WEBERBAUER			
Departamento:	CAJAMARCA	Provincia:	CAJAMARCA
Latitud:	7°10'2.98"	Longitud:	78°29'35.14"
Tipo:	Convencional - Meteorológica	Altitud:	2673 msnm.
		Código:	107028

Tabla 6.-Estación meteorológica Augusto Weberbauer.

Data de precipitaciones máximas en 24 horas que se manejó pertenece a la estación automática Augusto Weberbauer con 89 años de registro (1933 - 2024).

En la figura 29, se muestra el histograma de precipitación máximas anuales en 24h correspondientes a la estación meteorológica AUGUSTO WEBERBAUER, los registros de precipitación lo ubicamos en Anexo 3 que encuentra líneas más adelante.

d. Pruebas de datos dudosos

Con los datos de precipitación máxima de 24 horas de la estación meteorológica AUGUSTO WEBERBAUER, se analiza los datos de precipitación a través de pruebas de datos dudosos o valores atípicos estos valores, la metodología utilizada proviene de Analizamos estos datos con la metodología del Water Resources Council U.S. (Consejo los Recursos Hídricos de los Estados Unidos) publica un estudio para determinar la Frecuencia de flujo de inundaciones en el boletín 17B (Data, 1982), el cual ofrece varios métodos para manejar datos dudosos.

Calculamos un valor umbral conocido como Critical Low Outlier Threshold el cual identifica valores que están considerados atípicos. O se verifican valores extremadamente altos o bajos, mediante umbrales estadísticos. Según el anexo 5.

Luego procedemos a evaluar los valores e identificar si existen valores atípicos, con este proceso podemos corregirlo o eliminarlo los datos de esta serie hidrológica. Según el anexo 5.

Evaluando los datos de la estación hidrológica, obtenemos los siguientes umbrales para la precipitación máxima de $PH= 63.48$ mm, y el umbral de precipitación mínima calculado es de $PL=13.21$ mm. Se identificaron 3 datos atípicos de los años 1962,1963,1964, que salen de nuestros parámetros límites, como tenemos una amplia data de 89 años, se procede a suprimirlo ya que esto generaría resultados sesgados y la elección de modelos estadísticos inadecuados.

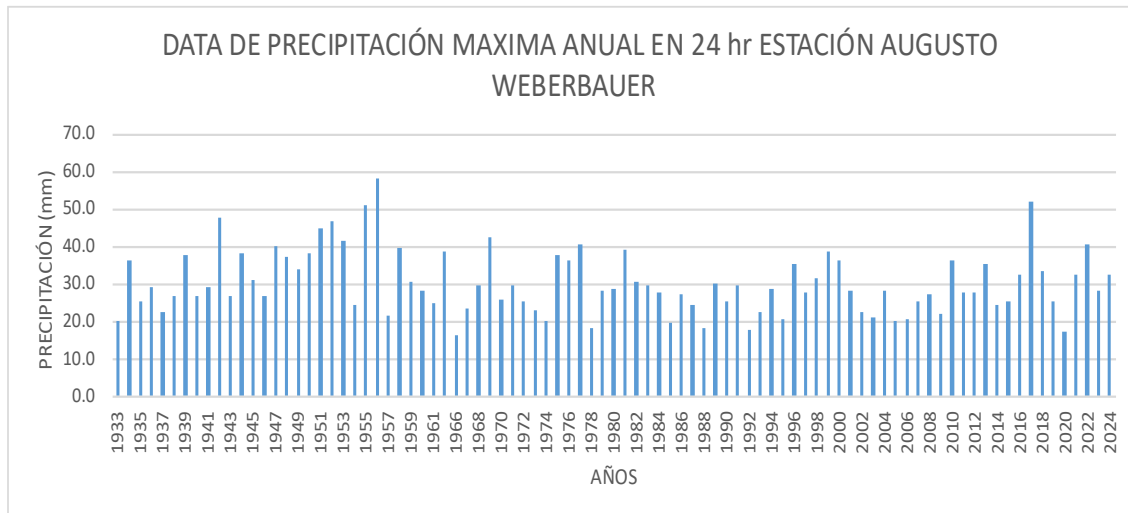


Figura 27.- Histograma de barras de precipitación y las series temporales en años de la Estación Augusto Weberbauer.

e. Análisis estadístico

Dichos datos serán analizados mediante un análisis estadístico específicamente en distribuciones teóricas, procedemos a agrupar los datos ordenando los datos y calculando sus parámetros estadísticos, con ayuda del programa Hidroesta 2, abrimos el programa y vamos a la opción de parámetros y seleccionamos datos agrupados, se despliega una ventana para ingresar datos solo las precipitaciones máximas anuales en 24 horas, elegimos la opción de Excel y cargamos nuestros datos de precipitación le damos en calcular y se calcula nuestros datos que aparecen en la figura 28.

Luego introducimos los datos a programa Hydrognomon 4, elegimos solo los datos de precipitación y datos anuales para realizar la comparación de distintas distribuciones hidrológicas, luego se crea una columna de años que representa la serie de tiempo que se va a analizar y luego copiamos los datos de Excel previamente elaborados y pegamos los datos de precipitación en una columna nueva dentro del programa como en la figura 29.

A continuación, vamos a la pestaña de Hydrology, se despliega varias opciones, pero nosotros elegimos Pythia - Statistical análisis, se despliega una ventana en donde nos brinda nuestros datos ingresados ya ordenados según la distribución empírica de Weibull utilizada para variables aleatorias la utilizaremos como base, y ordenada según la probabilidad de excedencia. Anexo 6

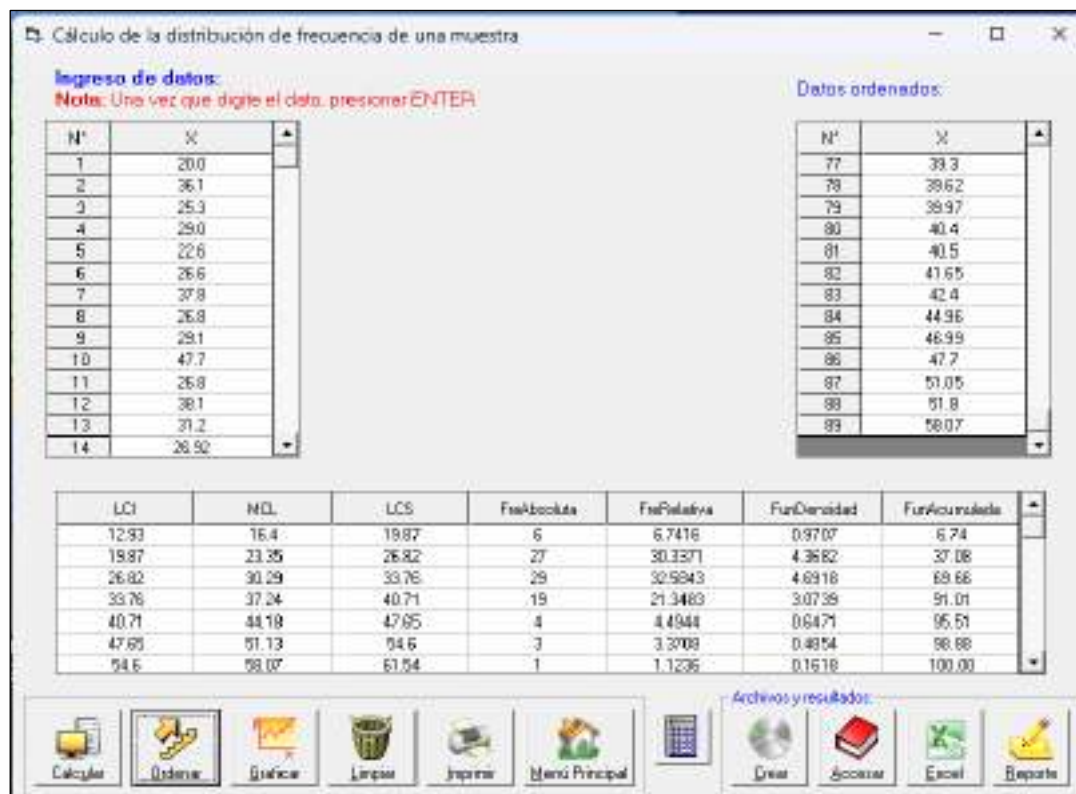


Figura 28.- Resultados de los parámetros estadísticos con datos agrupados de precipitación.

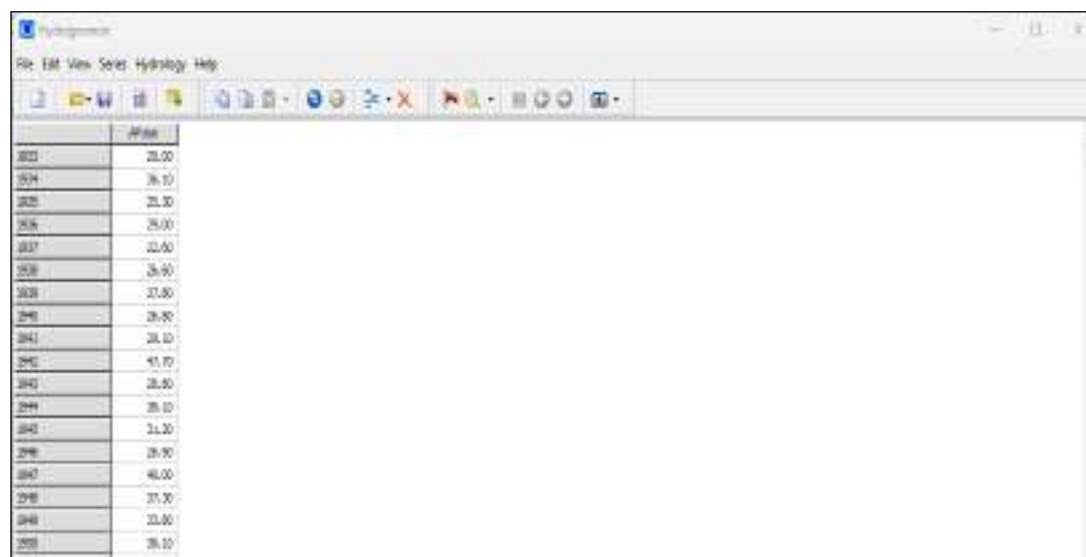


Figura 29.- Ingreso de datos al software Hydrognomon 4, en columna los años y la precipitación en mm.

En dicha ventana nos brinda varias distribuciones ya conocidas y se tiene que ajustar la distribución de Weibull a las distribuciones ya conocidas como pueden ser la normal, la Log normal, Pearson III, entre otras. Realizamos un test de bondad de ajuste para determinar cuál de nuestras distribuciones se ajusta a nuestros datos. En nuestro caso como tenemos datos de precipitación máximas anuales de 24 horas entonces elegimos la prueba de ajuste de bondad de Kolmogorov – Smirnov. Eligiendo la distribución de Gumbel la que mejor se acomoda a nuestros datos con un 90.80% como se observa en el anexo 6.

Obtenemos que la mejor distribución que se ajusta a nuestros datos de precipitación es la distribución Gumbel y con ayuda de Excel se analiza los datos de precipitación para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años obteniendo el siguiente cuadro:

Tabla 7.- Precipitaciones máximas según la distribución Gumbel

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno para una distribución gumbel			
T (años)	Probabilidad de Excedencia $P = F(x)$	Probabilidad de no Excedencia $1-F(x)$	Z
2	0.500	0.500	32.65
5	0.200	0.800	41.08
10	0.100	0.900	46.65
25	0.040	0.960	53.70
50	0.020	0.980	58.93
100	0.010	0.990	64.12

Continuamos procesando los datos de precipitación y según el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) indican en las normativas vigentes que en procedimientos de gestión de recurso hídricos exactamente en hidráulica e hidrología se utilice el modelo de Dick-Peschke por ende aplicamos dicho modelo obteniendo el anexo 8.

2.4.4. Precipitación de Diseño para $T_r = 2, 5, 10, 25, 50$ Y 100 años.

Se realiza el diseño de tormenta a través de un hietograma para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, utilizando el método del bloque alterno dicho método nos permite calcular hietogramas.

Se obtiene el hietograma de diseño para un tiempo de retorno de 2 años.

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO					
K =	317.856	$I = \frac{317.856 \times T^{0.1406}}{D^{0.750}}$			
T =	2 años				
m =	0.1406				
n =	0.750				
D =	40.20 min				
				I =	21.95 mm/hr
METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	16.226	16.226	16.226	0-60	0.379
120	9.645	19.290	3.064	60-120	0.405
180	7.115	21.344	2.054	120-180	0.436
240	5.733	22.933	1.589	180-240	0.473
300	4.849	24.247	1.313	240-300	0.518
360	4.229	25.376	1.129	300-360	0.575
420	3.767	26.371	0.995	360-420	0.648
480	3.408	27.265	0.894	420-480	0.748
540	3.120	28.078	0.813	480-540	0.894
600	2.883	28.826	0.748	540-600	1.129
660	2.684	29.520	0.694	600-660	1.589
720	2.514	30.168	0.648	660-720	2.064
780	2.367	30.777	0.609	720-780	2.626
840	2.239	31.352	0.575	780-840	3.054
900	2.126	31.895	0.545	840-900	3.313
960	2.026	32.414	0.518	900-960	3.495
1020	1.938	32.908	0.494	960-1020	3.613
1080	1.855	33.381	0.473	1020-1080	3.694
1140	1.781	33.835	0.454	1080-1140	3.709
1200	1.714	34.271	0.438	1140-1200	3.645
1260	1.652	34.690	0.420	1200-1260	3.494
1320	1.595	35.096	0.405	1260-1320	3.254
1380	1.543	35.487	0.392	1320-1380	2.920
1440	1.494	35.866	0.379	1380-1440	2.492

T: Período de retorno en años = 2.00 años
t: Duración de la precipitación (min)

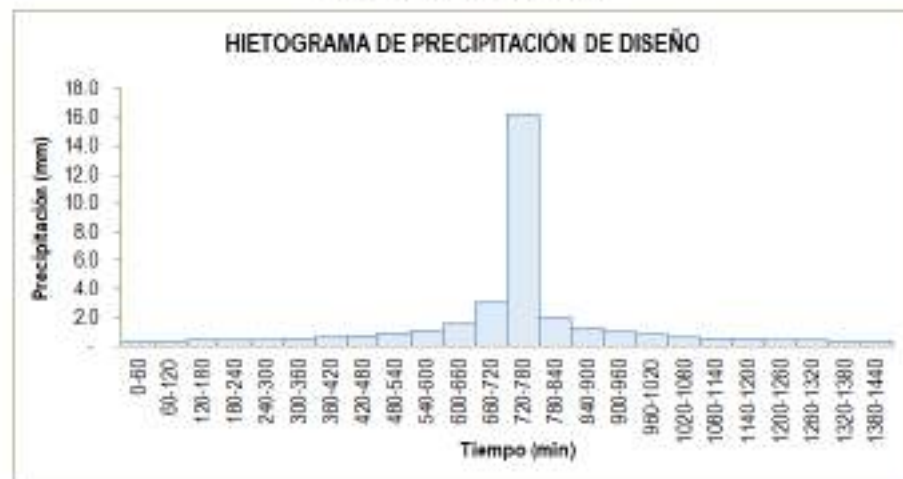


Figura 30.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 2 años.

Se obtiene la precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 5 años.



Figura 31.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 5 años.

Se obtiene la precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 10 años.

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO					
K =	317.856	$I = \frac{317.856 \times T^{0.1406}}{D^{0.750}}$			
T =	10 años				
m =	0.1406				
n =	0.750				
D =	40.20 min				
				I =	27.52 mm/hr
METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	20.345	20.345	20.345	0-60	0.476
120	12.094	24.188	3.843	60-120	0.508
180	8.921	26.764	2.576	120-180	0.547
240	7.189	28.756	1.992	180-240	0.593
300	6.081	30.403	1.647	240-300	0.649
360	5.303	31.819	1.415	300-360	0.720
420	4.724	33.067	1.248	360-420	0.813
480	4.273	34.187	1.121	420-480	0.938
540	3.912	35.207	1.020	480-540	1.121
600	3.615	36.145	0.938	540-600	1.416
660	3.365	37.016	0.870	600-660	1.992
720	3.152	37.828	0.813	660-720	3.843
780	2.969	38.582	0.763	720-780	20.145
840	2.808	39.312	0.720	780-840	2.576
900	2.666	39.995	0.683	840-900	1.647
960	2.540	40.644	0.649	900-960	1.248
1020	2.427	41.264	0.620	960-1020	1.020
1080	2.325	41.857	0.593	1020-1080	0.870
1140	2.233	42.425	0.569	1080-1140	0.763
1200	2.149	42.972	0.547	1140-1200	0.683
1260	2.071	43.499	0.526	1200-1260	0.620
1320	2.000	44.007	0.508	1260-1320	0.569
1380	1.935	44.498	0.491	1320-1380	0.526
1440	1.874	44.973	0.475	1380-1440	0.491

T: Periodo de retorno en años = 10.00 años

t: Duración de la precipitación (min)



Figura 32.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 10 años.

Se obtiene la precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 25 años.

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO					
K =	317.856	$I = \frac{317.856 \times T^{0.1406}}{D^{0.750}}$			
T =	25 años				
m =	0.1406				
n =	0.750				
D =	40.20 min				
				i = 31.30 mm/hr	
METODO DEL BLOQUE AL TERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	23.143	23.143	23.143	0-60	0.541
120	13.757	27.513	4.371	60-120	0.578
180	10.146	30.443	2.930	120-180	0.022
240	8.177	32.710	2.266	180-240	0.674
300	6.917	34.583	1.873	240-300	0.739
360	6.032	36.193	1.610	300-360	0.819
420	5.373	37.613	1.420	360-420	0.924
480	4.861	38.898	1.275	420-480	1.067
540	4.450	40.048	1.160	480-540	1.279
600	4.111	41.115	1.067	540-600	1.610
660	3.826	42.105	0.960	600-660	2.266
720	3.586	43.029	0.924	660-720	4.371
780	3.377	43.897	0.868	720-780	23.143
840	3.194	44.717	0.819	780-840	2.930
900	3.033	45.493	0.777	840-900	1.873
960	2.890	46.232	0.739	900-960	1.420
1020	2.761	46.937	0.705	960-1020	1.160
1080	2.645	47.611	0.674	1020-1080	0.990
1140	2.540	48.258	0.647	1080-1140	0.868
1200	2.444	48.890	0.622	1140-1200	0.777
1260	2.356	49.479	0.599	1200-1260	0.706
1320	2.275	50.057	0.578	1260-1320	0.647
1380	2.201	50.615	0.558	1320-1380	0.599
1440	2.131	51.156	0.541	1380-1440	0.568

T: Periodo de retorno en años = 25.00 años

t: Duración de la precipitación (min)

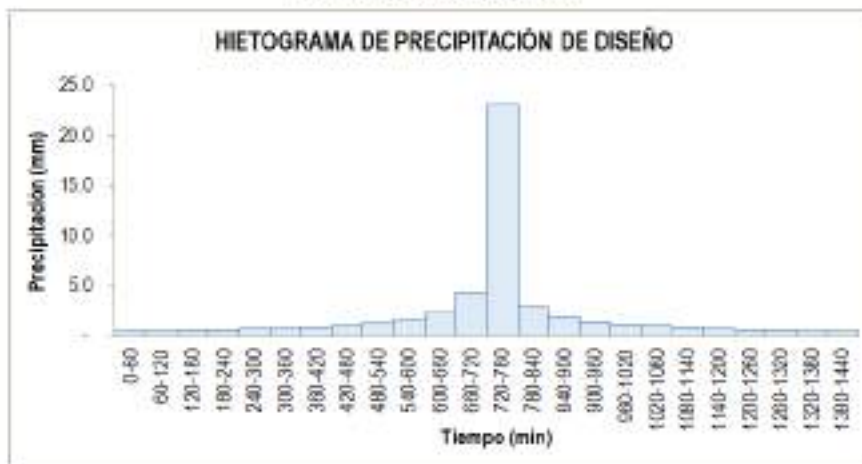


Figura 33.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 25 años.

Se obtiene la precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 50 años.

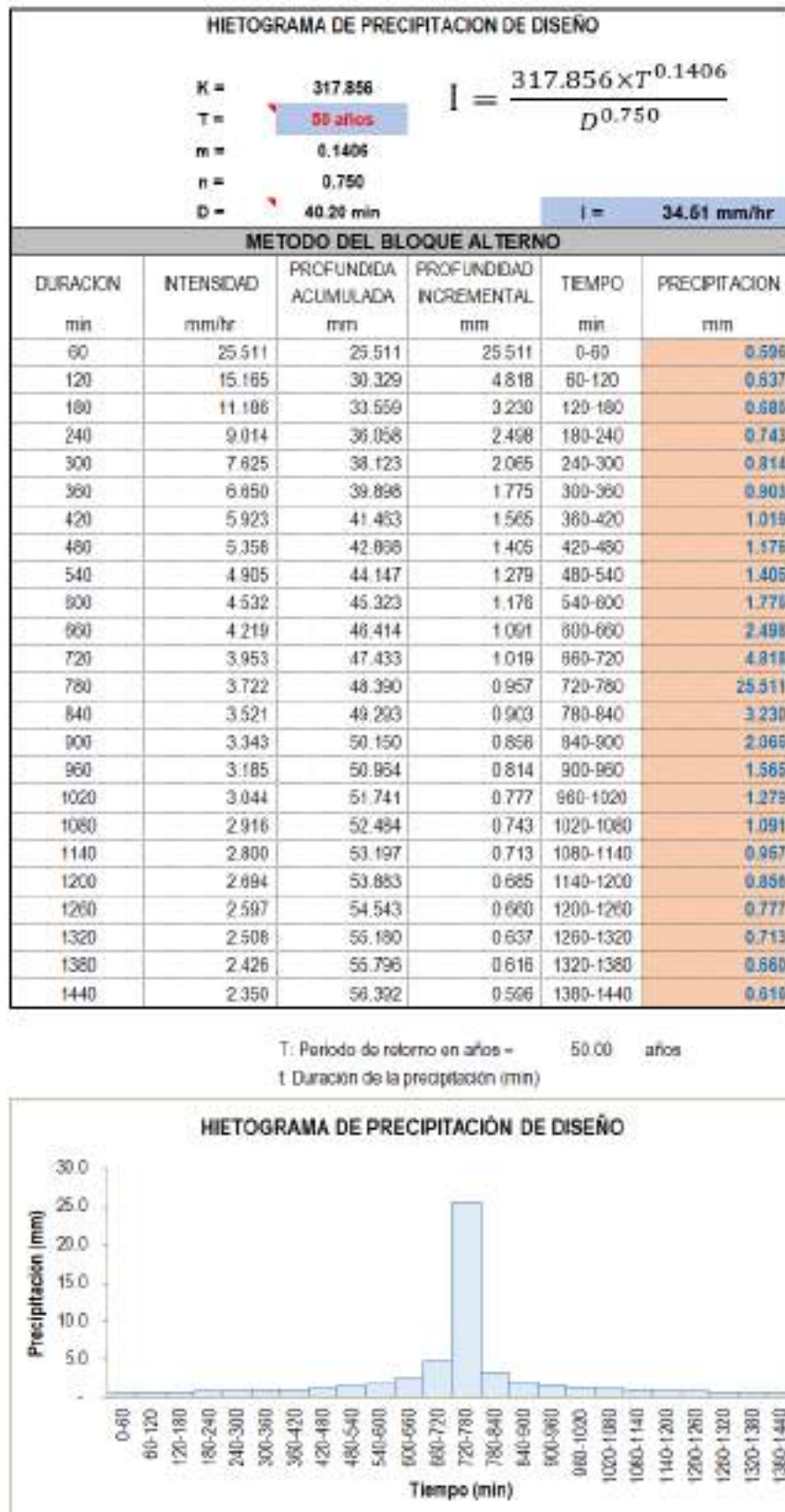


Figura 34.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 50 años.

Se obtiene la precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 100 años.



Figura 35.- Precipitación de diseño para un intervalo de recurrencia de 100 años.

2.4.5. Análisis de Tiempo de retorno según la vida útil de estructuras existentes.

Analizamos primero la vida útil de las viviendas urbanas en Perú según la Política nacional de vivienda y urbanismo y el Decreto supremo N° 012-2021-Vivienda. Aquí no indican valores numéricos, Solo indican duración de viviendas depende de distintos factores como materiales en la construcción, diseño, mantenimiento, con esto en Perú no contamos con una normativa que fije un valor exacto de vida útil de las viviendas, pero según estudios de ingeniería civil la vida útil depende de los materiales de construcción.

- Concreto armado: 50-70 años.
- Madera o materiales precarios 20-30 años.

Según normas internacionales como la **Normativa ACI 365. 1R-00** indican que la Durabilidad de concreto reforzado para condiciones normales puede tener una vida útil de 50 años o extender su durabilidad.

Dentro de nuestra área de estudio tenemos estructuras como alcantarillas, estructuras de concreto armando como son el mercado de abastos Atahualpa, un centro de salud EsSalud dichas estructuras tienen tiempo de vida útil.

En alcantarillas en quebradas principales la vida útil según del MTC es de 25 años. Y para muros de encauzamiento de la quebrada con de 40 a 50 años de vida útil. (MTC, 2012)

Teniendo estructuras como un Mercado de abastos Atahualpa, un centro de EsSalud, la Comisaria de Los Baños del Inca, ubicadas en las franjas marginales de la quebrada Tingomayo, se evalúa para un Tr = 100 años según indica en el Reglamento de para la delimitación y mantenimiento de las fajas marginales-ANA. (ANA, 2016)

2.4.6. Análisis del riesgo de falla admisible y el tiempo de retorno.

Analizando la vida útil de nuestras estructuras comprometidas dentro de nuestra área de influencia se considera una vida útil de 50 años con lo que se verificamos el riesgo de falla admisible de las Centro de EsSalud, Comisaría y las viviendas ya que son prioritarias medir la peligrosidad para un tiempo de retorno 100 ya que tiene un nivel importante ya que tienen que proteger las vidas humanas.

Donde:

n = Vida útil de la estructura.

T= Tiempo de retorno

R= Riesgo de falla admisible.

- Tiempo de retorno **100** años y una vida útil de las estructuras de 50 años.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \dots (28)$$

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{50}$$

$$R = 39.49\%$$

Esto implica un 39.49% de probabilidad de que ocurra al menos una inundación crítica en ese periodo. Para concreto, se considera que la vivienda, centros de salud, mercado de abastos y comisaria debe soportar sin colapsar estos eventos, incluso si sufre daños reparables.

2.4.7. Cálculo del número de curva.

El NC siendo una parte fundamental para modelar la escorrentía formada por la lluvia. Utilizamos el estudio GCN250 en donde presenta datos cuadriculados y coherentes a nivel globales de NC con una resolución espacial de 250 m, basados en datos de cobertura de suelo y suelos, y representa la escorrentía bajo condiciones de escorrentía seca, media y húmeda. (Hadi H., Farah A., & Naji E., 2019)

Para nuestra cuenca obtenemos los siguientes números de curva. Figura 36.

Procesando datos de estudio GCN250 obtenemos los datos en la figura 36 en donde realizamos un promedio ponderado en función del área para uniformizar el número de curva en toda la cuenca la quebrada Tingomayo. Dicha formula la obtenemos del método desarrollado por **Natural Resources Conservation Service** (NRCS) de los EE. UU. (NRCS, 1986)

$$CN_{promedio} = \frac{\sum (Área_i \times CN_i)}{\sum Área_i} \quad \dots (29)$$

Donde:

$CN_{promedio}$: Número de curva promedio.

$Área_i$: Área de la subzona i.

CN_i : Número de curva correspondiente a la subzona i.

$\sum$: Suma para todas las subzonas de la cuenca.

- Cálculo del NC en función a el área de la cuenca Tingomayo.

Tabla 8.- Valores del número de curva y área de influencia de la cuenca Tingomayo.

Tabla					
tingomayoCN2					
	FID	Shape *	Id	gridcode	Área
	0	Polígono	1	77	0.046467
	1	Polígono	2	70	0.185866
	2	Polígono	3	81	0.418199
	3	Polígono	4	72	0.092933
	4	Polígono	5	81	0.046467
	5	Polígono	6	70	0.232333
	6	Polígono	7	72	0.046467
	7	Polígono	8	75	0.2788
	8	Polígono	9	75	0.092933
	9	Polígono	10	74	0.046467
	10	Polígono	11	81	1.347531
	11	Polígono	12	77	0.092933
	12	Polígono	13	73	0.185866
	13	Polígono	14	77	0.092933

$\overline{[CN]}$ _Promedio

$$= (77 \times 0.046 + 70 \times 0.18 + 81 \times 0.41 + 72 \times 0.09 + 81 \times 0.04 + 70 \times 0.23 + 72 \times 0.04 + 75 \times 0.27 + 75 \times 0.09 + 74 \times 0.04 + 81 \times 1.34 + 77 \times 0.09 + 73 \times 0.18 + 77 \times 0.09) / (0.046 + 0.18 + 0.41 + 0.09 + 0.046 + 0.23 + 0.046 + 0.27 + 0.09 + 0.04 + 1.34 + 0.09 + 0.18 + 0.09)$$

$$CN_{Promedio} = \frac{248.875079}{3.206195} = 77.6232$$

$$CN_{Promedio} = 77.6232$$

- Cálculo del NC en función a el área de la cuenca Aportante 1.

Tabla 9.- Valores del NC y área de la cuenca aportante 1.

CUENCA APORTANTE 1		
NC	ÁREA KM2	NC x ÁREA
88	0.018646	1.6409
73	0.063313	4.6219
81	0.001930	0.1563
75	0.160822	12.0617
77	0.204619	15.7557
70	0.000006	0.0005
88	0.065456	5.7602
74	0.915006	67.7104
	SUMA ÁREA KM2	NC PROMEDIO
	1.430	75.330

Tiempo de concentración

Se calcula el tiempo de concentración es un parámetro propio para cada cuenca ya que en este lapso se genera escorrentía y sirve para estimar el caudal máximo y riesgos de inundación. (Alvarez J. & Huamán J., 2024)

Se realiza el cálculo del tiempo de concentración utilizando distintas fórmulas de la siguiente manera:

Datos de la **cuenca Tingomayo**:

- Área (Km²): 3.102
- Longitud de cauce principal (Km): 3.284
- Pendiente(m/m): 0.321
- Numero de Curva: 77.623

Método de Giandotti

$$tc = 0.0559x(4xA^{0.5} + 1.5xL)xL^{-0.5}xS^{-0.5} \quad \dots (30)$$

$$tc = 0.0559x(4x3.102^{0.5} + 1.5x3.284)x3.284^{-0.5}x0.321^{-0.5}$$

$$tc = 0.65 \text{ h}$$

Método del Cuerpo de ingenieros USA

$$tc = 0.191xL^{0.76}xS^{-0.19} \quad \dots (31)$$

$$tc = 0.191x(3.284)^{0.76}x(0.321)^{-0.19}$$

$$tc = 0.59 \text{ h}$$

Método de Ecuación de retardo, SCS

$$tc = 0.057xL^{0.8}xS^{-0.5}x\left(\frac{1000}{NC} - 9\right)^{0.7} \quad \dots (32)$$

$$tc = 0.057x(3.284)^{0.8}x(0.321)^{-0.5}x\left(\frac{1000}{77.623} - 9\right)^{0.7}$$

$$tc = 0.67 \text{ h}$$

Se analizamos los valores de tiempo de concentración (tc) por lo que obtenemos rangos entre 0.59 horas a 0.67 horas, por lo que se elige el tiempo de concentración de **Tc= 0.67 h** resultado del método de le ecuación de retardo SCS, que se asemeja a las condiciones de nuestra cuenta e incluyendo longitud del cauce, pendiente, cobertura vegetal que está representada con el número de curva.

$$tc = 0.67 \text{ horas}$$

$$tc = 0.67 \text{ horas} \cong 40.2 \text{ minutos para la cuenca Tingomayo.}$$

Datos de la cuenca **Aportante 1**:

- Área (Km²): 1.430

- Longitud de cauce principal (Km): 3.119
- Pendiente(m/m): 0.178
- Numero de Curva: 75.330

Método de Giandotti

$$tc = 0.0559x(4x1.430^{0.5} + 1.5x3.119)x3.119^{-0.5}x0.178^{-0.5}$$

$$tc = 0.71 h$$

Método del Cuerpo de ingenieros USA

$$tc = 0.191x(3.119)^{0.76}x(0.178)^{-0.19}$$

$$tc = 0.63 h$$

Método de Ecuación de retardo, SCS

$$tc = 0.057x(3.119)^{0.8}x(0.178)^{-0.5}x\left(\frac{1000}{75.330} - 9\right)^{0.7}$$

$$tc = 0.93 h$$

Se analizamos los valores de tiempo de concentración (tc) por lo que obtenemos rangos entre 0.63 horas a 0.93 horas, por lo que se elige el tiempo de concentración de **Tc= 0.93 h** resultado del método de la ecuación de retardo SCS, que se asemeja a las condiciones de nuestra cuenta e incluyendo longitud del cauce, pendiente, cobertura vegetal que está representada con el número de curva.

$$tc = 0.93 \text{ horas}$$

$$tc = 0.93 \text{ horas} \cong 55.8 \text{ minutos}$$

2.4.8. Orden de los drenes Cuenca de aporte.

Delimitamos la cuenca aportante y clasificamos el orden de drenes que tiene la quebrada Tingomayo, usando el punto emisor en el puente el reloj con coordenadas por lo que se obtiene el un drenaje de orden 5. Anexo 9 y 10. Lo que genera un drenaje rápido y eficaz lo que se convierte en un tiempo de concentración corto.

2.4.9. Mapa de rugosidad n del suelo.

Se presenta mapas de rugosidad de la cuenca aportante de la cuenca Tingomayo, así como del área de estudio apoyándose en diferentes clasificaciones de diversos autores. Se detalla en la table 10 se sintetiza en el anexo 11 para nuestra cuenca aportante y para el área de estudio en observa en el anexo 12.

Tabla 10.-Valores de rugosidad con que se construye el mapa de rugosidad de la cuenca aportante y área de estudio.

VALORES DE RUGOSIDAD DE SUPERFICIES	
Máximo Villón	
Cuerpos de agua (limpios)	n=0.03 a 0.035

Pastizales o matorrales	n=0.035 a 0.045
Bosques densos	n=0.10 a 0.15
Áreas urbanas (alta densidad)	n=0.15 a 0.20
Valores de Ven Te Chow (1959)	
Canales de tierra limpios	n=0.018 a 0.025
Ríos naturales con vegetación moderada	n=0.035 a 0.050
Canales revestidos de concreto	n=0.012 a 0.016
Áreas cultivadas de cultivos	n=0.030 a 0.050
Carretera de concreto	n=0.018
Hidráulica de Canales Abiertos (Richard H. French)	
Pastizales densos	n=0.035 a 0.050
Terrenos rocosos	n=0.025 a 0.040
Árboles y arbustos densos	n=0.070 a 0.160
Manuales de Ingeniería de la USACE (U.S. Army Corps of Engineers)	
Cuerpos de agua con vegetación moderada	n=0.035a 0.050
Ríos con gran cantidad de obstáculos	n=0.050 a 0.080

2.4.10. Coeficiente de escorrentía.

Número adimensional utilizada para reflejar que parte de precipitación se convertirá en escorrentía y está sujeto a la pendiente, tipo de suelo, uso de suelo y tipo de cobertura. (Chow V., 1988). Clasificamos según la pendiente y el uso de suelo obteniendo los siguientes datos.

Tabla 11.- Coeficiente de escorrentía y cobertura existente en la cuenca

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA											
CATEGORIZACIÓN		5		4		3		2		1	
COBERTURA/PENDIENTE		PRONUNCIADA 5		ALTA 4		MEDIA 3		SUAVE 2		DESPRECIABLE 1	
		ID	> 50%	I D	> 20%	I D	> 5%	I D	> 1%	ID	<1%
Áreas mixtas o Transiciones 1	1	5	0,70	4	0,65	3	0,60	2	0,55	1	0,50
Bosques densos 2	2	10	0,55	8	0,50	6	0,45	4	0,40	2	0,35
Carretera de Concreto 3	3	15	0,80	12	0,75	9	0,70	6	0,65	3	0,60
Cauce de quebrada 4	4	20	0,70	16	0,65	12	0,60	8	0,55	4	0,50
Pastizales o matorrales 5	5	25	0,65	20	0,60	15	0,55	10	0,50	5	0,45

Terreno Rocoso 6	6	30	0,80	24	0,75	18	0,70	12	0,65	6	0,60
Zona agrícola 7	7	35	0,60	28	0,55	21	0,50	14	0,45	7	0,40
Zona agrícola sin cultivo 8	8	40	0,70	32	0,65	24	0,60	16	0,55	8	0,50
Zona Urbana 9	9	45	0,80	36	0,75	27	0,70	18	0,65	9	0,60

Tabla 12.-Coeficientes de escorrentía de cuenca Aportante

COBERTURA	Área (m2)	C	C*A
Áreas mixtas o Transiciones	3600	0.55	1980
Áreas mixtas o Transiciones	96300	0.6	57780
Áreas mixtas o Transiciones	31500	0.65	20475
Carretera de Concreto	134100	0.6	80460
Zona agrícola	900	0.4	360
Zona agrícola sin cultivo	360000	0.5	180000
Zona Urbana	7200	0.6	4320
Pastizales o matorrales	89100	0.5	44550
Carretera de Concreto	11700	0.75	8775
Zona agrícola	14400	0.45	6480
Pastizales o matorrales	3600	0.55	1980
Cauce de quebrada	3600	0.65	2340
Terreno Rocoso	55800	0.7	39060
Zona agrícola	625500	0.5	312750
Zona agrícola sin cultivo	396900	0.6	238140
Zona Urbana	81900	0.7	57330
Zona agrícola	548100	0.55	301455
Terreno Rocoso	533700	0.8	426960
Zona agrícola sin cultivo	44100	0.65	28665
Zona agrícola	900	0.6	540
Zona Urbana	32400	0.75	24300
Zona agrícola sin cultivo	1800	0.7	1260
SUMA	3077100		1839960

Se calcula el valor ponderado del coeficiente de escorrentía para uniformizar el valor en toda la cuenca con una media ponderada. (Villón M., 2011)

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \dots (33)$$

Donde:

C: coef. de escorrentía ponderado.

C_i : coef. de escorrentía para el área A_i .

A_i : Área i.

N: cantidad de áreas parciales.

$$C = \frac{1839960 \text{ m}}{3077100 \text{ m}}$$

$$C = 0.598$$

2.4.11. Cálculo del caudal.

En estas líneas evaluamos el volumen del fluido en un segmento de tiempo dicho caudal es generado por la cuenca aportante 1 y la cuenca de la quebrada Tingomayo.

- **Coefficiente de uniformidad para la cuenca de la quebrada Tingomayo**

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad \dots (34)$$

Donde:

Tc=Tiempo de concentración (horas)

Tc=0.67 h

$$K = 1 + \frac{0.67^{1.25}}{0.67^{1.25} + 14}$$

$$K = 1 + \frac{0.67^{1.25}}{0.67^{1.25} + 14} = 1 + \frac{0.606}{14.606} = 1.0415$$

- **Coefficiente de uniformidad para la cuenca aportante 1**

Donde:

Tc=Tiempo de concentración (horas)

Tc=0.93 h

$$K = 1 + \frac{0.93^{1.25}}{0.93^{1.25} + 14}$$

$$K = 1 + \frac{0.93^{1.25}}{0.93^{1.25} + 14} = 1 + \frac{0.913}{14.913} = 1.0612$$

- **Caudal con el método racional modificado.**

El método racional muy utilizado para el cálculo del caudal pico en cuencas pequeñas en donde la fórmula es: (MTC, 2012)

$$Q = 0.278CIAK \quad \dots (35)$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentia (sin dimensiones)

I: Intensidad de precipitación (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

K: Coeficiente de uniformidad

Los datos de la cuenca de la quebrada Tingo mayo son:

- C: 0.598
- A: 3.1017 Km².
- K: 1.0415
- i_{max} para Tr= 2 años: 21.947 mm/hr.
- i_{max} para Tr= 5 años: 24.965 mm/hr.

- i_{max} para $Tr=10$ años: 27.521 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=25$ años: 31.305 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=50$ años: 34.509 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=100$ años: 38.042 mm/hr.

Gasto para un tiempo de retorno de 2 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 21.947 \times 3.1017 \times 1.0415 = 11.78 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 5 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 24.965 \times 3.1017 \times 1.0415 = 13.40 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 10 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 27.521 \times 3.1017 \times 1.0415 = 14.77 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 25 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 31.305 \times 3.1017 \times 1.0415 = 16.80 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 50 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 34.509 \times 3.1017 \times 1.0415 = 18.52 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 100 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 38.042 \times 3.1017 \times 1.0415 = 20.42 \frac{m^3}{s}$$

Los datos de la **cuenca aportante 1** son:

- C: 0.598
- A: 1.430 Km².
- K: 1.0612
- i_{max} para $Tr= 2$ años: 21.947 mm/hr.
- i_{max} para $Tr= 5$ años: 24.965 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=10$ años: 27.521 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=25$ años: 31.305 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=50$ años: 34.509 mm/hr.
- i_{max} para $Tr=100$ años: 38.042 mm/hr.

Gasto para un tiempo de retorno de 2 años y se utiliza la fórmula 35.

$$Q = 0.278CIAK$$

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 21.947 \times 1.430 \times 1.0612 = 5.54 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 5 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 24.965 \times 1.430 \times 1.0612 = 6.30 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 10 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 27.521 \times 1.430 \times 1.0612 = 6.94 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 25 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 31.305 \times 1.430 \times 1.0612 = 7.90 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 50 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 34.509 \times 1.430 \times 1.0612 = 8.71 \frac{m^3}{s}$$

Gasto para un tiempo de retorno de 100 años

$$Q = 0.278 \times 0.598 \times 38.042 \times 1.430 \times 1.0612 = 9.60 \frac{m^3}{s}$$

2.4.12. Hidrograma Triangular SCS (Servicio de conservación de suelos).

El hidrograma triangular es un método simplificado que simboliza de forma triangular a la relación entre el tiempo y el caudal de escorrentía. Este método nos ayuda a estimar el hidrograma partiendo de parámetros hidrológicos básicos. (Chow V., 1988)

- Los datos de la cuenca de la **quebrada Tingomayo** son:

Duración de la lluvia efectiva (de):

Para nuestra cuenca pequeña indican que tiempo de concentración $T_c = de$. (Villón Béjar, Hidrología, 2011)

$$T_c = 0.67 \text{ h} \quad \dots (36)$$

$$de = 0.67 \text{ h} \quad \dots (37)$$

Tiempo de retardo (t_r):

$$t_r = 0.6 T_c \quad \dots (38)$$

$$t_r = 0.6 \times 0.67$$

$$t_r = 0.402 \text{ h}$$

Tiempo de pico (T_p):

$$T_p = \frac{de}{2} + t_r \quad \dots (39)$$

$$T_p = \frac{0.67}{2} + 0.402$$

$$T_p = 0.737 \text{ h}$$

Tiempo de base o duración total del hidrograma (T_b):

$$T_b = 2.67 \times T_p \quad \dots (40)$$

$$T_b = 2.67 \times 0.737$$

$$T_b = 1.96 \text{ h}$$

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Q_p) para $T_r = 2$ años:

$$Q_p = 11.78 \frac{m^3}{s}$$

- Contamos con 3 partes en el hidrograma triangular:
 - o **Ascenso:** Se define desde que se genera el evento hasta el caudal máximo.
 - o **Pico del hidrograma:** Es el caudal máximo en el tiempo pico.
 - o **Descenso:** Decrecimiento lineal desde el caudal máximo hasta un caudal igual a cero en el tiempo base. (Chow V., 1988)

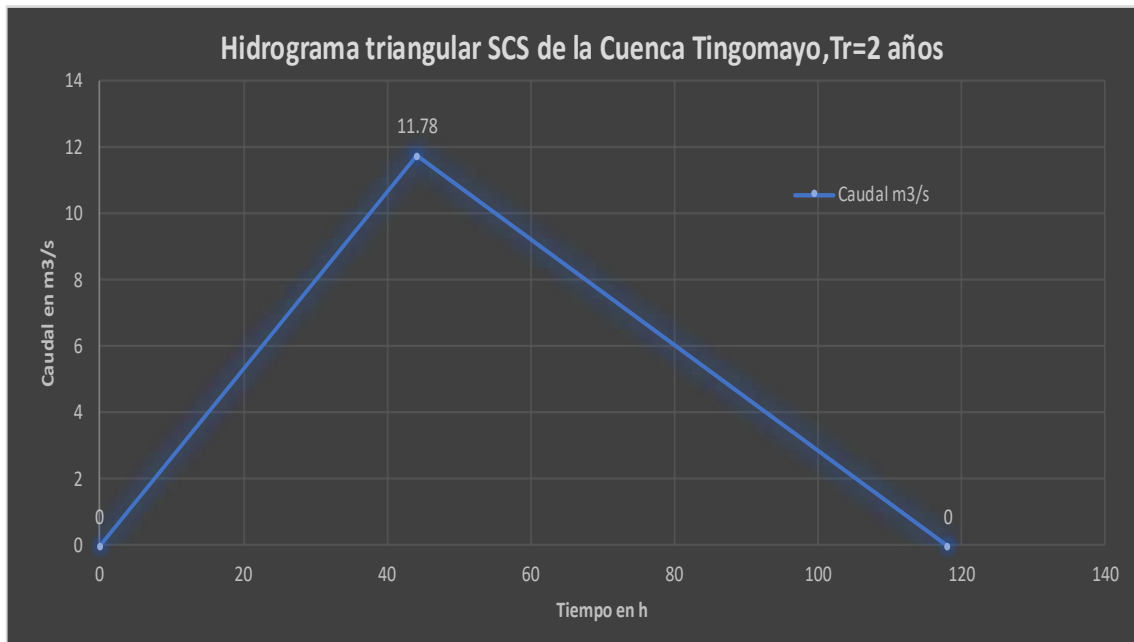


Figura 38.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=2 años y un gasto pico de 11.78 m³/s

Hidrograma triangular SCS para un caudal máximo (Qp) para Tr=5 años:

$$Q_p = 13.40 \frac{m^3}{s}$$

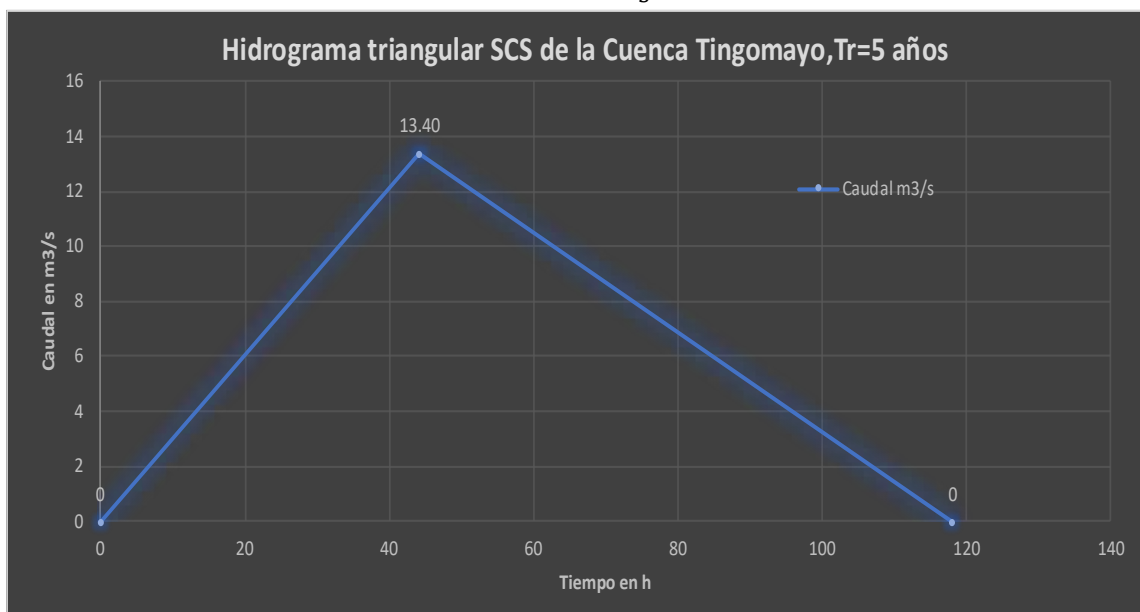


Figura 37.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=5 años y un gasto pico de 13.40 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal máximo (Qp) para Tr=10 años:

$$Q_p = 14.77 \frac{m^3}{s}$$

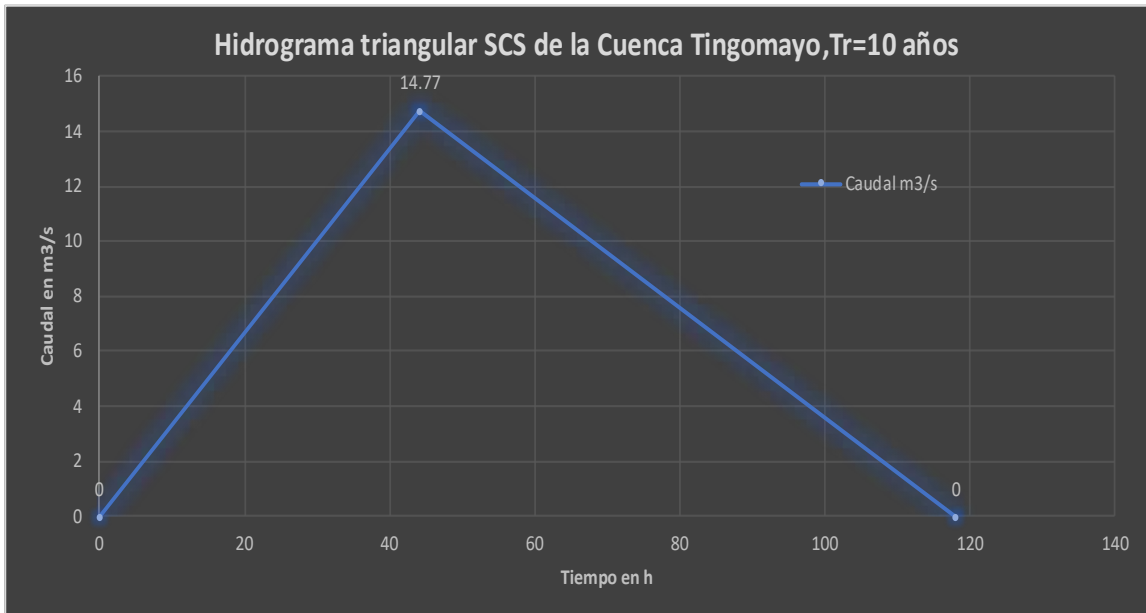


Figura 39.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=10 años y un gasto pico de 14.77 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal máximo (Qp) para Tr=25 años:

$$Q_p = 16.80 \frac{m^3}{s}$$

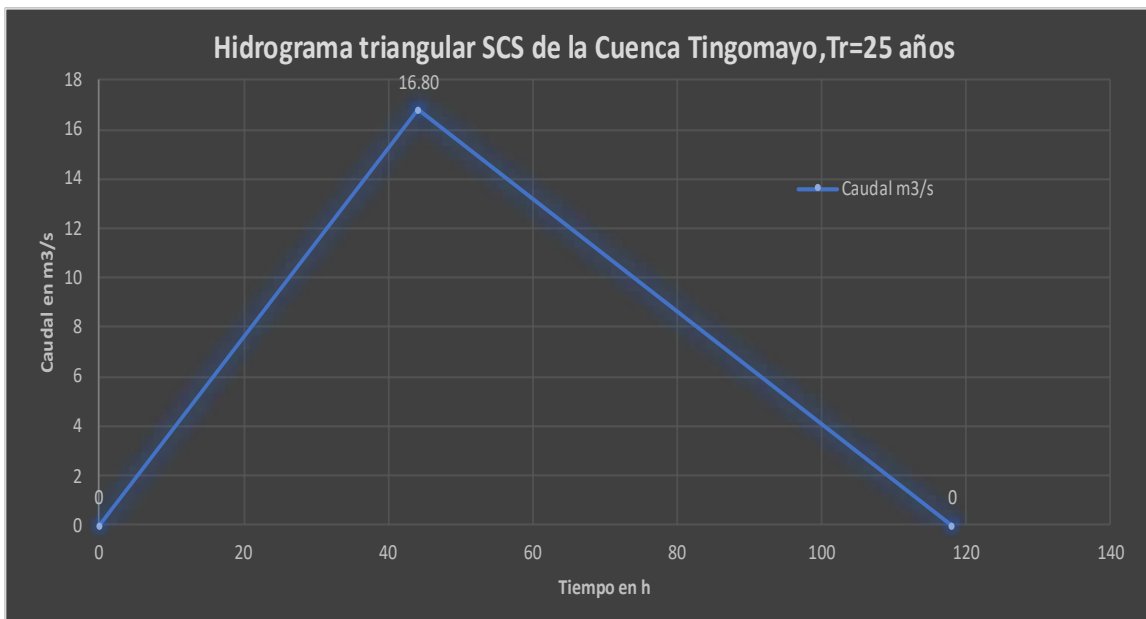


Figura 40.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=25 años y un gasto pico de 16.80 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal máximo (Qp) para Tr=50 años:

$$Q_p = 18.52 \frac{m^3}{s}$$

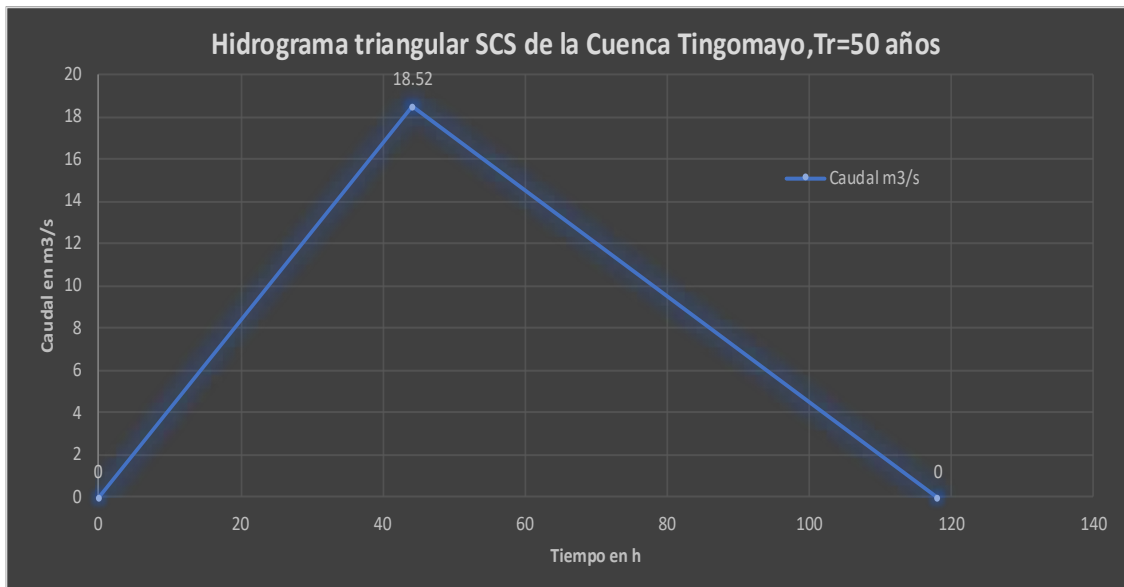


Figura 41.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un $Tr=50$ años y un gasto pico de $18.52 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hidrograma triangular SCS para un caudal máximo (Q_p) para $Tr=100$ años:

$$Q_p = 20.42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

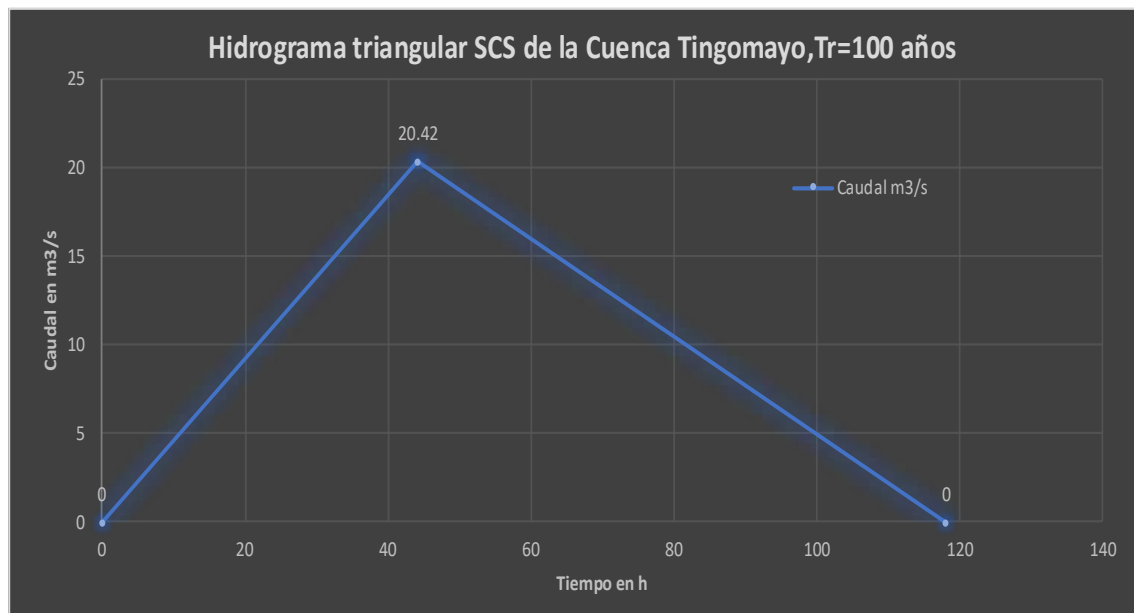


Figura 42.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un $Tr=100$ años y un gasto pico de $20.42 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Los datos de la **cuenca aportante 1** son:

Duración de la lluvia efectiva (de) en cuencas pequeñas al igual e en las fórmulas (36) y (37):

$$T_c = de = 0.93 \text{ horas}$$

Tiempo de retardo (t_r) sustituyendo en la fórmula (38):

$$t_r = 0.6T_c$$

$$t_r = 0.6 \times 0.93$$

$$t_r = 0.558 \text{ h}$$

Tiempo de pico (T_p) sustituyendo en la fórmula (39):

$$T_p = \frac{de}{2} + t_r$$

$$T_p = \frac{0.93}{2} + 0.558$$

$$T_p = 1.023 \text{ h}$$

Tiempo de base o duración total del hidrograma (T_b) sustituyendo en la fórmula (40):

$$T_b = 2.67 \times T_p$$

$$T_b = 2.67 \times 1.023$$

$$T_b = 2.73 \text{ h}$$

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Q_p) para $Tr=2$ años:

$$Q_p = 5.54 \frac{m^3}{s}$$

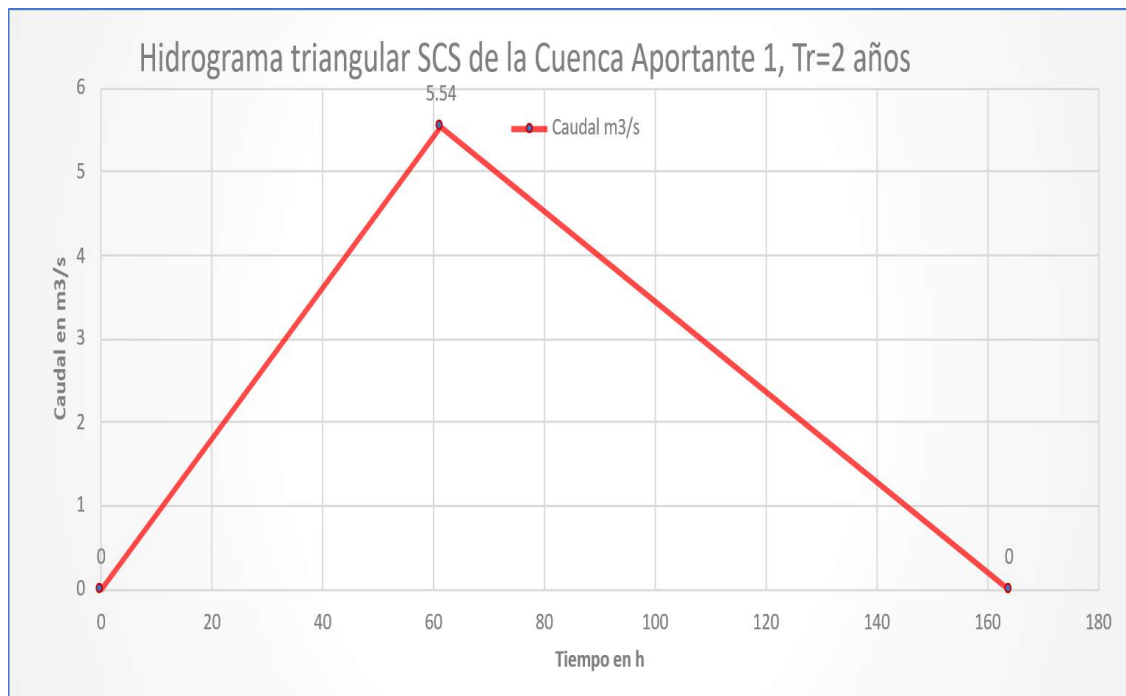


Figura 43.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un $Tr=2$ años y un gasto pico de 5.54 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Q_p) para $Tr=5$ años:

$$Q_p = 6.30 \frac{m^3}{s}$$

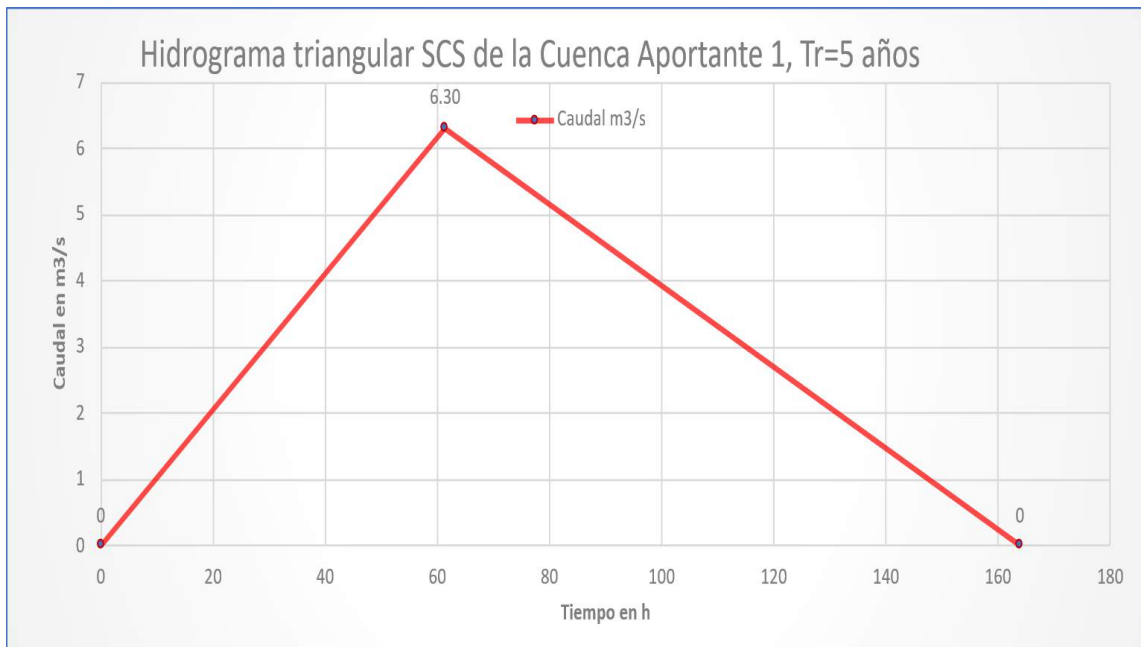


Figura 45.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=5 años y un gasto pico de 6.30 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Qp) para Tr=10 años:

$$Q_p = 6.94 \frac{m^3}{s}$$

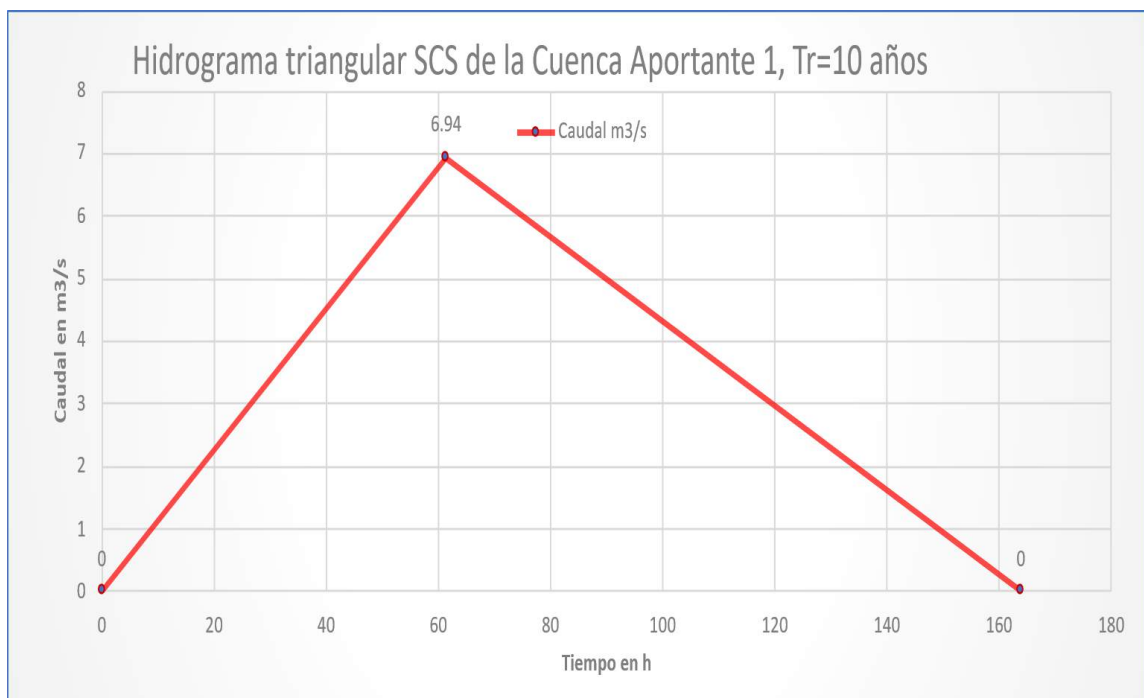


Figura 44.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=10 años y un gastol pico de 6.94 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Qp) para Tr=25 años:

$$Q_p = 7.90 \frac{m^3}{s}$$

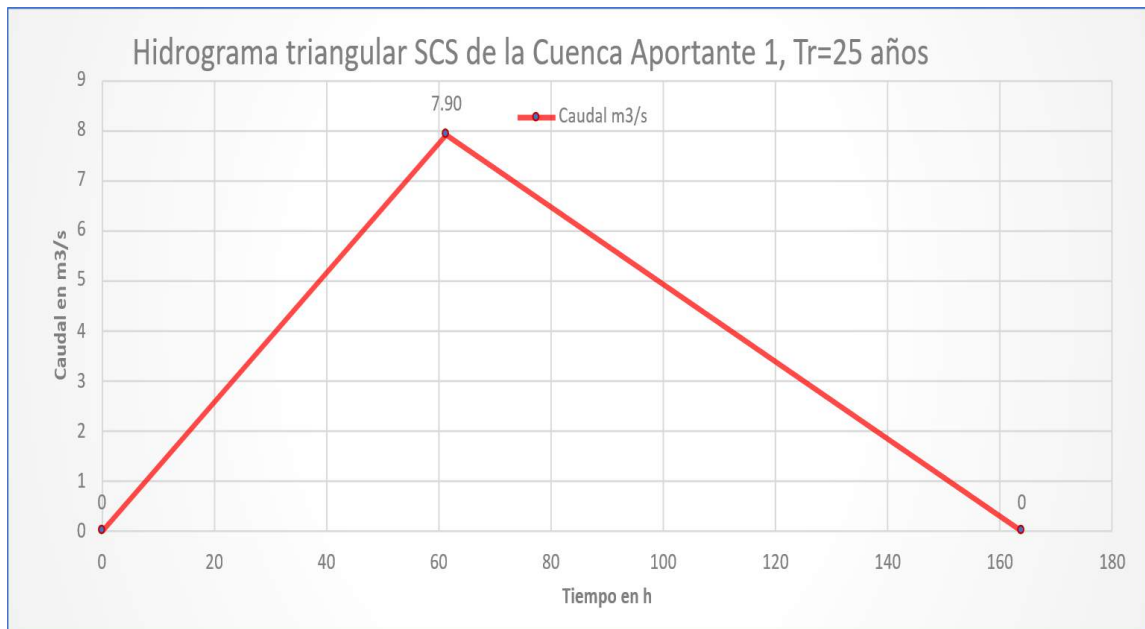


Figura 47.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=25 años y un gasto pico de 7.90 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Qp) para Tr=50 años:

$$Q_p = 8.71 \frac{m^3}{s}$$

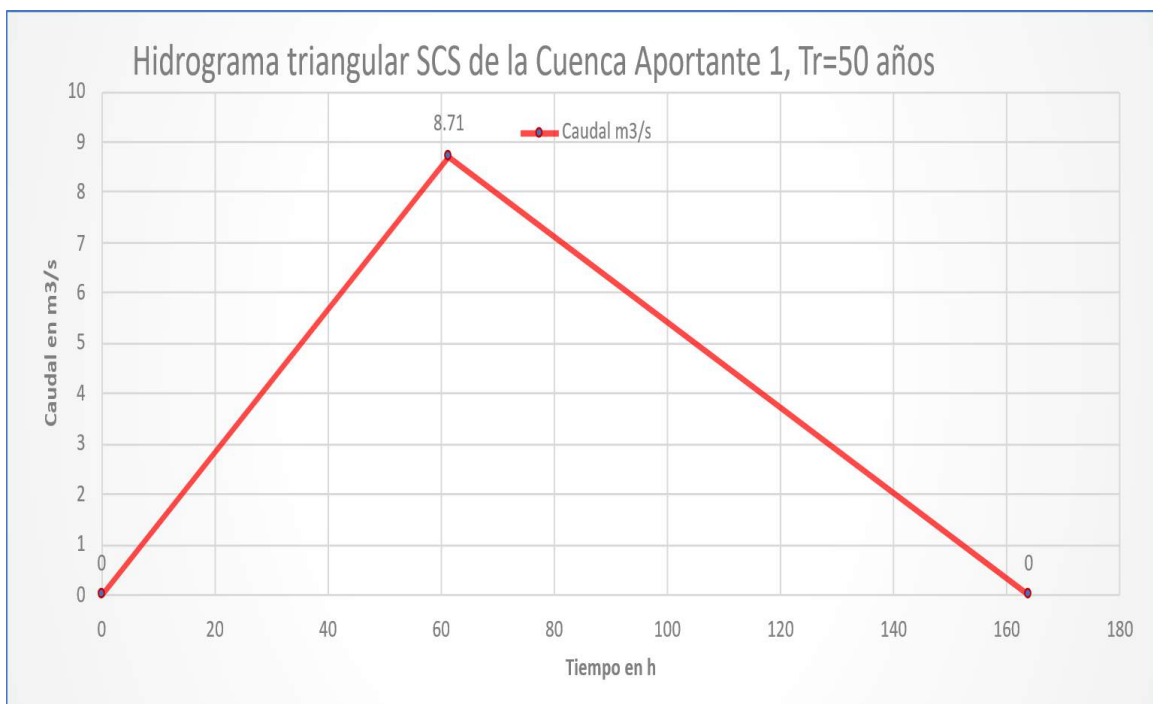


Figura 46.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un Tr=50 años y un gasto pico de 8.71 m³/s.

Hidrograma triangular SCS para un caudal de máximo (Qp) para Tr=100 años:

$$Q_p = 9.60 \frac{m^3}{s}$$

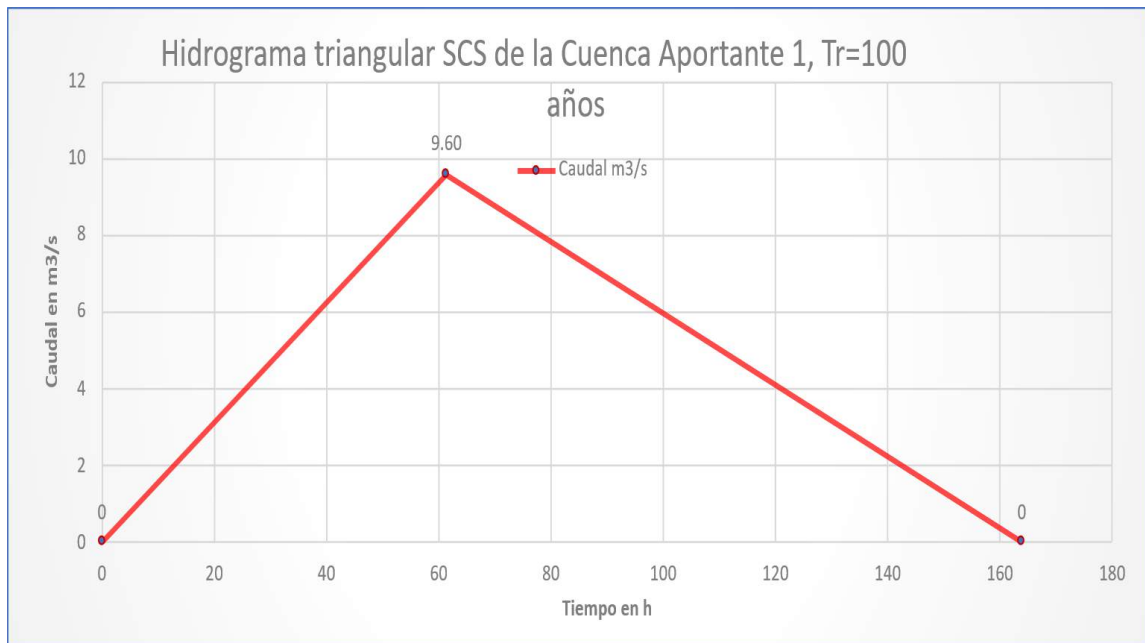


Figura 48.- Hidrograma triangular SCS aplicado a un $Tr=100$ años y un gasto pico de $9.60\text{m}^3/\text{s}$.

2.4.13. Procesamiento de datos de la topografía.

Se procesó los datos del levantamiento topográfico que se utilizó el Datum WGS 84 en coordenadas UTM y se realiza el descarte de algunas cotas que por interferencia se distorsiona la medición de las cotas este proceso se realiza con el programa Excel. Después de eso se categoriza según los códigos de levantamiento, para que cuando elabore las curvas de nivel nos sea más fácil identificar dichos puntos.

se procede a guardar los datos en un formato CVS. Delimitado por comas para que lo pueda identificar el software Civil 3D. Nuestra área de influencia es de 168.487 Ha , por lo que se tiene un aproximado de 7 mil puntos georreferenciados y con sus respectivas cotas. Dentro de este levantamiento se tiene el cauce de la quebrada Tingomayo desde la zona denominada “El reloj” que se encuentre un puente con una progresiva de $0+000\text{ km}$ hasta el río Chonta con una progresiva de $1+958\text{ km}$. se cuenta con 4 estructuras a lo largo del cauce que es 3 puentes y 1 alcantarilla.

Se ubico en esta zona el área de estudio debido a que en esta parte se ubica la mayor cantidad de área urbana y en un colapso puede afectar a mayor población.

2.4.14. Elaboración de TIN (Redes irregulares de Triángulos) y DEM.

Se utiliza el software Civil 3D en primer lugar se georreferencia la hoja de trabajo a UTM WGS 84 EN ZONA 17 SUR para luego se procede con la importación de puntos y continuar con la creación de la red irregular de triángulos (TIN) y de esta manera crear las curvas a nivel, este software cuenta con algoritmo para poder interpolar entre puntos y dibujar las curvas a nivel, el único inconveniente es que lo realiza a través de unos parámetros ya predeterminados, generando una superficie distinta a la realidad, para lo cual se tiene que editar las triangulaciones que realiza el programa y dando otras orientaciones a las líneas.

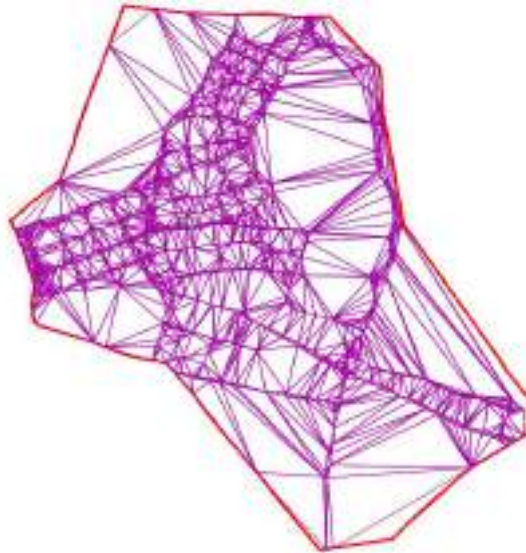


Figura 49.- TIN (Red irregular de triángulos), creada en civil 3D.



Figura 50.- Curvas a nivel creadas a partir del TIN.

Luego se realiza la exportación de TIN a Modelo Digital de Elevación (DEM) coordenadas iguales a la ya indicada y con intervalo de rejilla de 0.30 m por tamaño de píxel el cual sale con una extensión (.tif) como se observa en la figura 51.



Figura 51.- Transformación de TIN a DEM. (Modelos Digital de Elevación), creada en QGis 3.40.2. Con formato(.tif)

2.4.15. Modelación hidráulica para HEC-RAS Versión 6.5.

- **Ingresar datos para HEC-RAS 6.5**

Para el modelamiento con HEC-RAS 6.5 se carga formatos TIF, FLT, ADF, IMG; en nuestro caso ya tenemos el formato .TIF por lo que se procede a cargar mediante este

El archivo Tif, es cargado en la opción de Terrain en donde se importa hacia la ventana de ras mapper. En la ventana de ras mapper de HEC RAS clasifica por una paleta de colores según las elevaciones en el mapa, integrando las curvas de nivel y la clasificación de colores según la elevación.

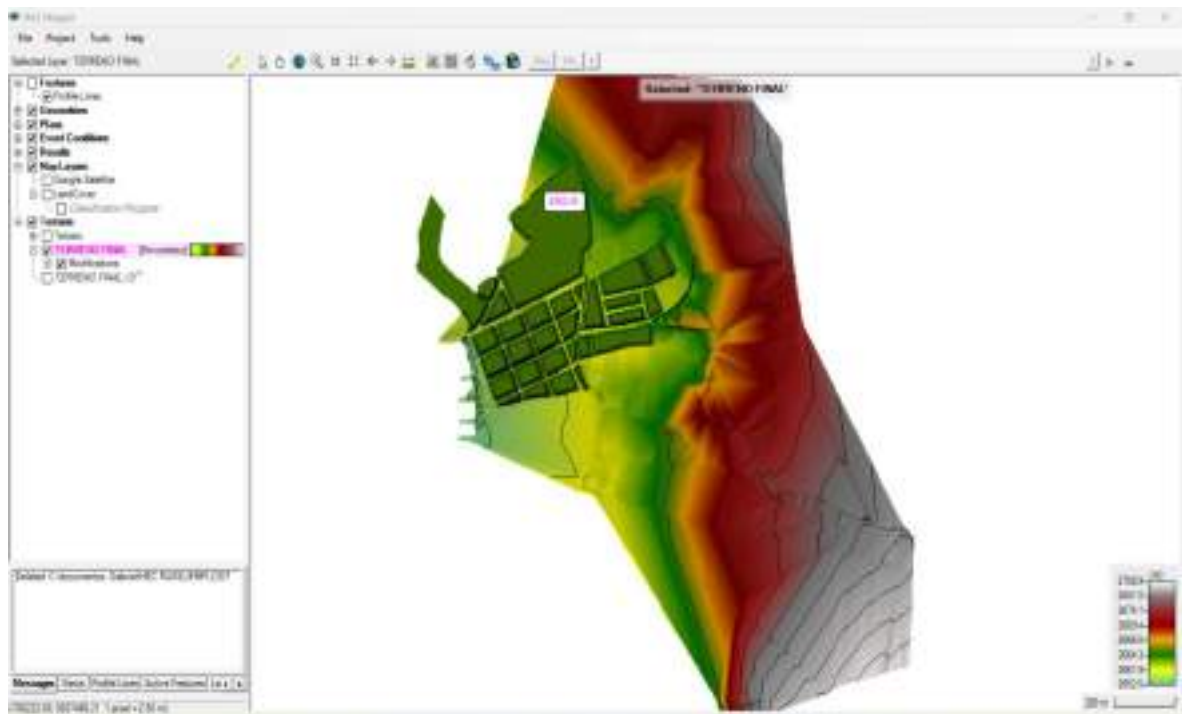


Figura 52.- Se importa el archivo .tif de nuestra topografía al programa HEC-RAS 6.5.

- **Generación de la geometría, mallado y estructuras en el cauce.**

Se realiza un perímetro en nuestra área de estudio como se visualiza en la imagen siguiente, visualizando un mallado de 2.5 metros, cabe recalcar que estas dimensiones se colocan en áreas donde no hay presencia de agua. En áreas de mayor interés el mallado es de 0.5 metros, para visualizar el fenómeno y comprender mejor la interacción del fluido con las estructuras que tiene contacto.

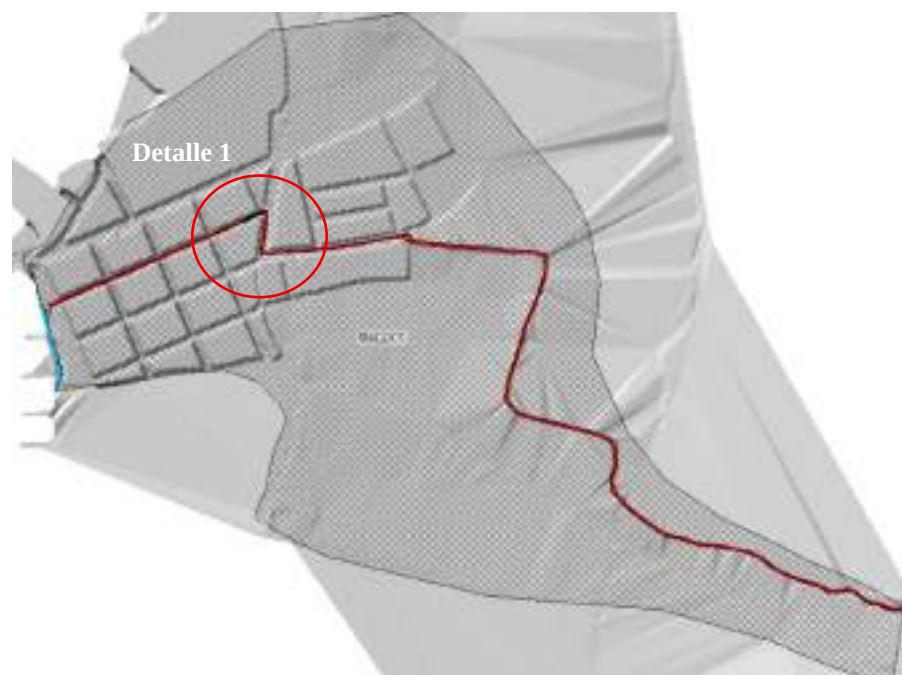


Figura 53.- Se crea el perímetro y mallado de la ciudad de Los Baños del Inca.

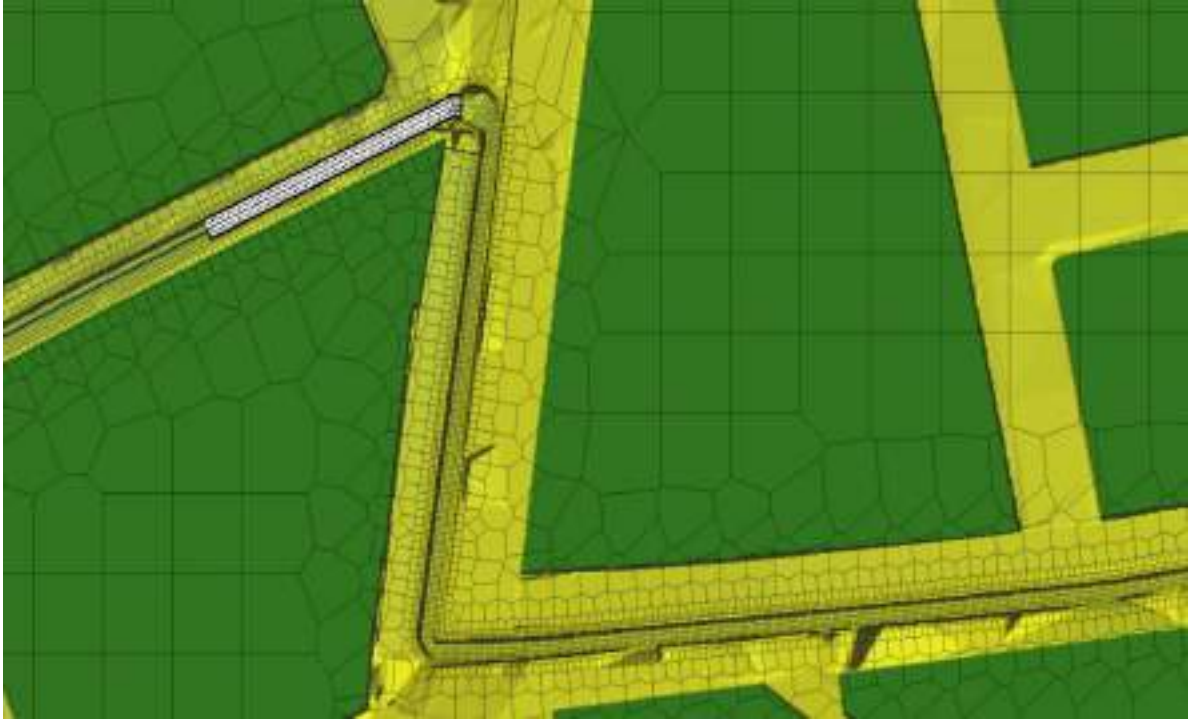


Figura 54.- Visualización de estructuras y detalle de mallado en estructura de encauzamiento de 0.5 m.

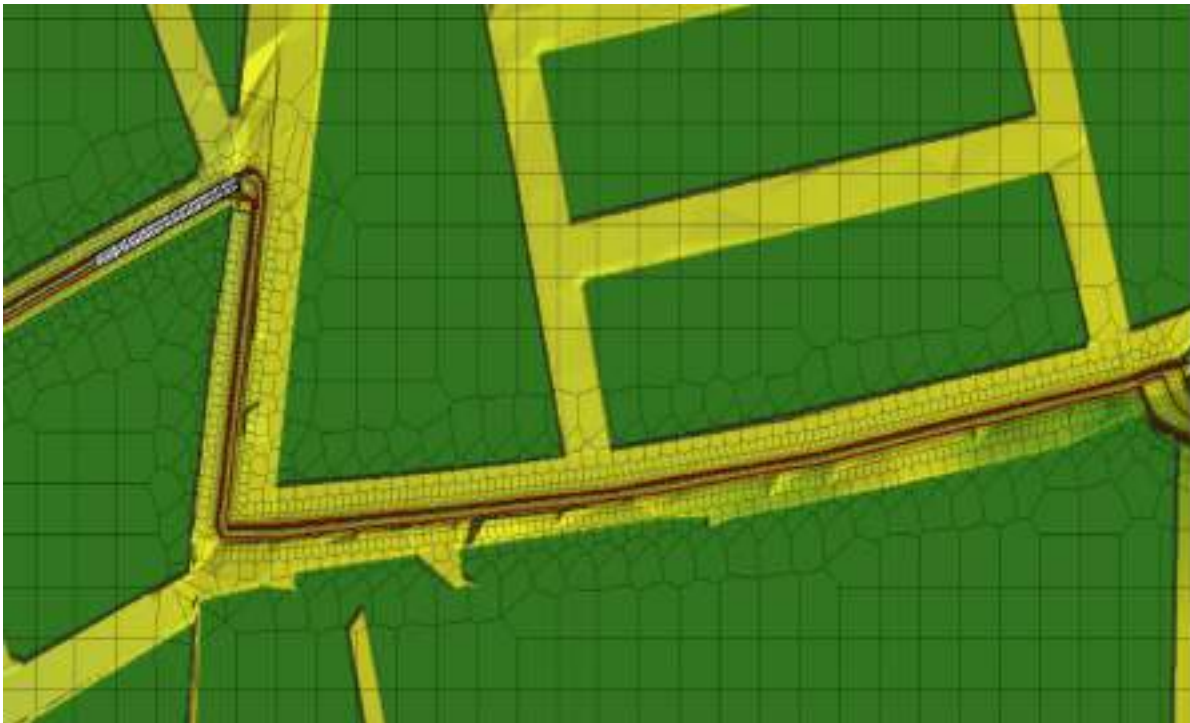


Figura 55.- Visualización de líneas de ruptura para afinar el cálculo y evitar errores de falsos desbordamientos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Escenario $Q_{Tingo.} = 11.78 \frac{m^3}{s}$ y $Q_{Aport.} = 5.54 \frac{m^3}{s}$, periodo de retorno 2 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingomayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio, realizando la simulación en Hec-Ras observar un desborde del agua de la quebrada Tingomayo analizando en un $Tr = 2$ años y $Q_{tingo.} = 11.78 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{aport.} = 5.54 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.

El modelamiento muestra todo el recorrido de la quebrada Tingomayo hasta llegar al Rio Chonta.

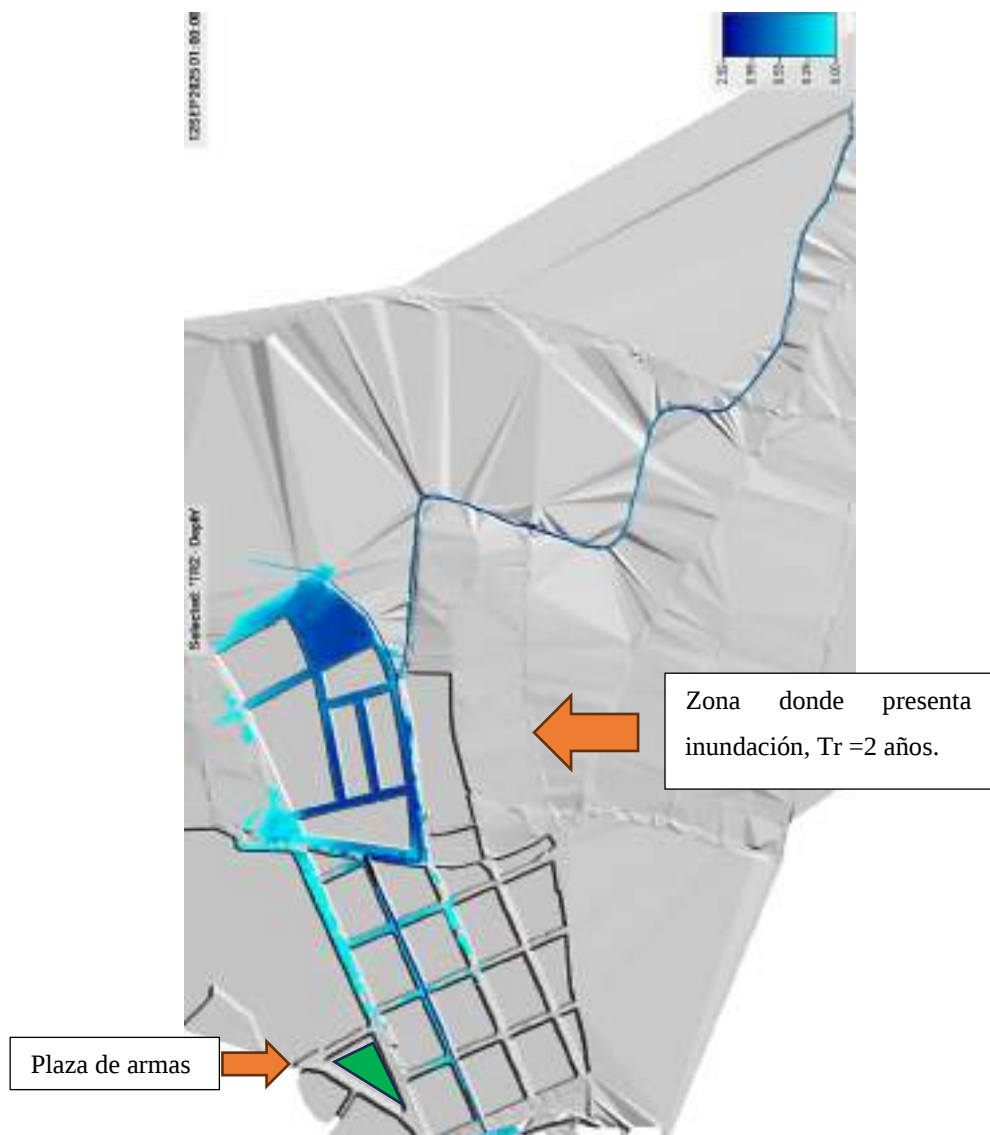


Figura 56.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr = 2$ años.

Acercamiento de la Figura 57 en donde se enmarca con un círculo rojo y se superpone la imagen satelital para ver la zona afectada por la inundación.



Figura 57.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 2$ años.

Se aprecia en la figura 57 la escala celeste-azul, representa la extensión del agua por las calles Lloque Yupanqui con un tirante promedio de 0.34 m, El Molle con tirante promedio de 1.00 m y El capulí con un tirante promedio 0.96 m; en la parte de EsSalud un tirante promedio de 0.62 m, calle del Jr. Sinchi Roca 0.35 m equivalente a la vereda existente y en el Jr. Yahuar Huaca un tirante promedio de 0.24 m.

4.1.2. Escenario $Q_{\text{Tingo.}} = 13.40 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ y $Q_{\text{Aport}} = 6.30 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, periodo de retorno 5 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingo mayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio para un $Tr= 5$ años y $Q_{\text{tingo.}}=13.40 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{aport.}} = 6.30 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.

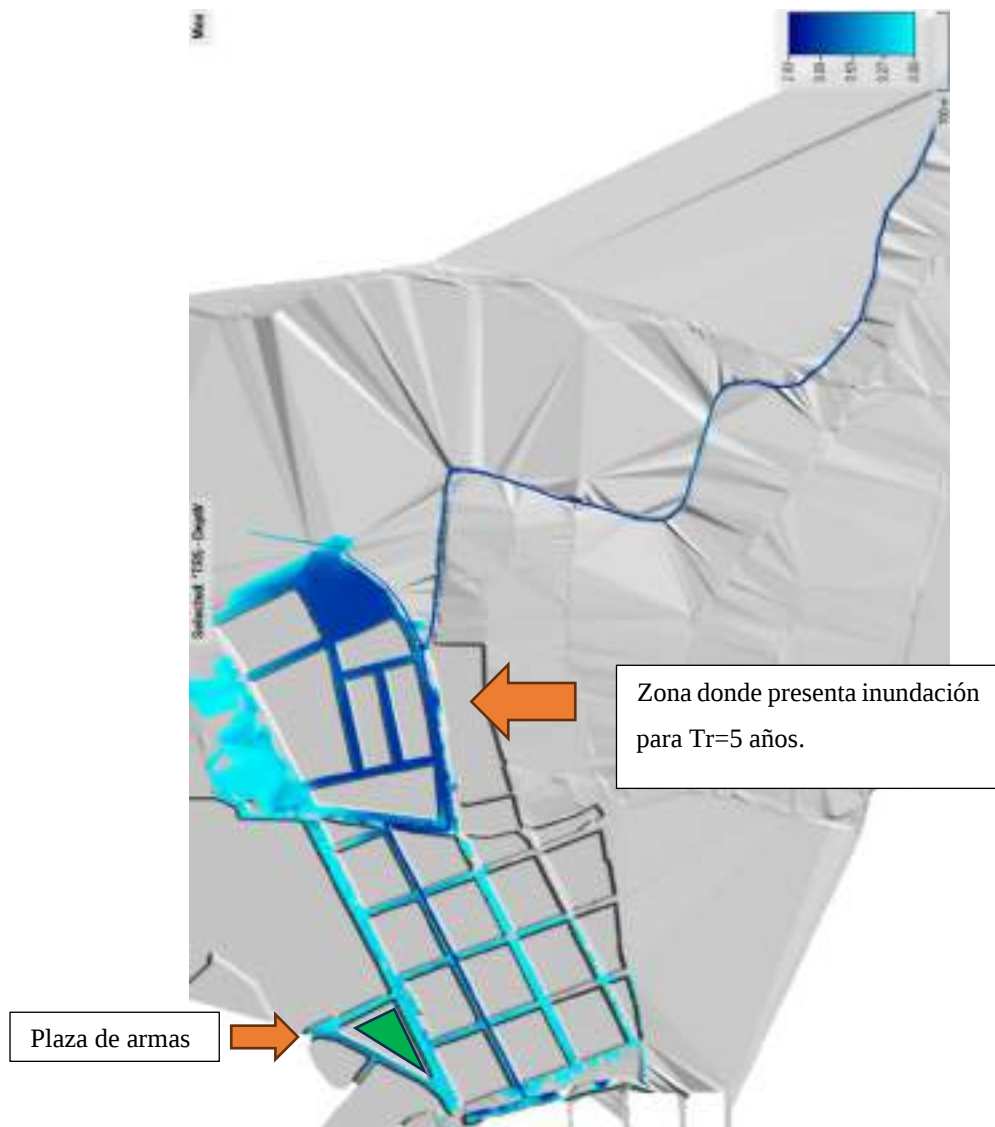


Figura 58.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr=5$ años.

Se aprecia en la figura 58 la escala celeste-azul, representa la extensión del agua por las calles Lloque Yupanqui con un tirante promedio de 0.41 m, El Molle con tirante promedio de 1.20 m y El capulí con un tirante promedio 1.15 m; en la parte de EsSalud un tirante promedio de 0.65 m, calle del Jr. Sinchi Roca la cuadra 1 el tirante es de 0.36 m equivalente a la vereda existente, Jr. Yahuar Huaca un tirante promedio de 0.33 m y en la Av. Manco Capac el tirante en promedio

es de 0.13 m. En la figura 59 resalta la inundación en la ciudad de Los Baños del Inca, identificando los tirantes con una escala en la parte superior derecha.



Figura 59.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 5$ años.

4.1.3. Escenario $Q_{\text{Tingo.}} = 14.77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ y $Q_{\text{Aport}} = 6.94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, periodo de retorno 10 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingomayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio para un $Tr= 10$ años y $Q_{\text{tingo.}}=14.77 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{aport.}} = 6.94 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.

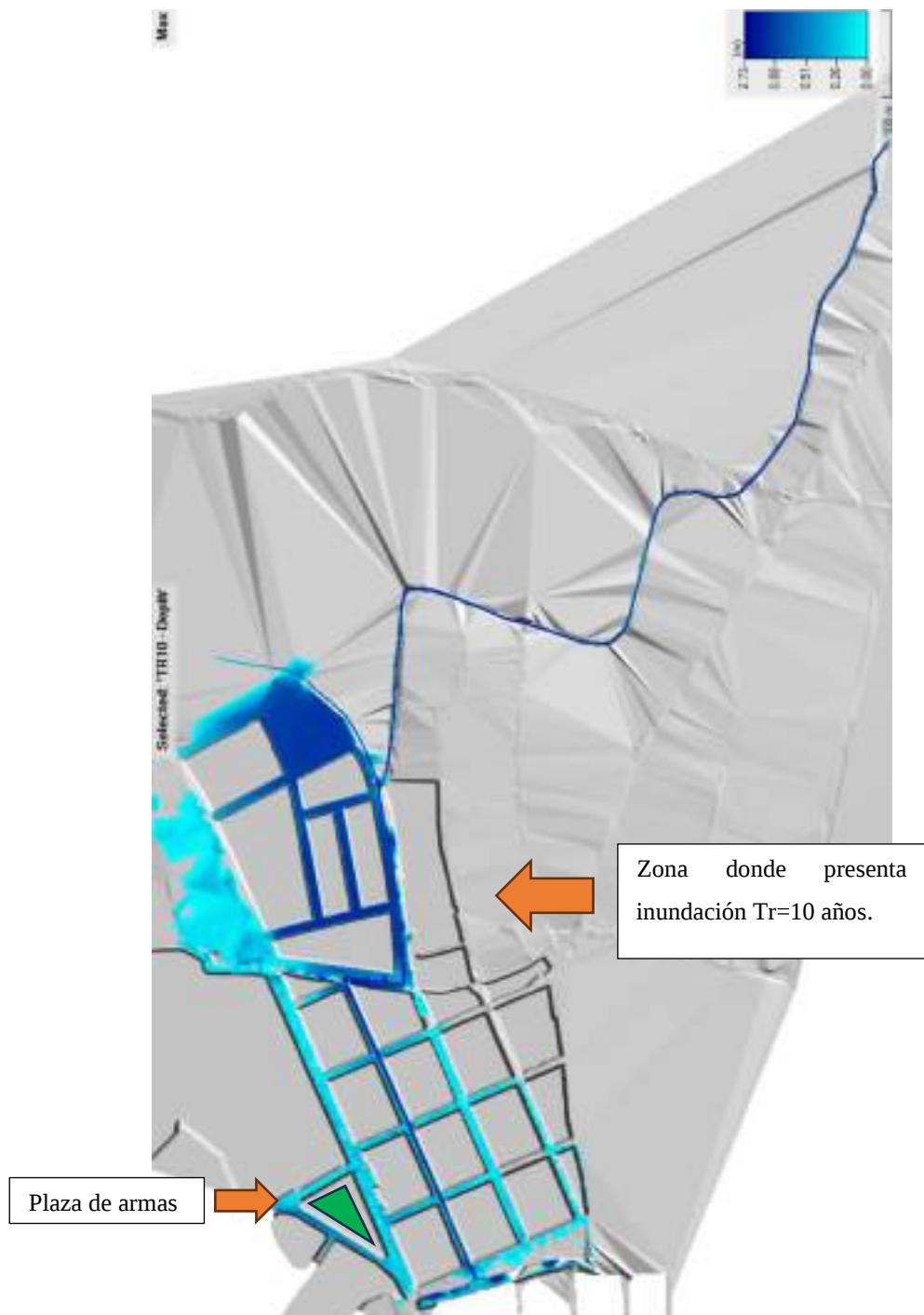


Figura 60.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr=10$ años.



Figura 61.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 10$ años.

En la figura 61 resalta la magnitud de la inundación en la ciudad de Los Baños del Inca ayudándonos con una escala de tirantes en la parte superior derecha. Las zonas afectadas van desde viviendas hasta comercios privados e instituciones públicas como son el caso de centro

EsSalud, mercado de abastos Atahualpa, institución educativa “Andrés Avelino Caceres”, entre otras.

4.1.4. Escenario $Q_{\text{Tingo.}} = 16.80 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ y $Q_{\text{Aport.}} = 7.90 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, periodo de retorno 25 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingomayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio para un $Tr= 25$ años y $Q_{\text{tingo.}}=16.80 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{aport.}} = 7.90 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.

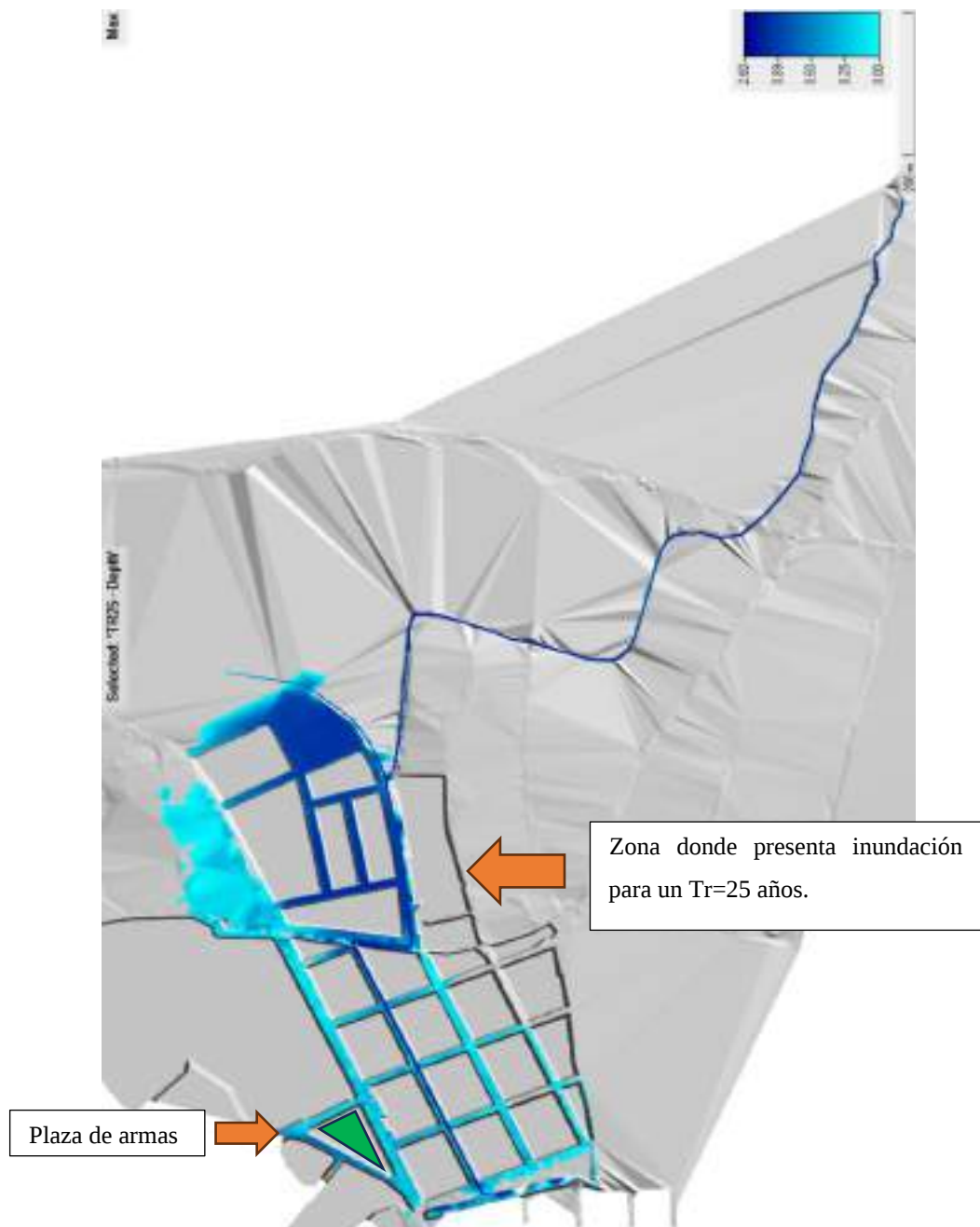


Figura 62.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr=25$ años.



Figura 63.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 25$ años.

En la figura 63 resalta la magnitud de la inundación en la ciudad de Los Baños del Inca ayudándonos con una escala de tirantes en la parte superior derecha. Las zonas afectadas van desde viviendas hasta comercios privados e instituciones públicas como son el caso de centro EsSalud, mercado Atahualpa, institución educativa “Andrés Avelino Cáceres”, entre otras. Se incrementa de huella de inundación con respecto a la $Tr=10$ años.

4.1.5. Escenario $Q_{\text{Tingo.}} = 18.53 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ y $Q_{\text{Aport}} = 8.71 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, periodo de retorno 50 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingomayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio para un $Tr= 50$ años y $Q_{\text{tingo.}}=18.53 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{aport.}} = 8.71 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.



Figura 64.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr=50$ años.



Figura 65.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 50$ años.

En la figura 65 resalta la magnitud de la inundación en la ciudad de Los Baños del Inca ayudándonos con una escala de tirantes en la parte superior derecha. Las zonas afectadas van desde viviendas hasta comercios privados e instituciones públicas como son el caso de centro EsSalud, mercado Atahualpa, institución educativa “Andrés Avelino Caceres”, entre otras. Se incremento de huella de inundación con respecto a la $Tr=25$ años.

4.1.6. Escenario $Q_{\text{Tingo.}} = 20.43 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ y $Q_{\text{Aport}} = 9.60 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, periodo de retorno 100 años.

Se presenta los resultados de la simulación, de acuerdo con el estudio hidrológico la cuenca Tingomayo y la cuenca denominada aportante I, vierten sus aguas a nuestra área de estudio para un $Tr = 100$ años y $Q_{\text{tingo.}} = 20.43 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{aport.}} = 9.60 \text{ m}^3/\text{s}$; obteniendo los resultados, se visualiza huellas de inundación dentro de la ciudad de Los Baños del Inca.

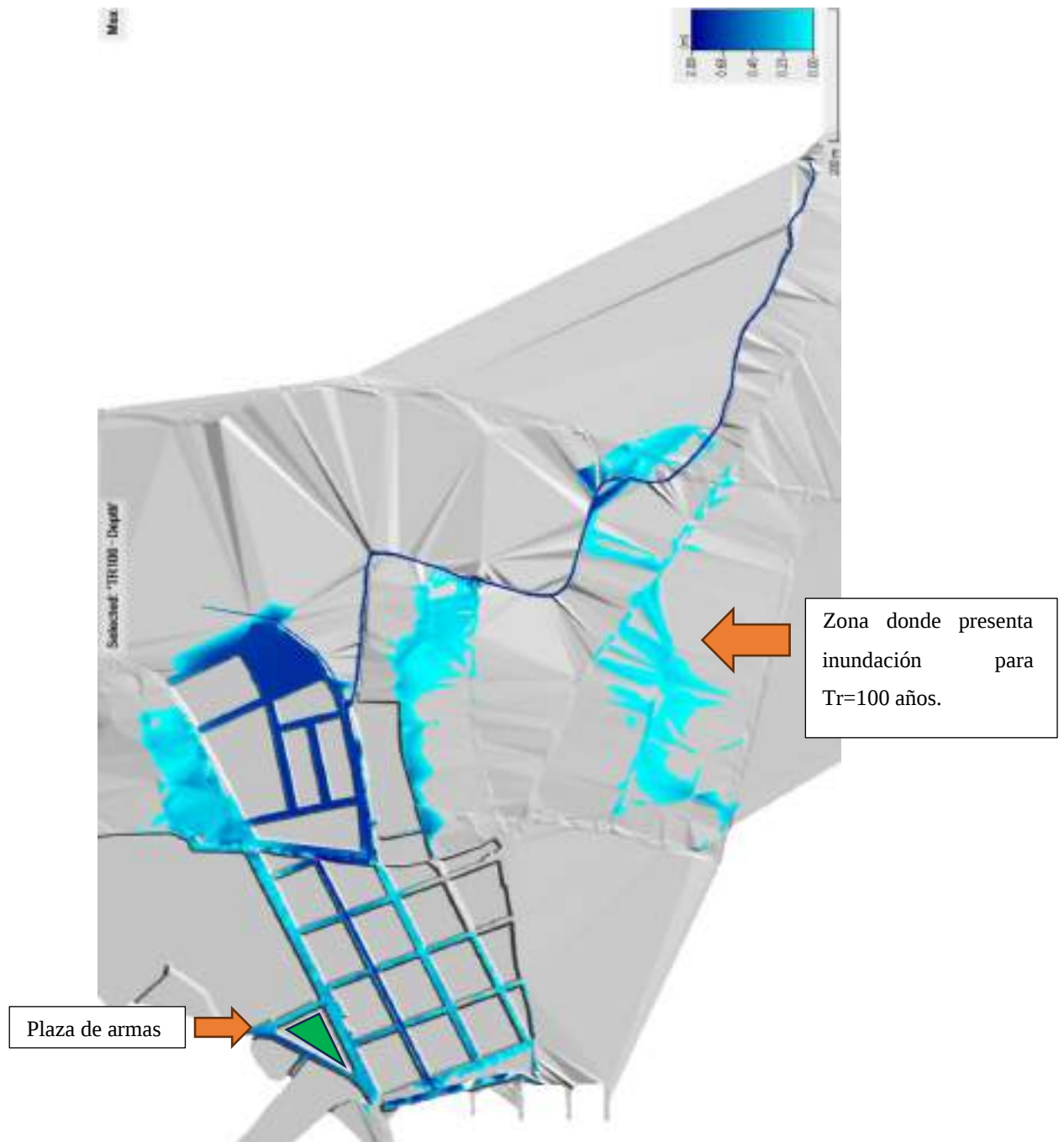


Figura 66.- Se observa un desbordamiento zona de la ciudad de Los Baños del Inca para $Tr=100$



Figura 67.- Imagen satelital con los resultados de HEC-RAS para un $Tr = 100$ años.

En la figura 67 resalta la magnitud de la inundación en la ciudad de Los Baños del Inca ayudándonos con una escala de tirantes en la parte superior derecha. Las zonas afectadas van desde viviendas hasta comercios privados e instituciones públicas como son el caso de centro EsSalud, mercado Atahualpa, institución educativa “Andrés Avelino Caceres”, es un colapso

enorme dentro de la ciudad, fallando las estructuras aguas arriba de la ciudad y dentro de la misma ciudad.

4.1.7. Calibración del modelo hidráulico.

Se calibra el modelo hidráulico con referencia a 2 puntos de control, se inicia el análisis de resultados obtenidos líneas arriba para poder comparar los tirantes y evaluar el tiempo de retorno real.



Figura 68.- Puntos de control en viviendas con huellas hídricas.

En el **punto de control 1** se ubica al costado de EsSalud de Los Baños del Inca, en él se midió con wincha desde la vereda hasta la huella hídrica generada en la inundación del 2017, la distancia es 0.33 m desde su vereda a la huella.



Figura 69. Vista panorámica de la calle Wiracocha donde se ubica el punto de control 1.

Como se observa se procede a medir la huella hídrica y la distancia desde la carretera hasta la vereda (Figura 69).



Figura 70. Vista frontal de punto de control 1, mostrando la huella hídrica.



Figura 71.-Se mide la distancia de 33 cm entre la vereda y la huella hídrica.

Para calibrar el modelo verificamos todos los tirantes de agua para los diferentes de tiempos de retorno, comparando las huellas hídricas como puede observar en la figura 72.

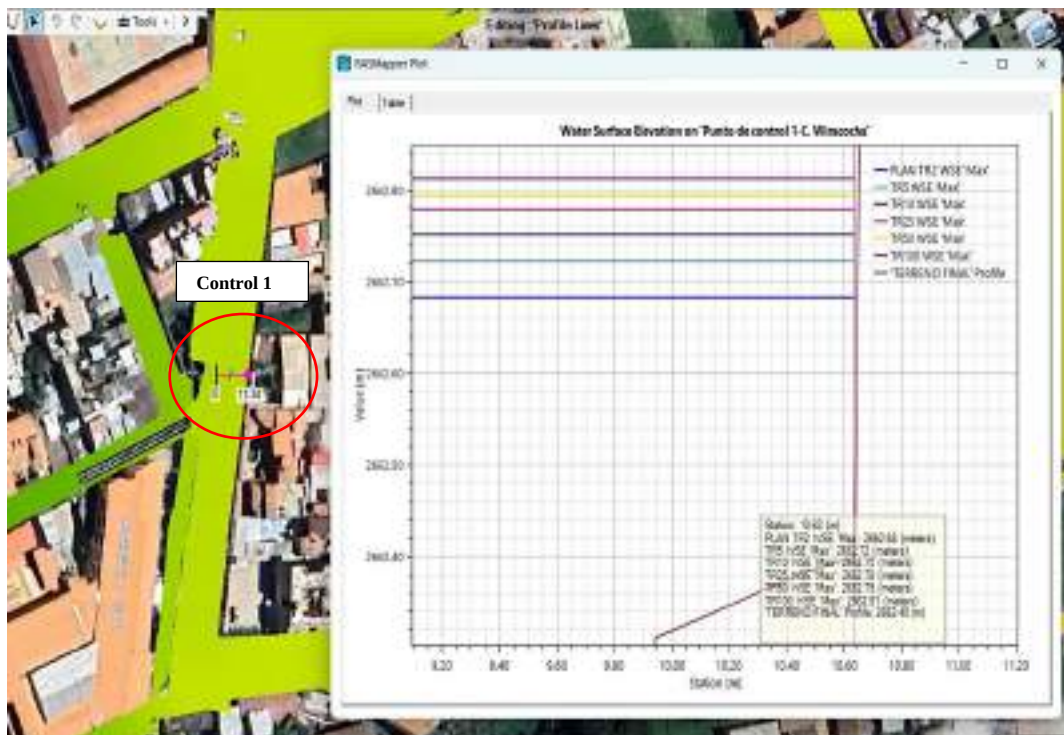


Figura 72.- Se observa los tirantes para $Tr=2, 5, 10, 25, 50, 100$ años con referencia al punto de control 1.

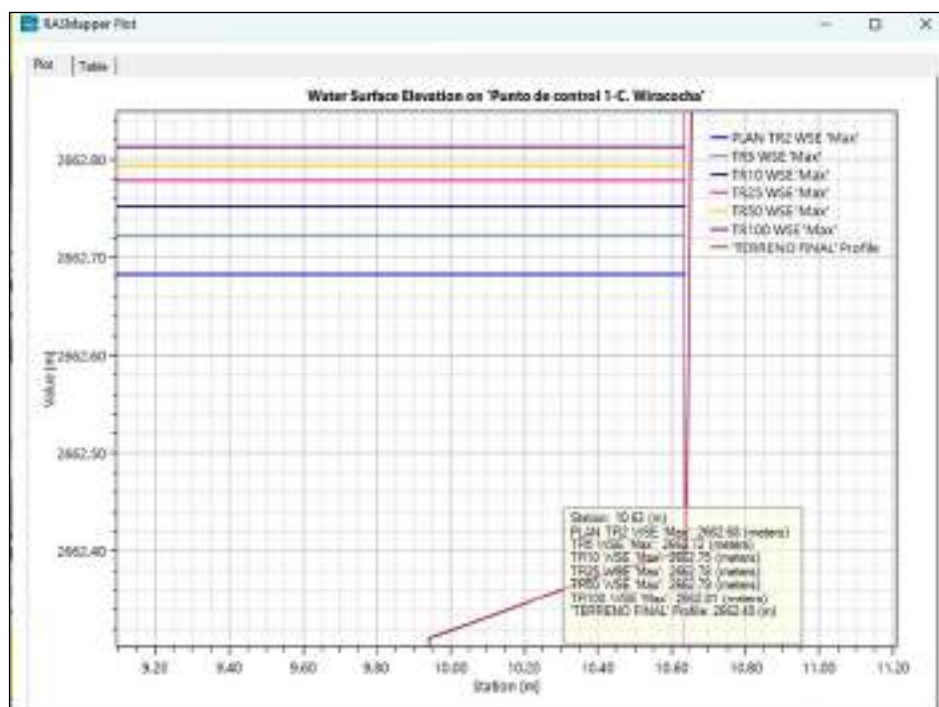


Figura 73.- Perfil transversal de la calle Wiracocha y el punto de control 1, línea roja es el terreno, tirante de agua esta con su leyenda.

Comprando los resultados de los diferentes modelamientos se obtiene los siguientes tirantes.

Tabla 13.- Análisis de tirante en el punto de control 1.

Calibración de tirante de agua en punto de control 1				
Progresiva del perfil (m)	10.637	Perfil del terreno (m)	Tirante calculado del modelo	Tirante de huella hídrica
TR2 WSE 'Max' (m)	2662.683	2662.400	0.29 m	0.33
TR5 WSE 'Max' (m)	2662.723		0.33 m	
TR10 WSE 'Max' (m)	2662.752		0.36 m	
TR25 WSE 'Max' (m)	2662.779		0.38 m	
TR50 WSE 'Max' (m)	2662.794		0.40 m	
TR100 WSE 'Max' (m)	2662.813		0.42 m	

En tiempo de retorno que coincide con el tirante medido en campos es el $Tr = 5$ años, para esto se analiza un perfil transversal a la calle con progresiva 0+010.637 km y en el punto coordinado $X=780289.49$ m, $Y=9207374.82$ m.

En el **punto de control 2** se midió desde el suelo hasta la huella hídrica, Se mide un tirante de 0.66 metros de huella hídrica, se procede a comparar los tirantes. El punto de control N° 2 tiene por coordenadas UTM en WGS 84, $X=780336.06$ m y en $Y=9207308.71$ m como se puede observar en la figura 74.



Figura 74.- Se visualiza la huella hídrica en las columnas de color blanco en la calle El Mutuy con la intersección con la calle El Molle.



Figura 75.-La huella hídrica es de 0.80 metros en la calle Mutuy.

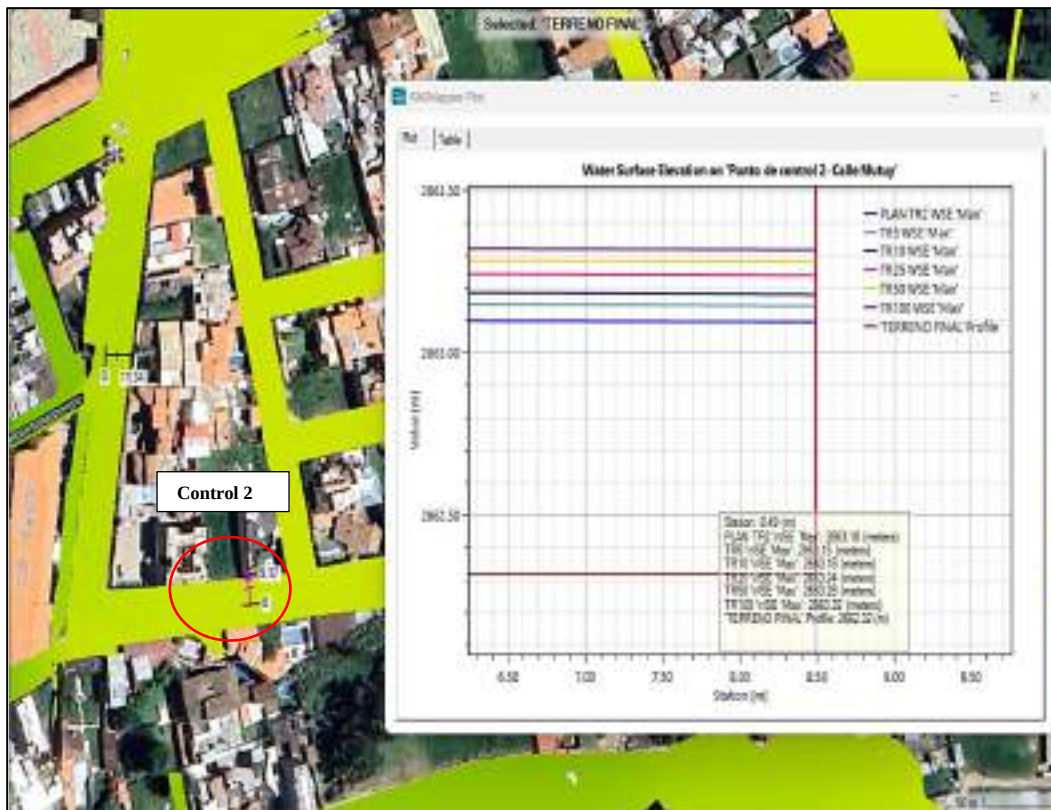


Figura 76.- Se observa los tirantes para $Tr=2, 5, 10, 25, 50, 100$ años con referencia al punto de control 2.

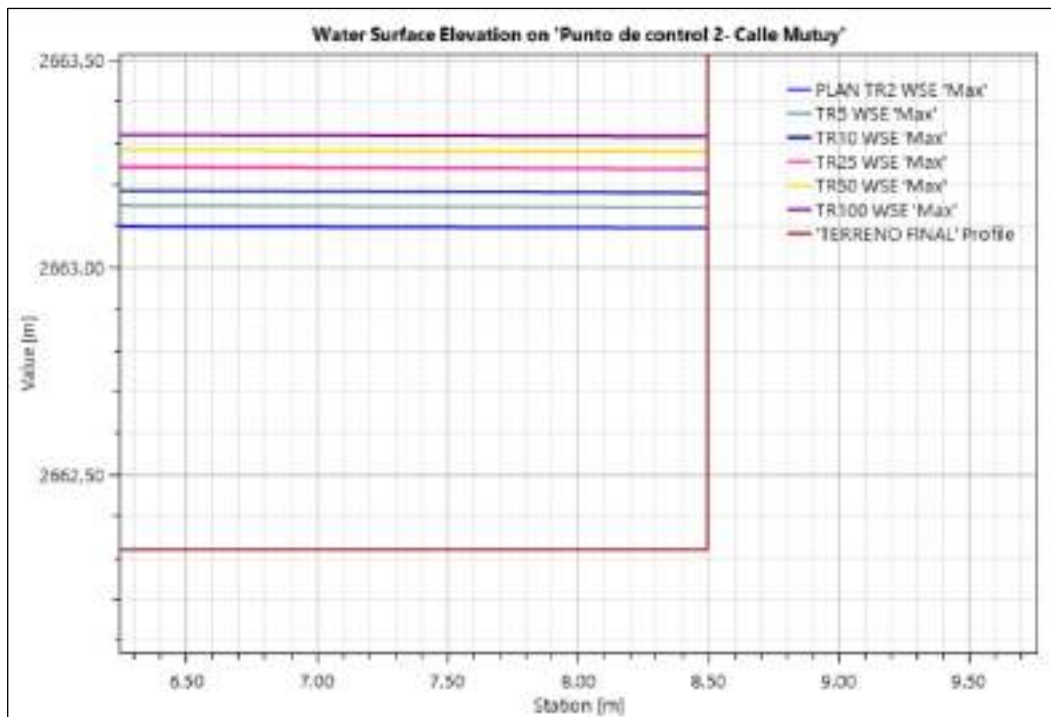


Figura 77.-Análisis de tirantes resultado del modelamiento para diversos tiempos de retorno.

Comprando los resultados de los diferentes modelamientos se obtiene los siguientes tirantes.

Tabla 14.- Análisis de tirante en el punto de control 2.

Calibración de tirante de agua en punto de control 2				
Progresiva del perfil (m)	8.480	Perfil del terreno (m)	Tirante calculado del modelo	Tirante de huella hídrica
TR2 WSE 'Max' (m)	2663.096	2662.320	0.78 m	0.80
TR5 WSE 'Max' (m)	2663.145		0.82 m	
TR10 WSE 'Max' (m)	2663.180		0.86 m	
TR25 WSE 'Max' (m)	2663.238		0.92 m	
TR50 WSE 'Max' (m)	2663.280		0.96 m	
TR100 WSE 'Max' (m)	2663.316		1.00 m	

El tirante modelado que tiene similitud al tirante medido en campos es el $Tr = 5$ años, cabe recalcar que tiene una diferencia de 2 centímetros de error lo cual es aceptable, Este punto de control ubicado en el perfil transversal a la calle Mutuy con progresiva 0+008.480 km.

Con este último análisis queda calibrado nuestro modelo para un tiempo de retorno de 5 años.

4.1.8. Hidrogramas de salida al Rio Chonta.

Se compara los hidrogramas de salida en la progresiva 4+118 Km a la salida de las alcantarillas e ingresando al rio Chonta.

Se muestra los hidrogramas de salida en donde los $Tr = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ años.



Figura 78.- Progresiva 4+118 Km para evaluar los hidrogramas de salida.

Los máximos caudales de salida según los hidrogramas en la progresiva 4+118, obtenidos mediante la modelación hidráulica con HEC-RAS v6.5, muestran que para el escenario con un tiempo de retorno $Tr = 2$ años se tiene un caudal de salida máximo de $10.964 \text{ m}^3/\text{s}$. Para el escenario con un tiempo de retorno $Tr = 5$ años, el caudal máximo de $12.469 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que para un $Tr = 10$, el caudal máximo de $13.599 \text{ m}^3/\text{s}$. En los escenarios de más críticos, el tiempo de retorno $Tr = 25$ años presenta un caudal de salida máximo de $15.495 \text{ m}^3/\text{s}$, el escenario con

Tr=50 años alcanza los 16.684 m³/s y, por último, el escenario con un tiempo de retorno Tr=100 años con un caudal de salida máximo de 17.323 m³/s.

En el anexo 14 se muestran un cuadro comparativo de volúmenes ingreso de y salida, identificando que en el tiempo de retorno de Tr= 100 años se tiene un volumen acumulado de 17 351 m³ en varios puntos de la ciudad, este volumen es el que se queda acumulada en la ciudad.

4.1.9. MAPAS DE TIRANTES.

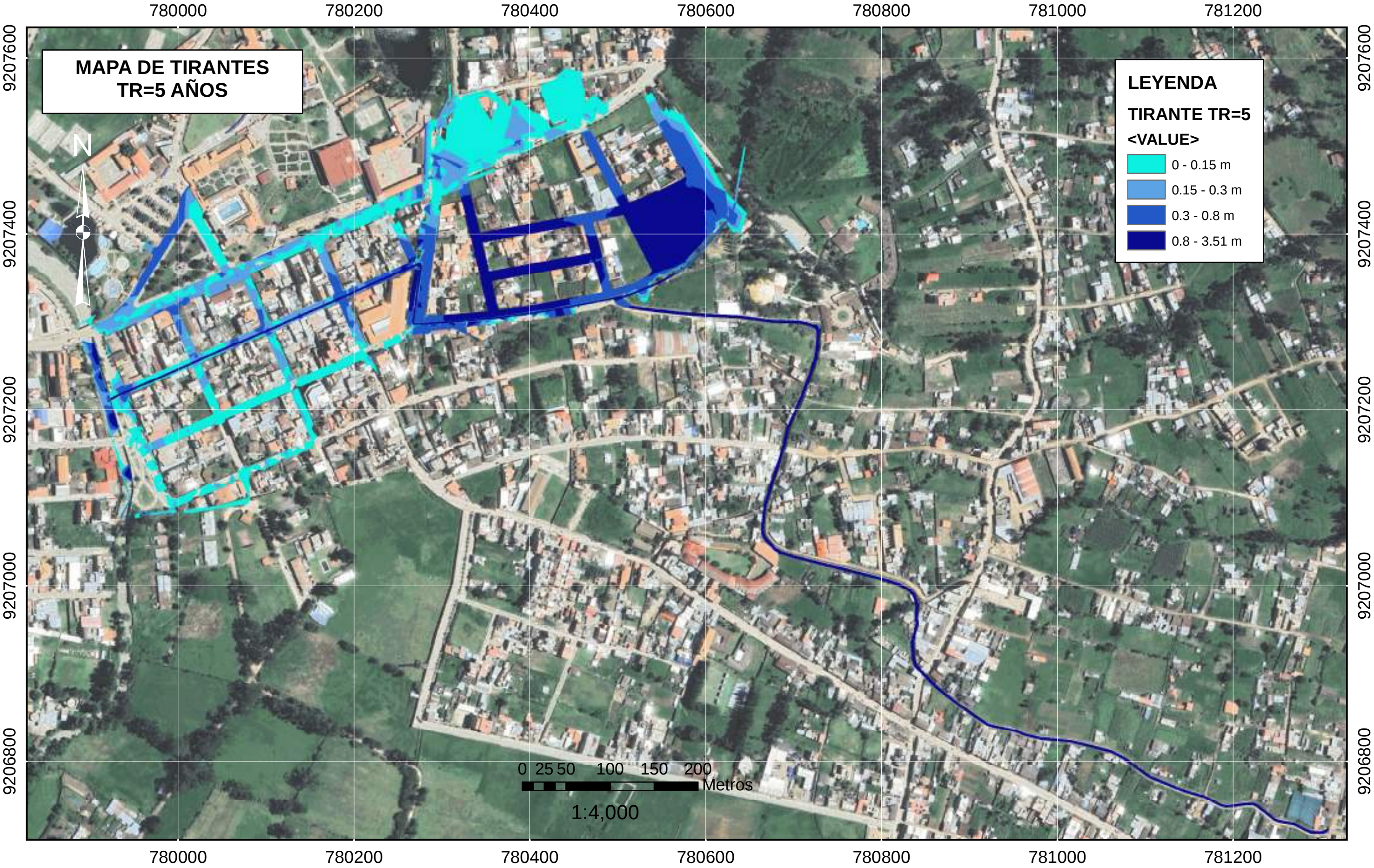


Figura 79.- Mapa de tirante para Tr=5 años.

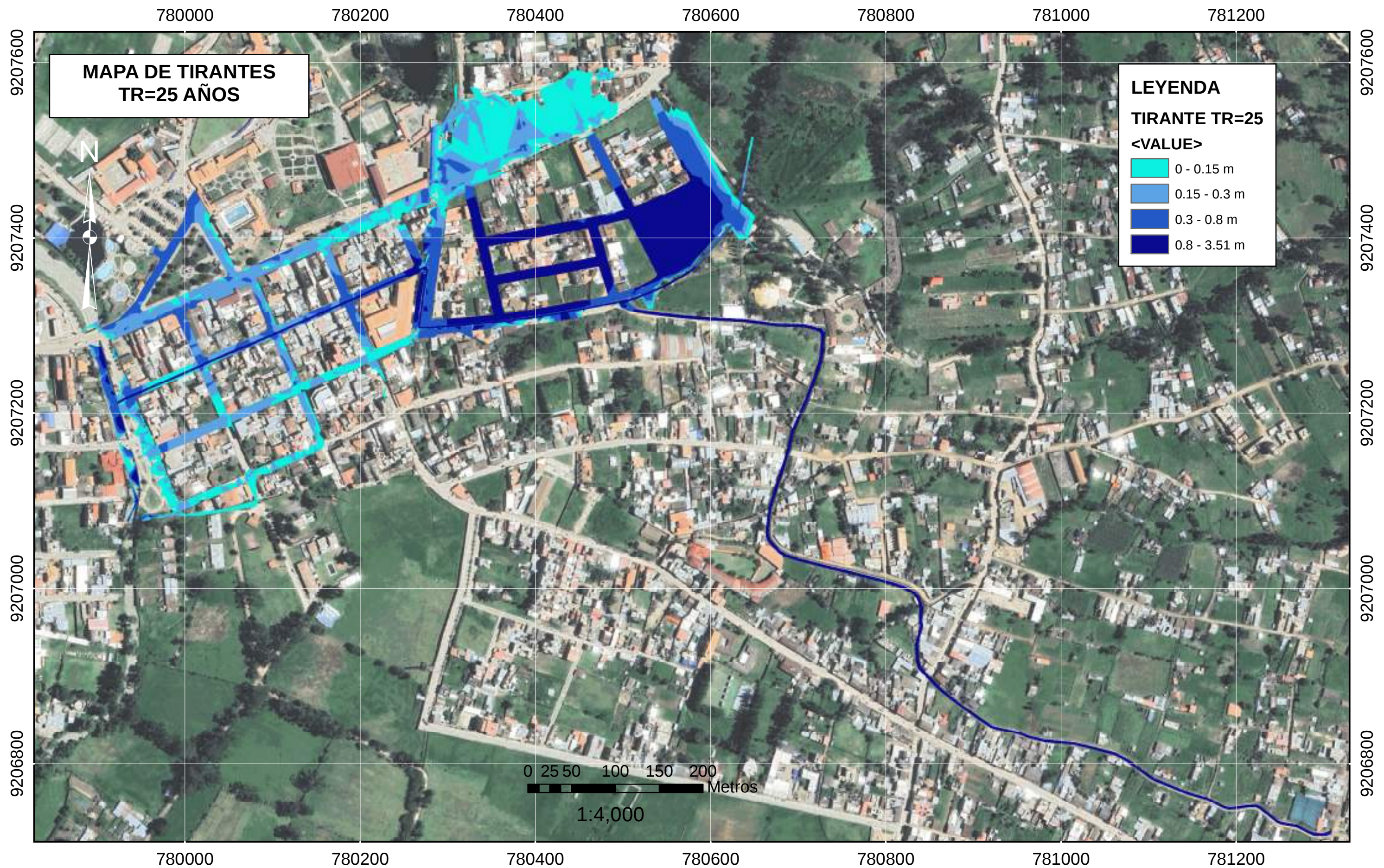


Figura 80.- Mapa de tirante para Tr=25 años.

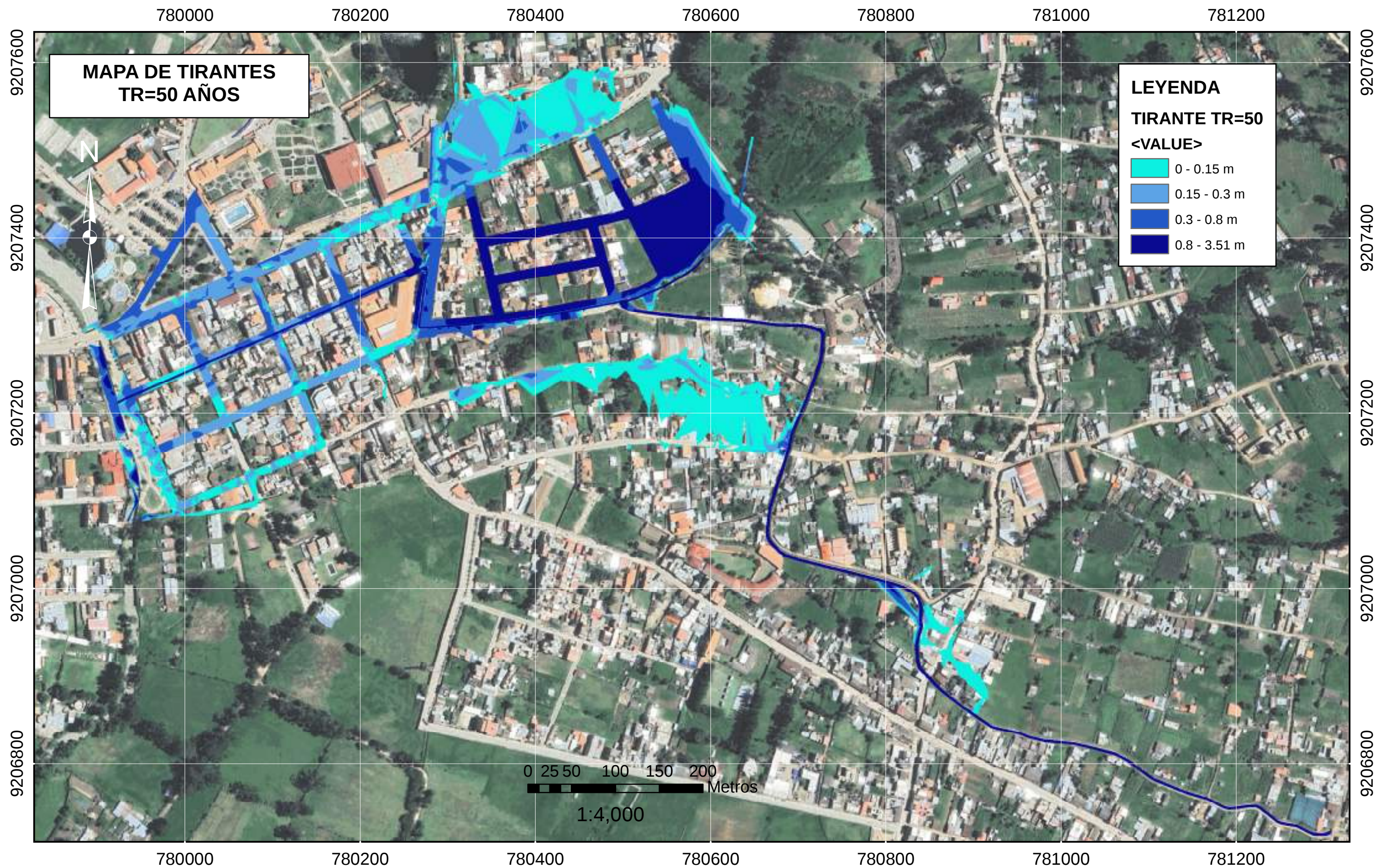


Figura 81.- Mapa de tirante para Tr=50 años.

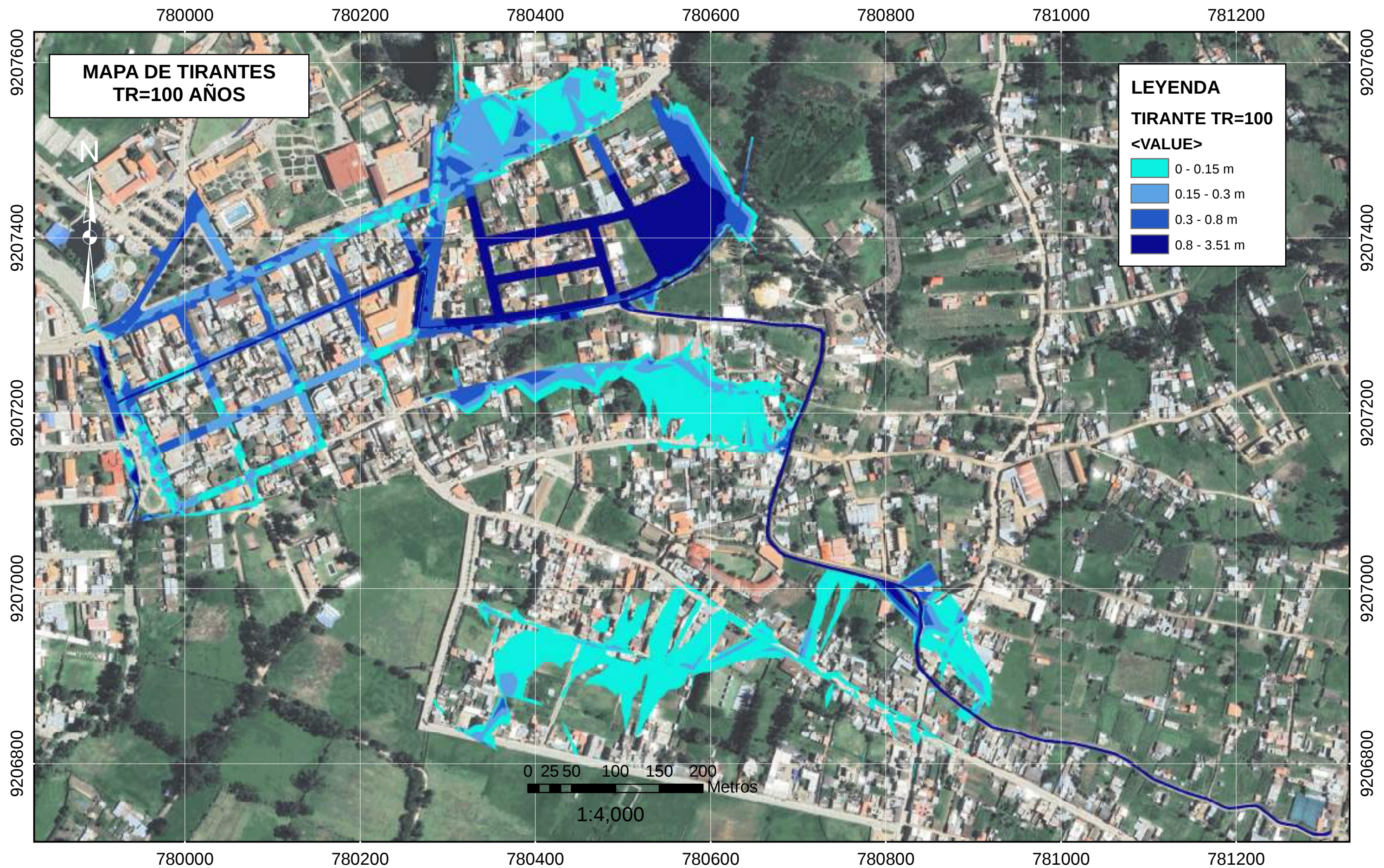


Figura 82.- Mapa de tirante para Tr=100 años.

4.1.10. MAPAS DE VELOCIDADES.

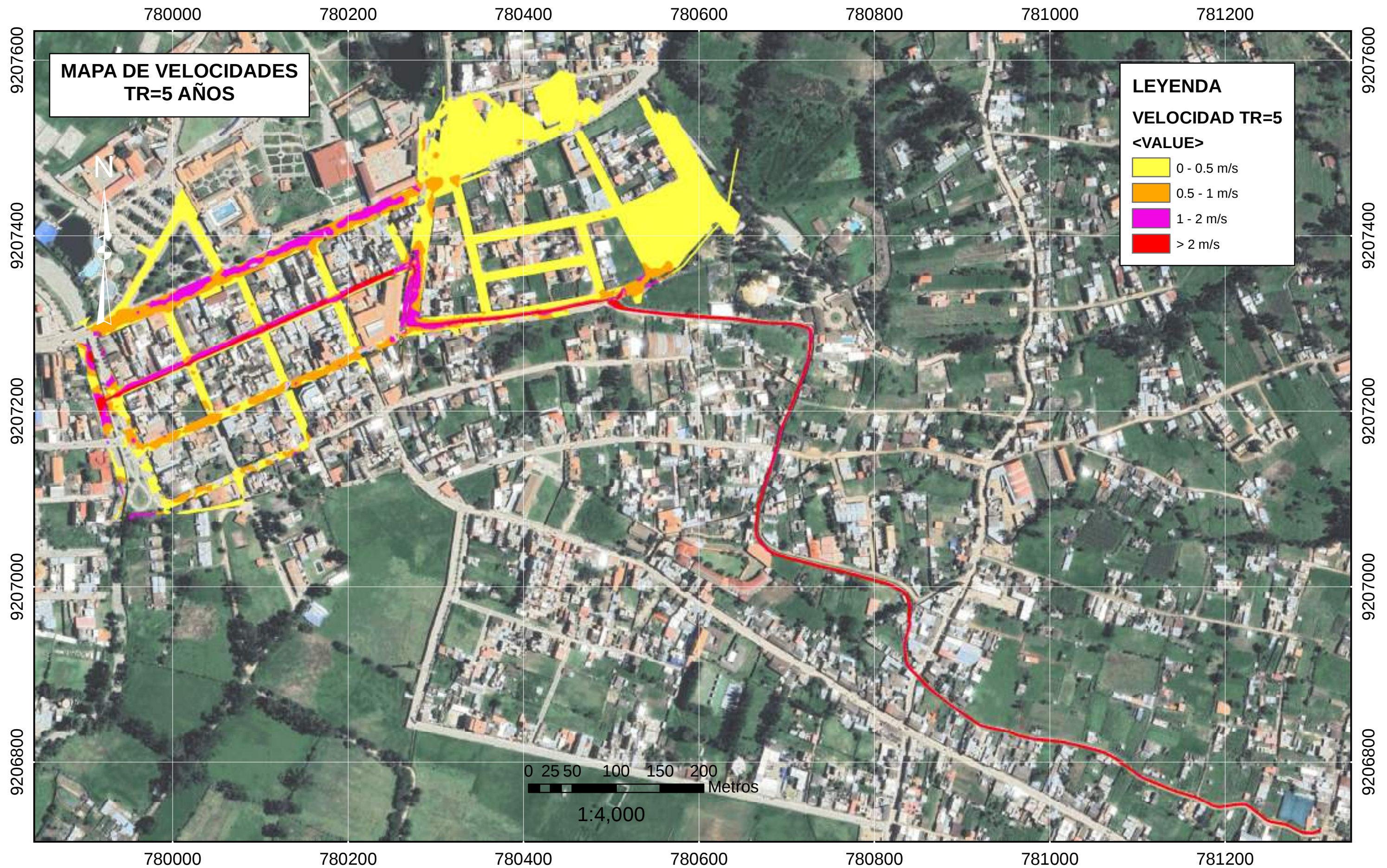


Figura 83.- Mapa de velocidades para Tr=5 años.

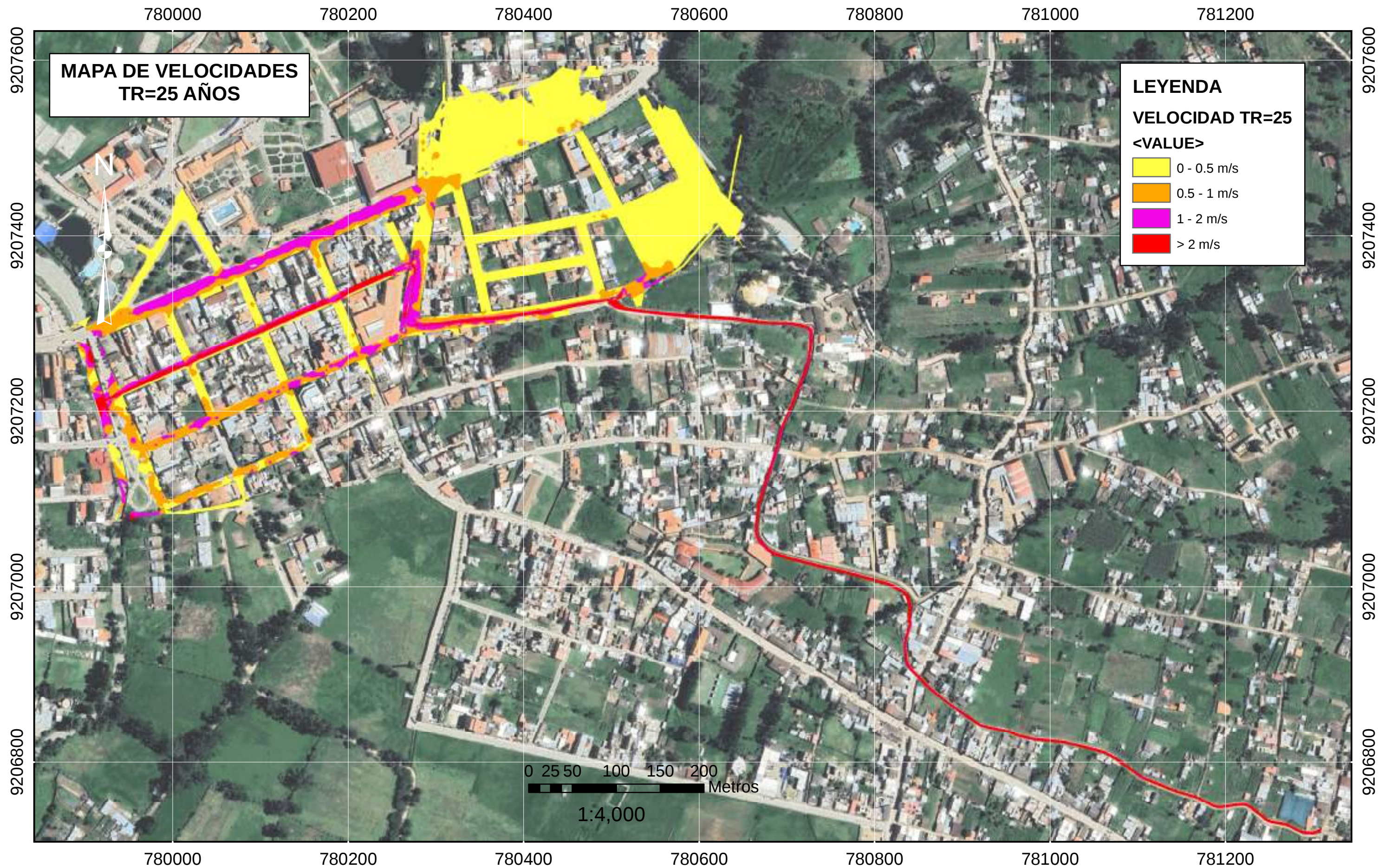


Figura 84.- Mapa de velocidades para Tr= 25 años.

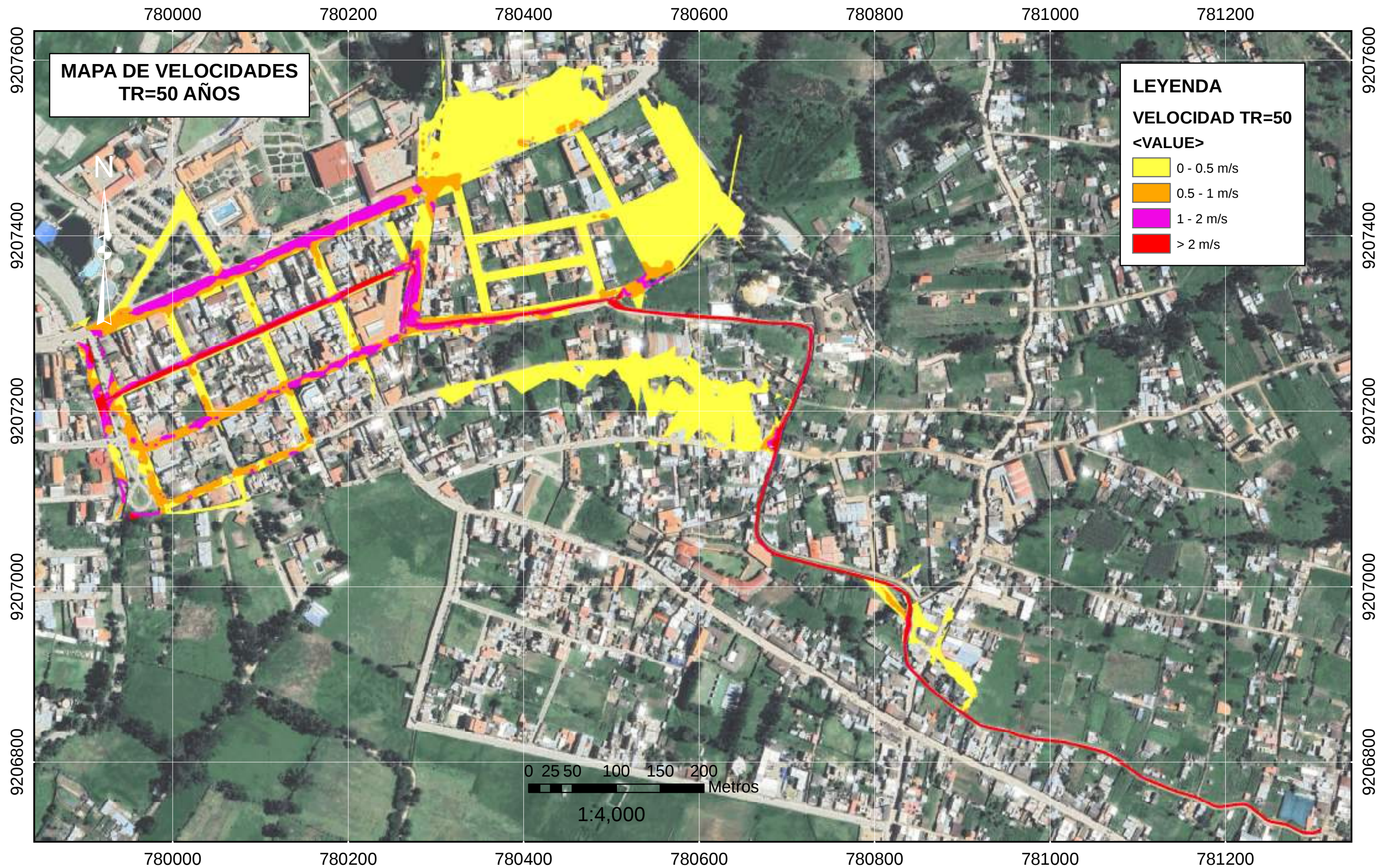


Figura 85.- Mapa de velocidades para Tr= 50 años.

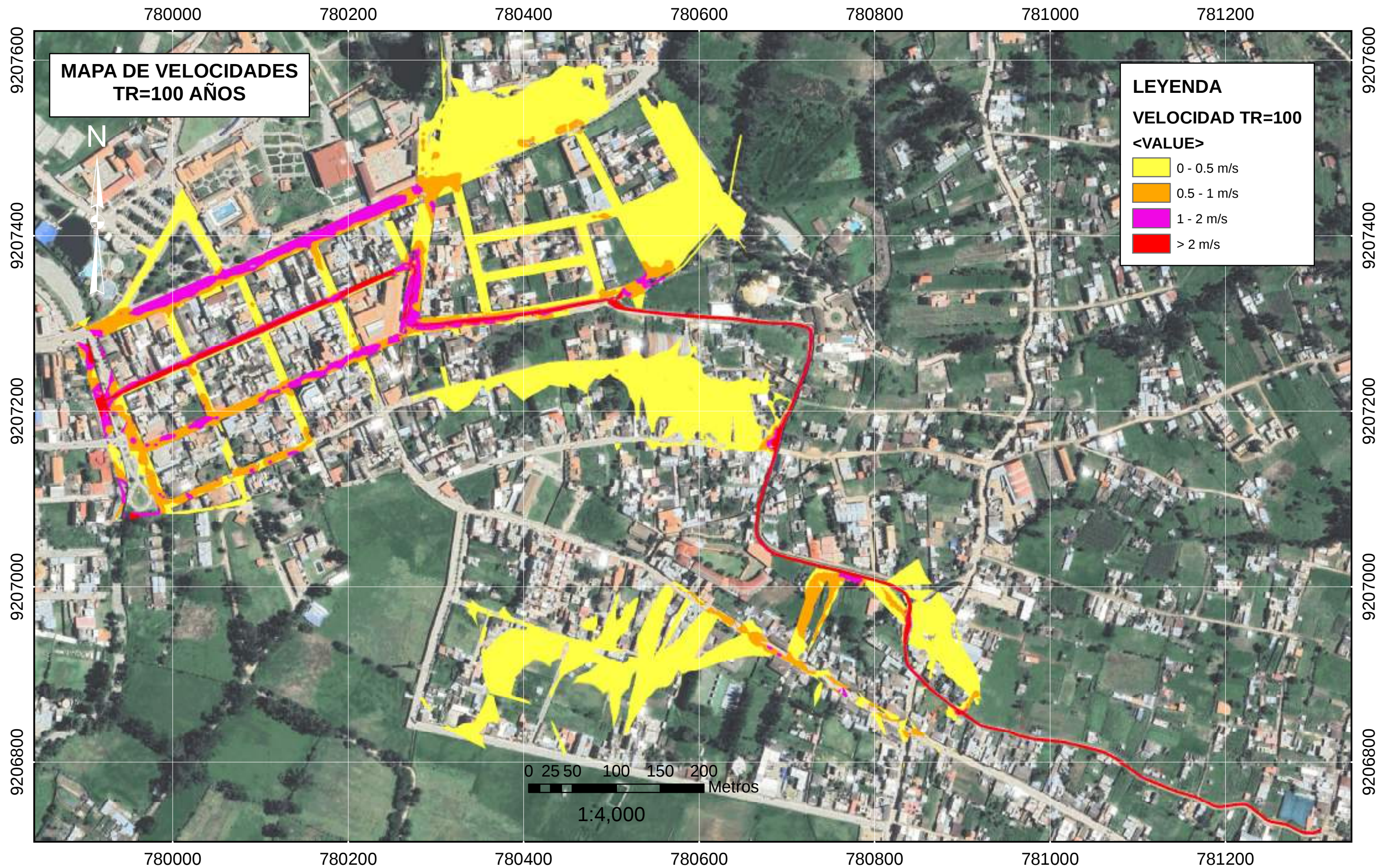


Figura 86.- Mapa de velocidades para Tr= 100 años.

4.1.11. Matrices de peligrosidad

Con los lineamientos normativos por el CENEPRED, en la sección de evaluación por peligro por inundación identificamos los criterios que se utilizan para poder definir la clasificación de peligro mediante los rangos bajo, medio, alto, muy alto.

Tabla 15.- Parámetro de evaluación de Peligro por inundación (Fuente CENEPRED).

RANGOS	VEL * TIRANTE (Energía del flujo)
BAJO	$VH < 0.25$
MEDIO	$0.25 \leq VH < 0.5$
ALTO	$0.5 < VH < 1.5$
MUY ALTO	$1.5 \leq VH < 2.5$
CAUCE DE RIO	$VH > 2.5$

Se utilizará el parámetro de evaluación de análisis jerárquico.

a) Parámetros de evaluación: Categoría de Intensidad (Tirante y tiempo de retorno)

Tabla 16.-Categoría de intensidad.

Probabilidad (Periodo de Retorno)	Baja ($h < 0.5$ m)	Media ($0.5 \text{ m} \leq h < 1.5$ m)	Alta ($h \geq 1.5$ m)
Alta (25 años)	Medio	Alto	Muy Alto
Media (50 años)	Bajo	Medio	Alto
Baja (100 años)	Muy Bajo	Bajo	Medio

b) Parámetros de evaluación: Matriz de peligrosidad (Energía de flujo y tiempo de retorno)

Tabla 17.- Matriz de peligrosidad Energía de flujo y Tr.

Probabilidad (Periodo de Retorno)	Baja ($V^*h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$)	Media ($0.5 \leq V^*h < 2.0 \text{ m}^2/\text{s}$)	Alta ($V^*h \geq 2.0 \text{ m}^2/\text{s}$)
Alta (25 años)	Medio	Alto	Muy Alto
Media (50 años)	Bajo	Medio	Alto
Baja (100 años)	Muy Bajo	Bajo	Medio

La escala utilizada de peligrosidad por inundación (Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto), refleja un aumento gradual al nivel de amenaza que representa la combinación de la probabilidad entre el periodo de retorno y la energía del flujo.

4.1.12. Zonificación de las áreas inundables según los rangos de peligrosidad para los $Tr = 25, 50, 100$ años.

Con los lineamientos normativos por el CENEPRED, en la sección de evaluación por peligro por inundación identificamos los criterios que se utilizan para poder definir los rangos de peligro (bajo, medio, alto, muy alto).

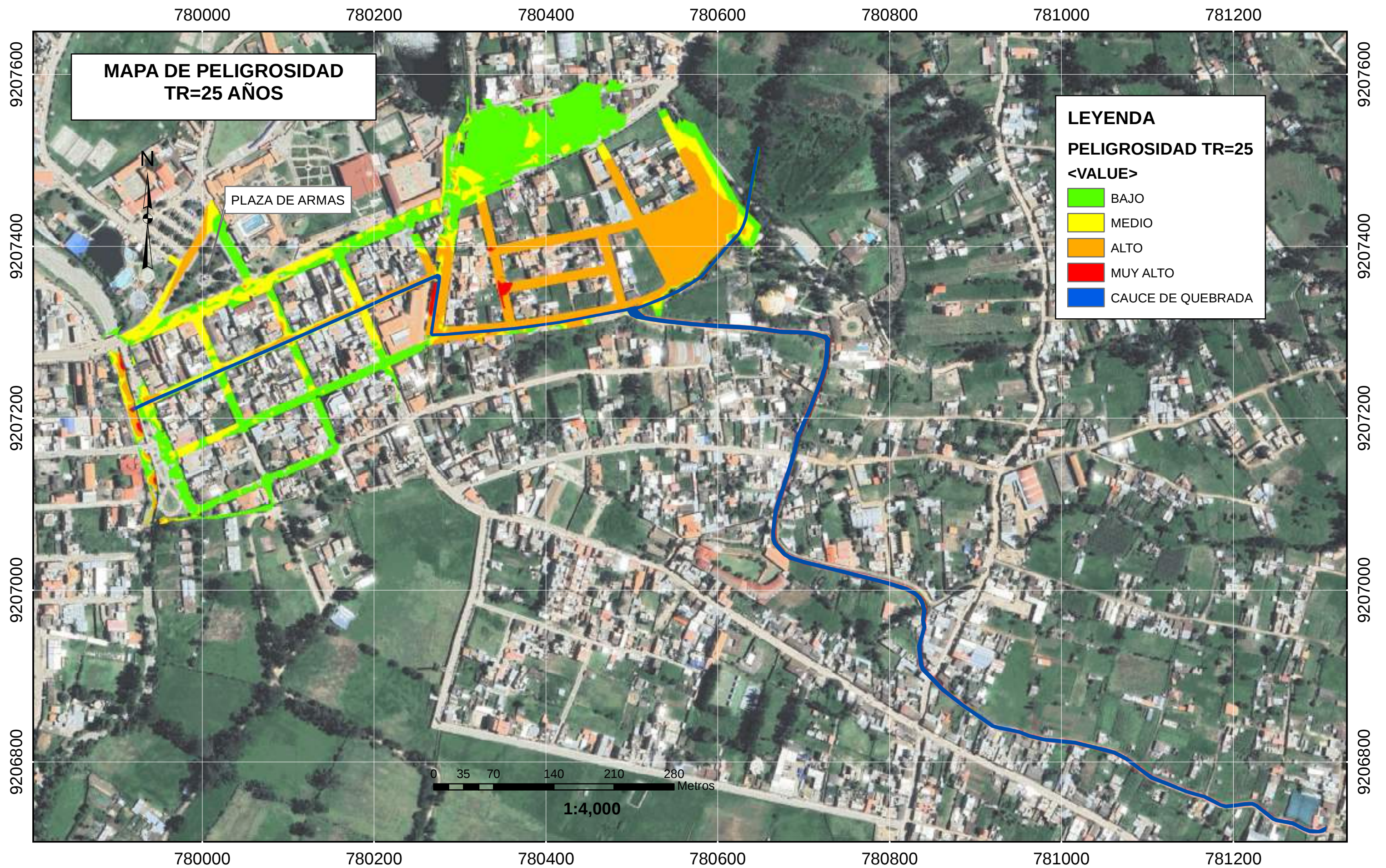


Figura 87.- Mapa de Peligrosidad por inundación en la área de estudio, Tr=25 años.

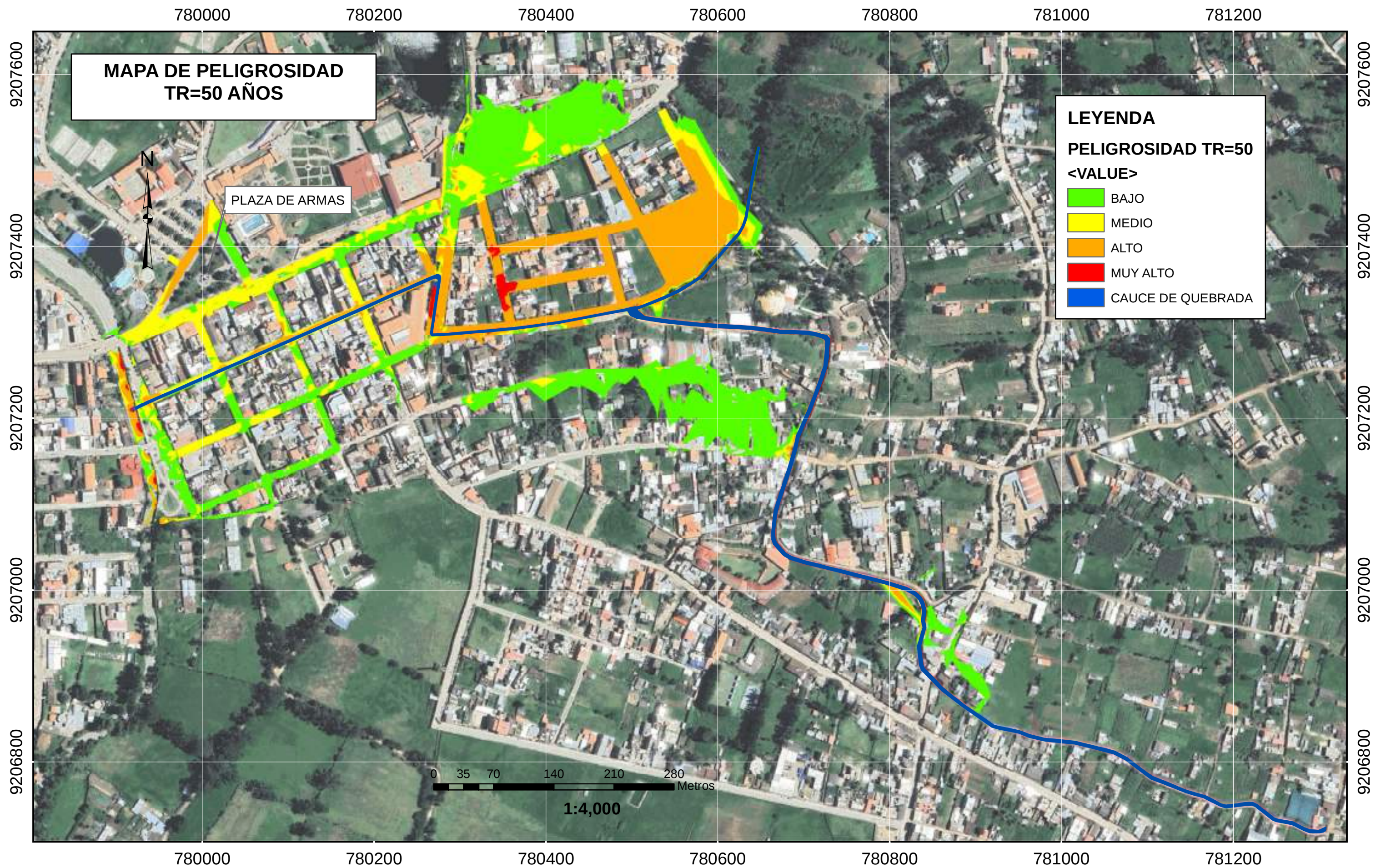


Figura 88.- Mapa de Peligrosidad por inundación en la área de estudio, Tr=50 años.

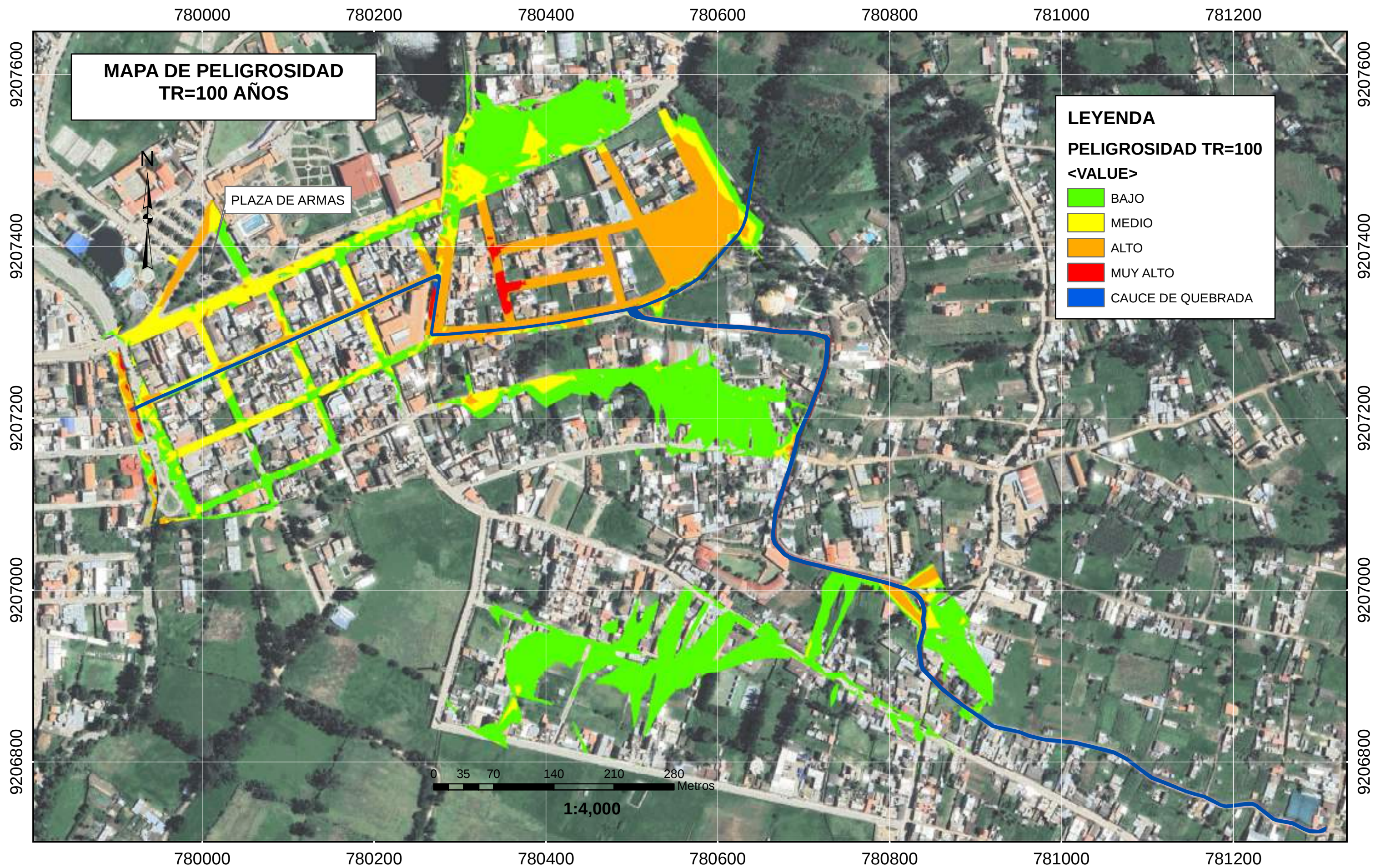


Figura 89.- Mapa de Peligrosidad por inundación en la área de estudio, Tr=100 años.

4.2. DISCUSIÓN

Relación entre los escenarios modelados, eventos históricos y Análisis del peligro que afectados por las inundaciones según los Tr:2 años, Tr:5 años, Tr:10 años, Tr:25 años, Tr:50 años y Tr:100 años.

Los resultados de los escenarios con gastos de la cuenca de que quebrada Tingomayo de 11.78 m³/s y la cuenca aportante 1 es de 5.54 m³/s (*Tr* = 2 años) , 13.40 m³/s y 6.30 m³/s (*Tr* = 5 años), 14.77 m³/s y 6.94 m³/s (*Tr* = 10 años) , 16.80 m³/s y 7.90 m³/s (*Tr* = 25 años), 18.53 m³/s y 8.71 m³/s (*Tr* = 50 años), 20.43 m³/s y 9.60 m³/s (*Tr* = 100 años) evidenciaron un incremento progresivo de los caudales, así como las áreas propensas a inundación en la ciudad de Los Baños del Inca. El escenario 2, con un *Tr*= 5 años coincidió con el evento de 2017 en términos de tirantes de agua (0.33 m medida del tirante de huella hídrica en comparación con el programa Hec Ras, 0.33 m modelados en el punto de control 1 y el punto de control 2 el tirante de la huella hídrica 0.80 m y el tirante del modelamiento es de 0.82 m lo que se asemeja bastante siendo un rango aceptable), lo que calibra el modelo hidráulico bidimensional (ver tabla 13 y tabla 14). Este hallazgo explica por qué el desborde de 2017 afectó a 175 viviendas y establecimientos clave como el mercado Atahualpa y el centro de salud EsSalud, ubicados las calles Wiracocha, Jr. Sinchi Roca, entre otras.

La calibración del modelo mediante huellas hídricas del evento de 2017 (Figura 59) demostró que, aunque la quebrada Tingomayo está parcialmente canalizada, su capacidad hidráulica es insuficiente para eventos extremos ya que se ve afectada el área urbana. Esto concuerda con lo reportado por Hernández Regalado (2018) en la quebrada Sambarbamba, donde periodos de retorno mayores a 50 años generaron desbordes significativos en áreas urbanas.

Las áreas inundables que se genera en nuestro estudio fueron menores en comparación con (Chávez, 2021), su análisis estimó un coeficiente de escorrentía de 0.5 y en nuestro estudio se estimó 0.598, de igual manera realiza el cálculo para caudales máximos con un área de 15.32 km² y en nuestro estudio se usa un área aportante de 3.1 km² y de 1.42 km²; lo que hace variar los caudales máximo y generando mayores áreas inundables por lo que obtenemos resultados en caudales y áreas inundables diferentes.

Las estructuras existentes en Tingomayo fueron solo para eventos menores (*Tr* = 2 años), pero resultaron insuficientes para caudales extremos (*Tr* = 5 años), lo que justifica la necesidad de medidas complementarias como gaviones o estructuras de contención (Álvarez Montero & Moreno Cueva, 2021).

Se zonificó las áreas inundables y de determino que el rango de peligrosidad.

	RANGO DE PELIGRO	TR (25 años)	TR (50 años)	TR (100 años)
VIVIENDAS (unidad)	BAJO	160	201	235
	MEDIO	65	69	85
	ALTO	62	64	71

	MUY ALTO	3	3	4
Calles (Área Ha)	BAJO	2.97	4.37	7.22
	MEDIO	1.44	1.77	2.22
	ALTO	2.29	2.40	2.57
	MUY ALTO	0.06	0.10	0.13
Locales públicos (Mercado, Centro de EsSalud, colegios, entre otros) (unidad)	BAJO	3	4	3
	MEDIO	2	1	3
	ALTO	2	3	3
	MUY ALTO	1	1	1

El análisis datos y mapas de peligrosidad evidencia un aumento progresivo de la huella de inundación a medida que también incrementa el periodo de retorno. Inicialmente, para un TR de 25 años, se identifican 62 viviendas y 2.29 Ha de vías en nivel de peligro alto. Sin embargo, al evaluar el escenario crítico de TR de 100 años, los resultados mostraron un gran impacto en la zona urbana, contabilizando un total de 75 viviendas en situación de riesgo elevado (71 en nivel alto y 4 en muy alto), sumadas a 85 viviendas en nivel medio. En términos de infraestructura vial, la superficie afectada alcanza las 7.22 Ha en nivel bajo y 2.57 Ha en nivel alto. Asimismo, la infraestructura crítica (locales públicos) presenta vulnerabilidad, con 4 establecimientos ubicados en zonas de peligro alto y muy alto, lo que confirma la magnitud del riesgo en la ciudad de Los Baños del Inca.

El modelamiento bidimensional con HEC-RAS 2D demostró ser muy versátil y preciso para observar la complejidad del flujo en el cauce de la quebrada y en las zonas urbanas, coincidiendo con lo aplicado por Macchia (2023) en Tandil, donde se evidenció que este enfoque sirve para analizar riesgos en cuencas con alta densidad de infraestructura. Por otro lado, se reconocen ciertas limitaciones en la resolución topográfica; la ausencia de datos LiDAR podría haber subestimado micro depresiones en calles como Las Pencas. Si bien el modelo predijo tirantes de 1.00 m, la falta de detalle sobre obstáculos locales sugiere que los niveles reales podrían variar puntualmente.

Asimismo, se asumió una rugosidad uniforme en todo el cauce de la quebrada Tingomayo para la simulación ya que se encuentra encauzada con concreto. Sin embargo, la realidad operativa de la quebrada Tingomayo sugiere que la acumulación de sedimentos durante eventos extremos altera significativamente los patrones de flujo. Este transporte de material granular y rocas no solo disminuye la sección hidráulica efectiva, sino que modifica el comportamiento del fluido, un factor dinámico que los modelos estáticos simplifican. A esto se suma que el estudio no incorporó proyecciones de cambio climático, una variable que, según Villena Idrogo (2018), podría acortar los periodos de retorno de eventos extremos, implicando que los escenarios de riesgo calculados podrían presentarse con mayor frecuencia en el futuro.

En cuanto a la zonificación de riesgos, los resultados demuestran la falta de planificación urbana. Las calles Lloque Yupanqui y El Molle presentan condiciones críticas, registrando tirantes superiores a 0.50 m incluso para un periodo de retorno de 25 años. Por lo tanto, se establece que

dichas áreas deben declararse zonas no edificables o de restricción severa, dada su exposición directa a los desbordes.

Respecto a las medidas de mitigación estructural, se analiza la propuesta de Chávez Minchán (2021), quien recomienda la implementación de gaviones tipo caja. Si bien se evidencia la necesidad de estructuras flexibles frente al colapso de los muros de concreto existentes, esta investigación no está de acuerdo en la tipología para el lecho. Se recomienda el uso de gaviones tipo colchón en lugar de tipo caja para el fondo del cauce, con el objetivo de controlar el arrastre de sedimentos aguas arriba sin reducir drásticamente la sección hidráulica. Esta solución complementa a la propuesta de los sistemas de alerta temprana, ya que permitiría monitorear lluvias intensas en tiempo real, reduciendo significativamente las pérdidas socioeconómicas en la población vulnerable.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la zonificación de áreas inundables de la ciudad de Los Baños del Inca, para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Un evento de 100 años podría inundar las 7.22 Ha en nivel bajo y 2.57 Ha en nivel alto el área urbana, poniendo en riesgo 75 viviendas en situación de riesgo elevado (71 en nivel alto y 4 en muy alto), sumadas a 85 viviendas en nivel medio y 4 establecimientos en zonas de peligro alto y muy alto.
- Se recopiló y procesó la información cartográfica y topográfica de la ciudad Los Baños del Inca la cual nos permitió una visión detallada y actualizada de nuestra área de estudio. Identificando estructuras y áreas de nuestro interés permitiendo ubicar los lugares vulnerables frente a posibles inundaciones.
- Se recopiló y procesó la información hidrológica de la estación meteorológica Augusto Weberbauer y nos permitió identificar los escenarios de lluvia extrema para diferentes tiempos de retorno. Lo que brinda una visión detallada de la variabilidad y los patrones de precipitación en la quebrada Tingomayo en donde se obtuvo para $Tr=25$ años, con una precipitación de 21.95 mm, $Tr=50$ años con una precipitación de 24.09 mm y $Tr=100$ años con una precipitación de 26.21 mm.
- Se estimó los gastos máximos anuales con tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años para la cuenca de la quebrada Tingomayo es respectivamente 16.80, 18.53 y 20.43 m³/s y de la cuenca aportante 1 que viene de la parte de Baños punta los caudales son respectivamente 7.90, 8.71, 9.60 m³/s.
- La modelación hidráulica para la quebrada Tingomayo nos ha permitido ver el fenómeno del flujo en nuestra área de estudio. Con ayuda de HEC-RAS 6.5 y las huellas hídricas se calibró el modelo hidráulico para lograr describir el evento de inundación del año 2017 correspondiente a un evento de periodo de retorno de aproximado de 5 años. La calibración fue validada con las huellas hídricas medidas en campo, alcanzó una precisión global del 98% consolidando al modelo como un instrumento técnico confiable para la gestión de riesgos y la planificación urbana.
- Se delimitó y zonificó las cercanías a la quebrada Tingomayo según el evento de inundación del año 2017 ayudando a identificar las zonas a inundación.
- Como resultado de la evaluación de medidas de mitigación, se estableció una estrategia integral ordenada mediante una serie de intervenciones complementarias. Inicialmente se plantea el alivio hidráulico, se propone la construcción de una nueva alcantarilla que permita drenar eficientemente el caudal excedente de la quebrada. Para complementar a esto, se establece la necesidad de reforestar la cuenca alta, acción clave para controlar el arrastre de sedimentos que actualmente reduce la capacidad del cauce; trabajo que debe mantenerse mediante programas de descolmatación periódica a lo largo de la quebrada Tingomayo.
Para el control de máximas avenidas, se diseñó un reservorio de amortiguamiento (detallado en el Anexo 14) cuya función es derivar y laminar el flujo pico, propuesta que se complementa con

la implementación de presas de sedimentación en las cabeceras para evitar la colmatación del sistema drenaje. Finalmente, como optimización de la infraestructura existente, se requiere corregir las transiciones de entrada en las alcantarillas actuales (Anexo 15), eliminando los estrangulamientos que hoy generan ineficiencia durante eventos extremos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio más integral de Los Baños del Inca ya que no solo afecta la quebrada Tingomayo, sino la quebrada Mayopata, el cual agrava la situación de inundación y cada una quebrada tenga su drenaje independiente.
- Se recomienda realizar mejorar y poner en funcionamiento sumideros y alcantarillas existentes en el Jr. Yahuar huaca y proyectar el sistema de drenaje ya que en eventos de máximas avenidas este jirón funciona como un canal.
- Se recomienda realizar un plan de riesgos y contemplen a este estudio para poder integrar mejoras en Los Baños del Inca.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIA

- Alvarez Montero, G. F., & Moreno Cueva, C. A. (2021). *Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas: S/E.
- Alvarez Villanueva, J., & Huamán Vidaurre, J. (2024). Desempeño de métodos deterministas en la estimación del tiempo de concentración en la cuenca alta del Jequetepeque, Perú. *Manglar*, 21(4), 461-470.
- Amaya, J. A. (2010). *Sistemas de información gerenciales: Hardware, redes, internet, diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- ANA. (2016). *Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas*. Lima: ANA-MINAGRI.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Grupo Noriega Editores.
- Ávila, G. S. (2002). *Hidráulica de Canales*. México: UNAM.
- Béjar, M. V. (2006). *Hidrología Estadística*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica: S/E.
- Bladé, E., Cea, L., & Corestein, G. (2014). *Modelización numérica de inundaciones fluviales*. España: UPV, FFIA.
- Bladé, E., Cea, L., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cerdón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 1-10.
- Breña Puyol, A., & Jacobo Villa, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Británico, D. (1987). *Diccionario de Hidrología*. S/E.
- Cadavid, J. H. (2006). *Hidráulica de Canales Fundamentos*. Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Castellet, E. B. (2005). *Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales*. Barcelona, España: Flumen.
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Lima: CENEPRED.
- Chávez Minchán, C. J. (2021). *Diseño de Gaviones Tipo Caja en Zonas Vulnerables de la Quebrada Tingomayo, Cajamarca, 2021*. Universidad San Pedro: S/E.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. Colombia: McGraw-Hill.
- Chow, V. T. (1988). *Hidrología aplicada*. S/L: McGraw-Hill.

- Contreras Cortés, K., Juárez Hernández, B., Hernández López, J., & Reyes Juárez, K. (2021). *Aplicación de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para modelos de pérdida*. Puebla, México: CAPE.
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (2021). *Manual de usuario del sistema de análisis de ríos HEC RAS*. EE.UU.: HEC RAS.
- Data, I. A. (1982). *Guidelines for determining flood flow frequency*. U.S. Geological Survey: Bulletin 17B.
- Del Bosque Gonzáles, I., Fernández Freire, C., Martín, L., Morente, F., & Pérez Asensio, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Madrid: CSIC.
- Del Pino, S. (2008). *Estadística descriptiva e inferencial*. Córdoba: Innovación y Experiencias Educativas.
- Deuker, K. J., & Kjerne, D. (1989). *Multipurpose Cadastre Terms and Definitions*. American Society for Photography and Remote Sensing: S/E.
- Dussaubat, S., & Gonzales, J. (2011). *Influencia de la distribución temporal de la PMP en la determinación de la crecida máxima probable*. Santiago, Chile: Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- Fattorelli, S., & Fernandez, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. Zaragoza, España: Edición Digital Water Assessment & Advisory Global Network.
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. España: P. Digital.
- Fernández, B. (1985). *Análisis de la periodicidad en series hidrológicas*. Santiago, Chile: Anales de la Universidad de Chile.
- Fisher, P., & Tate, N. (2006). Progress in Physical Geography. *SAGE*, 467-489.
- Galvis Castro, Z. E. (2019). *Determinación de zonas de inundación mediante el modelo hidráulico unidimensional en la cuenca media del río Pamplonita*. Universidad de Pamplona: S/E.
- Hadi, J., Farah, A., & Naji, B. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data*, 6, 145.
- HEC-RAS. (2023). *Hydraulic Equations*. EE.UU.: US Army Corps of Engineers.
- Hernández Regalado, J. F. (2018). *Zonificación de áreas inundables de la localidad de Santa Bárbara*. Universidad Nacional de Cajamarca: S/E.
- Hudson, N. (1981). *Conservación del suelo*. S/L: Ediciones Mundi-Prensa.
- Iber. (2010). *Manual básico de usuario*. Cataluña, España: S/E.

- León, G. (2005). *La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico*. Mérida, Venezuela: Revista Geográfica Venezolana.
- Linsley, R. K. (1992). *Hidrología para ingenieros*. S/L: McGraw-Hill.
- Lobo, L. (2004). *Guía Metodológica para la delimitación del mapa de zonas áridas*. Flandes: CAZALAC – UNESCO PHI.
- Macchia, M. L. (2023). *Modelización hidrodinámica bidimensional y riesgo de inundación mediante TIG*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires: S/E.
- Marini, M., & Piccolo, M. (2000). El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Papeles de Geografía*, 39-53.
- Marqués, J. F. (1996). *El software educativo*. Comunicación Educativa y Nuevas Tecnologías: S/E.
- Mayorga Ponce, R., Reyes Torres, S., Baltazar Téllez, R., & Martínez Alamilla, A. (2021). Medidas de dispersión. *Measures of Dispersion*, 9(18), 77-79.
- Mena, E. P. (2017). *Modelamiento hidráulico bidimensional del río Rímac en el sector Huachipa*. Universidad Nacional Agraria La Molina: S/E.
- MTC. (2012). *Manual de Hidrología e Hidráulica*. Lima: MTC.
- NRCS. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55*. Washington, D.C.: USDA.
- Ochoa Sangrador, C., Molina Arias, M., & Ortega Páez, E. (2019). Inferencia estadística: probabilidad, variables aleatorias y distribuciones de probabilidad. *Evid Pediatr*: S/E.
- Parrot, J., & Ochoa Tejada, V. (2005). *Generación de Modelos Digitales de Terreno Raster*. México: Serie Textos Universitarios.
- Pérez, J. (2000). *Manual de hidrología urbana y rural*. S/L: Alfaomega.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sanguesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de datos faltantes de precipitación. Chile: *Aqua-Lac*.
- Ramos Taipe, C. L. (2010). *Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico – Cuencas de la Costa Norte*. Lima: ANA.
- Ricardi, F. (2011a). *La prueba de ji-cuadrado*. Chile: Estadística Aplicada a la Investigación en Salud.
- Ricardi, F. (2011b). Medidas de tendencia central y dispersión. *Revista Biomédica Revisada Por Pares*: S/E.
- Román, F. J. (2022). *Hidrología superficial y Subterránea (2ª ed.)*. España: Kindle Direct Publishing.

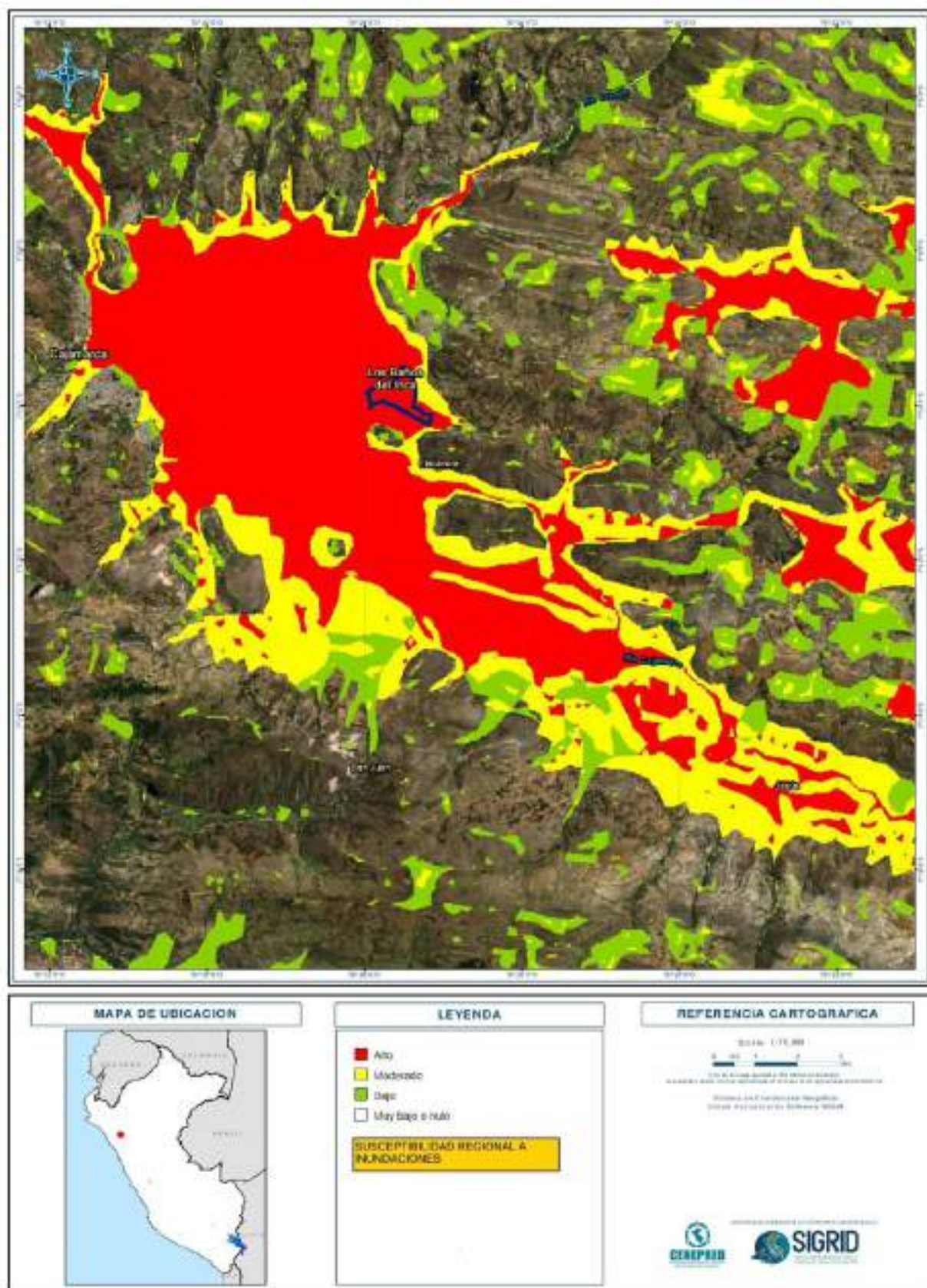
- Romero, A., & Casimiro, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en la cuenca Jequetepeque, Perú. Lima: *Revista Tecnológica-ESPOL*.
- Rosales, D., Púa, B., & Herrera, R. (2017). *Propuesta del índice de capacidad DPMO basado en la desviación media*. Colombia: Ingeniería e Innovación.
- Sáenz, G. M. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- Sanz-Ramos, M., Cea, L., Bladé, E., López-Gómez, D., Sañudo, E., Corestein, G., & Aragón-Hernández, J. (2022). *Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones*. España: Scipedia.
- Smith, A. J. (2015). *Flood risk assessment in the Thames River Basin using 2D hydraulic modeling*. S/L: S/E.
- Te Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Triviño, A., & Ortiz Rojas, S. (2004). *Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial*. Alicante: Investigaciones Geográficas.
- UNESCO. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Vargas, X. (1999). Corriente de detritos en la quebrada de Macul, Chile. *Ingeniería del Agua*: S/E.
- Vélez Upegui, J., & Botero Gutierrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago. Medellín: DYNA.
- Viessman, W. (2003). *Introducción a la hidrología*. S/L: Prentice Hall.
- Villena Idrogo, K. J. (2018). *Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del río Chonta*. Universidad Nacional de Cajamarca: S/E.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.
- Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Lima: Ediciones Villón.
- Villón Béjar, M. (2011). *Hidrología*. Perú: Editorial Villón.
- Yevjevich, V. M. (1982). *Stochastic processes in hydrology*. Estados Unidos: Water Resources Publications.

6.2. REFERENCIAS LINKOGRAFÍA

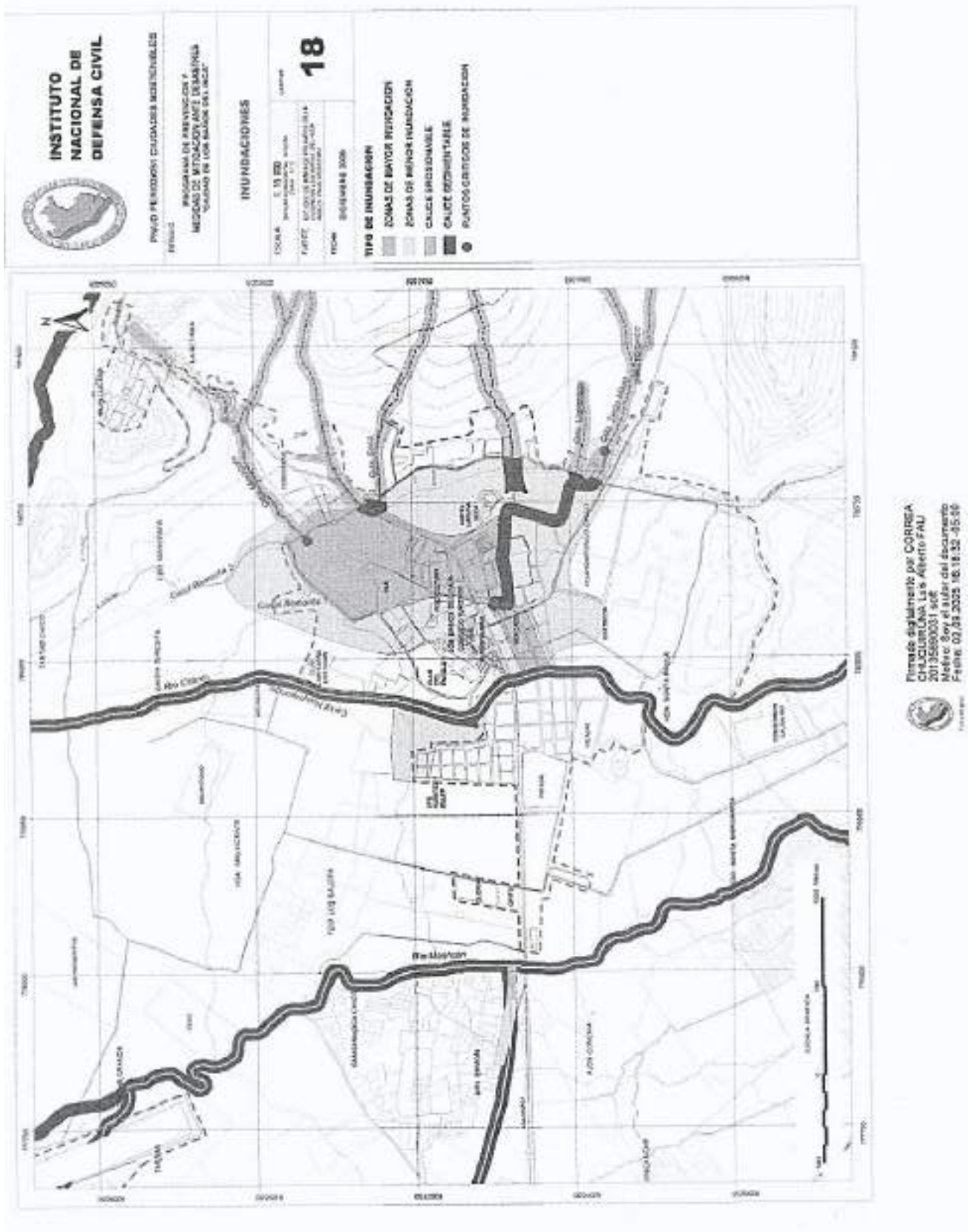
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID). Recuperado el [03, 08, 2025], de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa>[https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3 /mapa](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa).

ANEXOS

ANEXO 01.- Plano de Susceptibilidad a inundación y el área de estudio según CENEPRED.



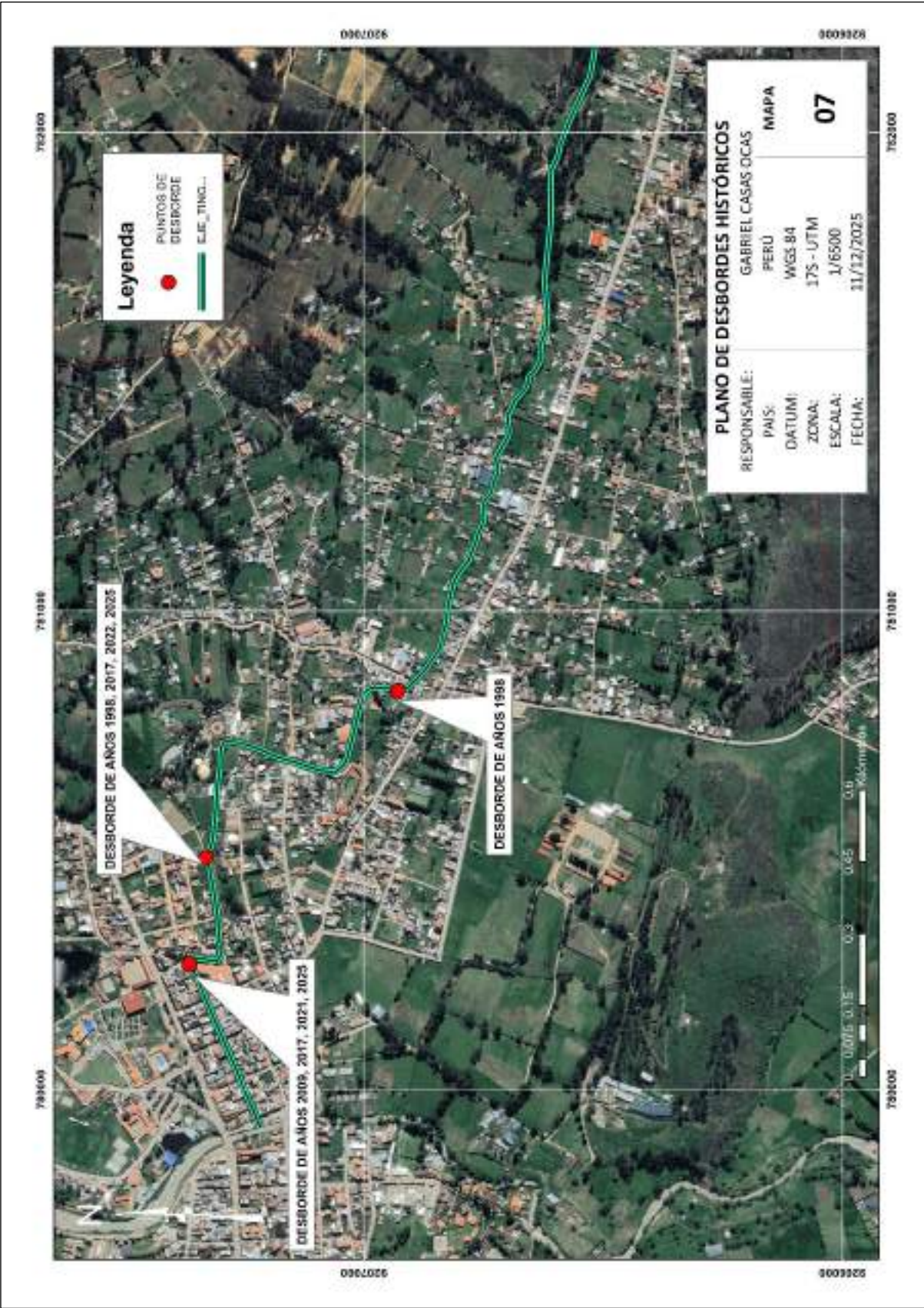
Fuente: Visor de mapas de SIGRID – CENEPRED, <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa>.



ubica nuestra zona de estudio dentro de una zona de alto riesgo a inundación como podemos observar en este plano.

Fuente: Programa De Prevención Y Medidas De Mitigación Ante Desastres De La Ciudad De Los Baños Del Inca – INDECI – Año 2005

ANEXO 03.- Plano de puntos históricos de desborde en eje del cauce de la quebrada Tingomayo.



ANEXO 04.- Datos de precipitación máxima en 24 horas recogidos de SENAMHI, para identificar los “outlier”



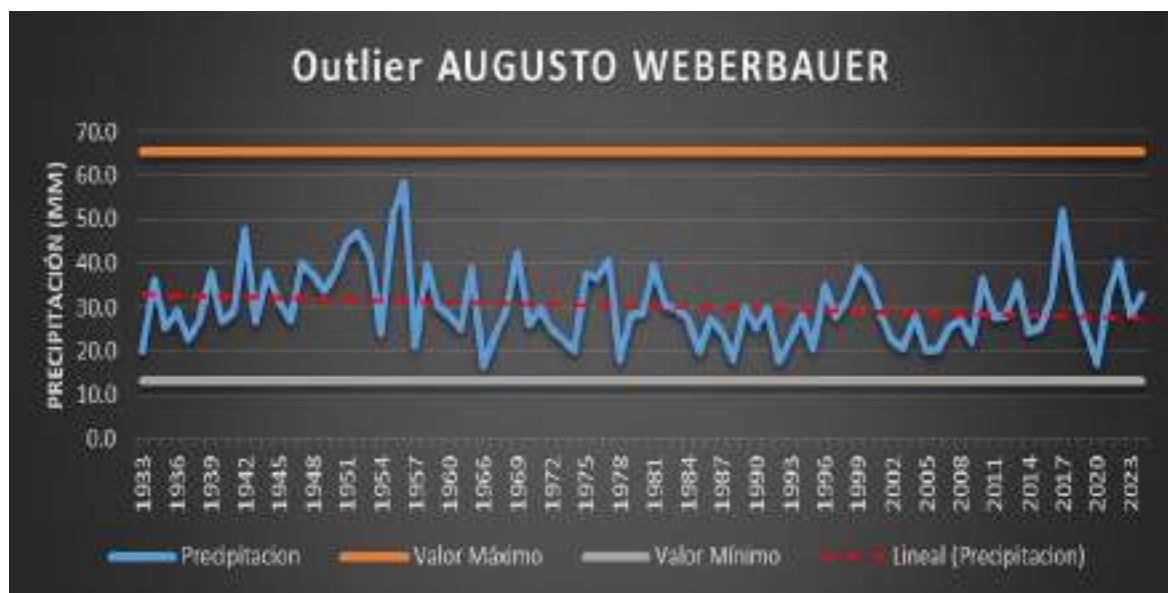
A continuación, se dan valores de precipitación anuales correspondiente a 80 años de registro:

Nº	Año	Precipitación (mm)
1	1933	20.0
2	1934	36.1
3	1935	25.3
4	1936	29.0
5	1937	22.6
6	1938	26.6
7	1939	37.8
8	1940	26.8
9	1941	29.1
10	1942	47.7
11	1943	26.8
12	1944	38.1
13	1945	31.2
14	1946	26.9
15	1947	40.0
16	1948	37.3
17	1949	33.8
18	1950	38.1
19	1951	45.0
20	1952	47.0
21	1953	41.7
22	1954	24.1
23	1955	51.1
24	1956	58.1
25	1957	21.3
26	1958	39.6
27	1959	30.5
28	1960	27.9
29	1961	24.9
30	1965	38.8
31	1966	16.4
32	1967	23.4

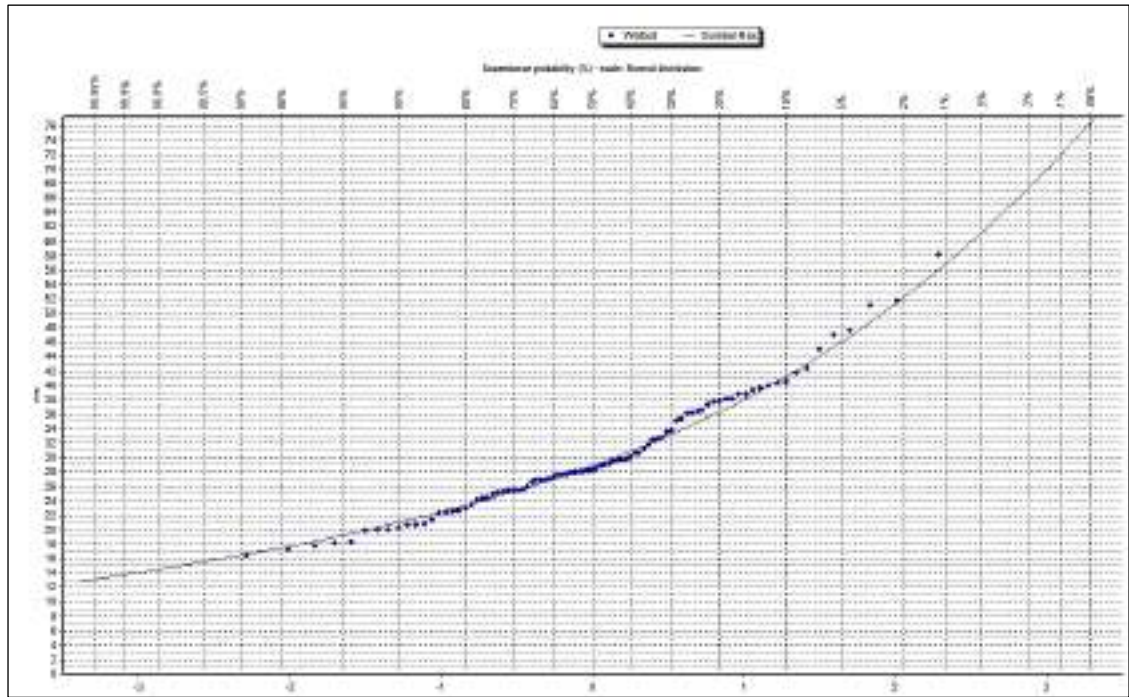
33	1968	29.5
34	1969	42.4
35	1970	26.0
36	1971	29.6
37	1972	25.2
38	1973	22.9
39	1974	20.0
40	1975	37.7
41	1976	36.5
42	1977	40.5
43	1978	18.1
44	1979	28.0
45	1980	28.8
46	1981	39.3
47	1982	30.5
48	1983	29.8
49	1984	27.6
50	1985	19.8
51	1986	27.4
52	1987	24.3
53	1988	18.2
54	1989	30.0
55	1990	25.4
56	1991	29.7
57	1992	17.7
58	1993	22.5
59	1994	28.5
60	1995	20.6
61	1996	35.1
62	1997	27.6
63	1998	31.7
64	1999	38.8
65	2000	36.1
66	2001	28.2
67	2002	22.3
68	2003	20.8
69	2004	28.1
70	2005	20.2
71	2006	20.6
72	2007	25.4
73	2008	27.0
74	2009	22.2
75	2010	36.4
76	2011	27.7
77	2012	27.9
78	2013	35.3

79	2014	24.4
80	2015	25.4
81	2016	32.4
82	2017	51.8
83	2018	33.5
84	2019	25.5
85	2020	17.2
86	2021	32.6
87	2022	40.4
88	2023	28.2
89	2024	32.7

ANEXO 05.- Datos corregidos de precipitación y los umbrales superior e inferior.



ANEXO 06.- Datos de precipitación media anual de 24 horas analizado con la distribución de Weibull y la probabilidad de excedencia en el programa Hydrognomon 4.



ANEXO 07.- Prueba de ajuste de bondad de Kolmogorov – Smirnov, analizando los datos de nuestra estación Augusto Weberbauer y se muestra el porcentaje del mejor ajuste en la columna 5 con un ajuste a la distribución de Gumbel de 90.80%.

Statistics					
File Edit View Options Forecasts P&C Intervals Parameters MLE Tests					
Distribution functions plots Histogram - Density functions plots Parameter values - Forecasts					
Kolmogorov-Smirnov test for All data	$\alpha=1\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=10\%$	Attained α	EMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	30.3440%	0.11329
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	30.1400%	0.11353
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61.4066%	0.05617
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	80.3435%	0.06036
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.1409%	0.11408
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.7135%	0.11051
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	67.9395%	0.07622
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.0801%	0.05743
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.6034%	0.05993
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.8005%	0.05676
EV1-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23.1534%	0.11003
EV1-Min (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.48541%	0.18392
EV1-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	23.7058%	0.12271
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.8059%	0.05769
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.1674%	0.05337
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	0.02876%	0.22294
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.5003%	0.05282
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.3495%	0.05126
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.4429%	0.05881
EV1-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.7528%	0.08657
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.49587%	0.18399
EV1-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22.8432%	0.12409
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	3.22339%	0.15899
GEV-Max (shape specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	37.9580%	0.09642
GEV-Min (shape specified)	ACCEPT	REJECT	REJECT	4.58575%	0.14994
GEV-Max (shape specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	65.5324%	0.07773

Select distributions to display. Use shift and/or ctrl key or drag to select many at once!

- Normal
- LogNormal
- Gamma
- Exponential
- Gamma
- PearsonIII
- LogPearsonIII
- GumbelMax**
- EV1-Max
- GumbelMin
- Weibull
- GEV-Max
- GEV-Min
- Pareto
- L-Moments Normal
- L-Moments Exponential
- L-Moments EV1-Max
- L-Moments EV1-Min
- L-Moments EV2-Max
- L-Moments EV2-Min
- L-Moments GEV-Max
- L-Moments GEV-Min
- L-Moments Pareto
- GEV-Plot (spec.)
- GEV-Min (spec.)

Reset

Empirical Distributions

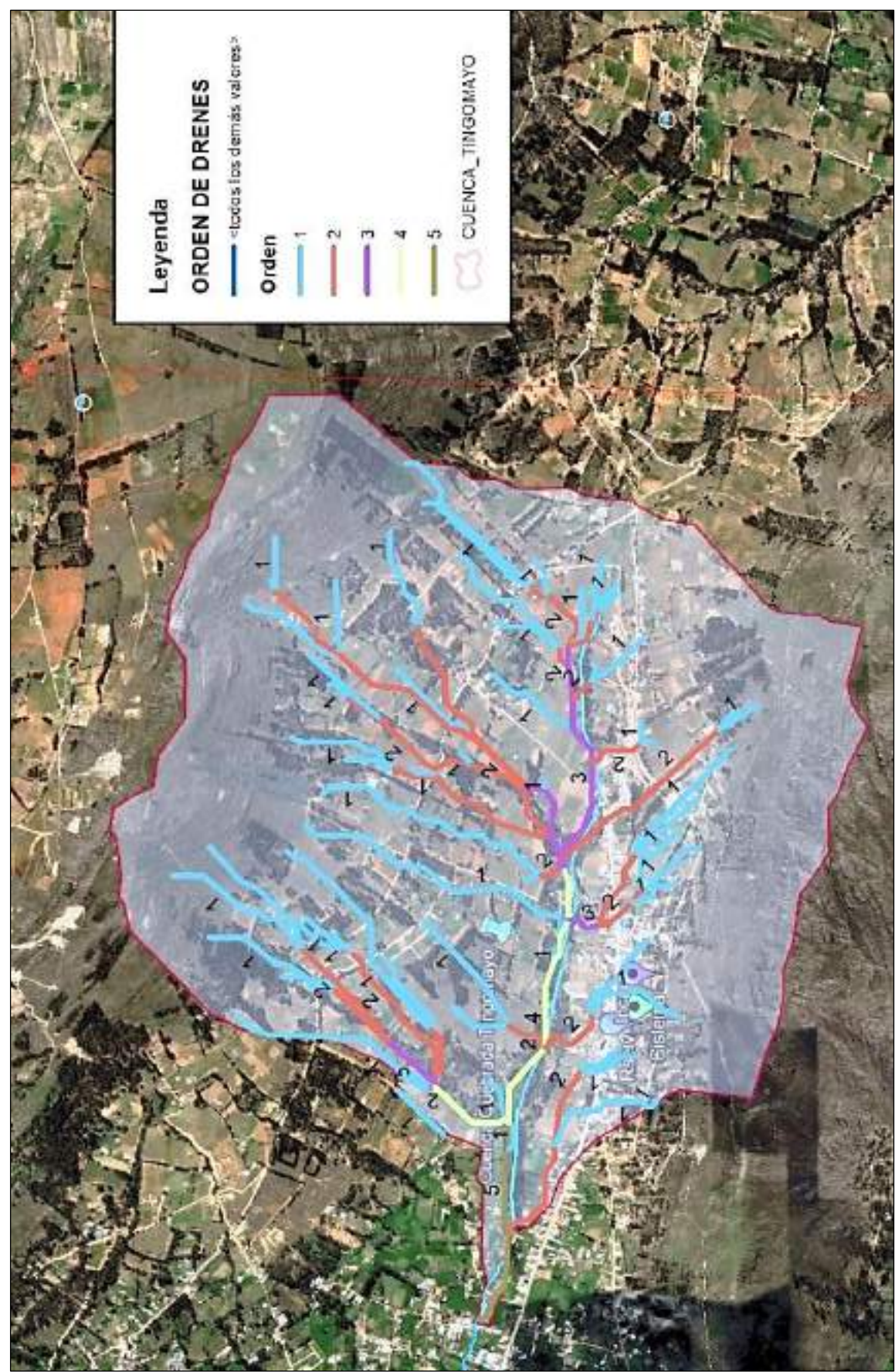
- ☒ Weibull Points
- ☐ Blank Points
- ☐ Cumulative Points
- ☐ Gini-Gordon Points

☐ Logarithmic

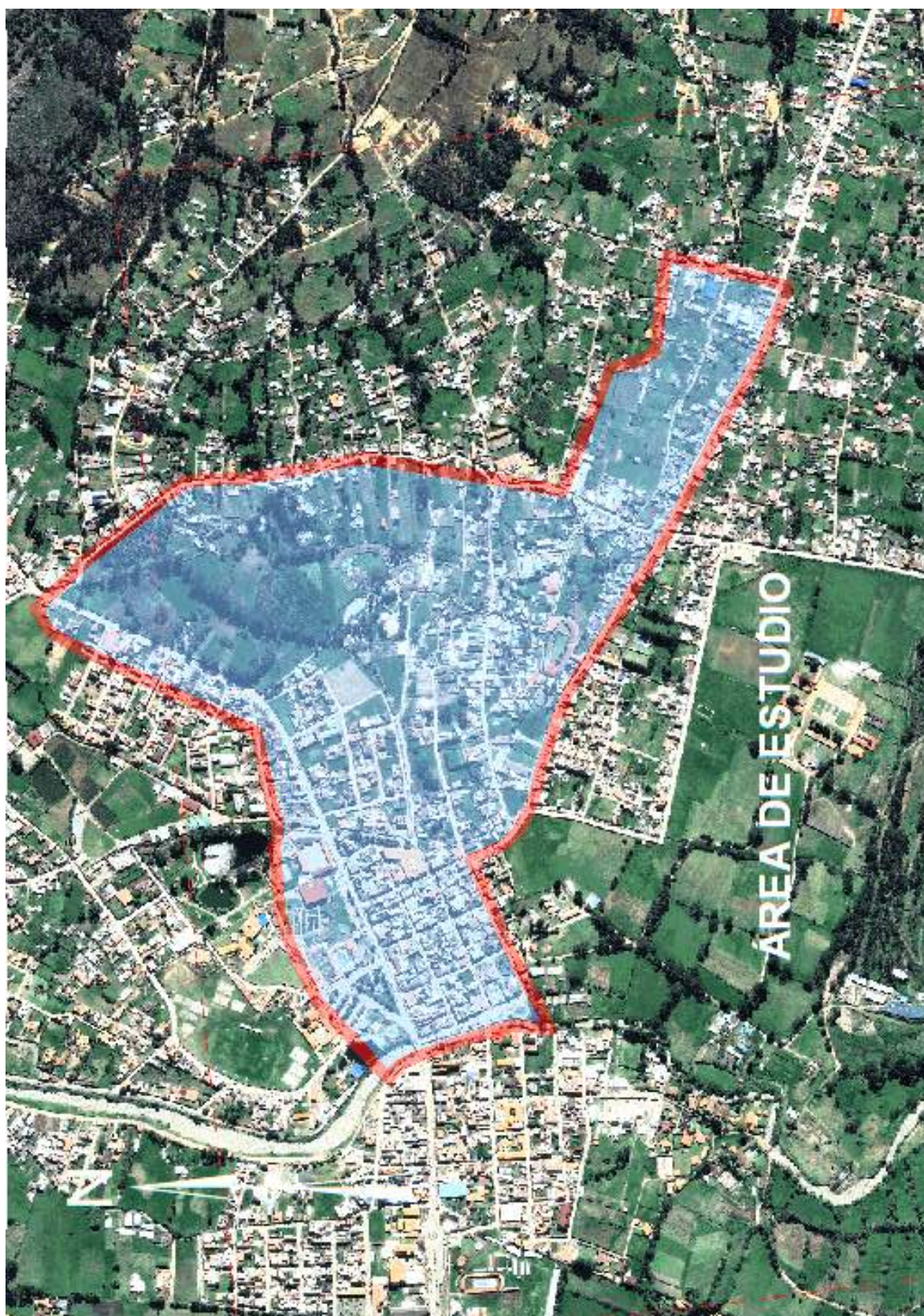
ANEXO 08.- Resultado de datos aplicando el modelo Dick Peschke para diferentes tiempos de retorno

Modelo de Dick Peschke									
Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	32.65	41.08	46.65	53.70	58.93	64.12	69.29	76.11	81.26
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Precipitación (mm)									
5	7.93	9.97	11.32	13.04	14.30	15.56	16.82	18.47	19.73
10	9.43	11.86	13.47	15.50	17.01	18.51	20.00	21.97	23.46
15	10.43	13.12	14.90	17.16	18.83	20.48	22.13	24.31	25.96
20	11.21	14.10	16.02	18.43	20.23	22.01	23.79	26.13	27.90
25	11.85	14.91	16.93	19.49	21.39	23.27	25.15	27.63	29.50
30	12.40	15.61	17.72	20.40	22.39	24.36	26.32	28.91	30.87
35	12.89	16.22	18.42	21.20	23.27	25.32	27.36	30.05	32.09
40	13.33	16.77	19.05	21.92	24.06	26.18	28.29	31.07	33.17
45	13.73	17.27	19.61	22.58	24.78	26.96	29.13	32.00	34.17
50	14.09	17.73	20.14	23.18	25.44	27.68	29.91	32.85	35.08
55	14.43	18.16	20.62	23.74	26.05	28.34	30.63	33.65	35.92
60	14.75	18.56	21.08	24.26	26.62	28.97	31.30	34.38	36.71
120	17.54	22.07	25.07	28.85	31.66	34.45	37.23	40.89	43.66
180	19.41	24.42	27.74	31.93	35.04	38.12	41.20	45.25	48.32
240	20.86	26.24	29.81	34.31	37.65	40.97	44.27	48.63	51.92
300	22.06	27.75	31.52	36.28	39.81	43.32	46.81	51.42	54.90
360	23.09	29.04	32.99	37.97	41.67	45.34	48.99	53.82	57.46
420	24.00	30.19	34.28	39.46	43.30	47.12	50.92	55.93	59.72
480	24.81	31.21	35.45	40.80	44.77	48.72	52.65	57.83	61.75
540	25.55	32.14	36.51	42.02	46.11	50.17	54.22	59.56	63.59
600	26.23	33.00	37.48	43.14	47.34	51.51	55.67	61.15	65.29
660	26.87	33.80	38.39	44.18	48.48	52.75	57.01	62.62	66.86
720	27.46	34.54	39.23	45.16	49.55	53.91	58.26	64.00	68.33
780	28.01	35.24	40.02	46.07	50.55	55.00	59.44	65.29	69.71
840	28.54	35.90	40.77	46.93	51.50	56.03	60.55	66.51	71.02
900	29.03	36.52	41.48	47.75	52.39	57.01	61.60	67.67	72.25
960	29.50	37.12	42.15	48.52	53.25	57.93	62.61	68.77	73.43
1020	29.95	37.68	42.80	49.26	54.06	58.82	63.56	69.82	74.55
1080	30.39	38.22	43.41	49.97	54.84	59.67	64.48	70.82	75.62
1140	30.80	38.74	44.01	50.65	55.58	60.48	65.35	71.79	76.65
1200	31.20	39.24	44.57	51.31	56.30	61.26	66.20	72.72	77.64
1260	31.58	39.73	45.12	51.94	56.99	62.01	67.01	73.61	78.59
1320	31.95	40.19	45.65	52.54	57.66	62.74	67.79	74.47	79.51
1380	32.31	40.64	46.16	53.13	58.30	63.44	68.55	75.30	80.40
1440	32.65	41.08	46.65	53.70	58.93	64.12	69.29	76.11	81.26

ANEXO 09.- Cuenca de la quebrada Tingomayo de aporte y orden de drenes.



ANEXO 10.- Quebrada Tingomayo tramo a estudiar parte de Zona urbana hasta el Rio Chonta.



RUGOSIDAD n DE SUPERFICIE DE CUENCA APORTANTE

RESPONSABLE: GABRIEL CASAS OCAS

PAIS: PERU

DATUM: WGS 84

ZONA: 17S - UTM

ESCALA: 1:9 000

FECHA: 08/01/2025

Leyenda

Rugosidad de cuenca aportante

USOS

Bosques densos

Cerrado de Conchazo

Cauce de quebrada

Pastizales o racionales

Terreno Rocal

Zona Urbana

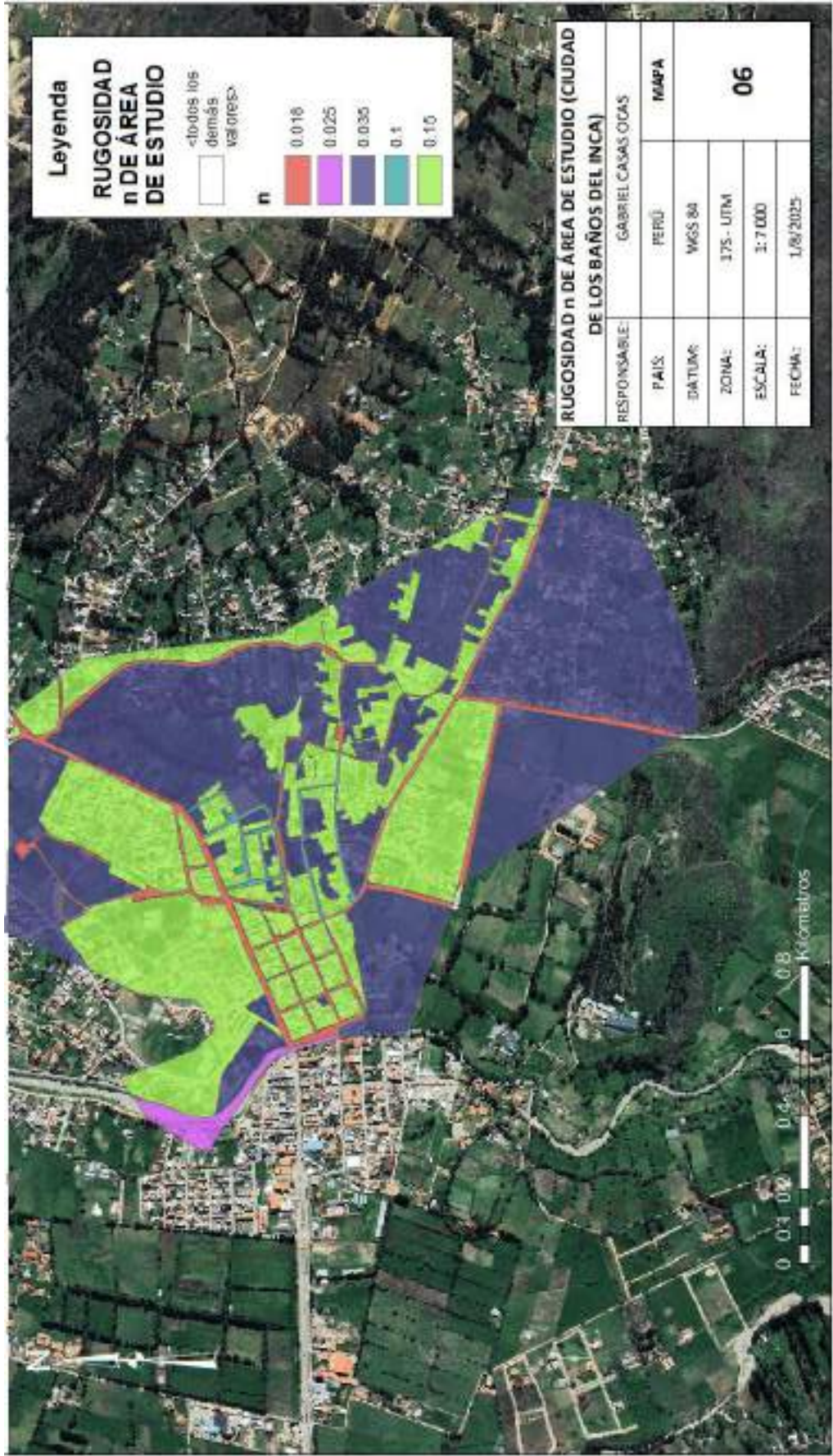
Zona agrícola

Zona agrícola en cultivo

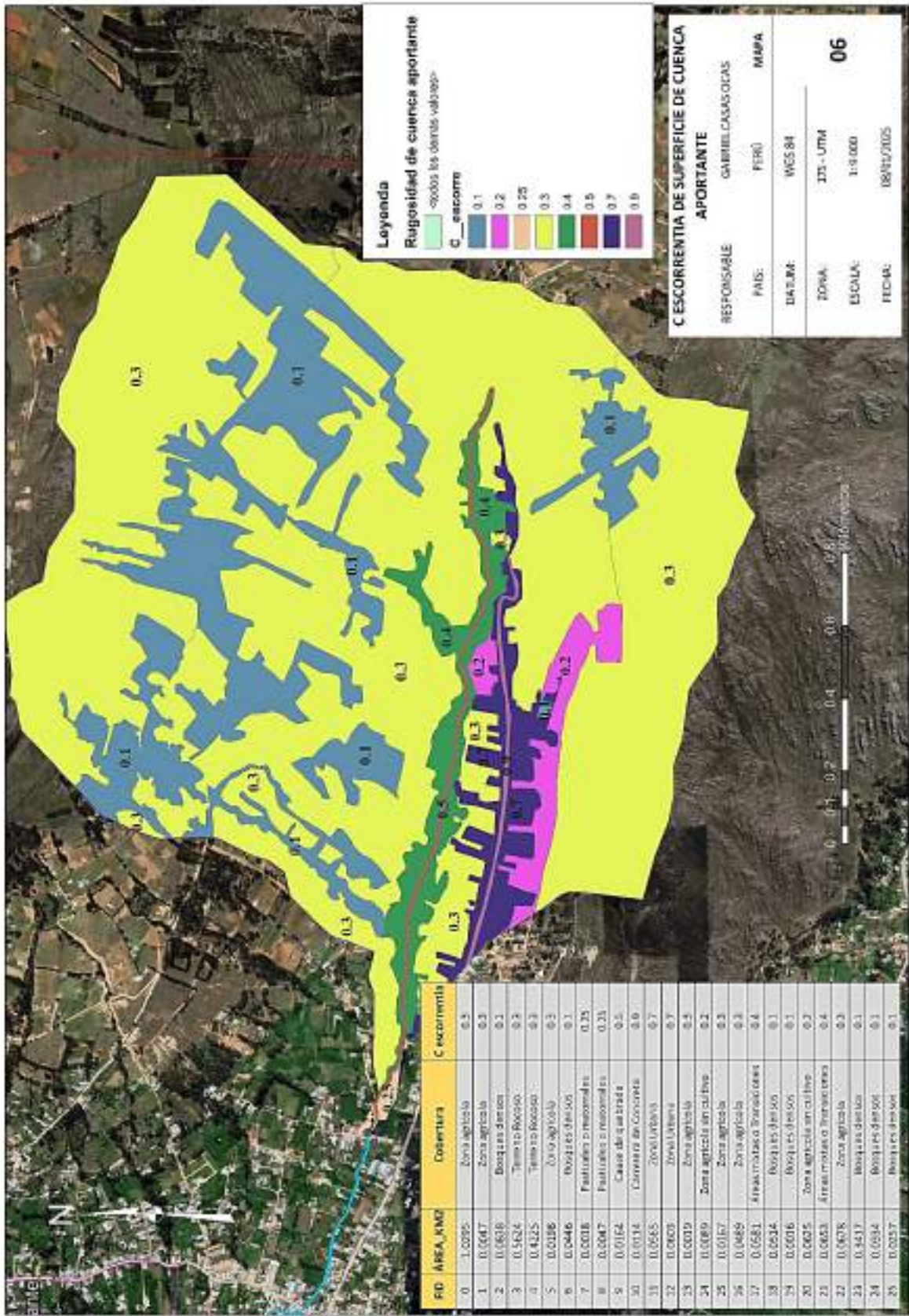
Áreas naturales o Transiciones

0 0.4 0.8 1.6 Kilómetros

ANEXO 12.- Rugosidad de la superficie del área portante de estudio en la ciudad de los Baños del Inca.



ANEXO 13.- Coeficiente de escorrentía para la cuenca aportante de la quebrada Tingomayo.



ANEXO 14.- Cuadro comparativo de volumen de ingreso y salida del fluido.

SALIDA EN PROGRESIVA 4+118 KM EN EJE DE CAUCE DE QUEBRADA TIENGO MAYO							
	Time	TR2 [Post Processed] (1000 m ³)	TR5 [Post Processed] (1000 m ³)	TR10 [Post Processed] (1000 m ³)	TR25 [Post Processed] (1000 m ³)	TR50 [Post Processed] (1000 m ³)	TR100 [Post Processed] (1000 m ³)
1	9/12/2025 0:00	0	0	0	0	0	0
2	9/12/2025 0:20	0.883	1.088	1.265	1.526	1.739	1.945
3	9/12/2025 0:40	4.369	4.941	5.139	5.745	6.911	7.912
4	9/12/2025 1:00	11.659	13.743	14.474	17.204	19.621	21.629
5	9/12/2025 1:20	22.923	27.261	29.36	35.266	38.907	41.65
6	9/12/2025 1:40	35.329	41.364	44.716	52.476	57.43	61.159
7	9/12/2025 2:00	45.648	52.94	57.11	66.121	72.181	77.066
INGRESO 1 DE CUENCA TINGO MAYO							
	Time	TR2 [Post Processed] (1000 m ³)	TR5 [Post Processed] (1000 m ³)	TR10 [Post Processed] (1000 m ³)	TR25 [Post Processed] (1000 m ³)	TR50 [Post Processed] (1000 m ³)	TR100 [Post Processed] (1000 m ³)
7	9/12/2025 2:00	42.413	48.384	53.072	60.442	66.856	73.714
6	9/12/2025 1:40	40.644	46.371	50.853	57.918	64.072	70.645
5	9/12/2025 1:20	35.341	40.314	44.279	50.354	55.731	61.449
4	9/12/2025 1:00	26.507	30.192	33.269	37.749	41.829	46.122
3	9/12/2025 0:40	14.14	16.077	17.752	20.104	22.368	24.665
2	9/12/2025 0:20	3.536	4.018	4.444	5.011	5.625	6.203
1	9/12/2025 0:00	0	0	0	0	0	0
INGRESO 2 DE CUENCA APORTANTE 1							
	Time	TR2 [Post Processed] (1000 m ³)	TR5 [Post Processed] (1000 m ³)	TR10 [Post Processed] (1000 m ³)	TR25 [Post Processed] (1000 m ³)	TR50 [Post Processed] (1000 m ³)	TR100 [Post Processed] (1000 m ³)
1	9/12/2025 0:00	0	0	0	0	0	0
2	9/12/2025 0:20	0.678	0.913	0.957	1.08	1.128	1.236
3	9/12/2025 0:40	1.73	2.241	2.464	4.976	5.57	5.99
4	9/12/2025 1:00	2.83	4.683	5.448	9.854	11.09	11.916
5	9/12/2025 1:20	3.893	6.99	8.239	13.038	14.664	15.778
6	9/12/2025 1:40	5.015	8.14	9.452	14.431	16.282	17.503
7	9/12/2025 2:00	5.398	8.445	9.636	14.477	16.205	17.351
BALANCE HIDRICO							
		TR2 [Post Processed] (1000 m ³)	TR5 [Post Processed] (1000 m ³)	TR10 [Post Processed] (1000 m ³)	TR25 [Post Processed] (1000 m ³)	TR50 [Post Processed] (1000 m ³)	TR100 [Post Processed] (1000 m ³)
SUMA DE VOL. DE INGR. MAX		47.811	56.829	62.708	74.919	83.061	91.065
DIFERENCIA DE INGRESO - SALIDA		5.398	8.445	9.636	14.477	16.205	17.351

ANEXO 15.- Orificios de ingreso a las alcantarillas que conduce las aguas hasta el río Chonta.



ANEXO 16.- INFORME DE EMERGENCIA POR INUNDACIÓN DE LOS BAÑOS DEL INCA.
INDECI.



INFORME DE EMERGENCIA N° 839 - 28/11/2017 / COEN - INDECI 18:00 HORAS
(Informe N° 04)

INUNDACIÓN EN EL DISTRITO DE LOS BAÑOS DEL INCA – CAJAMARCA

I. HECHOS:

El 24 de noviembre de 2017 a 14:00 horas, a consecuencias de intensas precipitaciones pluviales registradas en la zona, se produjo la activación de las quebradas Seca Tingo Mayo, Shaullo Chico y La Esperanza; y el desborde del río Chonta afectando viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo en el distrito de Los Baños del Inca.

CÓDIGO SINPAD: 00090536.

II. UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD
CAJAMARCA	CAJAMARCA	LOS BAÑOS DEL INCA	BAÑOS PUNTA LOS BAÑOS DEL INCA

III. MAPA SITUACIONAL:



Elaborado por: J. Loza
Distribución: Casa de Gobierno, PCM, Ministerios, Gobiernos Regionales y Locales.
CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL
Calle Rodín 135 - San Borja, Lima - Perú
Tel. +511 224-1687 - www.indeci.gob.pe
Facebook: <https://www.facebook.com/indeci?fref=ts> - Twitter: <https://twitter.com/indeciperu>

Actualizado por: H. Olivar
1

ANEXO 17.- Evidencia de correos que brinda datos de precipitación SENAMHI.

Remite información meteorológica de la estación AUGUSTO WEBERBAUER para Tesis.

Eliminar Archivar Informar Mover a Responder Zoom Leído / No leído Clasificar Marcar/Desmarcar

Remite información meteorológica de la estación AUGUSTO WEBERBAUER para Tesis.

Lorena Valencia López (DCC) <lvalencia@senamhi.gob.pe>
 Enviado: Martes, 5 de agosto de 2025 13:48
 CC: Walter Iván Veneros Terán (DCC)

GABRIEL CASAS OCASO
 Contable

Buenas tardes señor Gabriel Casas Ocaso
 Por medio del presente se remite la información meteorológica de la estación MAP. Augusto Weberbauer, de acuerdo a la solicitud, para el desarrollo de su tesis.
 Atte.



LORENZA VALENCIA LÓPEZ
 Especialista Administrativo
 Contable
 SENAMHI - PERÚ

C: 876-001-618
 E: lvalencia@senamhi.gob.pe
 W: www.senamhi.gob.pe

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reducir - Reusar - Reciclar

De: Ocaso Casas <goc_casas@hotmail.com>
 Enviado: martes, 5 de agosto de 2025 13:48
 Para: Walter Iván Veneros Terán (DCC) <wveneros@senamhi.gob.pe>
 De: Lorena Valencia López (DCC) <lvalencia@senamhi.gob.pe>
 Asunto: RV: Solicito datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación AUGUSTO WEBERBAUER para Tesis.

Recibe mi cordial saludo Ing. M. Cs. Walter Iván Veneros Terán y comentarte que estoy realizando mi proyecto de tesis de pregrado titulado "Zonificación de las áreas inundables mediante modelamiento hidráulico bidimensional de la quebrada Tingo Mayo en la ciudad de los baños del Inca, Cajamarca, 2024".
 El motivo de la presente solicitud es obtener información hidrológica histórica (1934-2024) y validada por el SENAMHI, la cual es un requisito indispensable para la correcta calibración del modelo hidráulico, la estimación precisa de los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno y, en consecuencia, para la validez de la zonificación y las propuestas de mitigación. La información es requerida para un análisis de frecuencia robusto que permite sustentar los resultados de la investigación.
 Adjunto los documentos solicitados.