

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

LA FAJA MARGINAL Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE
INUNDACIONES FLUVIALES PARA LA PREVENCIÓN DE
DESASTRES: CASO RÍO SECO, TACNA, PERÚ

TESIS

Presentada por:

Bach. YURI EMERSÓN CÁCERES FLORES

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“LA FAJA MARGINAL Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE
INUNDACIONES FLUVIALES PARA LA PREVENCIÓN DE
DESASTRES: CASO RÍO SECO, TACNA, PERÚ”**

Tesis sustentada y aprobada el día 12 de junio del 2026 estando integrado el

Jurado Calificador por:

PRESIDENTE

.....
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

SECRETARIO

.....
Mtro. Ing. Derivit Alexander Ticona Canlla

VOCAL

.....
Ph. D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

ASESOR DE TESIS

.....
Ph. D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Ph.D. Ing. Edwin Martín Pino Vargas, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 998-2024-FIAG/UNJBG del 27 de diciembre del 2025, de la Tesis titulada: "LA FAJA MARGINAL Y LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES: CASO RÍO SECO, TACNA, PERÚ". Presentado por Yuri Emersón Cáceres Flores, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 10%. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Civil, para su publicación en el Repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención de título profesional.

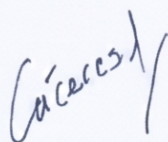
Tacna, 23 de diciembre del 2025



FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Ph.D. Ing. Edwin Martín Pino Vargas

DNI: 00486621



FIRMA AUTOR

Nombres y apellidos: Yuri Emersón Cáceres Flores

DNI: 73121352



DEDICATORIA

A mi madre, pilar inquebrantable y motor de mis sueños; gracias por tu sacrificio y amor infinito.

A mi perseverancia y pasión por la ingeniería, transformando el esfuerzo en este gran logro profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi madre por darme el impulso necesario para seguir adelante en todo momento.

A mi asesor de tesis, por brindarme las herramientas necesarias para la realización de esta tesis.

Se agradece al Proyecto de Investigación financiado con Fondos de Canon, sobrecanon y regalías mineras “Mitigación del Riesgo de Desborde e Inundación Basado en una Propuesta de Valoración de Espacio Público Sostenible en Zonas Áridas”, aprobado con Resolución Rectoral N° 13626-2024-UNJBG

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
1 CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	3
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2.1 Formulación interrogativa del problema general	6
1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos	6
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	6
1.3.1 Hipótesis principal	6
1.3.2 Hipótesis secundarias	6
1.4 JUSTIFICACION	7
1.5 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	9
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos específicos	10
2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1 ANTECEDENTES	11
2.1.1 Internacionales	11
2.1.2 Nacionales	13
2.1.3 Locales	16
2.2 BASES TEÓRICAS	19
2.2.1 Inundación	19
2.2.1.1 Tipos de inundaciones	20
2.2.1.1.1 Inundaciones dinámicas o rápidas	20
2.2.1.1.2 Inundaciones estáticas o lentas	20
2.2.1.1.3 Inundaciones pluviales	20
2.2.1.1.4 Inundaciones fluviales	21
2.2.2 Modelamiento hidráulico	21
2.2.2.1 Historia	21
2.2.2.2 Modelos unidimensionales y bidimensionales	24
2.2.3 La faja marginal	26

2.2.3.1	Características	27
2.2.3.2	Criterios para la determinación de la faja marginal.....	27
2.2.3.3	Prohibiciones dentro de la faja marginal	28
2.2.3.4	Aprobación de ancho de faja marginal	28
2.2.4	Evaluación de riesgo	29
2.2.4.1	Conocimiento del peligro.....	29
2.2.4.2	Análisis de vulnerabilidad	30
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30
3	CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	34
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	34
3.3	DISEÑO DE INVESTIGACION	35
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	36
3.4.1	Población.....	36
3.4.2	Muestra.....	36
3.5	METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL	37
3.5.1	Procedimiento para obtener los caudales máximos.....	38
3.5.2	Procedimiento para obtener la topografía	39
3.5.3	Procedimiento para establecer la rugosidad	43
3.5.4	Procedimiento para el modelamiento hidráulico en HEC-RAS.....	46
3.5.4.1	Creación del proyecto	46
3.5.4.2	Creación de la geometría, rugosidad y condiciones de contorno	47
3.5.4.3	Ingreso de Datos de caudales	51
3.5.4.4	Creación de Plan de Análisis	51
3.5.5	Procedimiento para determinar la Faja Marginal.....	55
3.5.5.1	Delimitación preliminar de Faja Marginal.....	57
3.5.5.2	Búsqueda de Imágenes Históricas	59
3.6	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL	64
3.6.1	Determinación de Peligro	67
3.6.1.1	Parámetro de evaluación	69
3.6.1.1.1	Ponderación de los descriptores del parámetro de evaluación	70
3.6.1.2	Determinación de la Susceptibilidad por Inundación fluvial	72
3.6.1.2.1	Ponderación de factores condicionantes	72
3.6.1.2.1	Ponderación de los descriptores del parámetro Pendiente	73
3.6.1.2.1	Ponderación de los descriptores del parámetro Geomorfología	75
3.6.1.2.1	Ponderación de los descriptores del parámetro Geología	77

3.6.1.2.1	Ponderación de factor desencadenante.....	79
3.6.2	Análisis de Vulnerabilidad	81
3.6.2.1	Análisis de Fragilidad Social	82
3.6.2.1.1	Ponderación de los descriptores para la Fragilidad Social.....	83
3.6.2.1	Análisis de la Resiliencia Social	85
3.6.2.1.1	Ponderación de los parámetros de la Resiliencia Social.....	85
3.6.2.1.2	Ponderación de los descriptores para la Resiliencia Social	86
3.6.2.2	Análisis de Fragilidad Económica	89
3.6.2.2.1	Ponderación de los descriptores para la Fragilidad Económica	89
3.6.2.3	Análisis de la Resiliencia Económica	91
3.6.2.3.1	Ponderación de los descriptores para la Resiliencia Económica	91
3.6.3	Determinación del Riesgo	94
4	CAPITULO IV: RESULTADOS.....	97
4.1	RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN HEC RAS	97
4.2	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL	107
4.2.1	Propuesta de instalación de hitos físicos	109
4.3	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL.....	117
4.3.1	Resultados de la determinación de Peligro	117
4.4	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	120
4.5	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO	123
4.6	MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES	126
4.6.1	Medidas estructurales	126
4.6.2	Medidas no estructurales	126
5	CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	127
6	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
6.1	CONCLUSIONES	132
6.2	RECOMENDACIONES.....	134
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
8	ANEXOS	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Asociaciones de vivienda en el área de estudio	37
Tabla 2 Caudales instantáneos utilizados para la modelación	39
Tabla 3 Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante la ecuación	43
Tabla 4 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning adoptados para la modelación....	44
Tabla 5 Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua	56
Tabla 6 Escala de comparación de SAATY.....	66
Tabla 7 Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación – Altura de Flujo....	70
Tabla 8 Matriz de normalización del parámetro de evaluación - Altura de Flujo	70
Tabla 9 Matriz de comparación de pares de los parámetros considerados	72
Tabla 10 Matriz de normalización de los parámetros considerados.....	72
Tabla 11 Matriz de comparación de pares del parámetro Pendiente.....	73
Tabla 12 Matriz de normalización del parámetro Pendiente	73
Tabla 13 Matriz de comparación de pares del parámetro Geomorfología	75
Tabla 14 Matriz de normalización del parámetro Geomorfología.....	75
Tabla 15 Matriz de comparación de pares del parámetro Geología.....	77
Tabla 16 Matriz de normalización del parámetro Geología	77
Tabla 17 Matriz de comparación de pares del parámetro Caudal.....	79
Tabla 18 Matriz de normalización del parámetro Caudal	79
Tabla 19 Matriz de comparación de pares del parámetro Grupo Etario	83
Tabla 20 Matriz de normalización del parámetro Grupo Etario.....	83
Tabla 21 Matriz de comparación de pares del parámetro Discapacidad	84
Tabla 22 Matriz de normalización del parámetro Discapacidad	84
Tabla 23 Matriz de comparación de pares de los parámetros considerados	85

Tabla 24 <i>Matriz de normalización de los parámetros considerados</i>	85
Tabla 25 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Nivel Educativo</i>	86
Tabla 26 <i>Matriz de normalización del parámetro Nivel Educativo</i>	86
Tabla 27 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Tipo de Seguro</i>	87
Tabla 28 <i>Matriz de normalización del parámetro Tipo de Seguro</i>	87
Tabla 29 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Beneficiario de Programas Sociales</i>	88
Tabla 30 <i>Matriz de normalización del parámetro Beneficiario de Programas Sociales</i>	88
Tabla 31 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Material Predominante de las Paredes</i>	89
Tabla 32 <i>Matriz de normalización del parámetro Material Predominante de las Paredes</i> ...	89
Tabla 33 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Material Predominante en los Techos</i>	90
Tabla 34 <i>Matriz de normalización del parámetro Material Predominante en los Techos</i>	90
Tabla 35 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Tipo de Vivienda</i>	91
Tabla 36 <i>Matriz de normalización del parámetro Tipo de Vivienda</i>	92
Tabla 37 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro Régimen de Tenencia</i>	93
Tabla 38 <i>Matriz de normalización del parámetro Régimen de Tenencia</i>	93
Tabla 39 <i>Área de inundación para los diferentes periodos de retorno</i>	98
Tabla 40 <i>Velocidad máxima de flujo para los diferentes periodos de retorno</i>	98
Tabla 41 <i>Tirante máximo de flujo para lo diferentes periodos de retorno</i>	98
Tabla 42 <i>Velocidades máximas del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	102
Tabla 43 <i>Tirantes máximos del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	106

Tabla 44 <i>Vértices de delimitación de faja marginal del cauce Río Seco.....</i>	107
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sección transversal típico de un curso de agua y delimitación de la faja marginal</i>	26
Figura 2 <i>Proceso de aprobación y monumentación de faja marginal.....</i>	29
Figura 3 <i>Población y muestra de investigación.....</i>	36
Figura 4 <i>Ortofoto y Mapa de ubicación del área de estudio</i>	41
Figura 5 <i>Modelo de Elevación Digital (MED) del área de estudio.....</i>	42
Figura 6 <i>Mapa de rugosidad del área de estudio</i>	45
Figura 7 <i>Ventana principal de HEC-RAS con el Proyecto Río Seco cargado</i>	47
Figura 8 <i>Barra de herramientas de acceso rápido de HEC-RAS v6.6</i>	47
Figura 9 <i>Modelo de Elevación Digital y Ortofoto cargados en RASMapper</i>	48
Figura 10 <i>Construcción de la malla computacional en HEC-RAS para modelamiento 2D ..</i>	49
Figura 11 <i>Capa de rugosidad del área de estudio cargada en RASMapper</i>	50
Figura 12 <i>Configuración de Flujo No Permanente</i>	51
Figura 13 <i>Configuración del Control avanzado de paso de tiempo</i>	53
Figura 14 <i>Configuración de las Opciones de flujo 2D</i>	53
Figura 15 <i>Configuración del Plan de análisis final.....</i>	54
Figura 16 <i>Ventana principal de HEC-RAS con todos los archivos cargados</i>	55
Figura 17 <i>Visualización de la delimitación preliminar del ancho de faja marginal.....</i>	58
Figura 18 <i>Imagen de Google Earth del 18 de febrero del 2006</i>	59
Figura 19 <i>Imagen de Google Earth del 05 de setiembre del 2009</i>	60
Figura 20 <i>Imagen de Google Earth del 31 de diciembre del 2011</i>	60
Figura 21 <i>Imagen de Google Earth del 25 de febrero del 2012</i>	62
Figura 22 <i>Imagen de Google Earth del 23 de marzo del 2020.....</i>	63

Figura 23 <i>Imagen de Google Earth del 01 de marzo del 2025</i>	64
Figura 24 <i>Áreas de exposición a inundación en Tacna</i>	68
Figura 25 <i>Flujograma para la Determinación del Nivel de Peligro</i>	69
Figura 26 <i>Mapa de Altura de inundación (tirante) del área de estudio</i>	71
Figura 27 <i>Mapa de pendientes del área de estudio</i>	74
Figura 28 <i>Mapa geomorfológico del área de estudio</i>	76
Figura 29 <i>Mapa geológico del área de estudio</i>	78
Figura 30 <i>Mapa de Área de inundación del área de estudio</i>	80
Figura 31 <i>Flujograma para determinar la vulnerabilidad</i>	82
Figura 32 <i>Cálculo de niveles de Riesgo</i>	95
Figura 33 <i>Flujograma para estimar los niveles de riesgo</i>	96
Figura 34 <i>Simulación hidráulica en 2D para los diferentes periodos de retorno en HEC-RAS</i>	99
Figura 35 <i>Perfil longitudinal del cauce de Río Seco para un periodo de retorno de 100 años</i>	101
Figura 36 <i>Secciones transversales de las velocidades máximas del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	102
Figura 37 <i>Perfil general de las velocidades de flujo para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	103
Figura 38 <i>Planta general de las velocidades de flujo para un para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	104
Figura 39 <i>Secciones transversales de los tirantes máximos del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	105
Figura 40 <i>Perfil general de los tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco</i>	106

Figura 41 <i>Esquema de hito físico para monumentación</i>	110
Figura 42 <i>Planta general de la Delimitación de faja marginal</i>	111
Figura 43 <i>Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+000 al Km 0+380</i>	112
Figura 44 <i>Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+380 al Km 0+760</i>	113
Figura 45 <i>Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+760 al Km 1+120</i>	114
Figura 46 <i>Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 1+120 al Km 1+440</i>	115
Figura 47 <i>Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 1+440 al Km 1+755</i>	116
Figura 48 <i>Rango de niveles de peligro</i>	117
Figura 49 <i>Matriz descriptiva de peligro</i>	118
Figura 50 <i>Mapa de peligro del área de estudio</i>	119
Figura 51 <i>Rango de niveles de vulnerabilidad</i>	120
Figura 52 <i>Matriz descriptiva de vulnerabilidad</i>	121
Figura 53 <i>Mapa de vulnerabilidad del área de estudio</i>	122
Figura 54 <i>Matriz cuantitativa de riesgo</i>	123
Figura 55 <i>Rango de niveles de riesgo</i>	123
Figura 56 <i>Matriz descriptiva de riesgo</i>	124
Figura 57 <i>Mapa de riesgo del área de estudio</i>	125

RESUMEN

La presente investigación se centró en la protección del cauce y la gestión del riesgo de inundaciones fluviales en el Río Seco, específicamente en el tramo comprendido entre el Cuartel Tarapacá y el Puente Arunta, en la región Tacna. El objetivo fue delimitar la faja marginal y evaluar el riesgo de inundación para sustentar la implementación de medidas preventivas. Se empleó un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo-explicativo y diseño no experimental transversal. Asimismo, se utilizó el software HEC-RAS para modelar el comportamiento hidráulico del cauce ante diferentes periodos de retorno. La evaluación del riesgo consideró la determinación del peligro y el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica, de acuerdo con los lineamientos de la ANA y el CENEPRED.

Los resultados determinaron que el desbordamiento se produjo para un periodo de retorno de 500 años, con un caudal de 316 m³/s; sin embargo, el cauce comenzó a ser superado a partir de aproximadamente 250 m³/s. Se registraron velocidades máximas entre 4.59 m/s y 9.30 m/s, así como tirantes entre 5.11 m y 9.80 m. Además, se identificaron cuatro zonas críticas por velocidad y dos por tirante máximo. Finalmente, las áreas urbanas evaluadas presentaron niveles de riesgo Alto y Muy Alto, por lo que se recomendó implementar medidas estructurales y no estructurales para reducir la vulnerabilidad de la población y la infraestructura.

Palabras clave: Inundación, modelamiento hidráulico, HEC-RAS, faja marginal, vulnerabilidad socioeconómica, evaluación del riesgo, río seco.

ABSTRACT

This research focused on channel protection and river flood risk management in the Río Seco, specifically in the section between the Tarapacá Barracks and the Arunta Bridge, in the Tacna region. The objective was to delineate the riverbank buffer zone and assess flood risk to support the implementation of preventive measures. A quantitative, descriptive-explanatory approach with a non-experimental, cross-sectional design was used. The HEC-RAS software was used to model the hydraulic behavior of the channel under different return periods. The risk assessment considered hazard determination and socioeconomic vulnerability analysis, in accordance with the guidelines of the National Water Authority (ANA) and the National Center for Disaster Risk Reduction (CENEPRED).

The results determined that flooding occurred for a 500-year return period, with a flow rate of 316 m³/s; however, the channel began to be overtopped at approximately 250 m³/s. Maximum velocities between 4.59 m/s and 9.30 m/s were recorded, as well as water depths between 5.11 m and 9.80 m. In addition, four critical zones were identified based on velocity and two based on maximum water depth. Finally, the urban areas evaluated presented high and very high-risk levels, and therefore, the implementation of structural and non-structural measures was recommended to reduce the vulnerability of the population and infrastructure.

Keywords: Flooding, hydraulic modeling, HEC-RAS, riparian zone, socioeconomic vulnerability, risk assessment, dry riverbed.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyeron el riesgo natural de mayor impacto a nivel global debido a su recurrencia y potencial destructivo. Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2025), desde el año 2000 el número de desastres relacionados con inundaciones aumentó un 134 % en comparación con las dos décadas anteriores. Esta tendencia posicionó a las inundaciones como la amenaza de mayor impacto socioeconómico, afectando de manera desproporcionada a las poblaciones con menor capacidad de resiliencia y recursos para la recuperación.

En este contexto, el modelamiento hidráulico se presentó como una herramienta fundamental para simular el comportamiento de un flujo bajo distintos escenarios de retorno. El uso de software especializado, como el sistema HEC-RAS, facilitó la determinación de parámetros críticos, entre ellos los tirantes de agua, las velocidades de flujo y la energía cinética del cauce. Al respecto, Hutanu et al. (2020) señalaron que el empleo de algoritmos informáticos avanzados y programas de modelado constituyó un aspecto esencial en las iniciativas de mitigación de inundaciones, pues permitió cuantificar los impactos potenciales y fundamentar una planificación urbana resiliente.

Asimismo, la delimitación técnica de la faja marginal constituyó el espacio de protección colindante a los cauces que garantizó su equilibrio hidrológico y la seguridad de las zonas ribereñas. El Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016) definió esta área como un bien de dominio público hidráulico, inalienable e imprescriptible, cuya ocupación estuvo estrictamente prohibida. Su determinación no debió ser arbitraria, sino responder a criterios técnicos de ingeniería que consideraron el nivel de máxima creciente. En consecuencia, establecer esta zona representó el primer paso para consolidar un

ordenamiento territorial que reconociera el espacio vital del río y evitara que la expansión urbana invadiera áreas de amortiguamiento natural indispensables para la prevención de desastres.

De manera complementaria, la evaluación del riesgo permitió cuantificar la interacción entre la amenaza física y la vulnerabilidad social mediante el análisis de sus componentes fundamentales: peligro y vulnerabilidad. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2016), el riesgo de desastre correspondió a la probabilidad de sufrir pérdidas en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad. Este diagnóstico permitió priorizar el uso de recursos y orientar las intervenciones hacia las áreas con mayores carencias físicas y económicas.

Por ello, el modelamiento hidráulico y la delimitación de la faja marginal constituyeron los pilares técnicos y legales para la evaluación del riesgo y el planeamiento de medidas preventivas. Mientras que el modelamiento determinó la magnitud del peligro mediante la simulación de avenidas, la faja marginal estableció un límite físico normado por la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos (2009). Asimismo, de acuerdo con el Texto Único Ordenado de la Ley N.º 30556 (2018), esta área fue definida como una zona de riesgo intangible y no mitigable. Su existencia, sustentada en estudios técnicos de máxima creciente, visibilizó un riesgo latente y actuó como una barrera administrativa que protegió la vida al restringir el uso del suelo en áreas críticas.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel internacional, las inundaciones han constituido uno de los desastres naturales más graves y recurrentes a escala mundial. Estos eventos han ocasionado pérdidas humanas, daños materiales y afectaciones significativas a la infraestructura, especialmente en aquellas poblaciones asentadas en llanuras aluviales o en las márgenes de los ríos (Afzal et al., 2022; Choquehuanca Huanca y Mamani Choquehuanca, 2008; Jagadeesh y Veni, 2021).

A nivel nacional, las inundaciones registradas en el Perú durante el año 2023, provocadas por el fenómeno El Niño Costero y el inusual ciclón Yaku, marcaron un hito después de cuatro décadas de relativa estabilidad climática. Este escenario extremo afectó principalmente la zona norte del país, donde las intensas precipitaciones generaron desbordes de ríos e inundaciones en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque (ONU, 2023).

A nivel local, si bien la región de Tacna se ubica en la zona más árida de la costa peruana y forma parte de la cabecera del desierto de Atacama, caracterizándose por la limitada disponibilidad de recursos hídricos (Pino et al., 2019), esta condición no la exime de los peligros asociados a eventos hidrometeorológicos extremos. Por el contrario, la combinación de un clima seco con la ocurrencia esporádica de precipitaciones intensas, frecuentemente vinculadas al fenómeno El Niño, convierte a la región en un territorio vulnerable. Esta situación incrementa los caudales de ríos como el Caplina y el Caramolle, activas quebradas normalmente secas y genera daños significativos en un contexto de crecimiento urbano acelerado y desordenado (Castro et al., 2021).

El tramo del Río Seco comprendido entre el cuartel Tarapacá y el puente Arunta representa un punto crítico de vulnerabilidad debido a su recorrido a través de zonas urbanas altamente expuestas. De acuerdo con el mapa de pobreza monetaria del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), esta área se ubica dentro de un rango elevado de pobreza. Esta condición se agrava al contrastarla con la zonificación de peligros múltiples elaborada por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2005), donde el sector es clasificado con un nivel de peligro alto. Asimismo, el mapa de peligros y vulnerabilidad de INDECI (2003) corrobora esta situación al advertir un impacto potencial de destrucción y soterramiento ante desbordes, inundaciones fluviales y flujos de lodo, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas de mitigación en esta zona del distrito.

El riesgo de inundación en el Río Seco se origina principalmente por los aportes hídricos que recibe de diferentes fuentes. Según Frisancho Camero (2015), estos provienen del río Caplina y de las quebradas Palca y Vilavilani-Yungane, cuyos caudales se incrementan significativamente durante la temporada de lluvias comprendida entre diciembre y marzo.

Por otra parte, la interacción entre factores naturales y antrópicos ha configurado un escenario de riesgo permanente, particularmente en el sector de Arunta. Al respecto, Luque Poma (2016), en un informe elaborado para el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), señaló la existencia de erosión fluvial severa en ambas márgenes y el estrangulamiento del cauce en diversos puntos. Estas condiciones favorecen el socavamiento y el desborde del río ante precipitaciones excepcionales. Además, dichos eventos no solo generan inundaciones, sino que también pueden desencadenar flujos de lodo o huaicos que amenazan directamente a las comunidades ubicadas aguas abajo.

Las consecuencias de esta problemática se manifiestan en un riesgo de inundación persistente para los asentamientos ubicados en las márgenes del Río Seco, situación que ha sido documentada a través de diversos eventos críticos. En el año 2012, el incremento del caudal del río provocó el colapso de aproximadamente 20 metros de muros de contención, poniendo en evidencia la fragilidad de la infraestructura de protección existente (Radio Uno, 2012). Esta problemática se intensificó en 2017, cuando nuevas avenidas fluviales pusieron en peligro a más de dos mil familias, confirmando la elevada vulnerabilidad de las viviendas asentadas en las riberas del cauce (Diario Correo, 2017).

A pesar de las intervenciones preventivas ejecutadas por las autoridades competentes, la amenaza continúa vigente. Esta condición se evidencia en las constantes inspecciones y acciones de control que realizan los gobiernos locales en el cauce y sus alrededores como medida preventiva frente a la temporada de lluvias en la zona andina. Tales acciones demuestran que la seguridad de la población aún no ha sido garantizada de manera definitiva (Plataforma del Estado Peruano, 2020).

En este contexto, la presente investigación propone desarrollar un modelamiento hidráulico del Río Seco para diferentes periodos de retorno (10, 50, 100, 200 y 500 años) mediante el software HEC-RAS, con el propósito de identificar las áreas potencialmente inundables. A partir de los resultados obtenidos, se delimitará técnicamente la faja marginal con el fin de establecer una zona de protección que contribuya a salvaguardar tanto el recurso hídrico como la integridad de la población.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 *Formulación interrogativa del problema general*

- ¿De qué manera la delimitación de la faja marginal y la determinación de los niveles de riesgo por inundación fluvial del Río Seco, mediante modelamiento hidráulico y análisis de peligro y vulnerabilidad, permitirán la protección del cauce y la prevención de desastres?

1.2.2 *Formulación interrogativa de los problemas específicos*

- ¿Cómo el modelamiento hidráulico permite conocer los parámetros hidráulicos del Río Seco ante diferentes periodos de retorno?
- ¿Cuál es la delimitación del ancho de faja marginal del Río Seco tomando como base los criterios normativos?
- ¿Cuáles son los niveles de peligro y como se distribuye espacialmente?
- ¿Cuáles son los niveles de vulnerabilidad y como se distribuye espacialmente?
- ¿Cuáles son los niveles de riesgo y como se distribuye espacialmente?
- ¿Cuáles son las recomendaciones técnicamente factibles para la prevención de desastre?

1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1 *Hipótesis principal*

- La delimitación de la faja marginal y la determinación de los niveles de riesgo por inundación fluvial del Río Seco, mediante modelamiento hidráulico y análisis de peligro y vulnerabilidad, permitirán la protección del cauce y prevenir desastres.

1.3.2 *Hipótesis secundarias*

- El modelamiento hidráulico permite determinar los parámetros hidráulicos del Río Seco ante diferentes periodos de retorno.

- Los criterios normativos permiten proponer la delimitación del ancho de faja marginal del Río Seco.
- La identificación y determinación del peligro permitirán la elaboración del mapa de peligro.
- El análisis y determinación de los niveles de vulnerabilidad permitirán la elaboración del mapa de vulnerabilidad.
- La determinación de los niveles de riesgo permitirá la elaboración del mapa de riesgo.
- Las recomendaciones de medidas de prevención de desastre son técnicamente factibles.

1.4 JUSTIFICACION

Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, la presente investigación surge de la necesidad de reducir una brecha de información existente en el tramo del Río Seco comprendido entre el cuartel Tarapacá y el puente Arunta. Los estudios previos presentan limitaciones metodológicas y enfoques predominantemente ambientales o de carácter macroestructural, centrados en la ciudad de Tacna. Asimismo, se evidencia una escasa incorporación de herramientas tecnológicas actuales, como la fotogrametría mediante drones, la asignación de coeficientes de rugosidad diferenciados para el cauce y las áreas aledañas, el modelamiento hidráulico bidimensional (2D), el mapeo detallado de tirantes y velocidades de flujo, así como la evaluación cuantitativa del riesgo con enfoque socioeconómico. En consecuencia, este estudio integra dichas variables técnicas y proporciona una base teórica más completa para la gestión del riesgo de desastres en la región.

Justificación práctica

Desde el punto de vista práctico, la investigación adquiere relevancia por su contribución a la reducción de los impactos que las inundaciones pueden ocasionar sobre la población y la infraestructura asentada en las márgenes del Río Seco. Mediante el modelamiento hidráulico y la evaluación cuantitativa del riesgo, será posible identificar escenarios potenciales de desborde y generar información técnica para la toma de decisiones preventivas. Asimismo, la delimitación de la faja marginal y la identificación de manzanas críticas constituirán herramientas fundamentales para fortalecer la resiliencia de la comunidad frente a eventos hidrológicos extremos.

Justificación económica

Desde la perspectiva económica, el estudio se sustenta en la necesidad de disminuir los elevados costos asociados a la reconstrucción de infraestructura y a la asistencia humanitaria derivadas de eventos de inundación. La delimitación de la faja marginal y la identificación de las áreas expuestas al riesgo contribuirán a proteger el patrimonio de las familias, especialmente de aquellas con menores recursos económicos, además de evitar la depreciación de los predios urbanos. Del mismo modo, la información generada permitirá optimizar la inversión pública destinada a obras de protección y defensa ribereña, favoreciendo una asignación más eficiente de los recursos estatales.

Justificación social

Desde una perspectiva social, la investigación busca contribuir a la protección de la población asentada en las márgenes del Río Seco, caracterizada por presentar condiciones de vulnerabilidad socioeconómica. La identificación de las manzanas críticas y la delimitación de la faja marginal permitirán fortalecer las capacidades de prevención y respuesta de la

comunidad frente a posibles inundaciones. Además, el estudio promoverá una cultura de prevención orientada a reducir la exposición al riesgo y mejorar las condiciones de seguridad y bienestar de la población.

Justificación legal

Desde el punto de vista legal, la investigación se fundamenta en el cumplimiento de la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos (2009), y su reglamento, los cuales establecen la obligatoriedad de delimitar las fajas marginales como bienes de dominio público hidráulico, inalienables e imprescriptibles. Asimismo, el estudio proporcionará el sustento técnico necesario para que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y los gobiernos locales ejerzan sus funciones de control y fiscalización sobre el uso del suelo en zonas expuestas al riesgo.

De igual manera, la investigación se encuentra alineada con la Ley N.º 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) (2011), la cual establece la responsabilidad del Estado en la prevención y reducción del riesgo de desastres, así como en la protección de la vida, la integridad y el patrimonio de la población frente a la ocurrencia de fenómenos naturales.

6.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

6.1.1 *Objetivo General*

- Delimitar la faja marginal y determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial del Río Seco, mediante modelamiento hidráulico y análisis de peligro y vulnerabilidad, con fines de protección del cauce y prevención de desastres.

6.1.2 *Objetivos específicos*

- Modelar y determinar los parámetros hidráulicos del Rio Seco ante diferentes periodos de retorno.
- Proponer la delimitación del ancho de faja marginal del Rio Seco tomando como base los criterios normativos.
- Identificar y determinar los niveles de peligro para elaborar el mapa de peligro
- Analizar y determinar los niveles de vulnerabilidad para elaborar el mapa de vulnerabilidad.
- Determinar los niveles de riesgo para elaborar el mapa de riesgo.
- Recomendar medidas de prevención de desastre técnicamente factibles.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

7.1 ANTECEDENTES

7.1.1 Internacionales

En el ámbito internacional, se identificaron los siguientes antecedentes de investigación relacionados con el modelamiento hidráulico y la evaluación del riesgo de inundaciones:

Desalegn y Mulu (2021) abordaron la vulnerabilidad a las inundaciones como una problemática agravada por el crecimiento poblacional y el cambio climático. La investigación tuvo como objetivo identificar las áreas expuestas al riesgo de inundación a lo largo del río Fetam, ubicado en la cuenca de la Alta Abbay, en Etiopía, mediante el uso de los softwares GIS y HEC-RAS. El estudio analizó la extensión de las inundaciones para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años), determinando que las áreas urbanas y agrícolas situadas en las márgenes del río eran especialmente vulnerables. Los resultados evidenciaron que las zonas más afectadas se localizaban en los sectores alto y medio del cauce, con una superficie inundable que osciló entre 13.78 km² para un periodo de retorno de 5 años y 27.31 km² para uno de 100 años.

Por su parte, Al-Hussein et al. (2022) desarrollaron un estudio orientado al análisis y modelamiento del riesgo de inundación en el río Khazir, ubicado en el norte de Irak, mediante la integración de HEC-RAS y la extensión HEC-GeoRAS en ArcGIS. La investigación se sustentó en registros de inundaciones ocurridas en los años 2013 y 2018, utilizando un modelo digital de elevación (DEM) y datos de descarga del río. Los resultados mostraron que las áreas clasificadas con riesgo bajo y muy bajo representaron el 80.31 %, mientras que las zonas de riesgo medio alcanzaron el 16.03 % y aquellas con riesgo alto y muy alto correspondieron al

3.80 %. Finalmente, el análisis determinó que las aldeas ubicadas cerca de la desembocadura del río fueron las más afectadas y confirmó una alta correlación entre los modelos HEC-HMS y HEC-RAS para la evaluación y predicción de inundaciones.

Khan et al. (2025) realizaron un estudio cuyo objetivo fue desarrollar una evaluación integral del riesgo de inundación mediante la integración de los componentes de peligro, vulnerabilidad y exposición ante el incremento de la severidad de las inundaciones en la cuenca del río Swat, Pakistán. La metodología empleada consideró 22 indicadores ambientales y socioeconómicos, los cuales fueron procesados mediante sistemas de información geográfica (SIG) y ponderados utilizando el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). A través de la integración de capas temáticas y la aplicación de una ecuación de riesgo, se determinó que el 31 % del territorio presentaba un nivel de riesgo alto, mientras que el 27 % correspondía a un nivel de riesgo moderado. Los resultados fueron validados mediante el análisis del área bajo la curva (AUC), obteniéndose un valor de 0.92, lo que confirmó la alta fiabilidad del modelo propuesto. Finalmente, el estudio concluyó que la metodología desarrollada constituye una herramienta técnica eficaz para apoyar la toma de decisiones, permitiendo a las autoridades priorizar recursos y ejecutar estrategias de mitigación en las zonas con mayor nivel de riesgo.

Rodríguez (2020) realizó un estudio orientado a cartografiar el peligro de inundación en la ciudad de Cali, Colombia, mediante la aplicación de un modelo de evaluación multicriterio. Para ello, integró siete variables determinantes a través de una combinación lineal ponderada, procesando la información espacial mediante sistemas de información geográfica (SIG). Los resultados evidenciaron que, del total del área inundable, el 6 % presentó un nivel de amenaza alto, el 22 % un nivel medio y el 72 % un nivel bajo. Asimismo, se identificaron 37 barrios críticos, ubicados principalmente en el sector oriental de la ciudad, donde la vulnerabilidad estuvo condicionada por factores como la profundidad del agua, la pendiente

del terreno y la proximidad a drenajes y cursos fluviales. Finalmente, el estudio concluyó que la zonificación del peligro constituye una herramienta técnica fundamental para la comprensión del riesgo y la adecuada planificación del crecimiento urbano.

Por su parte, Ata et al. (2023) desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue modelar el peligro de inundación en la cuenca de Junjung, ubicada en Penang, Malasia. En una primera etapa, emplearon el software HEC-HMS para determinar las condiciones hidrológicas de la cuenca, calculando la intensidad de las precipitaciones correspondientes a periodos de retorno de 50 y 100 años. Posteriormente, la información obtenida fue incorporada al software HEC-RAS para desarrollar los modelos hidráulicos y estimar los escenarios de inundación. Los resultados demostraron que el evento asociado al periodo de retorno de 100 años generó inundaciones de mayor magnitud y severidad que el escenario de 50 años, debido a la mayor intensidad de las precipitaciones. En consecuencia, el estudio evidenció la alta susceptibilidad de la cuenca frente a eventos hidrometeorológicos extremos y concluyó que la elaboración de mapas confiables de peligro de inundación constituye una herramienta indispensable para la planificación y mitigación de futuros desastres.

7.1.2 Nacionales

En el ámbito nacional, los antecedentes de investigación seleccionados fueron los siguientes:

Orellana Cabello (2021) realizó una investigación en el río Piura, una de las cuencas más afectadas por el fenómeno El Niño. El estudio tuvo como objetivo determinar los hidrogramas de diseño y las áreas susceptibles a inundación en la ciudad de Piura. Para ello, se empleó el software HEC-HMS con la finalidad de obtener los hidrogramas de crecida y los caudales máximos instantáneos a partir de registros de precipitación. Posteriormente, los

caudales de diseño obtenidos fueron incorporados al software HEC-RAS para simular los escenarios de inundación en la zona de estudio. Los resultados permitieron delimitar las áreas inundables y formular medidas orientadas a mitigar los efectos de los desbordes del río.

Por su parte, Chanco Chávez (2023) desarrolló una investigación cuyo objetivo fue delimitar las fajas marginales en un tramo del río Mantaro, ubicado en la región Junín, como medida preventiva frente a los efectos de eventos hidrológicos extremos. El estudio aplicó una metodología no experimental de nivel descriptivo-explicativo que comprendió el levantamiento topográfico, el cálculo de caudales máximos para periodos de retorno de 50 y 100 años y el modelamiento hidráulico del cauce. Los resultados demostraron que el ancho de la faja marginal se encuentra directamente condicionado por la morfología del río y sus parámetros hidráulicos. Asimismo, se determinó que, en tramos rectos, el ancho de la faja es inversamente proporcional a la pendiente del cauce, mientras que, en tramos curvos, es directamente proporcional al radio de curvatura, siendo las márgenes convexas más propensas a la inundación que las cóncavas. Con base en el análisis del comportamiento hidráulico del río, la propuesta final estableció anchos variables medidos desde el límite de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 100 años: 25 m por margen en tramos rectos, 30 m en la margen convexa y 25 m en la margen cóncava de los tramos curvos.

Malpartida Alania (2025) realizó una investigación cuyo objetivo fue delimitar la faja marginal del río Jancao, ubicado en el distrito de Amarilis, Huánuco, mediante el análisis de las características topográficas, hidrológicas e hidráulicas del cauce. El estudio se desarrolló en un tramo de 2.56 km, caracterizado por una pendiente promedio de 24.32 % y un ancho medio de 20 m. En la fase hidrológica, se calcularon los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno. Para un periodo de retorno de 100 años, se obtuvieron caudales de 102.70

m³/s mediante el método del Número de Curva y de 88.89 m³/s mediante el método racional. Posteriormente, estos valores fueron utilizados en el análisis hidráulico para determinar la extensión de las áreas inundables. Los resultados mostraron que la mayor superficie de inundación se concentró en el tramo final del cauce (1+820 a 2+500), con una extensión de 0.68 ha, mientras que el tramo intermedio (0+880 a 1+820) presentó la menor área inundable, con 0.39 ha. Finalmente, el estudio concluyó que los resultados obtenidos constituyen una base técnica para la gestión territorial y la planificación de medidas de mitigación frente al riesgo de inundación.

Por su parte, Cubas Pérez y Guevara Torres (2025) desarrollaron una investigación orientada a determinar la influencia del peligro y la vulnerabilidad en el riesgo de inundación fluvial de las viviendas ubicadas en las proximidades del río Catis, en la zona urbana de San Andrés, Cajamarca. Bajo un enfoque deductivo y de alcance correlacional, aplicaron la metodología establecida en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales del CENEPRED (versión 02). La evaluación consideró los elementos expuestos mediante listas de cotejo para el análisis de las condiciones físicas, incluyendo factores geológicos y de pendiente, así como cuestionarios dirigidos a determinar la vulnerabilidad económica y social de las familias. Los resultados evidenciaron que 46 viviendas se encontraban expuestas a un nivel de riesgo alto frente a avenidas torrenciales, motivo por el cual se propusieron medidas de control prioritarias. Entre las principales recomendaciones destacaron acciones estructurales, como la descolmatación del cauce, y medidas no estructurales, tales como la delimitación de fajas marginales y la ejecución de simulacros de prevención.

Araujo Neyra (2024) realizó una investigación cuyo objetivo fue determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial en el centro poblado San Juan de la Virgen, ubicado en la región Tumbes. La metodología integró el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) mediante matrices de Saaty para la ponderación de las variables de peligro y vulnerabilidad. Asimismo, se emplearon encuestas técnicas basadas en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales del CENEPRED (versión 3, 2019), complementadas con información oficial proveniente del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) y del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

El estudio comprendió un total de 53 manzanas y una población de 1555 habitantes. Para garantizar la consistencia de los resultados, se aplicaron procedimientos de normalización por pares y análisis de consistencia en la asignación de pesos a las variables evaluadas. Los resultados evidenciaron niveles de peligro y vulnerabilidad clasificados como muy altos, lo que permitió identificar sectores con riesgo muy alto, cuyos valores oscilaron entre 0.062 y 0.184. Finalmente, el estudio concluyó que la metodología empleada permitió categorizar el riesgo de manera detallada, desde niveles bajos hasta muy altos, proporcionando un diagnóstico espacial preciso para la gestión del riesgo de desastres en la localidad.

7.1.3 Locales

Cuya Quispe y Ponce Chuquimia (2021) realizaron una investigación cuyo objetivo fue desarrollar el diseño hidráulico y estructural de una defensa ribereña en el sector Valle 2000 del Río Seco, en la región Tacna, con la finalidad de reducir los daños ocasionados por posibles inundaciones. La metodología comprendió estudios hidrometeorológicos, hidrológicos, geotécnicos y levantamientos topográficos, cuyos datos fueron procesados mediante los softwares HEC-HMS 4.9, HEC-RAS 6.0 y ArcGIS.

Los resultados determinaron que la alternativa técnica más eficiente correspondió a la implementación de muros de gaviones tipo caja como estructura de protección ribereña. El diseño propuesto consideró estructuras con una altura de 5 m y un ancho de 4 m, construidas con malla hexagonal de doble torsión y un ángulo de fricción de 37.37° . Finalmente, el estudio concluyó que la ejecución de esta infraestructura contribuiría a la protección de las vías de acceso y de las actividades agropecuarias del sector, reduciendo los impactos económicos ocasionados por los desbordes del Río Seco.

Frisancho Camero (2015) realizó una investigación cuyo objetivo fue analizar la vulnerabilidad existente en el cauce del Río Seco, en la región Tacna. El estudio se centró en evaluar la interacción entre la población, la infraestructura urbana y las características geohidrológicas del área de influencia. Mediante la aplicación de modelos probabilísticos y análisis de frecuencias, se estimaron los caudales máximos correspondientes a diferentes periodos de retorno, identificándose una alta variabilidad interanual y la ocurrencia de avenidas críticas durante la temporada de lluvias comprendida entre diciembre y marzo. Asimismo, la metodología incorporó un modelamiento hidrodinámico en el tramo ubicado entre el cuartel Tarapacá y el puente Arunta. Los resultados permitieron identificar las zonas urbanas con mayor vulnerabilidad frente a posibles desbordes y establecer criterios técnicos para la delimitación de la faja marginal del río.

Por su parte, Santos Mamani y Coaquira Ticona (2020) desarrollaron una investigación cuyo objetivo principal fue elaborar un modelo hidráulico y delimitar la faja marginal del río Caplina en el sector Río Seco, Tacna. El estudio consideró las cuencas Caplina y Uchusuma, las cuales confluyen en el área de estudio. Para ello, emplearon los programas HidroEsta 2, ArcGIS, HEC-HMS y HEC-RAS. En una primera etapa, utilizaron HEC-HMS para el

modelamiento hidrológico y la estimación de los caudales máximos de diseño; posteriormente, aplicaron HEC-RAS para el modelamiento hidráulico y la determinación de las zonas susceptibles a inundación. El análisis se desarrolló considerando un periodo de retorno de 100 años, en concordancia con el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016). Como resultado, se estableció una propuesta de delimitación orientada a proteger la vida humana, las áreas vulnerables y el funcionamiento natural del cauce, contribuyendo a una gestión más segura del territorio frente al riesgo de inundaciones.

Apaza Legua (2023) realizó una investigación cuyo objetivo fue analizar la susceptibilidad ambiental ante inundaciones en el sector Río Seco, Tacna, siguiendo los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. El estudio se desarrolló en cuatro etapas: recopilación de antecedentes, levantamiento de información socioeconómica en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, evaluación de la vulnerabilidad ambiental mediante encuestas aplicadas en los sectores Los Sauces II, Villa Sausal y avenida Rinconada III, y procesamiento de la información mediante matrices de vulnerabilidad apoyadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados calificaron el peligro de inundación como Muy Alto. Asimismo, se identificaron niveles de riesgo entre Alto y Muy Alto en los sectores Los Sauces II y Rinconada III, mientras que Villa Sausal presentó un nivel de riesgo Alto. Finalmente, el estudio concluyó que la escasa conciencia ambiental de la población constituye un factor agravante, debido a la disposición inadecuada de residuos sólidos en el cauce, lo que obstruye el flujo hidráulico e incrementa la probabilidad de desbordes durante las temporadas de avenidas.

Por su parte, la Municipalidad Provincial de Tacna (MPT, 2001) elaboró un documento técnico cuyo objetivo principal fue establecer directrices para el crecimiento ordenado y

sostenible de la ciudad de Tacna, incorporando la gestión del riesgo de desastres dentro de la planificación territorial. La metodología consistió en un diagnóstico integral que evaluó variables demográficas, socioeconómicas y físicas, con especial énfasis en la zonificación de peligros naturales, tales como sismos e inundaciones, así como en la capacidad de soporte de los suelos. Para el procesamiento de la información se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permitieron delimitar áreas de expansión urbana, zonas de protección y sectores con restricciones por riesgo. Los resultados definieron un modelo de desarrollo urbano orientado a consolidar las áreas urbanizadas existentes y establecer reservas territoriales para el crecimiento futuro, identificando al distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa como uno de los principales ejes de expansión urbana. Finalmente, el documento propuso una cartera de proyectos de inversión pública destinada a fortalecer el desarrollo urbano sostenible y la reducción de riesgos en la ciudad.

7.2 BASES TEÓRICAS

7.2.1 Inundación

Las inundaciones se definen como el desbordamiento de agua hacia terrenos usualmente secos, fenómeno que ocurre con frecuencia cuando el caudal de un río supera la capacidad de su cauce. Estos eventos representan peligros naturales catastróficos que impactan severamente a la sociedad, provocando cuantiosas pérdidas económicas y de vidas humanas al afectar propiedades asentadas en las llanuras aluviales. Ante este escenario, el mapeo de las zonas susceptibles se consolida como una estrategia preventiva esencial para la gestión de riesgos y la implementación de medidas de mitigación efectivas (Afzal et al., 2022; Kwak et al., 2025; Nagarajan et al., 2022).

7.2.1.1 Tipos de inundaciones

Las inundaciones pueden ser clasificadas según su duración o según su origen de la siguiente manera:

Por su duración:

7.2.1.1.1 Inundaciones dinámicas o rápidas

Las inundaciones repentinas se producen en zonas con pendientes pronunciadas y se originan por lluvias intensas que generan crecidas súbitas de corta duración. Este fenómeno resulta particularmente peligroso debido a que la elevada velocidad del flujo reduce significativamente el tiempo disponible para la alerta y la evacuación de la población, lo que puede ocasionar graves daños a las personas, la infraestructura y las actividades económicas locales (CENEPRED, 2014).

7.2.1.1.2 Inundaciones estáticas o lentas

Las inundaciones estáticas o lentas se producen de manera gradual en zonas de baja pendiente o terrenos llanos como consecuencia de precipitaciones persistentes y generalizadas. El incremento progresivo del caudal supera la capacidad de conducción del cauce, ocasionando el desborde del agua hacia las áreas adyacentes, conocidas como llanuras de inundación. A diferencia de las inundaciones repentinas, este tipo de evento proporciona un mayor tiempo de respuesta para la observación, alerta y evacuación de la población antes de que el río exceda sus límites naturales (CENEPRED, 2014).

7.2.1.1.3 Inundaciones pluviales

Según su origen, las inundaciones pluviales se producen por la acumulación o estancamiento de agua de lluvia en una determinada área, sin que necesariamente ocurra el desborde de un río o quebrada. Este fenómeno se origina cuando grandes volúmenes de precipitación se concentran en cortos periodos de tiempo o cuando lluvias de intensidad moderada persisten

durante varios días sobre terrenos con baja capacidad de infiltración. En consecuencia, la intensidad de la precipitación supera la capacidad de absorción del suelo, provocando la saturación del terreno y la formación de extensas áreas inundadas (CENEPRED, 2014).

7.2.1.1.4 Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales se producen cuando el caudal de un río aumenta significativamente como consecuencia de precipitaciones intensas o prolongadas, superando la capacidad de conducción de su cauce. Durante este proceso, conocido como crecida, el suelo alcanza niveles elevados de saturación y su capacidad de infiltración resulta insuficiente para absorber el exceso de agua. Como consecuencia, el río desborda sus márgenes naturales e invade los terrenos adyacentes, afectando principalmente las zonas de baja pendiente y las llanuras de inundación (CENEPRED, 2014).

7.2.2 Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico constituye una herramienta de análisis que permite representar matemáticamente el comportamiento del flujo de agua en cauces naturales y estructuras hidráulicas. Para ello, emplea ecuaciones y métodos numéricos que simulan los fenómenos físicos asociados al movimiento del agua, facilitando la estimación de variables hidráulicas como la profundidad, velocidad y extensión de las inundaciones (Calero Almeida, 2012).

7.2.2.1 Historia

La evolución de la modelación numérica ha sido descrita tradicionalmente mediante generaciones de modelos, las cuales reflejan los avances tecnológicos y metodológicos alcanzados en diferentes periodos de tiempo (Abbott, 1991; Cunge, 1989).

La primera generación surgió durante la década de 1950 y se caracterizó por el uso de las primeras computadoras y calculadoras programables para resolver ecuaciones matemáticas

básicas. En esta etapa, el principal objetivo consistió en automatizar cálculos manuales complejos y repetitivos, permitiendo una resolución más rápida de problemas hidráulicos relativamente simples (Cunge, 1989).

La segunda generación, desarrollada durante la década de 1960, se distinguió por la creación de modelos numéricos diseñados específicamente para proyectos particulares. Un referente importante de esta etapa fue el modelo del delta del río Mekong, desarrollado en 1975, el cual demostró la capacidad de la computación para representar sistemas hidrológicos complejos antes de la aparición de programas estandarizados (Cunge, 1989).

La tercera generación predominó hasta mediados de la década de 1980 e introdujo esquemas numéricos modulares capaces de adaptarse a diferentes ríos y áreas de estudio. Aunque esta evolución incrementó la eficiencia de los procesos de simulación y facilitó la adopción de herramientas computacionales por parte de consultoras especializadas, la complejidad de los modelos exigía que los usuarios poseyeran amplios conocimientos de programación para interpretar adecuadamente los códigos y resultados obtenidos (Abbott, 1991).

La cuarta generación surgió con la expansión de las computadoras personales, permitiendo el desarrollo de paquetes informáticos dotados de interfaces gráficas más intuitivas. Esta etapa contribuyó a la masificación del modelamiento hidráulico, ya que facilitó el uso de software especializado por parte de ingenieros sin formación específica en programación. No obstante, continuó siendo indispensable el criterio técnico para la interpretación y validación de los resultados generados por los modelos (Cunge, 1989).

La quinta generación fue definida por Abbott (1991) como la era de la hidroinformática. Durante esta etapa, los modelos hidráulicos comenzaron a integrarse con modelos hidrológicos y meteorológicos, incorporando además herramientas como los Sistemas de Información

Geográfica (SIG) y los sensores remotos. Esta integración permitió transformar los modelos en sistemas de apoyo para la toma de decisiones (Decision Support Systems, DSS), facilitando la comunicación y comprensión de resultados complejos por parte de los usuarios y responsables de la gestión territorial.

La sexta generación se encuentra asociada al desarrollo de tecnologías basadas en inteligencia artificial, aprendizaje automático (Machine Learning), Internet de las Cosas (IoT), Big Data y gemelos digitales. Es importante señalar que esta etapa no forma parte de la clasificación original propuesta por Abbott (1991) y Cunge (1989), sino que constituye una extensión conceptual derivada de los avances tecnológicos recientes. Su principal característica radica en la capacidad de actualizar modelos en tiempo real, permitiendo generar predicciones más rápidas y precisas que las obtenidas mediante los métodos numéricos tradicionales (Jonoski, 2022).

En el contexto de esta evolución tecnológica, la presente investigación utilizó el software HEC-RAS, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers (USACE). Aunque sus antecedentes se remontan al programa HEC-2, desarrollado en 1968, su evolución ha permitido alcanzar versiones avanzadas como HEC-RAS 6.6, consolidándose como una de las herramientas más utilizadas en ingeniería hidráulica y fluvial.

La versión empleada permite realizar simulaciones de flujo permanente y no permanente en una dimensión (1D), dos dimensiones (2D) y modelos combinados. Para los cálculos bidimensionales, el software resuelve las ecuaciones de Saint-Venant o de onda difusa. Asimismo, dependiendo del tipo de discretización espacial utilizada, emplea el método de diferencias finitas en mallas estructuradas y el método de volúmenes finitos en mallas no

estructuradas, permitiendo representar con mayor precisión el comportamiento hidráulico de los cauces naturales y las zonas inundables.

7.2.2.2 Modelos unidimensionales y bidimensionales

El modelamiento hidráulico unidimensional (1D) y bidimensional (2D) en HEC-RAS se refiere al número de dimensiones espaciales consideradas para representar el movimiento y comportamiento del agua. La selección de un modelo 1D, 2D o combinado (1D/2D) depende de la complejidad del sistema hidráulico analizado y del nivel de detalle requerido en el área de estudio (Modelado Hidráulico 1D vs. 2D, 2025).

- **Modelado Unidimensional (1D):**

Representa el flujo únicamente en la dirección longitudinal del cauce. En este enfoque, el perfil de la superficie libre del agua se calcula a lo largo del eje principal del río o canal mediante secciones transversales. Para el análisis de flujo permanente, el modelo emplea la ecuación de conservación de la energía, mientras que para el flujo no permanente utiliza las ecuaciones unidimensionales de Saint-Venant. Este tipo de modelamiento es ampliamente utilizado en ríos y canales bien definidos, especialmente cuando la dirección predominante del flujo se desarrolla en un único sentido y las llanuras de inundación son relativamente estrechas (Modelado Hidráulico 1D vs. 2D, 2025).

- **Modelado Bidimensional (2D):**

Representa el flujo en dos direcciones dentro del plano horizontal. Para ello, el dominio de cálculo se divide en una malla de celdas, permitiendo que el software determine la profundidad y velocidad del agua en cada una de ellas. De esta manera, es posible simular el desplazamiento del flujo en múltiples direcciones y reproducir con mayor

precisión fenómenos complejos de inundación. El flujo no permanente se resuelve mediante las ecuaciones bidimensionales de Saint-Venant, también conocidas como ecuaciones de aguas someras o aguas poco profundas. Este enfoque resulta especialmente adecuado para el análisis de extensas llanuras de inundación, deltas, estuarios y áreas urbanas donde el agua presenta trayectorias complejas y multidireccionales (Modelado Hidráulico 1D vs. 2D, 2025).

Según Arash y Yasi (2022), la selección entre modelos de inundación 1D y 2D debe fundamentarse principalmente en las características morfológicas del río. Debido a la menor complejidad computacional de los modelos unidimensionales, estos resultan adecuados para ríos rectos o serpenteantes ubicados en zonas montañosas. En contraste, los modelos bidimensionales son más apropiados para ríos meándricos desarrollados sobre llanuras aluviales, donde el flujo puede expandirse lateralmente. Asimismo, los autores señalaron que, en el caso de ríos anchos y trenzados, las ventajas del modelamiento 2D sobre el 1D son relativamente limitadas en comparación con otros tipos de cauces.

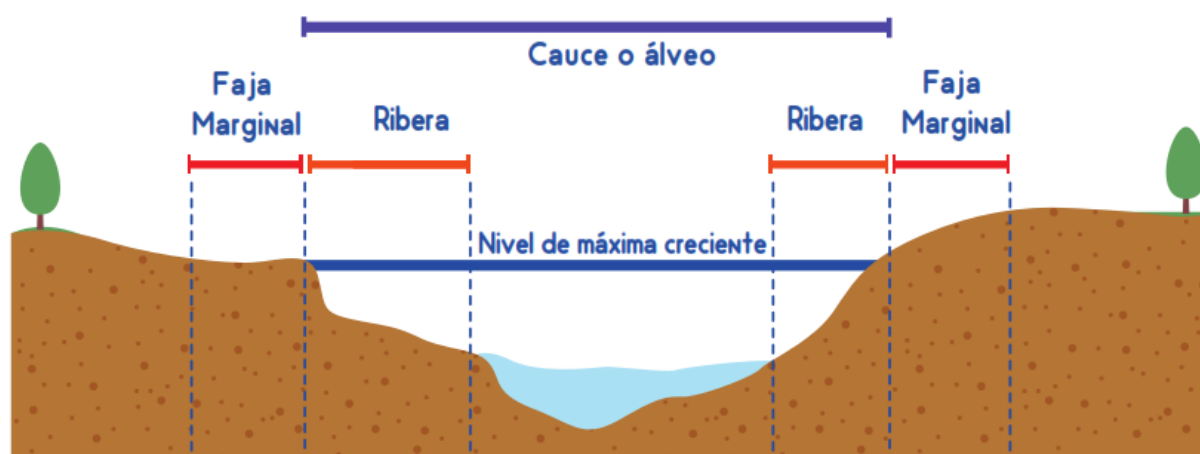
En la presente investigación se emplearon modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales debido a los objetivos específicos planteados. El modelamiento 1D fue utilizado para determinar con precisión los parámetros hidráulicos, las secciones transversales y el perfil longitudinal del cauce requeridos para la delimitación de la faja marginal, de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en la normativa vigente. Por su parte, el modelamiento 2D permitió simular detalladamente la propagación superficial del flujo e identificar con mayor precisión las áreas potencialmente inundables y las zonas de riesgo. Esta integración metodológica facilitó una representación más completa del comportamiento hidráulico del Río Seco, superando las limitaciones que tendría un análisis exclusivamente unidimensional en sectores con topografía compleja o extensas planicies de inundación.

7.2.3 La faja marginal

Constituye el espacio contiguo al límite superior de las riberas de los cuerpos de agua naturales o artificiales. Esta zona está destinada a la protección del recurso hídrico, al uso primario del agua, al libre tránsito, a las actividades de vigilancia, pesca y a otros servicios vinculados con la gestión y conservación de los cauces. Su delimitación se establece considerando criterios técnicos definidos por la normativa vigente y excluyendo los niveles alcanzados por eventos hidrológicos extraordinarios (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2017).

Figura 1

Sección transversal típico de un curso de agua y delimitación de la faja marginal



Nota. Adaptado de *Delimitación de Fajas Marginales: Cartilla Informativa*, por Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2017.

7.2.3.1 Características

Las fajas marginales constituyen bienes de dominio público hidráulico y, por tanto, forman parte del patrimonio del Estado. En consecuencia, poseen la condición jurídica de inalienables e imprescriptibles, lo que implica que no pueden ser objeto de transferencia de propiedad ni adquirirse mediante posesión prolongada en el tiempo (Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, 2016).

Asimismo, el ancho de las fajas marginales es determinado por la Autoridad Administrativa del Agua con base en los criterios técnicos y normativos establecidos en la legislación vigente. Dicho proceso de delimitación debe realizarse respetando los derechos de uso y las prácticas tradicionales preexistentes en ambos márgenes del cauce (Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, 2016).

7.2.3.2 Criterios para la determinación de la faja marginal

La determinación de los límites de la faja marginal requiere la evaluación de diversos criterios técnicos establecidos por la normativa vigente. Entre los principales se consideran la importancia de las estructuras hidráulicas existentes, el espacio necesario para las actividades de conservación y protección de los cauces y defensas ribereñas, los requerimientos de uso público y el análisis de las máximas avenidas naturales del río, excluyendo aquellas originadas por eventos extraordinarios (Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, 2016).

7.2.3.3 Prohibiciones dentro de la faja marginal

La normativa vigente prohíbe el uso de las fajas marginales para el establecimiento de viviendas, el desarrollo de actividades agrícolas y cualquier otra intervención que afecte su integridad física o funcional. Asimismo, se encuentra prohibida la disposición de desmontes, residuos sólidos y otros materiales que puedan alterar las condiciones naturales del cauce o incrementar los riesgos asociados a eventos hidrológicos. En los casos donde existan asentamientos humanos ubicados dentro de estas áreas, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con los gobiernos locales y los organismos competentes de gestión del riesgo de desastres, debe promover acciones orientadas a la reubicación de la población con la finalidad de salvaguardar su seguridad. No obstante, la normativa permite que la Autoridad Administrativa del Agua autorice determinadas intervenciones técnicas, tales como la construcción de defensas ribereñas y el aprovechamiento de materiales de acarreo presentes en la faja marginal, siempre que estas actividades estén destinadas a la protección, conservación y seguridad del cauce (Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, 2016).

7.2.3.4 Aprobación de ancho de faja marginal

De acuerdo con el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016), la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) es la entidad competente para aprobar y oficializar el ancho de las fajas marginales mediante la emisión de la correspondiente resolución administrativa. Este procedimiento puede iniciarse de oficio por la propia autoridad o a solicitud de parte interesada, conforme a las disposiciones establecidas en la normativa vigente.

Figura 2

Proceso de aprobación y monumentación de faja marginal



Nota. Tomado de *Delimitación de fajas marginales: Cartilla informativa*, por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2017.

7.2.4 Evaluación de riesgo

El riesgo se define como el resultado de la interacción entre un peligro o amenaza y el nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos. Esta relación permite estimar las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que podrían generarse en un territorio determinado. En consecuencia, cualquier variación en la intensidad del peligro o en las condiciones de vulnerabilidad modifica directamente el nivel de riesgo, influyendo en la magnitud de los daños y pérdidas potenciales (Carreño et al., 2005).

7.2.4.1 Conocimiento del peligro

El conocimiento del peligro comprende el conjunto de acciones orientadas a identificar, analizar y caracterizar los fenómenos potencialmente dañinos de origen natural o inducidos por la acción humana dentro de un ámbito geográfico determinado. Esta etapa incluye la localización, evaluación y monitoreo de los fenómenos peligrosos, constituyendo un componente fundamental para la estimación del riesgo de desastres. Asimismo, permite clasificar los peligros según su origen en dos grandes categorías: los generados por fenómenos

naturales, tales como los procesos de geodinámica interna, geodinámica externa e hidrometeorológicos; y los inducidos por la actividad humana, entre los que destacan los peligros de origen químico, físico y biológico. Esta clasificación facilita la comprensión de los escenarios de riesgo y contribuye a una adecuada toma de decisiones para la gestión del territorio y la reducción del riesgo de desastres (Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres, 2025).

7.2.4.2 Análisis de vulnerabilidad

Consiste en la evaluación de las condiciones que determinan el grado de susceptibilidad de la población, la infraestructura y los medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Este proceso considera tres factores fundamentales: la exposición, la fragilidad y la resiliencia. La exposición se refiere a la cantidad y características de los elementos ubicados dentro del área potencialmente afectada por la amenaza. La fragilidad corresponde al nivel de debilidad o desventaja que presentan dichos elementos frente a los efectos del peligro. Por su parte, la resiliencia representa la capacidad de la población y de los sistemas expuestos para resistir, adaptarse, recuperarse y aprender de los impactos ocasionados por eventos adversos, fortaleciendo así sus capacidades de respuesta y protección ante futuras situaciones de riesgo (Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres, 2025).

7.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Cauce o Álveo:

Cavidad natural que contiene y conduce el flujo de agua durante los periodos de máxima creciente de una fuente hídrica (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Cauce inactivo:

Espacio por el que anteriormente circulaba el agua y que actualmente permanece seco debido a modificaciones en el curso natural del cauce (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Riberas:

Franja comprendida entre el nivel mínimo del agua y el nivel de máxima creciente ordinaria. Para su delimitación no se consideran las máximas crecidas ocasionadas por eventos extraordinarios. Constituyen bienes de dominio público hidráulico (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Nivel mínimo de las aguas:

Cota o elevación del espejo de agua determinada a partir del análisis de los registros históricos correspondientes a los periodos de estiaje más bajos disponibles. Su determinación permite establecer una referencia sobre el comportamiento mínimo del flujo en una unidad hidrográfica (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Nivel de máxima creciente o creciente ordinarias:

Altura alcanzada por el agua durante las crecidas regulares de un río o lago en una sección determinada. Este nivel se estima mediante métodos hidrológicos directos o indirectos y excluye los incrementos ocasionados por eventos extraordinarios o desastres naturales (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Nivel de máximas extraordinarias:

Cota máxima que puede alcanzar el agua durante la ocurrencia de avenidas excepcionales. Su determinación considera la importancia de la zona y los posibles daños materiales, económicos y humanos que podrían producirse ante un eventual desborde (Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, 2009).

Proceso de análisis Jerárquico (PAJ):

Método multicriterio utilizado para la toma de decisiones mediante la comparación y ponderación de diversos factores o criterios. Su aplicación permite determinar la importancia relativa de las variables evaluadas y establecer prioridades dentro del área de estudio (CENEPRED, 2014).

Ponderación:

Valor relativo asignado a cada criterio o variable dentro de un proceso de evaluación. Su finalidad es establecer la importancia de cada componente respecto del conjunto analizado, permitiendo obtener resultados acordes con las prioridades definidas en el estudio (CENEPRED, 2014).

Nivel de peligrosidad:

Escala utilizada para clasificar la intensidad o magnitud de un peligro, permitiendo categorizarlo en niveles que generalmente varían desde bajo hasta muy alto (CENEPRED, 2014).

Parámetros de evaluación:

Conjunto de indicadores empleados para analizar y calificar las características o efectos de un fenómeno natural. Su selección y cantidad dependen del nivel de detalle requerido en la investigación (CENEPRED, 2014).

Factor desencadenante:

Evento o causa inmediata que origina la ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso. Por ejemplo, las precipitaciones intensas pueden desencadenar inundaciones, mientras que los movimientos sísmicos submarinos pueden generar tsunamis (CENEPRED, 2014).

Factores condicionantes:

Condiciones físicas, ambientales o territoriales que influyen en la ocurrencia, desarrollo y magnitud de los fenómenos naturales, determinando su comportamiento y efectos sobre un área específica (CENEPRED, 2014).

Vulnerabilidad:

Conjunto de condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales que incrementan la susceptibilidad de las personas, comunidades, bienes o sistemas a sufrir daños ante la ocurrencia de un peligro (ONU, 2016).

Riesgo:

Probabilidad de que se produzcan daños o pérdidas en la población, la infraestructura, las actividades económicas o el ambiente como consecuencia de la interacción entre un peligro y las condiciones de vulnerabilidad existentes (CENEPRED, 2014).

Desastre natural:

Alteración grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad ocasionada por la manifestación de un peligro sobre elementos vulnerables, generando pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que exceden la capacidad de respuesta de la población afectada (CENEPRED, 2014).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

7.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo aplicada, debido a que utiliza conocimientos teóricos, metodologías especializadas y herramientas informáticas para resolver un problema concreto relacionado con la delimitación de la faja marginal y la evaluación del riesgo por inundación fluvial en el tramo del Río Seco comprendido entre el Cuartel Tarapacá y el Puente Arunta.

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada se orienta al empleo de conocimientos científicos y tecnológicos para la solución de problemas específicos de la realidad, generando resultados que pueden ser utilizados de manera práctica en distintos contextos. En este sentido, el estudio busca proporcionar información técnica que contribuya a la gestión del riesgo de desastres, el ordenamiento territorial y la protección de la población expuesta a inundaciones.

7.5 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de nivel descriptivo-explicativo. Es descriptiva porque busca caracterizar y analizar el comportamiento hidráulico del Río Seco mediante la determinación de parámetros como tirantes, velocidades de flujo, áreas inundables y delimitación de la faja marginal. Asimismo, permite identificar y describir las condiciones de vulnerabilidad presentes en el área de estudio.

Por otro lado, es explicativa porque busca comprender y explicar la relación existente entre los factores de peligro y vulnerabilidad que intervienen en la generación del riesgo por inundación fluvial. De esta manera, se analiza cómo la interacción de estos componentes determina los diferentes niveles de riesgo en las áreas expuestas.

Según Arias (2012), la investigación descriptiva tiene como finalidad caracterizar un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el propósito de establecer sus propiedades y comportamiento. Asimismo, la investigación explicativa se orienta a identificar las causas de los fenómenos y a determinar las relaciones de causa y efecto entre las variables estudiadas.

7.6 DISEÑO DE INVESTIGACION

La presente investigación adoptó un diseño no experimental de tipo transversal, debido a que la información requerida para la delimitación de la faja marginal y la evaluación del riesgo por inundación fluvial fue recopilada y analizada en un único momento temporal, sin manipular deliberadamente las variables de estudio.

Según Hernández Sampieri et al. (2014), el diseño no experimental se caracteriza por observar los fenómenos en su contexto natural, sin intervenir ni modificar las variables involucradas. Asimismo, los estudios de tipo transversal recolectan datos en un solo momento del tiempo, con la finalidad de describir las características de una población, fenómeno o situación específica y analizar las relaciones existentes entre las variables evaluadas.

En ese sentido, la investigación se limitó a analizar las condiciones hidráulicas, geomorfológicas y socioeconómicas presentes en el área de estudio durante el periodo de evaluación, permitiendo determinar la delimitación de la faja marginal y los niveles de riesgo por inundación sin alterar las condiciones reales del entorno.

7.7 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

7.7.1 Población

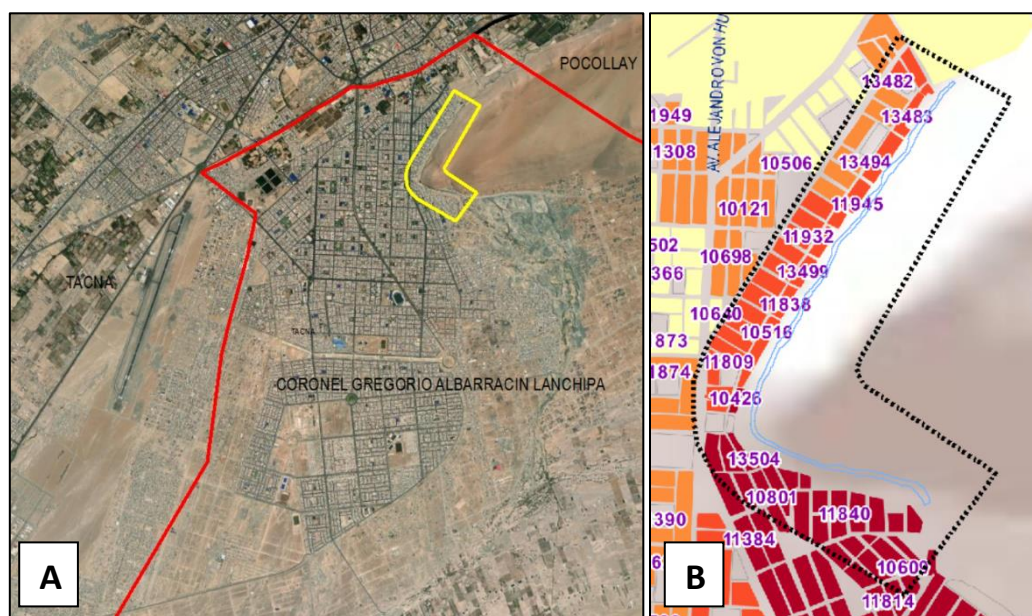
La población del área de estudio es el cauce del Rio Seco y el Distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, región Tacna

7.7.2 Muestra

La muestra es el tramo de 1.755 Km de cauce del Rio Seco y las asociaciones de vivienda alrededor a este. Este tramo inicia en el cerco perimétrico del Cuartel Tarapaca y termina en el Puente Arunta.

Figura 3

Población y muestra de investigación



Nota. (A) Población de investigación. (B) Muestra de investigación. Adaptado de *Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018*, por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2018.

Tabla 1*Asociaciones de vivienda en el área de estudio*

CODIGO	ASOCIACIONES DE VIVIENDAS
13482	ASOC. VIV. EL SAUCE II
13483	ASOC. VIV. EL SAUSAL
13494	ASOC. VIV. LOS SAUCES II
11945	ASOC. VIV. SAUSAL
11932	ASOC. VIV. MORRO II
13499	ASOC. VIV. RINCONADA
11838	ASOC. VIV. NUEVA RINCONADA ALTA
10516	ASOC. VIV. LOS VALIENTES DE TACNA
11809	ASOC. VIV. BELLA UNION
10426	ASOC. VIV. 1 DE MARZO
13504	ASOC. VIV. VALIENTES
10801	ASOC. VIV. VILLA LA RINCONADA BAJA
11840	ASOC. VIV. RIO BRAVO
10609	ASOC. VIV. VILLA EL PUENTECITO

Nota. Elaboración propia a partir de datos del Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018 (INEI, 2018).

7.8 METODOLOGÍA PARA LA DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL

Para la delimitación de la faja marginal se realizó un modelamiento hidráulico mediante el software HEC-RAS versión 6.6, considerando un período de retorno de 100 años, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016) para cauces adyacentes a centros poblados. El análisis se desarrolló en un tramo del Río Seco de 1.755 km de longitud, comprendido entre el cerco perimetral del Cuartel Tarapacá, aguas arriba, y el Puente Arunta, aguas abajo, cumpliendo con la longitud mínima de un kilómetro exigida para zonas urbanas.

Posteriormente, se determinó el límite superior de la ribera a partir de los resultados del modelamiento hidráulico. Para ello, se utilizaron caudales máximos obtenidos mediante el análisis estadístico de información hidrológica con registros de al menos veinte años. Asimismo, el ancho mínimo de la faja marginal se estableció considerando los criterios establecidos en el artículo 12 del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016).

Adicionalmente, debido a las condiciones de amenaza hidráulica identificadas en el área de estudio, se aplicaron los criterios establecidos en el artículo 13 del citado reglamento, los cuales permiten ampliar el ancho mínimo de la faja marginal cuando existan condiciones de riesgo, características geomorfológicas particulares o necesidades de gestión que lo justifiquen.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron representados mediante un mapa temático de delimitación de la faja marginal, en el cual se incorporó la ubicación georreferenciada de los hitos propuestos para su identificación y control.

7.8.1 Procedimiento para obtener los caudales máximos

La presente investigación tomó como referencia la tesis titulada *Análisis de vulnerabilidad mediante modelamiento hidrodinámico del cauce del Río Seco del cono sur de la ciudad de Tacna*, desarrollada por Frisancho Camero (2015), debido a que dicho estudio realizó el análisis hidrológico necesario para la determinación de los caudales máximos del área de estudio.

El análisis hidrológico comprendió la evaluación de las máximas avenidas del Río Seco en el tramo comprendido entre el Cuartel Tarapacá y el Puente Arunta. Para ello, se consideraron los aportes hídricos provenientes del río Caplina, la quebrada Palca y el río

Vilavilani-Yungane, empleando una serie histórica de registros hidrológicos correspondiente a 55 años (Frisancho Camero, 2015).

Con la finalidad de estimar los caudales máximos instantáneos, se aplicaron diferentes modelos de distribución de probabilidad, entre ellos Log-Normal, Gamma, Log-Pearson Tipo III y Log-Gumbel. Posteriormente, se seleccionó la distribución que presentó el mejor ajuste estadístico para el cálculo de los caudales asociados a los distintos períodos de retorno (Frisancho Camero, 2015).

Como resultado de este procedimiento, se obtuvieron los caudales máximos correspondientes a los diferentes períodos de retorno, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2

Caudales instantáneos utilizados para la modelación

TR (años)	Caudal instantáneo parcial			Caudal Total (m ³ /s)
	Caplina	Palca	Vilavilani	
10	16.95	4.74	6.4	29
50	43.52	17.09	16.26	77
100	64.82	29.4	22.89	117
200	94.4	50.47	32.2	179
500	162.74	102.92	50.51	316

Nota. Elaboración propia a partir de los datos presentados en Análisis de vulnerabilidad mediante modelamiento hidrodinámico del cauce del Río Seco del cono sur de la ciudad de Tacna (Frisancho Camero, 2015).

7.8.2 Procedimiento para obtener la topografía

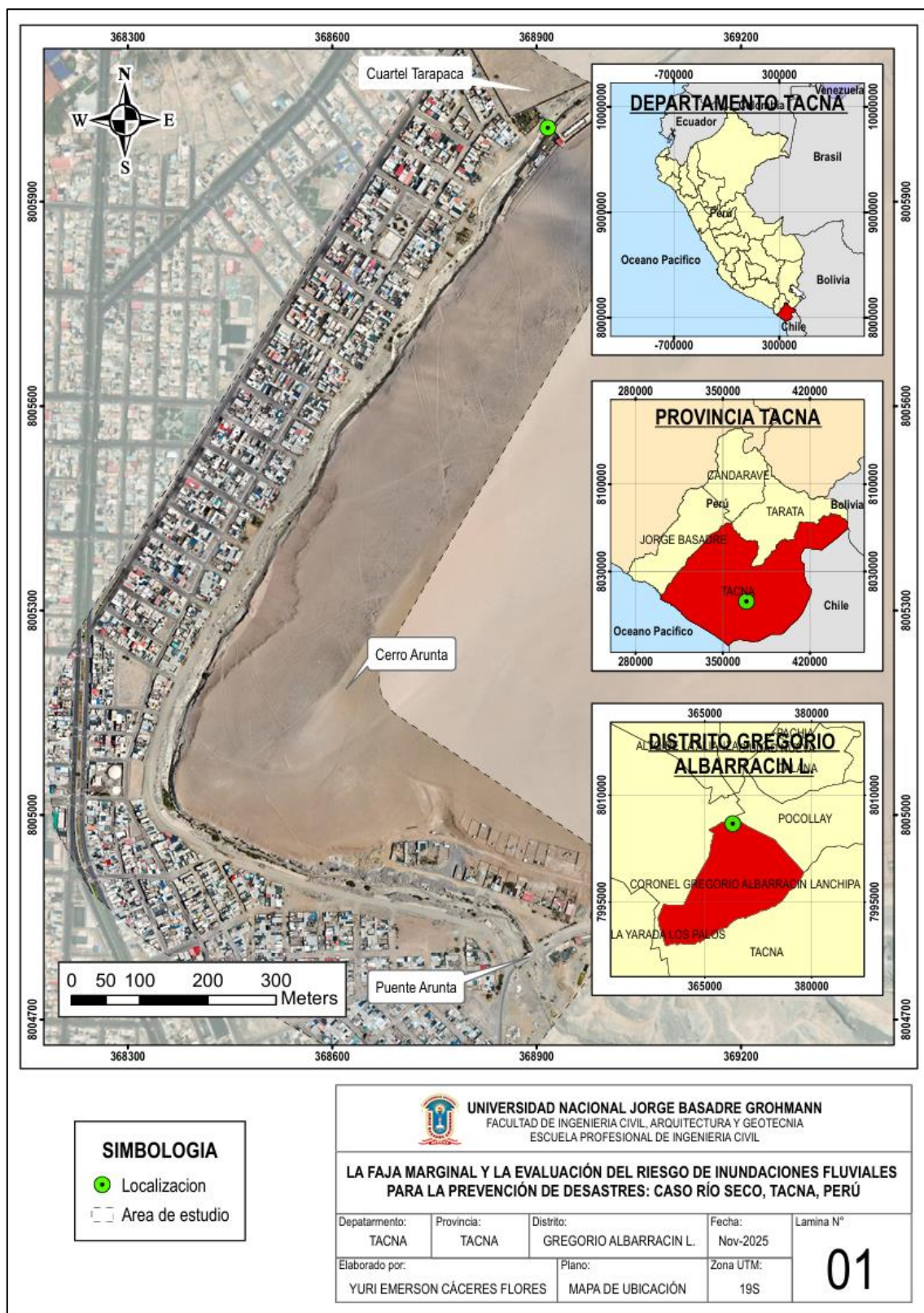
La topografía del tramo de estudio se generó mediante fotogrametría aérea utilizando un dron. Este método permitió obtener una cobertura completa del cauce del río y de una longitud adicional en ambas márgenes.

La captura de las imágenes aéreas se realizó con un porcentaje de solapamiento del 80 %, lo que garantizó la obtención de información suficiente para su posterior procesamiento. Posteriormente, las imágenes fueron procesadas mediante un software especializado de fotogrametría, el cual permitió generar una nube de puntos densa, a partir de la cual se obtuvieron los productos cartográficos finales.

El primer producto correspondió a la ortofoto, definida como una imagen aérea georreferenciada y corregida geométricamente, utilizada como mapa base de alta precisión. El segundo producto fue el Modelo Digital de Elevación (MDE), con un tamaño de píxel de 0.17 m. Esta resolución permitió representar con precisión las características topográficas del terreno y garantizar que la geometría incorporada al modelo hidráulico reflejara adecuadamente la realidad geomorfológica del Río Seco. En consecuencia, se incrementó la confiabilidad de las simulaciones hidráulicas desarrolladas en la presente investigación.

Figura 4

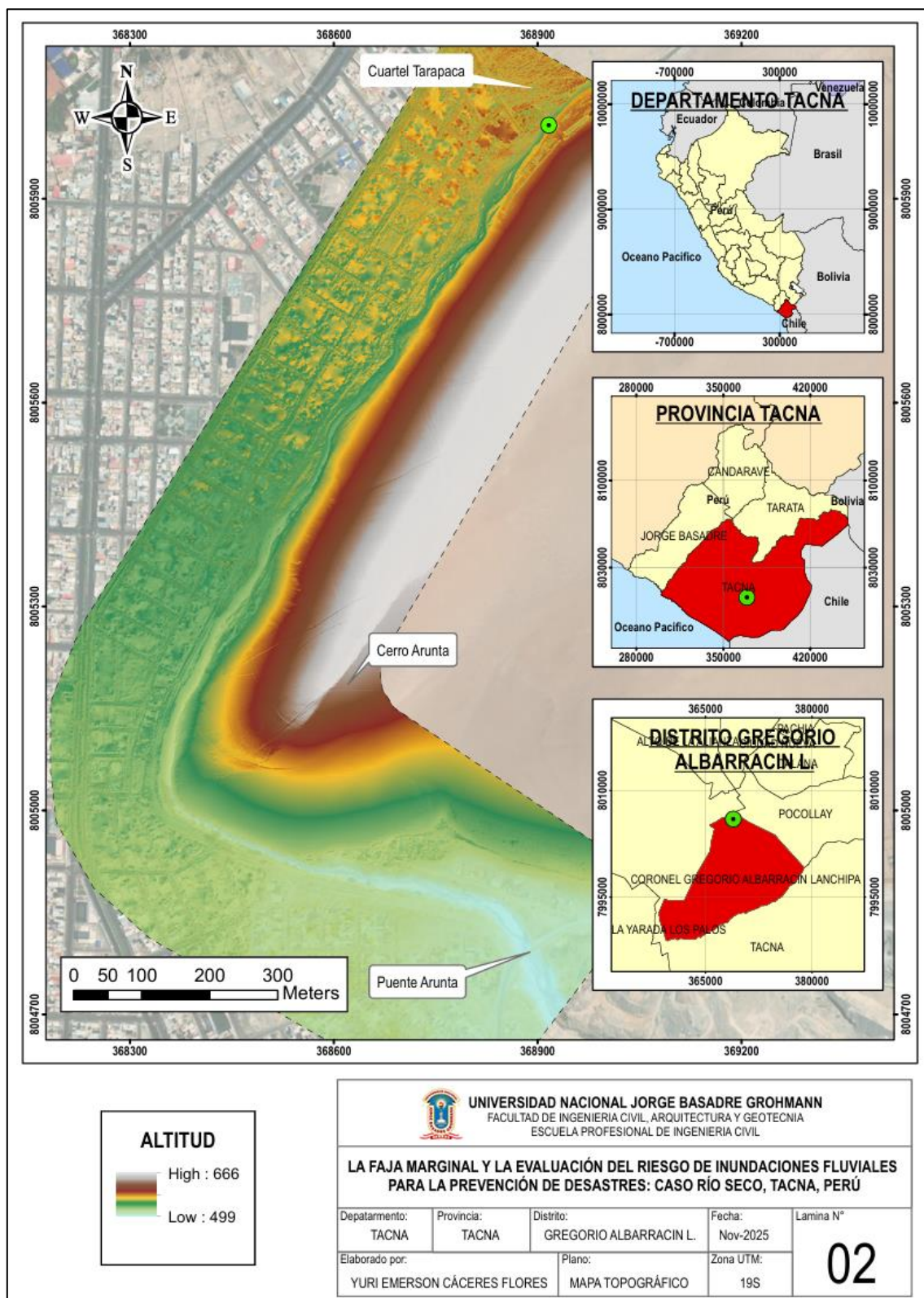
Ortofoto y Mapa de ubicación del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

Figura 5

Modelo de Elevación Digital (MED) del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.8.3 Procedimiento para establecer la rugosidad

Se definió diferentes valores de rugosidad para las diversas superficies de contacto. Este procedimiento se implementó tras la visita de campo, donde se determinó que la metodología más adecuada para clasificar el coeficiente de rugosidad fue la comparación con tablas estandarizadas y el cálculo por el Método de Cowen.

Según Chow (1994), el Método de Cowen se basa en la idea de que la rugosidad de un canal natural es la suma de las resistencias que ofrecen los diferentes elementos del perímetro mojado.

Formula del Criterio de Cowen:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Tabla 3

Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad mediante la ecuación

Consideraciones del canal			Valores
Material considerado	Tierra		0.020
	Roca cortada	n0	0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
	Liso		0.000
Grado de irregularidad	Menor	n1	0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
	Gradual		0.000
Variaciones de la sección transversal del canal	Ocasionalmente alternante	n2	0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
	Despreciable		0.000
Efecto relativo de obstrucciones	Menor	n3	0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
	Baja		0.005 - 0.010
Vegetación	Media	n4	0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Cantidad de meandros	Menor	m5	1.000

Apreciable	1.150
Severa	1.300

Nota. Elaboración propia a partir de Hidráulica de canales abiertos (Chow, 1994).

La modelación de la inundación en la zona urbana se realizó siguiendo el criterio propuesto por Beretta et al. (2018), quienes establecieron que la asignación de un coeficiente de rugosidad de Manning (n) igual a 10 para áreas urbanas con presencia de viviendas constituye un procedimiento adecuado para representar la resistencia al flujo y evaluar la propagación de inundaciones en simulaciones bidimensionales (2D).

En función de este criterio, se asignó el valor correspondiente de rugosidad a las zonas urbanas del modelo hidráulico y se efectuaron los cálculos de simulación. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4

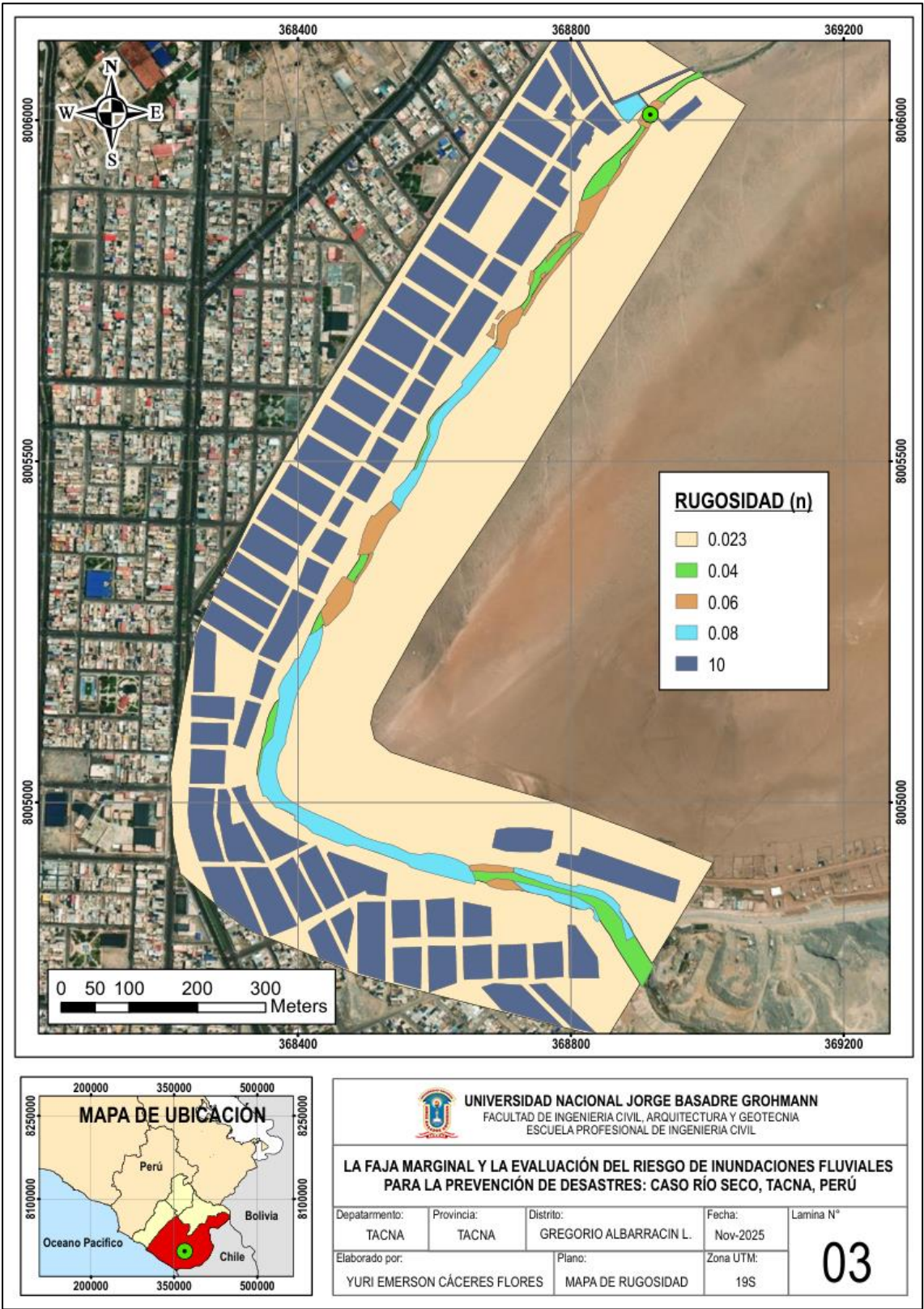
Valores de coeficiente de rugosidad de Manning adoptados para la modelación

Nº	Uso de suelo	Valores
1	Cauce grava, canto rodado y algunas rocas	0.04
2	Cauce estrecho y con rocas	0.06
3	Cauce con vegetación y rocas	0.08
4	Suelo desnudo	0.023
5	Arena	0.023
6	Viviendas	10

Nota. Elaboración propia con base en Chow (1959), Arcement y Schneider (1989) y Beretta et al. (2018).

Figura 6

Mapa de rugosidad del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.8.4 Procedimiento para el modelamiento hidráulico en HEC-RAS

Para obtener la información necesaria para la presente investigación, se desarrolló un modelamiento hidráulico combinado mediante el software HEC-RAS versión 6.6. Se empleó un modelo unidimensional (1D) para determinar el perfil longitudinal del flujo, las secciones transversales y los principales parámetros hidráulicos del cauce. Complementariamente, se utilizó un modelo bidimensional (2D) con la finalidad de simular y delimitar la extensión de las áreas inundables en la llanura aluvial, permitiendo una representación espacial más detallada del peligro de inundación (Brunner, 2024).

El desarrollo del modelamiento hidráulico bidimensional comprendió las siguientes fases:

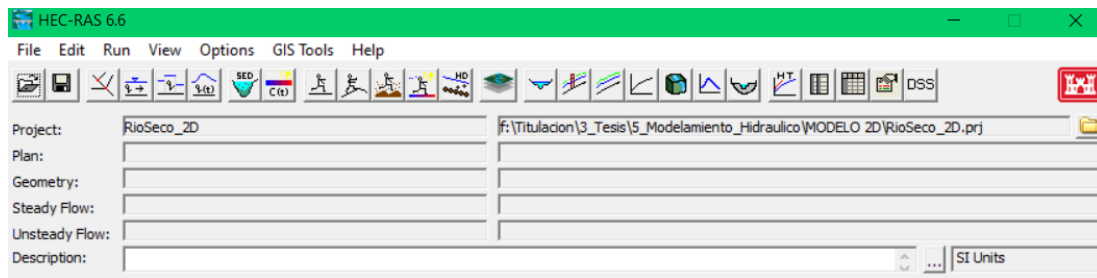
- Creación de un nuevo proyecto.
- Ingreso de datos geométricos, coeficientes de rugosidad y condiciones de contorno.
- Ingreso de los caudales de diseño.
- Elaboración y ejecución del plan de análisis.

7.8.4.1 Creación del proyecto

La creación del proyecto se inició con la apertura del software HEC-RAS versión 6.6 y la configuración del sistema de unidades en el Sistema Internacional (SI). Posteriormente, mediante la opción *File* (Archivo) de la ventana principal del programa, se procedió a guardar el proyecto. Este archivo constituye el elemento principal de gestión, ya que almacena y vincula todos los componentes desarrollados durante el modelamiento, incluyendo la geometría del cauce, los datos de caudal y los planes de simulación hidráulica (Brunner, 2024).

Figura 7

Ventana principal de HEC-RAS con el Proyecto Río Seco cargado



Nota. Ventana principal del software HEC-RAS versión 6.6 utilizada para la creación del proyecto hidráulico. Fuente: elaboración propia mediante captura de pantalla del software HEC-RAS 6.6 (Brunner, 2024).

7.8.4.2 Creación de la geometría, rugosidad y condiciones de contorno

La configuración de la geometría se ejecutó directamente en el *software* HEC-RAS v6.6 mediante su módulo RAS Mapper. Dicho módulo permitió manejar la información espacial y geométrica del modelo, minimizando la necesidad de exportar e importar datos desde otros programas SIG.

Figura 8

Barra de herramientas de acceso rápido de HEC-RAS v6.6

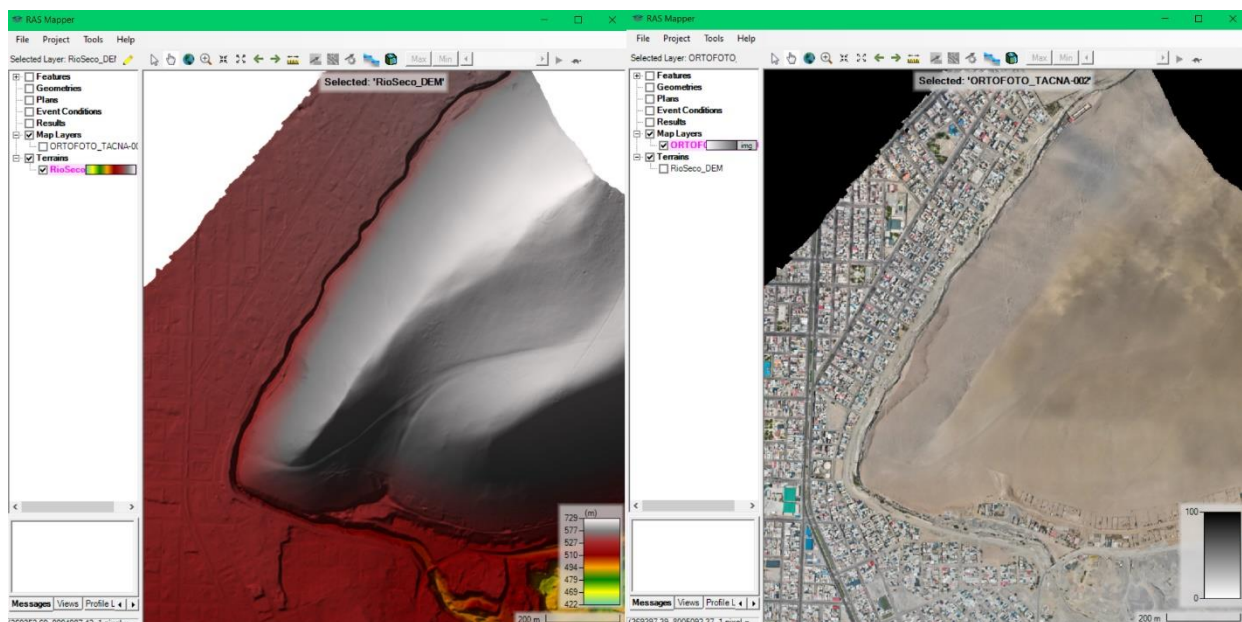


Nota. El botón resaltado corresponde al módulo RAS Mapper, herramienta gráfica de HEC-RAS utilizada para la creación y edición de la geometría del modelo, la asignación de coeficientes de rugosidad y la visualización espacial de los resultados de las simulaciones hidráulicas.

Dentro de RAS Mapper, se configuró nuevamente la georreferenciación a WGS84/UTM Zona 19S y se importó el Modelo de Elevación Digital (MED) para crear el Terreno. A continuación, se procedió a la carga de la ortofoto como capa de referencia visual para identificar características del terreno y validar la geometría creada. En esencia, la creación de la geometría permitió que HEC-RAS entendiera la forma tridimensional del Río Seco sobre el Modelo de Elevación Digital (MED).

Figura 9

Modelo de Elevación Digital y Ortofoto cargados en RASMapper



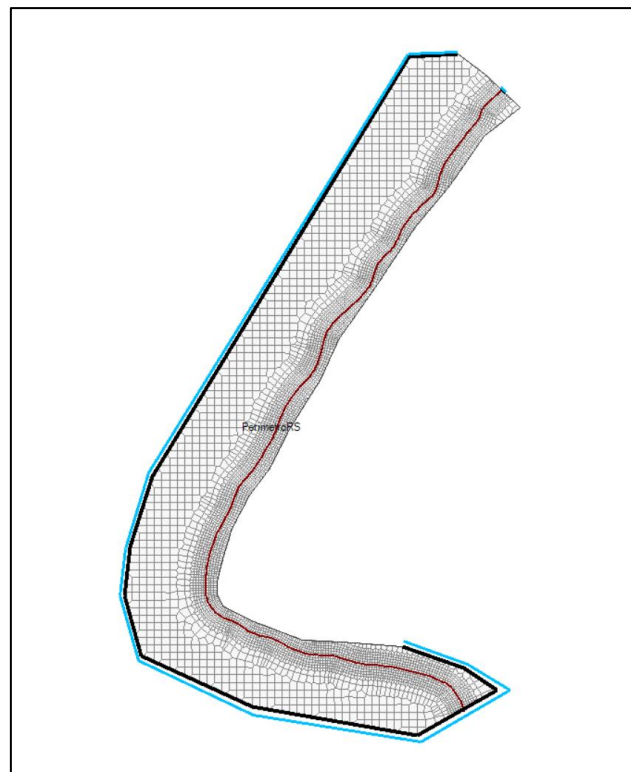
Nota. Se muestra el Modelo de Elevación Digital (DEM) y la ortofoto del área de estudio cargados en el módulo RAS Mapper de HEC-RAS versión 6.6, utilizados como base para la delimitación de la geometría del modelo hidráulico y la generación de la malla computacional.

Fuente: elaboración propia.

Se creó un perímetro de la malla computacional del área de estudio, delimitado desde el cerco perimétrico del cuartel Tarapacá hasta el Puente Arunta y zonas aledañas al cauce, con un tamaño de celda de 15 metros en la llanura de inundación. Simultáneamente, se creó un área de refinamiento a lo largo del cauce del río dentro de este perímetro con un tamaño de celda de 5 metros (el refinamiento local aumenta la precisión donde el flujo es más crítico). Asimismo, se creó las Condiciones de contorno de entrada aguas arriba del cauce y las Condiciones de contorno de salida aguas abajo del cauce y en las zonas donde se espera que el flujo se salga del Perímetro creado.

Figura 10

Construcción de la malla computacional en HEC-RAS para modelamiento 2D

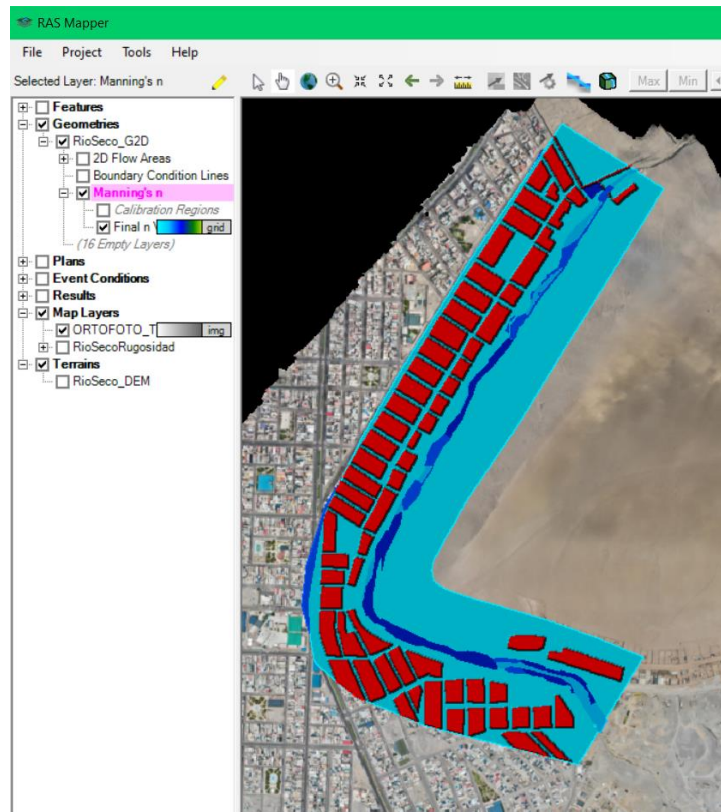


Nota. Se muestra el proceso de construcción de la malla computacional bidimensional (2D) en HEC-RAS versión 6.6, generada a partir de la geometría del área de estudio para la simulación hidráulica y la delimitación de las zonas inundables. Fuente: elaboración propia.

Para completar esta fase se enlazó el *shapefile* de rugosidad, previamente creado en el RASMapper, a la geometría creada.

Figura 11

Capa de rugosidad del área de estudio cargada en RASMapper



Nota. Se muestra la capa de rugosidad del área de estudio incorporada en el módulo RAS Mapper de HEC-RAS versión 6.6. Esta capa contiene los coeficientes de rugosidad de Manning asignados a las diferentes coberturas superficiales, los cuales fueron utilizados para representar la resistencia al flujo durante las simulaciones hidráulicas bidimensionales. Fuente: elaboración propia.

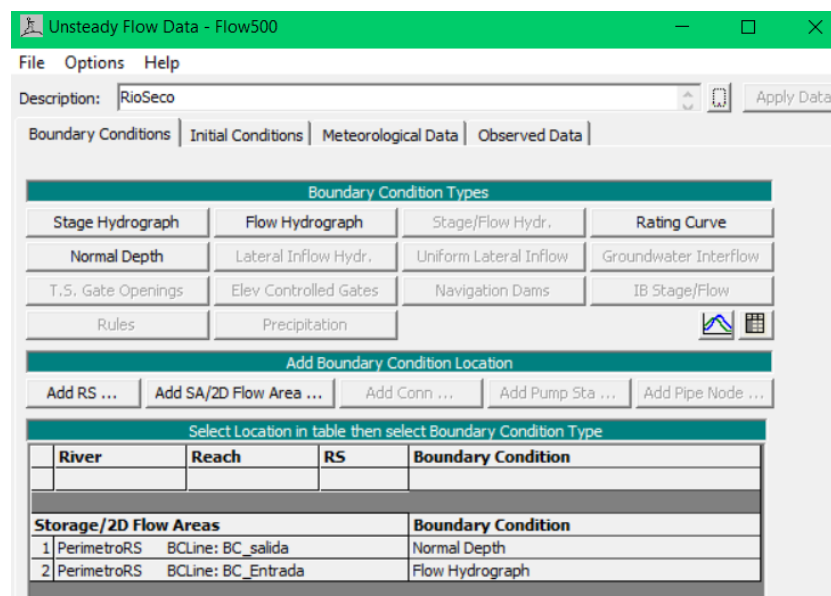
7.8.4.3 Ingreso de Datos de caudales

Para la configuración del flujo, se utilizó un Flujo No Permanente (Unsteady Flow), y se crearon varios perfiles para los distintos períodos de retorno (10, 50, 100, 200 y 500 años).

Esto se hizo colocando como condición de contorno de entrada el Hidrograma de Flujo (Flow Hydrograph), y con una pendiente de 0.02. Mientras tanto, como condición de contorno de salida, se estableció el tirante normal con una pendiente de 0.017.

Figura 12

Configuración de Flujo No Permanente



Nota. Se muestra la ventana de configuración del flujo no permanente (*Unsteady Flow Data*) en HEC-RAS versión 6.6, donde se definen las condiciones hidrológicas de entrada y salida, así como los hidrogramas utilizados para la simulación hidráulica bidimensional del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

7.8.4.4 Creación de Plan de Análisis

Se procedió a hacer un premodelamiento para determinar el Intervalo Computacional en base a la velocidad máxima y el tamaño mínimo de celda. Esto se logró manteniendo un valor de Courant de 1.

Ecuación del Número de Courant:

$$C = \frac{v * \Delta t}{\Delta x}$$

V: Velocidad del flujo

Δt : Intervalo computacional

Δx : Tamaño mínimo de celda en la malla computacional

Se configuró el paso de tiempo (*Time Step*) considerando el criterio de Courant, estableciendo un valor máximo de 1 y un valor mínimo de 0.4. Asimismo, en la sección *Computation Options and Tolerances* se definió un máximo de 40 iteraciones con el fin de mejorar la estabilidad numérica y la convergencia de la solución. Adicionalmente, se seleccionó el uso de las Ecuaciones de Aguas Poco Profundas (*Shallow Water Equations*, SWE) para la simulación hidráulica.

De acuerdo con el Manual de Usuario de HEC-RAS 2D (Brunner, 2025), las ecuaciones de Onda de Difusión (*Diffusion Wave*) están orientadas principalmente a etapas preliminares de modelamiento debido a que constituyen una simplificación de las ecuaciones completas del flujo. En contraste, las SWE representan de manera más rigurosa los procesos hidráulicos, por lo que HEC-RAS recomienda su aplicación en escenarios con régimen de flujo mixto, transiciones entre flujo subcrítico y supercrítico, así como en zonas con estrechamientos o expansiones abruptas del cauce. Estas condiciones fueron identificadas en el tramo de estudio, motivo por el cual se optó por utilizar las SWE en el presente modelamiento.

Figura 13

Configuración del Control avanzado de paso de tiempo

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | 2D Flow Options | Pipe Systems | 1D/2D Options | **Advanced Time Step Control**

☐ Fixed Time Step (Basic method) 0.5 Second

☒ Adjust Time Step Based on Courant

Maximum Courant: 1.

Minimum Courant: 0.4

Number of steps below Minimum before doubling: 4

Maximum number of doubling base time step: 4 8.00 sec

Maximum number of halving base time step: 4 0.03 sec

Courant Methodology

☒ Velocity/Length (face velocity * dt / cell to cell distance)

☐ Residence Time (cell outflow * dt / cell volume)

Nota. Configuración del control avanzado de paso de tiempo empleada para garantizar la estabilidad numérica y la convergencia del modelo hidráulico durante la simulación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Configuración de las Opciones de flujo 2D

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | **2D Flow Options** | Pipe Systems | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

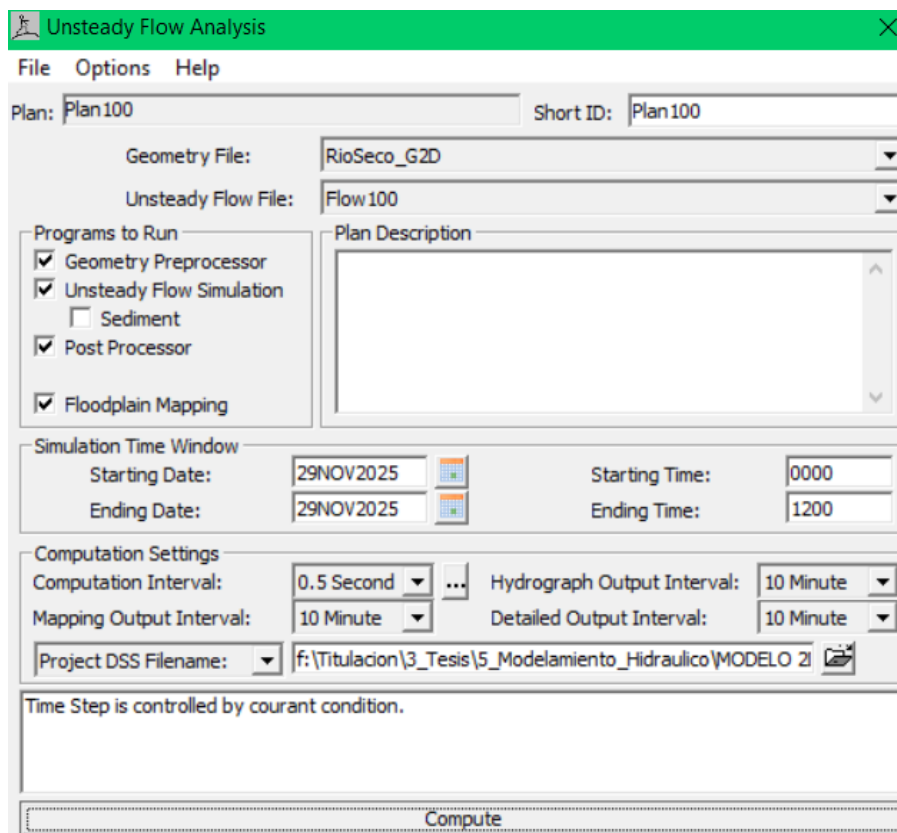
☐ Use Coriolis Effects (not used with Diffusion Wave equation)

Parameter	(Default)	PerimetroRS
1 Theta (0.5-1.0)	1	1
2 Theta Warmup (0.5-1.0)	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.003
5 Maximum Iterations	20	40
6 Advanced Convergence	☐	☐
7 Water Surface Max Tolerance (m)	0.045	0.045
8 Water Surface RMS Tolerance (m)	0.006	0.006
9 Water Surface Stalling Tolerance (%)	1	1
10 Equation Set	Diffusion Wave	SWE-ELM (original/faster)

Nota. Se muestra la ventana de configuración de las opciones de flujo bidimensional (2D Flow Options) en HEC-RAS versión 6.6, donde se establecen los parámetros numéricos y las ecuaciones hidráulicas empleadas para la simulación del flujo en dos dimensiones. Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

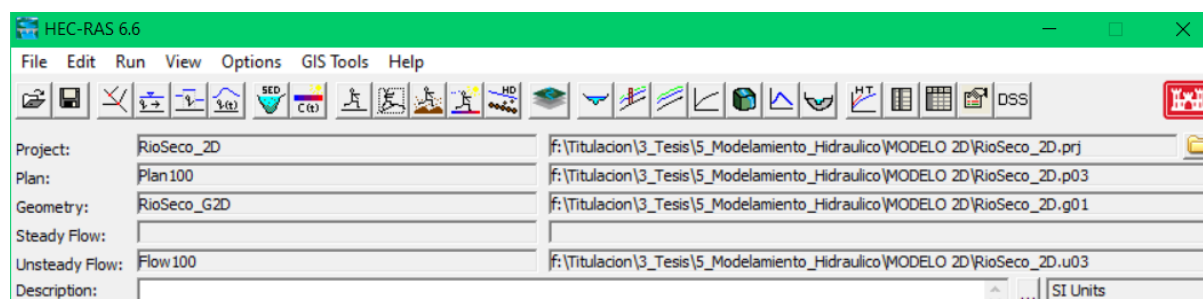
Configuración del Plan de análisis final



Nota. Se muestra la configuración del plan de análisis final en HEC-RAS versión 6.6, donde se integran la geometría del modelo, las condiciones de flujo, los parámetros de cálculo y las opciones de simulación utilizadas para la ejecución del modelamiento hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Ventana principal de HEC-RAS con todos los archivos cargados



Nota. Se observa la ventana principal de HEC-RAS versión 6.6 con los archivos de geometría, flujo no permanente, malla computacional, rugosidad y plan de análisis final correctamente integrados para la ejecución de la simulación hidráulica bidimensional del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

7.8.5 Procedimiento para determinar la Faja Marginal

De acuerdo con la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, en su artículo 74, es necesario establecer una faja marginal en los terrenos colindantes a los cauces naturales o artificiales de las fuentes de agua (Congreso de la República, 2009). Asimismo, el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos establece los criterios técnicos que deben considerarse para su delimitación (Ministerio de Agricultura, 2010). En particular, el artículo 113 señala que las dimensiones de la faja marginal, en una o ambas márgenes de un cuerpo de agua, son determinadas por la Autoridad Administrativa del Agua (AAA), órgano desconcentrado de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) encargado de ejecutar dichas delimitaciones a nivel local (Ministerio de Agricultura, 2010).

Adicionalmente, se consideró la información técnica emitida por la Autoridad Nacional del Agua, la cual establece una longitud mínima de 1 km para la delimitación de fajas marginales en zonas urbanas (ANA, 2017).

En concordancia con este marco normativo, se respetaron los usos y costumbres existentes en el área de estudio, conforme a lo dispuesto en el Reglamento para la Delimitación

y Mantenimiento de Fajas Marginales, aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 332-2016-ANA (ANA, 2016).

En este contexto, el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales establece los siguientes criterios para la delimitación de las fajas marginales:

Tabla 5

Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua

Tipo de fuente	Ancho mínimo (m) (1)
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso	3
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) material conglomerado	4
Tramos de ríos con pendiente media (1 - 2%)	5
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas	6
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas	10
Tramos de ríos con estructuras de defensa ribereña (gaviones, diques, enrocados, muros, etc.), medidos a partir del pie de talud externo	4
Tramos de ríos de selva con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y Lagunas	10
Reservorios o embalses (Cota de vertedero de demasías)	10
<i>*Medidos a partir del límite superior de la ribera (1)</i>	

Nota. Datos adaptados de Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales, aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 332-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

El tramo de estudio abarcó una longitud de 1,755 km y presentó una pendiente promedio alta (superior al 2 %). En consecuencia, se propuso una faja marginal con un ancho mínimo de 4 m en cada margen, medidos a partir del límite superior de la ribera, de acuerdo

con los criterios establecidos en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (ANA, 2016).

Para la determinación del cauce se desarrolló un modelo hidráulico y, de manera complementaria, se analizó la evidencia obtenida a partir de imágenes históricas correspondientes a un período de 20 años. Con base en esta información, se consideraron los siguientes criterios para la delimitación de la faja marginal (ANA, 2016):

- Primero; el espacio necesario para la construcción, conservación y protección de las defensas ribereñas y del cauce;
- Segundo; el espacio necesario para los usos públicos;
- Tercero; la máxima crecida del cauce, considerando el área de inundación simulada y la huella máxima identificada a partir de eventos históricos;
- Cuarto; la identificación de zonas de riesgo mediante la aplicación de criterios de gestión del riesgo de desastres;
- Quinto; la preservación de las defensas vivas.

7.8.5.1 Delimitación preliminar de Faja Marginal

Posteriormente, se utilizó el software QGIS para realizar la delimitación preliminar de la faja marginal. Este procedimiento tuvo como finalidad integrar los resultados del modelamiento hidráulico obtenidos en HEC-RAS con herramientas de análisis geoespacial, permitiendo una representación espacial más precisa del área de influencia del cauce.

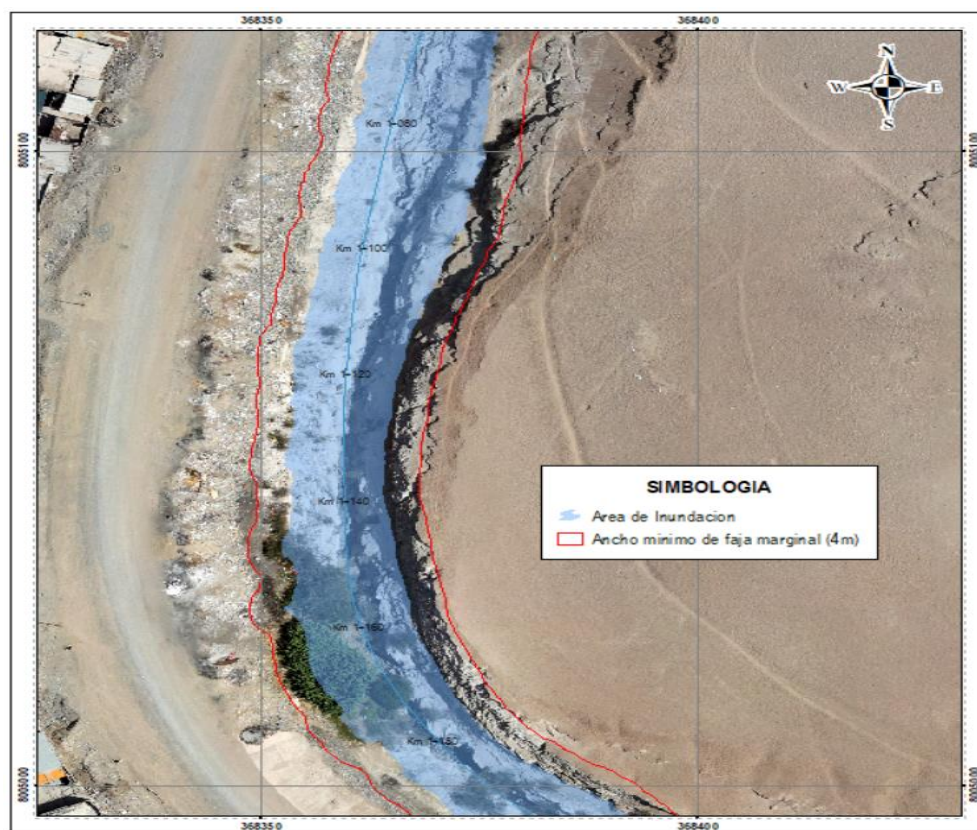
En primer lugar, se exportaron desde el módulo RAS Mapper de HEC-RAS las capas raster correspondientes a los tirantes de agua y velocidades del flujo. Posteriormente, dichos archivos fueron importados al entorno SIG de QGIS para su procesamiento. Una vez cargada la información, se efectuó la conversión de los archivos raster a formato vectorial (*shapefile*) y se aplicó la herramienta *Buffer* con una distancia de 4 m, conforme al ancho mínimo establecido

para la delimitación de la faja marginal. Este procedimiento permitió definir preliminarmente los límites de la faja marginal y representarlos cartográficamente en el área de estudio.

No obstante, la delimitación definitiva de la faja marginal no se basó únicamente en el criterio de distancia mínima. Adicionalmente, se consideraron las características físicas, geomorfológicas e hidráulicas del cauce, así como los criterios establecidos en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (ANA, 2016).

Figura 17

Visualización de la delimitación preliminar del ancho de faja marginal



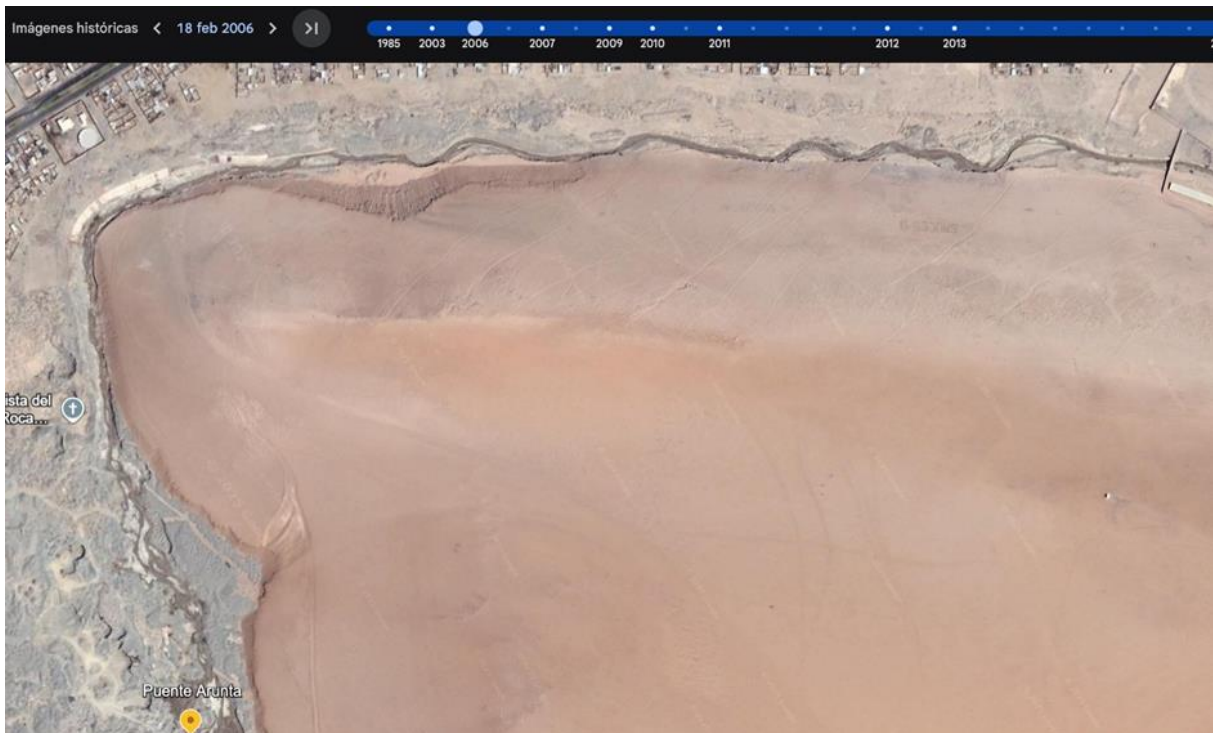
Nota...Se muestra la delimitación preliminar de la faja marginal obtenida mediante el procesamiento de los resultados del modelamiento hidráulico en un entorno SIG. Para su definición se aplicó un ancho mínimo de 4 m en cada margen del cauce, conforme a los criterios establecidos en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales. Fuente: Elaboración propia.

7.8.5.2 Búsqueda de Imágenes Históricas

Para realizar la búsqueda de imágenes históricas se utilizó Google Earth, herramienta que permite acceder a imágenes históricas de cualquier área de interés; primero se localizó el área de estudio, posteriormente se identificó los años en donde hubo un cambio importante en el cauce. Para esta investigación se analizó un periodo 20 años, desde el año 2006 hasta el año 2025.

Figura 18

Imagen de Google Earth del 18 de febrero del 2006

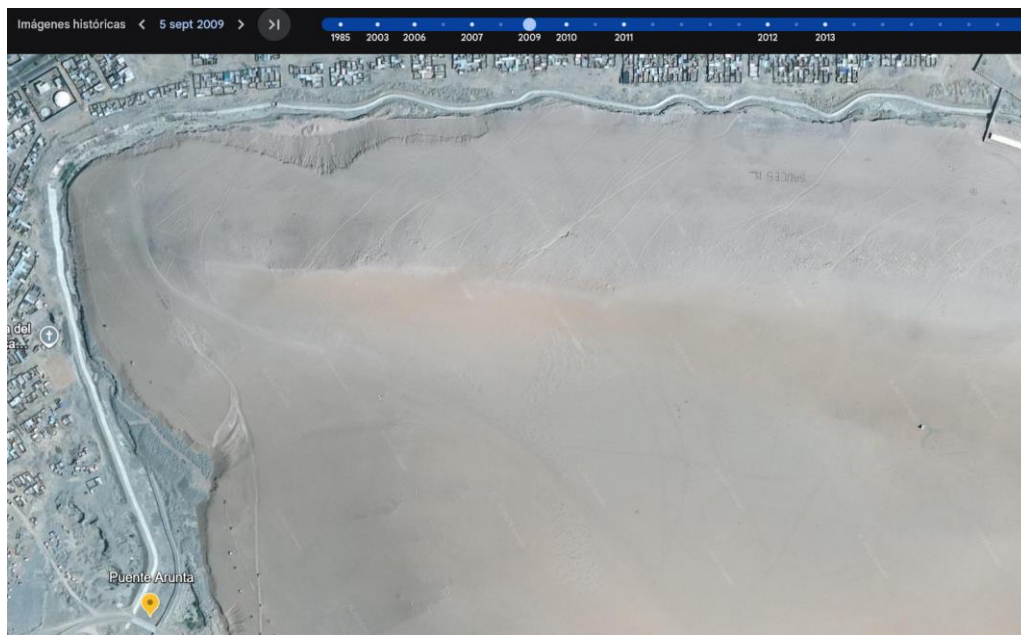


Nota. Imagen satelital del área de estudio correspondiente al 18 de febrero de 2006, utilizada para analizar la evolución histórica del cauce y apoyar la delimitación de la faja marginal.

Fuente: Google Earth Pro.

Figura 19

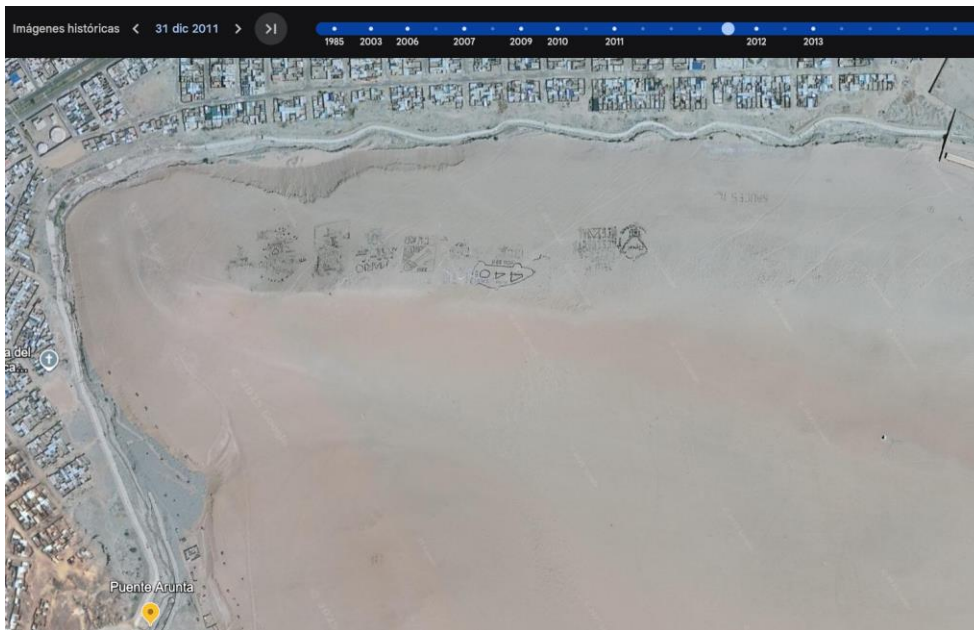
Imagen de Google Earth del 05 de setiembre del 2009



Nota. Imagen histórica del área de estudio obtenida de Google Earth Pro el 05 de setiembre de 2009, utilizada para evaluar los cambios espaciales del cauce y complementar el análisis multitemporal empleado en la delimitación de la faja marginal. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 20

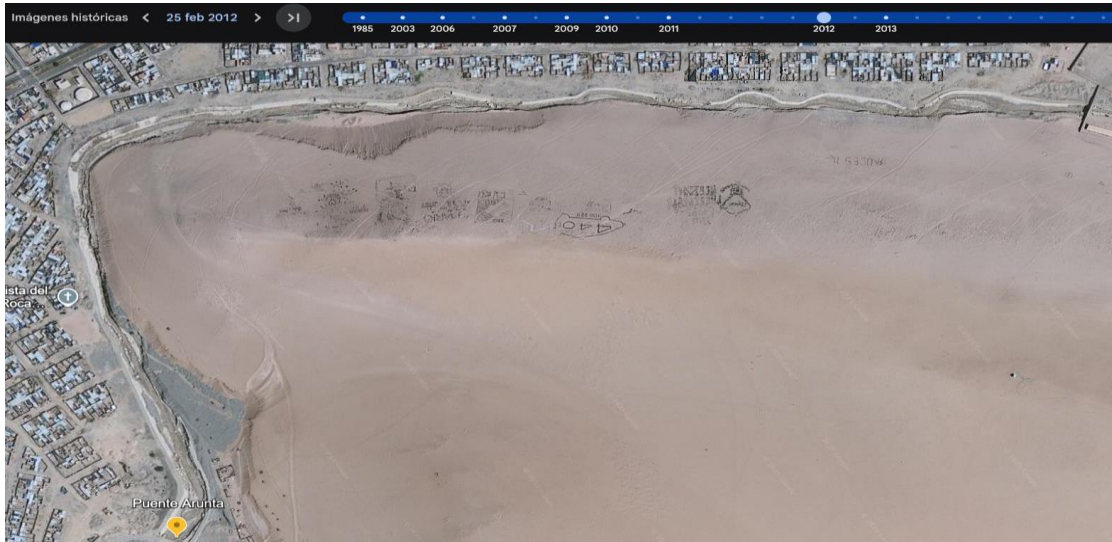
Imagen de Google Earth del 31 de diciembre del 2011



Nota. Imagen histórica del área de estudio obtenida de Google Earth Pro el 31 de diciembre de 2011, utilizada para evaluar los cambios espaciales del cauce y complementar el análisis multitemporal empleado en la delimitación de la faja marginal. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 21

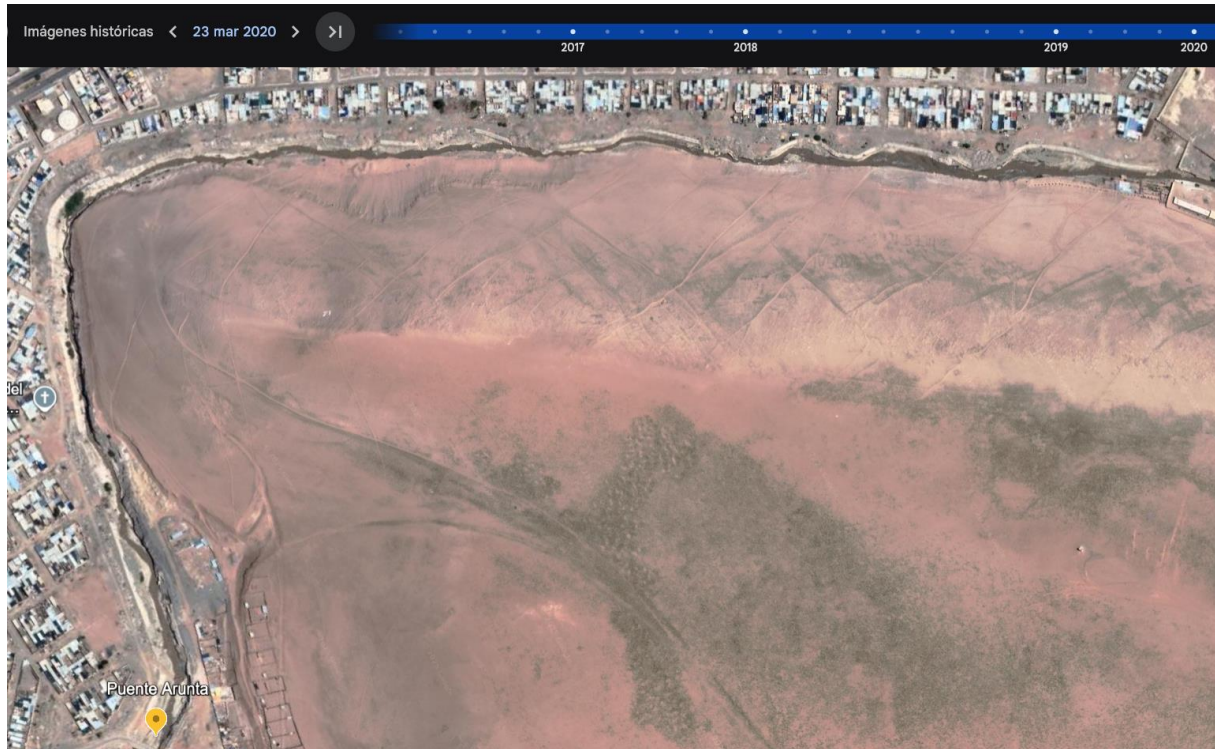
Imagen de Google Earth del 25 de febrero del 2012



Nota. Imagen histórica del área de estudio obtenida de Google Earth Pro el 25 de febrero de 2012, utilizada como parte del análisis multitemporal de la evolución del cauce durante el período de estudio y como insumo para la delimitación de la faja marginal. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 22

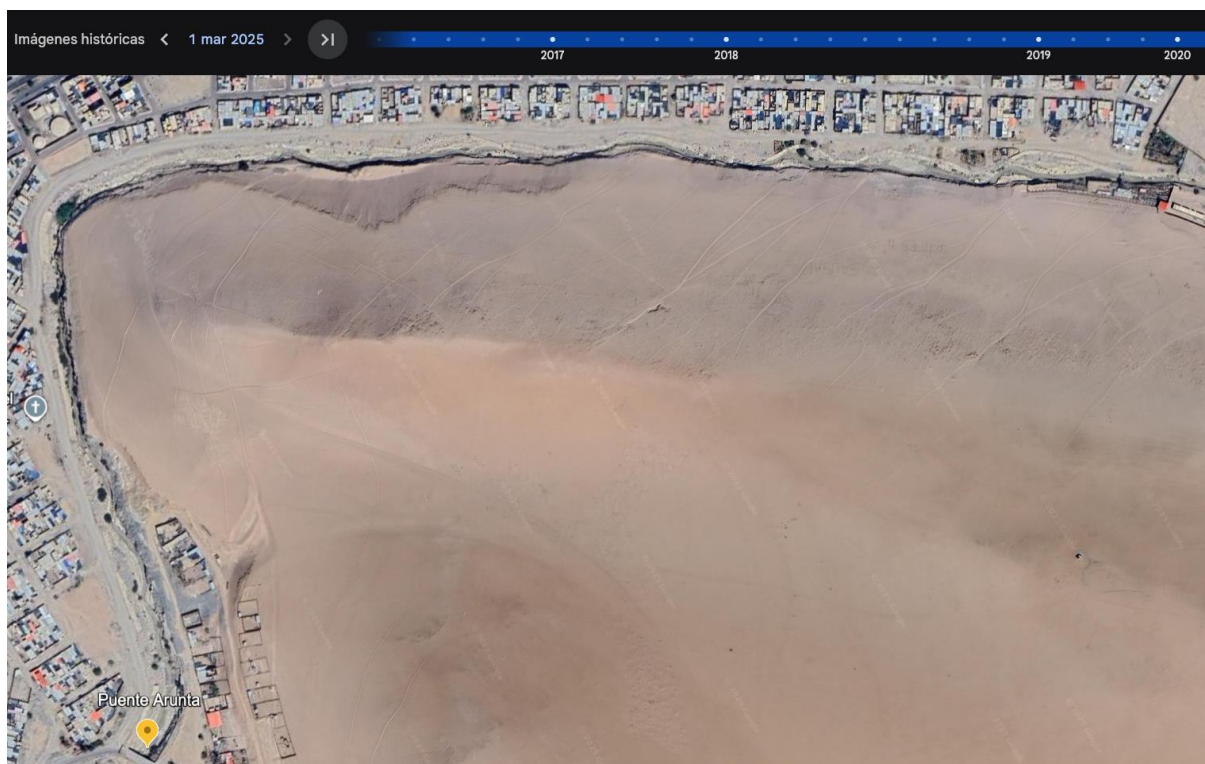
Imagen de Google Earth del 23 de marzo del 2020



Nota. Imagen satelital histórica obtenida de Google Earth Pro el 23 de marzo de 2020, empleada para identificar cambios en la morfología del cauce, variaciones en la dinámica fluvial y evidencias de procesos de erosión o sedimentación relevantes para la delimitación de la faja marginal. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 23

Imagen de Google Earth del 01 de marzo del 2025



Nota. Imagen histórica del área de estudio correspondiente al 01 de marzo de 2025, utilizada como parte del análisis multitemporal de la evolución del cauce durante el período de estudio y como insumo para la delimitación de la faja marginal. Fuente: Google Earth Pro.

7.9 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL

Para la ponderación y evaluación de los factores, parámetros y descriptores que intervienen en el riesgo de inundación fluvial, se empleó una metodología multicriterio. Este enfoque permite analizar de manera simultánea múltiples variables que influyen en el riesgo, tales como la intensidad de las precipitaciones, las características geológicas, la infraestructura expuesta y la eficacia de las medidas de gestión implementadas (CENEPRED, 2014).

Entre los diversos métodos multicriterio utilizados en la evaluación de riesgos, se seleccionó el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ). La principal ventaja de este método radica en su capacidad para integrar criterios cuantitativos, como las pérdidas humanas, económicas y de infraestructura, junto con criterios cualitativos, tales como los programas de capacitación y el cumplimiento de la normativa vigente. Esta integración permite obtener una visión más completa e integral de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) (CENEPRED, 2014).

El PAJ se basa en la construcción de una matriz cuadrada, compuesta por el mismo número de filas y columnas, en la que los criterios son comparados por pares para determinar su importancia relativa. Debido a su flexibilidad metodológica y a la facilidad con la que incorpora el juicio de expertos y de los diferentes actores involucrados, este método es ampliamente utilizado en la Gestión del Riesgo de Desastres, particularmente en la evaluación del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo (CENEPRED, 2014).

A continuación, se presenta la escala de Saaty, la cual constituye el instrumento fundamental para la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico en la evaluación del riesgo de inundación fluvial.

Tabla 6*Escala de comparación de SAATY*

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

Nota. Elaboración propia con base en la escala fundamental de comparación por pares propuesta por Saaty (1980) para la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ).

Al comparar múltiples elementos en pares dentro de una Matriz de Comparación Pareada del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ), existe la posibilidad de que los juicios emitidos por el decisor o el grupo de expertos introduzcan inconsistencias lógicas.

Para garantizar la fiabilidad de las prioridades (pesos) obtenidas, Saaty diseñó el cálculo de la Relación de Consistencia (RC).

En matrices de tamaño de 5x5 en adelante. Si el valor de RC es mayor o igual a 0.10, la matriz debe ser revisada y los juicios deben ajustarse para alcanzar la consistencia requerida y validar los resultados.

7.9.1 *Determinación de Peligro*

La determinación del peligro constituye una etapa fundamental dentro de la evaluación del riesgo de desastres, ya que comprende el análisis y conocimiento de los fenómenos potencialmente dañinos que pueden afectar a un territorio. Su objetivo es identificar, caracterizar y evaluar las condiciones de susceptibilidad existentes frente a una amenaza determinada. Este proceso culmina con la clasificación de los niveles de peligro y la elaboración del correspondiente mapa de peligrosidad, instrumento cartográfico esencial para la gestión del riesgo de desastres (CENEPRED, 2025).

En la presente investigación se consideró como fenómeno de estudio la inundación fluvial del río Seco, debido a que constituye el peligro hidrológico de mayor relevancia en el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa. En consecuencia, la evaluación del peligro se orientó a determinar los niveles de peligrosidad asociados a la ocurrencia de eventos de inundación fluvial en el área de estudio.

Figura 24

Áreas de exposición a inundación en Tacna

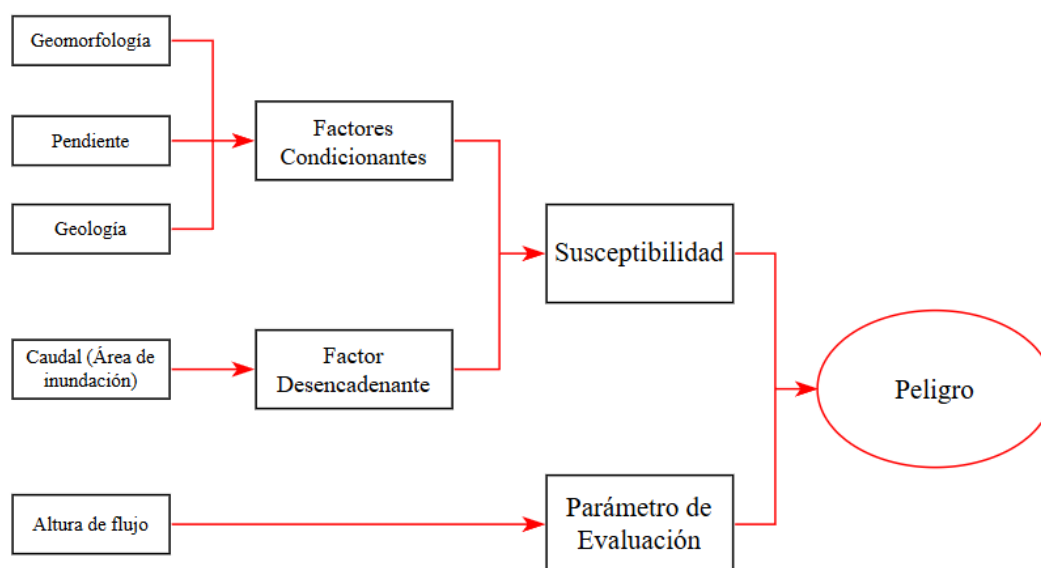


Nota. Elaboración propia con base en información obtenida del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2025).

Para su desarrollo se tomó en cuenta los siguientes factores, parámetros y descriptores

Figura 25

Flujograma para la Determinación del Nivel de Peligro



Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*, por Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014.

7.9.1.1 Parámetro de evaluación

El parámetro de evaluación representa la manifestación de la amenaza dentro del área de influencia del peligro analizado. Este parámetro es consecuencia de la magnitud del factor desencadenante y permite cuantificar la intensidad del fenómeno, constituyendo un elemento fundamental para la determinación de los niveles de peligro (CENEPRED, 2025).

Para caracterizar el fenómeno de inundación fluvial en el área de estudio, se seleccionó como parámetro de evaluación la altura de flujo o tirante de agua correspondiente a un período de retorno (TR) de 500 años. Este período de retorno fue considerado como el escenario de peligro crítico debido a que generó la mayor extensión de inundación, abarcando la totalidad de la zona urbana evaluada.

En consecuencia, y dado que la evaluación del peligro se fundamentó exclusivamente en este parámetro, se le asignó un peso ponderado de 1, equivalente al 100 % de la importancia relativa dentro del análisis multicriterio.

7.9.1.1.1 Ponderación de los descriptores del parámetro de evaluación

Tabla 7

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación – Altura de Flujo

Descriptores	> 1.00m	0.60 - 1.00m	0.20 - 0.60m	0.10 - 0.20m	<= 0.10m
> 1.00m	1.00	4.00	5.00	7.00	9.00
0.60 - 1.00m	0.25	1.00	4.00	5.00	7.00
0.20 - 0.60m	0.20	0.25	1.00	3.00	5.00
0.10 - 0.20m	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
<= 0.10m	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.704	5.593	10.533	16.333	25.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Matriz de normalización del parámetro de evaluación - Altura de Flujo

Descriptores	> 1.00m	0.60 - 1.00m	0.20 - 0.60m	0.10 - 0.20m	<= 0.10m	Vector Priorización
> 1.00m	0.59	0.715	0.475	0.429	0.360	0.513
0.60 - 1.00m	0.15	0.179	0.380	0.306	0.280	0.258
0.20 - 0.60m	0.12	0.045	0.095	0.184	0.200	0.128
0.10 - 0.20m	0.08	0.036	0.032	0.061	0.120	0.066
<= 0.10m	0.07	0.026	0.019	0.020	0.040	0.034

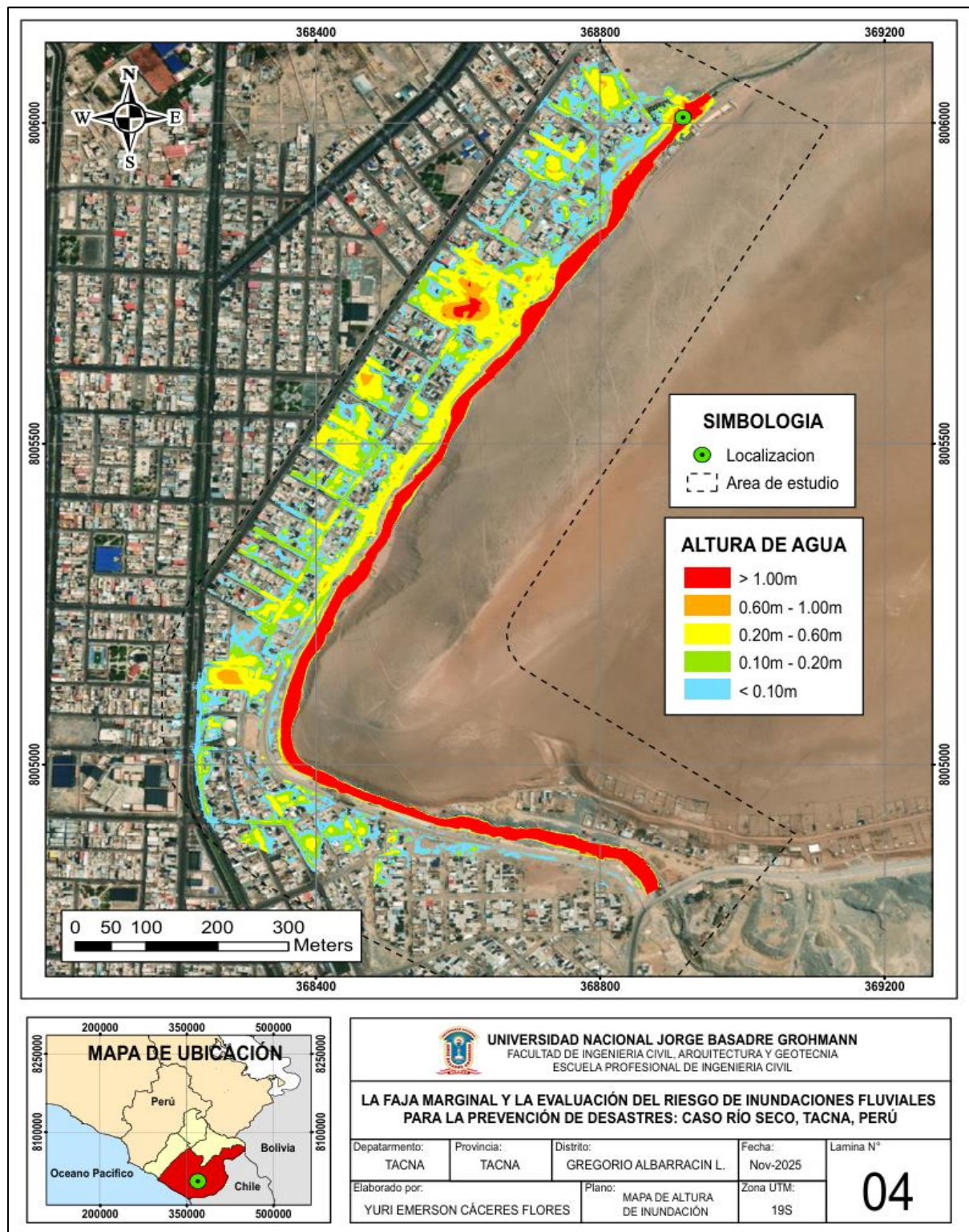
Nota. Elaboración propia.

IC = 0.093

RC = 0.084 = Cumple

Figura 26

Mapa de Altura de inundación (tirante) del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.9.1.2 Determinación de la Susceptibilidad por Inundación fluvial

Para la evaluación de la susceptibilidad en el ámbito de estudio por inundación, se analizaron los factores condicionantes y factores desencadenantes.

7.9.1.2.1 Ponderación de factores condicionantes

Los parámetros considerados son los siguientes:

- Pendiente
- Geomorfología
- Geología

Tabla 9

Matriz de comparación de pares de los parámetros considerados

Parámetros	Pendiente	Geomorfología	Geología
Pendiente	1.00	3.00	5.00
Geomorfología	0.33	1.00	3.00
Geología	0.20	0.33	1.00
Suma	1.533	4.333	9.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Matriz de normalización de los parámetros considerados

Parámetros	Pendiente	Geomorfología	Geología	Vector Priorización
Pendiente	0.65	0.692	0.556	0.633
Geomorfología	0.22	0.231	0.333	0.260
Geología	0.13	0.077	0.111	0.106

Nota. Elaboración propia.

IC = 0.019

RC = 0.037 = Cumple

7.9.1.2.1 Ponderación de los descriptores del parámetro Pendiente

Tabla 11

Matriz de comparación de pares del parámetro Pendiente

Pendiente	0° - 15°	15° - 25°	25° - 50°	50° - 75°	> 75°
0° - 15°	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
15° - 25°	0.33	1.00	2.00	3.00	5.00
25° - 50°	0.20	0.50	1.00	2.00	3.00
50° - 75°	0.14	0.33	0.50	1.00	2.00
> 75°	0.11	0.20	0.33	0.50	1.00
Suma	1.79	5.03	8.83	13.50	20.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Matriz de normalización del parámetro Pendiente

Pendiente	0° - 15°	15° - 25°	25° - 50°	50° - 75°	> 75°	Vector Priorización
0° - 15°	0.56	0.596	0.566	0.519	0.450	0.538
15° - 25°	0.19	0.199	0.226	0.222	0.250	0.217
25° - 50°	0.11	0.099	0.113	0.148	0.150	0.125
50° - 75°	0.08	0.066	0.057	0.074	0.100	0.075
> 75°	0.06	0.040	0.038	0.037	0.050	0.045

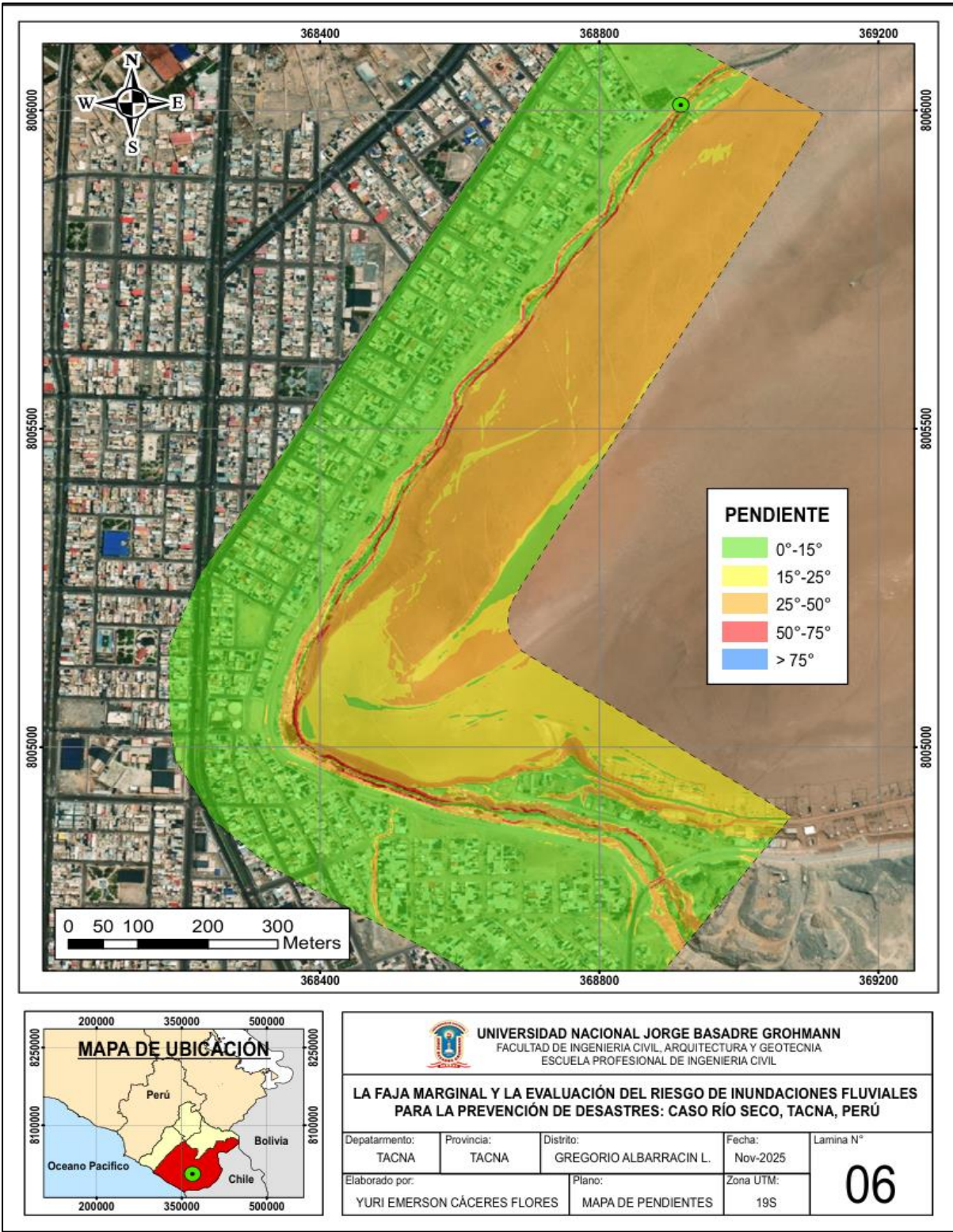
Nota. Elaboración propia.

IC = 0.012

RC = 0.01 = Cumple

Figura 27

Mapa de pendientes del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.9.1.2.1 Ponderación de los descriptores del parámetro Geomorfología

Tabla 13

Matriz de comparación de pares del parámetro Geomorfología

Geomorfología	Cauce del río	Llanura de inundación	Terraza aluvial	Lomada	Escarpe coluvial
Cauce del río	1.00	5.00	7.00	8.00	9.00
Llanura de inundación	0.20	1.00	3.00	5.00	7.00
Terraza aluvial	0.14	0.33	1.00	3.00	5.00
Lomada	0.13	0.20	0.33	1.00	3.00
Escarpe coluvial	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.579	6.676	11.533	17.333	25.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

Matriz de normalización del parámetro Geomorfología

Geomorfología	Cauce del río	Llanura de inundación	Terraza aluvial	Lomada	Escarpe coluvial	Vector Priorización
Cauce del río	0.63	0.749	0.607	0.462	0.360	0.562
Llanura de inundación	0.13	0.150	0.260	0.288	0.280	0.221
Terraza aluvial	0.09	0.050	0.087	0.173	0.200	0.120
Lomada	0.08	0.030	0.029	0.058	0.120	0.063
Escarpe coluvial	0.07	0.021	0.017	0.019	0.040	0.034

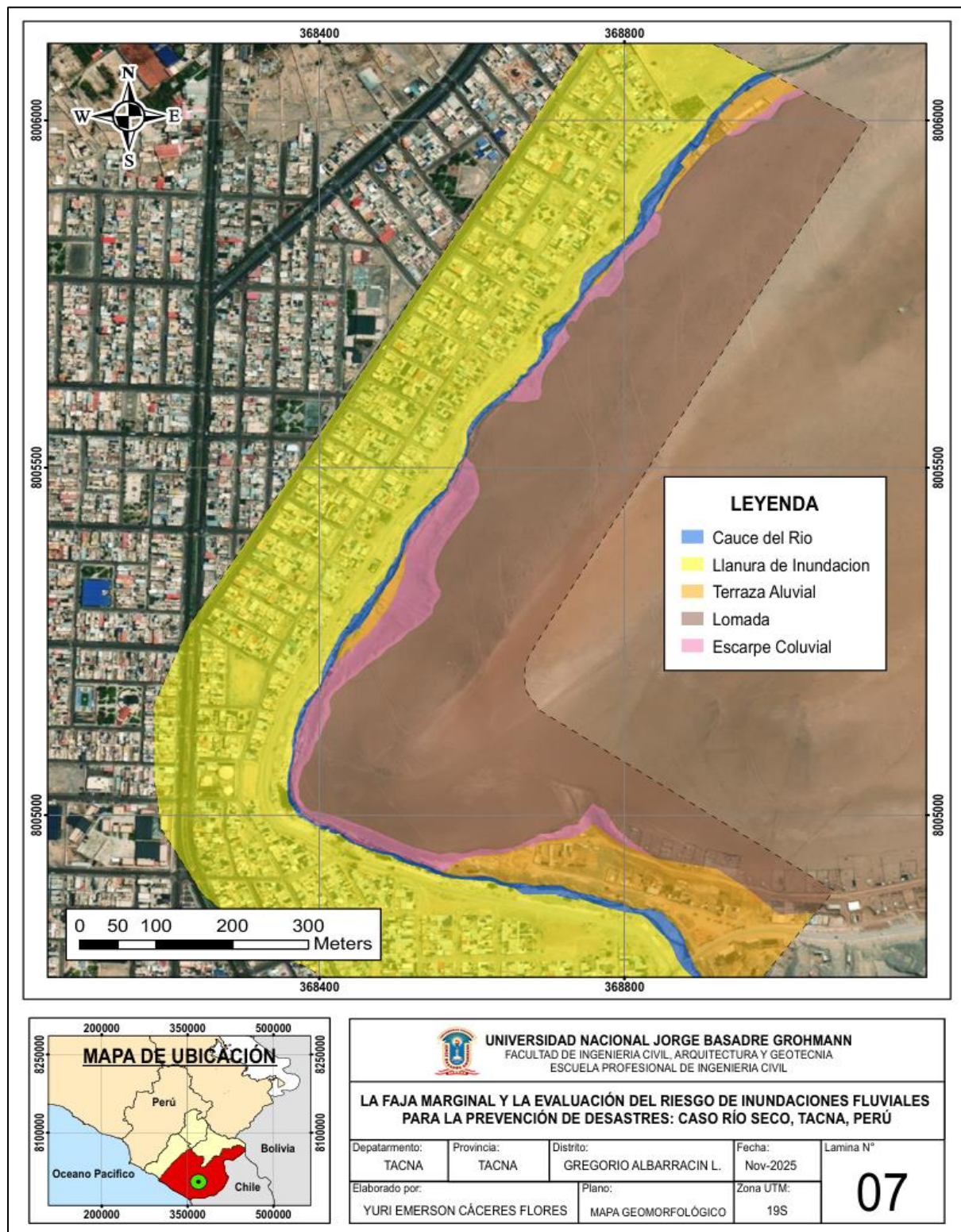
Nota. Elaboración propia.

IC = 0.099

RC = 0.088 = Cumple

Figura 28

Mapa geomorfológico del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.9.1.2.1 Ponderación de los descriptores del parámetro Geología

Tabla 15

Matriz de comparación de pares del parámetro Geología

Geología	Q-fl Depósitos Fluviales	Qh-al Depósitos Aluviales	Qh-col Depósitos Coluviales	Qp-ah Depósitos Aluviales Antiguos	Nm-huay Formación Huaylillas
Q-fl Depósitos Fluviales	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Qh-al Depósitos Aluviales	0.33	1.00	5.00	7.00	9.00
Qh-col Depósitos Coluviales	0.20	0.20	1.00	3.00	5.00
Qp-ah Depósitos Aluviales Antiguos	0.14	0.14	0.33	1.00	3.00
Nm-huay Formación Huaylillas	0.11	0.11	0.20	0.33	1.00
Suma	1.787	4.454	11.533	18.333	27.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16

Matriz de normalización del parámetro Geología

Geología	Q-fl Depósitos Fluviales	Qh-al Depósitos Aluviales	Qh-col Depósitos Coluviales	Qp-ah Depósitos Aluviales Antiguos	Nm-huay Formación Huaylillas	Vector Priorización
Q-fl Depósitos Fluviales	0.56	0.674	0.434	0.382	0.333	0.476
Qh-al Depósitos Aluviales	0.19	0.225	0.434	0.382	0.333	0.312
Qh-col Depósitos Coluviales	0.11	0.045	0.087	0.164	0.185	0.118
Qp-ah Depósitos Aluviales Antiguos	0.08	0.032	0.029	0.055	0.111	0.061
Nm-huay Formación Huaylillas	0.06	0.025	0.017	0.018	0.037	0.032

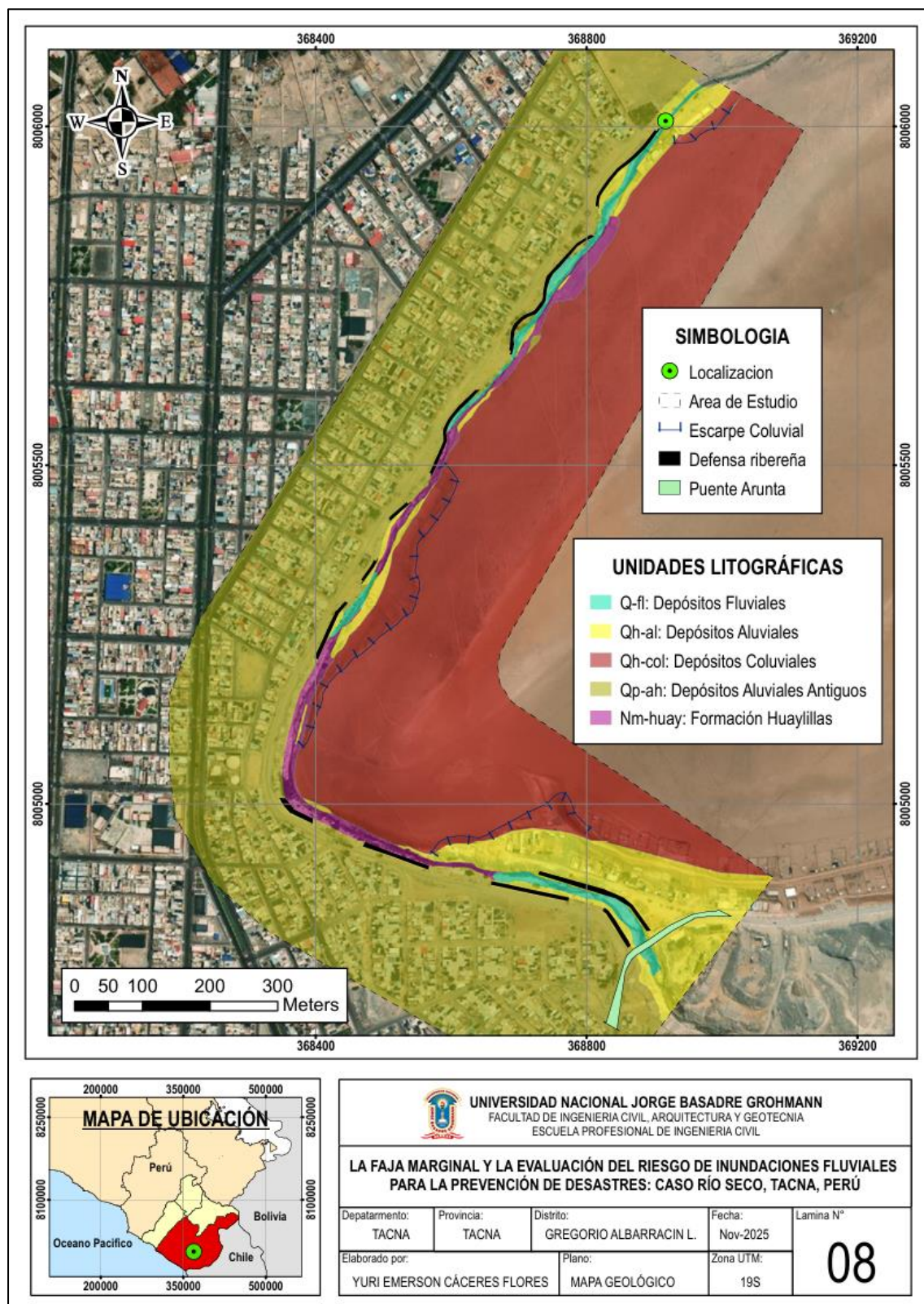
Nota. Elaboración propia.

IC = 0.091

RC = 0.081 = Cumple

Figura 29

Mapa geológico del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

7.9.1.2.1 Ponderación de factor desencadenante

Se estableció un único factor desencadenante de la inundación: el incremento de caudal para diferentes periodos de retorno (10, 50, 100, 200 y 500 años). Este caudal fue representado espacialmente como el área de inundación, la cual se delimitó mediante el modelamiento hidráulico con el *software* HEC-RAS. Dado que este parámetro define la totalidad de la amenaza, se le asigna un peso ponderado de 1.

Tabla 17

Matriz de comparación de pares del parámetro Caudal

Caudal (m3/s)	316 m3/s	179 m3/s	117 m3/s	77 m3/s	29 m3/s
316 m3/s	1.00	4.00	6.00	7.00	9.00
179 m3/s	0.25	1.00	3.00	4.00	7.00
117 m3/s	0.17	0.33	1.00	3.00	4.00
77 m3/s	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
29 m3/s	0.11	0.14	0.25	0.33	1.00
Suma	1.671	5.726	10.583	15.333	24.000

Tabla 18

Matriz de normalización del parámetro Caudal

Caudal (m3/s)	316 m3/s	179 m3/s	117 m3/s	77 m3/s	29 m3/s	Vector Priorización
316 m3/s	0.60	0.699	0.567	0.457	0.375	0.539
179 m3/s	0.15	0.175	0.283	0.261	0.292	0.232
117 m3/s	0.10	0.058	0.094	0.196	0.167	0.123
77 m3/s	0.09	0.044	0.031	0.065	0.125	0.070
29 m3/s	0.07	0.025	0.024	0.022	0.042	0.036

IC = 0.072

RC = 0.065 = Cumple

Figura 30

Mapa de Área de inundación del área de estudio para un $TR= 500$ años



Nota. Elaboración propia.

7.9.2 *Análisis de Vulnerabilidad*

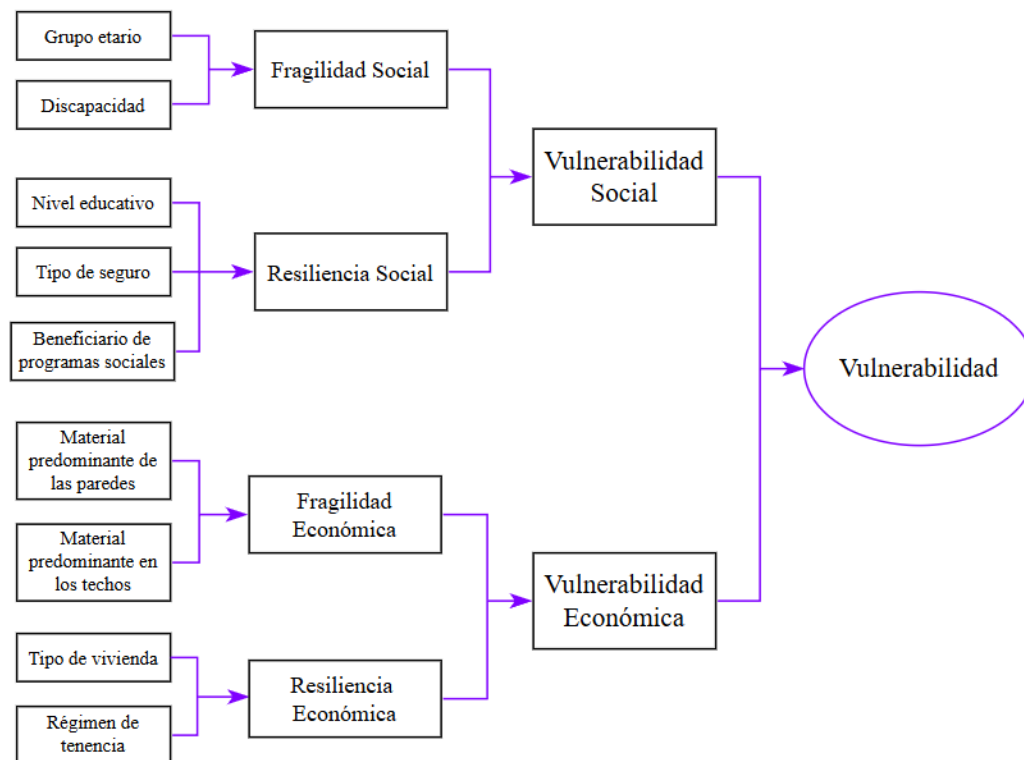
El análisis de vulnerabilidad se realizó mediante la evaluación de las dimensiones social y económica. Para ello, se analizaron los componentes de fragilidad y resiliencia asociados a cada dimensión, así como los descriptores que las conforman. Este procedimiento permitió identificar las condiciones que incrementan o reducen la susceptibilidad de la población y sus medios de vida frente a un evento de inundación fluvial.

Con el propósito de determinar la importancia relativa de las dimensiones, componentes y descriptores considerados en el estudio, se aplicó el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ). Esta metodología permitió establecer las ponderaciones correspondientes mediante comparaciones por pares, contribuyendo a una evaluación integral de la vulnerabilidad (CENEPRED, 2014).

Asimismo, la información utilizada para el análisis provino de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Los datos fueron obtenidos a nivel de manzana, lo que permitió desarrollar un análisis espacial detallado de las condiciones de vulnerabilidad presentes en el área de estudio (INEI, 2018).

Figura 31

Flujograma para determinar la vulnerabilidad



Nota. Adaptado del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, por CENEPRED, 2014.

7.9.2.1 Análisis de Fragilidad Social

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad social son:

- Grupo Etario
- Discapacidad

A continuación, se muestra el proceso de ponderación de los parámetros considerados.

7.9.2.1.1 Ponderación de los descriptores para la Fragilidad Social

Tabla 19

Matriz de comparación de pares del parámetro Grupo Etario

Grupo Etario	De 0 a 5 y de 65 años a mas	de 5 a 12 años y 60 a 65 años	de 12 a 15 años y de 50 a 60 años	de 15 a 30 años	de 30 a 50 años
De 0 a 5 y de 65 años a mas	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
de 5 a 12 años y 60 a 65 años	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
de 12 a 15 años y de 50 a 60 años	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
de 15 a 30 años	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
de 30 a 50 años	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000

Tabla 20

Matriz de normalización del parámetro Grupo Etario

Grupo Etario	De 0 a 5 y de 65 años a mas	de 5 a 12 años y 60 a 65 años	de 12 a 15 años y de 50 a 60 años	de 15 a 30 años	de 30 a 50 años	Vector Priorización
De 0 a 5 y de 65 años a mas	0.56	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
de 5 a 12 años y 60 a 65 años	0.19	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
de 12 a 15 años y de 50 a 60 años	0.11	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
de 15 a 30 años	0.08	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
de 30 a 50 años	0.06	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

IC = 0.061

RC = 0.054 = Cumple

Tabla 21*Matriz de comparación de pares del parámetro Discapacidad*

Discapacidad	Mental o Intelectual	Visual	Para usar brazo y piernas	Para oír y/o para hablar	No tiene
Mental o Intelectual	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Visual	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
Para usar brazo y piernas	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Para oír y/o para hablar	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
No tiene	0.11	0.20	0.33	0.50	1.00
Suma	2.144	4.033	6.833	11.500	20.000

Tabla 22*Matriz de normalización del parámetro Discapacidad*

Discapacidad	Mental o Intelectual	Visual	Para usar brazo y piernas	Para oír y/o para hablar	No tiene	Vector Priorización
Mental o Intelectual	0.47	0.496	0.439	0.435	0.450	0.457
Visual	0.23	0.248	0.293	0.261	0.250	0.257
Para usar brazo y piernas	0.16	0.124	0.146	0.174	0.150	0.150
Para oír y/o para hablar	0.09	0.083	0.073	0.087	0.100	0.087
No tiene	0.05	0.050	0.049	0.043	0.050	0.049

IC = 0.004

RC = 0.004 = Cumple

7.9.2.1 Análisis de la Resiliencia Social

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad social son:

- Nivel Educativo
- Tipo de seguro
- Beneficiario de programas sociales

A continuación, se muestra el proceso de ponderación de los parámetros considerados.

7.9.2.1.1 Ponderación de los parámetros de la Resiliencia Social

Tabla 23

Matriz de comparación de pares de los parámetros considerados

Parámetros de Resiliencia Social	Nivel Educativo	Tipo de seguro	Beneficiario de programas sociales
Nivel Educativo	1.00	2.00	4.00
Tipo de seguro	0.50	1.00	2.00
Beneficiario de programas sociales	0.25	0.50	1.00
Suma	1.750	3.500	7.000

Tabla 24

Matriz de normalización de los parámetros considerados

Parámetros de Resiliencia Social	Nivel Educativo	Tipo de seguro	Beneficiario de programas sociales	Vector Priorización
Nivel Educativo	0.571	0.571	0.571	0.571
Tipo de seguro	0.286	0.286	0.286	0.286
Beneficiario de programas sociales	0.143	0.143	0.143	0.143

IC = 0.00

RC = 0.00 = Cumple

7.9.2.1.2 Ponderación de los descriptores para la Resiliencia Social

Tabla 25

Matriz de comparación de pares del parámetro Nivel Educativo

Nivel Educativo	Ningún Nivel y/o Inicial	Primaria	Secundaria	Superior no Universitario	Superior Universitario y/o posgrado u Otro Similar
Ningún Nivel y/o Inicial	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Primaria	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Secundaria	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Superior no Universitario	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Superior Universitario y/o posgrado u Otro Similar	0.13	0.17	0.25	0.50	1.00
Suma	2.042	3.917	7.750	13.500	21.000

Tabla 26

Matriz de normalización del parámetro Nivel Educativo

Nivel Educativo	Ningún Nivel y/o Inicial	Primaria	Secundaria	Superior no Universitario	Superior Universitario y/o posgrado u Otro Similar	Vector Priorización
Ningún Nivel y/o Inicial	0.49	0.511	0.516	0.444	0.381	0.468
Primaria	0.24	0.255	0.258	0.296	0.286	0.268
Secundaria	0.12	0.128	0.129	0.148	0.190	0.144
Superior no Universitario	0.08	0.064	0.065	0.074	0.095	0.076
Superior Universitario y/o posgrado u Otro Similar	0.06	0.043	0.032	0.037	0.048	0.044

IC = 0.012

RC = 0.010 = Cumple

Tabla 27*Matriz de comparación de pares del parámetro Tipo de Seguro*

Tipo de seguro	Ningún Seguro de Salud	Seguro de Salud Parcial	Entidades Prestadoras de Salud - EPS	ESSALUD	SIS - Seguro Integral de Salud
Ningún Seguro de Salud	1.00	2.00	4.00	6.00	7.00
Seguro de Salud Parcial	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Entidades Prestadoras de Salud - EPS	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
ESSALUD	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
SIS - Seguro Integral de Salud	0.14	0.17	0.25	0.50	1.00
Suma	2.060	3.917	7.750	13.500	20.000

Tabla 28*Matriz de normalización del parámetro Tipo de Seguro*

Tipo de seguro	Ningún Seguro de Salud	Seguro de Salud Parcial	Entidades Prestadoras de Salud - EPS	ESSALUD	SIS - Seguro Integral de Salud	Vector Priorización
Ningún Seguro de Salud	0.49	0.511	0.516	0.444	0.350	0.461
Seguro de Salud Parcial	0.24	0.255	0.258	0.296	0.300	0.270
Entidades Prestadoras de Salud - EPS	0.12	0.128	0.129	0.148	0.200	0.145
ESSALUD	0.08	0.064	0.065	0.074	0.100	0.077
SIS - Seguro Integral de Salud	0.07	0.043	0.032	0.037	0.050	0.046

IC = 0.016

RC = 0.015 = Cumple

Tabla 29

Matriz de comparación de pares del parámetro Beneficiario de Programas Sociales

Beneficiario de programas sociales	Papilla o cuna mas	Juntos y/o pensión 65 y/u otros	Vaso de leche y/o comedor popular	Techo propio o Mi vivienda	Ninguno
Papilla o cuna mas	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Juntos y/o pensión 65 y/u otros	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Vaso de leche y/o comedor popular	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Techo propio o Mi vivienda	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Ninguno	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000

Tabla 30

Matriz de normalización del parámetro Beneficiario de Programas Sociales

Beneficiario de programas sociales	Papilla o cuna mas	Juntos y/o pensión 65 y/u otros	Vaso de leche y/o comedor popular	Techo propio o Mi vivienda	Ninguno	Vector Priorización
Papilla o cuna mas	0.56	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Juntos y/o pensión 65 y/u otros	0.19	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Vaso de leche y/o comedor popular	0.11	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Techo propio o Mi vivienda	0.08	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Ninguno	0.06	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

IC = 0.061

RC = 0.054 = Cumple

7.9.2.2 Análisis de Fragilidad Económica

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad económica son:

- Material predominante de las paredes
- Material predominante en los techos

A continuación, se muestra el proceso de ponderación de los parámetros considerados.

7.9.2.2.1 Ponderación de los descriptores para la Fragilidad Económica

Tabla 31

Matriz de comparación de pares del parámetro Material Predominante de las Paredes

Material predominante de las paredes	Adobe	Estera	Quincha	Madera	Ladrillo
Adobe	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Estera	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
Quincha	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
Madera	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
Ladrillo	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	2.042	3.676	8.533	15.333	24.000

Tabla 32

Matriz de normalización del parámetro Material Predominante de las Paredes

Material predominante de las paredes	Adobe	Estera	Quincha	Madera	Ladrillo	Vector Priorización
Adobe	0.49	0.544	0.469	0.391	0.333	0.445
Estera	0.24	0.272	0.352	0.326	0.292	0.297
Quincha	0.12	0.091	0.117	0.196	0.208	0.147
Madera	0.08	0.054	0.039	0.065	0.125	0.073
Ladrillo	0.06	0.039	0.023	0.022	0.042	0.037

IC = 0.047

RC = 0.042 = Cumple

Tabla 33*Matriz de comparación de pares del parámetro Material Predominante en los Techos*

Material predominante en los techos	Otro material (Cartón, plástico, entre otros similares)	Estera y/o Paja	Madera y/o Caña	Plancha de calamina y/o Tejas	Concreto armado
Otro material (Cartón, plástico, entre otros similares)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Estera y/o Paja	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Madera y/o Caña	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Plancha de calamina y/o Tejas	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Concreto armado	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000

Tabla 34*Matriz de normalización del parámetro Material Predominante en los Techos*

Material predominante en los techos	Otro material (Cartón, plástico, entre otros similares)	Estera y/o Paja	Madera y/o Caña	Plancha de calamina y/o Tejas	Concreto armado	Vector Priorización
Otro material (Cartón, plástico, entre otros similares)	0.56	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Estera y/o Paja	0.19	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Madera y/o Caña	0.11	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Plancha de calamina y/o Tejas	0.08	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Concreto armado	0.06	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

IC = 0.061

RC = 0.054 = Cumple

7.9.2.3 Análisis de la Resiliencia Económica

Los parámetros considerados para el análisis de la resiliencia económica son:

- Tipo de vivienda
- Régimen de tenencia

A continuación, se muestra el proceso de ponderación de los parámetros considerados.

7.9.2.3.1 Ponderación de los descriptores para la Resiliencia Económica

Tabla 35

Matriz de comparación de pares del parámetro Tipo de Vivienda

Tipo de vivienda	No destinado para habitación, otro tipo	Choza y/o Vivienda improvisada	Vivienda en quinta y/o Vivienda en casa vecindad	Departamento en edificio	Casa Independiente
No destinado para habitación, otro tipo	1.00	3.00	6.00	8.00	9.00
Choza y/o Vivienda improvisada	0.33	1.00	3.00	6.00	8.00
Vivienda en quinta y/o Vivienda en casa vecindad	0.17	0.33	1.00	3.00	6.00
Departamento en edificio	0.13	0.17	0.33	1.00	3.00
Casa Independiente	0.11	0.13	0.17	0.33	1.00
Suma	1.736	4.625	10.500	18.333	27.000

Tabla 36

Matriz de normalización del parámetro Tipo de Vivienda

Tipo de vivienda	No destinado para habitación, otro tipo	Choza y/o Vivienda improvisada	Vivienda en quinta y/o Vivienda en casa vecindad	Departamento en edificio	Casa Independiente	Vector Priorización
No destinado para habitación, otro tipo	0.58	0.649	0.571	0.436	0.333	0.513
Choza y/o Vivienda improvisada	0.19	0.216	0.286	0.327	0.296	0.263
Vivienda en quinta y/o Vivienda en casa vecindad	0.10	0.072	0.095	0.164	0.222	0.130
Departamento en edificio	0.07	0.036	0.032	0.055	0.111	0.061
Casa Independiente	0.06	0.027	0.016	0.018	0.037	0.032

IC = 0.073

RC = 0.066 = Cumple

Tabla 37

Matriz de comparación de pares del parámetro Régimen de Tenencia

Régimen de tenencia	Otro tipo de tenencia	Cedida por el centro de trabajo	Alquilada	Propia por invasión	Propia, pagándola o pagada
Otro tipo de tenencia	1.00	3.00	4.00	8.00	9.00
Cedida por el centro de trabajo	0.33	1.00	3.00	4.00	8.00
Alquilada	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
Propia por invasión	0.13	0.25	0.33	1.00	3.00
Propia, pagándola o pagada	0.11	0.13	0.25	0.33	1.00
Suma	1.819	4.708	8.583	16.333	25.000

Tabla 38

Matriz de normalización del parámetro Régimen de Tenencia

Régimen de tenencia	Otro tipo de tenencia	Cedida por el centro de trabajo	Alquilada	Propia por invasión	Propia, pagándola o pagada	Vector Priorización
Otro tipo de tenencia	0.55	0.637	0.466	0.490	0.360	0.501
Cedida por el centro de trabajo	0.18	0.212	0.350	0.245	0.320	0.262
Alquilada	0.14	0.071	0.117	0.184	0.160	0.134
Propia por invasión	0.07	0.053	0.039	0.061	0.120	0.068
Propia, pagándola o pagada	0.06	0.027	0.029	0.020	0.040	0.035

IC = 0.050

RC = 0.045 = Cumple

7.9.3 *Determinación del Riesgo*

El riesgo constituye la probabilidad de que un fenómeno peligroso genere consecuencias adversas sobre la población, la infraestructura, los servicios y las actividades económicas expuestas. En este sentido, el riesgo surge de la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, permitiendo estimar las posibles pérdidas y efectos sociales, económicos y ambientales derivados de la ocurrencia de un evento potencialmente destructivo (CENEPRED, 2014).

De acuerdo con la Ley N.º 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), el riesgo es una función del peligro y la vulnerabilidad. Por ello, la estimación del riesgo se fundamenta en la evaluación integrada de ambos componentes, lo que permite determinar los niveles de riesgo existentes en el área de estudio (CENEPRED, 2014).

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

R: Riesgo

f: En función

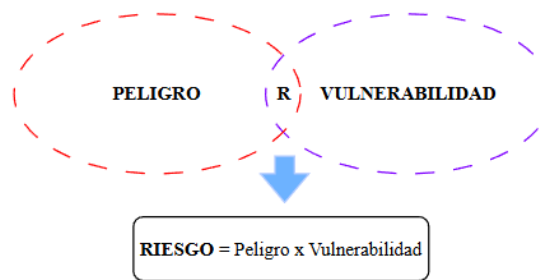
P_i : Peligro con la intensidad mayor o igual a “i” durante un periodo de exposición “t”

V_e : Vulnerabilidad de un elemento expuesto “e”

En ese sentido, para el cálculo de los niveles de riesgo ante inundación fluvial, se realizará el producto aritmético de los niveles de peligro y los niveles de vulnerabilidad

Figura 32

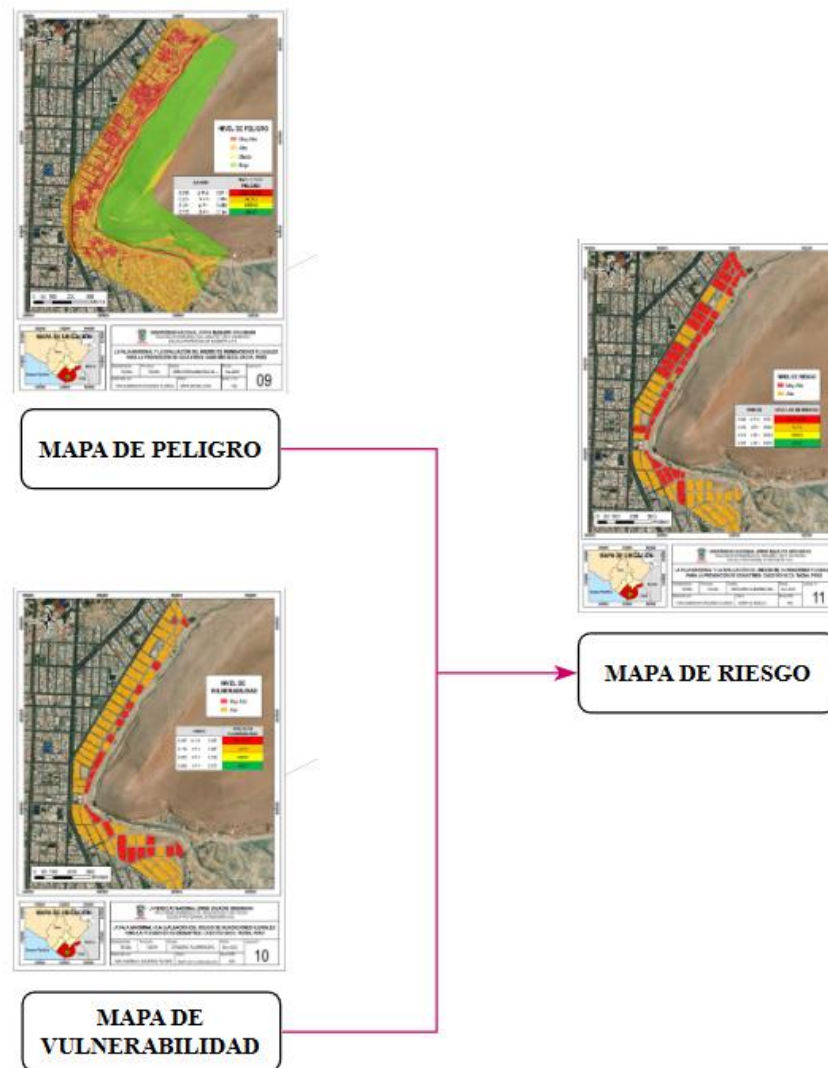
Cálculo de niveles de Riesgo



Nota. Adaptado del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, por CENEPRED, 2014.

Figura 33

Flujograma para estimar los niveles de riesgo



Nota. Adaptado de Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED, 2014).

CAPITULO IV

RESULTADOS

8.1 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN HEC RAS

Los resultados obtenidos mediante la simulación hidráulica bidimensional (2D) para los diferentes períodos de retorno, bajo los parámetros establecidos en la presente investigación, indicaron que no se produjo el desbordamiento del cauce para los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años. En contraste, el único escenario en el que se proyectó un desborde potencial correspondió al período de retorno de 500 años, considerado como el evento hidrológico más extremo analizado.

Este comportamiento se explica porque el modelamiento hidráulico evidenció que el desbordamiento comenzaría a producirse cuando el caudal superara aproximadamente los 250 m³/s, valor que excede la capacidad hidráulica del cauce en las secciones identificadas como críticas dentro del área de estudio.

Asimismo, es importante señalar que la simulación no consideró el transporte de sedimentos. Por consiguiente, los resultados obtenidos para los tirantes de agua podrían experimentar variaciones en función de las condiciones geomorfológicas futuras del cauce. Procesos como la erosión del lecho, la sedimentación o la acumulación de material y obstrucciones podrían modificar la capacidad hidráulica real del río y, en consecuencia, alterar los niveles de inundación estimados por el modelo.

Tabla 39*Área de inundación para los diferentes periodos de retorno*

	TR = 10 años (29 m3/s)	TR = 50 años (77 m3/s)	TR = 100 años (117 m3/s)	TR = 200 años (179 m3/s)	TR = 500 años (316 m3/s)
Área de inundación	17773.79 m2	21109.80 m2	23166.67 m2	26042.08 m2	141573.85 m2

Tabla 40*Velocidad máxima de flujo para los diferentes periodos de retorno*

	TR = 10 años (29 m3/s)	TR = 50 años (77 m3/s)	TR = 100 años (117 m3/s)	TR = 200 años (179 m3/s)	TR = 500 años (316 m3/s)
Velocidad máxima de flujo	4.59 m/s	5.77 m/s	6.61 m/s	7.49 m/s	9.30 m/s

Tabla 41*Tirante máximo de flujo para lo diferentes periodos de retorno*

	TR = 10 años (29 m3/s)	TR = 50 años (77 m3/s)	TR = 100 años (117 m3/s)	TR = 200 años (179 m3/s)	TR = 500 años (316 m3/s)
Tirante máximo de flujo	5.11 m	6.59 m	7.32 m	8.27 m	9.80 m

Figura 34

Simulación hidráulica en 2D para los diferentes periodos de retorno en HEC-RAS



Simulación Hidráulica en HEC-RAS (TR=10)



Simulación Hidráulica en HEC-RAS (TR=50)



Simulación Hidráulica en HEC-RAS (TR=100)



Simulación Hidráulica en HEC-RAS (TR=200)



Simulación Hidráulica en HEC-RAS (TR=500)

Nota. Elaboración propia.

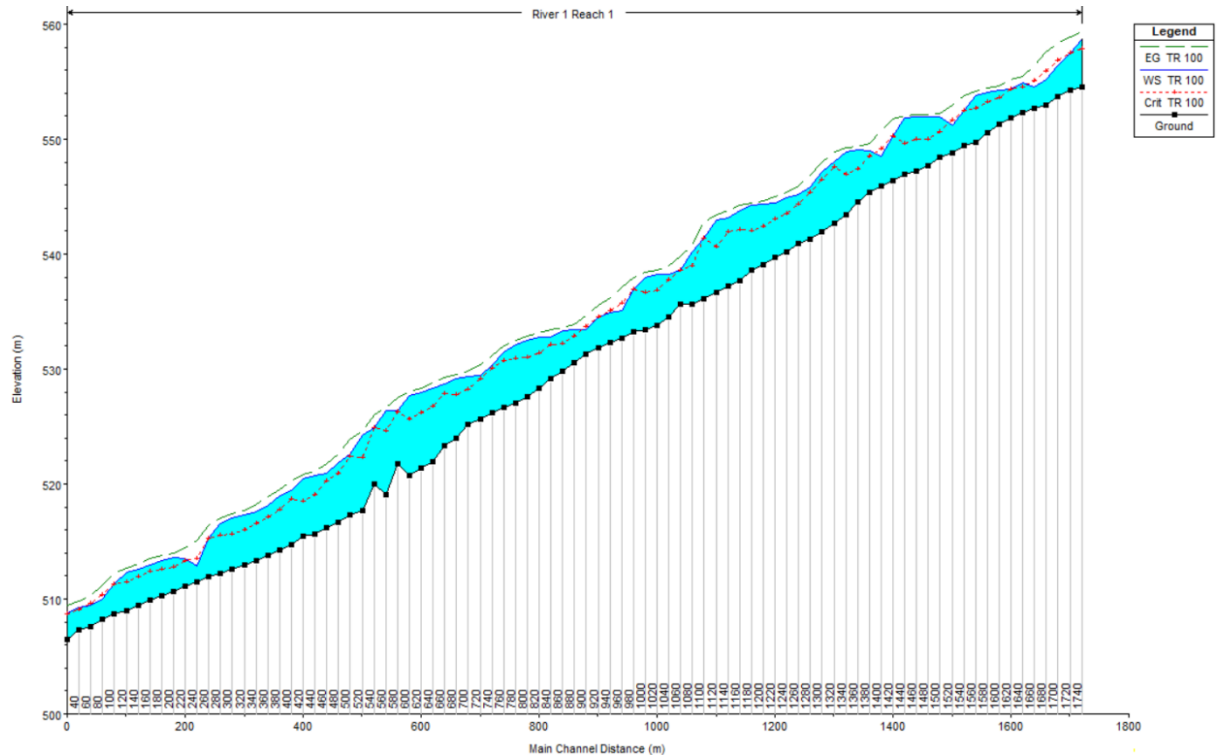
Para la delimitación de la faja marginal se realizó la simulación hidráulica en 1D para un período de retorno de 100 años.

En el perfil longitudinal, los fenómenos hidráulicos de mayor importancia se localizaron aguas abajo del tramo modelado. El primer fenómeno fue un efecto de remanso producido por la presencia de obstrucciones en el fondo del río y un estrechamiento significativo del cauce en esa zona. Seguidamente, se identificó un resalto hidráulico generado por una pendiente pronunciada en el terreno de la misma sección, el cual provocó una disipación violenta de energía.

A continuación, se presentó el perfil longitudinal del río, destacando la distribución de las velocidades máximas y los tirantes máximos del flujo a lo largo de la sección de estudio.

Figura 35

Perfil longitudinal del cauce de Río Seco para un periodo de retorno de 100 años

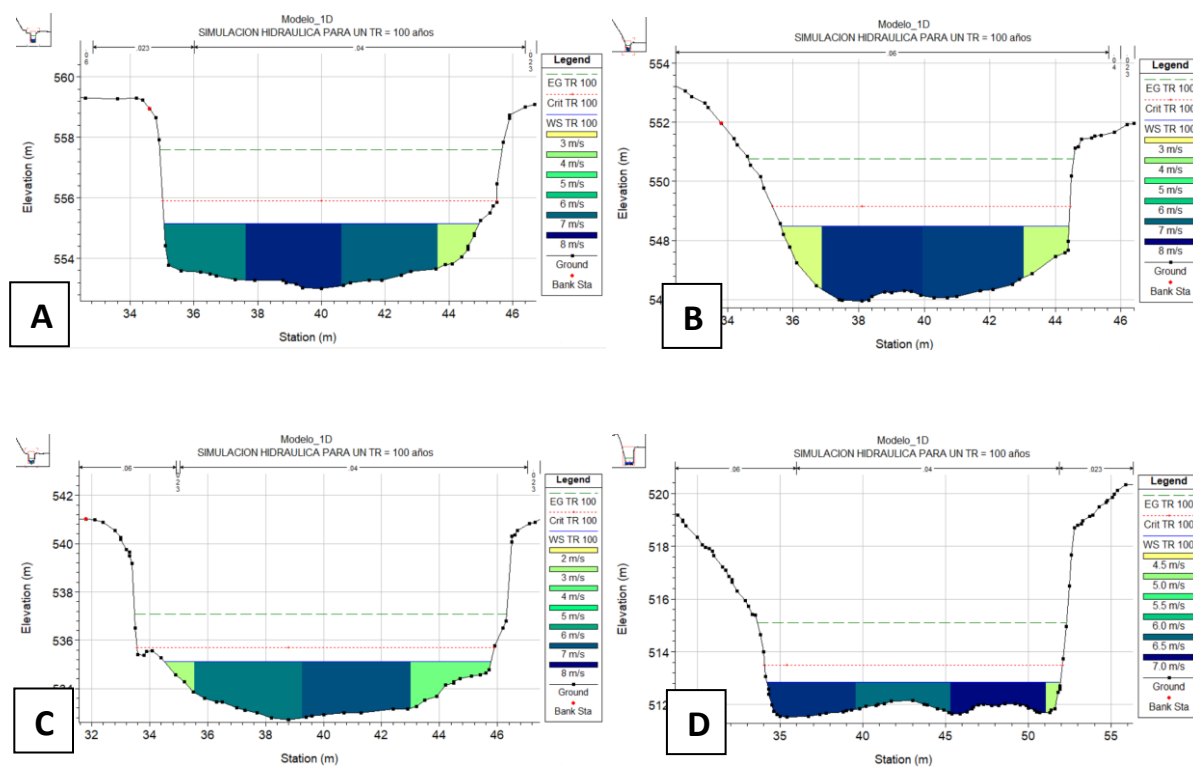


Nota. Elaboración propia.

Se ha determinado que, en ciertas secciones transversales, el flujo presentó un régimen supercrítico. La razón fundamental de esta alta velocidad se atribuyó a una combinación de factores geomorfológicos e hidráulicos: el amplio ancho del cauce en esas secciones específicas, sumado a un coeficiente de rugosidad bajo y la no existencia de obstrucciones significativas que disipen la energía.

Figura 36

Secciones transversales de las velocidades máximas del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco



Nota. (A) Velocidades en la sección de la progresiva Km 0+070. (B) Velocidades en la sección de la progresiva Km 0+350. (C) Velocidades en la sección de la progresiva Km 0+790. (D) Velocidades en la sección de la progresiva Km 1+510. Elaboración propia.

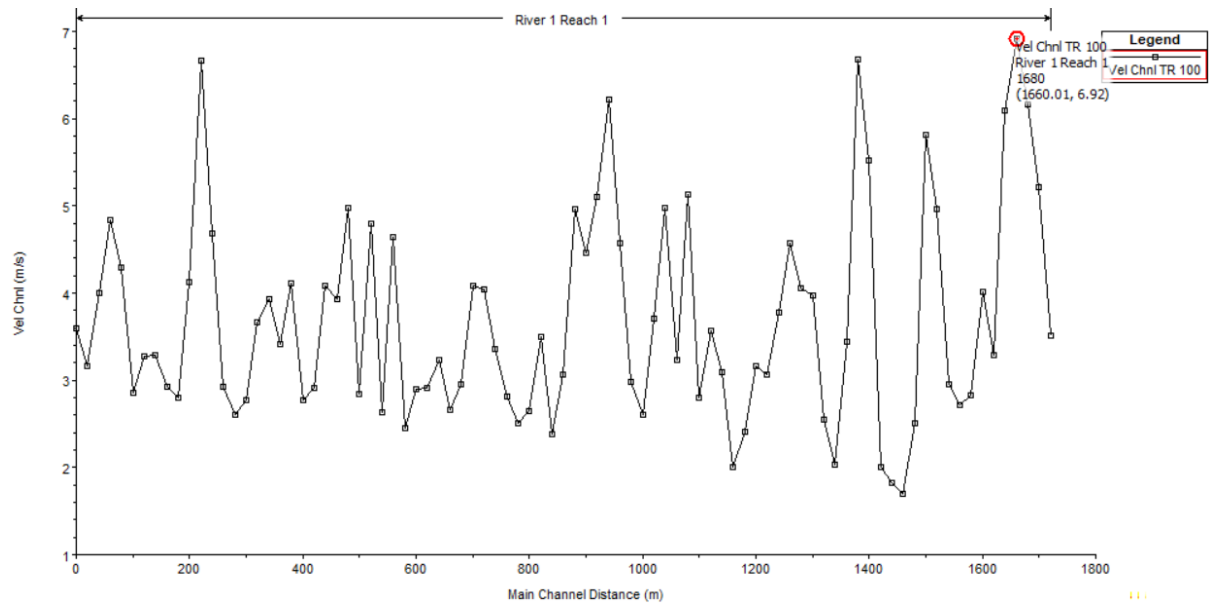
Tabla 42

Velocidades máximas del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco

Progresiva	Velocidades máximas (m/s)
Km 0+070	6.92
Km 0+350	6.68
Km 0+790	6.21
Km 1+510	6.66

Figura 37

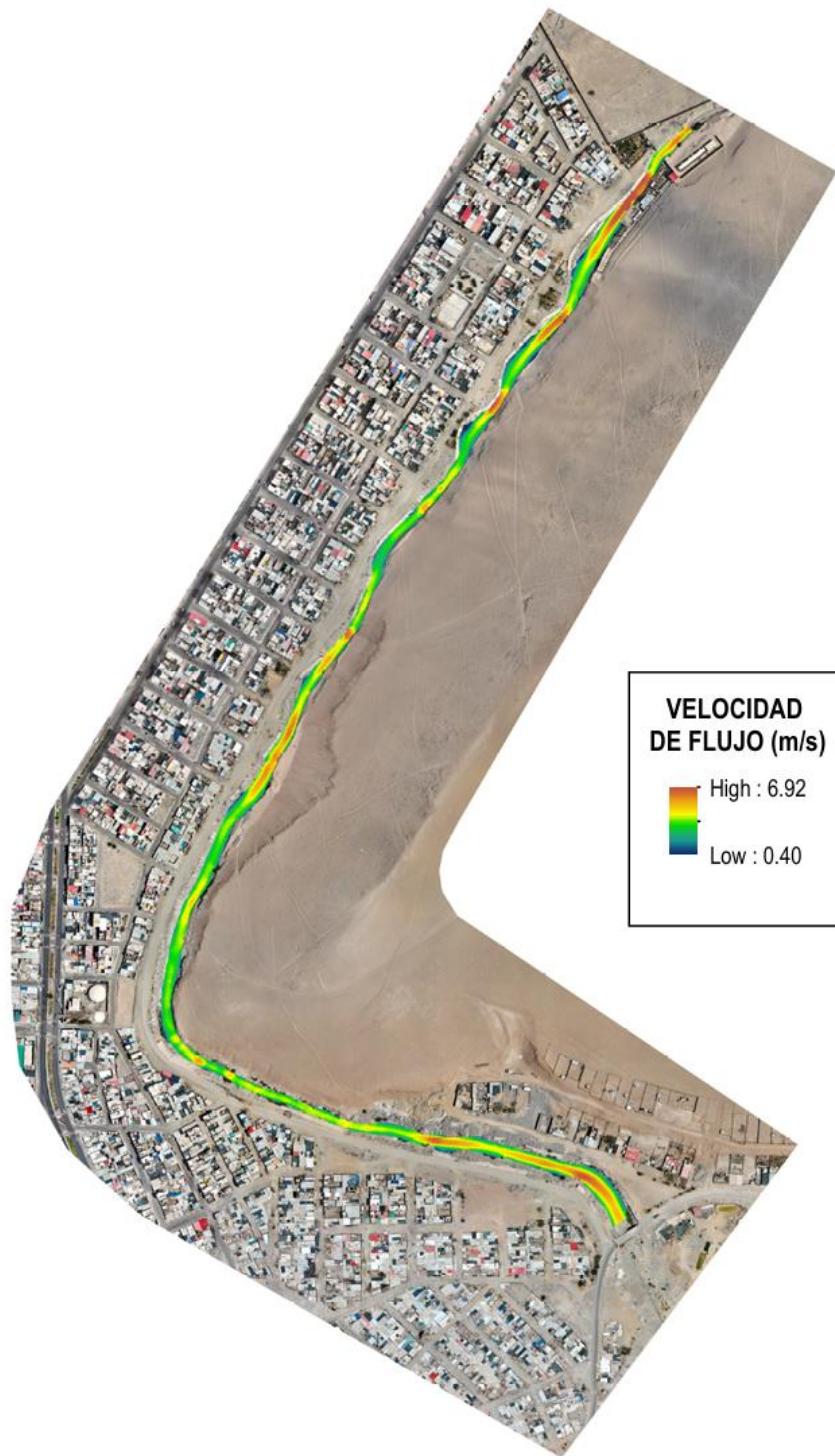
Perfil general de las velocidades de flujo para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

Planta general de las velocidades de flujo para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco

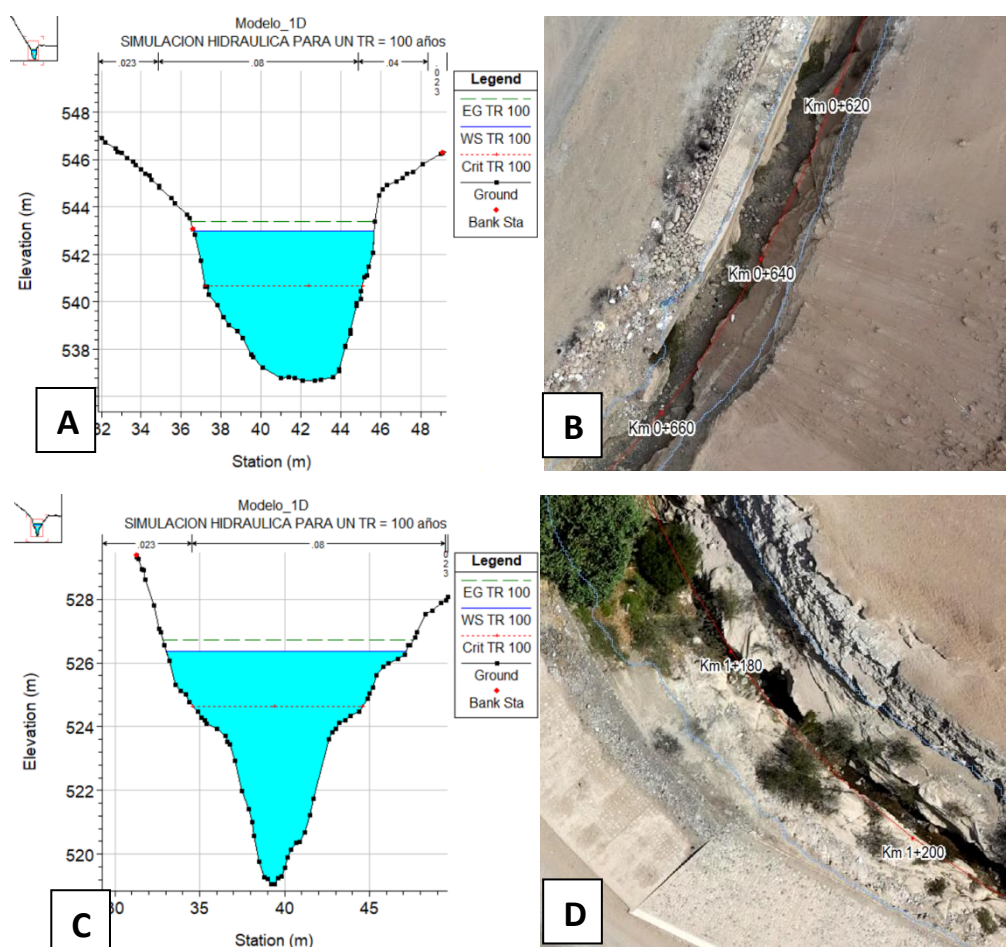


Nota. Elaboración propia

En cuanto a la variable de los tirantes, se observó que en el tramo de análisis predominó un régimen de flujo subcrítico. La razón principal de la magnitud de este alto tirante fue el estrechamiento físico del cauce existente en esa zona específica, lo cual redujo la sección transversal disponible para el flujo. Adicionalmente, este efecto se potenció por la presencia de obstrucciones de arbustos y vegetación en la zona inmediatamente aguas arriba, lo que incrementó el coeficiente de rugosidad y, por consiguiente, generó un efecto de remanso que elevó el nivel de la lámina de agua.

Figura 39

Secciones transversales de los tirantes máximos del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco



Nota. (A) Tirante en la sección de la progresiva Km 0+630. (B) Vista en planta de la progresiva Km 0+630. (C) Tirante en la sección de la progresiva Km 1+190. (D) Vista en planta de la progresiva Km 1+190. Fuente: elaboración propia.

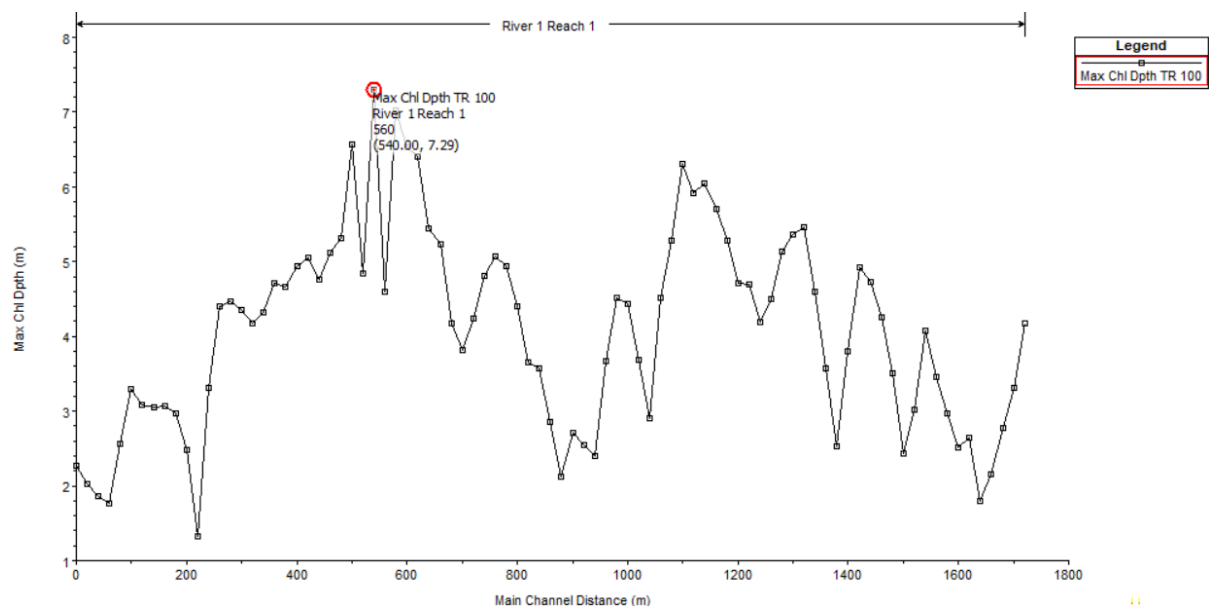
Tabla 43

Tirantes máximos del modelamiento 1D para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco

Progresiva	Tirantes máximos (m)
Km 0+630	6.31
Km 1+190	7.29

Figura 40

Perfil general de los tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años en el Río Seco



Nota. Elaboración propia.

8.2 RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DE FAJA

MARGINAL

El proceso de delimitación de la Faja Marginal del Río Seco integró los resultados del modelamiento hidráulico realizado en HEC-RAS con la evaluación de la evolución histórica del cauce. En este sentido, se descartó la aplicación de un ancho uniforme de 4 m, debido a que las condiciones hidráulicas del río presentan variaciones significativas a lo largo del tramo analizado.

Los resultados del modelo hidráulico evidenciaron velocidades de flujo superiores a 3 m/s en la mayor parte del cauce, alcanzando un valor máximo de 6,92 m/s en la progresiva Km 0+070. Estas condiciones justifican la asignación de anchos variables en la faja marginal, especialmente en las zonas identificadas como críticas, debido a su alta susceptibilidad a procesos de socavación.

Tabla 44

Vértices de delimitación de faja marginal del cauce Río Seco

FAJA MARGINAL - RÍO SECO SECTOR ARUNTA - MARGEN DERECHO			FAJA MARGINAL - RÍO SECO SECTOR ARUNTA - MARGEN IZQUIERDO		
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HD-01	368855.997	8004796.487	HI-01	368897.702	8004816.523
HD-02	368825.111	8004836.946	HI-02	368864.894	8004864.149
HD-03	368764.786	8004854.541	HI-03	368810.575	8004890.342
HD-04	368705.519	8004866.844	HI-04	368777.555	8004899.762
HD-05	368634.897	8004882.415	HI-05	368736.280	8004911.403
HD-06	368565.841	8004899.172	HI-06	368695.428	8004918.600
HD-07	368505.383	8004920.338	HI-07	368654.365	8004923.680
HD-08	368445.539	8004940.703	HI-08	368595.892	8004933.364
HD-09	368419.847	8004953.235	HI-09	368555.228	8004931.481
HD-10	368388.920	8004971.075	HI-10	368510.140	8004948.101
HD-11	368360.788	8004986.352	HI-11	368452.857	8004971.914
HD-12	368345.178	8005004.608	HI-12	368393.723	8005002.076
HD-13	368337.351	8005029.298	HI-13	368374.805	8005024.169
HD-14	368337.200	8005061.275	HI-14	368372.556	8005061.607
HD-15	368344.913	8005108.457	HI-15	368388.299	8005117.699

HD-16	368365.154	8005169.444	HI-16	368406.158	8005168.499
HD-17	368393.464	8005222.361	HI-17	368451.019	8005251.764
HD-18	368422.970	8005279.330	HI-18	368489.595	8005312.407
HD-19	368449.953	8005323.564	HI-19	368519.599	8005372.255
HD-20	368480.645	8005376.613	HI-20	368559.604	8005440.677
HD-21	368505.615	8005424.131	HI-21	368590.719	8005486.238
HD-22	368546.335	8005480.250	HI-22	368617.865	8005554.977
HD-23	368578.938	8005537.480	HI-23	368670.888	8005616.890
HD-24	368602.750	8005586.031	HI-24	368713.592	8005664.673
HD-25	368650.243	8005645.563	HI-25	368748.993	8005730.237
HD-26	368673.659	8005681.678	HI-26	368792.491	8005795.325
HD-27	368694.032	8005718.059	HI-27	368839.639	8005846.919
HD-28	368722.230	8005759.174	HI-28	368879.337	8005906.522
HD-29	368751.975	8005802.725	HI-29	368919.160	8005962.793
HD-30	368777.376	8005840.693	HI-30	368942.443	8005982.505
HD-31	368809.386	8005892.320			
HD-32	368820.020	8005912.527			
HD-33	368842.728	8005941.235			
HD-34	368881.298	8005982.218			
HD-35	368910.594	8006023.124			

Tabla 45

Anchos de faja marginal

FAJA MARGINAL			FAJA MARGINAL		
MARGEN DERECHO (m)	PROGRESIVA	MARGEN IZQUIERDO (m)	MARGEN DERECHO (m)	PROGRESIVA	MARGEN IZQUIERDO (m)
10	Km 0+020	27	9	Km 0+900	11
12	Km 0+040	21	10	Km 0+920	14
12	Km 0+060	22	11	Km 0+940	12
12	Km 0+080	24	12	Km 0+960	9
13	Km 0+100	19	14	Km 0+980	8
15	Km 0+120	19	15	Km 1+000	10
16	Km 0+140	19	14	Km 1+020	13
14	Km 0+160	17	14	Km 1+040	13
21	Km 0+180	12	14	Km 1+060	11
27	Km 0+200	8	17	Km 1+080	8
24	Km 0+220	8	16	Km 1+100	7
20	Km 0+240	8	16	Km 1+120	7
14	Km 0+260	7	16	Km 1+140	10
11	Km 0+280	7	15	Km 1+160	8
10	Km 0+300	11	15	Km 1+180	9
17	Km 0+320	10	13	Km 1+200	7

22	Km 0+340	9	12	Km 1+220	8
16	Km 0+360	12	14	Km 1+240	6
10	Km 0+380	14	14	Km 1+260	8
11	Km 0+400	15	14	Km 1+280	9
20	Km 0+420	11	12	Km 1+300	8
19	Km 0+440	9	12	Km 1+320	7
17	Km 0+460	8	10	Km 1+340	8
14	Km 0+480	8	11	Km 1+360	8
14	Km 0+500	8	10	Km 1+380	8
12	Km 0+520	10	9	Km 1+400	15
9	Km 0+540	11	10	Km 1+420	19
5	Km 0+560	8	12	Km 1+440	15
9	Km 0+580	6	13	Km 1+460	15
14	Km 0+600	9	12	Km 1+480	20
17	Km 0+620	10	12	Km 1+500	20
18	Km 0+640	8	11	Km 1+520	21
18	Km 0+660	7	17	Km 1+540	16
16	Km 0+680	7	17	Km 1+560	18
15	Km 0+700	11	17	Km 1+580	18
12	Km 0+720	11	15	Km 1+600	19
12	Km 0+740	14	13	Km 1+620	19
15	Km 0+760	11	12	Km 1+640	17
17	Km 0+780	9	15	Km 1+660	13
18	Km 0+800	7	13	Km 1+680	9
17	Km 0+820	10	14	Km 1+700	11
18	Km 0+840	9	15	Km 1+720	11
18	Km 0+860	6	10	Km 1+740	13
12	Km 0+880	6			

8.2.1 Propuesta de instalación de hitos físicos

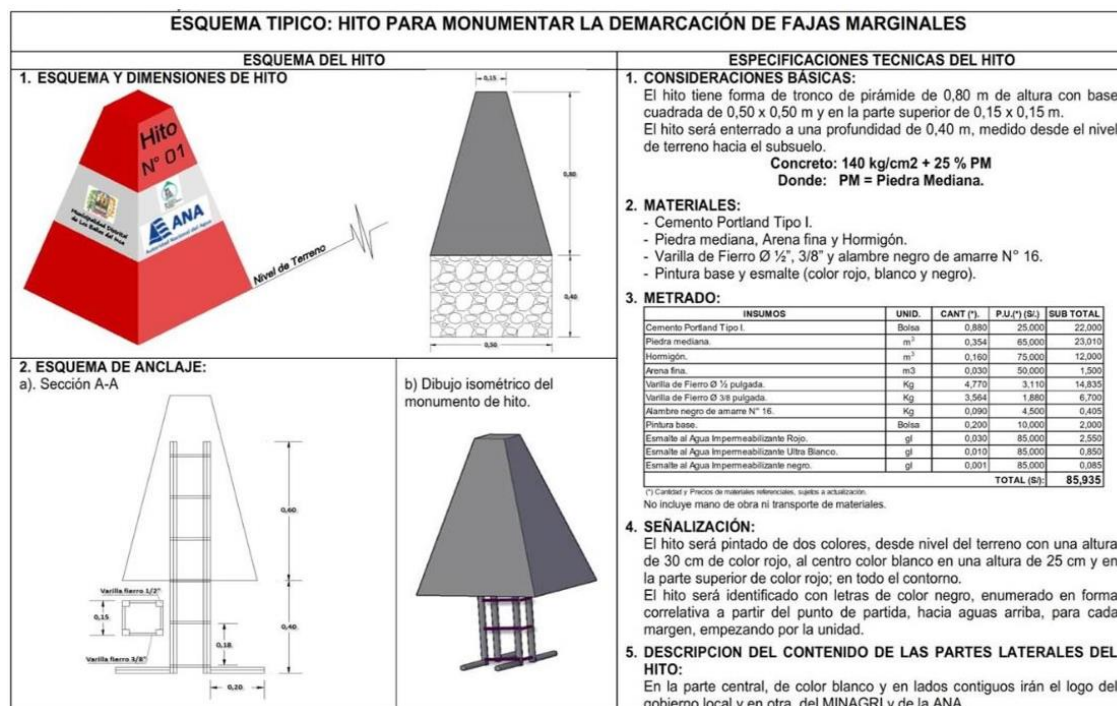
De acuerdo con el Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos del Perú (2009, art. 117) y el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016, art. 15), se establece que la colocación de hitos físicos para la delimitación de la faja marginal debe ser autorizada por la autoridad competente.

Estos hitos deben presentar una forma de tronco de pirámide y pueden estar constituidos por material noble, como concreto armado, o por materiales resistentes a la degradación, como

roca. Su diseño y ubicación deben garantizar su visibilidad y permanencia en el tiempo, cumpliendo la función de delimitar el lindero exterior de la faja marginal del cauce.

Figura 41

Esquema de hito físico para monumentación



Nota. Tomado de la exposición de Uso y Gestión de Fajas Marginales, por ANA, 2020.

Figura 42

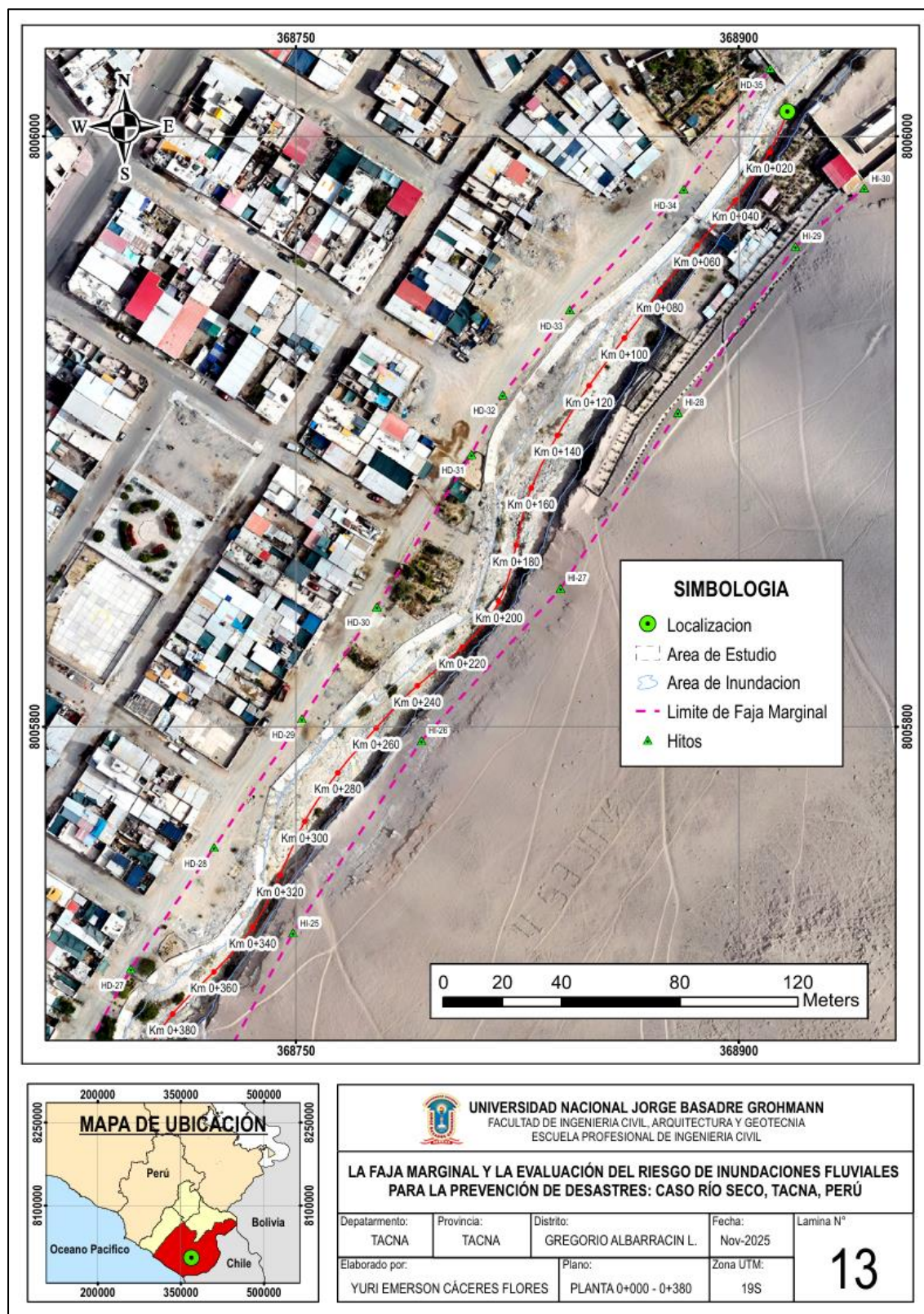
Planta general de la Delimitación de faja marginal



Nota. Elaboración propia.

Figura 43

Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+000 al Km 0+380



Nota. Elaboración propia.

Figura 44

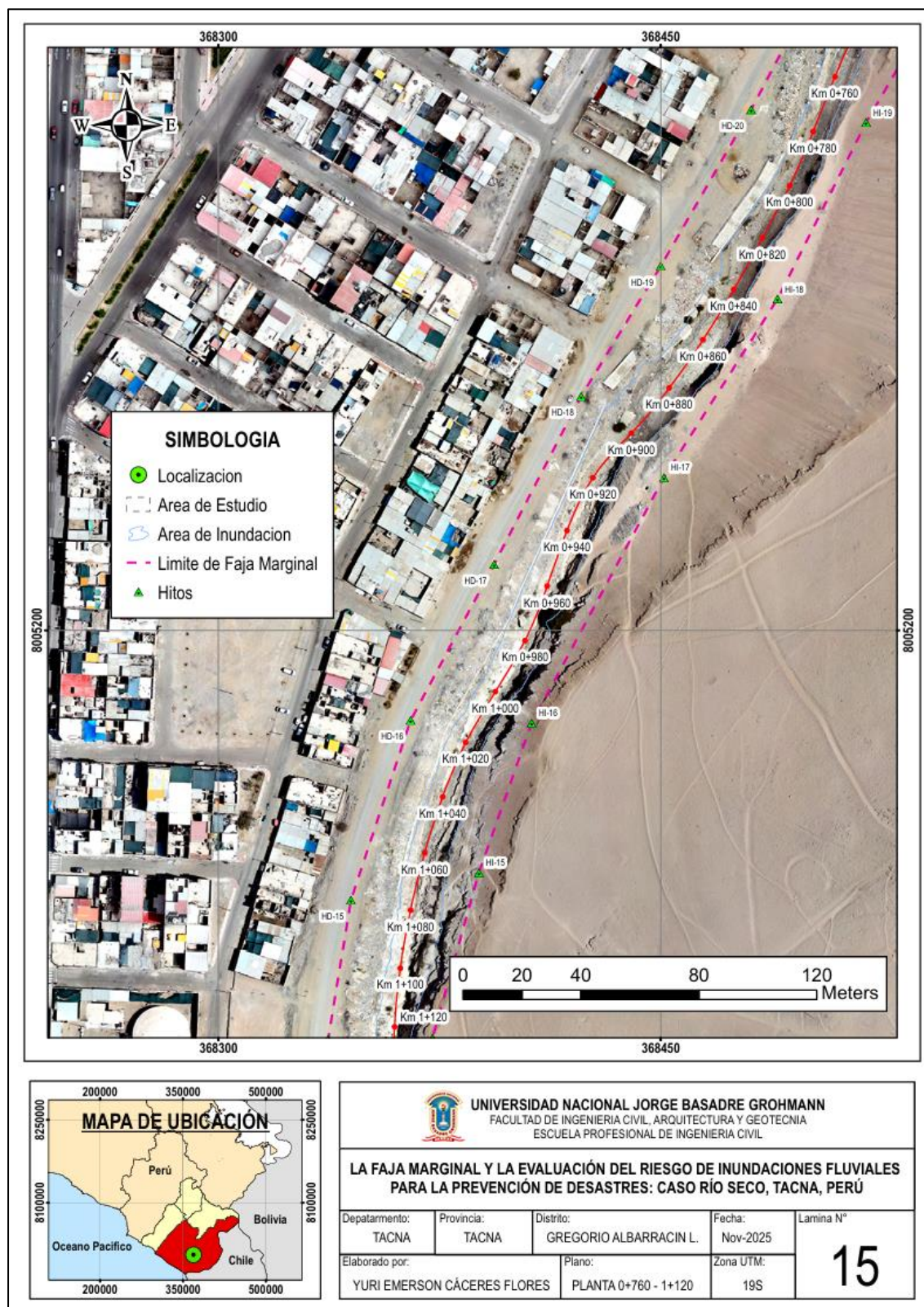
Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+380 al Km 0+760



Nota. Elaboración propia.

Figura 45

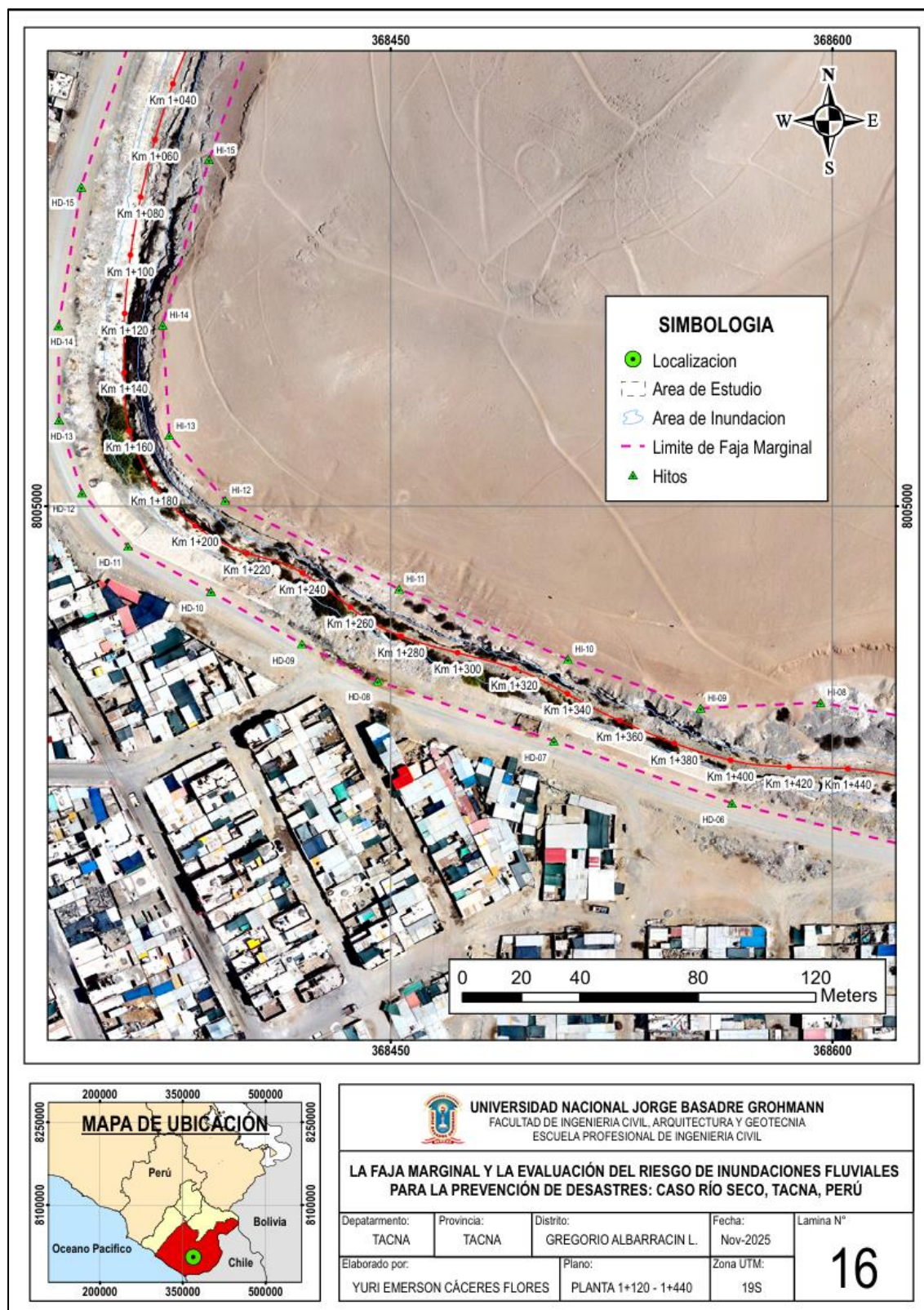
Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 0+760 al Km 1+120



Nota. Elaboración propia.

Figura 46

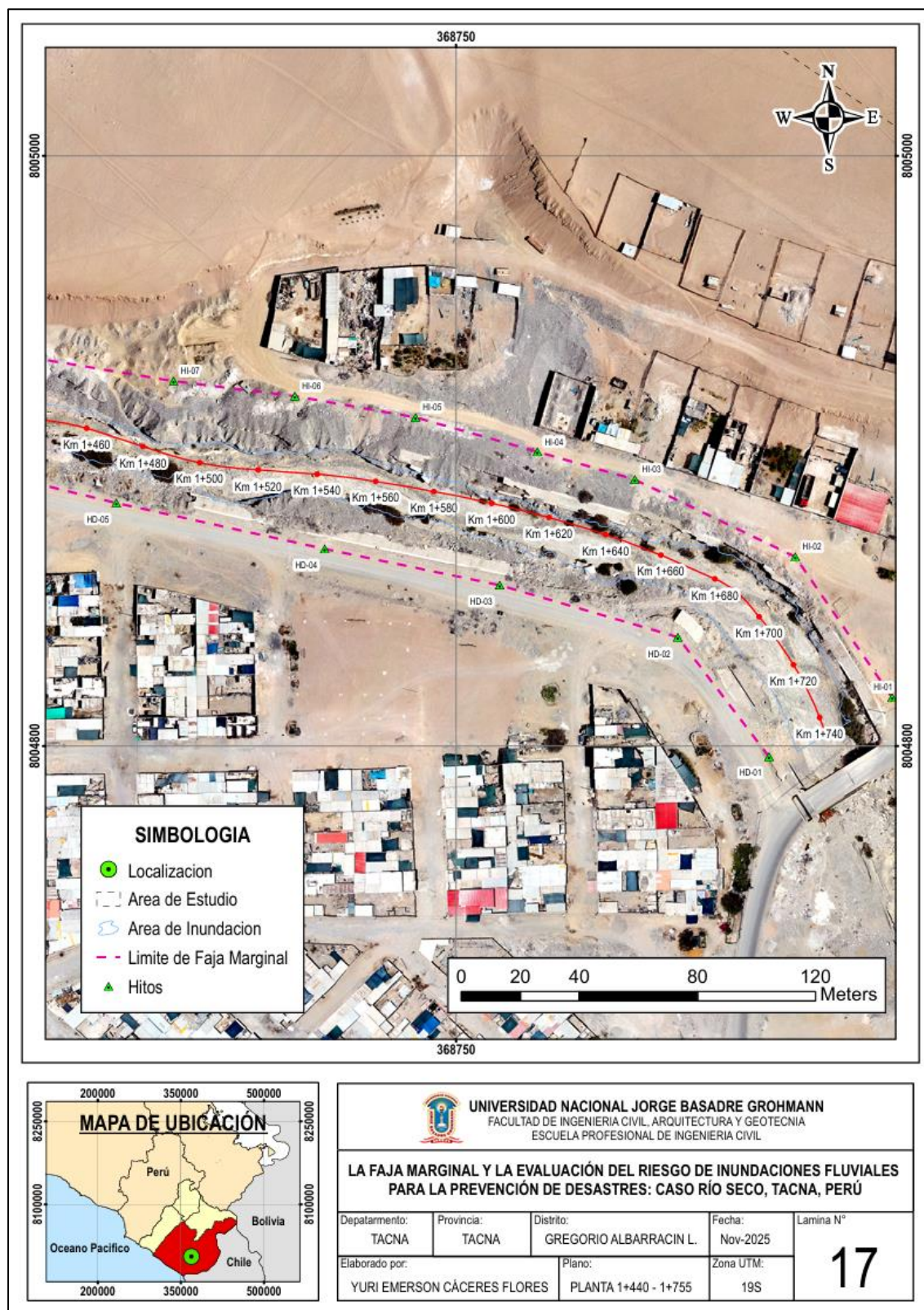
Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 1+120 al Km 1+440



Nota. Elaboración propia.

Figura 47

Delimitación de faja marginal – Progresiva Km 1+440 al Km 1+755



Nota. Elaboración propia.

8.3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL

8.3.1 Resultados de la determinación de Peligro

En el siguiente cuadro, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico.

Figura 48

Rango de niveles de peligro

RANGO			NIVELES DE PELIGRO
0.316	$\leq P \leq$	0.541	MUY ALTO
0.235	$\leq P <$	0.316	ALTO
0.194	$\leq P <$	0.235	MEDIO
0.172	$\leq P <$	0.194	BAJO

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, a continuación, se muestra la matriz descriptiva de peligro:

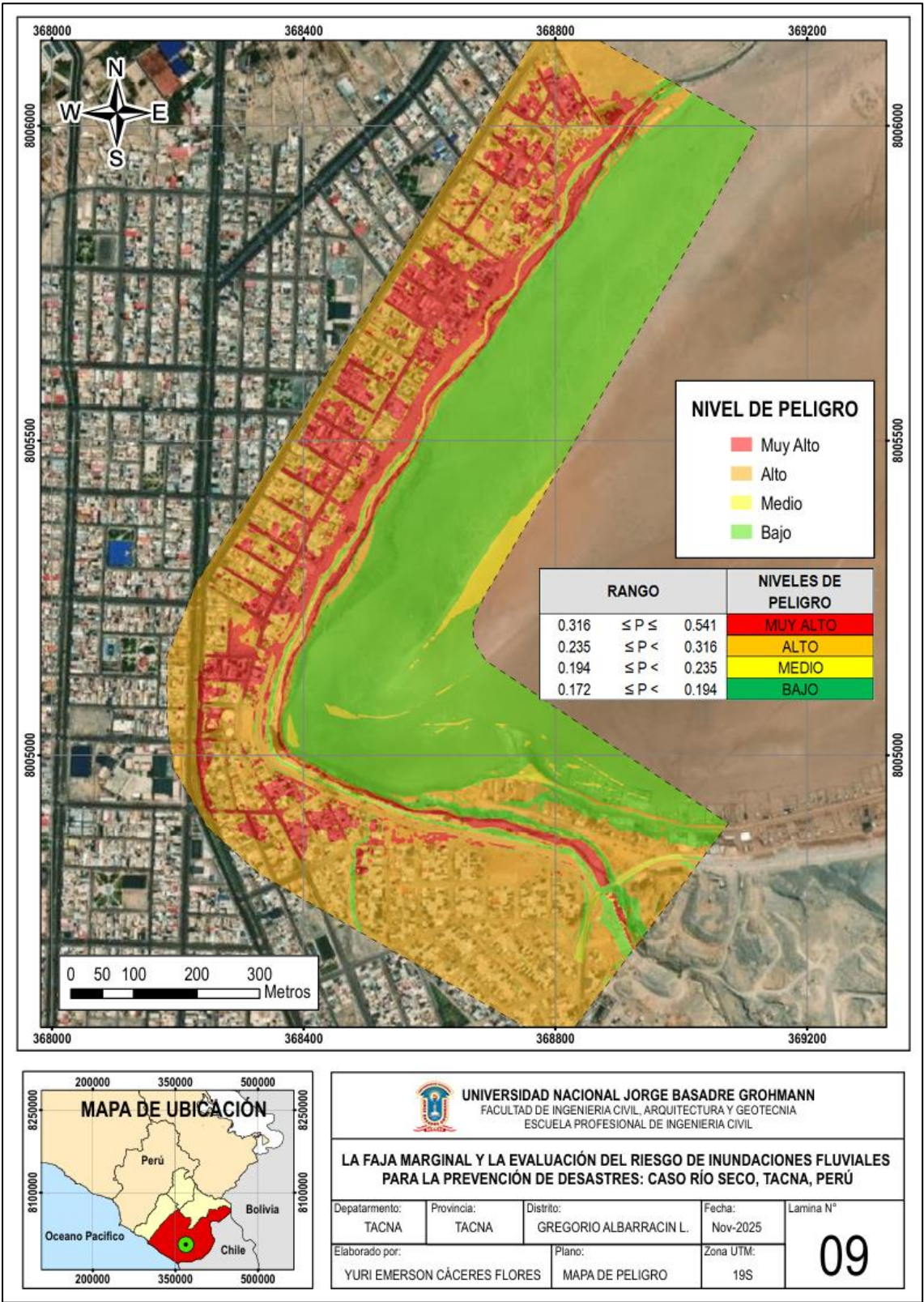
Figura 49*Matriz descriptiva de peligro*

NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RANGOS		
PELIGRO MUY ALTO	Inundaciones con una altura de flujo mayor a 1.00 m, que se encuentran geomorfológicamente en zonas de cauces activos con pendiente moderadamente inclinado de 0° - 15°, y litológicamente situados en zonas de depósitos fluviales.	0.316	$\leq P \leq$	0.541
PELIGRO ALTO	Inundaciones con una altura de flujo entre 0.60 - 1.00 m, que se encuentran geomorfológicamente en zonas de llanura de inundación, con pendiente moderadamente empinada de 15° a 25°, y litológicamente situados en zonas de depósitos aluviales.	0.235	$\leq P <$	0.316
PELIGRO MEDIO	Inundaciones con una altura de flujo entre 0.20 - 0.60 m, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de terraza aluvial, con pendiente empinada de 25° a 50°, y litológicamente situados en zonas de depósitos coluviales y aluviales antiguos.	0.194	$\leq P <$	0.235
PELIGRO BAJO	Inundaciones con una altura de flujo menor a 0.20 m, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de lomada y escarpe coluvial, con pendientes muy empinada y extremadamente empinada, y litológicamente situados dentro de la formación Huaylillas.	0.172	$\leq P <$	0.194

Nota. Elaboración propia.

Figura 50

Mapa de peligro del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

8.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

En el siguiente cuadro, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico.

Figura 51

Rango de niveles de vulnerabilidad

RANGO	NIVELES DE VULNERABILIDAD
$0.267 \leq V \leq 0.483$	MUY ALTO
$0.139 \leq V < 0.267$	ALTO
$0.072 \leq V < 0.139$	MEDIO
$0.039 \leq V < 0.072$	BAJO

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, a continuación, se muestra la matriz descriptiva de la vulnerabilidad:

Figura 52

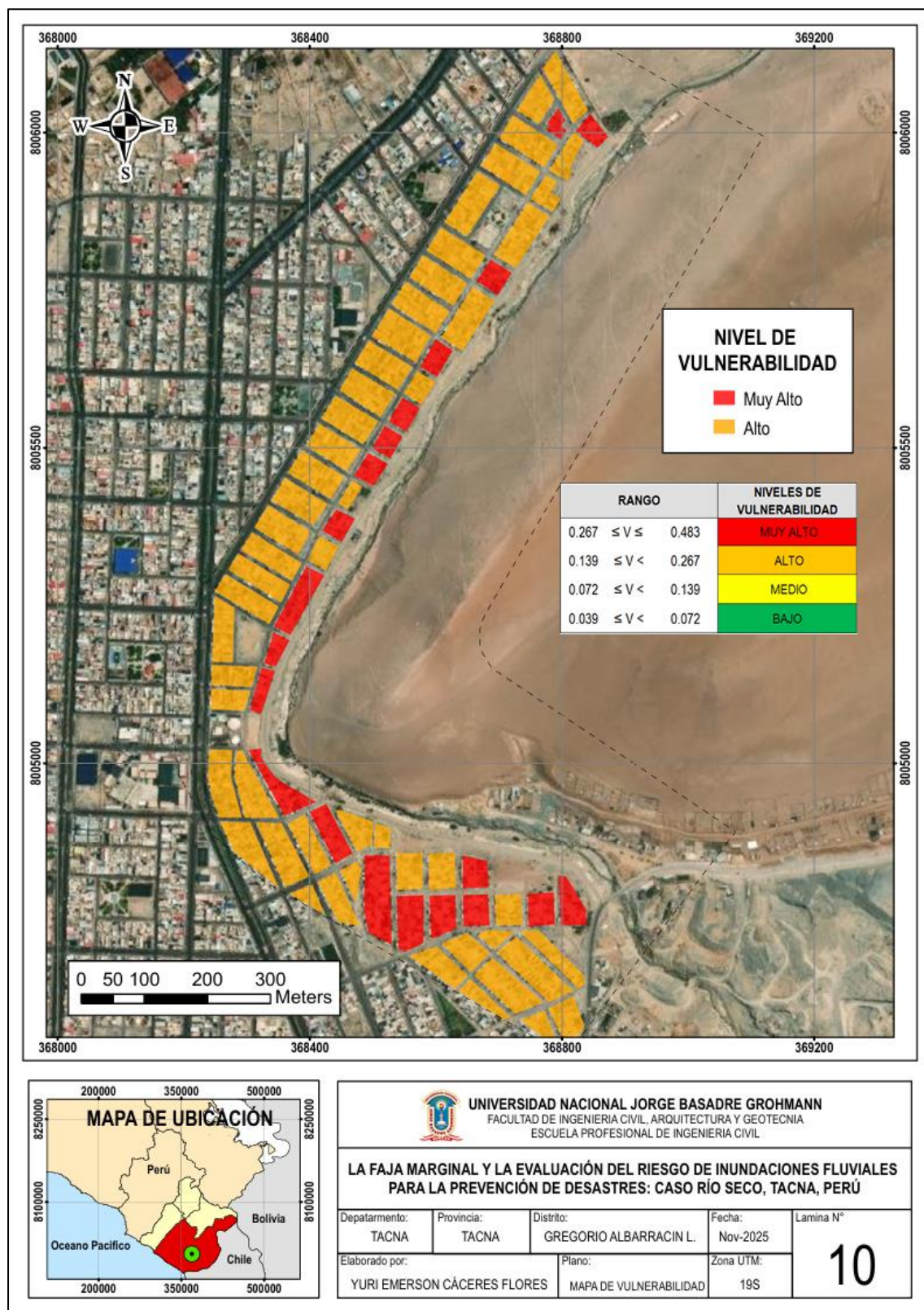
Matriz descriptiva de vulnerabilidad

NIVELES DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN	RANGOS		
MUY ALTO	Grupo Etario predominantemente de 0 a 5 y de 65 años a mas; con discapacidad visual y/o mental o intelectual; con nivel educativo de primaria y/o Inicial y/o ningún nivel; No tiene seguro; cuenta con el beneficio del programa social de Juntos y/o Pensión 65 y/u otros y/o Papilla y/o Cuna más. El material predominante de las paredes es estera y/o Adobe, con techo de estera y/o paja y/u otro material (cartón, plástico, entre otros similares); cuenta con choza y/o vivienda improvisada y/o no destinado para habitación u otro tipo; posee régimen de tenencia cedida por el centro de trabajo y/u otro hogar o institución y/u otro.	0.267	$\leq V \leq$	0.483
ALTO	Grupo Etario predominantemente de 5 a 12 años y 60 a 65 años; Con discapacidad para usar brazos y piernas y/o visual; con nivel educativo de secundaria y/o primaria; Cuenta con seguro de salud parcial y/o de entidades prestadoras de salud EPS; cuenta con el beneficio del programa social de Vaso de Leche y/o Comedor Popular y y/o Juntos y/o pensión y/u otros. El material predominante de las paredes es quincha (caña con barro) y/o estera, con techo de madera y/o caña o estera y/o estera y/o paja; cuenta con vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad y/o choza y/o vivienda improvisada; posee régimen de tenencia por alquiler y/o cedido por el centro de trabajo y/u otro hogar o institución.	0.139	$\leq V <$	0.267
MEDIO	Grupo Etario predominantemente de 2 a 15 años y de 50 a 60 años; Con discapacidad para oír y/o hablar y/o para usar brazos y piernas; con nivel educativo superior no universitario y/o secundaria; cuenta con seguro en Entidades prestadoras de salud EPS y/o EsSalud; cuentan con el beneficio del programa social de Techo propio y/o Mi vivienda y/o Vaso de Leche y/o Comedor Popular. El material predominante de las paredes es de madera y/o quincha (caña con barro), con techo de plancha de calamina y/o tejas y/o madera y/o caña; cuenta con departamento en edificio y/o vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad; posee régimen de tenencia propia por invasión y/o alquiler.	0.072	$\leq V <$	0.139
BAJO	Grupo Etario predominantemente de 15 a 50 años; Sin discapacidad y/o con discapacidad para oír y/o hablar; con nivel educativo superior Universitario y/o posgrado y/o otro similar y/o no universitario; cuenta con seguro SIS y/o ESSALUD; No cuentan con beneficio de programa social y/o cuentan con el beneficio de Techo propio y/o Mi vivienda. El material predominante de las paredes es de ladrillo y/o madera, con techo de concreto armado y/o plancha de calamina y/o tejas; cuenta con casa independiente y/o departamento en edificio; posee régimen de tenencia propia, pagándola a plazos y/o totalmente pagada.	0.039	$\leq V <$	0.072

Nota. Elaboración propia.

Figura 53

Mapa de vulnerabilidad del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

8.5 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO

La matriz de riesgos originado por el peligro de inundación Fluvial del área de estudio en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa es el siguiente:

Figura 54

Matriz cuantitativa de riesgo

NIVEL DE PELIGRO	VALOR DE PELIGRO	NIVELES DE RIESGO			
PMA	0.541	0.039	0.075	0.144	0.261
PA	0.316	0.023	0.044	0.084	0.153
PM	0.235	0.017	0.033	0.063	0.113
PB	0.194	0.014	0.027	0.052	0.094
VALOR DE VULNERABILIDAD		0.072	0.139	0.267	0.483
NIVEL DE VULNERABILIDAD		VB	VM	VA	VMA

Nota. Elaboración propia.

Los niveles de riesgo por el peligro de Inundación fluvial del área de estudio en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa se detallan a continuación:

Figura 55

Rango de niveles de riesgo

RANGO	NIVELES DE RIESGO
$0.084 \leq R \leq 0.261$	MUY ALTO
$0.033 \leq R < 0.084$	ALTO
$0.014 \leq R < 0.033$	MEDIO
$0.007 \leq R < 0.014$	BAJO

Nota. Elaboración propia.

Figura 56

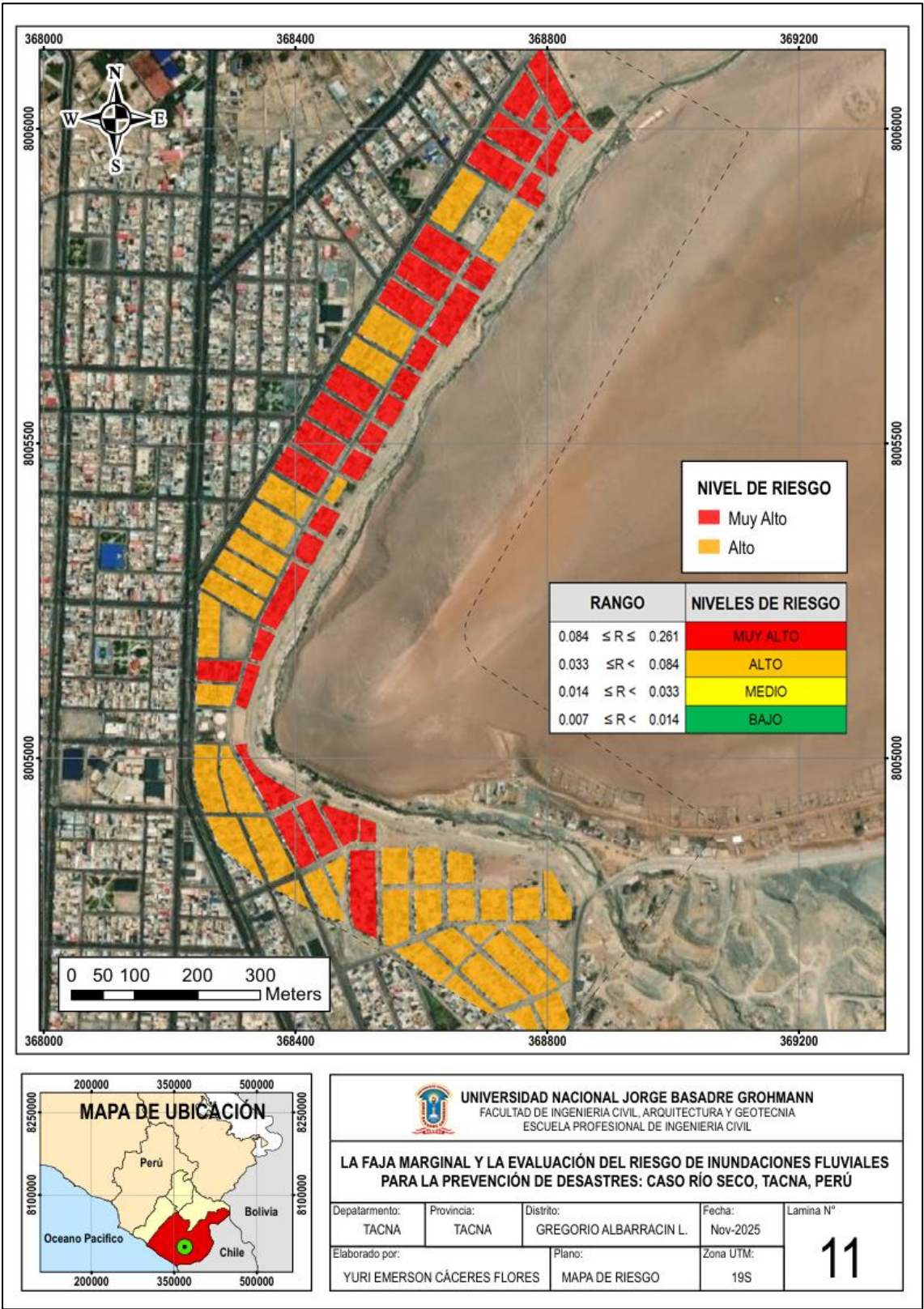
Matriz descriptiva de riesgo

NIVELES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	RANGOS		
MUY ALTO	Inundaciones con una altura de flujo mayor a 1.00 m, que se encuentran geomorfológicamente en zonas de cauces activos con pendiente moderadamente inclinado de 0° - 15°, y litológicamente situados en zonas de depósitos fluviales. Grupo Etario predominantemente de 0 a 5 y de 65 años a más; con discapacidad visual y/o mental o intelectual; con nivel educativo de primaria y/o Inicial y/o ningún nivel; No tiene seguro; cuenta con el beneficio del programa social de Juntos y/o Pensión 65 y/u otros y/o Papilla y/o Cuna más. El material predominante de las paredes es estera y/o Adobe, con techo de estera y/o paja y/u otro material (cartón, plástico, entre otros similares); cuenta con choza y/o vivienda improvisada y/o no destinado para habitación u otro tipo; posee régimen de tenencia cedida por el centro de trabajo y/u otro hogar o institución y/u otro.	0.084	$\leq R \leq$	0.261
ALTO	Inundaciones con una altura de flujo entre 0.60 - 1.00 m, que se encuentran geomorfológicamente en zonas de llanura de inundación, con pendiente moderadamente empinada de 15° a 25°, y litológicamente situados en zonas de depósitos aluviales. Grupo Etario predominantemente de 5 a 12 años y 60 a 65 años; Con discapacidad para usar brazos y piernas y/o visual; con nivel educativo de secundaria y/o primaria; Cuenta con seguro de salud parcial y/o de entidades prestadoras de salud EPS; cuenta con el beneficio del programa social de Vaso de Leche y/o Comedor Popular y y/o Juntos y/o pensión y/u otros. El material predominante de las paredes es quincha (caña con barro) y/o estera, con techo de madera y/o caña o estera y/o estera y/o paja; cuenta con vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad y/o choza y/o vivienda improvisada; posee régimen de tenencia por alquiler y/o cedido por el centro de trabajo y/u otro hogar o institución.	0.033	$\leq R <$	0.084
MEDIO	Inundaciones con una altura de flujo entre 0.20 - 0.60 m, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de terraza aluvial, con con pendiente empinada de 25° a 50°, y litológicamente situados en zonas de depósitos coluviales y aluviales antiguos. Grupo Etario predominantemente de 2 a 15 años y de 50 a 60 años; Con discapacidad para oír y/o hablar y/o para usar brazos y piernas; con nivel educativo superior no universitario y/o secundaria; cuenta con seguro en Entidades prestadoras de salud EPS y/o EsSalud; cuentan con el beneficio del programa social de Techo propio y/o Mi vivienda y/o Vaso de Leche y/o Comedor Popular. El material predominante de las paredes es de madera y/o quincha (caña con barro), con techo de plancha de calamina y/o tejas y/o madera y/o caña; cuenta con departamento en edificio y/o vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad; posee régimen de tenencia propia por invasión y/o alquiler.	0.014	$\leq R <$	0.033
BAJO	Inundaciones con una altura de flujo menor a 0.20 m, que se encuentra geomorfológicamente en zonas de lomada y escarpe coluvial, con pendientes muy empinada y extremadamente empinada, y litológicamente situados dentro de la formación Huaylillas. Grupo Etario predominantemente de 15 a 50 años; Sin discapacidad y/o con discapacidad para oír y/o hablar; con nivel educativo superior Universitario y/o posgrado y/o otro similar y/o no universitario; cuenta con seguro SIS y/o ESSALUD; No cuentan con beneficio de programa social y/o cuentan con el beneficio de Techo propio y/o Mi vivienda. El material predominante de las paredes es de ladrillo y/o madera, con techo de concreto armado y/o plancha de calamina y/o tejas; cuenta con casa independiente y/o departamento en edificio; posee régimen de tenencia propia, pagándola a plazos y/o totalmente pagada.	0.007	$\leq R <$	0.014

Nota. Elaboración propia.

Figura 57

Mapa de riesgo del área de estudio



Nota. Elaboración propia.

8.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES

8.6.1 *Medidas estructurales*

- Se deberán de realizar medidas de mitigación a fin de evitar el desbordamiento del Río Seco en el sector evaluado, estas medidas podrán ser muros de contención, limpieza del cauce y/o otros similares de acuerdo a las técnicas y metodologías que garanticen la protección de inundación.
- Deberá de delimitarse el área correspondiente a la Faja Marginal.
- Deberán de mejorar los sistemas constructivos de las viviendas inundables, respetando las normas técnicas específicas para la zona, ya que la inundación en realidad no afecta mucho las edificaciones si están bien diseñadas, el problema es la precariedad de las construcciones.
- Se recomienda la reconstrucción de los elementos de defensa ribereña y/o demolición de ser el caso.

8.6.2 *Medidas no estructurales*

Las medidas no estructurales que se muestran a continuación tienen un carácter complementario.

- Capacitar a la población en el cumplimiento de construcción como medida de seguridad.
- Desarrollo de plan de Prevención del riesgo de desastre.
- Fortalecer las capacidades de la población en materia de inundación.
- Se deberá mejorar el manejo de residuos sólidos, implementando un programa integral de manejo de residuos sólidos, ya que las personas botan su basura en los márgenes del río.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tuvo como objetivo delimitar la faja marginal y determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial del Río Seco, mediante el uso de modelamiento hidráulico y el análisis de peligro y vulnerabilidad, con el propósito de contribuir a la protección del cauce y la prevención de desastres.

La metodología se sustentó en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016) para la delimitación de la faja marginal, y en la metodología propuesta por CENEPRED (2014) para la evaluación del riesgo.

Los resultados evidenciaron un ancho de faja marginal variable, con un máximo de 27 m, un mínimo de 5 m y un promedio de 13 m, dimensiones que permiten la protección del cauce y la seguridad de la población. Asimismo, se identificaron niveles de peligro y vulnerabilidad clasificados como altos y muy altos, lo que deriva en un nivel de riesgo alto y muy alto en las manzanas del área de estudio frente a inundaciones fluviales.

En base a estos resultados, se recomienda la implementación de medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción del riesgo de desastres por inundación.

En contraste, Santos Mamani y Coaquira Ticona (2020) determinaron un ancho de faja marginal de 30 m. Asimismo, Apaza Legua (2023) identificó el área de estudio con un nivel de peligro Muy Alto y niveles de vulnerabilidad entre Medio, Alto y Muy Alto, lo que derivó en un nivel de riesgo Alto y Muy Alto. Por su parte, el CENEPRED (2014) establece que la gestión del riesgo debe implementarse antes de la ocurrencia de desastres mediante medidas estructurales y no estructurales.

Las diferencias entre los resultados se explican principalmente por la precisión de los datos y la metodología empleada. En el caso de la faja marginal, este estudio incorporó la dinámica de erosión del cauce, evidenciada en el análisis de colapsos históricos de defensas ribereñas, así como la consideración de áreas destinadas a la descolmatación y la infraestructura existente.

Respecto a los niveles de peligro y vulnerabilidad, las variaciones se atribuyen a la mayor extensión del área de estudio y al uso de un mayor número de descriptores. Además, se incorporó un análisis más detallado de la susceptibilidad, así como de las dimensiones de fragilidad y resiliencia, incluyendo factores sociales y económicos, a diferencia de estudios previos que se centraron principalmente en variables ambientales.

En relación con el primer objetivo específico, los resultados del modelamiento bidimensional (2D) indican que no se produjo desbordamiento del cauce para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, mientras que el periodo de 500 años presentó condiciones de desborde. Las velocidades máximas registradas fueron de 4.59 m/s (TR = 10 años), 5.77 m/s (TR = 50 años), 6.61 m/s (TR = 100 años), 7.49 m/s (TR = 200 años) y 9.30 m/s (TR = 500 años). Asimismo, los tirantes máximos fueron de 5.11 m, 6.59 m, 7.32 m, 8.27 m y 9.80 m respectivamente.

En contraste, Frisancho Camero (2015) reportó un desbordamiento del cauce para los periodos de retorno de 200 y 500 años. Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio difieren en magnitud respecto a los antecedentes locales de Santos Mamani y Coaquira Ticona (2020), quienes registraron un tirante máximo de 4.48 m y una velocidad máxima de 7.82 m/s para un periodo de retorno de 100 años. De forma similar, Cuya Quispe y Ponce Chuquimia (2021) reportaron velocidades de flujo de 2.8 m/s y tirantes de 3.69 m para un periodo de retorno de 200 años.

Estas diferencias se explican principalmente por el tipo de modelamiento hidráulico empleado. En esta investigación se utilizó un modelo bidimensional (2D) basado en una malla computacional, mientras que los estudios previos aplicaron modelos unidimensionales (1D) que trabajan con secciones transversales y promedian los parámetros hidráulicos en cada una de ellas. Adicionalmente, se emplearon insumos topográficos de mayor precisión, obtenidos mediante levantamiento con dron y un Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución de 0.17 m por píxel, a diferencia de estudios anteriores basados en levantamientos topográficos convencionales. Finalmente, también influyeron las diferencias en los coeficientes de rugosidad y en los caudales asociados a cada periodo de retorno.

Respecto al segundo objetivo específico, se determinó que un ancho mínimo de 4 m para la faja marginal resultaría insuficiente al considerar los criterios normativos aplicados. En consecuencia, y conforme a la normativa vigente que permite la ampliación justificada del ancho de la faja marginal, se adoptó como límite el borde de los caminos de trocha existentes en ambos márgenes. Bajo este criterio, se obtuvo un ancho máximo de 27 m, un mínimo de 5 m y un promedio de 13 m.

De manera consistente con estos resultados, Santos Mamani y Coaquira Ticona (2020) también consideraron un ancho mínimo de 4 m; sin embargo, su propuesta final de delimitación alcanzó 30 m en el margen derecho y 10 m en el margen izquierdo.

La diferencia en los resultados obtenidos se debe a que esta investigación consideró la posible erosión significativa del cauce del Río Seco para un periodo de retorno de 100 años, asociada a altas velocidades de flujo. Esta condición fue corroborada mediante el análisis de imágenes históricas, en las cuales se evidenció el colapso de defensas ribereñas, principalmente entre los años 2011 y 2012. Asimismo, el modelamiento hidráulico identificó zonas con presencia de remansos y resaltos hidráulicos, asociados al estrechamiento del cauce en

determinados tramos. Adicionalmente, se consideró el espacio necesario para la descolmatación, el respeto de la defensa viva y la permanencia de los caminos preexistentes, factores que influyeron en la determinación del ancho final de la faja marginal.

En relación con el tercer objetivo específico, la inundación fluvial del Río Seco se identificó como el peligro predominante. Los niveles de peligro obtenidos se clasificaron entre 0,172 y 0,541, determinándose rangos de Muy Alto, Alto, Medio y Bajo. A partir de estos valores se elaboró el mapa de peligro, identificándose la zona urbana con niveles Alto y Muy Alto.

Estos resultados coinciden con lo reportado por la Municipalidad Provincial de Tacna (2001), la cual identificó la inundación como el principal peligro del área de estudio. De manera similar, Apaza Legua (2023) obtuvo niveles comparables, aunque con rangos ligeramente distintos.

Las diferencias observadas se explican por la mayor extensión del área de estudio, el uso de un mayor número de descriptores y un análisis más detallado de la susceptibilidad.

Respecto al cuarto objetivo específico, la vulnerabilidad fue evaluada a nivel de manzana, considerando las dimensiones social y económica. Los valores obtenidos oscilaron entre 0.039 y 0.483, clasificándose en niveles Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Las manzanas más cercanas al cauce presentaron niveles Muy Altos, mientras que las más alejadas registraron niveles Altos.

Estos resultados presentan similitud con Apaza Legua (2023), aunque dicho estudio utilizó un enfoque predominantemente ambiental.

Las diferencias se atribuyen a la incorporación de un mayor número de parámetros, así como al análisis conjunto de fragilidad y resiliencia desde dimensiones sociales y económicas.

En relación con el quinto objetivo específico, el nivel de riesgo se obtuvo a partir de la interacción entre peligro y vulnerabilidad. Los valores obtenidos oscilaron entre 0.007 y 0.261, clasificándose en niveles Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Las manzanas ubicadas en la zona de inundación presentaron niveles de riesgo Muy Alto.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Apaza Legua (2023), aunque con variaciones en los rangos numéricos debido a diferencias en la base de datos y metodología aplicada.

Finalmente, se determinaron medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción del riesgo por inundación fluvial, las cuales resultaron técnicamente viables.

Estos resultados coinciden con lo establecido por el CENEPRED (2014), que señala que la gestión del riesgo debe implementarse antes de la ocurrencia del desastre mediante medidas estructurales y no estructurales.

La similitud se explica por la aplicación directa del Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales de dicha institución.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

Se delimitó la faja marginal del Río Seco con un ancho superior al criterio preliminar de 4 m, obteniéndose un ancho máximo de 27 m, un mínimo de 5 m y un promedio de 13 m en ambos márgenes. Esta ampliación se justificó por la alta erosión esperada, la necesidad de espacio para la descolmatación, el respeto a la defensa viva (vegetación) y la presencia de caminos preexistentes, lo que permitió una mayor seguridad para la protección del cauce y la población.

Se determinó que los niveles de riesgo por inundación fluvial del Río Seco fueron Alto y Muy Alto, debido a que tanto el peligro como la vulnerabilidad se clasificaron en los mismos niveles. En consecuencia, la zona urbana adyacente al cauce requiere la implementación de medidas de prevención para reducir el riesgo de desastre.

El modelamiento hidráulico del Río Seco evidenció un único escenario de desborde para un periodo de retorno de 500 años, asociado a caudales aproximados de 250 m³/s. No obstante, las altas velocidades del flujo sugieren que procesos de erosión podrían anticipar condiciones de inestabilidad si no se aplican medidas de mitigación.

Las velocidades máximas registradas fueron de 4.59 m/s (TR = 10 años), 5.77 m/s (TR = 50 años), 6.61 m/s (TR = 100 años), 7.49 m/s (TR = 200 años) y 9.30 m/s (TR = 500 años). Asimismo, los tirantes máximos fueron de 5.11 m, 6.59 m, 7.32 m, 8.27 m y 9.80 m respectivamente. Estas condiciones se explican por la morfología del cauce, caracterizada por variaciones de pendiente y estrechamientos que generan régimen supercrítico.

La delimitación de la faja marginal se realizó considerando criterios normativos, tomando inicialmente un ancho mínimo de 4 m, el cual fue considerado insuficiente. En consecuencia, se amplió hasta un máximo de 27 m, con un mínimo de 5 m y un promedio de 13 m en ambos márgenes, garantizando un área de protección adecuada.

Los niveles de peligro oscilaron entre 0.172 y 0.541, clasificándose en Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. El mapa de peligro evidenció que la zona urbana presenta niveles Alto y Muy Alto. Este resultado se obtuvo considerando un peso de 0.9 para la susceptibilidad y 0.1 para otros parámetros del modelo.

La vulnerabilidad presentó valores entre 0.039 y 0.483, clasificándose en cuatro niveles. El análisis espacial en GIS consideró el descriptor predominante en cada manzana, asignando su respectivo peso. Las manzanas cercanas al cauce presentaron vulnerabilidad Muy Alta debido a la predominancia de condiciones desfavorables en los descriptores sociales y económicos.

El nivel de riesgo, resultado de la interacción entre peligro y vulnerabilidad, osciló entre 0.007 y 0.261, clasificándose en Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Las manzanas colindantes al cauce presentaron riesgo Muy Alto, mientras que las más alejadas presentaron riesgo Alto.

Estos resultados se explican por la combinación de altos niveles de peligro y vulnerabilidad.

Finalmente, se propusieron medidas estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo de desastres. Estas recomendaciones se alinean con lo establecido por el CENEPRED, que enfatiza la prevención como eje fundamental de la gestión del riesgo.

10.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (AAA Caplina-Ocoña) y a la Administración Local del Agua (ALA Caplina-Locumba) incorporar los resultados de la presente investigación en la gestión del tramo del Río Seco, entre el Cuartel Tarapacá y el Puente Arunta, con la finalidad de contar con un instrumento técnico y legal que garantice la protección del cauce.

Asimismo, la faja marginal debe ser considerada un componente fundamental en la planificación del crecimiento urbano, por lo que se debe restringir la ocupación de áreas cercanas a los cauces sin estudios hidráulicos previos, a fin de evitar la generación de zonas expuestas a inundación.

Se recomienda la actualización periódica de la delimitación de la faja marginal, especialmente después de eventos hidrológicos extremos o fenómenos como El Niño, con el objetivo de ajustar los límites a los cambios geomorfológicos del cauce.

La autoridad local competente deberá ejecutar la descolmatación del cauce de manera anual, bajo supervisión técnica especializada, culminando estas labores antes del inicio de la temporada de avenidas, con el fin de mantener la capacidad hidráulica del río.

De igual forma, el Gobierno Local deberá priorizar la implementación de medidas estructurales como defensas ribereñas, diques o muros de encauzamiento en zonas vulnerables, como parte de las acciones de reducción del riesgo de inundación.

Se recomienda implementar mecanismos de control y sanción frente al vertido de residuos sólidos y desmonte en las márgenes del río, debido a su impacto en la reducción de la capacidad hidráulica y el aumento del riesgo de desborde.

La Municipalidad Distrital de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa debe difundir los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo identificados en este estudio entre las asociaciones de vivienda colindantes, con el fin de fortalecer la percepción del riesgo en la población expuesta.

Finalmente, se recomienda a la población ubicada en zonas de riesgo que, ante cualquier intervención constructiva, cumpla estrictamente con el Reglamento Nacional de Edificaciones, especialmente las normas E.030, E.050, E.060 y E.070, garantizando la seguridad estructural frente a la geodinámica del área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzal, M. A., Ali, S., Nazeer, A., Khan, M. I., Waqas, M. M., Aslam, R. A., Cheema, M. J. M., Nadeem, M., Saddique, N., Muzammil, M., & Shah, A. N. (2022). Flood inundation modeling by integrating HEC–RAS and satellite imagery: A case study of the Indus River Basin. *Water*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/w14192984>
- AL-Hussein, A. A. M., Khan, S., Ncibi, K., Hamdi, N., & Hamed, Y. (2022). Flood analysis using HEC-RAS and HEC-HMS: A case study of Khazir River. *Water*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/w14223779>
- Apaza Legua, A. A. (2023). *Evaluación de vulnerabilidad ambiental frente a riesgos de inundación en el Río Seco – Tacna*. Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3380>
- Araujo Neyra, F. E. (2024). *Evaluación de riesgo por inundación fluvial en el centro poblado San Juan de la Virgen*. Universidad Nacional de Tumbes. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/items/a0a0a848-2e22-4c15-bd14-5057b6ae208a>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación* (6a ed.). Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigación.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Delimitación de fajas marginales: Cartilla informativa*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4447>
- Beretta, R., Ravazzani, G., Maiorano, C., & Mancini, M. (2018). Simulating the influence of buildings on flood inundation in urban areas. *Geosciences*, 8(2), 77. <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES8020077>
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.

Cunge, J. A. (1989). *Practical aspects of computational river hydraulics*. Water Resources Publications.

Cuya Quispe, R. H. R., & Ponce Chuquimia, O. F. (2021). *Diseño hidráulico y estructural de una defensa ribereña para el Río Seco*. Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78497>

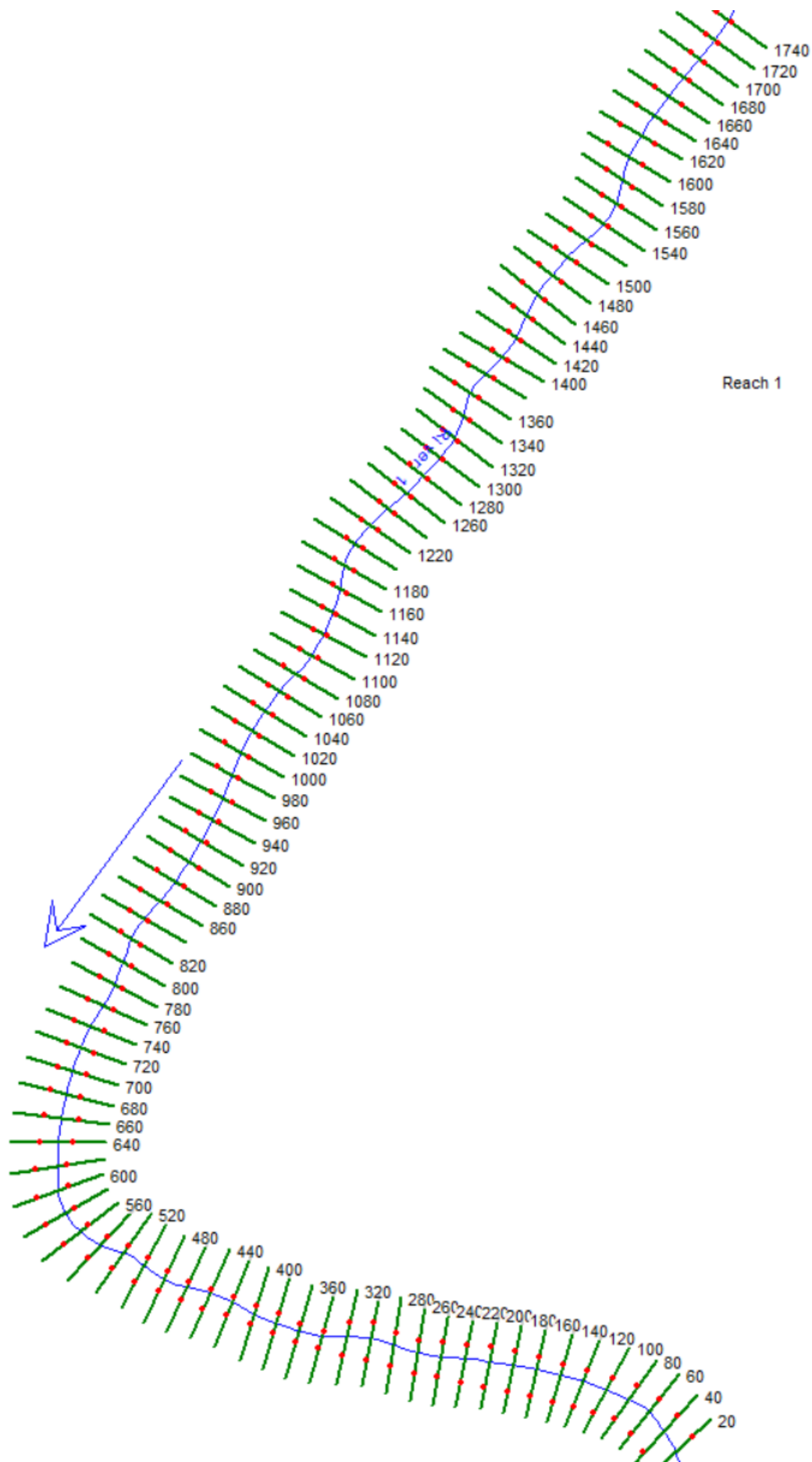
Frisancho Camero, F. L. (2015). *Análisis de vulnerabilidad mediante modelamiento hidrodinámico del cauce del Río Seco*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2116>

HEC-RAS. (2025a). *Hydraulic reference manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
<https://www.hec.usace.army.mil>

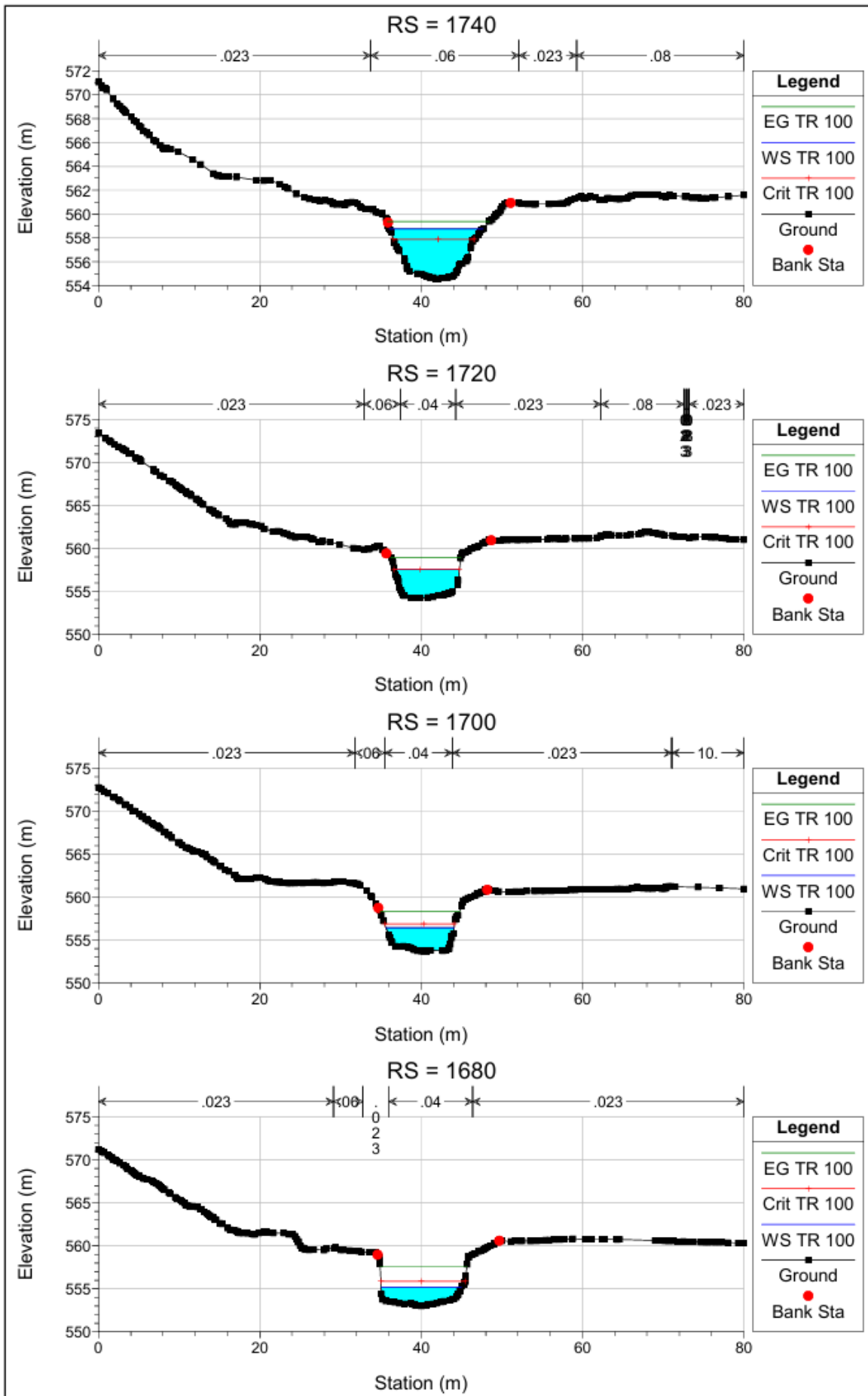
HEC-RAS. (2025b). *1D vs 2D hydraulic modeling*. <https://www.hec.usace.army.mil>

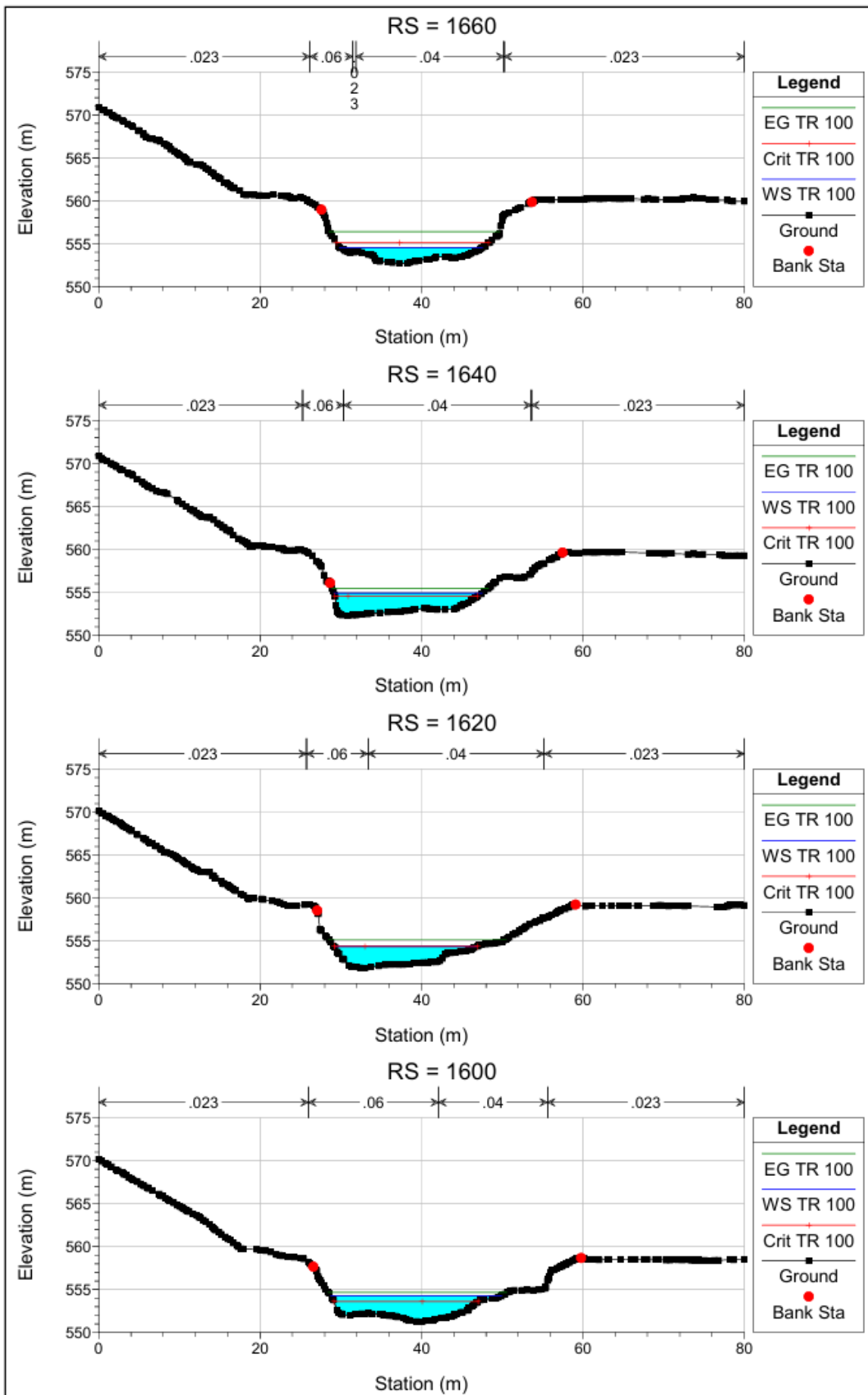
ANEXOS

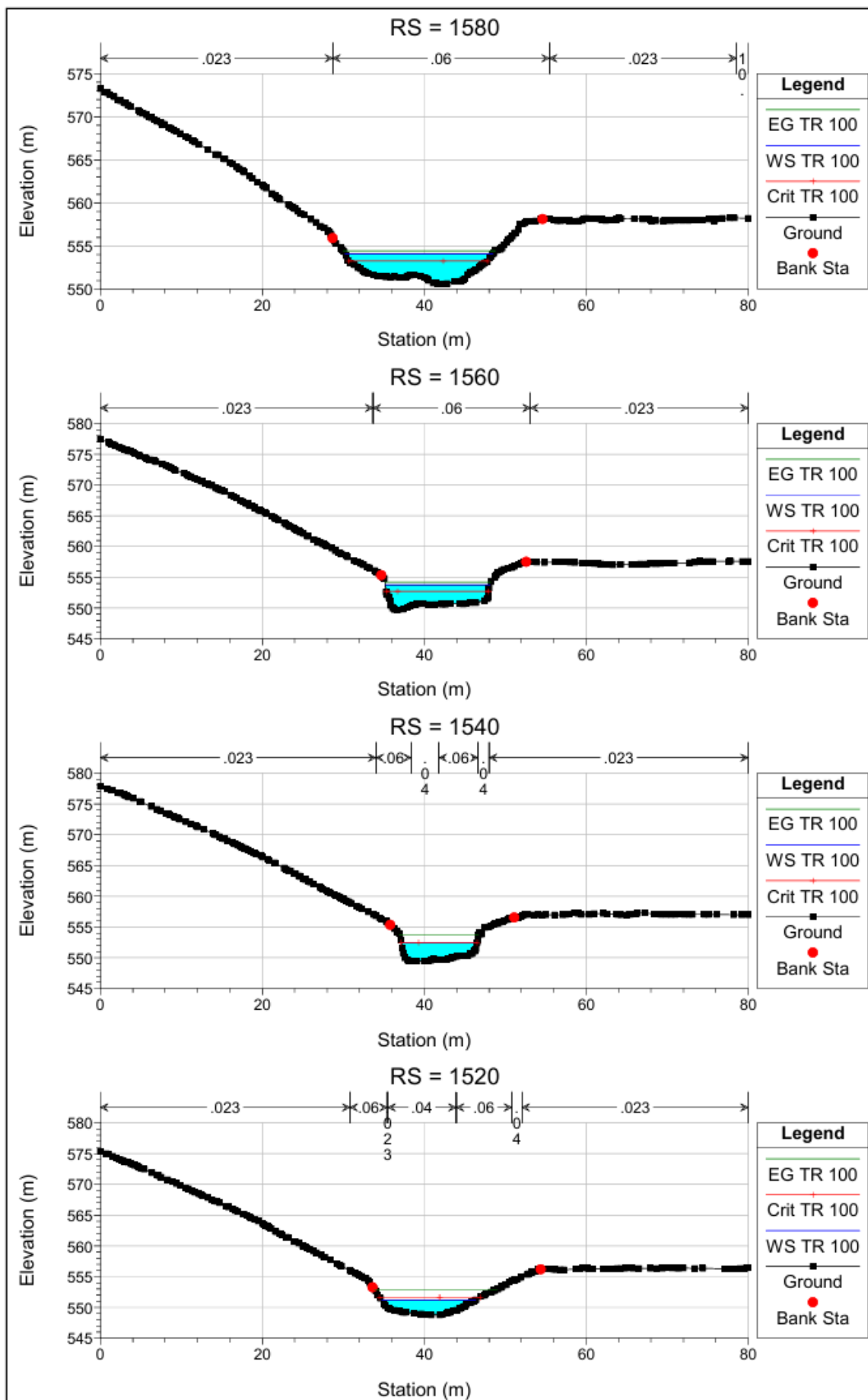
Anexo 1: Secciones transversales en planta del modelamiento 1D para un TR de 100 años

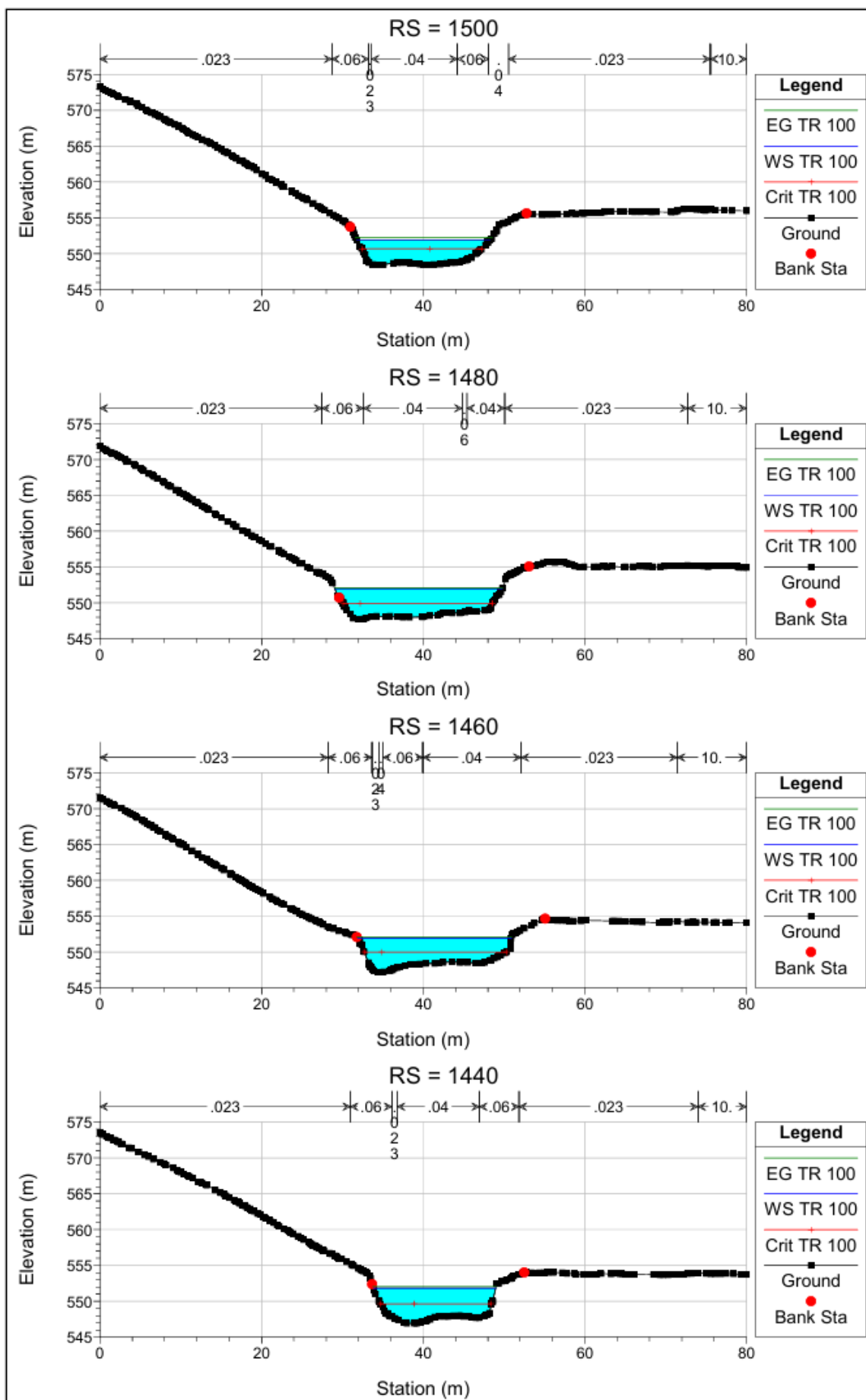


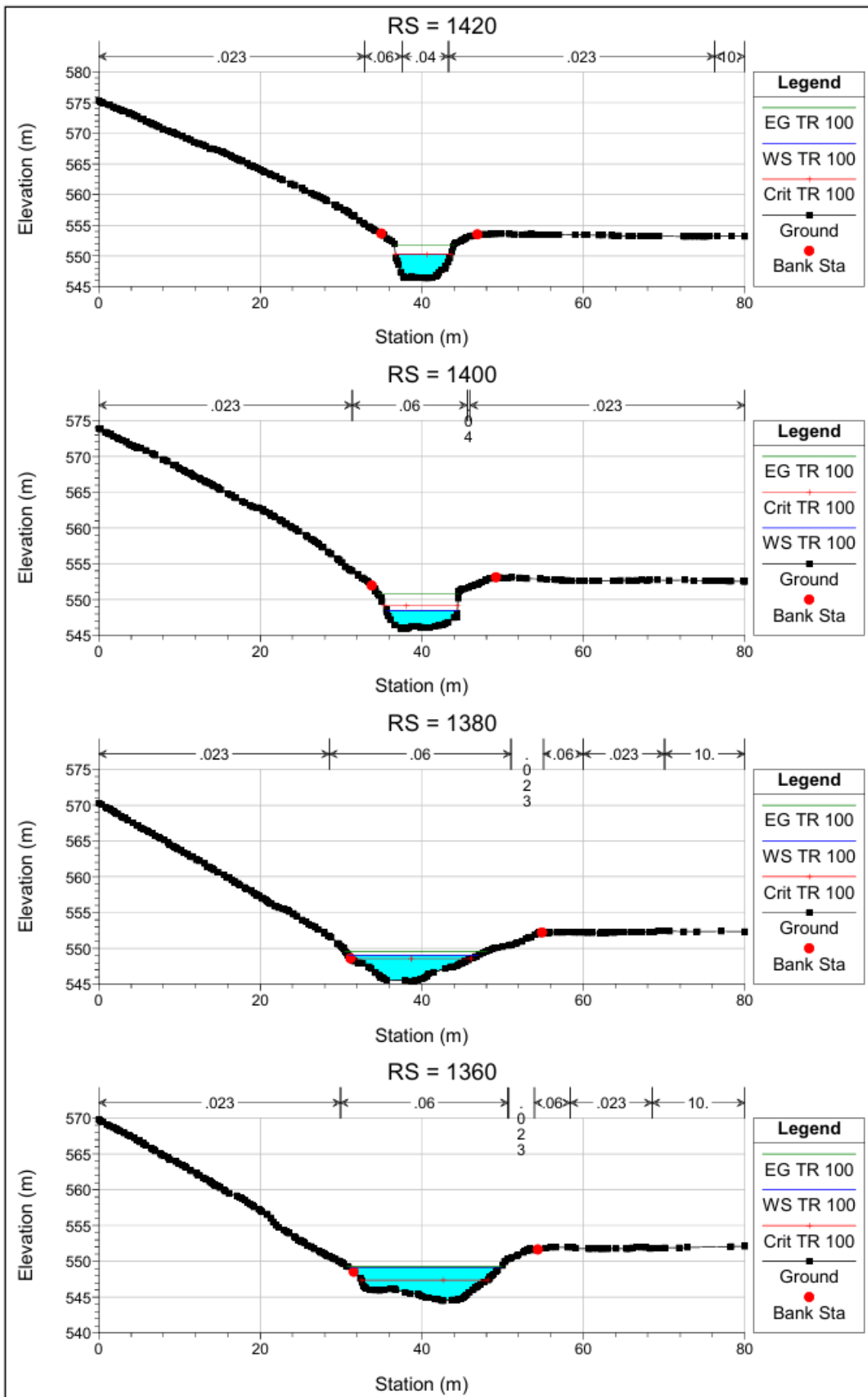
Anexo 2: Secciones transversales del modelamiento 1D para un TR de 100 años

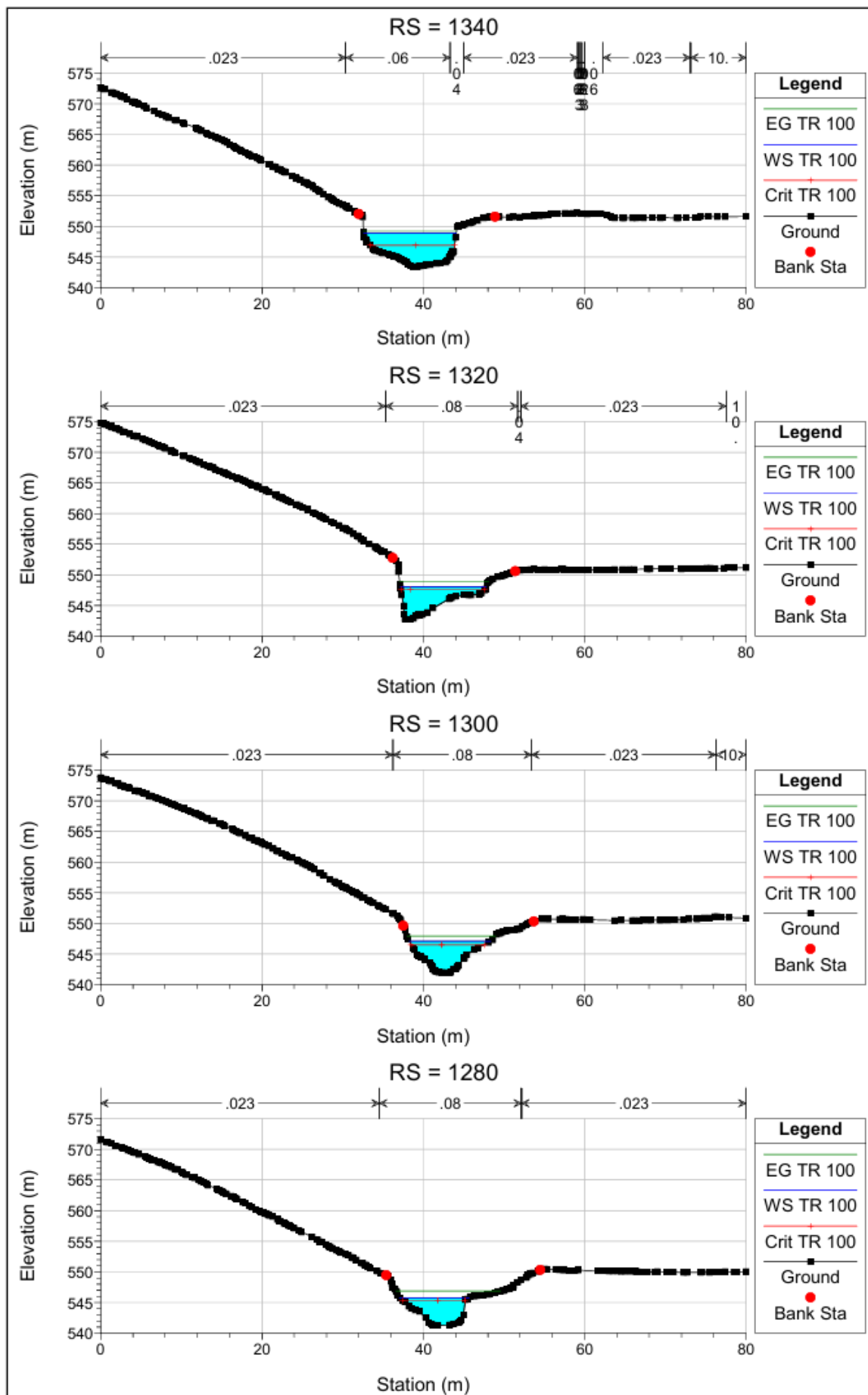


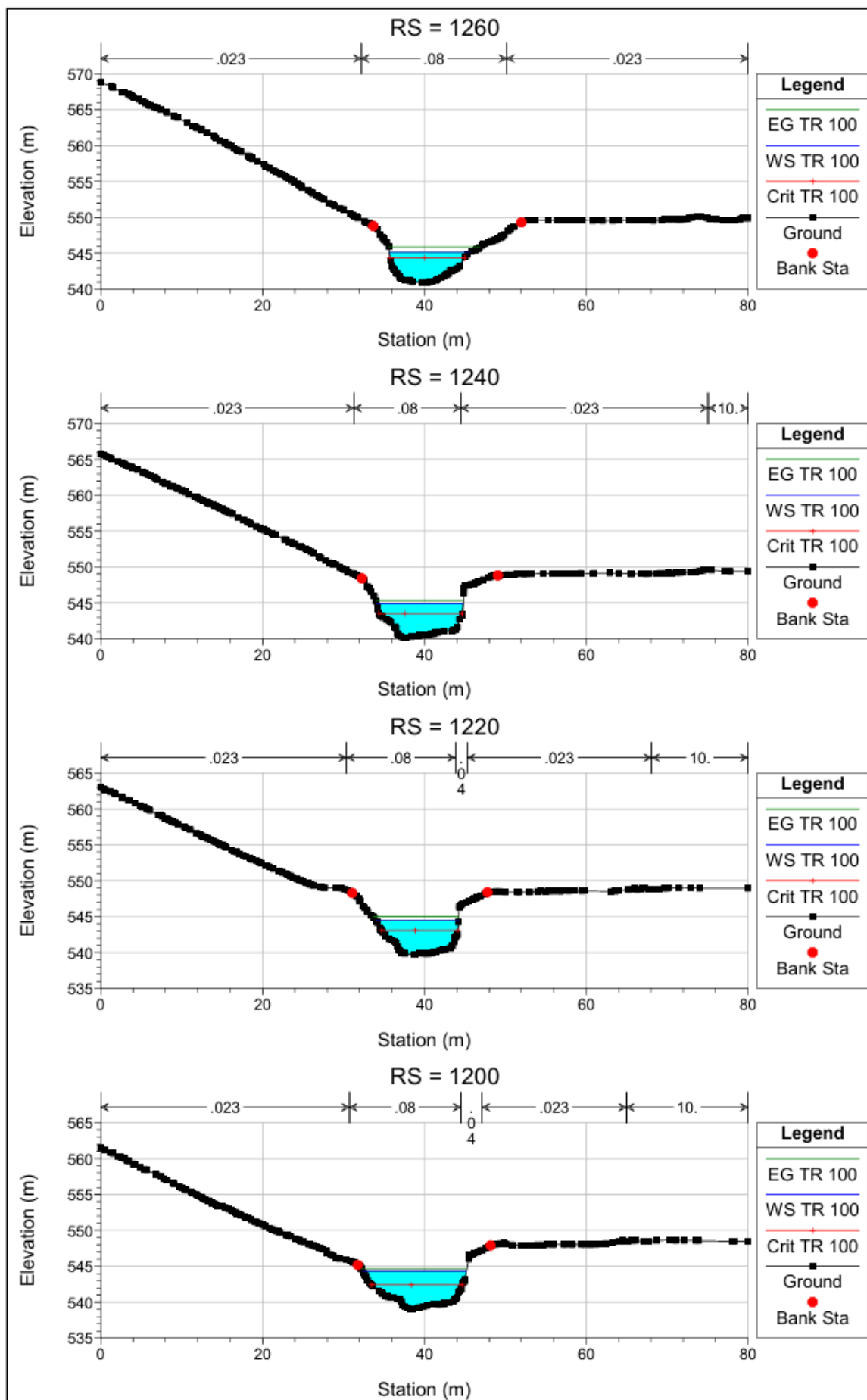


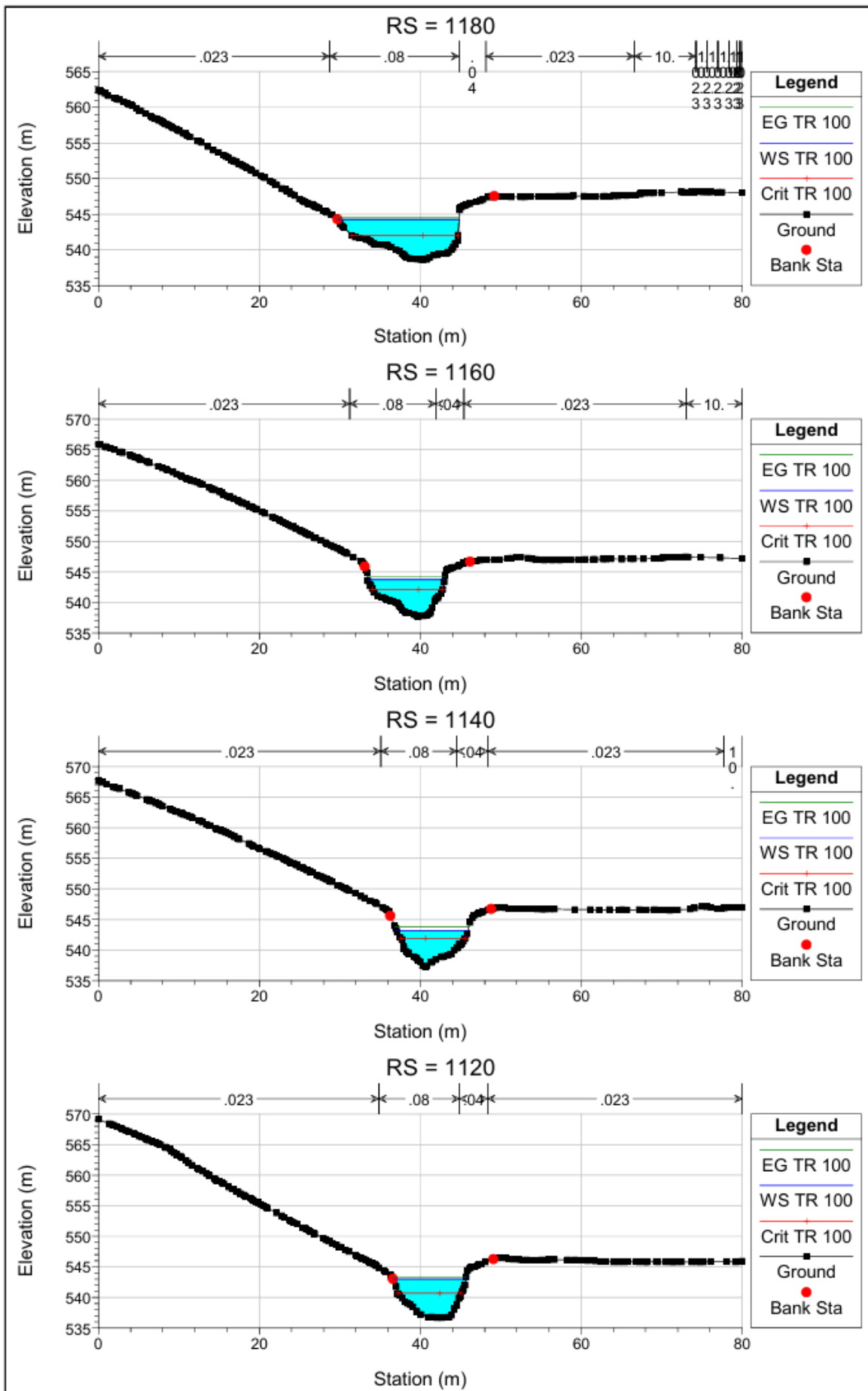


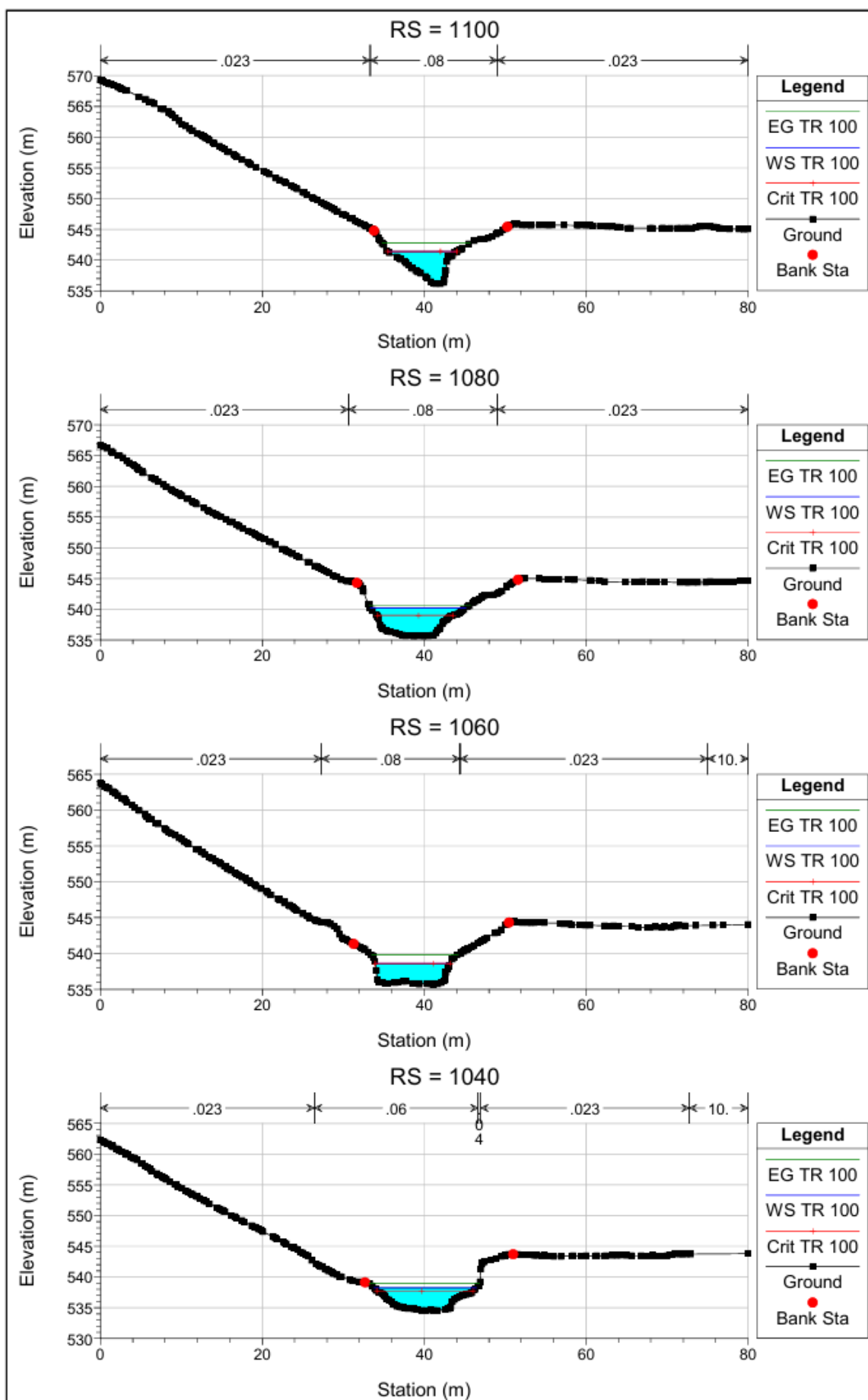


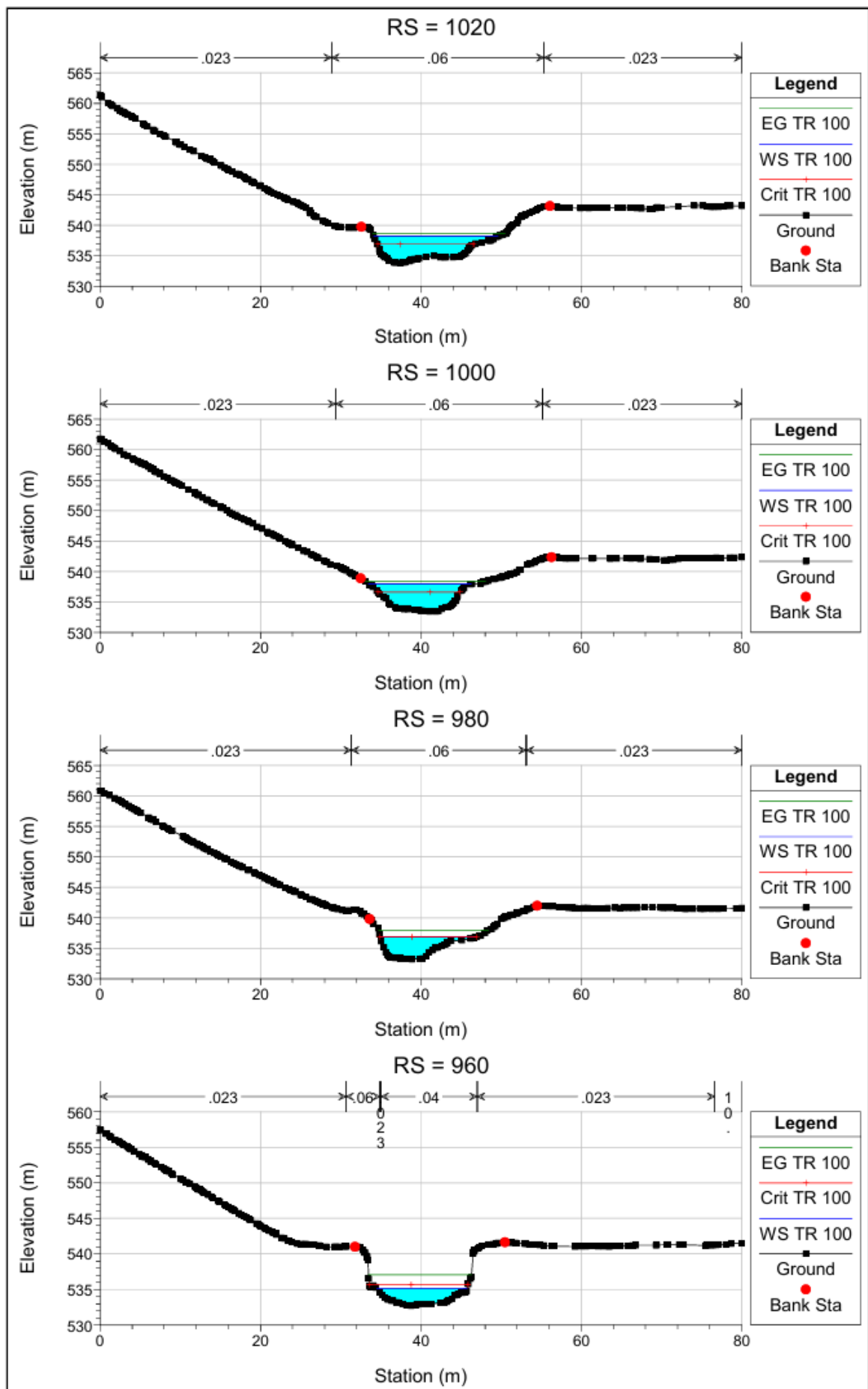


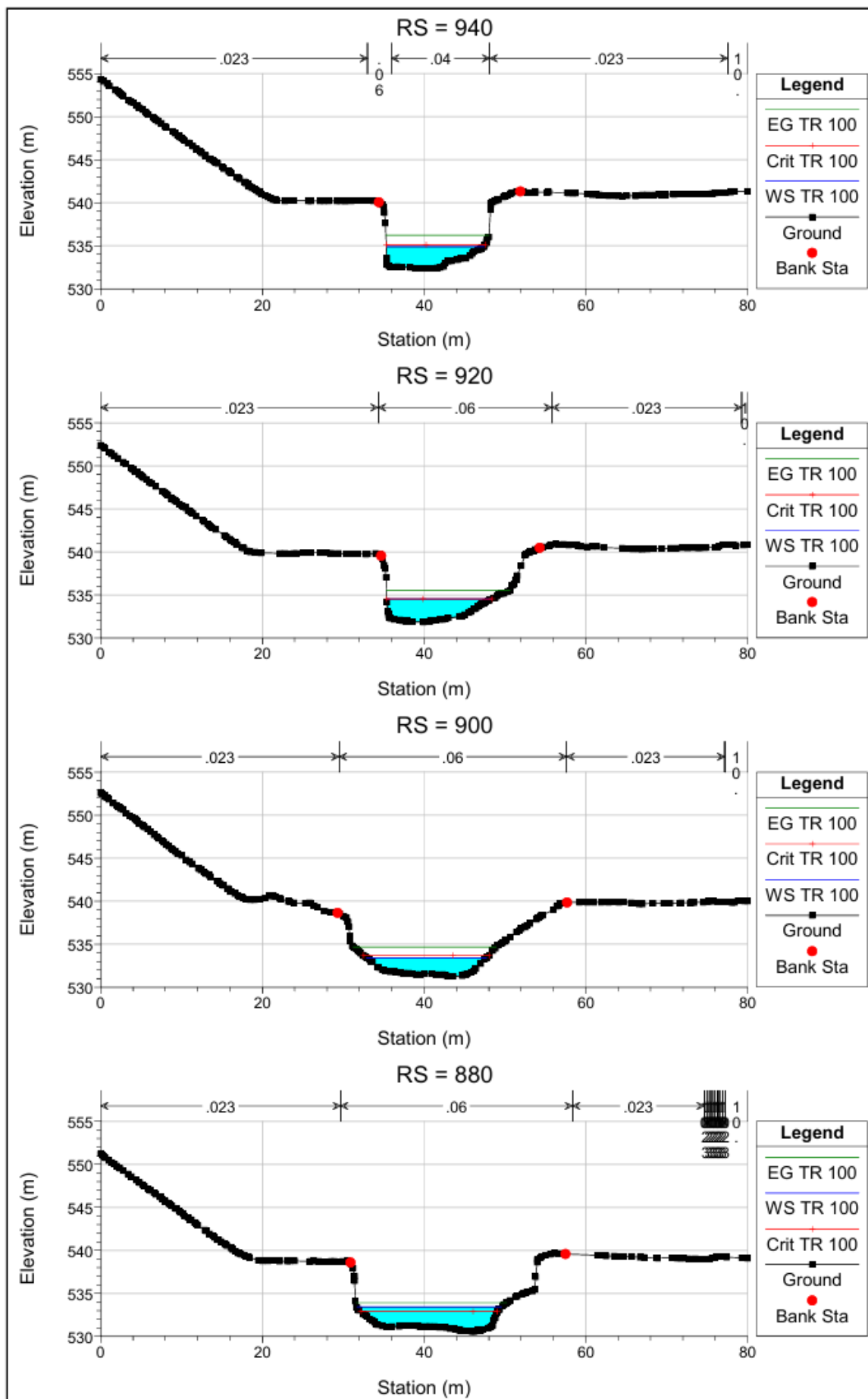


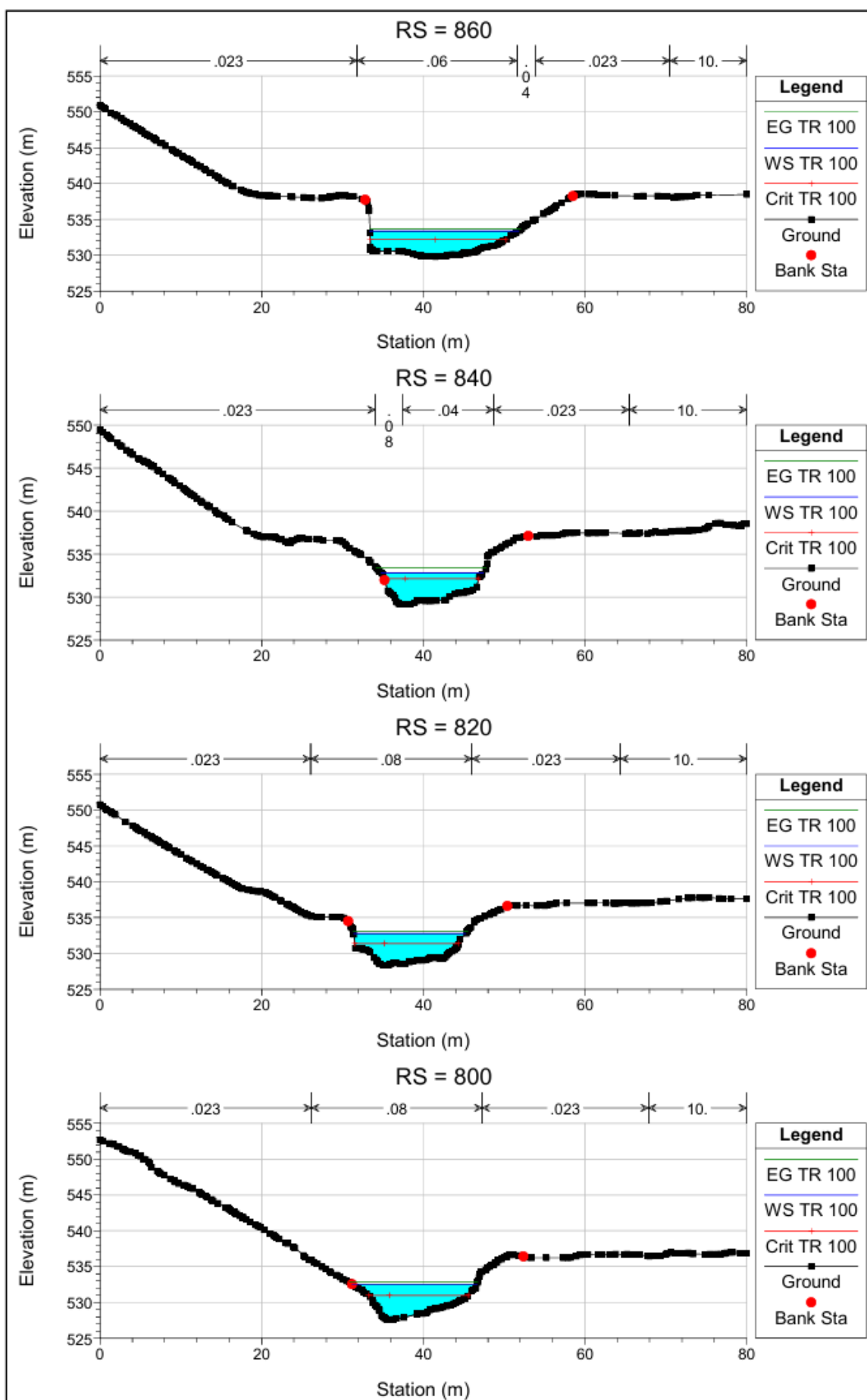


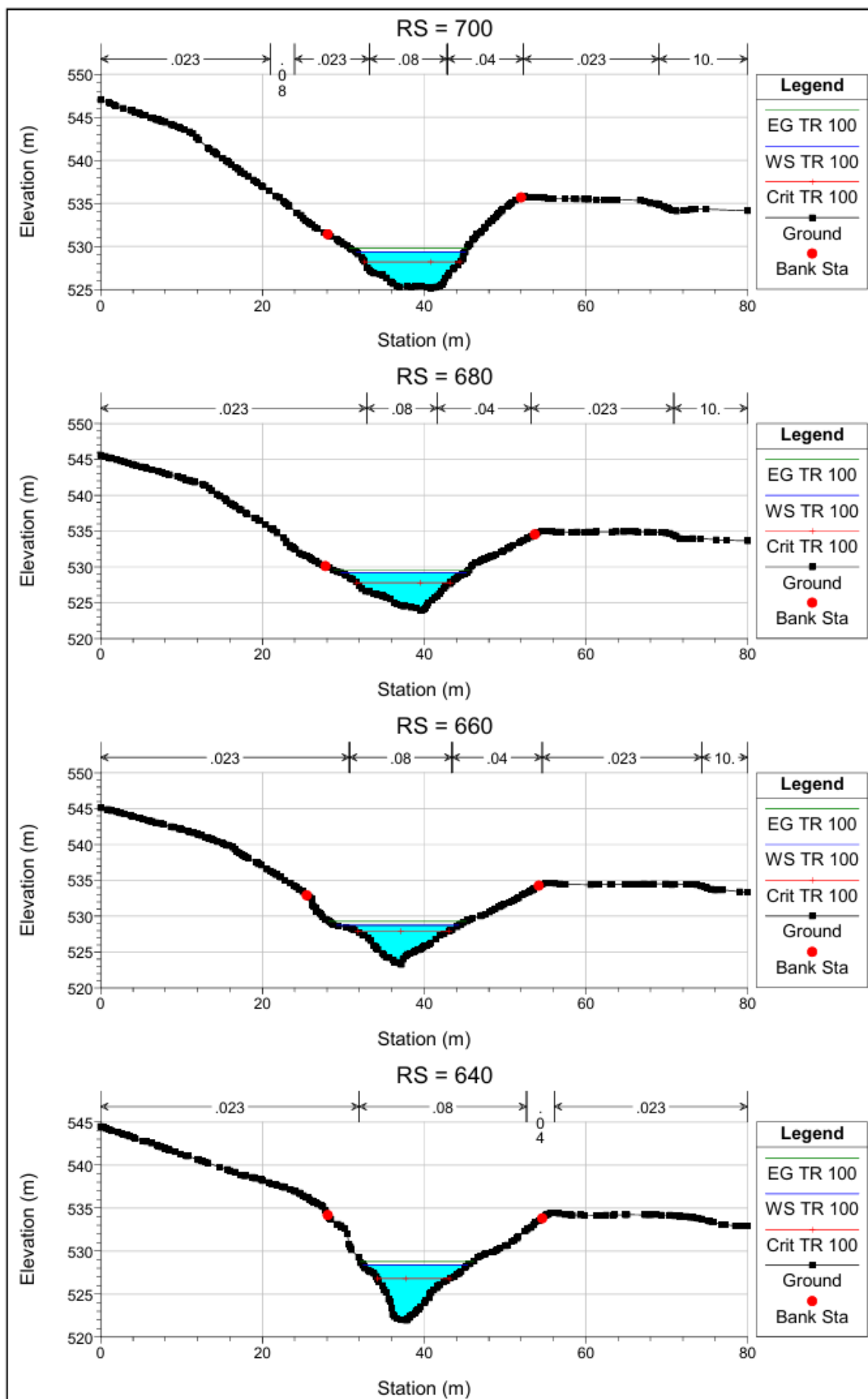


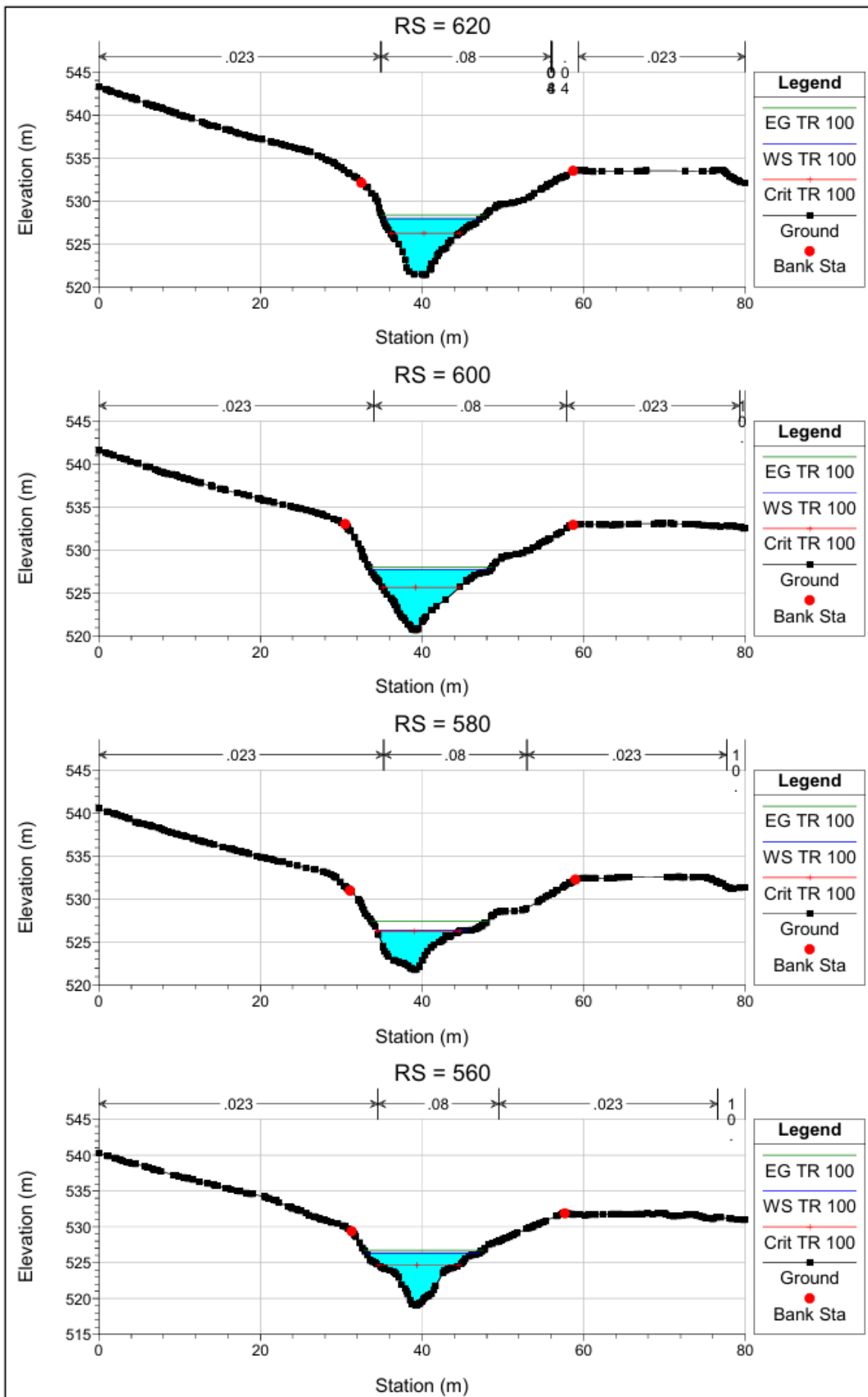


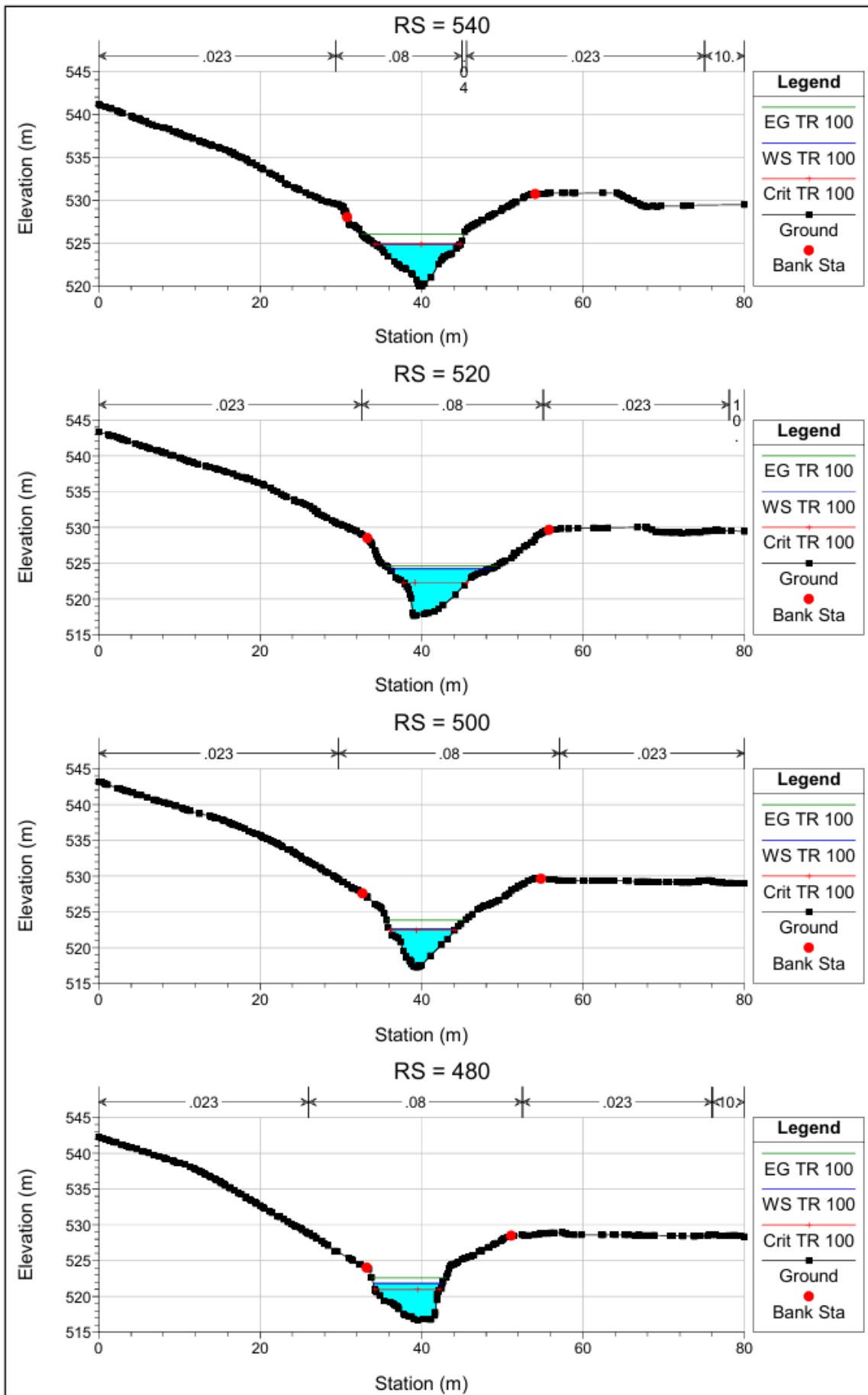


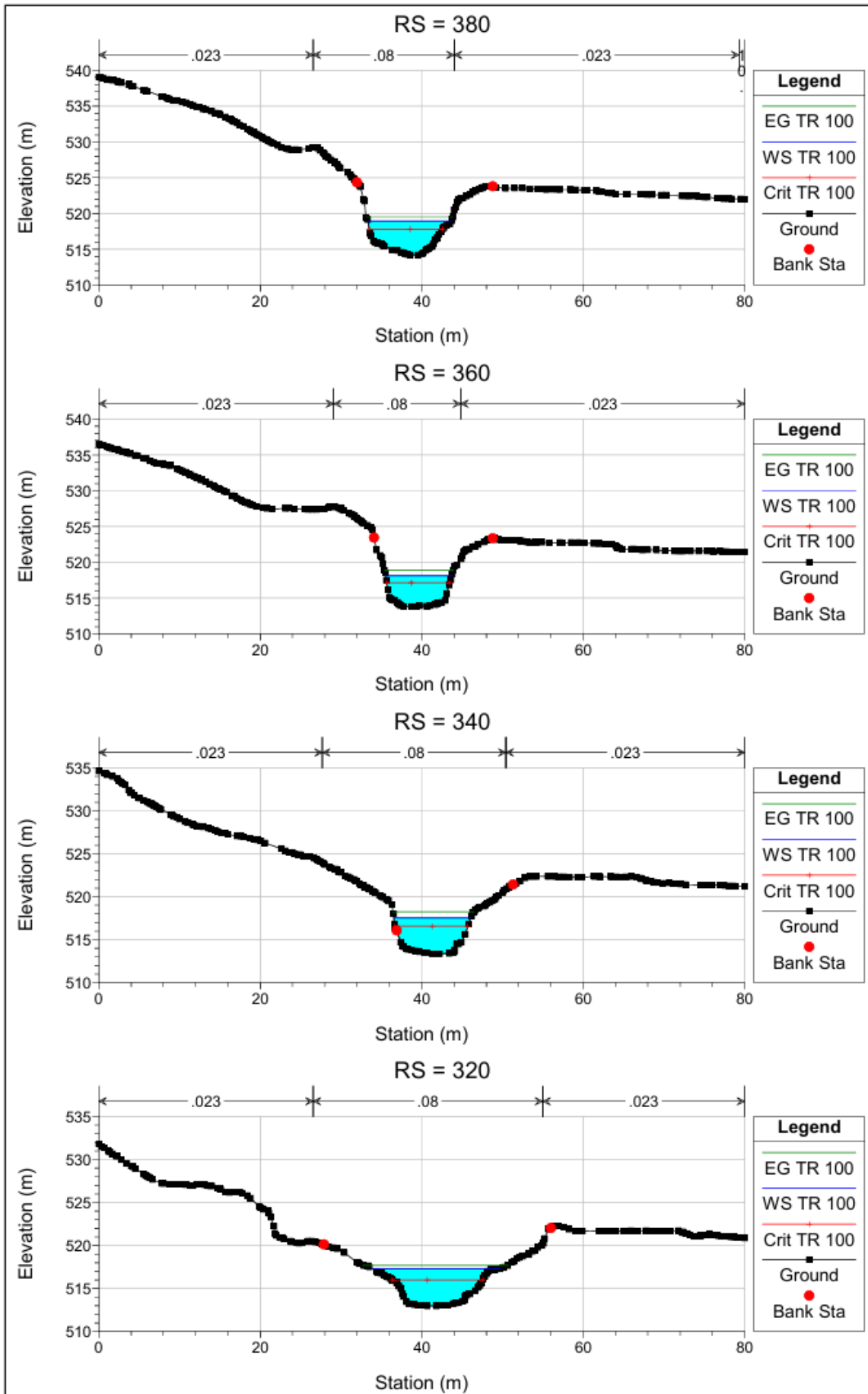


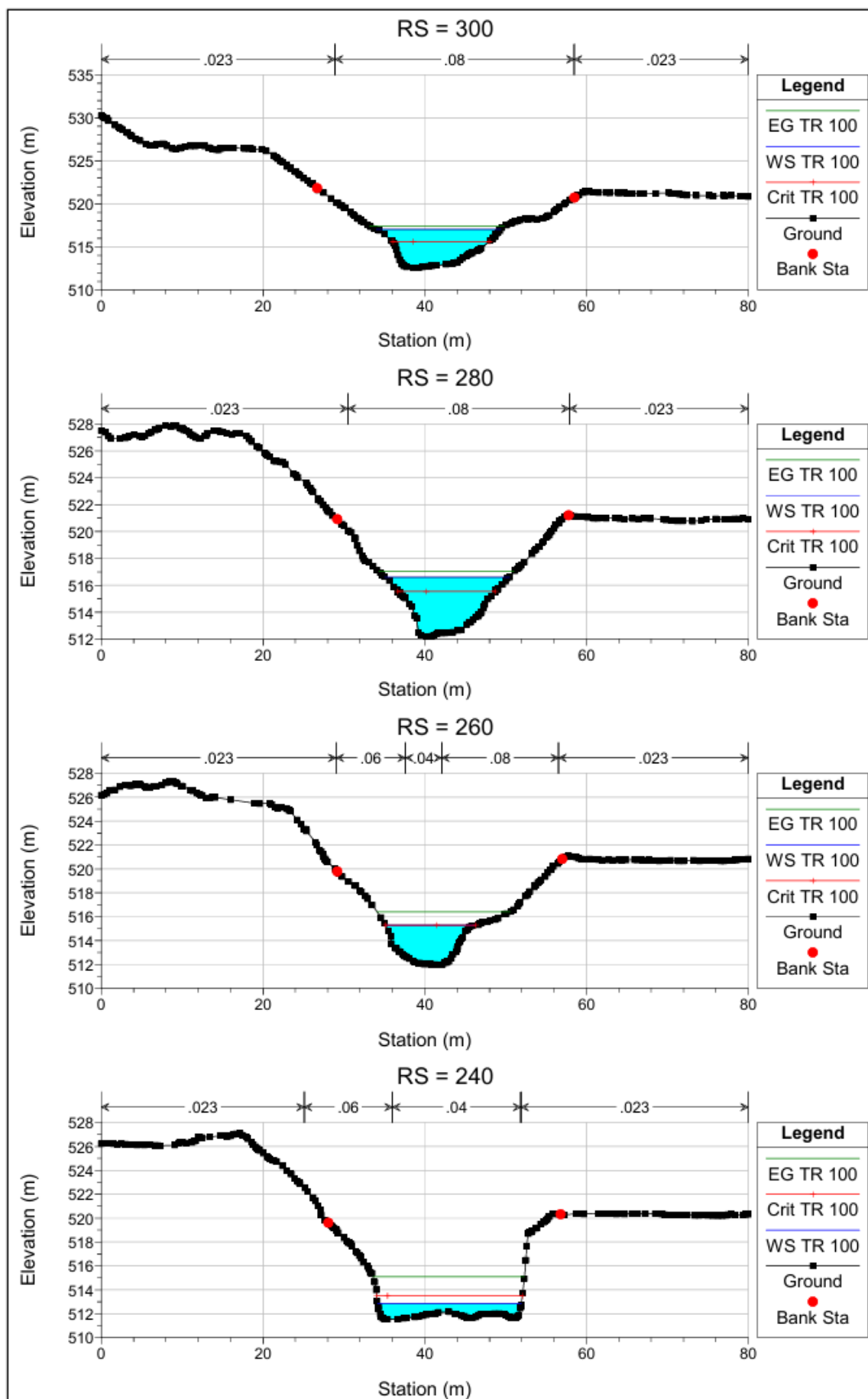


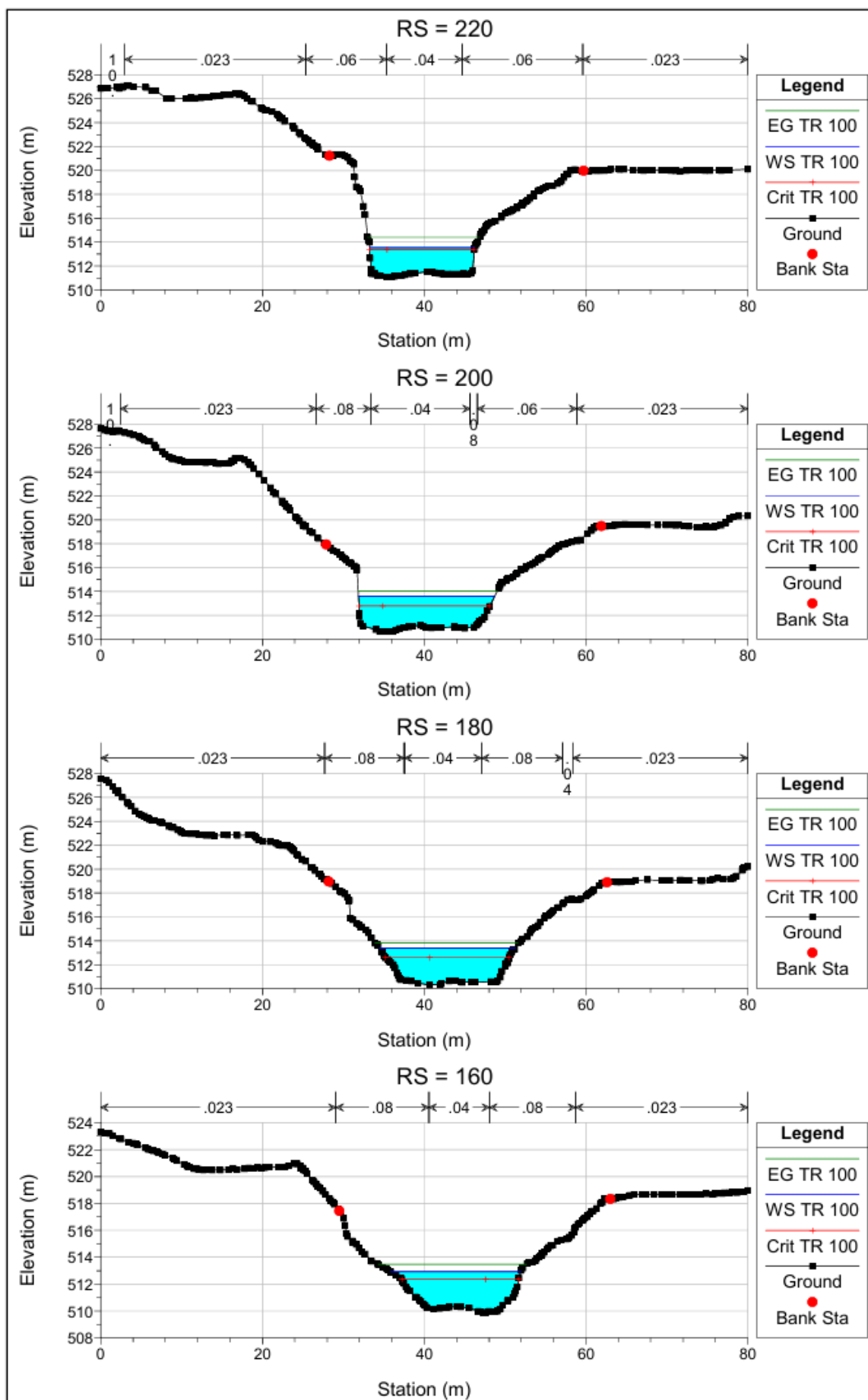


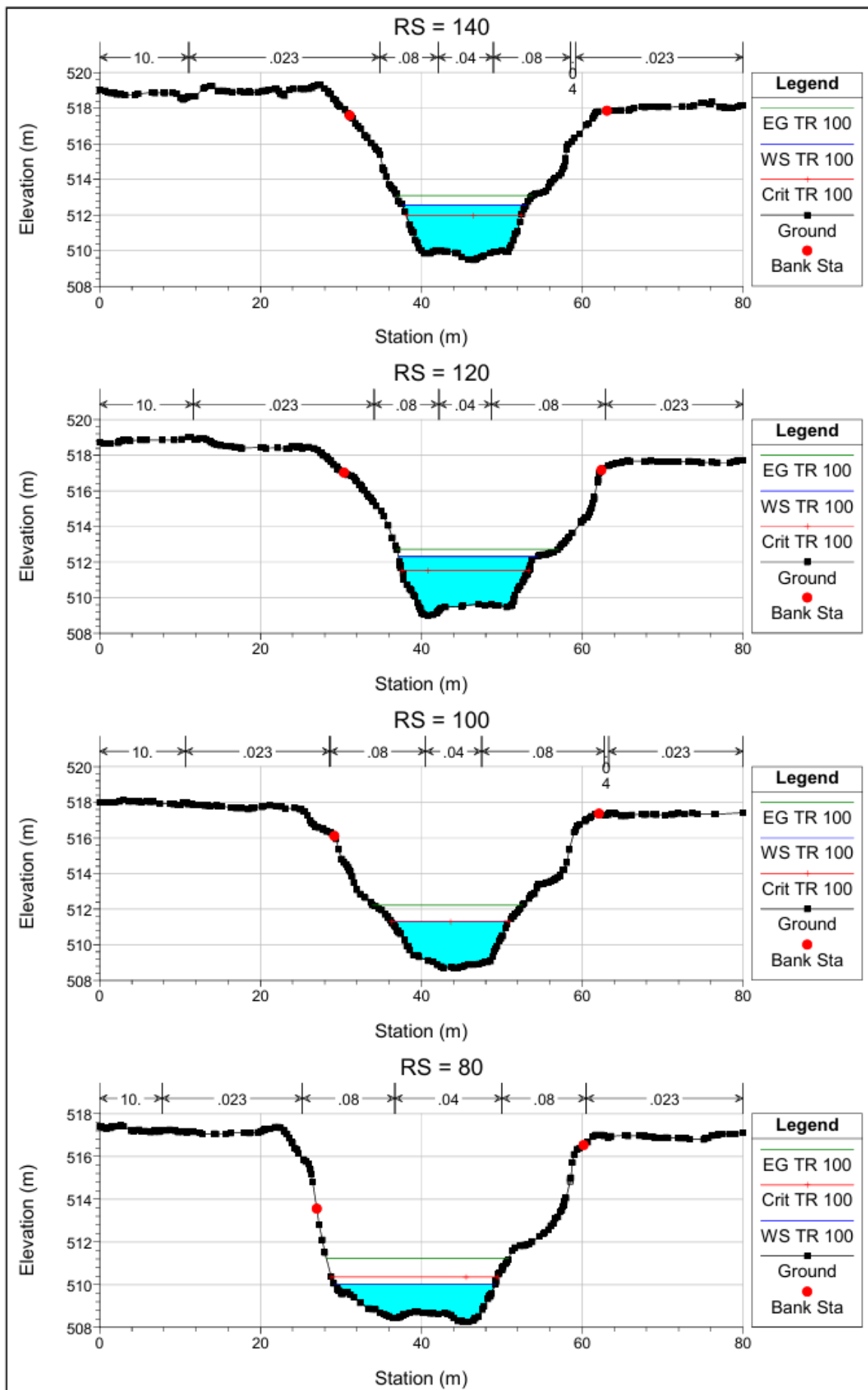


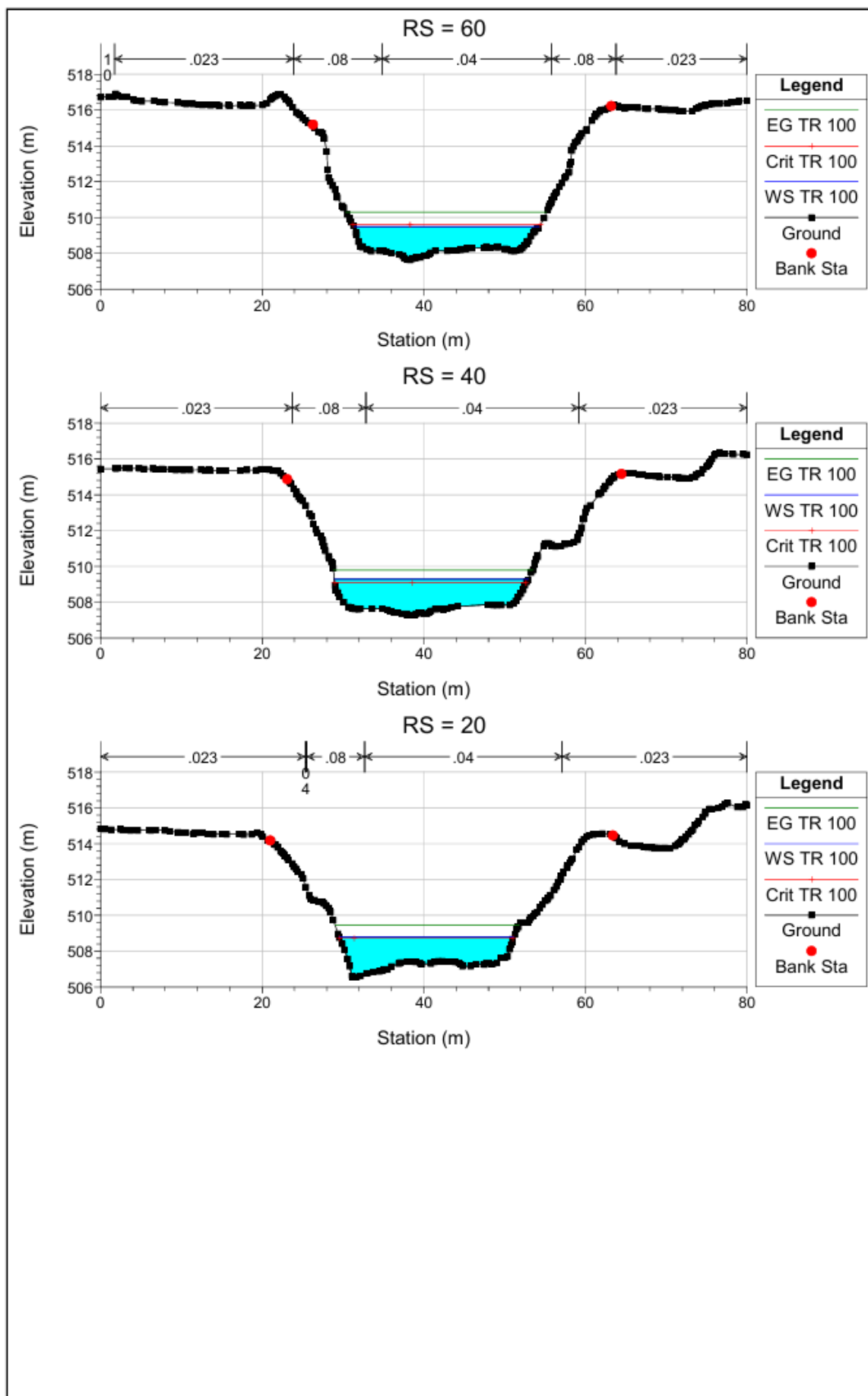












Anexo 3: Tabla de parámetros hidráulicos del modelamiento 1D para un TR de 100 años

HEC-RAS Plan: Plan100_1D River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: TR 100

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	1740	TR 100	117.00	554.57	558.75	557.88	559.38	0.016347	3.51	33.34	11.61	0.66
Reach 1	1720	TR 100	117.00	554.23	557.54	557.54	558.93	0.021377	5.22	22.41	8.09	1.00
Reach 1	1700	TR 100	117.00	553.66	556.43	556.89	558.36	0.030560	6.16	19.00	8.44	1.31
Reach 1	1680	TR 100	117.00	553.00	555.16	555.89	557.60	0.042832	6.92	16.91	9.90	1.69
Reach 1	1660	TR 100	117.00	552.73	554.52	555.10	556.41	0.061952	6.09	19.21	17.70	1.87
Reach 1	1640	TR 100	117.00	552.27	554.92	554.56	555.47	0.010034	3.29	35.56	18.37	0.76
Reach 1	1620	TR 100	117.00	551.84	554.35	554.35	555.17	0.019892	4.02	29.11	17.77	1.00
Reach 1	1600	TR 100	117.00	551.27	554.24	553.62	554.65	0.010531	2.82	41.46	21.20	0.64
Reach 1	1580	TR 100	117.00	550.59	554.06	553.26	554.43	0.010229	2.72	42.97	18.24	0.57
Reach 1	1560	TR 100	117.00	549.69	553.77	552.69	554.21	0.011329	2.95	39.70	12.91	0.54
Reach 1	1540	TR 100	117.00	549.48	552.50	552.50	553.76	0.035740	4.97	23.55	9.37	1.00
Reach 1	1520	TR 100	117.00	548.77	551.21	551.68	552.93	0.043093	5.81	20.12	11.61	1.41
Reach 1	1500	TR 100	117.00	548.41	551.91	550.69	552.23	0.004940	2.51	46.54	16.48	0.48
Reach 1	1480	TR 100	117.00	547.73	551.98	549.96	552.13	0.001416	1.69	69.44	20.71	0.29
Reach 1	1460	TR 100	117.00	547.20	551.92	550.02	552.09	0.002129	1.83	64.01	18.99	0.32
Reach 1	1440	TR 100	117.00	546.91	551.84	549.67	552.04	0.002524	2.01	58.31	15.15	0.33
Reach 1	1420	TR 100	117.00	546.43	550.24	550.24	551.79	0.028946	5.52	21.21	8.87	1.00
Reach 1	1400	TR 100	117.00	545.96	548.49	549.14	550.77	0.092161	6.68	17.52	8.80	1.51
Reach 1	1380	TR 100	117.00	545.41	548.99	548.55	549.59	0.017951	3.44	34.07	16.00	0.75
Reach 1	1360	TR 100	117.00	544.51	549.11	547.37	549.32	0.004038	2.03	57.66	18.71	0.36
Reach 1	1340	TR 100	117.00	543.43	548.89	546.94	549.22	0.005947	2.54	46.01	11.46	0.41
Reach 1	1320	TR 100	117.00	542.73	548.10	547.62	548.90	0.050577	3.97	29.45	10.66	0.76
Reach 1	1300	TR 100	117.00	541.97	547.10	546.51	547.94	0.045640	4.06	28.81	10.10	0.77
Reach 1	1280	TR 100	117.00	541.30	545.81	545.38	546.87	0.060160	4.58	25.55	8.64	0.85
Reach 1	1260	TR 100	117.00	540.96	545.16	544.37	545.89	0.033971	3.78	30.96	9.97	0.68
Reach 1	1240	TR 100	117.00	540.17	544.86	543.53	545.34	0.017221	3.06	38.19	10.71	0.52
Reach 1	1220	TR 100	117.00	539.76	544.47	543.09	544.98	0.018436	3.16	37.04	10.22	0.53
Reach 1	1200	TR 100	117.00	539.09	544.37	542.43	544.67	0.009046	2.40	48.65	12.63	0.39
Reach 1	1180	TR 100	117.00	538.58	544.28	542.04	544.49	0.006706	2.01	58.21	15.10	0.33
Reach 1	1160	TR 100	117.00	537.72	543.77	542.15	544.25	0.017196	3.09	37.85	9.55	0.50
Reach 1	1140	TR 100	117.00	537.26	543.18	541.93	543.82	0.025340	3.57	32.82	8.85	0.59
Reach 1	1120	TR 100	117.00	536.69	543.00	540.69	543.40	0.013063	2.80	41.83	9.04	0.42
Reach 1	1100	TR 100	117.00	536.12	541.40	541.40	542.74	0.095532	5.13	22.79	8.56	1.01
Reach 1	1080	TR 100	117.00	535.65	540.17	538.99	540.71	0.023398	3.23	36.21	11.78	0.59
Reach 1	1060	TR 100	117.00	535.68	538.59	538.59	539.86	0.076537	4.98	23.49	9.30	1.00
Reach 1	1040	TR 100	117.00	534.56	538.25	537.75	538.95	0.020375	3.71	31.52	12.66	0.75
Reach 1	1020	TR 100	117.00	533.82	538.25	536.87	538.60	0.008313	2.60	45.00	15.48	0.49
Reach 1	1000	TR 100	117.00	533.43	537.95	536.62	538.40	0.010525	2.98	39.21	12.81	0.54
Reach 1	980	TR 100	117.00	533.23	536.90	536.90	537.97	0.039873	4.58	25.57	12.08	1.00
Reach 1	960	TR 100	117.00	532.72	535.12	535.70	537.08	0.039638	6.21	18.83	11.26	1.53
Reach 1	940	TR 100	117.00	532.35	534.89	535.13	536.22	0.028637	5.11	22.91	12.08	1.18
Reach 1	920	TR 100	117.00	531.85	534.55	534.55	535.57	0.036064	4.46	26.22	13.03	1.00
Reach 1	900	TR 100	117.00	531.29	533.42	533.69	534.67	0.053691	4.96	23.57	14.86	1.26
Reach 1	880	TR 100	117.00	530.57	533.43	532.88	533.91	0.014659	3.06	38.22	17.85	0.67
Reach 1	860	TR 100	117.00	529.80	533.37	532.20	533.66	0.007014	2.38	49.15	18.39	0.47
Reach 1	840	TR 100	117.00	529.17	532.82	532.14	533.44	0.011689	3.50	33.59	12.65	0.68
Reach 1	820	TR 100	117.00	528.35	532.75	531.37	533.11	0.014343	2.64	44.29	13.87	0.47
Reach 1	800	TR 100	117.00	527.56	532.51	531.00	532.83	0.012704	2.51	46.70	15.41	0.46
Reach 1	780	TR 100	117.00	527.04	532.12	530.95	532.52	0.017700	2.81	41.65	14.97	0.54
Reach 1	760	TR 100	117.00	526.65	531.46	530.75	532.04	0.031964	3.36	34.85	14.22	0.68
Reach 1	740	TR 100	117.00	526.17	530.41	530.06	531.24	0.047112	4.04	28.98	11.86	0.82
Reach 1	720	TR 100	117.00	525.67	529.48	529.16	530.33	0.043992	4.09	28.63	11.47	0.83
Reach 1	700	TR 100	117.00	525.17	529.35	528.22	529.79	0.012148	2.95	39.60	13.45	0.55
Reach 1	680	TR 100	117.00	523.97	529.20	527.80	529.56	0.008793	2.67	43.87	15.48	0.51
Reach 1	660	TR 100	117.00	523.29	528.73	527.88	529.27	0.025189	3.24	36.16	15.07	0.67
Reach 1	640	TR 100	117.00	521.94	528.35	526.79	528.78	0.020643	2.91	40.24	12.90	0.53
Reach 1	620	TR 100	117.00	521.41	527.95	526.25	528.37	0.019823	2.89	40.42	12.06	0.50
Reach 1	600	TR 100	117.00	520.70	527.72	525.67	528.03	0.012606	2.45	47.72	14.84	0.44
Reach 1	580	TR 100	117.00	521.77	526.37	526.28	527.47	0.061895	4.64	25.20	11.30	0.99
Reach 1	560	TR 100	117.00	519.06	526.35	524.65	526.71	0.014896	2.63	44.44	14.14	0.47
Reach 1	540	TR 100	117.00	520.04	524.88	524.88	526.05	0.075460	4.79	24.42	10.54	1.00
Reach 1	520	TR 100	117.00	517.65	524.22	522.32	524.63	0.019391	2.84	41.18	12.64	0.50
Reach 1	500	TR 100	117.00	517.27	522.59	522.45	523.85	0.079440	4.98	23.50	8.22	0.94
Reach 1	480	TR 100	117.00	516.70	521.83	520.96	522.61	0.040190	3.93	29.77	8.59	0.67
Reach 1	460	TR 100	117.00	516.16	520.93	520.27	521.78	0.042845	4.08	28.67	8.93	0.73
Reach 1	440	TR 100	117.00	515.66	520.72	519.05	521.15	0.016400	2.91	40.22	10.87	0.48
Reach 1	420	TR 100	117.00	515.49	520.43	518.55	520.82	0.015174	2.77	42.17	10.48	0.44
Reach 1	400	TR 100	117.00	514.76	519.43	518.68	520.29	0.045577	4.11	28.47	8.49	0.72
Reach 1	380	TR 100	117.00	514.22	518.94	517.82	519.53	0.026071	3.42	34.25	10.34	0.60
Reach 1	360	TR 100	117.00	513.78	518.11	517.16	518.90	0.037179	3.93	29.79	8.19	0.66
Reach 1	340	TR 100	117.00	513.37	517.55	516.58	518.23	0.027090	3.67	32.18	9.56	0.63
Reach 1	320	TR 100	117.00	512.96	517.32	515.98	517.71	0.017865	2.77	42.25	15.91	0.54
Reach 1	300	TR 100	117.00	512.57	517.03	515.61	517.38	0.014201	2.61	44.83	15.39	0.49
Reach 1	280	TR 100	117.00	512.19	516.80	515.54	517.03	0.020407	2.93	39.93	15.38	0.58
Reach 1	260	TR 100	117.00	511.98	515.29	515.29	516.40	0.040808	4.68	25.01	11.21	1.00
Reach 1	240	TR 100	117.00	511.52	512.84	513.50	515.11	0.093852	6.66	17.57	17.73	2.14
Reach 1	220	TR 100	117.00	511.07	513.55	513.38	514.41	0.020741	4.12	28.39	13.02	0.89
Reach 1	200	TR 100	117.00	510.64	513.62	512.80	514.02	0.008637	2.80	41.78	16.84	0.57
Reach 1	180	TR 100	117.00	510.30	513.37	512.60	513.80	0.012906	2.92	40.01	16.78	0.60
Reach 1	160	TR 100	117.00	509.88	512.93	512.37	513.48	0.019183	3.28	35.63	16.10	0.70
Reach 1	140	TR 100	117.00	509.47	512.55	511.96	513.10	0.018738	3.27	35.74	15.40	0.69
Reach 1	120	TR 100	117.00	509.02	512.31	511.51	512.73	0.015051	2.86	40.98	17.29	0.59
Reach 1	100	TR 100	117.00	508.71	511.28	511.28	512.22	0.038505	4.29	27.29	14.58	1.00
Reach 1	80	TR 100	117.00	508.27	510.03	510.35	511.22	0.062221	4.83	24.21	20.08	1.41
Reach 1	60	TR 100	117.00	507.63	509.49	509.60	510.30	0.028250	4.00	29.24	22.96	1.13
Reach 1	40	TR 100	117.00	507.27	509.29	509.08	509.80	0.014311	3.16	36.99	24.03	0.81

HEC-RAS Plan: Plan100_1D River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: TR 100 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	20	TR 100	117.00	506.52	508.79	508.72	509.45	0.020015	3.60	32.50	21.66	0.94

Anexo 4: Análisis del peligro para la Evaluación de riesgo

FACTORES CONDICIONANTES								FACTOR DESENCADENANTE (FD)		SUSCEPTIBILIDAD (S)
PENDIENTE		GEOMORFOLOGÍA A		GEOLOGÍA		VALOR	PESO	CAUDAL		
Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc					VALOR
0.633	0.562	0.260	0.538	0.106	0.476	0.55	0.70	0.539	0.30	0.544
0.633	0.221	0.260	0.217	0.106	0.312	0.23	0.70	0.539	0.30	0.322
0.633	0.120	0.260	0.125	0.106	0.118	0.12	0.70	0.539	0.30	0.246
0.633	0.063	0.260	0.075	0.106	0.061	0.07	0.70	0.539	0.30	0.208
0.633	0.034	0.260	0.045	0.106	0.032	0.04	0.70	0.539	0.30	0.187

SUSCEPTIBILIDAD (S)		PARÁMETRO DE EVALUACIÓN		PELIGRO
VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR
0.544	0.90	0.513	0.10	0.541
0.322	0.90	0.258	0.10	0.316
0.246	0.90	0.128	0.10	0.235
0.208	0.90	0.066	0.10	0.194
0.187	0.90	0.034	0.10	0.172

Anexo 5: Análisis de la vulnerabilidad para la Evaluación de riesgo

DIMENSIÓN SOCIAL															
FRAGILIDAD				Valor Fragilidad Social	Peso Fragilidad Social	RESILIENCIA						Valor Resiliencia Social	Peso Resiliencia Social	VALOR DIMENSIÓN SOCIAL	PESO DIMENSIÓN SOCIAL
Grupo Etario		Discapacidad				Nivel Educativo		Tipo de seguro		Beneficiario de programas sociales					
Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc				
0.500	0.503	0.500	0.457	0.480	0.500	0.571	0.468	0.286	0.461	0.143	0.503	0.471	0.500	0.476	0.500
0.500	0.260	0.500	0.257	0.259	0.500	0.571	0.268	0.286	0.270	0.143	0.260	0.268	0.500	0.263	0.500
0.500	0.134	0.500	0.150	0.142	0.500	0.571	0.144	0.286	0.145	0.143	0.134	0.143	0.500	0.142	0.500
0.500	0.068	0.500	0.087	0.077	0.500	0.571	0.076	0.286	0.077	0.143	0.068	0.075	0.500	0.076	0.500
0.500	0.035	0.500	0.049	0.042	0.500	0.571	0.044	0.286	0.046	0.143	0.035	0.043	0.500	0.043	0.500

DIMENSIÓN ECONÓMICA														VALOR DE LA VULNERABILIDAD
FRAGILIDAD				Valor Fragilidad Económica	Peso Fragilidad Económica	RESILIENCIA				Valor Resiliencia Económica	Peso Resiliencia Económica	VALOR DIMENSIÓN ECONÓMICA	PESO DIMENSIÓN ECONÓMICA	
Material predominante de las paredes		Material predemoinante en los techos				Tipo de vivienda		Régimen de tenencia						
Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc					
0.500	0.445	0.500	0.503	0.474	0.500	0.500	0.513	0.500	0.501	0.507	0.500	0.490	0.500	0.483
0.500	0.297	0.500	0.260	0.279	0.500	0.500	0.263	0.500	0.262	0.263	0.500	0.271	0.500	0.267
0.500	0.147	0.500	0.134	0.141	0.500	0.500	0.130	0.500	0.134	0.132	0.500	0.136	0.500	0.139
0.500	0.073	0.500	0.068	0.070	0.500	0.500	0.061	0.500	0.068	0.065	0.500	0.068	0.500	0.072
0.500	0.037	0.500	0.035	0.036	0.500	0.500	0.032	0.500	0.035	0.034	0.500	0.035	0.500	0.039