



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Vulnerabilidad del sector Huarmaca - El Faical km 1740-
1770 ruta PE-3N por activación de quebradas durante El
Niño costero 2017**

Tesis para optar el Grado de
Máster en Ingeniería Civil con mención en Ingeniería Vial

Wilser Alberto Briones Vargas

Asesor(es):
Mgtr. Ing. Clara Marina Farías Zegada de Reyes

Piura, diciembre de 2023



UNIVERSIDAD
DE PIURA

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

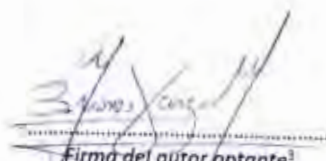
Yo, Wilser Alberto Briones Vargas., egresado programa de posgrado en Ingeniería Civil con mención en Ingeniería Vial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado con DNI 44821894

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Vulnerabilidad del sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 ruta PE-3N por activación de quebradas durante El Niño costero 2017"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis.¹ para optar el Grado de Maestro.
2. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Ing. Clara Marina Farías Zegada de Reyes, identificado con DNI N° 02816757
3. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
4. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
5. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
6. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 01/12/2023


Firma del autor optante²

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título de profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica a DNI, no se admite digital salvo certificado.

Dedicatoria

A mi esposa, sin tu apoyo, nada fuera posible.

A mi hijo, motivo de todo el esfuerzo.

A mis padres, principales ejemplos.

A Dios, infinitas gracias.



Resumen

La presente tesis tiene como objetivo analizar la vulnerabilidad por inundación y movimiento de masas de las quebradas críticas del sector Huarmaca Km 1740 al Sector El Faical Km 1770 en la ruta nacional PE-3N, para esto, se calculó el caudal líquido y caudal sólido para las quebradas críticas en base a los datos de precipitaciones máximas registrados por el SENAMHI.

Luego de ello se analizaron los parámetros de las dimensiones económicas, sociales y ambientales para calcular el nivel de peligrosidad, vulnerabilidad y finalmente riesgo en cada una de las nueve quebradas críticas estudiadas. Para este fin se usaron los softwares HIDROESTA 2 para análisis hidrológico y ARCGIS para el procesamiento de datos espaciales y elaboración de los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

El resultado del nivel de vulnerabilidad del sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 ruta PE-3N es alto con un valor de 0.156, al igual que el nivel de peligrosidad y riesgo cuyos resultados arrojan niveles altos con valores de 0.168 para las quebradas 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 mientras que para las quebradas 2 y 7 el valor de peligrosidad es de 0.240 mientras que el valor de riesgo es de 0.068 para el sector en estudio.

Debido a estos resultados se concluye que las estructuras de paso transversal analizadas deberían ser reforzadas y/o reconstruidas de acuerdo con un nivel de priorización II según el manual de CENEPRED, el cual constituye el soporte para la priorización de actividades, acciones y proyectos vinculados a la prevención y/o reducción de riesgo de desastres.

Por último, se analizó el comportamiento de las estructuras afectadas durante El Niño Costero y se propuso alternativas de solución para mitigar los impactos según los resultados del análisis de vulnerabilidad realizados en las quebradas en estudio, implementando soluciones como las recomendadas en la presente tesis se mejorarán las características funcionales del sector y se reducirán los costos de reparación e incluso se evitará la interrupción de la transitabilidad en la vía, lo cual provoca efectos negativos en la economía local al paralizar el comercio y otras actividades básicas propias de la zona.

Tabla de contenido

Introducción.....	11
Capítulo 1 Marco físico.....	12
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos	15
1.4 Ruta Nacional PE – 3N.....	15
1.5 Sector de interés: Huarmaca Km 1740 al Sector El Faical Km 1770.....	18
1.5.1 Ubicación y descripción del sector en estudio	18
1.5.2 Topografía.....	20
1.5.3 Clima	20
1.5.4 Estado actual de la carretera	20
1.5.5 Obras de arte construidas en el sector en estudio antes de la ocurrencia de El Niño Costero 2017.....	21
1.5.6 Puntos críticos del sector en estudio.....	21
Capítulo 2 Marco teórico.....	24
2.1 Análisis hidrológico	24
2.1.1 Parámetros geomorfológicos de las cuencas	24
2.1.2 Tiempo de concentración.....	24
2.1.3 Análisis de frecuencia: selección de la distribución de mejor ajuste.....	24
2.1.4 Determinación de curvas Intensidad Duración Frecuencia	25
2.1.5 Selección del periodo de retorno	25
2.1.6 Estimación de caudales máximos.....	25
2.1.7 Estimación del coeficiente de escorrentía.....	26
2.1.8 Estimación del caudal sólido en las quebradas en estudio.....	27
2.2 Análisis de vulnerabilidad.....	28
2.2.1 Determinación de niveles de peligrosidad.....	28
2.2.1.1 Fenómeno de inundación	28
2.2.1.2 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundaciones.....	29
2.2.1.3 Fenómeno de movimiento de masas	30
2.2.1.4 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de	

movimiento de masas.....	30
2.2.1.5 Susceptibilidad.....	32
2.2.1.6 Niveles de peligrosidad.....	32
2.2.2 Vulnerabilidad.....	33
2.2.2.1 Factores de la vulnerabilidad: exposición, fragilidad y resiliencia	33
2.2.2.2 Elementos expuestos sociales, económicos y ambientales.	33
2.2.2.3 Determinación de los niveles de vulnerabilidad	34
2.2.3 Niveles de riesgo.....	34
2.2.3.1 Matriz de riesgo.....	35
2.2.3.2 Mapa de niveles de riesgo	36
2.2.3.3 Aplicación del procedimiento para calcular peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.	36
Capítulo 3 Análisis hidrológico y de vulnerabilidad.....	38
3.1 Análisis hidrológico	38
3.1.1 Características geomorfológicas de las quebradas.....	38
3.1.2 Tratamiento de la información pluviométrica.....	39
3.1.3 Análisis de frecuencia: selección de la distribución de mejor ajuste.....	40
3.1.4 Determinación de Curvas Intensidad Duración Frecuencia	42
3.1.5 Selección del periodo de retorno	43
3.1.6 Estimación del caudal máximo en las quebradas en estudio	43
3.1.7 Estimación del caudal sólido en las quebradas en estudio.....	44
3.2 Estudios de vulnerabilidad en carreteras.....	44
3.3 Determinación del nivel de peligrosidad.....	47
3.2.1 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundación y movimiento de masas.....	48
3.2.2 Parámetros y descriptores que son susceptibles al fenómeno de estudio.....	50
3.2.3 Cálculo de susceptibilidad.....	52
3.2.4 Cálculo de la peligrosidad	52
3.4 Determinación del nivel de vulnerabilidad	53
3.3.1 Análisis de la dimensión social.....	53
3.3.2 Análisis de la dimensión económica	55
3.3.3 Análisis de la dimensión ambiental.....	57

3.3.4	Cálculo de la vulnerabilidad	58
3.5	Determinación del nivel de riesgo	59
Capítulo 4 Propuesta para mitigar la vulnerabilidad y riesgo.....		60
4.1	Análisis de las estructuras afectadas por El Niño Costero en las quebradas en estudio.....	60
4.1.1	Quebrada 1 – Progresiva Km 1741+856	60
4.1.2	Quebrada 2 – Progresiva Km 1758+880	61
4.1.3	Quebrada 3 – Progresiva Km 1760+020	61
4.1.4	Quebrada 4 – Progresiva Km 1760+388	61
4.1.5	Quebrada 5 – Progresiva Km 1760+840	61
4.1.6	Quebrada 6 – Progresiva Km 1761+507	62
4.1.7	Quebrada 7 – Progresiva Km 1763+483	62
4.1.8	Quebrada 8 – Progresiva Km 765+923 y Quebrada 9 Progresiva Km 1766+610.....	62
4.2	Propuesta de estructuras hidráulicas y planteamiento de soluciones.....	62
4.2.1	Quebrada 1 – Progresiva Km 1741+856	64
4.2.2	Quebrada 2 – Progresiva Km 1758+880	64
4.2.3	Quebrada 3 – Progresiva Km 1760+020	65
4.2.4	Quebrada 4 – Progresiva Km 1760+388	66
4.2.5	Quebrada 5 – Progresiva Km 1760+840	67
4.2.6	Quebrada 6 – Progresiva Km 1761+507	68
4.2.7	Quebrada 7 – Progresiva Km 1763+483	69
4.2.8	Quebrada 8 – Progresiva Km 1765+923	70
4.2.9	Quebrada 9 – Progresiva Km 1766+610	71
Conclusiones.....		73
Referencias		74
Apéndice.....		76
Apéndice A. Panel fotográfico con imágenes de algunas las obras de arte existentes en la zona en estudio		76
Apéndice B. Panel fotográfico con imágenes de sectores críticos del sector en estudio..		78
Apéndice C. Quebradas en estudio		80
Apéndice D. Modelos de distribución para la serie de la estación Huarmaca.....		83
Apéndice E. Mapas del nivel de peligrosidad		87

Apéndice F. Mapas del nivel de vulnerabilidad	91
Apéndice G. Mapas del nivel de riesgo.....	95
Anexos	99
Anexo 1. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018).....	99



Lista de tablas

Tabla 1	Coordenadas de inicio y fin del tramo en estudio.....	16
Tabla 2	Coordenadas de inicio y fin del sector en estudio	18
Tabla 3	Clasificación de las carreteras por demanda.....	20
Tabla 4	Clasificación de las carreteras por orografía	20
Tabla 5	Estructuras hidráulicas menores construidas en el sector en estudio (2012-2017)	21
Tabla 6	Puntos críticos del sector en estudio	21
Tabla 7	Coeficientes de escorrentía para calcular caudal.....	26
Tabla 8	Pesos a considerar de acuerdo a precipitaciones anómalas positivas	29
Tabla 9	Pesos a considerar de acuerdo a cercanía a una fuente de agua	30
Tabla 10	Pesos a considerar de acuerdo a intensidad de la lluvia en una hora	30
Tabla 11	Textura según clasificación del suelo	30
Tabla 12	Inclinación del suelo de acuerdo a la pendiente	31
Tabla 13	Erosión del suelo.....	31
Tabla 14	Velocidad de desplazamiento para movimiento de masas.....	32
Tabla 15	Matriz de peligro.....	32
Tabla 16	Matriz de vulnerabilidad	34
Tabla 17	Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo	35
Tabla 18	Rangos para los niveles de riesgo.....	36
Tabla 19	Matriz de riesgo	36
Tabla 20	Parámetros geomorfológicos de las quebradas críticas.....	38
Tabla 21	Registro lluvia máxima estación Huarmaca.....	39
Tabla 22	Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	40
Tabla 23	Predicciones de precipitación máxima para los modelos de distribución ajustados .	41
Tabla 24	Precipitación máxima (mm) por tiempos de duración	42
Tabla 25	Intensidades máximas horarias (mm/h) para el sector de estudio	42
Tabla 26	Periodo de retorno.....	43
Tabla 27	Estimación de Caudales Máximos	44
Tabla 28	Estimación de Caudal Sólido	44
Tabla 29	Parámetros y descriptores del fenómeno inundación y de movimiento de masas ...	49
Tabla 30	Parámetros y descriptores de los factores condicionantes.....	51

Tabla 31 Parámetros y descriptores de los factores desencadenantes.....	51
Tabla 32 Valores de susceptibilidad.....	52
Tabla 33 Valores de peligrosidad	53
Tabla 34 Análisis de la dimensión social	53
Tabla 35 Análisis de la dimensión económica.....	55
Tabla 36 Análisis de la dimensión ambiental	57
Tabla 37 Cálculo de vulnerabilidad	59
Tabla 38 Cálculo de vulnerabilidad	63



Lista de figuras

Figura 1 Tramo en estudio: Hualapampa – Sondor km 1676 al km 1813+825.....	17
Figura 2 Sector en estudio entre las progresivas km 1740+000 (Huarmaca) y km 1770+000 (El Faical).....	19
Figura 3 Ubicación de las quebradas en el sector en estudio.....	23
Figura 4 Plano cartesiano para medir niveles de riesgo	35
Figura 5 Histograma de precipitación máxima anual estación Huarmaca.....	40
Figura 6 Gráficas de dispersión total de las distribuciones aplicadas a la serie de datos	41
Figura 7 Curvas IDF para el sector de estudio.....	43
Figura 8 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 1.....	64
Figura 9 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 2.....	65
Figura 10 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 3.....	66
Figura 11 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 4.....	67
Figura 12 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 5.....	68
Figura 13 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 6.....	69
Figura 14 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 7.....	70
Figura 15 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 8.....	71
Figura 16 Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 9.....	72

Introducción

Este trabajo desarrolla el análisis por inundación y movimiento de masas de las quebradas del sector Huarmaca (Km 1740) al sector El Faical (Km 1770) en la Ruta Nacional PE-3N. El sector en estudio está bajo la administración del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL), quien viene desarrollando su política de mantenimiento y conservación de la Red Vial Nacional. Por este motivo, se tercerizan estos trabajos a través de contratos por Niveles de Servicio. De esta forma, se busca mantener las vías nacionales con una adecuada serviciabilidad, interviniendo en forma oportuna y sistemáticamente a través de actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, mejoramiento, reparaciones menores, atención de emergencias viales, riesgos potenciales, entre otros.

A través del contrato N° 069-2012-MTC/20: Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial EMP. PE 04-B (Hualapampa) – Sondor – Huancabamba – Pacaipampa – Socchabamba – Puesto Vado Grande / Sondor – Tabaconas – EMP. PE 5N (Ambato)/ Huancabamba – Canchaque y Socchabamba – Ayabaca, Tramo: Socchabamba – Ayabaca, firmado el 24 de agosto de 2012, se efectuaron diversas intervenciones en el corredor vial en todos sus componentes (calzada, obras de arte, señalización, derecho de vía, entre otros) en los 05 años de duración que tuvo el contrato, estas intervenciones elevaron el estándar de servicio de la carretera; sin embargo, el Fenómeno El Niño Costero, acontecido a inicios del año 2017 y dentro de la vigencia del contrato, golpeó fuertemente varios sectores del corredor vial, entre los cuales el sector en estudio. Las afectaciones principalmente se dieron en las obras de arte y esto evidenció la necesidad de efectuar mejoras en la concepción y diseño de las estructuras de las obras de arte que forman parte de los contratos por Niveles de Servicio.

Conforme a esto, se ha previsto el desarrollo de la presente tesis en cuatro capítulos. El primero, correspondiente al marco físico que muestra ubicación y descripción de la ruta, la ubicación hidrográfica, topografía, clima y describe la situación actual del sector, las obras hidráulicas existentes y los sectores críticos de la ruta en estudio.

El segundo capítulo presenta el marco teórico para realizar el análisis hidrológico y el análisis de vulnerabilidad en cada quebrada en estudio.

El tercer capítulo, correspondiente al desarrollo del análisis hidrológico y de vulnerabilidad y riesgo.

Finalmente, el último capítulo, presenta las alternativas de solución a tener en cuenta para mitigar los impactos en cada quebrada calculados con el análisis de vulnerabilidad y riesgo

Capítulo 1.

Marco físico

1.1 Antecedentes

El sector en estudio se encuentra comprendido dentro de la Ruta Nacional PE-3N (Eje Longitudinal de la Sierra), el cual conecta la frontera norte con Ecuador en Vado Grande, distrito de Ayabaca, provincia de Ayabaca, departamento de Piura y la frontera sur con Bolivia en el Puente Desaguadero (PE-3S) en el distrito de Desaguadero, provincia de Chucuito, departamento de Puno.

El Plan Vial Departamental Participativo de la Región Piura, elaborado por el Gobierno Regional de Piura en el año 2005, señala que la carretera Hualapampa – Huarmaca – Sondorillo, donde se ubica el sector en estudio, se encontraba a nivel de trocha, en mal estado de conservación; esto, incrementaba el tiempo de viaje de los usuarios, así como los gastos operativos en los que cualquier vehículo incurre para completar un viaje, ya sea de turismo, transporte de mercancías o de pasajeros.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL) implementó desde el año 2007, aproximadamente, los contratos por resultados, conocidos como Contratos por Niveles de Servicio.

Los contratos por Niveles de Servicio son aquellos cuya finalidad es garantizar la conservación y funcionamiento constante de los componentes de una carretera o corredor vial, los plazos para efectuar la intervención, que incluye mayormente conservación rutinaria, conservación periódica, mejoramiento, reparaciones menores, atención de emergencias viales, entre otros, son de entre 3 a 5 años, en donde el riesgo de las intervenciones se traslada al contratista conservador, quien, bajo la supervisión de la entidad contratante, debe garantizar el cumplimiento de las condiciones plasmadas en los términos de referencia que rigen el contrato.

Los términos de referencia comprenden la documentación que contiene todas las condiciones técnicas y legales que el contratista conservador debe seguir rigurosamente, respetando los plazos, especificaciones técnicas, metrados, alcances, condiciones de pago, entre otros.

En ese sentido, el plan de conservación vial, elaborado en el marco del contrato N° 069-2012-MTC/20: Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial EMP. PE 04-B (Hualapampa) – Sondor – Huancabamba – Pacaipampa – Socchabamba – Puesto Vado Grande / Sondor – Tabaconas – EMP. PE 5N (Ambato)/ Huancabamba – Canchaque y Socchabamba – Ayabaca, Tramo: Socchabamba – Ayabaca, identificó que las obras de arte emplazadas en el sector eran en su mayoría artesanales, las cuales fueron construidas por los propios pobladores y usuarios de la vía sin un criterio técnico. De acuerdo a los Términos de

Referencia del Contrato N° 069-2012-MTC/20, el contratista conservador debía plantear una serie de intervenciones de obras de arte y otros componentes, con número limitado de acuerdo a los alcances de los términos de referencia, a nivel definitivo, las cuales tenían la función principal de evitar la interrupción de la transitabilidad ante eventos climatológicos y así mantener una adecuada serviciabilidad, interviniendo en forma oportuna y sistemáticamente a través de actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, mejoramiento, reparaciones menores, atención de emergencias viales, riesgos potenciales, entre otros.

Entre los años 2013 y 2014 se efectuó la intervención en el sector en estudio, donde en total se construyeron 73 alcantarillas y 06 badenes, esto de acuerdo a la evaluación efectuada por el contratista – conservador y de acuerdo a los alcances de los términos de referencia del contrato N° 069-2012-MTC/20.

1.2 Justificación

En el Perú, los contratos de niveles de servicio en obras viales tienen como objeto mejorar y asegurar una adecuada transitabilidad durante su vigencia, beneficiando al transporte de pasajeros y carga que transitan por el corredor vial. Estos contratos permiten contar con infraestructura vial en condiciones de serviciabilidad y transitabilidad adecuadas, además de fluidez y seguridad, reduciendo los costos de operación vehicular y tiempos de viaje en beneficio de la población.

El 40% de la longitud total de la Red Vial Nacional, la cual actualmente está inventariada en un total de 27,053.70 kilómetros, viene siendo gestionada a través de contratos de gestión, mejoramiento y conservación vial; esto quiere decir que este tipo de intervenciones se ejecutarán en un total de 10,700 kilómetros. Analizando el rubro específico que atañe a la presente tesis, se han construido y/o se construirán aproximadamente un total de 16,000 obras de arte y drenaje transversal, siendo aún más específicos: 12,300 alcantarillas de TMC y 3,700 badenes de concreto armado, aproximadamente.

En ese sentido, los fenómenos naturales como las inundaciones y movimiento de masas, representan una amenaza a la transitabilidad y pueden alcanzar la escala de desastre cuando producen daños y/o pérdidas. La probabilidad de ocurrencia de un desastre puede ser clasificada como baja, media o alta, por lo que se debe conocer el grado de respuesta ante el mismo a través de un análisis de vulnerabilidad, para lo cual, deben existir mecanismos que aumenten esta capacidad de respuesta. En el contexto de carreteras, los desastres causan daños a los taludes de corte o taludes de relleno, superficie de rodadura, drenaje menor y drenaje mayor.

Las estructuras hidráulicas, tales como alcantarillas y badenes, ubicadas en la ruta PE-3N, sector Huarmaca - El Faical, fueron construidas entre los años 2013 y 2014. Estas estructuras, en situaciones climáticas normales cumplieron la función para la cual fueron

diseñadas. Sin embargo, fueron puestas a prueba en el Fenómeno El Niño Costero acontecido en el año 2017.

La conservación vial cumple un rol importante en el sostenimiento y desarrollo de la economía de un país, debido a esto, es importante optimizar el gasto que realiza una entidad como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en la conservación de los más de 27 mil kilómetros que componen la Red Vial Nacional.

Por estas razones se justifica el tema investigado en la presente tesis, el cual permitirá obtener el análisis de vulnerabilidad por inundación, en el que se determinará el riesgo y la peligrosidad del evento y su impacto en la infraestructura vial, análisis que permite proponer, desde una etapa temprana del proyecto, las obras de arte menores que permitirán evacuar adecuadamente las descargas producto de lluvias, para así, lograr optimizar el gasto público en la conservación de las carreteras.

Asimismo, el desarrollo de la presente tesis permite incrementar la información referente a riesgos naturales en carreteras, además de poder estimar algunos de los efectos que los fenómenos naturales puedan producir y la manera de cómo poder estar preparados para actuar y mitigarlos.

1.3 Objetivos

Objetivo general

- Analizar la vulnerabilidad por inundación y movimiento de masas de las quebradas del sector Huarmaca Km 1740 al Sector El Faical Km 1770 en la ruta nacional PE-3N.

Objetivos específicos

- Calcular el caudal de diseño de las obras de drenaje, para las quebradas activadas durante El Niño Costero, a lo largo del sector Huarmaca Km 1740 al Sector El Faical Km 1770, pertenecientes a la ruta nacional PE-3N.
- Determinar el nivel de peligrosidad de las quebradas en estudio.
- Determinar el nivel de riesgo de las quebradas en estudio.

1.4 Ruta Nacional PE – 3N

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Decreto Supremo N° 034-2008-MTC publicado el 25 de octubre de 2008 y modificado el 04 de noviembre de 2016, establece que las carreteras en el Perú están clasificadas en tres niveles:

- Red Vial Nacional : a cargo del Gobierno Nacional a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Red Vial Departamental : a cargo de los Gobiernos Regionales.
- Red Vial Vecinal : a cargo de los Gobiernos Locales.

Según el clasificador de rutas del Sistema Nacional de Carreteras SINAC, la Red Vial Nacional está compuesta por tres ejes longitudinales PE-1, PE-3 Y PE-5, los mismos que se dividen en trayectorias norte y sur que se explican a continuación:

- Dos en la longitudinal de la costa cuyo Km 0+000 se encuentra en el intercambio vial Santa Anita (PE-1N para el norte y PE-1S para el sur).
- Dos en la longitudinal de la sierra cuyo Km 0+000 se encuentra en la repartición La Oroya (PE-3N para el norte y PE-3S para el sur).
- Dos en la longitudinal de la selva cuyo Km 0+000 se encuentra en el puente Reither (PE-5N para el norte y PE-5S para el sur).

La intervención que estuvo programada para el contrato N° 069-2012-MTC/20 iniciaba en Hualapampa en el kilómetro 1676+000 y terminaba en Vado Grande en el kilómetro 2040+990, resulta importante porque representa un medio de interconexión en la sierra ya que es parte de la ruta nacional PE-3N.

El sector que es materia de estudio en esta tesis está clasificado como parte del tramo Hualapampa – Sondor (km 1676 al km 1813+825), el cual forma parte del itinerario de la ruta nacional PE-3N.

Ubicación y descripción del tramo Hualapampa - Sondor km 1676 al km 1813+825

El tramo en estudio inicia en el empalme con la ruta Nacional PE-04B¹, provincia de Huancabamba, en la progresiva km 1676+000, luego atraviesa el distrito de Huarmaca y finaliza en el distrito de Huancabamba en la progresiva km 1813+825, en el departamento de Piura.

Este tramo se encuentra en la vertiente del Pacífico, recorre los distritos de Huarmaca, Sondorillo, San Miguel de El Faique, Sondor y Huancabamba.

Pertenece a las cuencas Chamaya, Piura y Chira. La longitud total del tramo es de 137.825 km. En la tabla 1 y figura 1 se encuentran las coordenadas y ubicación del tramo en estudio.

Tabla 1

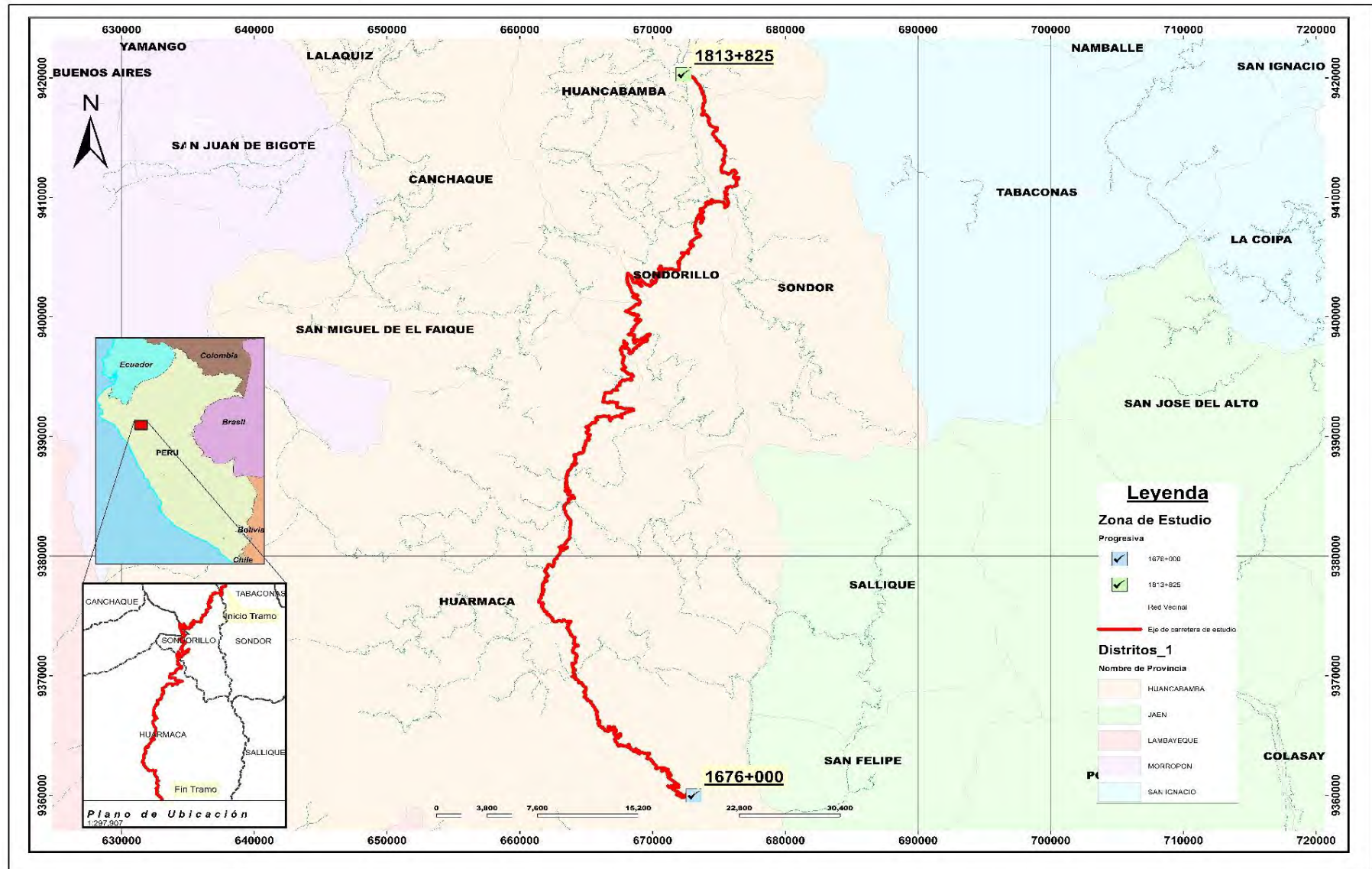
Coordenadas de inicio y fin del tramo en estudio

Progresiva	Coordenada UTM – WGS 84		Coordenadas geográficas	
km 1676+000	Norte:	9359982.20	Latitud:	-5.788089°
	Este:	673114.84	Longitud:	-79.436533°
km 1813+825	Norte:	9420295.68	Latitud:	-5.242686°
	Este:	672352.94	Longitud:	-79.444833°

¹ Eje transversal: Ruta N° PE-04 B Trayectoria: Emp. PE-1N J (Dv. Jaén) – Limón de Porcuya - Abra de Porculla - Emp. PE-3N (Pte. Hualapampa).

Figura 1

Tramo en estudio: Hualapampa – Sondor km 1676 al km 1813+825



1.5 Sector de interés: Huarmaca Km 1740 al Sector El Faical Km 1770

1.5.1 Ubicación y descripción del sector en estudio

El sector en estudio se encuentra comprendido entre las progresivas km 1740+000 (Huarmaca) y km 1770+000 (El Faical), con una longitud de 30 km. Ver tabla y figura 2.

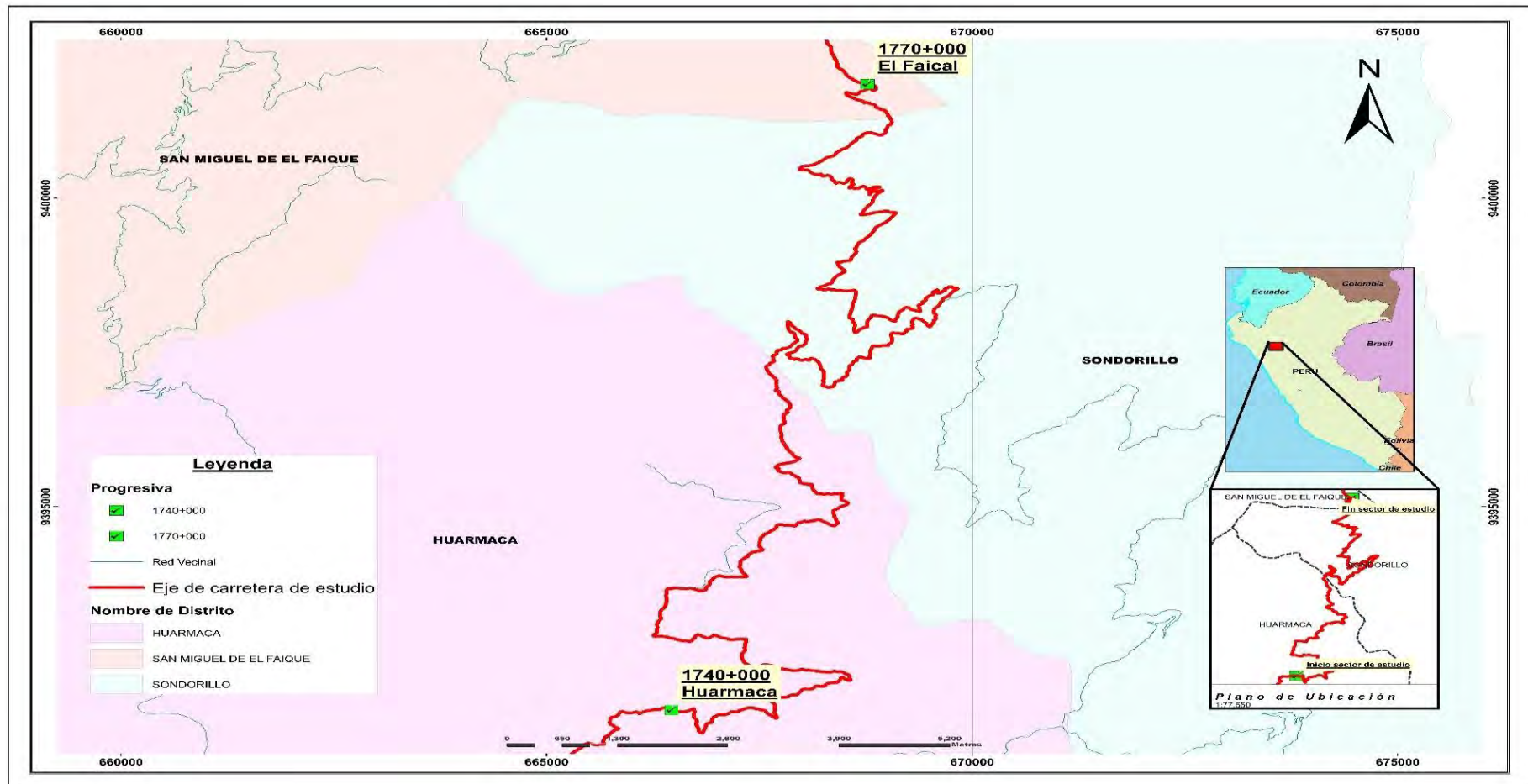
Tabla 2

Coordenadas de inicio y fin del sector en estudio

Progresiva	Coordenada UTM – WGS 84		Coordenadas geográficas	
km 1740+000	Norte	9391699.19	Latitud	-5.501425°
	Este	666467.32	Longitud	-79.497294°
km 1770+000	Norte	9401852.53	Latitud	-5.409553°
	Este	668772.13	Longitud	-79.476725°

Figura 2

Sector en estudio entre las progresivas km 1740+000 (Huarmaca) y km 1770+000 (El Faical)



1.5.2 Topografía

El tramo Hualapampa - Sondor pertenece a la parte alta de la cuencas de los ríos Chamaya, Piura y Chira. Está ubicado en la zona sierra media y alta de la región Piura, con zonas bajas de mediana vegetación y zonas de altitud pronunciada con parajes de sierra. Predominan los bosques secos y los páramos. Las cotas alcanzan desde 1324 m s.n.m. hasta 2100 m s.n.m.

1.5.3 Clima

En la cuenca Chamaya el tramo en estudio tiene un clima húmedo y cálido, ya que se encuentra por debajo de los 2000 m s.n.m. La temperatura promedio anual fluctúa entre los 18 y 25°C (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

1.5.4 Estado actual de la carretera

El tramo Hualapampa (km 1676+000) – Sondor (km 1813+825) tiene un índice medio diario anual (IMDA) de 101 vehículos, por lo que es clasificado como una carretera de tercera clase, de acuerdo a la clasificación por demanda (MTC, 2018), ver tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de las carreteras por demanda

Clasificación por demanda	Índice medio diario anual (IMDA)
Autopistas de primera clase	> 6000 veh/día
Autopistas de segunda clase	entre 6000 y 4001 veh/día
Carreteras de primera clase	entre 4000 y 2001 veh/día
Carreteras de segunda clase	entre 2000 y 400 veh/día
Carreteras de tercera clase	< 400 veh/día

Adaptado de: MTC (2018)

La vía es bastante sinuosa y de acuerdo con el sector puede ser considerada de tipo 02 (terreno ondulado) y de tipo 03 (terreno accidentado) de acuerdo con la clasificación por orografía (MTC, 2018), ver tabla 4.

Tabla 4

Clasificación de las carreteras por orografía

Orografía	Tipología
Terreno plano	Tipo 1
Terreno ondulado	Tipo 2
Terreno accidentado	Tipo 3
Terreno escarpado	Tipo 4

Adaptado de: MTC (2018)

En cuanto a su conservación, el tramo se encuentra bajo la administración del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A través de proyectos de conservación denominados “Contratos por Niveles de Servicio” se ha conseguido elevar el estándar de la vía, el cual consta, de acuerdo al sector, de una base estabilizada con cemento o emulsión asfáltica, la cual está recubierta por una capa de mortero asfáltico conocida como solución básica.

En la fecha, se encuentra en ejecución un nuevo contrato por niveles de servicio, el cual consta en mantener un estándar de servicio y conservación de todos los elementos que conforman la carretera.

1.5.5 Obras de arte construidas en el sector en estudio antes de la ocurrencia de El Niño Costero 2017

La tabla 5 presenta las obras de arte construidas durante el proyecto de Conservación por Niveles de Servicio que tuvo vigencia desde octubre del año 2012 hasta octubre del año 2017. A partir del 2018 en adelante los contratos por niveles de servicio en la ruta en estudio se enfocan principalmente en la conservación de la calzada, a la fecha se conserva la vía sin incluir soluciones definitivas o mejoramiento significativo en las obras de arte y drenaje.

Tabla 5

Estructuras hidráulicas menores construidas en el sector en estudio (2012-2017)

Tipo	Dimensión / Tipo	Cantidad
Alcantarillas	36"	65 unidades
	48"	08 unidades
Badenes	Concreto	06 unidades

En el Apéndice A, se muestra un panel fotográfico con imágenes de algunas las obras de arte existentes en la zona en estudio (Foto 1 a Foto 11), en algunas de las cuales se evidencian daños producto de los huaicos.

1.5.6 Puntos críticos del sector en estudio

En la Tabla 6 y Figura 3 se muestran los sectores críticos, motivo de estudio de la presente tesis.

Tabla 6

Puntos críticos del sector en estudio

Quebrada crítica	Coordenadas UTM		Ubicación	Estructura existente	Estado
	Este	Norte			
QC-1	667685	9391575	1741+856	Badén	Estructura colapsada
QC-2	669507	9397916	1758+880	Muro	Sin estructura de paso

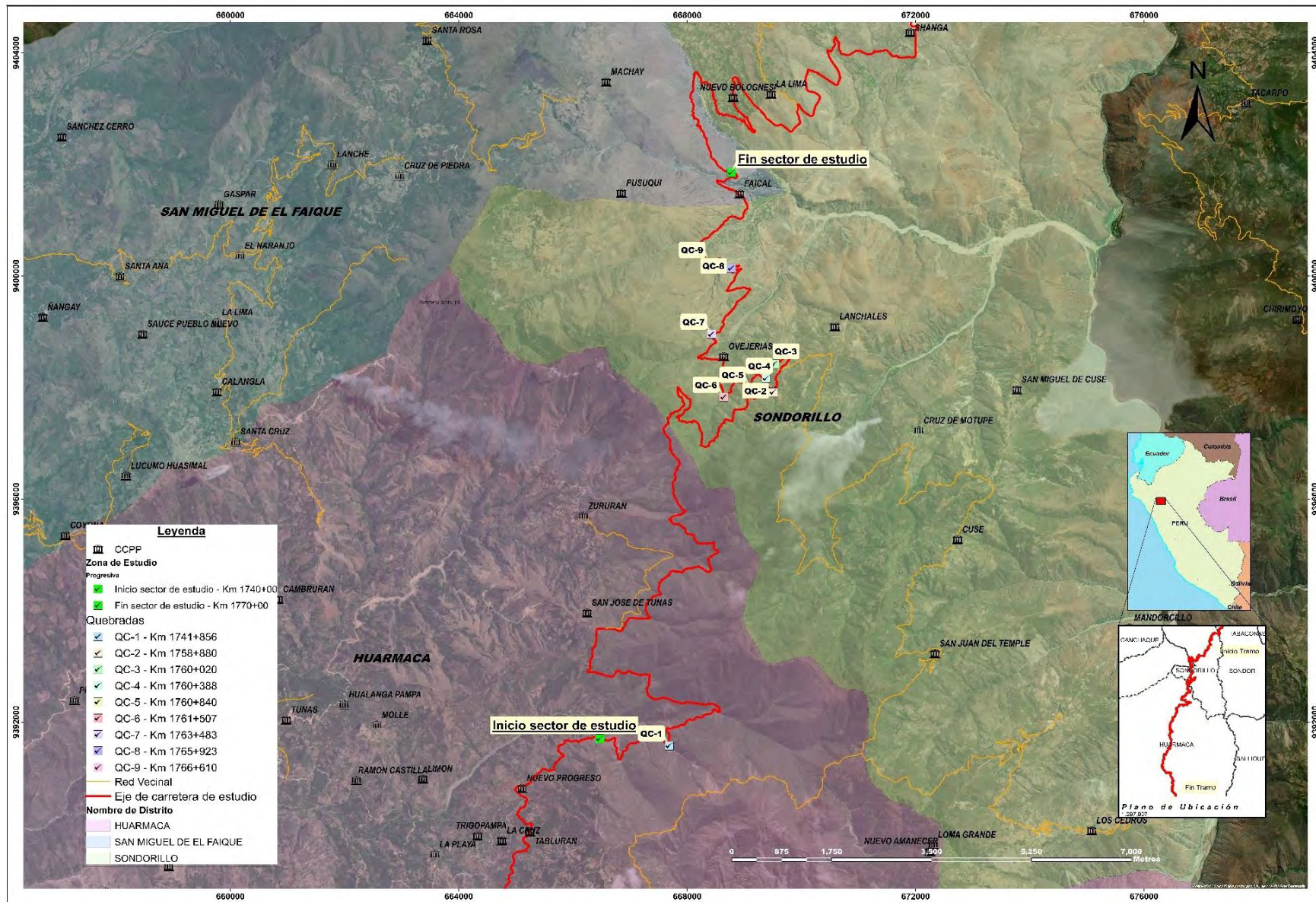
QC-3	669532	9398428	1760+020	Sin estructura	Sin estructura
QC-4	669383	9398165	1760+388	Badén	Estructura colapsada
QC-5	669098	9398005	1760+840	Muro	Sin estructura de paso
QC-6	668640	9397825	1761+507	Sin estructura	Sin estructura
QC-7	668424	9398954	1763+483	Muro	Sin estructura de paso
QC-8	668771	9400138	1765+923	Alcantarilla	Estructura colapsada
QC-9	668396	9400246	1766+610	Alcantarilla	Estructura colapsada

En el Apéndice B se presentan fotografías de las quebradas críticas y se muestra como sello de agua la progresiva obtenida con el hodómetro de una unidad móvil.



Figura 3

Ubicación de las quebradas en el sector en estudio



Capítulo 2.

Marco teórico

2.1 Análisis hidrológico

A continuación, se detalla la teoría a aplicar para determinar el caudal líquido y sólido de cada quebrada en estudio.

2.1.1 *Parámetros geomorfológicos de las cuencas*

Según el manual del MTC (2018), el análisis y estudio de las cuencas está orientado a conocer sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico; un mejor conocimiento de la dinámica de las cuencas permitirá adoptar decisiones adecuadas respecto a la ubicación y dimensionamiento de las obras viales. Es importante establecer las características físicas de las cuencas como son: el área, longitud del cauce, pendiente, forma de cuenca. Una vez conocidos estos elementos físicos, nos proporcionan la mejor posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

2.1.2 *Tiempo de concentración*

Se define como el tiempo que tarda una gota de agua para ir desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Se calcula usando las siguientes ecuaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

- Kirpich: $t_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$ (Kirpich, 1940) (1)

Donde L es la longitud máxima a la salida y S es la pendiente promedio de la cuenca

- Bransby Williams: $t_c = \frac{0.2433 * L}{A^{0.1} * S^{0.2}}$ (Wanielista, 1977) (2)

Donde L es la distancia máxima hasta la salida, A es el área de la cuenca y S la pendiente.

- Temez: $t_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76}$ (Témez, 1991) (3)

Donde L es la longitud máxima hasta la salida y S es la pendiente

2.1.3 *Análisis de frecuencia: selección de la distribución de mejor ajuste*

Tiene la finalidad de estimar las precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para varios períodos de retorno, a través del uso de modelos probabilísticos, quienes pueden ser continuos o discretos. En la aplicación de la estadística es posible encontrar diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones, según el manual del MTC (2018): distribución Normal, distribución Log

Normal 2 parámetros, distribución Log Normal 3 parámetros, distribución Gamma 2 parámetros, distribución Gamma 3 parámetros, distribución Log Pearson tipo III, distribución Gumbel viii, distribución Log Gumbel.

2.1.4 Determinación de curvas Intensidad Duración Frecuencia

Según el manual del MTC (2018), las curvas intensidad duración frecuencia son un elemento de diseño que busca relacionar la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que puede ocurrir el evento, es decir, su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la ecuación:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad (4)$$

Donde I = intensidad (mm/h)

t = duración de lluvia (min)

T = periodo de retorno (años)

K, m y n = parámetros de ajuste

2.1.5 Selección del periodo de retorno

Según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el periodo de retorno es aquel tiempo promedio, en años, en que el caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada cantidad T de años. Para establecer el período de retorno a usar en el diseño de una obra, es preciso considerar la relación existente entre el riesgo de falla admisible, la probabilidad de excedencia de un evento y la vida útil de la estructura.

El criterio de riesgo es el valor que se desea asumir por el caso de que la estructura o estructuras construidas llegasen a fallar dentro de su tiempo de vida útil, esto involucra que no suceda un evento de mayor magnitud a la estimada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra. El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la infraestructura está dado por $R = 1 - (1 - 1/T)^n$

Donde R es el riesgo de falla, T es el periodo de retorno y n la vida útil de la obra

Para el cálculo del periodo de retorno se usaron los valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En el anexo D se muestran estos valores.

2.1.6 Estimación de caudales máximos

De acuerdo con el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se aplicó el método racional para la estimación de los caudales

máximo de diseño. Para la aplicación de este método, se cumple con la condición que el área de las zonas en estudio es menor a los 13 km², esto se presentó a detalle en la tabla 5.

En la siguiente ecuación se detalla la fórmula para el método:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \quad (5)$$

Q = caudal máximo de diseño (m³/s)

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de lluvia (mm/h)

A = área de la cuenca (km²)

El factor 3.6 se aplica en la fórmula para efectos de conversión de unidades

2.1.7 Estimación del coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía quedará establecido de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan al eje de la carretera en estudio (MTC, 2008). En ese sentido, los coeficientes de escorrentía cambiarán según dichas características tomando en cuenta la cobertura existente, la clasificación del suelo y la pendiente, tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Coeficientes de escorrentía para calcular caudal

Tipo de Superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas Urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Cemento, tejados	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)							
Pendiente baja (0-2%)	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
Pendiente media (2-7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente alta (>7%)	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)							
Pendiente baja (0-2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente media (2-7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente alta (>7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)							
Pendiente baja (0-2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Pendiente media (2-7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente alta (>7%)	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Zonas rurales							
Campos Cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57

Pendiente media (2-7%)	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente alta (>7%)	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente media (2-7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente alta (>7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Bosques, montes, arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Pendiente media (2-7%)	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente alta (>7%)	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: los valores de esta tabla son los utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA) para determinar caudales punta por el método racional en su término municipal.

Fuente: (Chow, 1994)

2.1.8 Estimación del caudal sólido en las quebradas en estudio

Para estimar el caudal sólido se aplicaron las consideraciones indicadas en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2018) como parte del diseño hidráulico de alcantarillas y badenes, indica lo siguiente:

Todo cuerpo sólido; llámese palizada, material sólido y hasta desperdicios arrojados a los cauces naturales y que son arrastrados por la corriente; son elementos dañinos si se acumulan en las obras de arte, incidiendo de esta manera en su comportamiento hidráulico y su capacidad de respuesta ante solicitaciones extremas. No solamente afecta a obras de arte que atraviesan transversalmente a la carretera, también afecta las zonas próximas de la carretera.

El caudal sólido se puede calcular tomando en consideración que es por lo menos 2 veces mayor que el caudal líquido calculado.

Se puede considerar en forma práctica, para calcular el orden de magnitud de este caudal sólido, la ecuación:

$$Q_s = \rho * A * V \quad (6)$$

Donde:

Q_s = caudal sólido

$\rho = 2650 \frac{kg}{m^3}$ (densidad promedio del material sólido)

A = área transversal del material sólido retenido

V = velocidad aproximada del flujo sólido

Siendo de esta manera, el material sólido de arrastre es un factor relevante que afecta directamente en los cálculos cuando del diseño de un badén se trata, para esto, se recomienda

que no sobrepase el perímetro mojado estimado y que no dañe los lados próximos de la calzada, lo que podría generar deterioros prematuros y daños severos.

El material sólido de arrastre, el cual está conformado por lodo, palizada u otros objetos flotantes, no es posible dimensionarlo, es recomendable apostar a la experiencia del especialista encargado del diseño, a la compilación de datos históricos y al estudio integral de la cuenca, para alcanzar un diseño óptimo.

2.2 Análisis de vulnerabilidad

A continuación, se detalla la teoría que se aplicará para calcular la vulnerabilidad de las quebradas críticas de la zona en estudio, esta información ha sido tomada del Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastre (CENEPRED C. N., 2014), el cual ayuda a comprender la metodología aplicada en el presente capítulo.

2.2.1 Determinación de niveles de peligrosidad

La evaluación del riesgo implica analizar o estimar la probabilidad de que ocurra un fenómeno, utilizando el estudio del proceso que lo genera, el seguimiento del sistema perturbador y/o el registro de eventos (refiriéndose a las características y la extensión del fenómeno) en un momento y lugar específico. En el presente estudio se determinaron los niveles de peligrosidad con base a los fenómenos de inundación y movimiento de masas.

2.2.1.1 Fenómeno de inundación

Este fenómeno se produce cuando las precipitaciones calificadas como intensas o continuas alcanzan niveles que sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos aledaños. (CENEPRED, 2018)

Las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo con criterios de duración y origen.

- **Por su duración:**

Inundaciones dinámicas o rápidas: se producen en cauces donde las cuencas presentan pendientes fuertes, por efecto de las lluvias intensas. Son aquellas que producen los mayores daños a la población e infraestructura existente, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. Las crecidas del nivel de agua son repentinas y de corta duración. (CENEPRED, 2018)

Inundaciones estáticas o lentas: en su mayoría, son de esta categoría cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento lento del caudal del río hasta superar su máxima capacidad de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, las cuales son denominadas como llanuras de inundación. (CENEPRED, 2018).

- **Por su origen:**

Inundaciones pluviales: ocurren cuando se acumula una gran cantidad de agua de lluvia en un área geográfica específica, sin que necesariamente haya desbordamiento de un río. Estas inundaciones se originan después de un periodo de lluvias intensas y prolongadas, ya sea por una gran cantidad de lluvia en un corto periodo de tiempo o por una precipitación moderada y constante sobre un suelo poco permeable durante un largo periodo. (CENEPRED, 2018)

Inundaciones fluviales: son originadas por el desbordamiento de los ríos y arroyos. Se debe al aumento brusco del volumen de agua sobrepasando la capacidad de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida.

La zona en estudio Huarmaca – El Faical, se vio afectada por El Niño Costero del 2017, la lluvia máxima registrada fue catalogada como extremadamente lluviosa y por sus impactos asociados a estas lluvias se puede considerar como el tercer Fenómeno El Niño más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú (CENEPRED, 2018). Las lluvias acontecidas en los meses que tuvo presencia El Niño Costero del 2017 impactaron de forma inesperada en el sector, ya que en épocas de lluvia en los años 2010 hasta el 2016 no se habían registrado tales precipitaciones, por el contrario, se trataba de un sector que era considerado en un buen estado de conservación, por haber respondido bien a los impactos de temporadas de lluvias pasadas.

2.2.1.2 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundaciones

De la Tabla 8 a la Tabla 10 se muestran los pesos que serán usados en el presente estudio, de acuerdo con el método multicriterio a través de un proceso matemático de análisis jerárquico desarrollado en el manual del CENEPRED:

Tabla 8

Pesos a considerar de acuerdo a precipitaciones anómalas positivas

Parámetro		Velocidad de desplazamiento		Peso ponderado: 0.260	
Descriptores	PAP1	Anomalía de precipitación mayor a 300% con respecto al promedio mensual multianual		PPAP1	0.503
	PAP2	Anomalía de precipitación de 100% a 300% con respecto al promedio mensual multianual		PPAP2	0.260
	PAP3	Anomalía de precipitación de 50% a 100% con respecto al promedio mensual multianual		PPAP3	0.134
	PAP4	Anomalía de precipitación de 10% a 50% con respecto al promedio mensual multianual		PPAP4	0.068
	PAP5	Anomalía de precipitación menor al 10% con respecto al promedio mensual multianual		PPAP5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Tabla 9

Pesos a considerar de acuerdo a cercanía a una fuente de agua

Parámetro		Cercanía a una fuente de agua	Peso ponderado: 0.160	
Descriptores	CA1	Menor a 20m	PCA1	0.503
	CA2	Entre 20 y 100m	PCA2	0.260
	CA3	Entre 100 y 500m	PCA3	0.134
	CA4	Entre 500 y 1000m	PCA4	0.068
	CA5	Mayor a 1000m	PCA5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Tabla 10

Pesos a considerar de acuerdo a intensidad de la lluvia en una hora

Parámetro		Intensidad media en una hora (mm/h)	Peso ponderado: 0.633	
Descriptores	IM1	Torrenciales: mayor a 60	PIM1	0.503
	IM2	Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60	PIM2	0.260
	IM3	Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30	PIM3	0.134
	IM4	Moderadas: Mayor a 2 y Menor o igual a 15	PIM4	0.068
	IM5	Débiles: Menor o igual a 2	PIM5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.1.3 Fenómeno de movimiento de masas

Son procesos de movilización lenta o rápida que se relacionan directamente al suelo, roca o ambos, causados por la saturación del terreno y/o a causa de la fuerza de gravedad. Estos deslizamientos vienen a ser el descenso masivo o relativamente rápido, a veces de carácter catastrófico, de materiales, a lo largo de una pendiente. La caída se efectúa a lo largo de una superficie de deslizamiento, o plano de cizalla, situación que ayuda la acción de la gravedad.

2.2.1.4 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimiento de masas

En las tablas 11, 12, 13 y 14 se muestran los pesos que serán usados en el presente estudio, de acuerdo con el método multicriterio a través de un proceso matemático de análisis jerárquico desarrollado en el manual del CENEPRED:

Tabla 11

Textura según clasificación del suelo

Parámetro		Textura de suelo	Peso ponderado: 0.306	
Descriptores	TX1	Finas: Suelos arcillosos (arcilloso arenoso, arcilloso limonoso, arcilloso)	PTX1	0.503

TX2	Moderadamente Fina: Suelos francos (franco arcilloso, franco limonoso arcilloso y/o franco limonoso arcilloso)	PTX2	0.260
TX3	Mediana: Suelos francos (franco, franco limonoso y/o limonoso)	PTX3	0.134
TX4	Moderadamente gruesa: suelos francos (franco arenoso)	PTX4	0.068
TX5	Gruesa: Suelos arenosos: arenosos, franco arenosos	PTX5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Tabla 12

Inclinación del suelo de acuerdo a la pendiente

Parámetro		Inclinación del suelo	Peso ponderado: 0.548	
Descriptores	PN1	30° a 40°	PPN1	0.503
	PN2	25° a 45°	PPN2	0.260
	PN3	20° a 30°	PPN3	0.134
	PN4	10° a 20°	PPN4	0.068
	PN5	Menor a 5°	PPN5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Tabla 13

Erosión del suelo

Parámetro		Pendiente	Peso ponderado: 0.101	
Descriptores	E1	Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas)	PE1	0.503
	E2	Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	PE2	0.260
	E3	Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o material parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	PE3	0.134
	E4	Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturadas.	PE4	0.068
	E5	Laderas con sustrato rocoso no meteorizado. Se pueden presentar inestabilidad en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamiento y erosión	PE5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Tabla 14

Velocidad de desplazamiento para movimiento de masas

Parámetro		Pendiente	Peso ponderado: 0.045	
Descriptores	VD1	Extremadamente rápido ($v=5\text{m/s}$)	PVD1	0.503
	VD2	Muy rápido ($v=0.05\text{m/s}$)	PVD2	0.260
	VD3	Rápido ($v=0.0033\text{ m/s}$)	PVD3	0.134
	VD4	Moderada ($v=3.009 \times 10^{-4}\text{ m/s}$)	PVD4	0.068
	VD5	Lenta a extremadamente lenta ($v=5.144 \times 10^{-8}\text{ m/año}$ a $5.144 \times 10^{-10}\text{ m/año}$)	PVD5	0.035

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.1.5 Susceptibilidad

Está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre un ámbito geográfico (relacionado a los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno y su respectivo ámbito geográfico). Siguiendo este esquema, el área de terreno que queda, en menor tiempo, bajo el fenómeno de inundación correspondería a áreas de mayor susceptibilidad hídrica, caso contrario, las que no resulten inundadas representarían a áreas de menor susceptibilidad hídrica. Los factores pueden ser de dos tipos:

- **Factores condicionantes:** son parámetros propios del ámbito geográfico evaluado, el cual aporta de manera favorable o no al origen del fenómeno natural (magnitud e intensidad), así como su distribución espacial.
- **Factores desencadenantes:** son aquellos parámetros que desencadenan eventos y/o sucesos asociados que son capaces de generar peligros en un ámbito geográfico específico.

2.2.1.6 Niveles de peligrosidad

Cuando se trata el tema de la evaluación de riesgos, las zonas de peligro pueden calificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características se detallan en el manual del CENEPRED y su valor correspondiente se detalla en la tabla 15.

Tabla 15

Matriz de peligro

Nivel	Rango
Peligro muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Peligro alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Peligro medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Peligro bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.2 Vulnerabilidad

Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.2.1 Factores de la vulnerabilidad: exposición, fragilidad y resiliencia

A continuación, se detallan los 3 factores de vulnerabilidad a considerar en la presente tesis:

Exposición: son las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación inadecuada con el ambiente, que puede estar relacionado a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización con un inadecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

Fragilidad: Se refiere a la situación de desventaja o debilidad relativa en la que se encuentra el ser humano y sus medios de vida cuando se enfrenta a un peligro. Por lo general, se enfoca en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y se origina internamente, como, por ejemplo, en las prácticas de construcción o el incumplimiento de normativas relacionadas con la construcción y los materiales utilizados. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.

Resiliencia: Se relaciona con la capacidad de adaptación y recuperación del ser humano y sus medios de vida ante la presencia de un peligro. Está vinculada a las condiciones sociales y a la organización de la población. A mayor capacidad de resiliencia, menor vulnerabilidad.

2.2.2.2 Elementos expuestos sociales, económicos y ambientales.

- **Análisis de la dimensión social:** se establece la cantidad de personas que se encuentran en el área afectada por un fenómeno natural, distinguiendo entre aquellas que son vulnerables y las que no lo son. Luego, se analiza la fragilidad social y la capacidad de resiliencia de la población vulnerable, lo que permite determinar los niveles de vulnerabilidad social en la zona.

- **Análisis de la dimensión económica:** se identifican las actividades económicas y la infraestructura que se encuentran en el área afectada por un fenómeno natural, distinguiendo entre los elementos expuestos que son vulnerables y los que no lo son. Luego, se analiza la fragilidad económica y la capacidad de resiliencia, lo que permite determinar los niveles de vulnerabilidad económica en la zona.

- **Análisis de la dimensión ambiental:** Se identifican los recursos naturales renovables y no renovables que se encuentran en el área afectada por un fenómeno natural, para

luego analizar la fragilidad ambiental y la capacidad de resiliencia. Esto permite determinar los niveles de vulnerabilidad ambiental en la zona.

2.2.2.3 Determinación de los niveles de vulnerabilidad

Para fines de la evaluación de riesgos, la vulnerabilidad puede estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta; cuyas características se detallan en el manual del CENEPRED y su valor correspondiente se detallan en la tabla 16.

Tabla 16

Matriz de vulnerabilidad

Nivel	Rango
Vulnerabilidad muy alta	$0.260 \leq R < 0.503$
Vulnerabilidad alta	$0.134 \leq R < 0.260$
Vulnerabilidad media	$0.068 \leq R < 0.134$
Vulnerabilidad baja	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.3 Niveles de riesgo

Una vez que se han identificado y analizado los peligros a los que se enfrenta el área geográfica de estudio, a través de la evaluación de la intensidad, magnitud, frecuencia o periodo de recurrencia, y el nivel de susceptibilidad a los fenómenos naturales, y se ha llevado a cabo el análisis de los componentes que contribuyen a la vulnerabilidad, como la exposición, fragilidad y resiliencia, así como la identificación de los elementos potencialmente vulnerables y el tipo y nivel de daños que podrían ocurrir, se procede a combinar estos factores para calcular el nivel de riesgo del área en estudio. (CENEPRED, 2018)

La explicación de los conceptos de peligro, vulnerabilidad y riesgo se basa en la siguiente ecuación, ajustada a la Ley N°29664, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Según esta ley, el riesgo es el resultado de la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad. (CENEPRED, 2018)

$$R_{ie/t} = f(P_i, V_e)/t \quad (7)$$

Donde:

R= Riesgo

f= En función

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

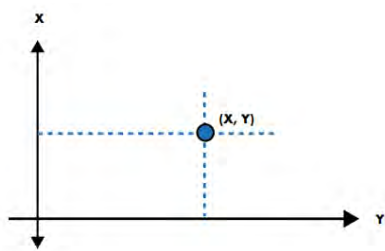
Ve = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

En el análisis de riesgos, se identifican y describen los fenómenos naturales considerando su intensidad, magnitud, frecuencia, y nivel de susceptibilidad. También se

analizan los factores que influyen en la vulnerabilidad, como la exposición, fragilidad y resiliencia, identificando los elementos potencialmente vulnerables y los posibles daños. Para evaluar el nivel de riesgo, se utiliza una matriz de doble entrada que considera el grado de peligro y vulnerabilidad. Esto requiere previamente haber determinado la intensidad y la probabilidad de ocurrencia del peligro, así como haber realizado un análisis de vulnerabilidad. Esta información se representa en un plano cartesiano, donde el eje Y representa los niveles de peligro y el eje X representa las vulnerabilidades, como se muestra en la figura 4. (CENEPRED, 2018)

Figura 4

Plano cartesiano para medir niveles de riesgo



Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Con los valores obtenidos del nivel de peligrosidad y el de vulnerabilidad total, se interrelaciona, por un lado (vertical), el grado de peligrosidad; y por otro (horizontal) el grado de vulnerabilidad total en la correspondiente matriz. En la intersección de ambos valores, sobre el cuadro de referencia, se podrá hallar el nivel de riesgo del área en estudio.

2.2.3.1 Matriz de riesgo

La tabla 17 de doble entrada nos permite determinar el nivel del riesgo, sobre la base del conocimiento de la peligrosidad y de las vulnerabilidades.

Tabla 17

Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo

PMA	0.503	0.034	0.067	0.131	0.253
PA	0.260	0.018	0.035	0.068	0.131
PM	0.134	0.009	0.018	0.035	0.067
PB	0.068	0.005	0.009	0.018	0.034
		0.068	0.134	0.260	0.503
		VB	VM	VA	VMA

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

Se han establecido los rangos de la tabla 18 para cada uno de los niveles de riesgo.

Tabla 18

Rangos para los niveles de riesgo

Riesgo Muy Alto	$0.068 \leq R < 0.253$
Riesgo Alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo Medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo Bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.3.2 Mapa de niveles de riesgo

La comprensión de las áreas con diversos niveles de riesgo (nivel de peligrosidad y vulnerabilidad) se emplea en los procesos de organización y diseño de espacios territoriales, por lo que estos deben reflejar el uso que se les puede dar y los posibles daños a los que podrían estar expuestos. El mapa de riesgos se crea a partir del análisis de los mapas de peligros y vulnerabilidad.

A continuación, se muestra los niveles de riesgo y sus rangos, en el manual de CENEPRED se detalla la descripción de cada nivel.

Tabla 19

Matriz de riesgo

Nivel	Rango
Riesgo muy alto no mitigable	$0.068 \leq R < 0.253$
Riesgo muy alto	
Riesgo alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

Fuente: (CENEPRED C. N., 2014)

2.2.3.3 Aplicación del procedimiento para calcular peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

Con la finalidad de hallar los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo, se señala el proceso general que está en función de la información existente en la zona de estudio (parámetros a evaluar del fenómeno natural).

Para el caso de fenómenos como las inundaciones, se determinan los parámetros a evaluar y sus correspondientes descriptores. Luego se calcula el valor del peligro (pesos ponderados) con la ecuación:

$$\sum_{i=1}^n \text{Fenómeno}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (8)$$

Luego se analiza la susceptibilidad del ámbito geográfico expuesto. Se consideran los factores condicionantes y desencadenantes (pesos ponderados) con la ecuación:

$$\sum_{i=1}^n \text{Factor}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (9)$$

La susceptibilidad se obtiene al sumar los valores de los factores condicionantes y desencadenantes (los pesos ponderados para ambos son de 0.5) (CENEPRED, 2018)

$$(\text{Factores condicionantes} * \text{peso}) + (\text{Factores desencadenantes} * \text{peso}) = \text{valor} \quad (10)$$

La determinación del valor de peligrosidad se calcula de la siguiente manera:

$$(\text{Fenómeno} * \text{peso}) + (\text{Susceptibilidad} * \text{peso}) = \text{valor} \quad (11)$$

Para el cálculo de la vulnerabilidad analizamos la dimensión social, económica y ambiental

Dimensión social:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición social}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad social}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Resiliencia social}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &(\text{Exposición social} * \text{peso}) + (\text{Fragilidad social} * \text{peso}) + \\ &(\text{Resiliencia social} * \text{peso}) = \text{valor} \end{aligned} \quad (15)$$

Dimensión económica:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Resiliencia económica}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} &(\text{Exposición económica} * \text{peso}) + (\text{Fragilidad económica} * \text{peso}) + \\ &(\text{Resiliencia económica} * \text{peso}) = \text{valor} \end{aligned} \quad (19)$$

Dimensión ambiental:

$$\sum_{i=1}^n \text{Exposición ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Fragilidad ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^n \text{Resiliencia ambiental}_i * \text{Descriptor}_i = \text{valor} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} &(\text{Exposición ambiental} * \text{peso}) + (\text{Fragilidad ambiental} * \text{peso}) + \\ &(\text{Resiliencia ambiental} * \text{peso}) = \text{valor} \end{aligned} \quad (23)$$

Finalmente, el valor de la vulnerabilidad se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Vulnerabilidad} = &(\text{social} * \text{peso}) + (\text{económica} * \text{peso}) + (\text{ambiental} * \\ &\text{peso}) = \text{valor} \end{aligned} \quad (24)$$

Capítulo 3

Análisis hidrológico y de vulnerabilidad

En el presente capítulo se muestra el análisis hidrológico realizado en las quebradas en estudio, así como los cálculos realizados para determinar peligro, vulnerabilidad y riesgo. Es necesario determinar el caudal líquido y sólido de las quebradas con la finalidad de poder sugerir la mejor alternativa hidráulica de solución, esto, de acuerdo con los resultados obtenidos de nivel de vulnerabilidad y riesgo, es necesario también porque los caudales son parte de los parámetros a analizar por el manual de CENEPRED.

3.1 Análisis hidrológico

3.1.1 Características geomorfológicas de las quebradas

El área de estudio se encuentra dentro del Km 1740 y 1770 ruta PE-3N, en dicho sector se calcularon los parámetros geomorfológicos de las quebradas críticas motivo del presente estudio, los cuales se muestran en la Tabla 20.

Para el cálculo de estos parámetros se trabajó con la data topográfica, geodésica y cartográfica más reciente, como el mapa topográfico digital a escala 1:40000 proporcionado por la Subdirección de Conservación de PROVIAS NACIONAL.

Se digitalizó la información mediante el uso del programa ARCGIS versión 10.7, programa AUTOCAD versión 2020 y Google Earth. La información digital se almacenó en distintas capas vectoriales raster. Se trabajó con el DEM (modelo digital de terreno) de píxel 5 metros, publicado por ESRI en su base de datos online. Se trabajó con imágenes raster proporcionadas por el Satélite LandSat 8 y por el Alaska Satellite Facility descargados de la página web earthdata.nasa.gov, la cual proporciona base de datos de manera gratuita.

Tabla 20

Parámetros geomorfológicos de las quebradas críticas

Cuenca	Coordenadas UTM		Ubicación	Área	Longitud del cauce	Pendiente	Fórmulas			Tiempo de concentración
	ESTE	NORTE					Kirpich	Bransby Williams	Temez	
										A (Km²)
QC-1	667685	9391575	1741+856	1.042	0.828	0.505	0.075	0.230	0.308	0.204
QC-2	669507	9397916	1758+880	0.250	0.485	0.420	0.053	0.161	0.215	0.143
QC-3	669532	9398428	1760+020	0.009	0.086	0.460	0.014	0.589	0.057	0.220
QC-4	669383	9398165	1760+388	0.342	0.772	0.420	0.076	0.249	0.306	0.210
QC-5	669098	9398005	1760+840	0.065	0.335	0.530	0.036	0.122	0.153	0.104
QC-6	668640	9397825	1761+507	0.477	0.964	0.520	0.083	0.288	0.344	0.238
QC-7	668424	9398954	1763+483	0.407	0.239	0.440	0.030	0.075	0.124	0.076
QC-8	668771	9400138	1765+923	0.008	0.089	0.400	0.015	0.042	0.060	0.039
QC-9	668396	9400246	1766+610	0.396	0.584	0.470	0.059	0.181	0.241	0.160

En el apéndice C se detalla imágenes de las quebradas en estudio dentro de la ruta.

3.1.2 Tratamiento de la información pluviométrica

El sector en estudio está dentro de la influencia de la estación Huarmaca, por lo que se usaron los registros de lluvias máximas proporcionados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

Se analizó el registro de lluvias máximas diarias, en la tabla 21 se presenta los datos de lluvia máxima registradas en la estación Huarmaca, en la figura 4 se muestra el histograma de precipitación máxima anual para la estación.

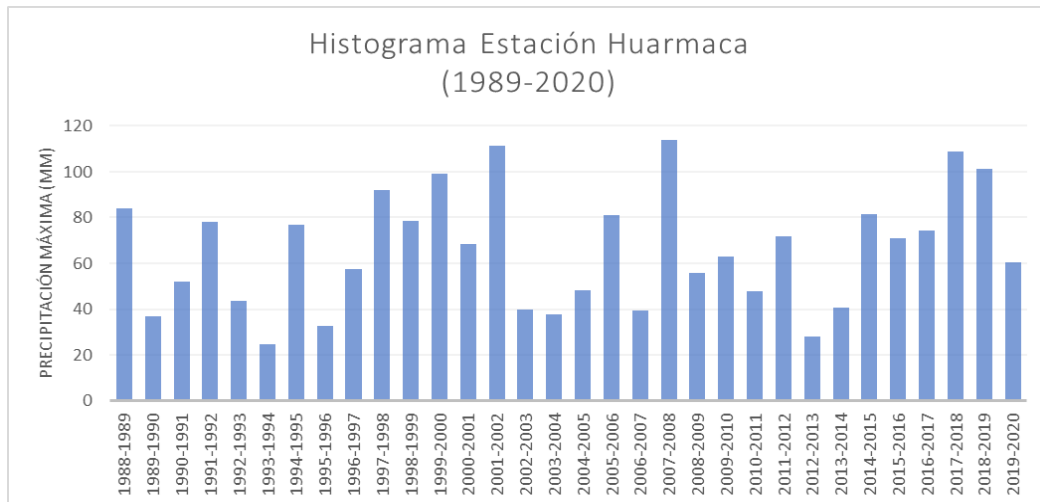
Tabla 21

Registro lluvia máxima estación Huarmaca

N°	Año hidrológico	Precipitación máxima (mm)
1	1988-1989	84.1
2	1989-1990	36.9
3	1990-1991	52.1
4	1991-1992	78.1
5	1992-1993	43.8
76	1993-1994	24.7
7	1994-1995	76.8
8	1995-1996	32.7
9	1996-1997	57.4
10	1997-1998	92.1
11	1998-1999	78.7
12	1999-2000	99.0
13	2000-2001	68.3
14	2001-2002	111.4
15	2002-2003	39.9
16	2003-2004	37.7
17	2004-2005	48.1
18	2005-2006	80.9
19	2006-2007	39.2
20	2007-2008	113.8
21	2008-2009	55.8
22	2009-2010	62.9
23	2010-2011	47.8
24	2011-2012	72.0
25	2012-2013	28.2
26	2013-2014	40.7
27	2014-2015	81.4
28	2015-2016	71.0

29	2016-2017	74.4
30	2017-2018	108.9
31	2018-2019	101.2
32	2019-2020	60.6

Figura 5 Histograma de precipitación máxima anual estación Huarmaca



3.1.3 Análisis de frecuencia: selección de la distribución de mejor ajuste

Con el análisis de frecuencias estimamos las precipitaciones máximas, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos. En el presente trabajo de aplicaron las funciones de distribución de probabilidad teóricas Normal, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, Gamma 2 parámetros y Gamma 3 parámetros.

Luego de realizar el análisis a la serie de datos de precipitaciones máximas usando el programa HIDROESTA, software utilizado para cálculos estadísticos aplicados a la hidrología, se obtuvieron los resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov de cada modelo, los que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22

Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov

Prueba Smirnov - Kolmogorov								
Estación	Δ tabular	Normal	Log Normal 2 parámetros	Log Normal 3 parámetros	Gumbel	Log Gumbel	Gamma 2 parámetros	Gamma 3 parámetros
Huarmaca	0.2404	Δ teórico						
		0.0881	0.1023	0.0857	0.1063	0.1624	0.0852	0.0807

El modelo probabilístico que mejor se ajusta a la serie de datos es Gamma 3 parámetros, en la tabla 23 se muestra las predicciones de los modelos de distribución para los distintos periodos de retorno.

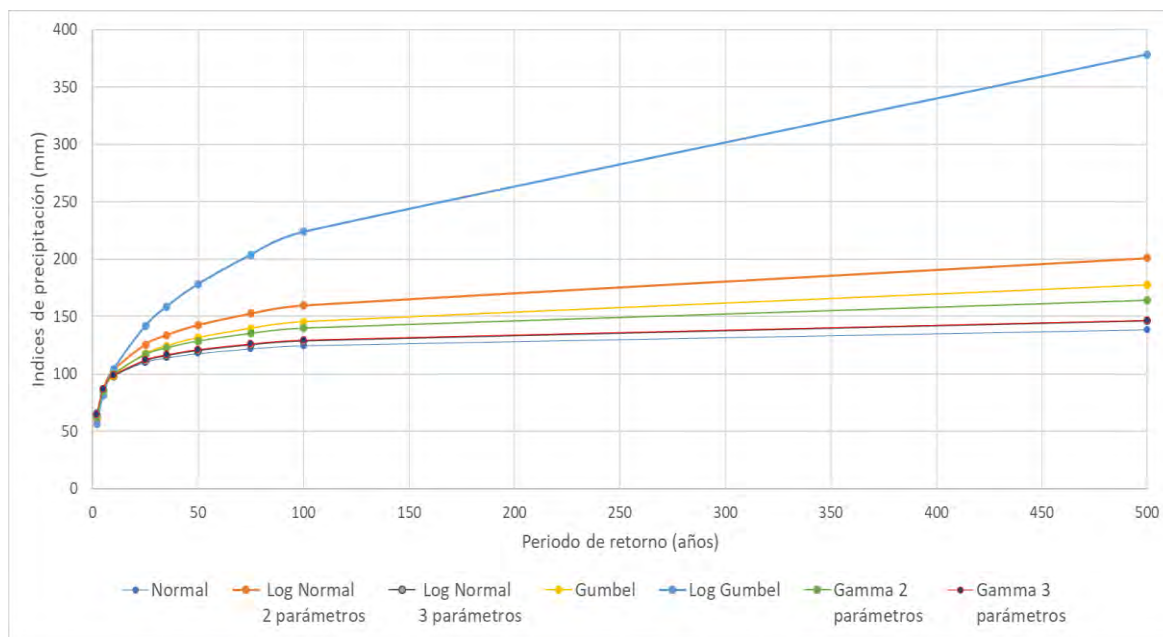
Tabla 23

Predicciones de precipitación máxima para los modelos de distribución ajustados

T (años)	Normal	Log Normal 2 parámetros	Log Normal 3 parámetros	Gumbel	Log Gumbel	Gamma 2 parámetros	Gamma 3 parámetros
2	65.63	60.62	64.48	61.45	56.61	62.28	64.46
5	87.01	86.08	86.16	83.91	81.81	85.78	86.61
10	98.21	103.42	98.19	98.79	104.40	100.10	98.85
25	110.14	125.75	111.56	117.58	142.07	116.95	112.43
35	113.99	133.95	116.01	124.36	158.79	122.76	116.92
50	117.84	142.69	120.51	131.52	178.55	128.73	121.48
75	121.98	152.69	125.42	139.62	203.92	135.35	126.42
100	124.77	159.85	128.78	145.36	224.02	139.94	129.80
500	138.80	201.17	146.16	177.34	378.4	164.21	147.08

Figura 6

Gráficas de dispersión total de las distribuciones aplicadas a la serie de datos



En la figura 5 se presentan las gráficas de dispersión total de las distribuciones aplicadas a la serie de datos, se puede observar que las distribuciones Log Gumbel y Log Normal 2 parámetros obtienen valores de precipitación altos por lo que las descartamos.

Luego de analizar las distribuciones restantes vemos que la Gamma 3 parámetros presenta el delta teórico menor y sus predicciones son las más bajas, por lo tanto, se trabajó con este modelo para continuar con el proceso, ver tabla 9.

3.1.4 Determinación de Curvas Intensidad Duración Frecuencia

Para la construcción de las curvas se realizó lo siguiente:

- Se calcularon las intensidades máximas horarias, para esto afectamos los valores de precipitación obtenidos con el modelo Gamma 3 parámetros por los coeficientes de duración de lluvias sugeridos por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, ver tabla 24.

Tabla 24

Precipitación máxima (mm) por tiempos de duración

Duración (h)	Coeficiente de duración (MTC)	Periodo de retorno (años)								
		2	5	10	25	35	50	75	100	500
24	1.00	64.46	86.61	98.85	112.43	116.92	121.48	126.42	129.80	147.08
18	0.90	58.01	77.95	88.97	101.19	105.23	109.33	113.78	116.82	132.37
12	0.79	50.92	68.42	78.09	88.82	92.37	95.97	99.87	102.54	116.19
8	0.64	41.25	55.43	63.26	71.96	74.83	77.75	80.91	83.07	94.13
6	0.56	36.10	48.50	55.36	62.96	65.48	68.03	70.80	72.69	82.36
5	0.50	32.23	43.31	49.43	56.22	58.46	60.74	63.21	64.90	73.54
4	0.44	28.36	38.11	43.49	49.47	51.44	53.45	55.62	57.11	64.72
3	0.38	24.49	32.91	37.56	42.72	44.43	46.16	48.04	49.32	55.89
2	0.31	19.98	26.85	30.64	34.85	36.25	37.66	39.19	40.24	45.59
1	0.25	16.12	21.65	24.71	28.11	29.23	30.37	31.61	32.45	36.77

- Se calcularon las intensidades de lluvia a partir de la precipitación máxima, según duración de precipitación y frecuencia de esta. La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h), ver tabla 25

Tabla 25

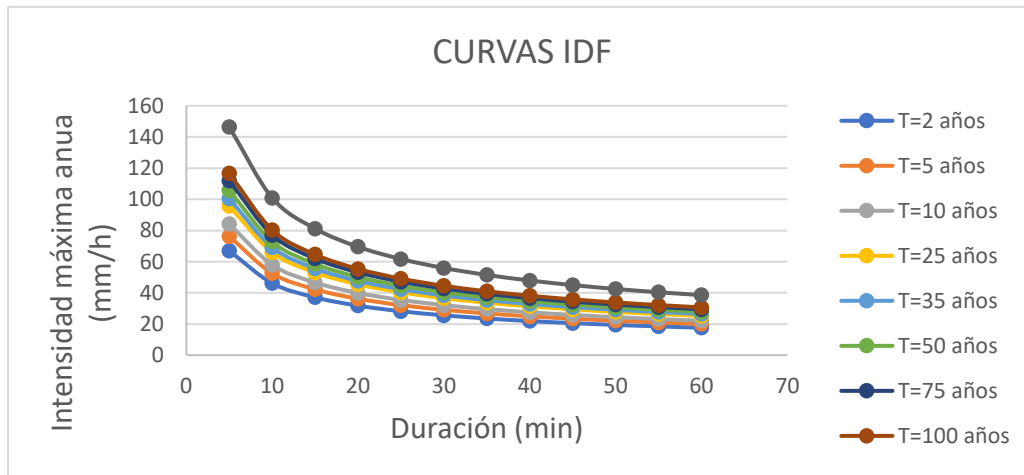
Intensidades máximas horarias (mm/h) para el sector de estudio

Tiempo de duración		Periodo de retorno (años)								
h	min	2	5	10	25	35	50	75	100	500
24	1440	2.69	3.61	4.12	4.68	4.87	5.06	5.27	5.41	6.13
18	1080	3.22	4.33	4.94	5.62	5.85	6.07	6.32	6.49	7.35
12	720	4.24	5.70	6.51	7.40	7.70	8.00	8.32	8.55	9.68
8	480	5.16	6.93	7.91	8.99	9.35	9.72	10.11	10.38	11.77
6	360	6.02	8.08	9.23	10.49	10.91	11.34	11.80	12.11	13.73
5	300	6.45	8.66	9.89	11.24	11.69	12.15	12.64	12.98	14.71
4	240	7.09	9.53	10.87	12.37	12.86	13.36	13.91	14.28	16.18
3	180	8.16	10.97	12.52	14.24	14.81	15.39	16.01	16.44	18.63
2	120	9.99	13.42	15.32	17.43	18.12	18.83	19.60	20.12	22.80
1	60	16.12	21.65	24.71	28.11	29.23	30.37	31.61	32.45	36.77

- Se procedió a construir las curvas IDF, luego de aplicar la regresión potencial y obtener los coeficientes de la representación matemática de las curvas, en la figura 6 se muestra la gráfica de las curvas intensidad duración frecuencia

Figura 7

Curvas IDF para el sector de estudio



3.1.5 Selección del periodo de retorno

En la tabla 26 se muestra los resultados del cálculo de periodo de retorno para las estructuras proyectadas en el sector en estudio, que fueron afectadas por El Niño Costero del año 2017.

Tabla 26

Periodo de retorno

Tipo de estructura	Riesgo (%)	Vida útil (años)	Tr (años)	Tr para diseño
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30	25	71	75
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	15	35	35

3.1.6 Estimación del caudal máximo en las quebradas en estudio

En la tabla 27, se muestra los resultados de la aplicación del método racional para periodos de retorno 30, 35, 75 y 100 años.

Tabla 27

Estimación de Caudales Máximos

Estimaciones caudales máximosQuebrada	Area	Tiempo de concentración	Intensidad máxima				Caudal (m ³ /s) Método racional			
			T (años)				T (años)			
	A (Km ²)	tc (minutos)	30	35	75	100	30	35	75	100
QC-1	1.04	12.26	60.70	62.04	69.12	72.00	8.01	8.30	10.01	10.84
QC-2	0.25	8.59	73.48	75.10	83.67	87.16	2.33	2.41	2.91	3.15
QC-3	0.01	13.18	58.37	59.66	66.47	69.24	0.07	0.07	0.08	0.09
QC-4	0.34	12.61	59.77	61.10	68.07	70.91	2.59	2.68	3.23	3.50
QC-5	0.07	6.23	87.35	89.28	99.47	103.62	0.72	0.75	0.90	0.97
QC-6	0.48	14.28	55.91	57.15	63.67	66.32	3.38	3.50	4.22	4.57
QC-7	0.41	4.58	103.04	105.32	117.34	122.23	5.31	5.49	6.63	7.18
QC-8	0.01	2.33	148.06	151.33	168.61	175.63	0.15	0.16	0.19	0.20
QC-9	0.40	9.62	69.15	70.68	78.75	82.03	3.47	3.59	4.33	4.69

Para el cálculo del caudal se usaron los coeficientes de escorrentía de la tabla 7, según el tipo de superficie: zona rural – bosques, montes, arbolados – pendiente alta para las nueve quebradas, debido a que presentan las mismas características en su superficie y pendiente

3.1.7 Estimación del caudal sólido en las quebradas en estudio

En la tabla 28 se calculó el caudal sólido de acuerdo a lo recomendado por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC.

Tabla 28

Estimación de Caudal Sólido

Quebrada	T (años)			
	30	35	75	100
QC-1	14.811	32.043	42.711	46.771
QC-2	4.300	2.682	3.575	3.914
QC-3	0.123	0.003	0.003	0.004
QC-4	4.783	4.079	5.437	5.954
QC-5	1.331	0.171	0.228	0.250
QC-6	6.245	6.005	8.004	8.765
QC-7	9.806	9.493	12.653	13.856
QC-8	0.277	0.006	0.008	0.008
QC-9	6.410	5.659	7.543	8.260

3.2 Estudios de vulnerabilidad en carreteras

El Perú, debido a sus condiciones geográficas, hidrometeorológicas y geológicas está expuesto a diferentes fenómenos naturales como inundaciones y movimiento de masas, los

cuales se estudian en el presente estudio.

Ante esta situación, se ha implementado el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales, 2da Versión, elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED, el cual tiene como objetivo principal orientar los procesos para la evaluación de riesgos que permitan establecer medidas de prevención y reducción del riesgo de desastres y que estos favorezcan a la correcta toma de decisiones por parte de las autoridades competentes de la gestión del riesgo. El citado documento posee una metodología que ayuda a estratificar los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad, riesgo y la zonificación de riesgos en los ámbitos geográficos expuestos a la ocurrencia de un fenómeno natural.

Para efectuar el análisis sobre el riesgo que corre una población (urbana y/o rural) es necesario conocer su exposición al riesgo, su fragilidad (tipo de infraestructura) y la capacidad de resiliencia, la cual viene a ser la capacidad de la población para organizarse, asimilar y/o recuperarse ante el impacto de un fenómeno de origen natural.

En el sentido de lo antes señalado, el Manual, propone una metodología que tiene como finalidad determinar el nivel de riesgo al que está expuesta una población (urbana y/o rural) ante la ocurrencia de fenómenos naturales. Siendo este el objetivo del manual, el presente trabajo ha hecho uso de la metodología establecida, para determinar el nivel del riesgo al que está expuesto el sector Huarmaca – El Faical (Km 1740 al 1770) ante la activación de quebradas durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño Costero; sin embargo, durante la aplicación de la metodología se ha podido observar que el citado manual no está adaptado para calcular correctamente el riesgo al que está expuesta la infraestructura vial, esta última afirmación se base en lo siguiente:

- Análisis de los parámetros y descriptores relacionados a la peligrosidad:
Los considerados en el manual se podrían complementar y/o precisar, dentro de los factores desencadenantes, con el tráfico existente, ya que este es un factor preponderante en el análisis de una vía, independientemente del estado en que se encuentre la carretera por analizar.
- Análisis de los parámetros y descriptores relacionados a la vulnerabilidad:
En el análisis sobre la fragilidad social podrían incrementarse factores como por ejemplo el relacionado a “puntos críticos”, donde se incorporen cuántos de estos se encuentran expuestos y que ocasionarían interrupción de la transitabilidad.
Además, en la Resiliencia Económica podrían incorporar parámetros a evaluar como la “capacidad de presupuesto de la entidad competente”, ya que es necesario conocer cuál es la capacidad de respuesta desde el punto de vista económico, independientemente de la capacidad que tenga la entidad para identificar y monitorear las vías.

También en la resiliencia ambiental debería complementarse con la capacidad que ubicar y autorizar el uso de canteras y depósitos de material excedente, ya que es una limitante muy importante durante la atención de situaciones de emergencia dichos factores.

Por lo expuesto, el presente trabajo ha adoptado parámetros sociales, económicos y ambientales de la zona en estudio para obtener una evaluación real de la exposición al riesgo, fragilidad y resiliencia de la infraestructura vial.

De acuerdo con el objetivo del presente trabajo se puede efectuar un análisis detallado de la metodología propuesta en el manual, para determinar su adaptabilidad a una evaluación del riesgo de la infraestructura vial. A continuación, se detallan las apreciaciones al citado manual:

En cuando al análisis y evaluación de peligrosidad, el manual considera los peligros generados por fenómenos de origen natural a aquellos que podrían afectar a la infraestructura vial y que considero se encuentran detallados correctamente, ya que la infraestructura vial está expuesta también a los efectos de los sismos, movimiento de masas, inundaciones y erosión de suelos. Para los objetivos del presente trabajo, en el cual el análisis se llevó a cabo durante la ocurrencia del FEN, los peligros a los que se encuentra la infraestructura vial son correctos y reales.

El análisis de susceptibilidad incluye los factores condicionantes, desde el punto de vista de la infraestructura vial, estos factores (relieve, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso actual del suelo) son correctos, ya que tales condiciones repercuten en qué sucederá en las quebradas existentes ante la presencia de un fenómeno que podría afectar la infraestructura vial existente, también incluye factores desencadenantes que, desde el punto de vista de la infraestructura vial, estos factores (hidrometeorológicos, geológicos e inducidos por la acción humana) pueden ser determinantes para salvaguardar o afectar la infraestructura vial existente, ya que, según la experiencia, se ha podido observar que tales factores son recurrentes y constantes cuando se trata de afectaciones a las vías del país, sin embargo, podrían mejorarse con los anteriormente expuestos para generar un análisis más real.

En cuanto al análisis de vulnerabilidad considero lo siguiente:

- Dimensión social: la exposición social en la infraestructura vial considera factores evaluados (grupo etario, servicios educativos expuestos y servicios de salud terciarios) los cuales no son de utilidad para obtener un análisis real a la vulnerabilidad a la que está expuesta. En cuanto a la fragilidad social considero que los factores evaluados no son directamente relacionados a la infraestructura vial, podrían asumirse similitudes, pero para cualquier evaluador podrían ser subjetivos y ante realidades similares los resultados podrían ser muy diferentes, por lo tanto, para una evaluación correcta debería aterrizar a factores con denominaciones para carreteras. En cuanto a la

resiliencia social los factores evaluados (capacitación en temas de gestión del riesgo, conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres, existencia de normatividad política y local, actitud frente al riesgo, campaña de difusión) son correctos, ya que todo ello ayuda a afrontar de mejor manera una situación de desastre; sin embargo, podrían mejorarse con los anteriormente expuestos para generar un análisis más real.

- **Dimensión económica:** la exposición económica en la infraestructura vial considera los factores de evaluación como localización de la edificación, servicio básico de agua potable y saneamiento, servicio de las empresas eléctricas expuestas, servicio de las empresas de distribución de combustible y gas, servicio de empresas de transporte expuesto, área agrícola y servicios de telecomunicaciones que no generan un análisis real de la exposición económica ante peligros generados por fenómenos de origen natural. En cuanto a la fragilidad económica considero que el factor correcto a evaluar es topografía del terreno, los factores que deberían ser descartados son material de construcción de la edificación, estado de conservación de las edificaciones, antigüedad de construcción de las edificaciones, incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a la normatividad vigente y de configuración de elevación de las edificaciones. En lo referente a la resiliencia económica los factores correctos evaluados son población económicamente activa desocupada, organización y capacitación institucional, capacitación en temas de gestión del riesgo, el factor de ingreso familiar mensual debería ser descartado debido a que no tiene relación con la infraestructura vial; sin embargo, podrían mejorarse con los anteriormente expuestos para generar un análisis más real.

Dimensión Ambiental: la exposición ambiental en la infraestructura vial considera los factores de evaluación deforestación, especies de flora y fauna por área geográfica, pérdida del suelo y pérdida de agua, los cuales no generan un análisis real de la exposición ambiental relacionada a la infraestructura vial. En cuanto a la fragilidad ambiental, los factores de evaluación como características geológicas del suelo, explotación de recursos naturales, localización de centros poblados no generan un análisis real de la fragilidad ambiental relacionada a la infraestructura vial. Por último, la resiliencia ambiental considera factores correctos como conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental y capacitación en temas de conservación ambiental, estos generan buenas prácticas de construcción y conservación de la infraestructura vial. El factor de conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales no genera un análisis real de la resiliencia ambiental relacionada a la infraestructura vial; sin embargo, podrían mejorarse con los anteriormente expuestos para generar un análisis más real.

3.3 Determinación del nivel de peligrosidad

Para determinar el nivel de peligrosidad de las quebradas en estudio se definieron los

parámetros y descriptores ponderados que a continuación se detallan:

3.2.1 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundación y movimiento de masas

En la Tabla 29 se presentan los parámetros y descriptores para el fenómeno inundación, en el que se analiza las precipitaciones anómalas positivas, la cercanía a una fuente de agua y la intensidad media en una hora de la zona en estudio. Además, se identifican los parámetros y descriptores que son susceptibles al fenómeno de movimiento en masa, en el que se analiza la textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento.



Tabla 29

Parámetros y descriptores del fenómeno inundación y de movimiento de masas

	Fenómeno de inundación								Fenómeno de movimiento en masas						Valor
	Precipitaciones anómalas		Cercanía a fuente de agua		Intensidad media en una hora		Textura del suelo		Pendiente		Erosión		Velocidad de desplazamiento		
Quebrada	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
QC-1	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-2	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.503	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.399
QC-3	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-4	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-5	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-6	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-7	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.503	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.399
QC-8	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256
QC-9	0.260	0.068	0.106	0.035	0.633	0.068	0.306	0.035	0.548	0.260	0.101	0.260	0.045	0.260	0.256

Los valores descriptores para “precipitaciones anómalas positivas” e “intensidad media en una hora” del fenómeno de inundación fueron referenciados del boletín de lluvias de la región norte del SENAMHI (SENAMHI, 2022). De acuerdo a dicho documento, la zona en estudio presenta anomalías en promedio de 18% al 30%, por lo que le corresponde un valor descriptor de 0.068 para “precipitaciones anómalas positivas” e igualmente un valor descriptor de 0.068 para “intensidad media en una hora”, según la clasificación del manual del CENEPRED. El valor parámetro es definido por el manual como 0.26 para “precipitaciones anómalas positivas” y de 0.633 para “intensidad media en una hora” (CENEPRED, 2018)

El valor descriptor para “cercanía a una fuente de agua” del fenómeno de inundación fue determinado analizando la zona en estudio de manera presencial y usando el programa ARCGIS, este valor es de 0.035 ya que las quebradas se encuentran alejadas de una fuente de agua, a más de 1000 metros. El valor de parámetro es de 0.106 para “cercanía a una fuente de agua”.

El valor descriptor de textura del fenómeno de movimiento de masas asume valores diferentes para las quebradas en estudio. De acuerdo al Estudio de Suelos del Programa de Gestión Vial del contrato N°069-2012-MTC/20 Tramo Hualapampa Huarmaca Sondor Huancabamba Vado Grande, se identificó el tipo de suelo efectuando calicatas. En ese sentido, obtenida la clasificación de suelos en las zonas adyacentes a las quebradas, es que se pueden obtener los valores descriptores para la “textura del suelo” así como el parámetro de 0.306 de acuerdo al manual de CENEPRED.

El valor descriptor de “pendiente” del fenómeno de movimiento de masas fue determinado analizando la pendiente de las quebradas en estudio, usando el programa ARCGIS, el valor es de 0.260 ya que las quebradas tienen una pendiente entre 25° a 45°. El valor parámetro es de 0.548 de acuerdo al manual de CENEPRED.

El valor descriptor de “erosión” y “velocidad de desplazamiento” del fenómeno de movimiento de masas es 0.260 debido a que según el CENEPRED la zona en estudio es inestable, macizos rocosos con meteorización y alteración intensa a moderada, muy fracturadas, información corroborada en el atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. (SENAMHI, Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú, 2017).

3.2.2 Parámetros y descriptores que son susceptibles al fenómeno de estudio

- Factores condicionantes

En la tabla 30 se muestran los valores para los factores condicionantes como “relieve”, “tipo de suelo”, “cobertura vegetal” y “uso actual de suelos”.

Tabla 30

Parámetros y descriptores de los factores condicionantes

Factores condicionantes									
Quebrada	Relieve		Tipo de suelo		Cobertura vegetal expuesta		Uso actual de suelos		Valor
	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
QC-1	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-2	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-3	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-4	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-5	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-6	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-7	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-8	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680
QC-9	0.145	0.068	0.515	0.068	0.058	0.068	0.282	0.068	0.0680

Los descriptores “relieve”, “cobertura vegetal” y “uso actual de suelos” fueron obtenidos del análisis presencial realizado a la zona de estudio, siendo un relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, zona de huaicos, generalmente montañoso y complejo. Presenta cobertura vegetal entre el 5% y 20% del área de la zona en estudio. El uso actual de suelos fue clasificado como pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias.

El descriptor “tipo de suelo” asume un valor promedio, tomando en cuenta las posibilidades que ofrece el manual, de acuerdo al Estudio de Suelos del Programa de Gestión Vial del contrato N°069-2012-MTC/20 Tramo Hualapampa Huarmaca Sondor Huancabamba Vado Grande, donde se identificó el tipo de suelo efectuando calicatas. En ese sentido, obtenida la clasificación de suelos en las zonas adyacentes a las quebradas, es que se puede obtener el valor descriptor de 0.068, de acuerdo al manual de CENEPRED.

- Factores desencadenantes:

En la tabla 31 se muestran los valores para los factores desencadenantes como hidrometeorológicos, geológico e inducido por la acción humana.

Tabla 31

Parámetros y descriptores de los factores desencadenantes

Factores desencadenantes							
	Hidrometeorológicos		Geológicos		Inducido por la acción humana		Valor
Quebrada	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	Parámetro	Descriptor	
QC-1	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-2	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932

QC-3	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-4	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-5	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-6	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-7	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-8	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932
QC-9	0.106	0.503	0.26	0.068	0.633	0.035	0.0932

El valor descriptor para factores desencadenantes hidrometeorológicos está definido de acuerdo al fenómeno que se presenta en la zona, para este caso el valor es de lluvia, el valor descriptor de factores desencadenantes geológicos está clasificado como movimiento de masas y el inducido por la acción humana como crecimientos demográficos.

3.2.3 Cálculo de susceptibilidad

La susceptibilidad se obtiene al sumar los valores de los factores condicionantes y desencadenantes (los pesos ponderados para ambos son de 0.5) (CENEPRED, 2018). Los resultados se muestran en la tabla 32.

Tabla 32

Valores de susceptibilidad

Quebrada	Susceptibilidad				Valor
	Factor condicionant e		Factor desencadenante		
	Valor	Peso	Valor	Peso	
QC-1	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-2	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-3	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-4	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-5	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-6	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-7	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-8	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081
QC-9	0.068	0.5	0.093	0.5	0.081

3.2.4 Cálculo de la peligrosidad

La peligrosidad se determina sumando los valores obtenidos de afectar la susceptibilidad por su peso y el fenómeno por su peso. Según la tabla 31 se determinó los valores de peligrosidad para cada una de las quebradas, siendo de 0.168 para las quebradas 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 mientras que para las quebradas 2 y 7 el valor de peligrosidad es de 0.240

Estos valores de 0.168 y 0.240 indican que las quebradas en estudio presentan un nivel

de peligro alto, el manual de CENEPRED define a peligro alto a los valores de peligrosidad entre 0.134 y 0.260, para la elaboración del mapa de peligrosidad se usará el color definido por el manual para un nivel de peligro alto. Los mapas de peligrosidad se pueden ver en el apéndice E. Los resultados se muestran en la tabla 33.

Tabla 33

Valores de peligrosidad

Quebrada	Fenómeno		Susceptibilidad		Valor
	Valor	Peso	Valor	Peso	
QC-1	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-2	0.399	0.5	0.081	0.5	0.240
QC-3	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-4	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-5	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-6	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-7	0.399	0.5	0.081	0.5	0.240
QC-8	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168
QC-9	0.256	0.5	0.081	0.5	0.168

3.4 Determinación del nivel de vulnerabilidad

Para determinar el nivel de vulnerabilidad se analizó la dimensión social, económica y ambiental, para esto se analizó la exposición social, económica y ambiental, así como la fragilidad social, económica y ambiental y por último la resiliencia social, económica y ambiental. El análisis se realizó bajo los lineamientos del Manual de Riesgos del CENEPRED, los parámetros para cada factor de evaluación son determinados por este manual, los descriptores se determinan analizando la zona en estudio. El análisis se realizó en el sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 y se detalla a continuación:

3.3.1 Análisis de la dimensión social

Se determinó la dimensión social analizando exposición, fragilidad y resiliencia, para esto se analizó la población vulnerable y se definieron los parámetros y descriptores que se detallan en la tabla 34. El análisis está basado en la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, la identificación de la población vulnerable y no vulnerable.

Tabla 34

Análisis de la dimensión social

Exposición social	Grupo etario	Parámetro	0.260
		Descriptor	0.503
	Servicios educativos expuestos	Parámetro	0.160
		Descriptor	0.134

	Servicios de salud terciarios	Parámetro	0.633
		Descriptor	0.134
	Valor exposición social		0.237
Fragilidad social	Material de construcción de la edificación	Parámetro	0.430
		Descriptor	0.000
	Estado de conservación de la edificación	Parámetro	0.317
		Descriptor	0.000
	Antigüedad de construcción de las edificaciones	Parámetro	0.042
		Descriptor	0.000
	Configuración de elevación de las edificaciones	Parámetro	0.078
		Descriptor	0.000
	Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	Parámetro	0.131
		Descriptor	0.000
	Valor fragilidad social		0.000
Resiliencia social	Capacitación en temas de gestión de riesgo	Parámetro	0.285
		Descriptor	0.134
	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Parámetro	0.152
		Descriptor	0.134
	Existencia de normatividad política y local	Parámetro	0.096
		Descriptor	0.134
	Actitud frente al riesgo	Parámetro	0.421
		Descriptor	0.260
	Campaña de difusión	Parámetro	0.046
		Descriptor	0.503
	Valor resiliencia social		0.204

Los valores descriptores para determinar la exposición y fragilidad fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el portal INEI ofrece información de población agrupada según su estructura y composición, también se puede obtener información sobre viviendas particulares y hogares, así como datos estadísticos generales. Para determinar la exposición social se escogió el valor de 0.035 para grupo etario, ya que la población comprendida entre 30 a 50 años representa la mayoría en el sector en estudio siendo de 21 777 personas (INEI, 2017). El descriptor para servicios educativos expuestos es de 0.134 debido a que entre el 25% y 50% del servicio educativo se encuentra expuesto frente a un desastre como inundación o movimiento de masas, ya que al cortar el tránsito vehicular por derrumbe los estudiantes no tendrían acceso a los centros educativos. El descriptor para servicios de salud terciarios es de 0.134 ya que entre el 20 y 35% del servicio de salud quedaría expuesto al cortarse el paso en el sector de la carretera en estudio.

En cuanto a los valores descriptores para la fragilidad social, corresponde 0, ya que en la carretera no existen viviendas, por este motivo no se puede determinar el material, estado, antigüedad, elevación y procedimientos constructivos de las mismas.

Los valores descriptores para resiliencia social están basados en el análisis del Programa de Gestión Vial del contrato N°069-2012-MTC/20 tramo Hualapampa Huarmaca Sondor Huancabamba Vado Grande. El contrato contemplaba un Plan de Manejo Socio Ambiental, el cual durante la ocurrencia de El Niño Costero se encontraba en ejecución por parte del contratista y monitoreo por parte de Provías Nacional, del cual se tomó el valor descriptor de 0.134 para capacitación en temas de gestión de riesgo, ya que la población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a gestión de riesgos, siendo su difusión y cobertura mayoritaria. Para el parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres el valor descriptor es de 0.134 debido a que existe un regular conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres. Para el parámetro existencia de normatividad política y local el valor de 0.134 debido a que el soporte legal del territorio que ayuda a la reducción del riesgo del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se cumple ocasionalmente. Para el parámetro actitud frente al riesgo el valor descriptor de 0.26 ya que la población tiene una actitud escasamente previsor y para el parámetro campaña de difusión el valor de 0.503 debido a que no hay difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de gestión del riesgo para la población local.

3.3.2 Análisis de la dimensión económica

Se determinó la dimensión económica analizando exposición, fragilidad y resiliencia, para esto se analizó la población vulnerable y se definieron los parámetros y descriptores que se detallan en la tabla 35. El análisis está basado en las actividades económicas e infraestructura expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables.

Tabla 35

Análisis de la dimensión económica

Exposición económica	Localización de la edificación	Parámetro	0.318
		Descriptor	0.035
	Servicio básico de agua potable y saneamiento	Parámetro	0.219
		Descriptor	0.000
	Servicio de las empresas eléctricas expuestas	Parámetro	0.140
		Descriptor	0.000
	Servicio de las empresas de distribución de combustible y gas	Parámetro	0.063
		Descriptor	0.000
	Servicio de empresas de transporte expuesto	Parámetro	0.089
		Descriptor	0.503
	Área agrícola	Parámetro	0.121
		Descriptor	0.035
	Servicios de telecomunicaciones	Parámetro	0.318
		Descriptor	0.000

Valor exposición económica			0.060
Fragilidad económica	Material de construcción de la edificación	Parámetro	0.386
		Descriptor	0.000
	Estado de conservación de las edificaciones	Parámetro	0.386
		Descriptor	0.000
	Antigüedad de construcción de las edificaciones	Parámetro	0.111
		Descriptor	0.000
	Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente	Parámetro	0.156
		Descriptor	0.000
	Topografía del terreno (p=pendiente)	Parámetro	0.044
		Descriptor	0.260
	Configuración de elevación de las edificaciones	Parámetro	0.068
		Descriptor	0.000
Valor fragilidad económica			0.011
Resiliencia económica	Población económicamente activa desocupada	Parámetro	0.159
		Descriptor	0.260
	Ingreso familiar mensual (nuevos soles)	Parámetro	0.501
		Descriptor	0.134
	Organización y capacitación institucional	Parámetro	0.077
		Descriptor	0.260
	Capacitación en temas de gestión del riesgo	Parámetro	0.263
		Descriptor	0.134
Valor resiliencia económica			0.164

Para determinar exposición económica se ha analizado la zona en estudio y se definen los siguientes valores descriptores:

Para “localización de la edificación” el valor descriptor es de 0.035 debido a que en las inmediaciones del sector en estudio no se encuentran edificaciones que requieran análisis para el presente trabajo. Para “servicio básico de agua potable y saneamiento”, “servicio de las empresas eléctricas expuestas” y “servicio de las empresas de distribución de combustible y gas” el valor descriptor es de 0 debido a que en las inmediaciones del sector en estudio no se encuentran con estos servicios. Para el “servicio de empresas de transporte expuesto” el valor es de 0.503 ya que más del 75% del servicio de transporte se encuentra expuesto ante el bloqueo de las vías producto de las emergencias viales. Para el “área agrícola” el descriptor es de 0.035 ya que la zona en estudio no cuenta con áreas agrícolas importantes, se considera este valor debido a que menos del 10% de área agrícola se encuentran expuestas. El descriptor para “servicios de telecomunicaciones” es 0 debido a que no se encuentran instalaciones en el sector en estudio.

Para determinar la fragilidad económica, el descriptor para “material de construcción

de la edificación”, “estado de conservación de las edificaciones”, “antigüedad de construcción de las edificaciones”, “incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente” y “configuración de elevación de las edificaciones” es cero debido a que en las inmediaciones del sector en estudio no se encuentran edificaciones que requieran análisis para el presente trabajo. Para el parámetro “topografía del terreno” es descriptor es de 0.26 ya que las pendientes de las quebradas en estudio son del 30% al 50%.

Para la resiliencia económica los descriptores para población económicamente activa desocupada e ingreso familiar mensual fueron obtenidos de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), siendo de 0.26 para la población económicamente activa debido a que la población tiene un bajo acceso y poca permanencia a un puesto de trabajo y bajo nivel de empleo de la población económicamente activa y de 0.134 para “ingreso familiar mensual” debido a que el ingreso familiar se encuentra entre 264 y 1200 nuevos soles, este dato se obtuvo del portal INEI, el que nos brinda información por planos estratificados por ingreso a nivel de manzana de las ciudades del Perú. Los descriptores para “organización y capacitación institucional” y “capacitación en temas de gestión del riesgo” son de 0.260 y 0.134 respectivamente,

3.3.3 Análisis de la dimensión ambiental

Se determinó la dimensión ambiental analizando exposición, fragilidad y resiliencia, para esto se analizó la población vulnerable y se definieron los parámetros y descriptores que se detallan en la tabla 36. El análisis está basado en los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los recursos naturales vulnerables y no vulnerables.

Tabla 36

Análisis de la dimensión ambiental

Exposición ambiental	Deforestación	Parámetro	0.501
		Descriptor	0.503
	Pérdida de suelo	Parámetro	0.263
		Descriptor	0.503
	Pérdida de agua	Parámetro	0.159
		Descriptor	0.068
	Valor exposición ambiental		0.395
Fragilidad ambiental	Características geológicas del suelo	Parámetro	0.283
		Descriptor	0.260
	Explotación de recursos naturales	Parámetro	0.047
		Descriptor	0.068
			Parámetro 0.643

	Localización de centros poblados	Descriptor	0.035
	Valor fragilidad ambiental		0.099
Resiliencia ambiental	Conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental	Parámetro	0.633
		Descriptor	0.068
	Conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales	Parámetro	0.106
		Descriptor	0.068
	Capacitación en temas de conservación ambiental	Parámetro	0.26
		Descriptor	0.134
	Valor resiliencia ambiental		0.085

La exposición ambiental fue calculada con el parámetro “deforestación”, siendo el descriptor de 0.503 ya que la zona no presenta vegetación y son terrenos eriazos, respecto al parámetro “pérdida de suelo” su valor es de 0.503 ya que la erosión es provocada por las lluvias: pendientes pronunciadas y terrenos montañosos, lluvias estacionales y el fenómeno El Niño. El último parámetro es de “pérdida de agua” con un valor de 0.068 ya que se registra en la zona pérdidas por técnicas inadecuadas de regadío y canales de transporte en tierra.

La fragilidad ambiental fue calculada con el parámetro “características geológicas de suelo”, siendo el descriptor de 0.26 ya que la zona es de característica medianamente fracturada y los suelos presentan baja capacidad portante de acuerdo al Estudio de Suelos del Programa de Gestión Vial del contrato N°069-2012-MTC/20 Tramo Hualapampa Huarmaca Sondor Huancabamba Vado Grande. El descriptor para el parámetro “explotación de recursos naturales” es de 0.068 ya que las comunidades adyacentes reciben capacitación de autoridades locales y regionales en la materia. Para el parámetro “localización de centros poblados” el descriptor es de 0.035 debido a que éstos se encuentran muy alejados, fuera del ámbito del análisis del presente trabajo.

Para determinar la resiliencia ambiental se determinaron los descriptores para los parámetros de “conocimiento y cumplimiento de normatividad ambiental”, “conocimiento ancestral para la explotación sostenible de sus recursos naturales” y “capacitación en temas de conservación ambiental” siendo de 0.633, 0.106 y 0.26 respectivamente. Esto debido a que las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental, cumpliéndola mayoritariamente, la población mayoritariamente posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales y la población se capacita con regular frecuencia en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura parcial.

3.3.4 Cálculo de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se determina afectando los valores de exposición, fragilidad y

resiliencia de las dimensiones sociales, económicas y ambientales por los pesos definidos en el manual del CENEPRED. En la tabla 37 se detallan los resultados del cálculo.

Tabla 37

Cálculo de vulnerabilidad

		Valor	Peso	Valor
Dimensión social	Exposición	0.115	0.633	0.126
	Fragilidad	0.000	0.106	
	Resiliencia	0.204	0.260	
Dimensión económica	Exposición	0.395	0.633	0.261
	Fragilidad	0.099	0.106	
	Resiliencia	0.000	0.260	
Dimensión ambiental	Exposición	0.395	0.633	0.261
	Fragilidad	0.099	0.106	
	Resiliencia	0.000	0.260	
Vulnerabilidad	Social	0.126	0.633	0.156
	Económica	0.082	0.106	
	Ambiental	0.261	0.260	

El resultado de vulnerabilidad para el sector en estudio es de 0.156, este valor indica que las quebradas en estudio presentan un nivel de vulnerabilidad alta, el manual de CENEPRED define vulnerabilidad alta a los valores de vulnerabilidad entre 0.134 y 0.260, para la elaboración de los mapas se usará el color definido por el manual del CENEPRED. Los mapas de vulnerabilidad se pueden ver en el apéndice F.

3.5 Determinación del nivel de riesgo

El nivel de riesgo se determinó a partir de los valores de peligrosidad y vulnerabilidad. Para determinar el nivel de riesgo, el manual de CENEPRED desarrolla un cuadro de doble entrada al que se ingresó con los valores de peligro y vulnerabilidad.

El resultado de ingresar estos valores nos arrojó un nivel de riesgo de 0.068 que significa un riesgo alto, para la elaboración de los mapas se usará el color definido por el manual del CENEPRED. Los mapas de riesgo se pueden ver en el apéndice G.

Capítulo 4

Propuesta para mitigar la vulnerabilidad y riesgo

El presente capítulo analiza el comportamiento de las estructuras afectadas por El Niño Costero en cada una de las quebradas en estudio y propone alternativas de solución de acuerdo con los resultados de vulnerabilidad y riesgo obtenidos.

4.1 Análisis de las estructuras afectadas por El Niño Costero en las quebradas en estudio

A continuación, se presenta un análisis de lo acontecido con las estructuras hidráulicas afectadas en El Niño Costero, este análisis fue elaborado con base a lo recopilado, observado y supervisado durante la ocurrencia del evento; después de ocurrido El Niño Costero, las estructuras existentes colapsaron debido a que se contaba con estructuras básicas que no dimensionaban de forma correcta el evento extraordinario. La zona en estudio, al tener un nivel de riesgo alto, está propensa a sufrir los efectos devastadores de eventos climatológicos extraordinarios. En el apéndice A se muestran fotografías de las obras de arte existentes en la zona en estudio.

Desde el punto de vista de la conservación de carreteras, después de vivida la experiencia de un fenómeno de El Niño Costero, es importante plantear estructuras que se adecúen a la realidad de cada quebrada, para esto es importante efectuar una evaluación de las quebradas existentes y sus correspondiente estructuras a fin de, primero, identificar el nivel del riesgo y posteriormente evaluar si la estructura existente o planteada es la adecuada, caso contrario deben efectuarse las adecuaciones correspondientes o reformular los diseños que se estén planteando. Se puede apreciar cada quebrada en los apéndices C, E, F, G.

4.1.1 Quebrada 1 – Progresiva Km 1741+856

De acuerdo con el inventario vial calificado del año 2016, el badén existente tenía una longitud de 18 metros donde la quebrada tiene un ancho de 40 metros. Por esta razón, ante la ocurrencia constante de los huaicos, es que se produjo el colapso de la estructura. Además, producto de las lluvias, se produjeron erosiones de talud inferior que desestabilizaron la estructura de concreto y contribuyeron al colapso. Cabe mencionar que la estructura que existía no tenía una estructura de soporte lateral en el talud inferior tipo muro de ciclópeo o concreto armado. Se precisa, para dimensionar el volumen de material que descargó la quebrada, que se tuvieron que remover un aproximado de 1500 m³ en un periodo corto de 25 días, tiempo que duró lo más crítico de las lluvias en el sector.

En relación con las labores de conservación y recuperación de la infraestructura vial, se efectuó la recuperación del ancho de vía a fin de garantizar la transitabilidad durante y después del evento extraordinario. También, y sin restar importancia, se realizaron arduas labores constantes de limpieza de los huaicos, las cuales se tornaron complicadas al perder parte de la plataforma y el badén existente. Una vez culminado el evento extraordinario se recuperó el

badén con trabajos provisionales y también recuperar el pavimento básico existente con sus respectivas capas inferiores.

4.1.2 Quebrada 2 – Progresiva Km 1758+880

De acuerdo con el inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante el evento extraordinario, se puede observar que en esta quebrada se tenía sólo un muro de mampostería, el cual contribuyó a reforzar el sostenimiento del talud inferior ante la arremetida de los huaicos. Sin embargo, la corona del muro actuó como un elemento de contención que no contribuyó a dejar fluir el material que descargó de la quebrada. Dicho material asentado sobre el pavimento básico produjo su deterioro casi inmediato. Durante el evento extraordinario se realizaron labores principalmente de limpieza, los cuales se dificultaban debido al ancho de vía y a la presencia de la corona del muro. Posterior al evento extraordinario, y de acuerdo con los alcances del servicio de conservación, se tuvo la labor de recuperar el pavimento básico y las capas inferiores.

4.1.3 Quebrada 3 – Progresiva Km 1760+020

De acuerdo con el inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante el evento extraordinario, no se proyectó ni construyó ninguna estructura de paso. Durante el evento extraordinario no se tuvieron grandes movimientos de masa, sin embargo, la presencia del material saturado posado sobre el pavimento básico produjo su deterioro prematuro, el cual se tuvo que recuperar con labores de recapeo del recubrimiento superficial.

4.1.4 Quebrada 4 – Progresiva Km 1760+388

De acuerdo con el Inventario Vial Calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante El Niño Costero, se tenía en el sector un badén de concreto, pero sin estructura de soporte aguas abajo. El badén tenía una longitud de 12 metros en una quebrada cuyo ancho sobrepasaba los 20 metros. Durante el evento extraordinario se produjeron movimientos de masa totalmente impredecibles en dicho sector, no se produjo el colapso total de la estructura, pero la erosión del talud inferior produjo su inestabilidad, la cual se pudo recuperar colocando rocas en su parte inferior para aportar soporte a la estructura ante el paso de los vehículos en la zona. El no tener una estructura con la longitud y soporte adecuados conllevó a realizar actividades de emergencia a fin de reforzar y recuperar las condiciones de la vía.

4.1.5 Quebrada 5 – Progresiva Km 1760+840

De acuerdo con el inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante El Niño Costero, se tenía en el sector un badén de concreto con soporte lateral tipo muro de piedra. El Niño Costero produjo huaicos constantes en una longitud superior al del badén, esto produjo daños y deterioros en el resto de la infraestructura vial como el pavimento básico y las cunetas. Las labores de recuperación fueron arduas debido

a que se presenciaba como el pavimento básico se deterioraba rápidamente al contacto con el material saturado producto de los huaicos.

4.1.6 Quebrada 6 – Progresiva Km 1761+507

De acuerdo con el inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante El Niño Costero, se tenía en el sector un badén de concreto con soporte lateral tipo muro de piedra y bolsacreto. El evento extraordinario produjo huaicos constantes en una longitud superior al del badén, esto produjo daños y deterioros en el resto de la infraestructura vial como el pavimento básico y las cunetas. Las labores de recuperación fueron arduas debido a que se presenciaba como el pavimento básico se deterioraba rápidamente al contacto con el material saturado producto de los huaicos.

4.1.7 Quebrada 7 – Progresiva Km 1763+483

De acuerdo al inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante el evento extraordinario, no se tenía ninguna estructura de paso ni de soporte lateral. Los fuertes huaicos produjeron inmediatamente daños considerables a la infraestructura vial, tales como erosión del talud inferior, pérdida total del pavimento básico y cunetas. En este sector, durante la ocurrencia del evento extraordinario, se tuvo que cambiar el trazo de vía, aprovechando el material que constantemente provenía de los huaicos.

4.1.8 Quebrada 8 – Progresiva Km 765+923 y Quebrada 9 Progresiva Km 1766+610

De acuerdo al inventario vial calificado del año 2016 y en concordancia con las fotografías propias durante El Niño Costero, se tenía una alcantarilla de 36" con cabezales de concreto armado. Durante la ocurrencia del evento extraordinario se produjeron fuertes huaicos totalmente inesperados que rápidamente produjeron el colapso del cabezal de salida, así como la destrucción del pavimento básico y cunetas adyacentes. Las labores de conservación durante el evento se centraron en brindar transitabilidad segura y las labores después del evento se enfocaron en recuperar la estructura que existía, tanto con actividades de descolmatación de la alcantarilla, así como recuperar y/o reparar el cabezal de salida a fin de recuperar la funcionalidad de la estructura.

4.2 Propuesta de estructuras hidráulicas y planteamiento de soluciones

El Manual del MTC (2018) indica que cuando la rasante de la carretera coincide con el nivel del fondo del cauce de la quebrada, la estructura apropiada para permitir el paso intermitente del flujo de sólidos, que se presenta con mayor intensidad durante los periodos lluviosos, es el badén. Para los badenes proyectados, se deben seguir recomendaciones de diseño adaptadas a las características específicas de cada quebrada, incluyendo obras de protección contra la socavación para prevenir su colapso. Esta protección puede ser necesaria tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura, utilizando enrocados, gaviones, pantallas de concreto u otros métodos según el tipo de material que transporta el curso natural.

A continuación, en la tabla 38, se muestra las alternativas de solución de acuerdo con el análisis de vulnerabilidad y riesgo realizada.

Tabla 38

Cálculo de vulnerabilidad

Quebrada	Ubicación	Estructura hidráulica propuesta
QC-1	1741+856	Badén Aguas arriba: emboquillado piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo muro de concreto armado o ciclópeo.
QC-2	1758+880	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana
QC-3	1760+020	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-4	1760+388	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-5	1760+840	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-6	1761+507	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-7	1763+483	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-8	1765+923	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo
QC-9	1766+610	Badén Aguas arriba: emboquillado con piedra mediana Aguas abajo: estructura de contención tipo concreto armado o ciclópeo

A continuación, se detallan las recomendaciones de diseño para cada quebrada planteadas para el presente estudio según los resultados del análisis de vulnerabilidad y riesgo y la experiencia como supervisor del sector:

4.2.1 Quebrada 1 – Progresiva Km 1741+856

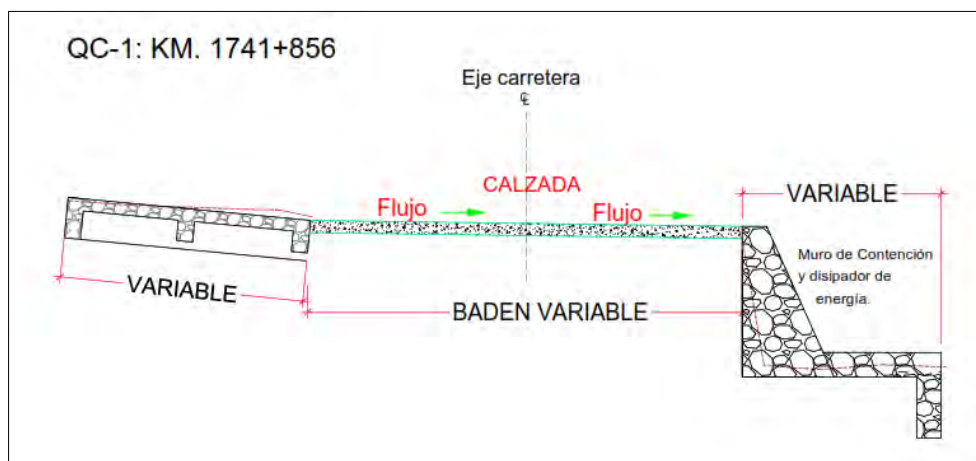
De acuerdo con la experiencia aprendida durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño Costero, se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 30 metros de largo, de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 10 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana colocada manualmente, esto último con la finalidad que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén se plantea colocar un emboquillado de un metro de ancho - o según permita el talud superior – compuesto de piedra mediana, el cual deberá tener una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad. En la figura 8 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo con evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y sólidos propios de lluvias y huaicos.

Figura 8

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 1



4.2.2 Quebrada 2 – Progresiva Km 1758+880

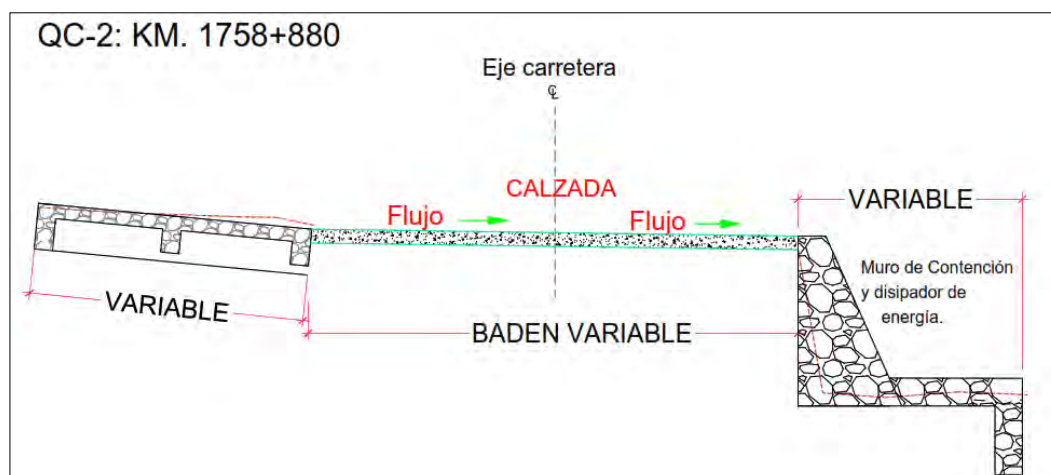
Se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 20 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente. Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50

centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua. En la figura 9 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

También, es necesario efectuar labores en la geometría de la vía, adecuando el nivel de la calzada al de la corona del muro de mampostería existente, a fin de superar la contención que significó esta corona, la cual impedía la fluidez adecuada del agua y sólidos durante el evento extraordinario.

Figura 9

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 2



4.2.3 Quebrada 3 – Progresiva Km 1760+020

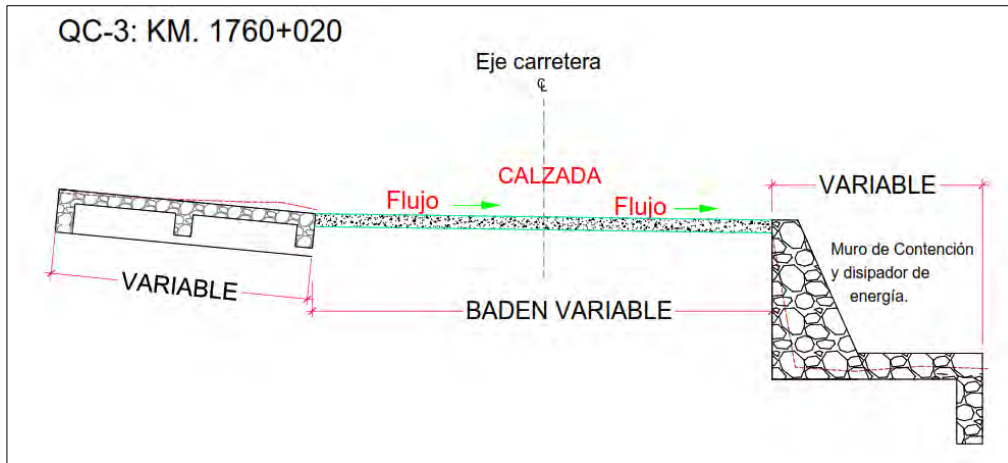
Se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 20 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo, propios de lluvias y huaicos. En la figura 10 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 10

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 3



4.2.4 Quebrada 4 – Progresiva Km 1760+388

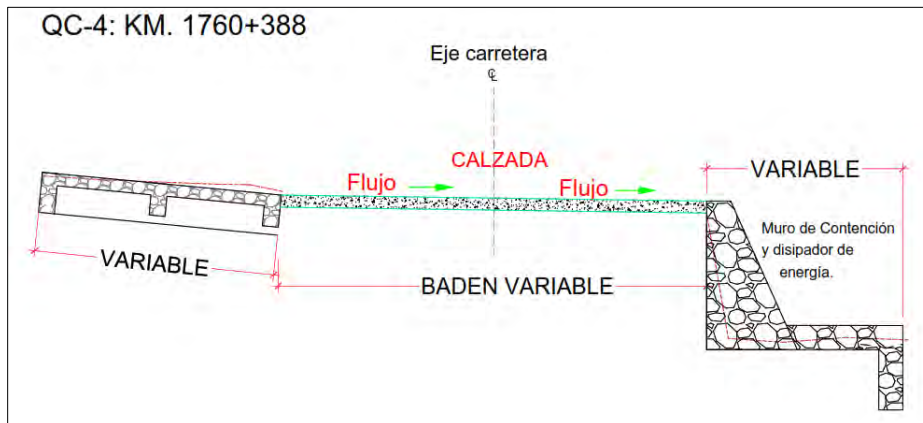
Se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 20 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos. En la figura 11 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 11

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 4



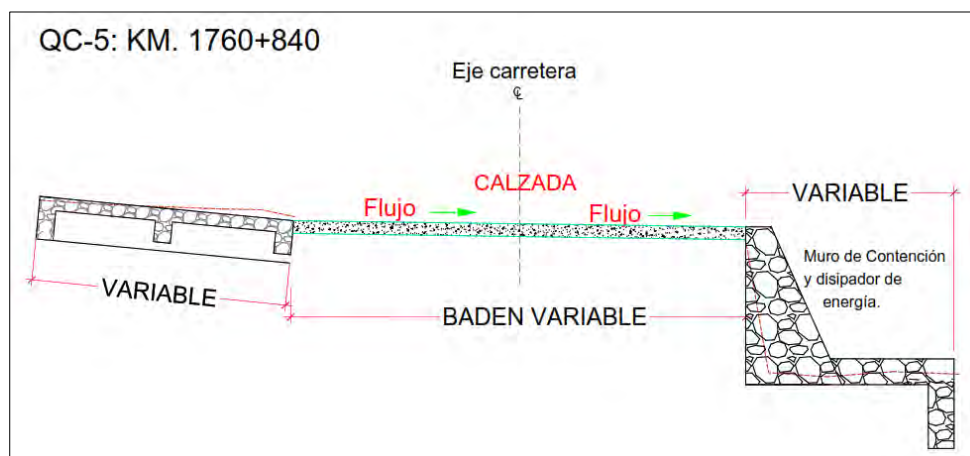
4.2.5 Quebrada 5 – Progresiva Km 1760+840

Se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 15 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente. Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo con evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos respectivamente. En la figura 12 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 12

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 5



4.2.6 Quebrada 6 – Progresiva Km 1761+507

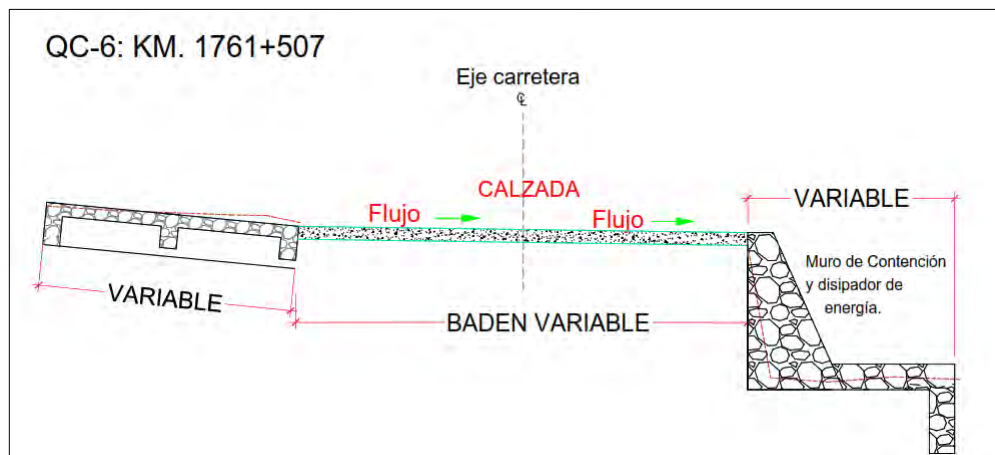
Se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 10 metros de largo de concreto armado y con 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de brindar soporte lateral a la estructura, así como también para evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos respectivamente. En la figura 13 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 13

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 6



4.2.7 Quebrada 7 – Progresiva Km 1763+483

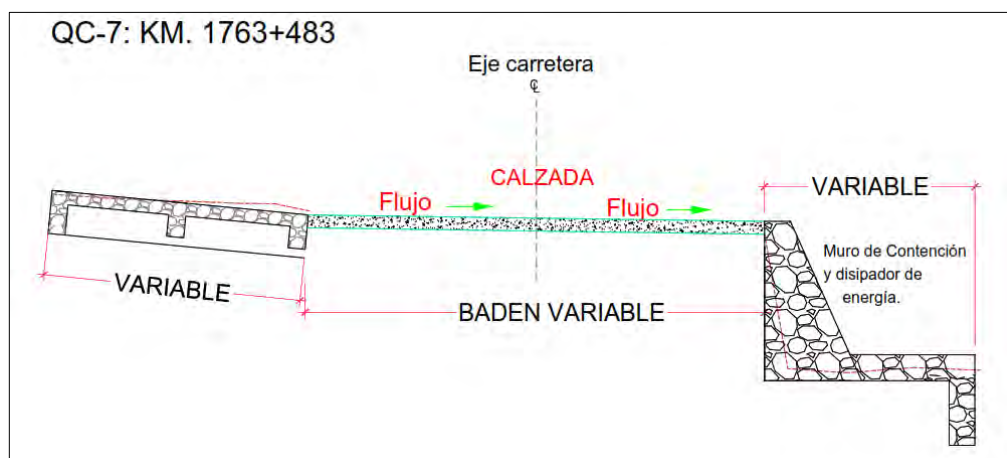
De acuerdo con la experiencia aprendida durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño Costero se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 30 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 10 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén se plantea colocar un emboquillado de un metro de ancho - o según permita el talud superior – compuesto de piedra mediana, el cual deberá tener una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de brindar soporte lateral a la estructura, así como también para evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos respectivamente. En la figura 14 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 14

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 7



4.2.8 Quebrada 8 – Progresiva Km 1765+923

Los constantes huaicos que se originaron a partir de las torrenciales lluvias durante el Fenómeno El Niño Costero, ocasionaron la colmatación del cabezal de entrada de la alcantarilla que existe en dicha progresiva, cabezal que era tipo cajón. Desde el punto de vista de las labores de conservación, recuperar la funcionalidad de la alcantarilla fue difícil y costoso, sin embargo, era la única tarea que se podía realizar a través del tipo de contrato de conservación que se tenía en aquella oportunidad.

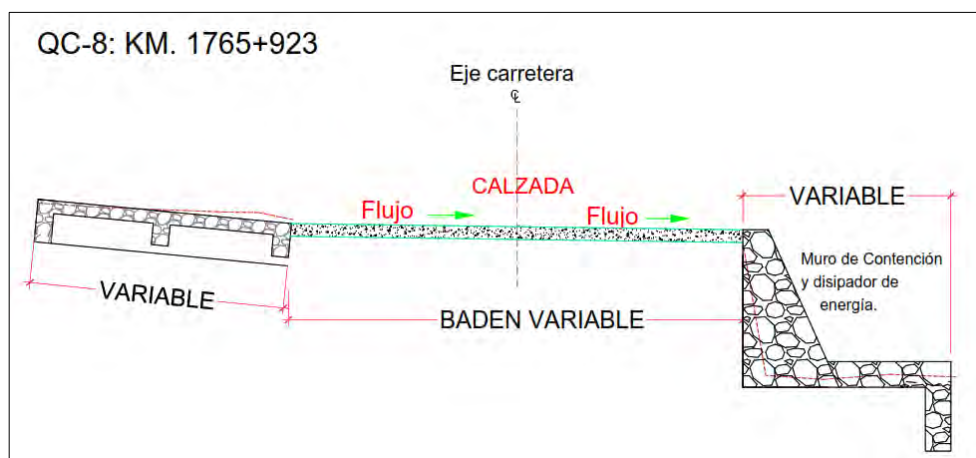
Ante la experiencia vivida, se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 15 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 5 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos respectivamente. En la figura 15 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 15

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 8



4.2.9 Quebrada 9 – Progresiva Km 1766+610

Los constantes huaicos que se originaron a partir de las torrenciales lluvias durante el Fenómeno El Niño Costero ocasionaron la colmatación del cabezal de entrada de la alcantarilla que existe en dicha progresiva, cabezal que era tipo cajón, como el mostrado en la figura 7.

Desde el punto de vista de las labores de conservación, recuperar la funcionalidad de la alcantarilla fue sumamente difícil y muy costoso, sin embargo, era la única tarea que se podía realizar a través del tipo de contrato de conservación que se tenía en aquella oportunidad.

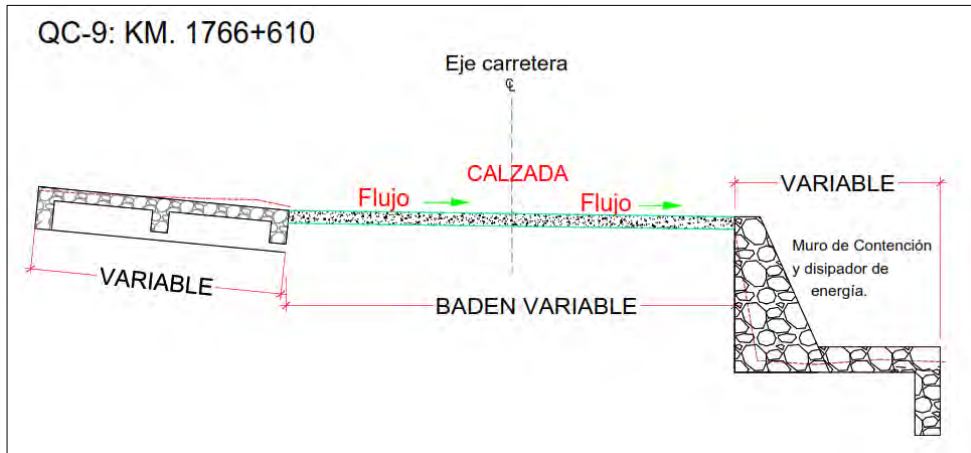
Ante la experiencia vivida, se plantea la implementación de una estructura tipo badén con las características de 15 metros de largo de concreto armado de 20 centímetros de espesor, así como también 10 metros a ambos extremos del badén con un emboquillado de mortero con piedra mediana, esto último con la finalidad de que la saturación del badén no perjudique al pavimento básico existente.

Además, aguas arriba del badén, por cuestiones de espacio, se plantea emboquillar piedra mediana con un espesor de 20 centímetros enterrados a nivel del badén y con una uña de 50 centímetros a 1 metro de profundidad, con la finalidad de evitar la socavación por acción del agua.

También, aguas abajo, es necesaria la colocación de un muro de concreto armado o ciclópeo - de acuerdo a evaluación del ingeniero estructural - que brinde soporte ante posibles erosiones producto del escurrimiento del agua y lodo propios de lluvias y huaicos respectivamente. En la figura 16 se muestra un esquema sobre la solución planteada.

Figura 16

Estructuras hidráulicas propuestas quebrada 9



Conclusiones

Después de realizar el análisis hidrológico se calculó el caudal superficial y el caudal por movimiento de masas para diferentes periodos de retorno que transportaría cada quebrada crítica en la zona en estudio siendo la quebrada 1 la que registra mayores caudales para los periodos de retorno de 30, 35, 75 y 100 años

Después de realizar el análisis de vulnerabilidad del sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 ruta PE-3N se concluye que el nivel de vulnerabilidad es alto con un valor de 0.156.

Se concluye que el nivel de peligrosidad y riesgo del sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 ruta PE-3N es alta con valores de peligrosidad para cada una de las quebradas, siendo de 0.168 para las quebradas 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 mientras que para las quebradas 2 y 7 el valor de peligrosidad es de 0.240.

Después de realizar el análisis de vulnerabilidad del sector Huarmaca - El Faical km 1740-1770 ruta PE-3N se concluye que el nivel de vulnerabilidad es alto con un valor de 0.156, mientras que el valor de riesgo es de 0.068 para el sector en estudio.

De acuerdo con el análisis de vulnerabilidad y riesgo, el resultado es que las quebradas analizadas tienen un riesgo alto, esto quiere decir que las estructuras de paso transversal analizadas deberían ser reforzadas y/o reconstruidas de acuerdo con un nivel de priorización II según el manual de CENEPRED, el cual constituye el soporte para la priorización de actividades, acciones y proyectos vinculados a la prevención y/o reducción de riesgo de desastres.

Finalmente, implementando soluciones como las recomendadas en la presente tesis se mejorarán las características funcionales de la ruta en estudio y no sólo eso, también se reducirán los costos de reparación e incluso se evitará el corte de la vía, lo cual provoca efectos negativos en la economía local al paralizar el comercio y otras actividades básicas propias de la zona.

Referencias

- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México.
- CENEPRED. (2018). *Evaluación del Riesgo por inundación pluvial originado por lluvias intensas en el Sector B Sur del Distrito de Huarmaca*. Lima.
- CENEPRED, C. N. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales*. Lima.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, Colombia.
- Farías C. M. (2013). *Hidrología Avanzada* [Diapositivas de PowerPoint]. Programa Máster en Ingeniería Vial, Universidad de Piura.
- INDECI. (2019). *Compendio Estadístico del INDECI 2019*. Lima. Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2011). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*. Lima. Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima.
- INEI. (2017). *CENSOS NACIONALES 2017*. Obtenido de <https://censos2017.inei.gob.pe/pubinei/index.asp>
- Kirpich, Z. (1940). *Time of concentration of small agricultural watershed*.
- Ley N° 29664 (2011). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-que-crea-sistema-nacional-gestion-riesgo-desastres-sinagerd>
- MTC, M. d. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje*. Perú.
- MTC. (2018). *Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial*. Lima. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2017). *Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial Emp. Pe 04-B (Hualapampa) – Sondor – Huancabamba – Pacaipampa – Socchabamba – Puesto Vado Grande / Sondor – Tabaconas – Emp. Pe 5n (Ambato) / Huancabamba – Canchaque y Socchabamba – Ayabaca*.
- Norte, C. G. (2017). *Inventario Vial Calificado Corredor Vial EMP. PE 04-B*. Piura.
- SENAMHI. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú*. Lima.
- SENAMHI. (2022). *Boletín de Lluvias de la Región Norte*.
- Témez, J. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid.
- Témez, J. (1991). *Extended and improved Rational Method (Vol. A)*. Madrid, España.

- UNISDR. (2015). *Hacia el desarrollo sostenible: El futuro de la gestión del riesgo de desastre. Informe de Evaluación Global Sobre la Reducción del Riesgo de Desastre*. Suiza. Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del Riesgo de Desastre.
- Varas, E., & Bois, P. (1998). *Hidrología Probabilística*. Chile Ediciones Universidad católica de Chile.
- Villón, M. (2005). *Hidrología Estadística*. Lima.
- Wanielista, M. K. (1977). *Hydrology, water quantity and quality control* (Vol. 2). Nueva York, USA: Wiley
- Wilches-Chaux, G. (1998). *La vulnerabilidad global*.



Apéndices

Apéndice A. Panel fotográfico con imágenes de algunas las obras de arte existentes en la zona en estudio



Foto 3. Alcantarilla diámetro = 36"

Ubicación: km 1754+250



Foto 4. Alcantarilla diámetro = 48"

Ubicación: km 1764+467



Foto 5. Alcantarilla diámetro = 48"

Ubicación: km 1766+843

Observación: se evidencian daños producto de los huaicos



Foto 6. Alcantarilla diámetro = 48"

Ubicación: km 1767+562

Observación: se evidencian daños producto de los huaicos



Foto 7. Alcantarilla diámetro = 48"

Ubicación: km 1767+687

Observación: se evidencian daños producto de los huaicos



Foto 8. Alcantarilla diámetro = 48"

Ubicación: km 1768+490

Observación: se evidencian daños producto de los huaicos



Foto 9. Alcantarilla diámetro = 36"

Ubicación: km 1769+070

Observación: se evidencian daños producto de los huaicos



Foto 10. Badén

Ubicación: km 1741+868



Foto 11. Badén

Ubicación: km 1766+186

Apéndice B. Panel fotográfico con imágenes de sectores críticos del sector en estudio



Foto 12. Sector crítico km 1741+856 (foto tomada durante El Niño Costero 2017)



Foto 13. Sector crítico km 1758+880 (foto tomada durante El Niño Costero)



Foto 14. Sector crítico km 1760+020 (foto tomada durante El Niño Costero)



Foto 15. Sector crítico km 1760+388 (foto tomada durante El Niño Costero)



Foto 16. Sector crítico km 1760+388 (foto tomada después de El Niño Costero)



Foto 17. Sector crítico km 1760+840 (foto tomada después de El Niño Costero)



Foto 18. Sector crítico km 1761+507 (foto tomada después de El Niño Costero)



Foto 19. Sector crítico km 1763+483 (foto tomada después de El Niño Costero)



Foto 20. Sector crítico km 1765+923 (foto tomada durante de El Niño Costero)



Foto 21. Sector crítico km 1766+610 (foto tomada durante de El Niño Costero)

Apéndice C. Quebradas en estudio

Figura 1

Quebradas ubicadas en el km 1766+610 y 1765+923

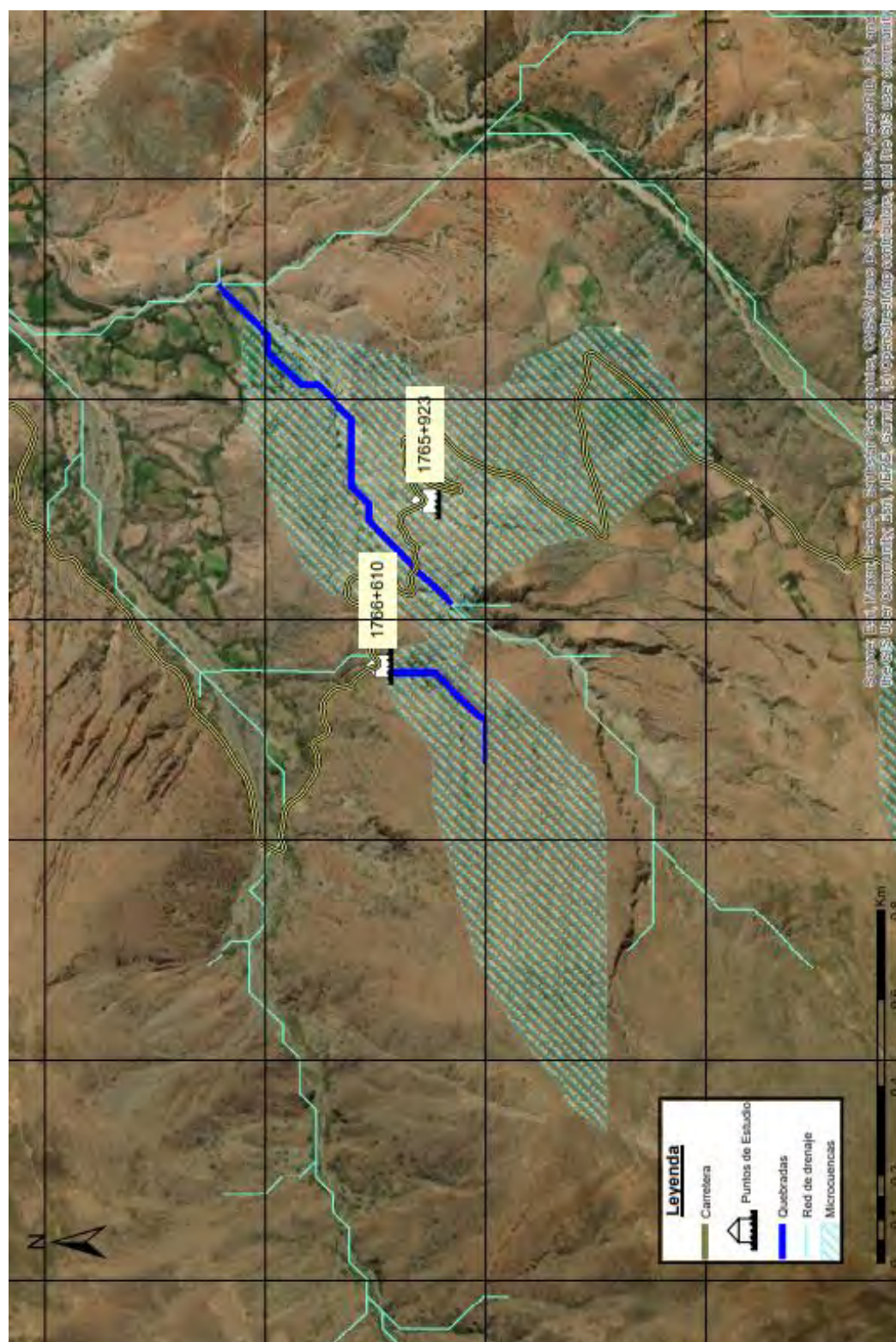
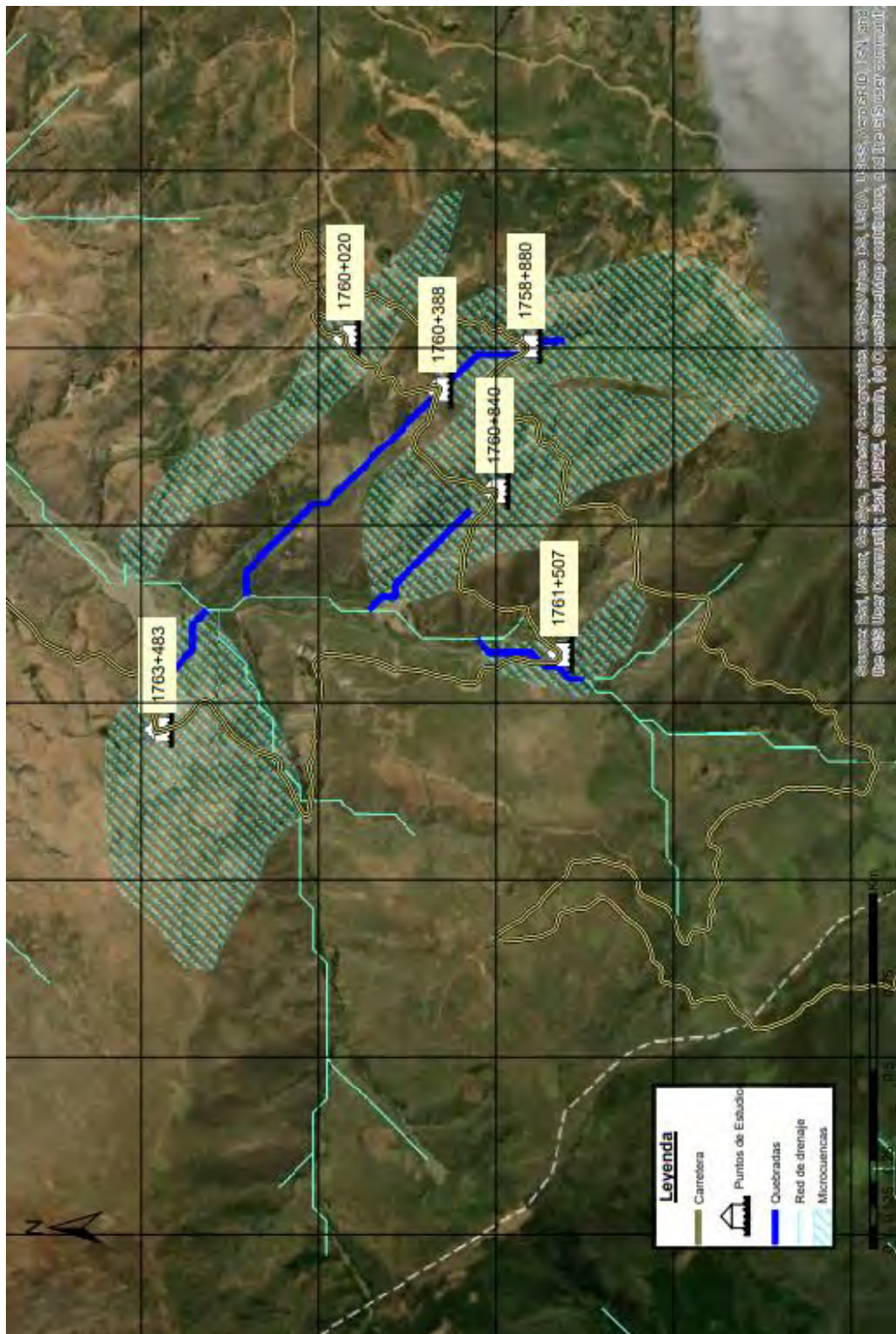


Figura 2

Quebradas ubicadas en el km 1758+880, 1760+020, 1760+388, 1760+840, 1761+507, 1763+483





Apéndice D. Modelos de distribución para la serie de la estación Huarmaca

Figura 1

Modelo de distribución normal de lluvia máxima estación Huarmaca

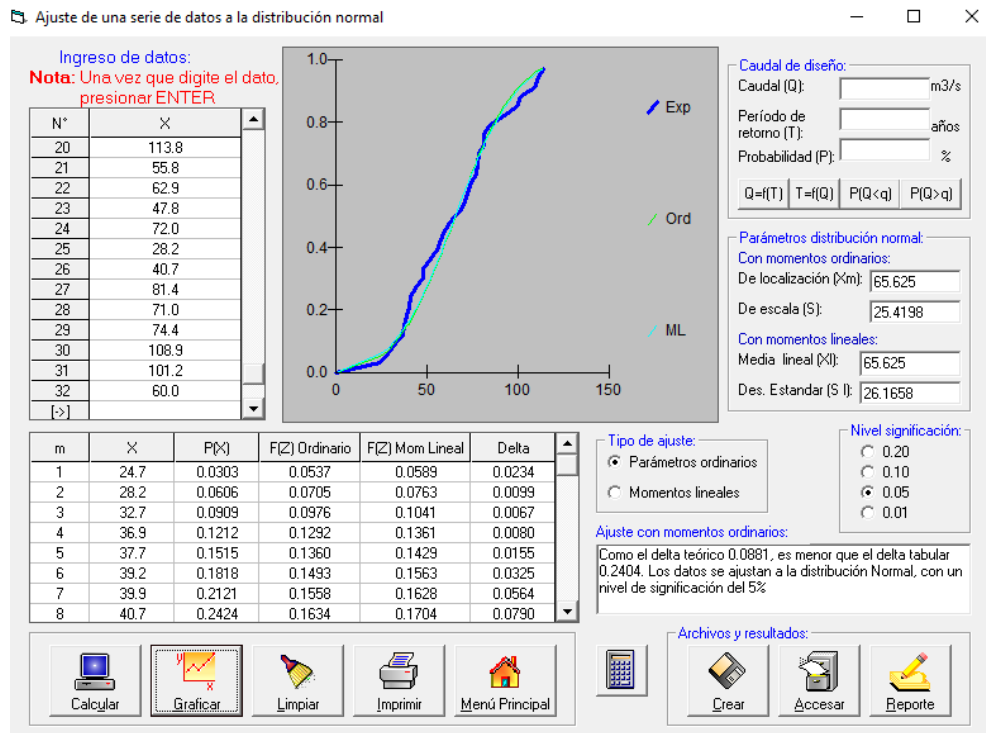


Figura 2

Modelo de distribución log normal 2 parámetros de lluvia máxima estación Huarmaca

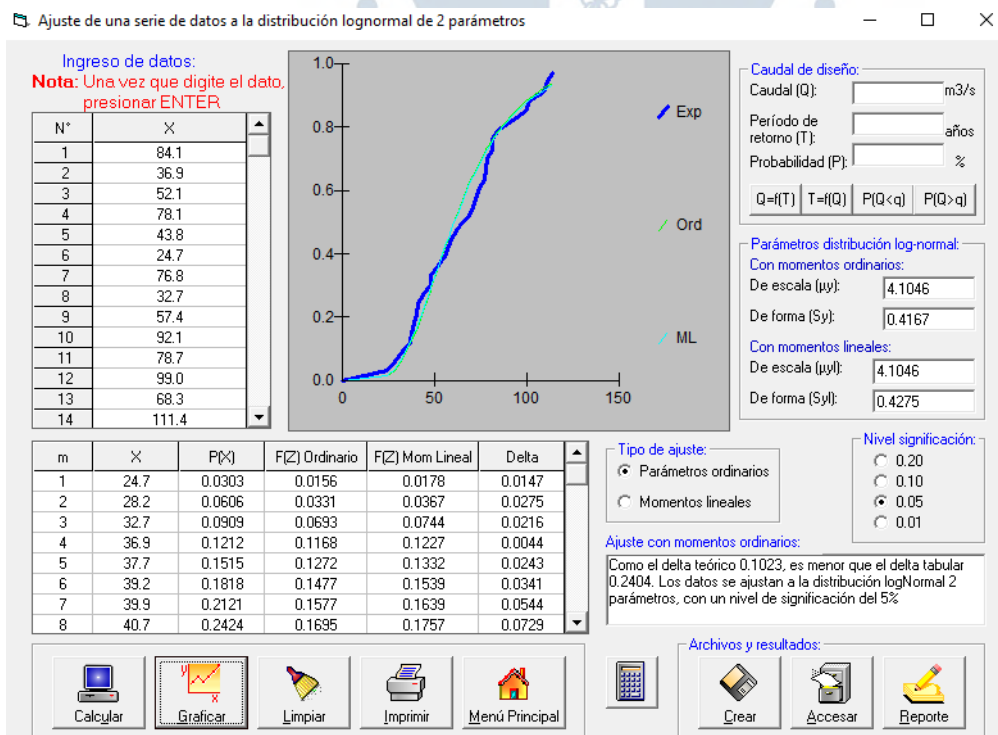


Figura 3

Modelo de distribución log normal 3 parámetros de lluvia máxima estación Huarmaca

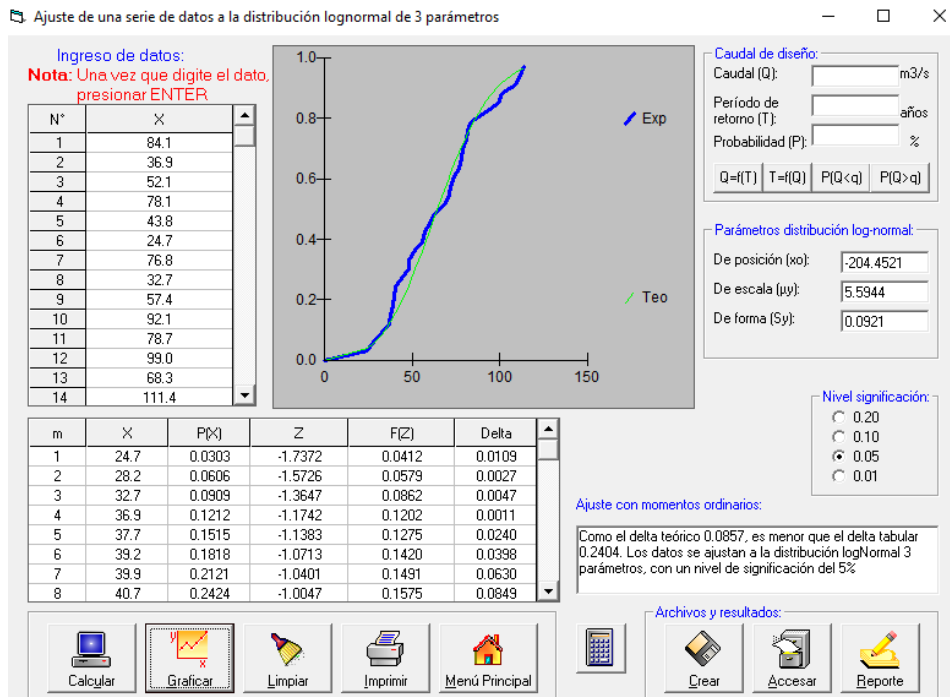


Figura 4

Modelo de distribución Gumbel de lluvia máxima estación Huarmaca

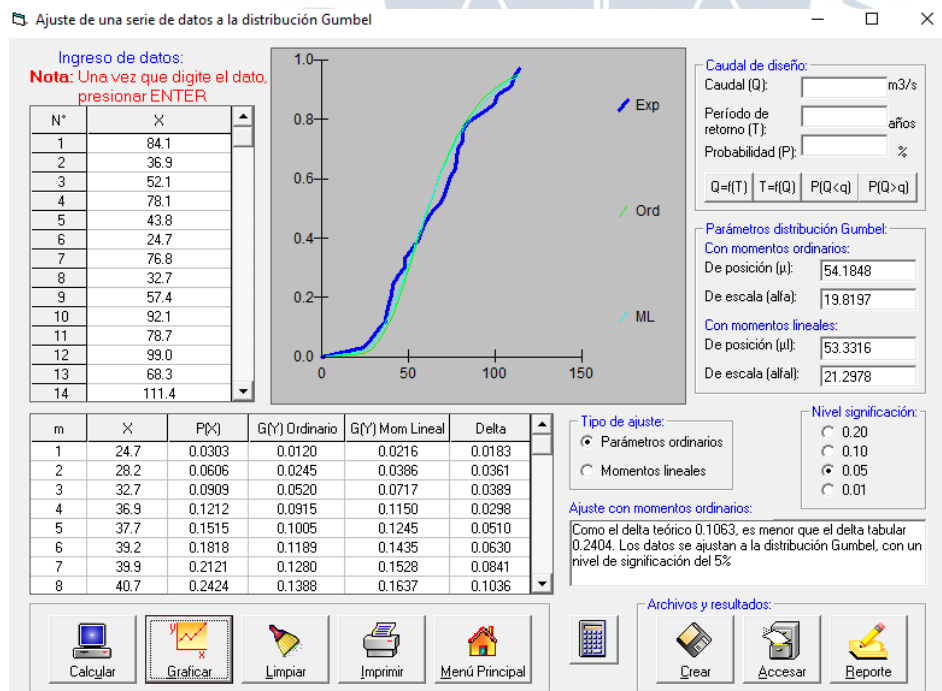


Figura 5

Modelo de distribución Log Gumbel de lluvia máxima estación Huarmaca

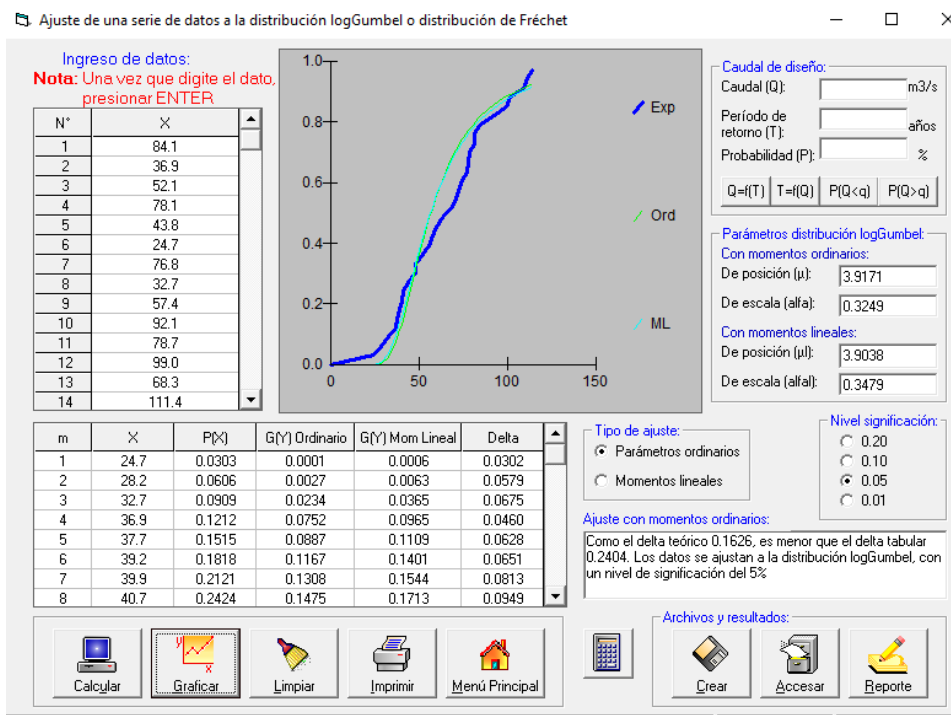


Figura 6

Modelo de distribución Gamma 2 parámetros de lluvia máxima estación Huarmaca

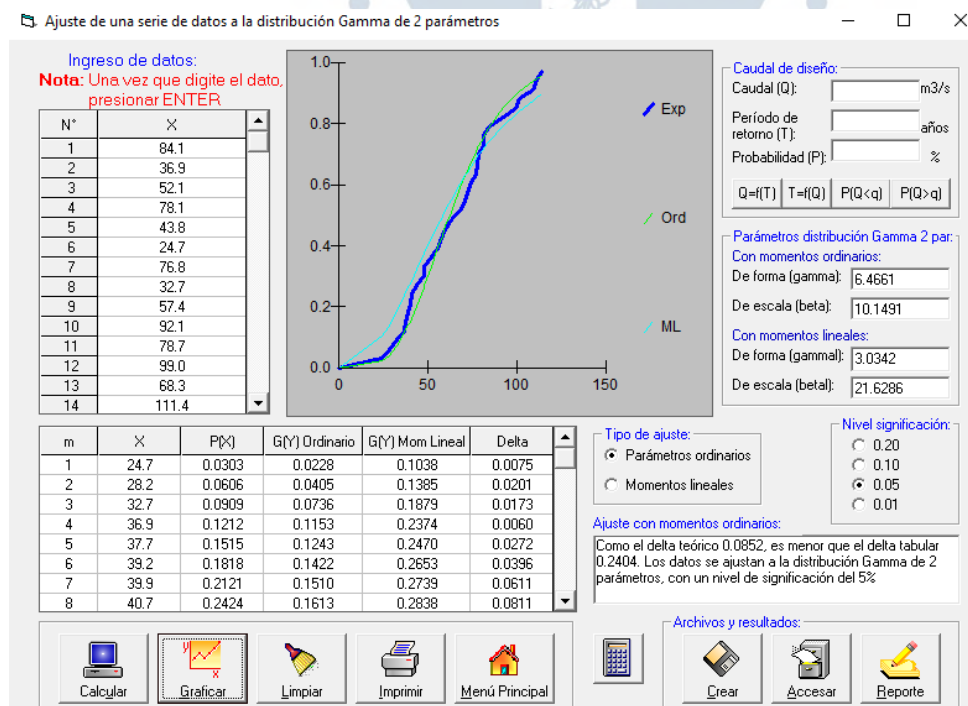
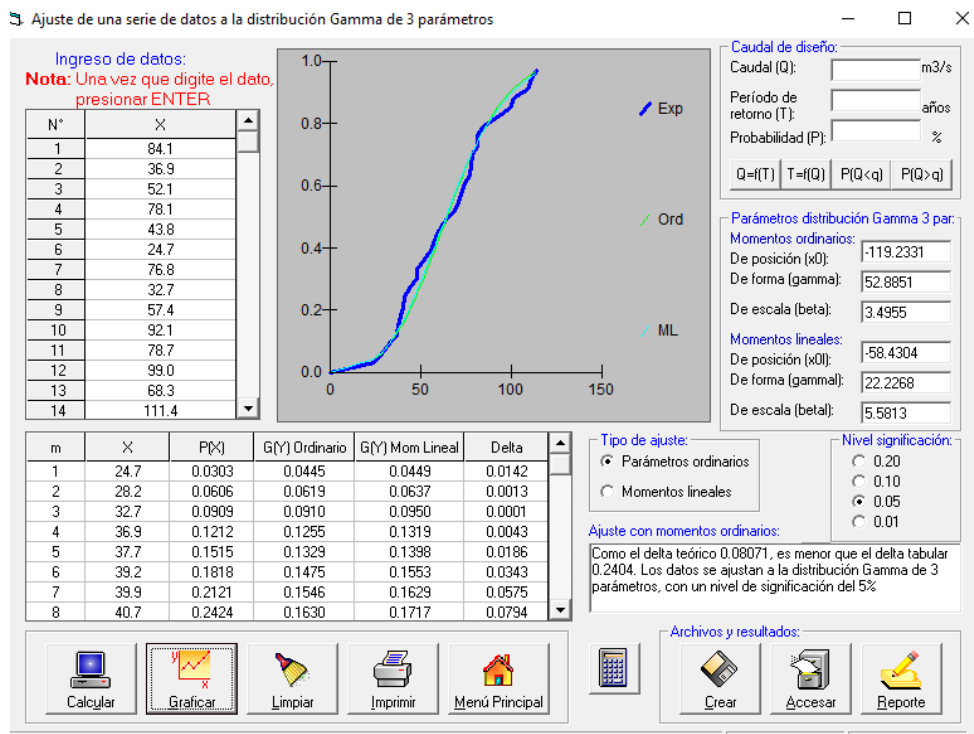


Figura 7

Modelo de distribución Gamma 3 parámetros de lluvia máxima estación Huarmaca



Apéndice E. Mapas del nivel de peligrosidad

Figura 1

Mapa de peligrosidad quebradas 4 y 6

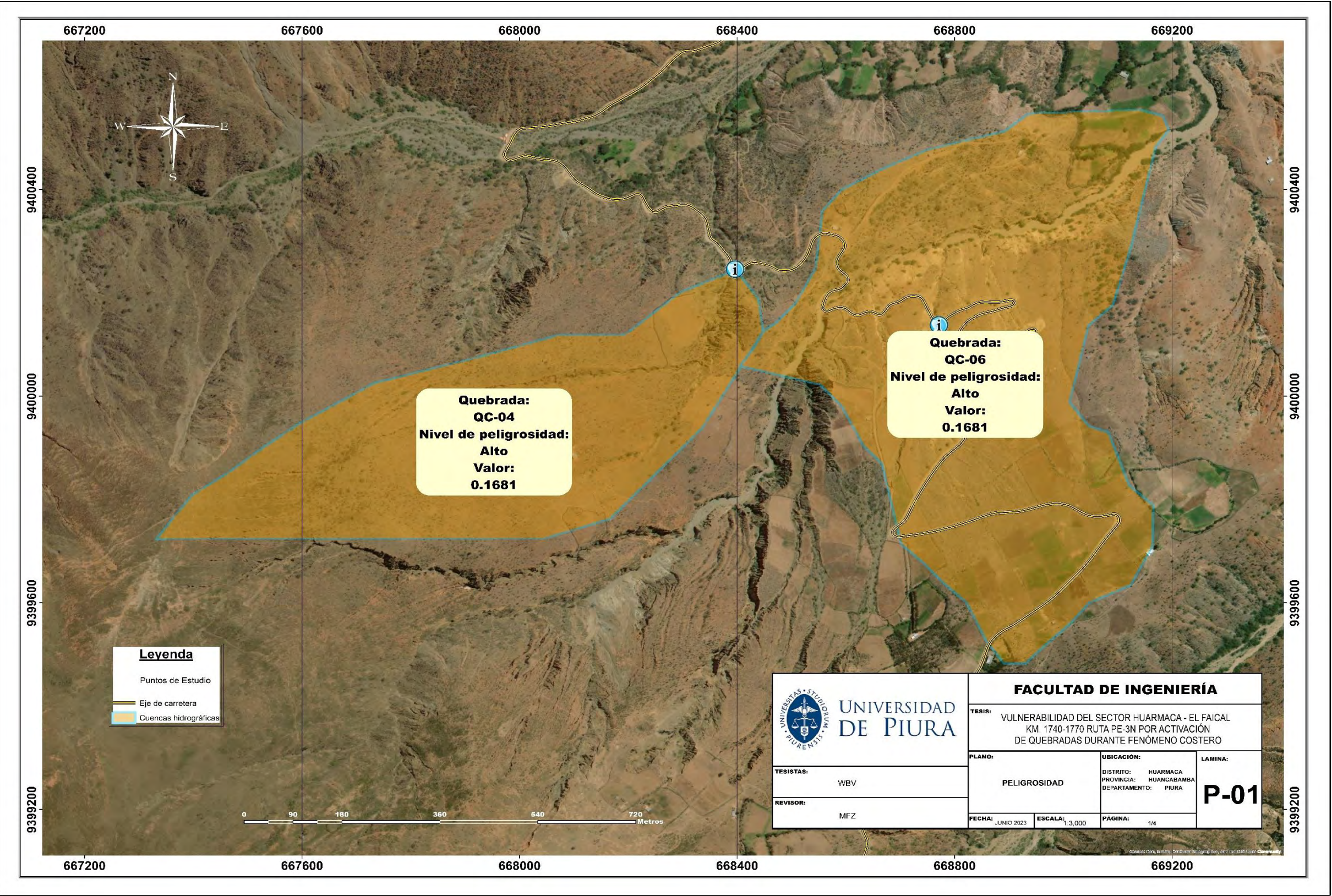


Figura 2
Mapa de peligrosidad quebradas 7 y 8

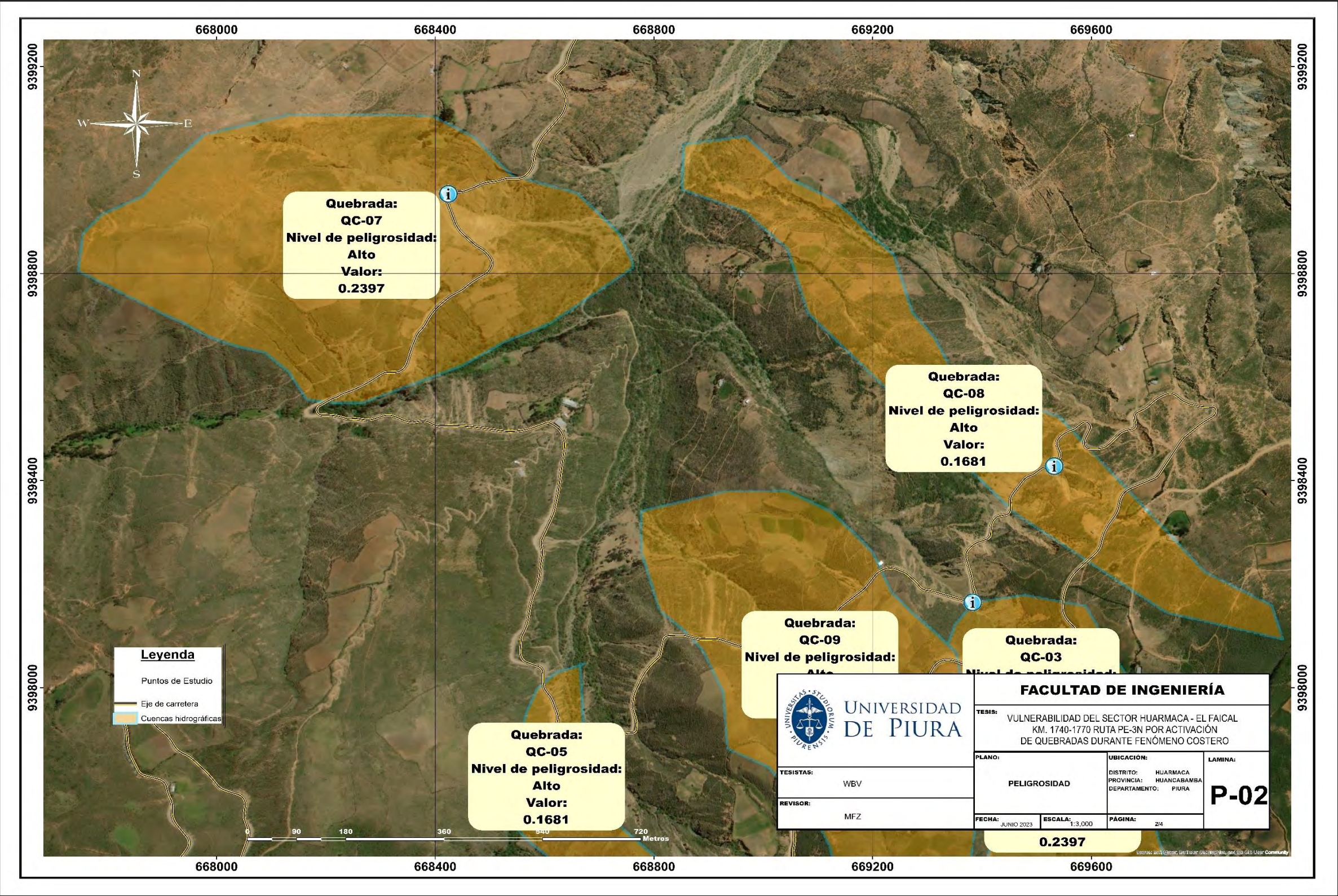


Figura 3
Mapa de peligrosidad quebradas 2, 3, 5 y 9

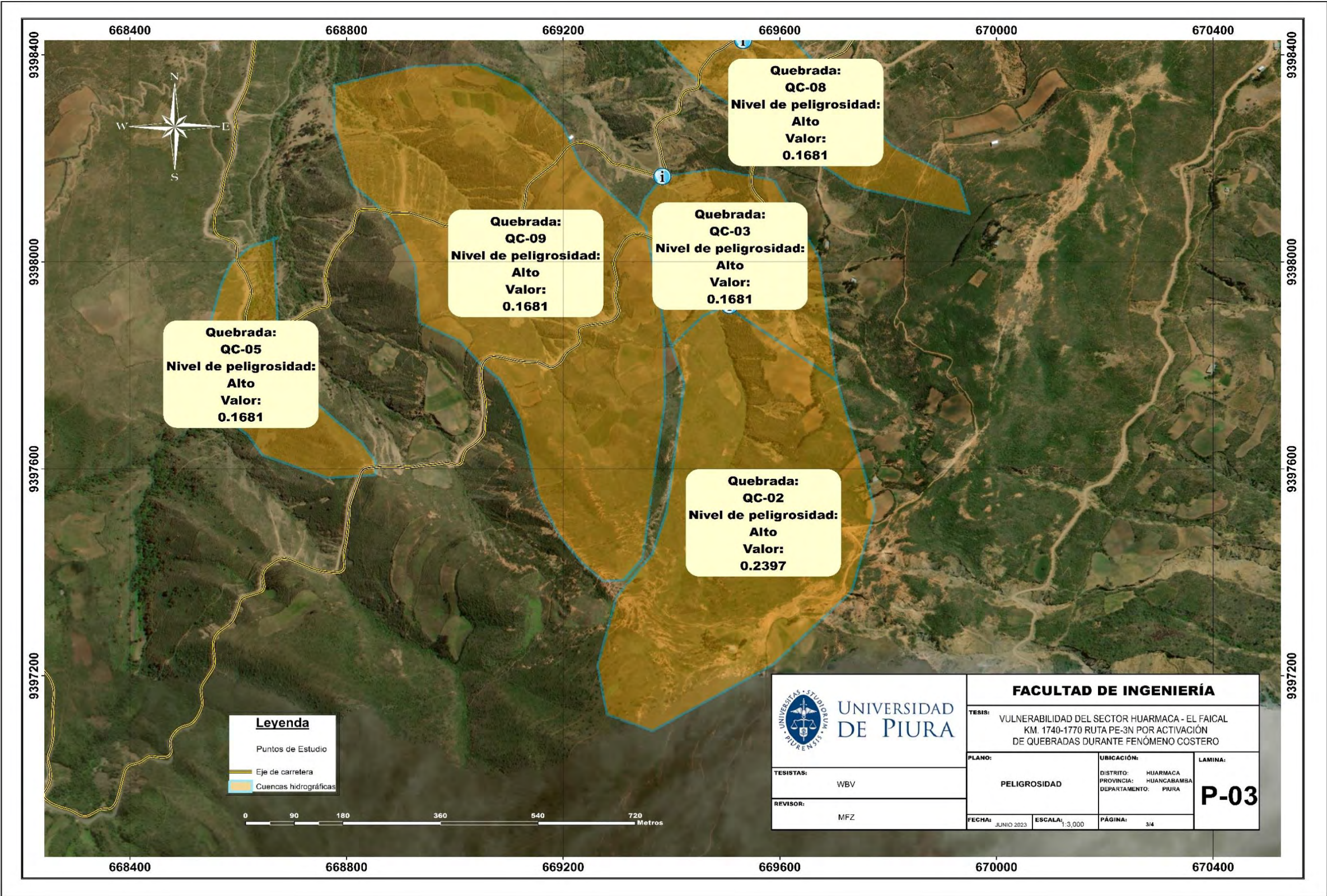
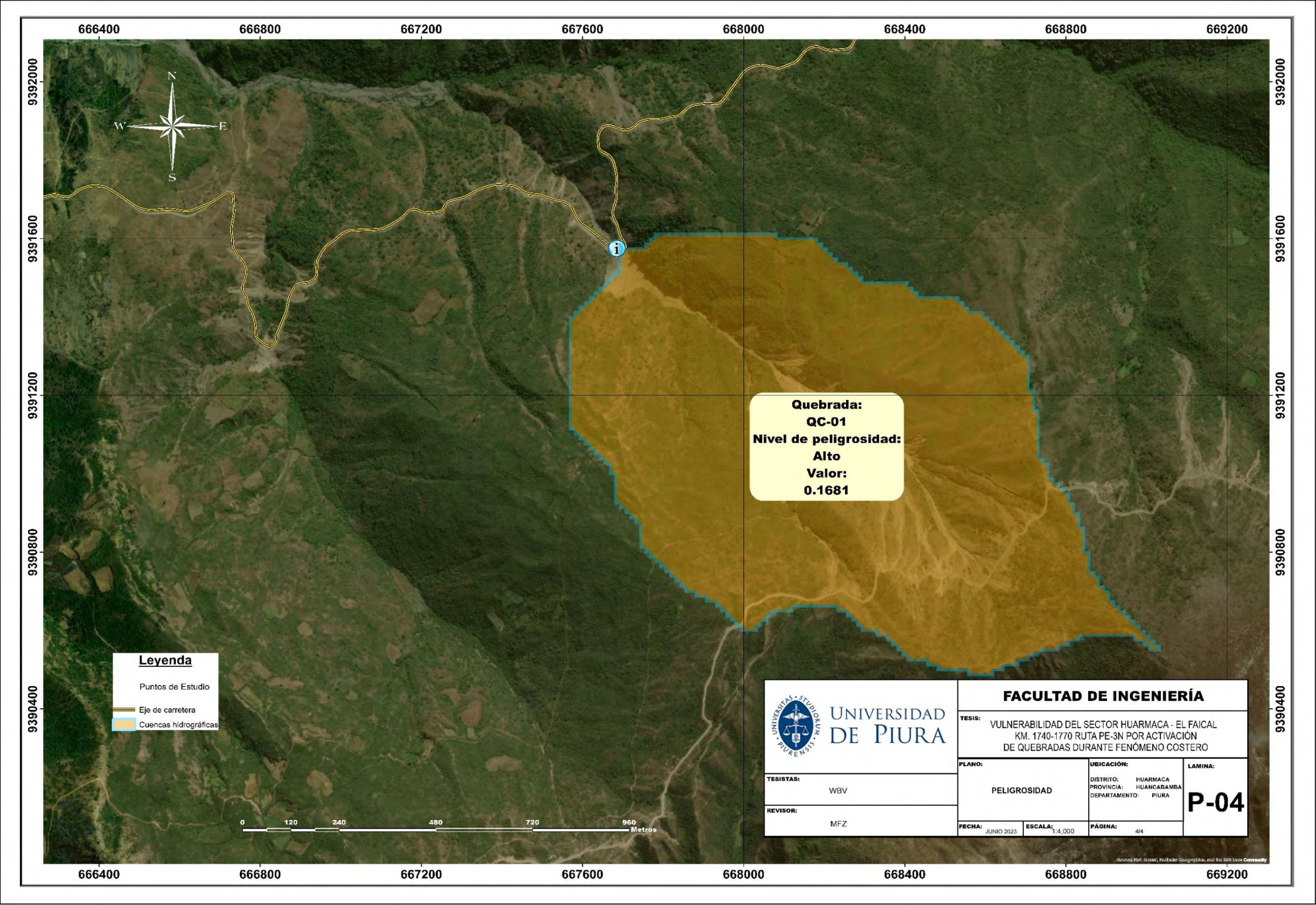
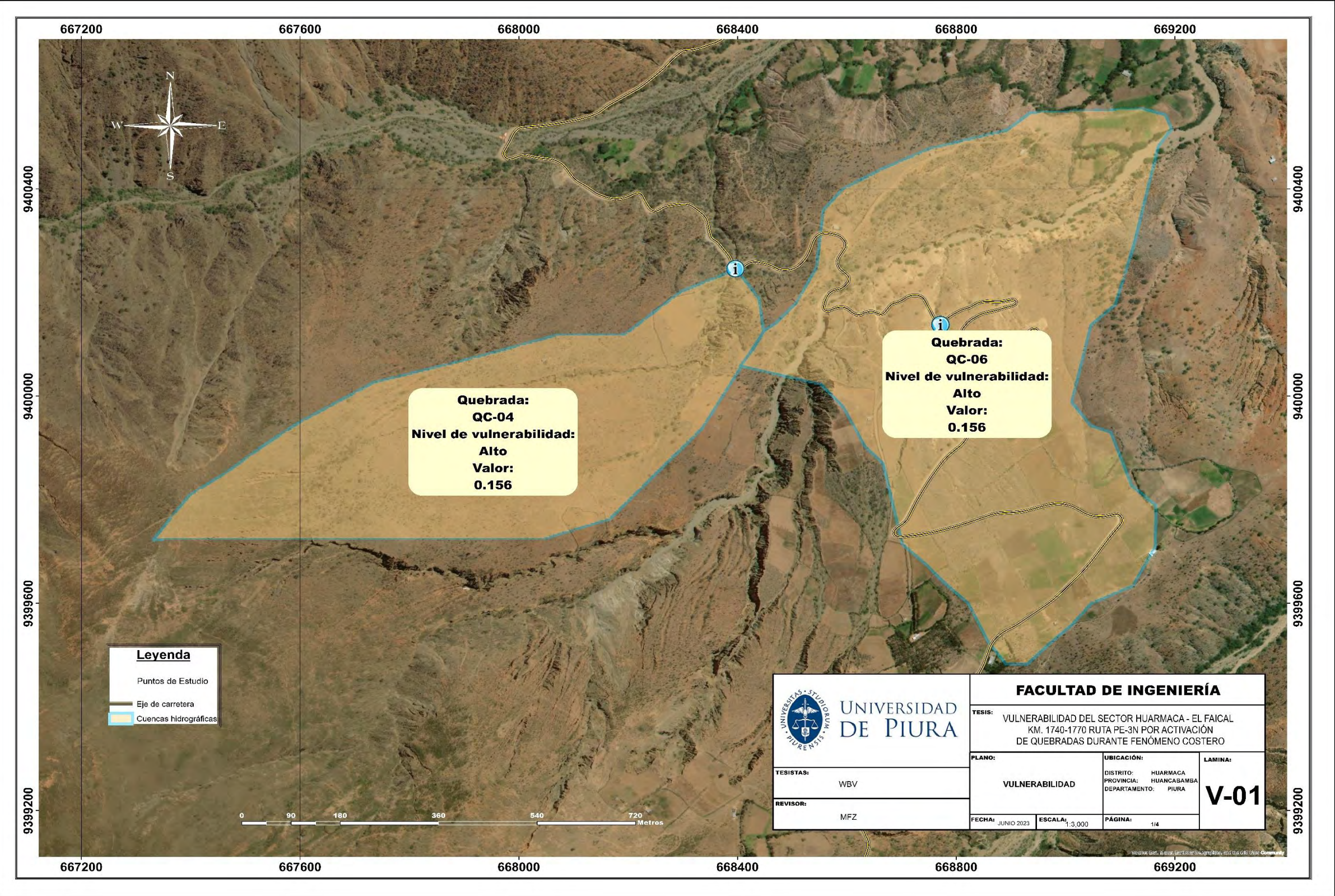


Figura 4
Mapa de peligrosidad quebrada 1



Apéndice F. Mapas del nivel de vulnerabilidad
Figura 1

Mapa de vulnerabilidad quebradas 4 y 6



Mapa de vulnerabilidad quebradas 7 y 8

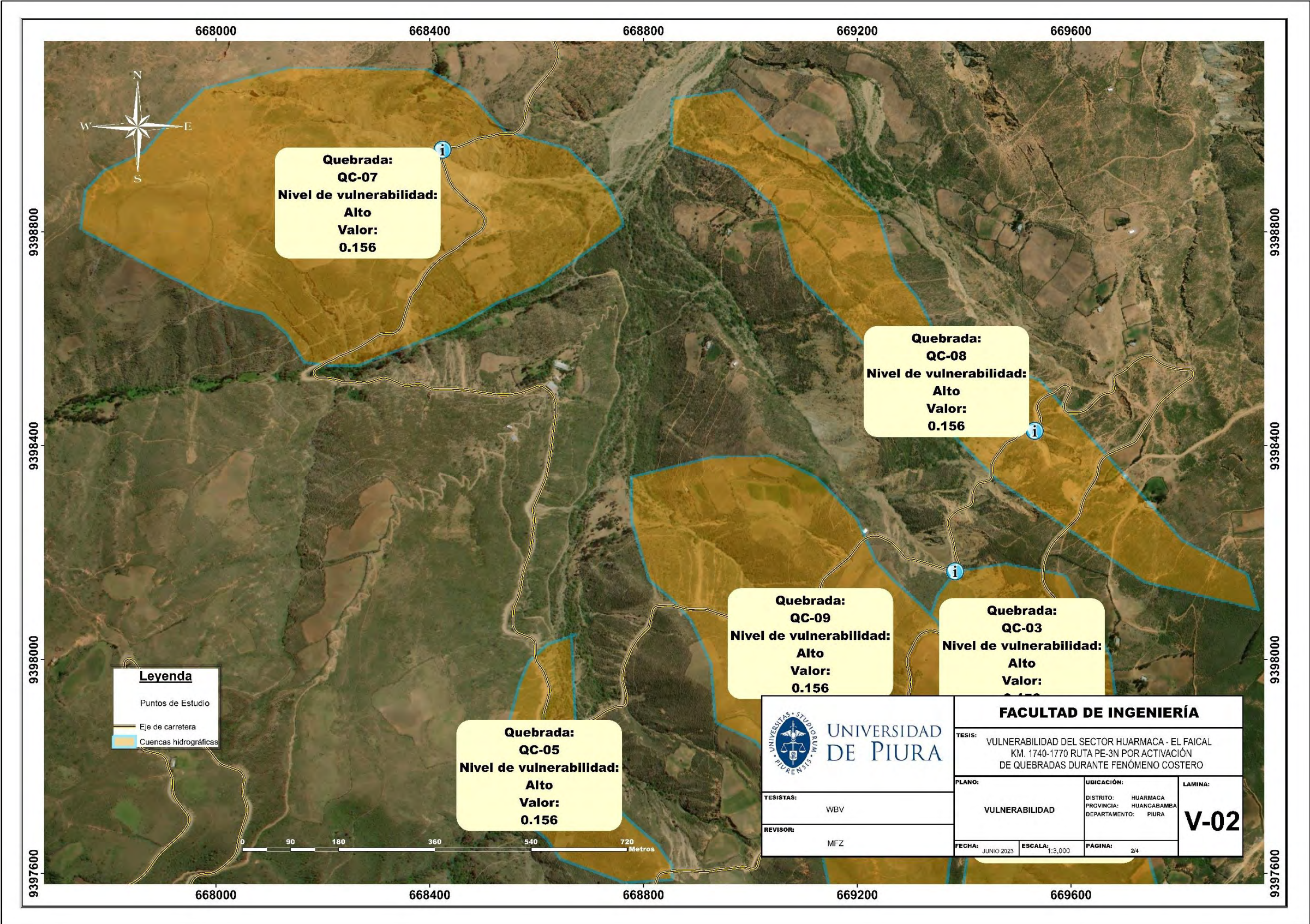
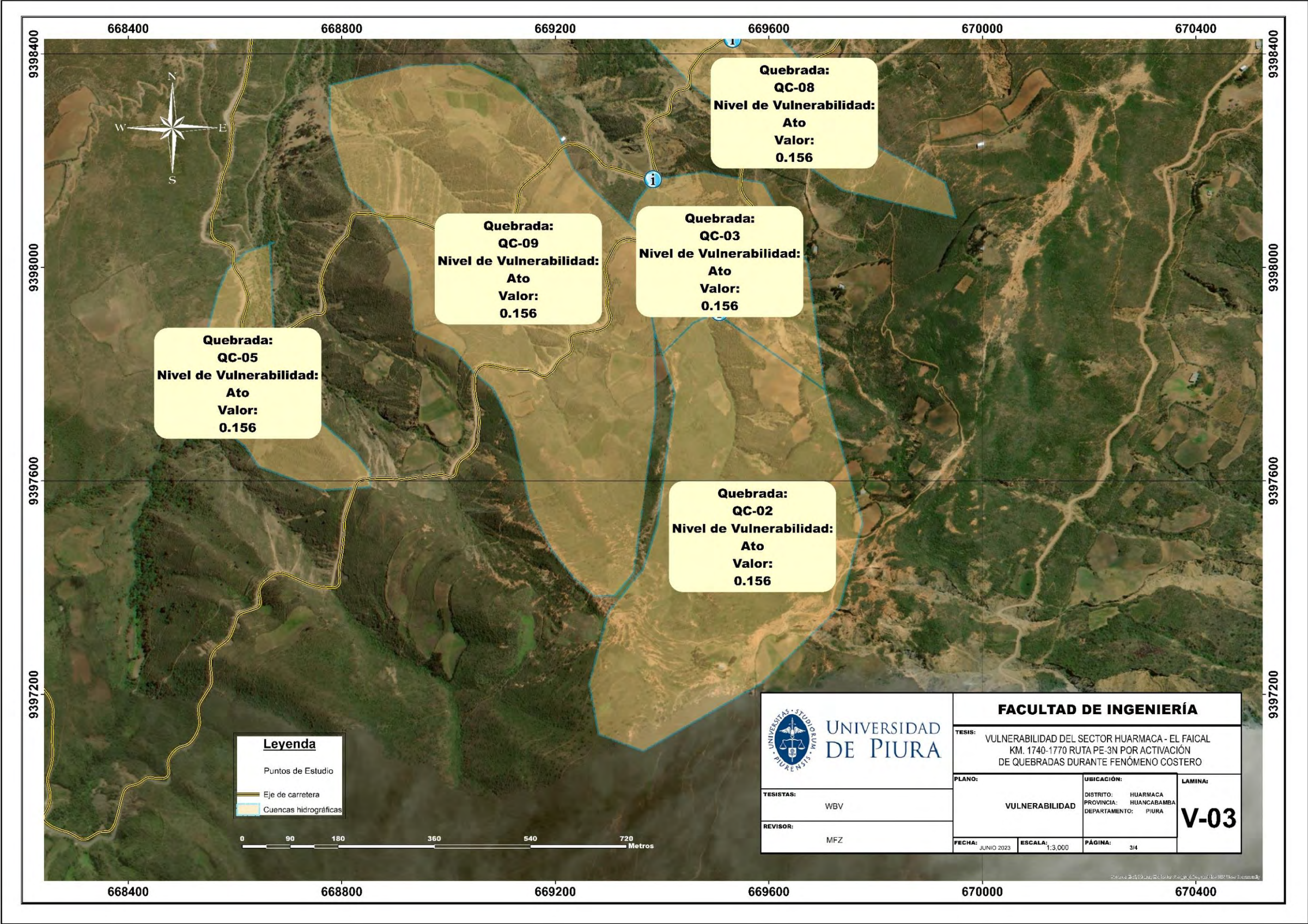
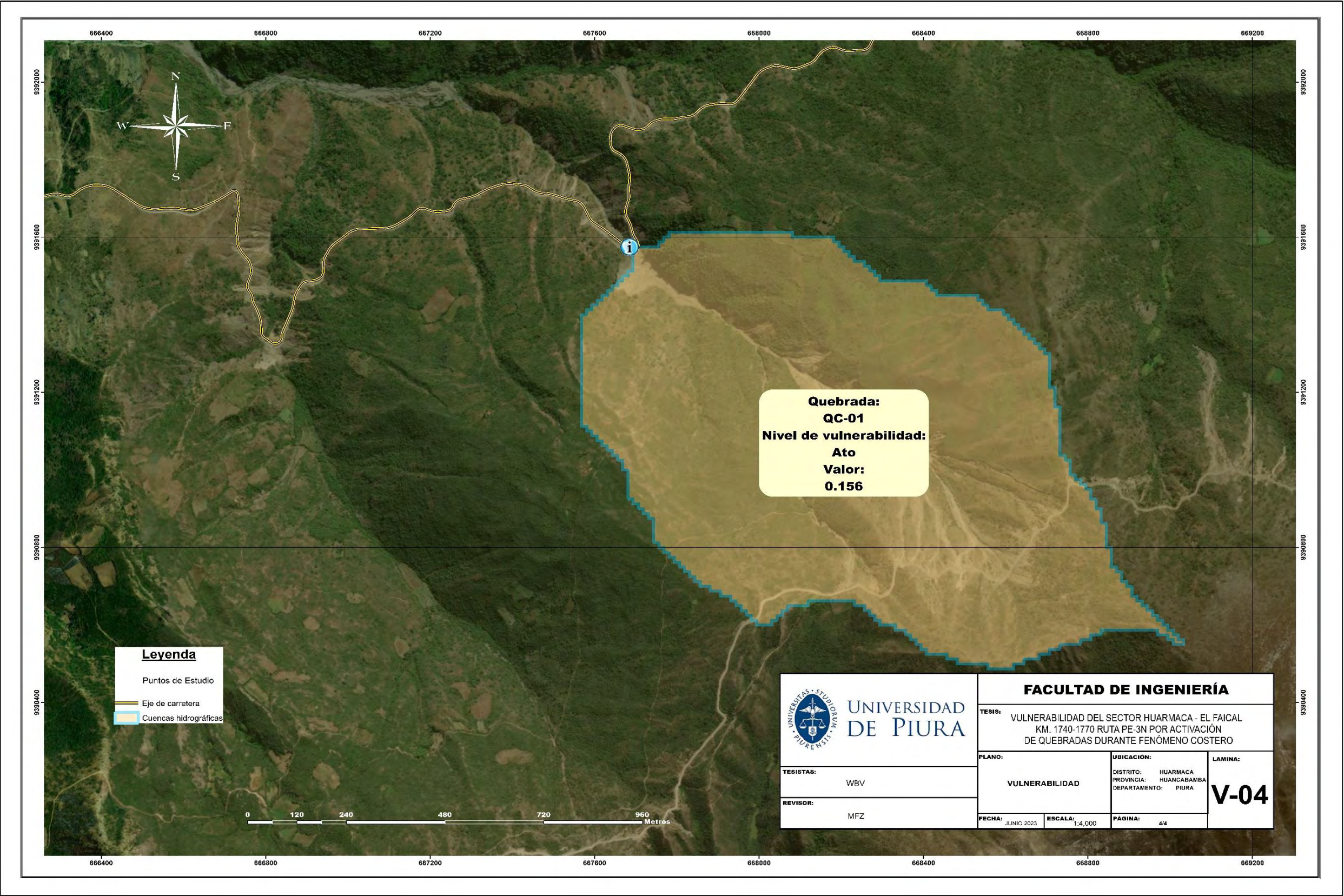


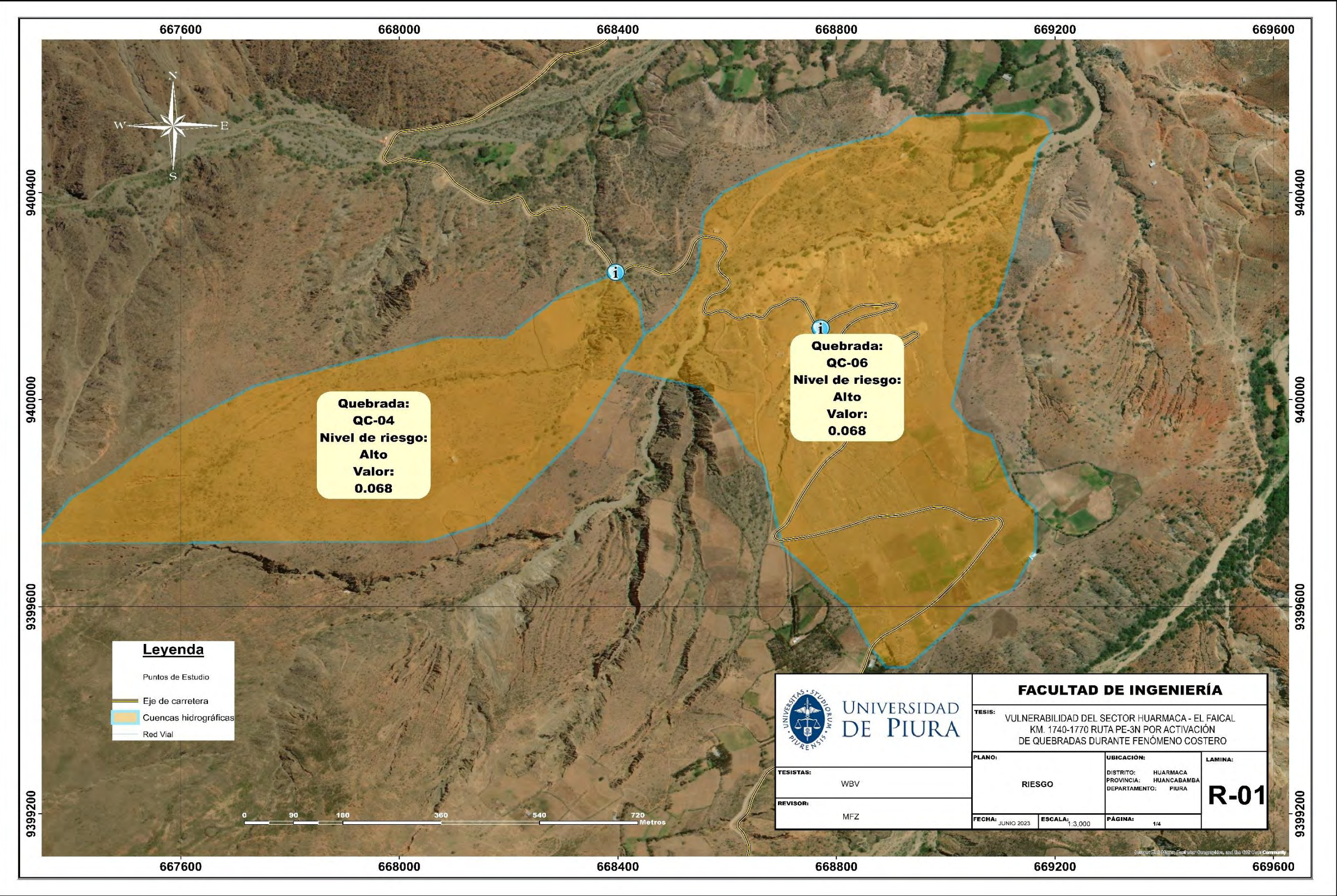
Figura 3
Mapa de vulnerabilidad quebradas 2, 3, 5 y 9



Mapa de vulnerabilidad quebrada 1



Apéndice G. Mapas del nivel de riesgo
Figura 1
Mapa de riesgo quebradas 4 y 6



Mapa de riesgo quebradas 7 y 8

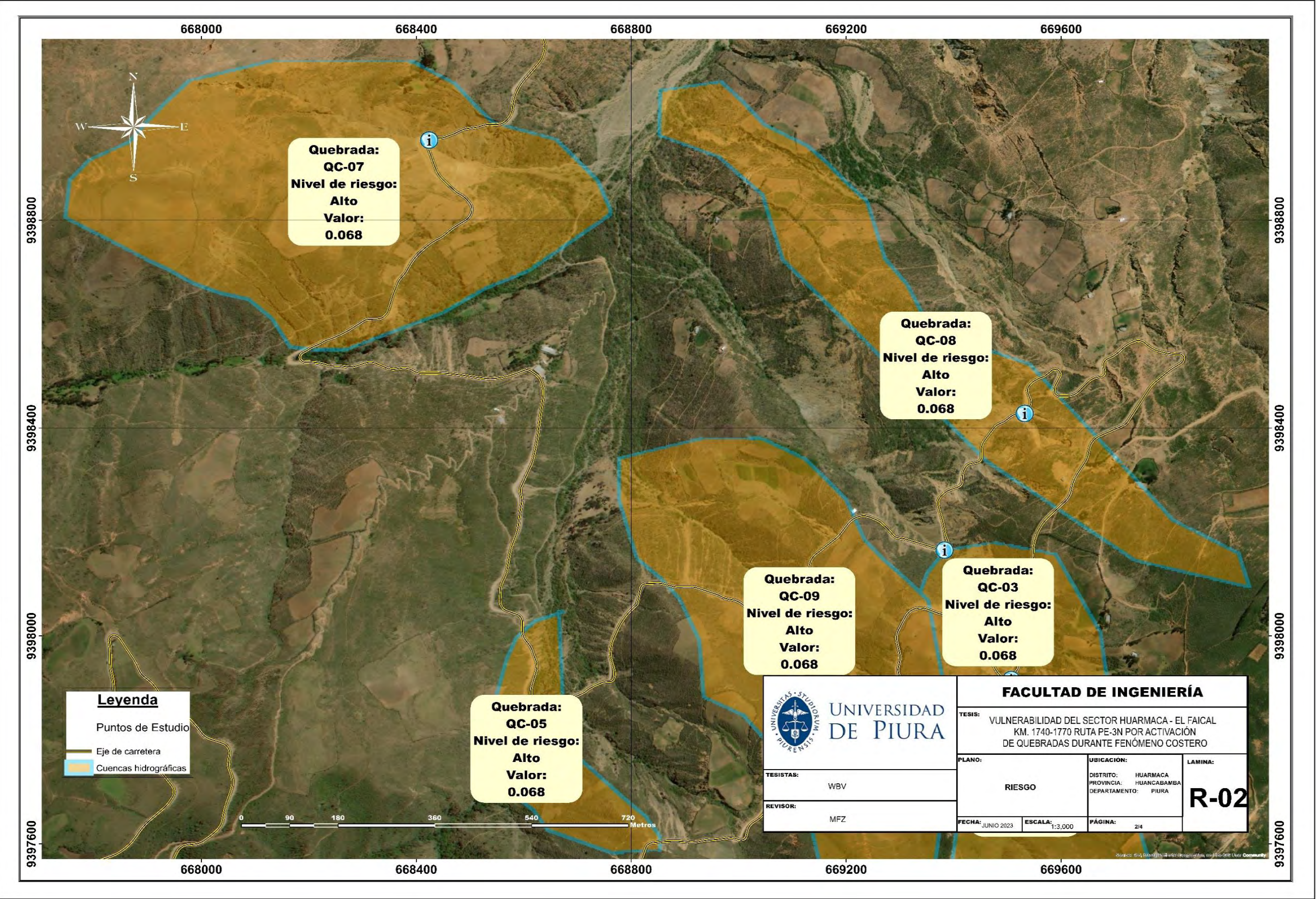


Figura 3
Mapa de riesgo quebradas 2, 3, 5 y 9

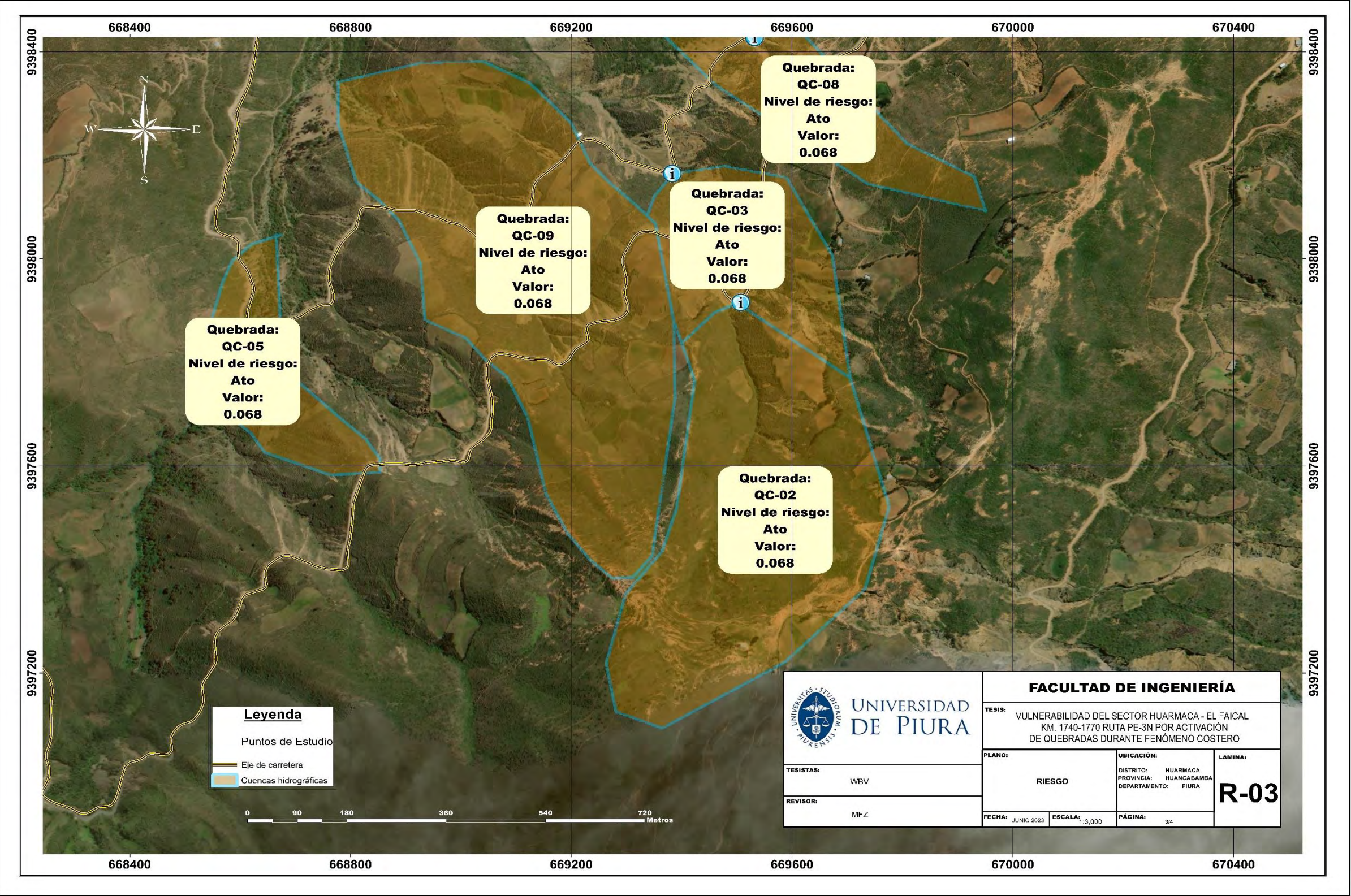
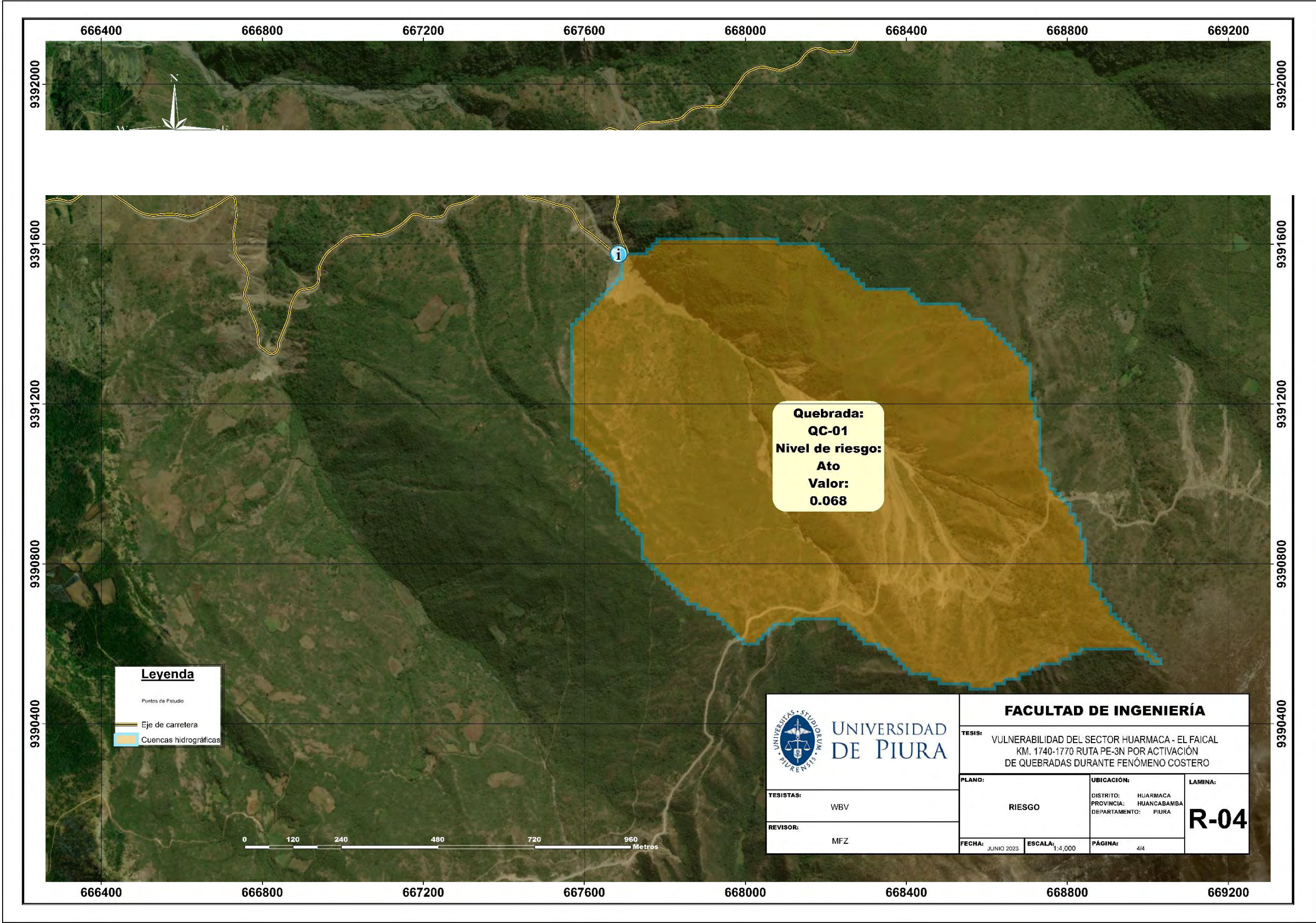


Figura 4
Mapa de riesgo quebrada 1



Anexos

Anexo 1. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

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

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado (n)

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
 - Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
 - Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
 - Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

