



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACION

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ID. N° 101877535

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se la realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento de INFORME FINAL DE TESIS cuyo título es:

**CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO HIDROLÓGICO E
HIDRÁULICO PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LA CARRETERA
PUENTE CHONTAY – ANTIOQUIA, REGIÓN LIMA - 2021**


presentado por:

ALFARO SUMARI, MEILAN TONNY

Bachiller del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Civil. El resultado obtenido es de **17% de similitud**, por el cual se otorga el calificativo de **APROBADO**, según el Reglamento para la evaluación de la Originalidad de los documentos de investigación.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 9 de agosto de 2023

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACION

SANTOS CHACALTANA VÁSQUEZ
DIRECTOR U
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Civil



Caracterización del riesgo hidrológico e hidráulico para la
sostenibilidad de la carretera Puente Chontay – Antioquia, Región
Lima - 2021

Línea de Investigación:

Recursos hídricos, Riesgo de desastres y Cambio climático

Autor

BACH. ALFARO SUMARI MEILAN TONNY

Ica, Perú

2022

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por haberme dado la oportunidad de seguir esta carrera a base de su esfuerzo y apoyo constante.

AGRADECIMIENTOS

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, por su esfuerzo de lograr formarme como Ingeniero Civil. A mi Alma Mater en general por todo el apoyo brindado durante mis años de estudio en la FIC.

Gracias.

INDICE

DEDICATORIAS	ii
INDICE	iii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema General y Específicos	2
1.1.1 Problema General	2
1.1.2 Problemas Específicos	2
1.2 Objetivo General y Específicos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Hipótesis General y Específicos	3
1.3.1 Hipótesis General	3
1.3.2 Hipótesis Específicos	3
1.4 Antecedentes de Investigación	3
1.4.1 Antecedentes internacionales	3
1.4.2 Antecedentes nacionales	4
1.4.3 Antecedentes locales	5
1.5 Contenido de capítulos	5
CAPITULO II: ESTRATEGIA METODOLÓGICA	7
2.1 Tipo, nivel y diseño de investigación	7
2.1.1 Tipo de investigación	7
2.1.2 Nivel de investigación	7
2.1.3 Diseño de Investigación	7
2.1.4 Población y muestra	7
2.1.4.1 Población de estudio	7
2.1.4.2 Muestra	7
2.1.5 Criterios de Inclusión y Exclusión	7
2.1.5.1 Criterios de Inclusión	7
2.1.5.2 Criterios de Exclusión	7
2.1.6 Técnicas de recolección de datos	8
2.1.7 Instrumentos de recolección de datos	8
2.1.8 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos	8
2.1.9 Procedimientos	8
CAPITULO III: RESULTADOS	10
3.1 Desarrollo de la Investigación	10

3.1.1 Información de la zona a investigar	10
3.1.1.1 Aspecto generales de la zona de investigación	10
3.1.1.2 Accesibilidad	10
3.1.2 Características técnicas y geométricas de la carretera	12
3.1.3 Estado actual de la vía	15
3.1.4 Aspectos climáticos	19
3.1.4.1 Análisis hidrológico	22
3.1.5 Evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico	30
3.1.5.1 Identificación y caracterización del peligro	32
3.1.5.2 Susceptibilidad del territorio	36
3.1.5.3 Niveles de peligrosidad	42
3.1.6 Análisis de vulnerabilidad de la carretera	43
3.1.6.1 Análisis de los factores de la Dimensión Social de la vulnerabilidad	47
3.1.6.2 Análisis de los factores de Dimensión Económica de vulnerabilidad	49
3.1.6.3 Análisis de los factores de Dimensión Ambiental de vulnerabilidad	48
3.1.6.4 Determinación de los niveles de vulnerabilidad	52
3.1.7 Análisis del riesgo hidrológico e hidráulico	54
3.1.7.1 Identificación de áreas de riesgo potencial	54
3.1.7.2 Matriz de riesgo hidrológico e hidráulico de la carretera	55
3.2 Evaluación comparativa del riesgo hidrológico	56
3.3 Evaluación de la sostenibilidad en la carretera	60
CAPITULO IV: DISCUSIÓN	62
4.1 Interpretación y Discusión de Resultados	62
4.2 Medidas de control propuestas	62
4.3 Comprobación de Hipótesis	63
4.3.1 Contrastación de Hipótesis General	63
4.3.2 Contrastación de Hipótesis Específicas	64
CAPITULO V: CONCLUSIONES	65
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	67
CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	70
• Escala de Saaty	71
• Rangos de condiciones geológicas	71
• Rangos de condiciones geomorfológicas	72
• Tabla para cálculo de índice aleatorio para el rango de consistencia	72
• Panel fotográfico	72

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Resumen de las Técnicas e Instrumentos a Implementar	09
Tabla II: Resumen características técnicas de la carretera Puente Chontay – Antioquia	15
Tabla III: Cuadro de ruta	16
Tabla IV: Red hidrográfica de la Cuenca del río Lurín	23
Tabla V: Disponibilidad del agua de riego en el río Lurín	24
Tabla VI: Cantidad de agua Estación Hidrológica Antapucro	25
Tabla VII: Valores de períodos de retorno T (años)	26
Tabla VIII: Período de retorno y vida útil de obras de arte	26
Tabla IX: Coeficientes de escorrentía – Método Racional	27
Tabla X: Caudal de diseño para áreas de cuencas no mayores a 10 km	29
Tabla XI: Caudal de diseño para áreas de cuencas mayores a 50 km ²	29
Tabla XII: Amenazas geológicas en la zona de estudio	34
Tabla XIII: Zonas identificadas con peligros de origen natural	35
Tabla XIV: Zonas identificadas con peligros de origen natural	35
Tabla XV: Zonas críticas en la provincia de Huarochirí y Lima	36
Tabla XVI: Factores de la Susceptibilidad	37
Tabla XVII: Matriz de comparación de pares para la precipitación anómalas	37
Tabla XVIII: Matriz de comparación de pares para la Geomorfología	38
Tabla XIX: Matriz de normalización de pares para la precipitación	38
Tabla XX: Matriz de comparación de pares para la pendiente	39
Tabla XXI: Matriz de normalización de pares para la pendiente	39
Tabla XXII: Matriz de comparación de pares para la geología	40
Tabla XXIII: Matriz de normalización de pares para la geología	40
Tabla XXIV: Matriz de comparación de pares para los factores condicionantes	40
Tabla XXV: Matriz de normalización de pares para los factores condicionantes	41
Tabla XXVI: Matriz de comparación de pares para la frecuencia	41
Tabla XXVII: Matriz de normalización de pares para la frecuencia	41
Tabla XXVIII: Cálculo de los niveles de peligro	42
Tabla XXIX: Niveles de peligro ante inundación	42
Tabla XXX: Matriz de comparación de pares para dimensión social	42
Tabla XXXI: Matriz de normalización para dimensión social	42
Tabla XXXII: Matriz de comparación de pares para el No. de personas afectadas por daño a la vía	45
Tabla XXXIII: Matriz de normalización para el No. de personas afectadas por daño a la vía	45

Tabla XXXIV: Matriz de comparación de pares para el estado de la vía frente a inundaciones	46
Tabla XXXV: Matriz de comparación de pares para el estado de la vía frente a inundaciones	46
Tabla XXXVI: Matriz de normalización de pares para el estado de la vía frente a inundaciones	46
Tabla XXXVII: Matriz de comparación de pares para el estado de actitud frente al riesgo	47
Tabla XXXVIII: Matriz de normalización para el estado de actitud frente al riesgo	47
Tabla XXXIX: Matriz de comparación de pares para la dimensión económica	47
Tabla XXXX: Matriz de normalización de pares para para la dimensión económica	47
Tabla XXXXI: Matriz de comparación de pares para el No. de kms de carretera expuestos	48
Tabla XXXXII: Matriz de normalización para el No. de kms de carretera expuestos	48
Tabla XXXXIII: Matriz de comparación de pares para el estado de conservación de la vía	48
Tabla XXXXIV: Matriz de normalización para el estado de conservación de la vía	49
Tabla XXXXV: Matriz de comparación de pares para entidades con recursos para emergencias	49
Tabla XXXXVI: Matriz de normalización para entidades con recursos para emergencias	49
Tabla XXXXVII: Matriz de comparación de pares para dimensión ambiental	50
Tabla XXXXVIII: Matriz de normalización para dimensión ambiental	50
Tabla XXXXIX: Matriz de comparación de pares para la distancia al cauce principal	50
Tabla L: Matriz de normalización para la distancia al cauce principal	51
Tabla LI: Matriz de comparación de pares para la existencia de defensas ribereñas operativas	51
Tabla LII: Matriz de normalización para la existencia de defensas ribereñas operativas	51
Tabla LIII: Matriz de comparación de pares para el conocimiento en temas ambientales	52
Tabla LIV: Matriz de normalización para el conocimiento en temas ambientales	52
Tabla LV: Matriz de comparación de pares para las dimensiones de vulnerabilidad	52
Tabla LVI: Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	53
Tabla LVII: Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	53
Tabla LVIII: Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	53
Tabla LIX: Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	55
Tabla LX: Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Lima metropolitana, Huarochirí y del distrito de Antioquía	10
Figura 2. Mapa del MTC para carreteras nacionales y vecinales	11
Figura 3. Sección transversal típica en corte y sus componentes	14
Figura 4. Sección transversal típica a media ladera y sus componentes	14
Figura 5. Sección transversal típica en relleno y sus componentes	15
Figura 6. Inicio del tramo de estudio Puente Chontay en Cieneguilla	18
Figura 7. Tramo (km 12) parte del Pte. Chontay, vista de una alcantarilla	18
Figura 8. Tramo (km 20) parte del Pte. Chontay, vista de badén en quebrada	18
Figura 9. Punto final de la zona de estudio en el pueblo de Antioquia	19
Figura 10. Esquema general de la cuenca del río Lurín	20
Figura 11. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Lurín 1966-1993	22
Figura 12. Disponibilidad hídrica superficial	24
Figura 13. Clasificación de Peligros	32
Figura 14. Matriz de Peligros	43
Figura 15. Niveles de análisis de la Vulnerabilidad	44
Figura 16. Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	54
Figura 17. Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad	56
Figura 18. Matriz de Zonificación de Riesgos	57
Figura 19. Niveles de Consecuencias	58
Figura 20. Probabilidad de Frecuencia de Ocurrencia	58
Figura 21. Matriz de Consecuencias y Daños	58
Figura 22. Medidas cualitativas de consecuencias y Daños.	59
Figura 23. Aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo	59
Figura 24. Matriz de Aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo	59
Figura 25. Nivel de Priorización	60
Figura 26. Indicadores de Sostenibilidad en Carreteras	60

RESUMEN

Los estudios para el mejoramiento de caminos vecinales son proyectos que tienen gran impacto social, que involucra directamente a los pobladores de las zonas beneficiadas. El objetivo general de la presente tesis es evaluar el riesgo hidrológico e hidráulico para el mejoramiento de la sostenibilidad de la carretera Puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, Región Lima. Esta meta fue lograda aplicando la metodología del Manual de riesgos por fenómenos naturales de CEPRENEP y el análisis multivariable de indicadores de sostenibilidad de infraestructura vial. La carretera en estudio beneficia directamente a los habitantes de los centros poblados de Santa Rosa de Chontay, Nieve Nieve, Sisicaya, Antapucro, Chillaco, Ocorure y Antioquia. El área total de influencia directa es de 21,630 Hectáreas y corresponde a los terrenos adyacentes a la carretera en estudio que es de 27 kilómetros aproximadamente.

Se identificaron los peligros (amenazas) a que está sometida la carretera, se cuantificaron y caracterizaron las vulnerabilidades del objeto de estudio y se describieron, zonificaron y establecieron los rangos para la estratificación de los riesgos hidrológicos e hidráulicos como consecuencia de los anteriores análisis.

Esto permitió, señalar las consecuencias y daños, así como los niveles de aceptabilidad y tolerancia del riesgo y las medidas de priorización y control, tales como el reforzamiento de la infraestructura en los tramos críticos, el mantenimiento periódico, el monitoreo de los fenómenos hidrometeorológicos y el refuerzo de un sistema de alerta temprana.

Palabras clave: Análisis de riesgo vial, carreteras sostenibles, riesgos hidrológicos e hidráulicos.

ABSTRACT

The studies for the improvement of neighborhood roads are projects that have a great social impact, which directly involves the inhabitants of the benefited areas. The general objective of this thesis is to evaluate the hydrological and hydraulic risk for the improvement of the sustainability of the Puente Chontay - Antioquia highway, Huarochirí province, Lima Region. This goal was achieved by applying the CEPRENED Risk Manual for Natural Phenomena methodology and the multivariate analysis of road infrastructure sustainability indicators.

The road under study directly benefits the inhabitants of the populated centers of Santa Rosa de Chontay, Nieve Nieve, Sisicaya, Antapucro, Chillaco, Ocorure and Antioquia. The total area of direct influence is 21,630 hectares and corresponds to the land adjacent to the road under study, which is approximately 27 kilometers.

The dangers (threats) to which the road is subjected were identified, the vulnerabilities of the object of study were quantified and characterized, and the ranges for the stratification of hydrological and hydraulic risks were described, zoned, and established as a consequence of the previous analyses.

This made it possible to indicate the consequences and damages, as well as the levels of acceptability and risk tolerance and the prioritization and control measures, such as the reinforcement of the infrastructure in critical sections, periodic maintenance, monitoring of hydrometeorological phenomena and reinforcement of an early warning system.

Keywords: Road risk analysis, sustainable roads, hydrological and hydraulic risks.

INTRODUCCIÓN

La presencia de fenómenos naturales intensos y variables en los últimos años en nuestro país - producto del cambio climático global - ha modificado la intensidad y magnitud principalmente de los fenómenos que dependen de las relaciones climatológicas: como las precipitaciones, infiltraciones, evapotranspiración y las escorrentías en general.

Esta variabilidad actual produce efectos en la relación con todos los componentes de la vida del ser humano, y en este caso se analizaron las implicancias de los fenómenos relacionados con los recursos hídricos y sus efectos hacia la infraestructura vial. La zona identificada para esta investigación fue la carretera que une los pueblos de Santa Rosa de Chontay, Nieve Nieve, Sisicaya, Antapucro, Chillaco, Ocorure y Antioquia. De acuerdo al Mapa Ecológico de Perú, que clasifica el territorio nacional utilizando el Sistema de Clasificación por Zonas de Vida de Holdridge, el área de estudio se encuentra en las zonas de vida Estepa Espinosa Montano Bajo y Estepa Montano.

Por lo que la presente tesis aporta acciones de mejoramiento para el control de uno de los aspectos más controversiales como es la presencia del agua y los riesgos hidrológicos e hidráulicos asociados, es decir, el agua en su función de amenaza o peligro para las actividades humanas; de tal forma que la investigación está fuertemente ligada a las necesidades básicas del ser humano para su propia supervivencia y al medio donde habita, que se justifica por la relación directa que tiene con el agua como amenaza. Además, el agua como evento natural, tiene muchos aspectos que investigar, como su comportamiento a través del ciclo natural y como afecta al medio.

La Temática general de la investigación se encuentra dentro de la Línea de investigación de la UNICA: Recursos hídricos, riesgo de desastres y cambio climático, ratificada su aprobación mediante Res. N° 029-R-UNICA-2021.

De allí, se ha tomado el tema específico de la: Evaluación de los riesgos hidrológico e hidráulico, que actualmente constituye una necesidad técnica y social, la misma que es requerida por las autoridades nacionales, para estimar los posibles daños que pudieran generarse por diversos factores de tengan como origen la acción de los recursos hídricos en la infraestructura vial.

Por otro lado, las acciones de la Supervisión de Obras viales, se han acentuado y especializado de tal forma que se requiere evaluar los procedimientos utilizados en esas acciones y proponer una metodología apropiada que garantice la sostenibilidad de las dimensiones sociales, económicas y ambientales en un proyecto vial.

Dicho esto, se concluye que existe un mal aprovechamiento de los recursos hídricos debido a que el canal actual no es eficiente.

La carretera que une Santa Rosa de Chontay con el centro poblado de Antioquia se encuentra entre dos grandes zonas morfo estructurales denominadas Pampas costaneras y Cordillera de los

Andes. Los rasgos geomorfológicos en el área son el resultado de procesos tectónicos y geodinámicos.

La variabilidad de los fenómenos naturales producidos por las precipitaciones intensas en los meses de verano, son el principal problema que aqueja esta zona, lo demuestra lo acontecido en el año 2017 y que fuera reportado por el alcalde de la época Sr. Mantari, publicado en el diario El Peruano: ...Su principal preocupación es la ruta actualmente bloqueada, resaltando que no pueden estar varados los micros y transportistas, que llevan productos y por los pasajeros que a veces van con niños y madres, que como sea tienen que llegar.

La nota más adelante menciona: Algunos de los lugares más afectados son: el pueblo de Santa Rosa de Chontay, por la quebrada Yanacoto; el centro poblado Nieve Nieve, por la quebrada Nieve Nieve; el centro poblado Antapucro, a la altura del kilómetro 50 de la carretera Lima-Cieneguilla-Huarochirí, perjudicado por la quebrada del Antapucro, derrumbándose cuatro casas; y el centro poblado Chillaco, dañado por la afluencia de la quebrada Chillaco. Agregó que otras quebradas latentes son aquellas de Chontay, Canturías, y Pampa de Sisicaya. [1]

Por lo tanto, los problemas identificados y que generan la investigación son principalmente procesos hidrológicos e hidromorfológicos e hidráulicos, ya que se reportan los procesos de inundaciones y huaycos provocados por las lluvias intensas en la zona media que es donde se encuentra la carretera analizada Chontay – Antioquia, con flujos de importancia que han ingresado a las viviendas al activarse las quebradas de Yanacoto (Chontay), Nieve Nieve, Antapucro y Chillaco. [2]

1.1 Problema General y Específicos:

1.1.1 Problema General

¿Cómo la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico mejora la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima?

1.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cómo el análisis de los escenarios para la identificación de las causas de peligros influye en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico?
- b) ¿Cómo la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico se relaciona con las acciones de priorización de intervención contra riesgos en carreteras?
- c) ¿Cuáles son las propuestas principales que mejoran la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima?

1.2 Objetivo General y Específicos

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar el riesgo hidrológico e hidráulico para el mejoramiento de la sostenibilidad de la carretera Puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, Región Lima.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificación las causas de los peligros que influyen en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico
- b) Evaluar el riesgo hidrológico e hidráulico que explique las relaciones con la supervisión por emergencia de carreteras
- c) Formular las propuestas principales que mejoran la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima.

1.3 Hipótesis General y Específicos

1.3.1 Hipótesis General

La caracterización actualizada del riesgo hidrológico e hidráulico mejora la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, Región Lima.

1.3.2 Hipótesis Específicos

- a) La identificación de las causas de peligros es determinante en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico
- b) La evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico se relaciona positivamente con la supervisión por emergencia de carreteras
- c) Las propuestas principales como resultado del análisis de riesgo, mejoran la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima.

1.4 Antecedentes de Investigación

1.4.1 Antecedentes internacionales

J. Pérez [3] ... Esta tesis representa para el subsector vial de México, la oportunidad de conocer cómo es que esta herramienta, se puede aplicar en las carreteras para poder evaluar la sostenibilidad, lo cual representa un área de oportunidad inmejorable, para que un país cumpla con las políticas globales de mantener en los proyectos de cualquier sector, un equilibrio entre el cuidado del medio ambiente, el desarrollo social y económico. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las dimensiones de la sub base, base, y carpeta tienen relación directa con varios indicadores esenciales (ej., coste inicial y mantenimiento, emisiones de CO₂, consumo de energía) y, por tanto, deben ser integrados en el análisis de la sección transversal del firme

independientemente si la capa resistente superior es de naturaleza asfáltica o de cemento.

En 2011, el Banco Mundial en la publicación “Notas Técnicas del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento” sobre: Riesgo de inundación en redes viales, resume conceptos y metodologías para la evaluación de riesgos de inundaciones en redes viales, mostrando ejemplos y referencias que sirven como guía para profesionales en esta temática. Las vías pueden ser afectadas por inundaciones. Estas inundaciones provocan dos niveles de consecuencias: De un lado la afectación física a la población y destrucción de vehículos; por otro lado, se interrumpe el tráfico con consecuencias graves e indirectas. A su vez la interrupción del flujo vial en carreteras puede afectar a la economía, aspectos de seguridad y sociales. Según la complejidad de la red vial y sus riesgos asociados, el análisis de riesgo también podría ser muy complejo, incorporando aspectos como pérdidas operativas, daños a la infraestructura y al medioambiente, e impactos sociales y económicos.

Según M. Candía [4] en 2015, indica que según los resultados las zonas de menor cota son más propensas a inundaciones, reflejadas en la prevalencia del fenómeno como en las simulaciones, resaltando que, en la zona de estudio, la pendiente del terreno es mínima con escurrimientos naturales. Por ello muchos indicadores coinciden en zonas de valores máximos y el índice de amenaza resulta en un valor máximo alto (de 0.79) localizado en zonas donde coinciden valores máximos de cada indicador. El análisis de riesgo por inundación resulta complicado de realizar ya que los índices e indicadores a utilizar no están estrictamente definidos, y con razón, como ya se mencionó una inundación es muy diferente de otra desde su proceso de formación, su duración o sus causas, si a esto se agrega la urbanización, que influye directamente sobre las características de interés, este análisis resulta aún más versátil e incluye rasgos no sólo naturales, sino también antropogénicos.

1.4.2 Antecedentes nacionales

E. Pagaza [5], en 2021, menciona que el nivel de riesgo ante flujo de detritos es prácticamente del 50% en nivel alto y el otro 50% en nivel moderado, esto porque la vulnerabilidad en este caso tiene más relevancia que el peligro. El nivel de riesgo ante inundaciones es prácticamente en todos los lotes en nivel alto y unos pocos en nivel muy alto, esto porque en este caso el peligro del desborde del río tiene más relevancia que la vulnerabilidad de los predios. A diferencia del flujo de detritos, este es un flujo constante y de mayor caudal, por ello los resultados que difieren con el riesgo ante flujo de detritos. El nivel de riesgo ante sismo es en el 80% de los lotes de nivel alto, mientras que en un 20% es de nivel moderado; esto porque la vulnerabilidad tiene una ligera mayor relevancia que el peligro, esto se detalla en las matrices desarrolladas.

E. Flores [6], en 2018, expresa que es necesario realizar una correcta evaluación de riesgos de desastres en los proyectos viales, en este caso se desarrollará en la carretera Huaraz – Tingo María, en la cual se identificarán las zonas más críticas consideradas de alto riesgo y las zonas de riesgo medio con ello se busca realizar una toma de decisión acertada y pertinente que permita disminuir o evitar los futuros daños que sufrirá la infraestructura ante el desarrollo de estos peligros.

En la parte final se expresa que: Se concluye que las variables Análisis de riesgos de desastres y políticas de mantenimiento tienen una asociación lineal estadísticamente significativa con un valor de correlación alta ($r = - 0.646$), demostrando con ellos el cumplimiento de la hipótesis general de la investigación con un 99% de intervalo de confianza. Esto significa que el estado de los elementos que componen al análisis de riesgos de desastres en conjunto ha influido en la Política de mantenimiento de la Carretera de Huaraz a Tingo María.

En 2015, J. Casaretto y A. Ordóñez [7] evidenciaron la importancia de implementar una gestión de riesgos en los proyectos de conservación vial a partir de la etapa de ejecución de la propuesta, así como, identificar y analizar los riesgos utilizando las técnicas y herramientas propuestas por diferentes especialistas en gestión de riesgo. Desarrollan un plan de respuesta para maximizar las oportunidades y minimizar las amenazas, con el fin de asegurar el costo, la calidad y el plazo del proyecto. En las conclusiones mencionan... tras lo desarrollado y analizado a lo largo de la investigación, se concluye que, si se mantiene el flujo de los procesos de la Gestión de Riesgos en el proyecto Conservación Vial Cora Cora, puede aumentar la probabilidad de éxito y por ende asegurar el valor del proyecto. Cabe mencionar, que no solo generaría una retroalimentación importante para el proyecto, si no también, para futuros proyectos de características parecidas.

1.4.3 Antecedentes locales

S. Villacorta et. al. [8] en 2014, indican que su objetivo principal es presentar las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la cuenca del río Lurín, proponer medidas para la atenuación de los procesos geológicos y geohidrológicos que causan desastres en las zonas críticas identificadas y con la información presentada, contribuir con la prevención de desastres en la región Lima.

1.5 Contenido de capítulos

En el Capítulo I, Introducción, se describe la situación problemática, antecedentes relacionados con la propia investigación y los objetivos a obtener.

En el Capítulo II, Estrategia Metodológica, se desarrolla de la investigación y los elementos utilizados en la misma, detallando procedimientos y contexto de la investigación, diseño, universo y muestra, instrumentos de medición, procedimiento, etc.

En el Capítulo III, Resultados, contiene los datos obtenidos, incluyendo tablas, gráficos y fotografías, modelos estadísticos y/o programas utilizados en la investigación.

En el Capítulo IV, Discusión, se analizan, comparan e interpretan los resultados, en correspondencia con las bases teóricas establecidas, los criterios del autor y los de otros autores. Haciendo hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio.

En el Capítulo V, Conclusiones, se hace referencia a los resultados concretos obtenidos en el desarrollo de la investigación que han sido presentados.

En el Capítulo VI, Recomendaciones, se presentan sugerencias acerca de las posibilidades de aplicación práctica de los resultados y realización de otras investigaciones, relacionadas con las conclusiones.

Estrategia Metodológica

2.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

2.1.1 Tipo de investigación

Según Fidias Arias, en cuanto a los tipos de investigación, existen muchos modelos y diversas clasificaciones. No obstante, es importante precisar los criterios de clasificación. En este sentido, se identifican: Tipos de investigación según el nivel, Tipos de investigación según el diseño, Tipos de investigación según el propósito. [9]

Para este caso, el tipo de investigación será aplicada, ya que se identificará los posibles problemas para así poder realizar estrategia y dar solución a los eventos por realizarse en los diversos tipos de campos. La Investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas.

2.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente tesis es descriptivo – explicativo, es decir, describirá y se encargara establecer en qué influyen los parámetros hidráulicos determinantes de la acción y erosión marina sobre el análisis de estructuras de protección costera que se usan en la actualidad.

2.1.3 Diseño de investigación

La investigación es no experimental. Ya que se observan fenómenos ya realizados, de tal manera que no son provocados intencionalmente por el investigador y esta situación puede ser indirecta, porque se recaudan datos en un solo acto de medición. En estas investigaciones las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

2.1.4 Población y Muestra

2.1.4.1 Población de estudio

Es el tramo de la carretera entre el Puente Chontay y el C. P. de Antioquia, con una longitud de 27.063 km.

2.1.4.2 Muestra de estudio

La muestra representativa por las características de la estimación del riesgo hidrológico e hidráulico abarca el mismo tramo carretero.

2.1.5 Criterios de Inclusión y Exclusión

2.1.5.1 Criterios de Inclusión:

- ✓ Análisis de riesgos de desastres de la carretera Puente Chontay – Antioquia y las dimensiones, ambientales y socio económicos que relacionan su sostenibilidad.

2.1.5.2 Criterios de Exclusión:

- ✓ Análisis Sísmico.
- ✓ Estudio Geotécnico.
- ✓ Estudio Ambiental
- ✓ Estudio socioeconómico
- ✓ Diseño Estructural y diseño de Obras de Arte.

2.1.6 Técnicas de Recolección de Datos

La técnica seleccionada para esta presente investigación es la observación directa. Dadas las condiciones que anteceden, la observación directa es la técnica de recolección de datos que se adecúa de la mejor manera a la tesis.

2.1.7 Instrumentos de recolección de datos

Como instrumentos de recolección de datos, contaremos con los cuadros y matrices de las metodologías que serán adaptadas y aplicadas al riesgo hidrológico e hidráulico en la presente tesis:

- Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales, publicado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).
- En la Guía Matricial para la Evaluación de Riesgos Ambientales que forma parte de la propuesta de la Dirección General de calidad ambiental del Ministerio del ambiente (MINAM), se presenta una Metodología para el análisis y Evaluación de Riesgos Ambientales.
- Metodología para la Evaluación del Riesgo Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), entidad dependiente del Ministerio del Ambiental (MINAM).

2.1.8 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Para el desarrollo de la Tesis, se requiere implementar los siguientes pasos:

- Verificación de todos los Estudios de riesgos de desastres, de zonas críticas ante desastres naturales y problemas antropogénicos, con visitas de campo a todo el tramo de la carretera y su área de influencia, para conocer el estado actual y recabar la información necesaria.
- Revisión de todas las normas sobre evaluación de riesgos naturales aplicadas a las carreteras y con vigencia actual, para ajustar la metodología a ser aplicada en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico.
- Aplicación de la Metodología cualitativa concordante con el tipo de carretera y la información obtenida.
- Evaluación de los resultados e impresión del trabajo de tesis para su presentación.

2.1.9 Procedimientos

La secuencia metodológica será estructurada en tres etapas, las cuales son:

- 1) Etapa preliminar de gabinete, búsqueda y recopilación de datos catastrales, de las condiciones actuales, población, entre otros; procesar, evaluar analizar la información temática preliminar, relacionada con el ámbito de influencia del estudio.
- 2) Etapa de campo, tiene como propósito evaluar los peligros, vulnerabilidades y riesgos de la zona del proyecto, como también su área de influencia, desarrollando las siguientes actividades: Reconocimiento de campo de toda el área de influencia del proyecto y la recopilación de información complementaria a través de un reconocimiento con uso de un GPS y apoyándose del Google Earth, para obtener las características geométricas de la vía.
- 3) Etapa final de gabinete, son las tareas de procesar la información obtenida de las etapas anteriores, se obtendrá planos topográficos, y planos de zonas de riesgo.

En el caso de la presente tesis.

Tabla I

Resumen de las técnicas e instrumentos a implementar

Procedimientos	Técnicas	Instrumentos
Verificación <i>in situ</i>	Observación directa, entrevista	Equipo Fotográfico y topográfico, Formatos
Verificación en oficina	Recopilación de documentos, cuestionarios	Formatos especializados,
Identificación y caracterización de peligros	Modelamiento prospectivo	Software Hcanales y Hec-Ras
Análisis de resultados	Análisis Comparativo	Fichas y tablas específicas

600 m. antes del Puente Chontay y culmina en el ingreso al centro poblado de Antioquia en el Km 67. Con una longitud total de 27.073 km.

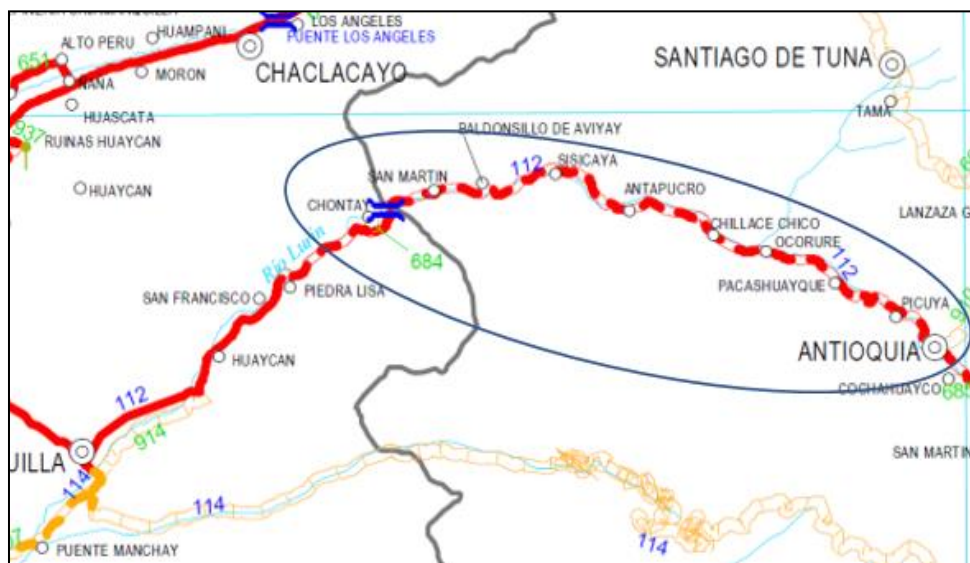


Fig. 2: Mapa del MTC para carreteras nacionales y vecinales

El trazo de la vía se desarrolla entre los 725 y 1475 msnm de altitud aproximadamente, sobre relieves de configuración accidentada propios de la zona de quebrada culminación de la cuenca media y la cuenca baja del río Lurín. Inicia su recorrido a la altura de la margen derecha del río Lurín sobre la carretera paralelo al centro poblado Santa Rosa de Chontay, en el kilómetro 38+000 (0+000), atravesando algunas quebradas y cursos de agua. Asimismo, se han identificado sectores vulnerables a procesos de geodinámica externa (deslizamientos), producidos principalmente por agentes hídricos en épocas de avenidas.

Desde el punto de vista hidrológico las diversas quebradas que interceptan la vía se encuentran activas debido a las precipitaciones pluviales que se producen en la cuenca media y en las respectivas microcuencas, las cuales han sido revisadas y evaluadas en el presente estudio y cuyas características se presentarán más adelante. La carretera en estudio beneficia directamente a los pueblos de Santa Rosa de Chontay, Nieve Nieve, Siscaya, Antapucro, Chillaco, Ocorure y Antioquia. El área total de influencia directa es de 21,630 Hectáreas.

La carretera se encuentra entre dos grandes zonas morfoestructurales denominadas Pampas costaneras y Cordillera de los Andes. Los rasgos geomorfológicos en el área son el resultado de procesos tectónicos, plutónicos y geodinámicos, que han configurado el actual relieve de la región.

De acuerdo al Mapa Ecológico de Perú, que clasifica el territorio nacional utilizando el Sistema de Clasificación por Zonas de Vida de Holdridge, el área de estudio se encuentra en las zonas de vida Estepa Espinosa Montano Bajo y Estepa Montano.

3.1.2 Características técnicas y geométricas de la carretera

El estudio de trazo se realizó tratando de mejorar las características actuales más importantes de la carretera tomando en cuenta que el Estudio de Tráfico arroja un IMDA de 112 Veh/día proyectado al año final de su período de servicio. El IMDA es el Índice Medio Diario Anual de Tránsito que representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año. Su conocimiento nos dará una idea cuantitativa de la importancia de la vía en el tramo considerado.

Ancho de Calzada

De acuerdo a lo especificado en el Cuadro 1a. del Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito [11], para un IMDA entre 0 y 350 Veh/día el ancho mínimo de la calzada debe ser 4.00 m para carreteras de 1 solo carril.

Ancho de Bermas

El ancho de las bermas en cada lado se determina en base al Cuadro 3.5.2.a, donde se obtiene un ancho de 0,50 m para una velocidad de diseño de 30 km/h. Si bien esta no es suficiente para aparcar un auto, es obligatoria para la colocación de hitos kilométricos, guardavías, señales y otros dispositivos viales.

Velocidad de Diseño

La velocidad de diseño se recomienda entre 30 y 50 km/h para terrenos de topografía muy accidentada, según el Cuadro 1b. Para este caso hemos tomado el límite inferior que corresponde a 30 km/h. Siendo la actual de 22 km/h.

Derecho de Vía

De acuerdo al Cuadro 1.2.2 del Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, el ancho mínimo es de 16.00 m, es decir 8m a cada lado del eje. Para efectos de materializar el ancho de vía, el manual especifica que la autoridad competente es la encargada de marcar el límite de derecho de vía. En este caso la Municipalidad Provincial de Huarochirí en coordinación con la Municipalidad Distrital de Antioquia o el MTC.

Distancia de Visibilidad de Parada

Según el MDCPBVT, en el Cuadro 3.1.1 la distancia mínima es de 35 m para una velocidad de 30 km/h, en bajada. Lo cual se verifica gráficamente en el plano de planta, cumpliendo con este parámetro, tanto en tramos en curva como en tangentes.

Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

No se toma en cuenta ya que la carretera es de un solo carril y no es posible efectuar maniobras de adelantamiento, por lo angosto de la vía.

Alineamiento Horizontal

Se ha tratado de mejorar el alineamiento existente, sin embargo, debido a que el relieve es muy accidentado, se opta por respetar en lo mayor posible el alineamiento actual a fin de evitar excesivos costos en el corte de farallones rocosos y algunas zonas de taludes inestables que afloran a lo largo del camino.

Curvas Horizontales, peralte y transición de peralte

Debido a que existen tramos donde la topografía es muy sinuosa, la presencia de muchas curvas horizontales consecutivas obliga a una reducción de velocidad, máxime cuando se trata de un solo carril. Por lo que se estima que la Velocidad de diseño sufre una reducción de 10 km/h.

Considerando entonces una velocidad de 20 km/h en curvas horizontales, en el Cuadro 3.2.5b del manual [11], se obtiene un radio mínimo de 8 m. Sin embargo, para esta carretera se considera un radio mínimo de 10m. Siendo el peralte máximo de 4%. La longitud de transición de peralte será de 18 m. según el Cuadro 3.2.5.e. No se consideran sobreanchos ya que se trata de una carretera de un solo carril y la velocidad es menor a 50 km/h.

Pendientes y Curvas Verticales

La pendiente máxima considerada para el proyecto es de 12% para una velocidad de diseño de 30 km/h, en terreno escarpado. La máxima pendiente en este proyecto no excede su longitud en más de 180 m por lo que no es necesario tramos en descanso. Según el Cuadro 3.3.3.a (ver anexo), las curvas verticales se diseñan para una longitud igual a: $L = K*A$

Donde el Índice de Curvatura K adopta un valor de 1.9 para una velocidad de diseño de 30 km/h según el Cuadro 3.3.2.a, cuando se trata de curvas verticales convexas donde la longitud es controlada solamente por la visibilidad de frenado. A es el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes. Para curvas verticales cóncavas K adopta un valor de 6, para una velocidad de 30 km/h según el Cuadro 3.3.2.b.

Secciones transversales

En base a los Cuadros 5.2.1 y 5.2.2 (ver anexos), las secciones transversales se han trabajado en gabinete según las siguientes características:

➤ Talud de corte (Según tipo de terreno)

- Roca suelta : 4:1
- Conglomerados cementados : 4:1
- Suelos consolidados compactos : 4:1
- Conglomerados comunes : 3:1
- Tierra compacta : 2:1

- Tierra suelta : 1:1
- Taludes de Relleno (Según tipo de terreno)
 - Enrocado : 1:1
 - Suelos diversos compactados : 1:1.5
 - Arena Compactada : 1:2
- Bombeo : 2%
- Cunetas (Mínimas para zona lluviosa tabla 4.1.3.a)
 - Ancho : 0.75 m
 - Alto : 0.30 m

A continuación, se muestran las secciones típicas de plataforma:

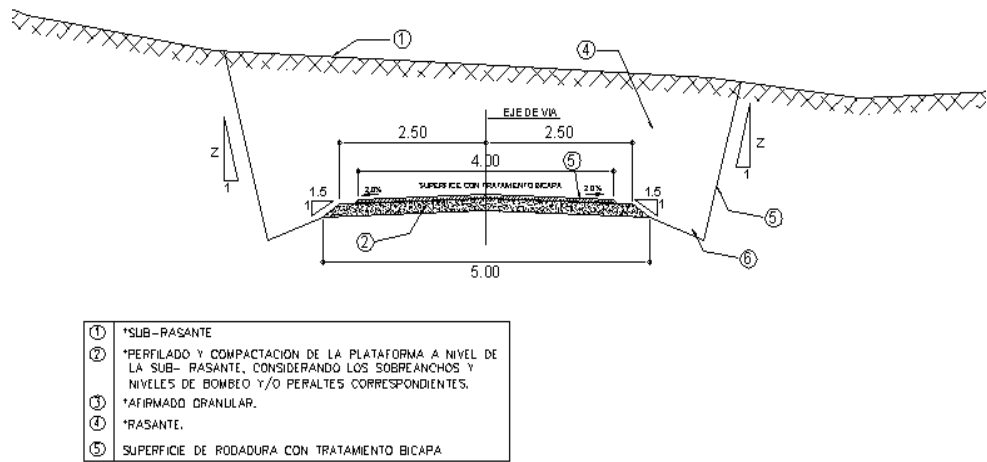


Fig. 3: Sección transversal típica en corte y sus componentes

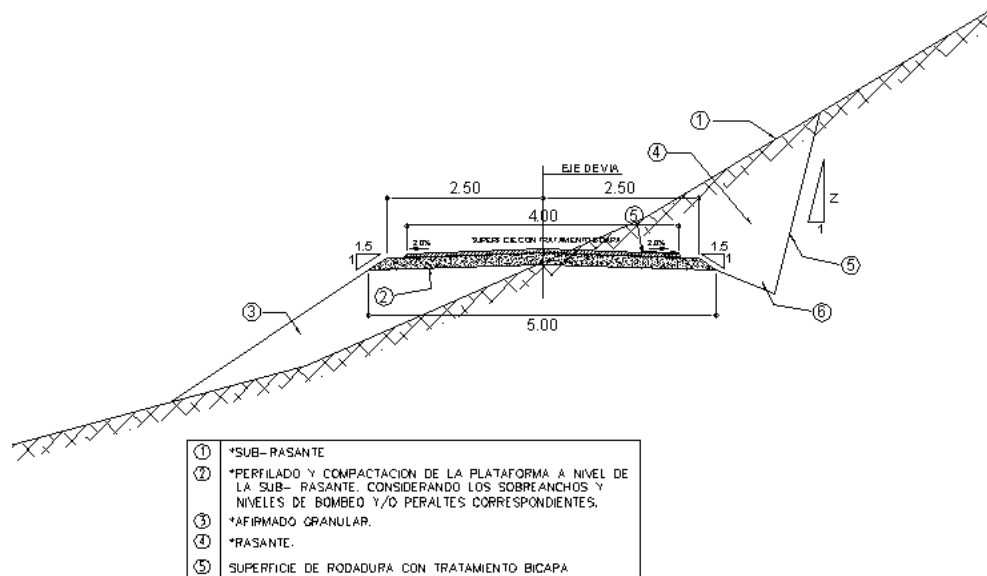


Fig. 4: Sección transversal típica a media ladera y sus componentes

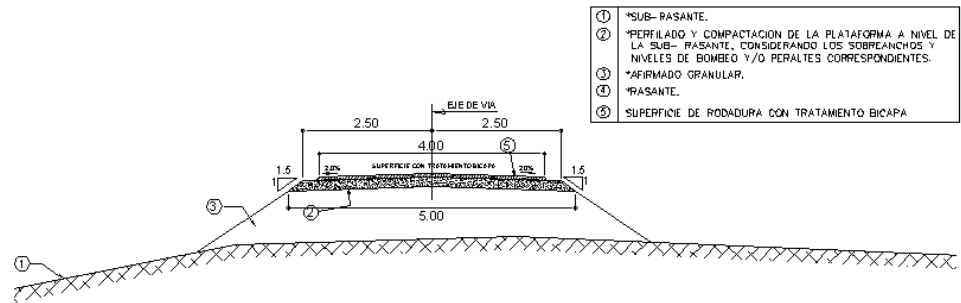


Fig. 5. Sección transversal típica en relleno y sus componentes

Tabla II
Resumen de características técnicas de la carretera
Puente Chontay – Antioquia

Descripción	Parámetro
Clasificación según la jurisdicción	Camino Vecinal
Clasificación según el servicio	Carretera 3ra. Clase
IMD proyectado	114 Veh/día
Velocidad Directriz	30 Km/h
Superficie de rodadura	Tratamiento Bicapa
Ancho de la superficie de rodadura	4.00 m
Ancho de bermas	0.50 m
Ancho total de la corona	5.00 m
Longitud total de la vía	27.073 km
Pendiente Máxima	12%
Pendiente Mínima	0.37%
Radio Mínimo	10 m
Radio Mínimo Excepcional	8 m
Bombeo Transversal	2%
Peralte mínimo	4%
Sobreancho	No requiere
N° de curvas	398
Cunetas (ancho x profundidad)	0.75 x 0.30

El mejoramiento geométrico se ha realizado tratando de adaptarse a la forma de carretera actual, ya que el eje de la vía se ha desplazado paralelamente al actual, debido al cambio en el ancho total de la corona (superficie de rodadura + bermas), tratando de evitar movimientos de tierra excesivos.

Se le está dotando de un sistema de drenaje que asegure el buen funcionamiento de la carretera y las Obras de Arte necesarias (Cunetas, alcantarillas, badenes, etc.).

La velocidad directriz obtenida en el Estudio de Tráfico que se muestra en el anexo, es de 22 Km/h., la cual se espera incrementar a 30 km/h al mejorarse las condiciones de visibilidad y transitabilidad de la vía.

3.1.3 Estado actual de la vía

La carretera en estudio tiene un acceso por el distrito de La Molina hasta el distrito de Cieneguilla mediante una carretera asfaltada y de allí la parte inicial de la carretera en Cieneguilla es trocha en estado regular, hasta llegar al Puente Chontay cerca del poblado Santa Rosa de Chontay. Luego está el tramo asfaltado de Chontay hasta Antioquia en estado bueno, que tiene una longitud de 27.063 Km., posteriormente se dirige hacia el distrito de Langa, pasando entre los límites de los distritos San José de Los Chorrillos y Lahuaytambo. Desde el inicio de la carretera en la zona de Chontay hasta la zona de Chillaco la topografía es ondulada, rodeada de terrenos de cultivo, especialmente en las cercanías de los centros poblados. Desde la zona de Chillaco hasta un kilómetro antes de llegar al C.P. de Antioquia la topografía es accidentada, con bastante presencia de laderas de roca fija donde el ancho actual de la vía es reducido ligeramente.

Tabla III
Cuadro de ruta

N°	Progresiva	Lugar
1	0 + 000	Centro poblado Chontay
2	0 + 640	Puente Chontay
3	4 + 520	Centro poblado Nieve Nieve
4	5 + 220	Puente Nieve Nieve
5	7 + 240	Puente Canturillas
6	8 + 780	Centro poblado Sisicaya
7	9 + 140	Puente Sisicaya
8	11 + 760	Puente Antapucro
9	13 + 180	Centro poblado Antapucro
10	15 + 940	Centro poblado Chillaco
11	18 + 860	Puente Palma
12	23 + 440	Centro poblado Palma
13	27 + 063	Centro poblado Antioquia

Dentro de esta zona existen plazoletas de cruce a cada 1000 m. aproximadamente en las zonas donde las secciones transversales son a media ladera, y en especial en los tramos de configuración rocosa. Para tal efecto se identifica un ensanche con tratamiento de perfilado y compactado, así como el afirmado y pavimentado correspondiente en una longitud promedio de 15.00 m por un ancho de 5.50 m.

Se verifica que la carretera en cuanto al ancho de vía, mejoramiento de pendientes y calidad de la superficie de rodadura, mejora la velocidad directriz y el tráfico pasante. Esta ruta presenta una topografía ondulada, presenta 07 quebradas pequeñas y medianas que cruzan la carretera donde se colocaran badenes con obras de protección contra la erosión y geodinámica externa, 01 río que cruza la carretera 06

veces en los cuales existen puentes en regular estado de transitabilidad y en todo el recorrido pasa por tres canteras.

En base a lo calculado por el estudio de ingeniería del proyecto, durante el mejoramiento y pavimentación de la carretera Puente Chontay - Antioquia, se realizaron cortes de material y rocas sueltas, los cuales fueron reutilizados para la conformación de la superficie de rodadura entre otras.

El excedente de corte se dispuso de acuerdo con las especificaciones técnicas para la colocación de materiales excedentes en concordancia a las recomendaciones de protección Ambiental.

El principal problema de la carretera Puente Chontay - Antioquia, radica en el deficiente mantenimiento y conservación de las estructuras de cruce, siendo el origen de las malas condiciones de transitabilidad actual. A lo largo de la vía se encuentran diversos pases de agua informales para regadío y desagüe, los cuales no han sido construidos mediante criterios técnicos. Asimismo, la vía es atravesada por algunos canales de regadío que carecen de alcantarillas.

Con el propósito de utilizar el recurso hídrico para los diferentes trabajos de mantenimiento y conservación de la vía, se establecen puntos de agua significativos, que llevan considerable caudal en todo el año.

En algunos tramos de la carretera Puente Chontay - Antioquia, se han identificado Depósitos de Materiales Excedentes (DME). Los DME están ubicados a una distancia relativamente apartada de la vía, tratando que no afecte el normal funcionamiento del tránsito.

El mejoramiento y conservación de los caminos vecinales es una tarea que involucra a los pobladores de las zonas beneficiadas, participando en ellas la mayor cantidad de mano de obra no especializada, por lo que estas tareas no utilizan campamentos y se reducen a oficinas de operaciones cuyas instalaciones son alquiladas en los centros poblados que satisfagan las demandas de servicios.

En casos de emergencia, para atender los requerimientos mínimos de habitabilidad, sanidad e higiene, seguridad y operatividad del personal que en su mayoría son los habitantes de la zona, el dimensionamiento es mínimo y solo se aprovisiona de los servicios básicos que satisfagan tales demandas.



Fig. 6. Inicio del tramo de estudio Puente Chontay en Cieneguilla



Fig. 7. Tramo (km 12) parte del Pte. Chontay, vista de una alcantarilla



Fig. 8. Tramo (km 20) parte del Pte. Chontay, vista de badén en quebrada



Fig. 9. Punto final de la zona de estudio en el pueblo de Antioquia

3.1.4 Aspectos climáticos

Climatología

Según la Clasificación Climática de W. KOPPEN, en la parte baja y media de la cuenca presenta condiciones de clima desértico (con escasas lluvias), mientras la parte media corresponde al clima frío (seco en invierno), con una temperatura media superior a 10° C, y con clima de tundra seca de alta montaña y de nieve perpetua en la parte alta. Las precipitaciones pluviales en la parte bajan de la cuenca son escasas durante todo el año (Manchay Bajo 28,43 mm/año), las cuales son generadas por la conjunción de las nieblas del invierno provenientes del Océano Pacífico como por las lluvias veraniegas de la sierra, cuando éstas alcanzan el litoral. En la parte alta, las lluvias son abundantes durante el verano y escasas en los periodos de invierno y otoño (San Lorenzo de Escomarca-402,53 mm/año).

En tanto en la cuenca baja, la temperatura tiene una máxima de 27,4°C - 28,8°C en los meses de enero a marzo, y los meses de julio a septiembre una mínima de 13,0°C - 14,7°C. Por lo general, la cuenca tiene condiciones climáticas estables: cálida durante la estación del verano (en 1982 fue de 26°C, con una alta tasa de humedad). El viento, en razón de ser el aliso marítimo, es húmedo o ligeramente húmedo, afecta al clima y está asociado a una ligera nubosidad en la mañana, con una débil precipitación característica de la región de la costa, llamada “garúa”. La humedad es constante en la parte baja de la cuenca de Lurín.

Hidrología

La cuenca del río Lurín pertenece a la vertiente del Pacífico; es un macroespacio articulador de varias subcuencas hidrográficas: Pichucán, Canchahuara, naciente del

río Lurín, Quebrada de Tupicocha, Llacomayqui y Sunicancha y seis pisos altitudinales: Chala, Yunga, Quechua, Suni, Puna y Cordillera. Es también un espacio de conservación de biodiversidad, recursos naturales, y de articulación social, económica, ecológica, institucional y cultural.

Es una cuenca estrecha del tipo exorreica (sus aguas llegan al mar por vía superficial); de montañas pequeñas y medianamente poblada (115,000 habitantes), con oferta y demanda balanceada de agua, aunque con un inadecuado manejo de este recurso. Su extensión aproximada es de 1720 Km², con 5,600 has de tierras de cultivo. La parte húmeda de la cuenca, ubicada a altitudes superiores a los 2500 m.s.n.m. es productora de precipitaciones y escorrentía superficial significativa.

La cuenca del río Lurín se ubica al sur de la ciudad de Lima, en las jurisdicciones de las provincias de Lima y Huarochirí, del departamento de Lima, y se halla entre las coordenadas geográficas 76°56' y 76°11' longitud oeste y 11°15' y 12°18' latitud sur. Geográficamente se encuentra en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes.



Fig. 10. Esquema general de la cuenca del río Lurín [12]

La cuenca ocupa una superficie de 1670 km², que representa el 4,813% de la superficie total del departamento de Lima, de forma alargada y estrecha, en la dirección este-oeste con una longitud de 80 km, y en la dirección norte-sur con 48 km de longitud aproximadamente. Limita por el norte con la cuenca del río Rímac y la Inter cuenca formada por las quebradas Parac y Pachachaca; por el sur, con las intercuenas formadas por las quebradas Pucará, Lúcumo, Malanche, Chamaure y Chilca; por el este, con la cuenca del río Mala y por el oeste con el Océano Pacífico.

Según la antigua ONERN, los orígenes del río Lurín se observan desde los deshielos del nevado Surococha a 5000 m.s.n.m. En toda su extensión la cuenca del río Lurín se ubica en el departamento de Lima, ocupando las provincias de Lima y Huarochirí. Asimismo, limita por el Norte con la cuenca del río Rímac, por el Sur y el Este con la cuenca del río Mala y por el Oeste con el Océano Pacífico.

El valle alto del río Lurín, hasta la localidad de San Damián, cuenta con una fuerte pendiente; a diferencia de lo que sucede en el valle medio, hasta la localidad de Manchay, donde el valle empieza a abrirse formando su cono de deyección, y es en esta área del valle bajo que se encuentra la zona agrícola más importante de la cuenca.

El valle del río Lurín, en sus partes bajas, medias y altas, e inclusive en su desembocadura, presenta diferencias morfológicas en su relieve, que le otorgan a cada zona características muy particulares, las cuales tienen repercusiones muy importantes en el manejo del espacio.

El sistema hidrográfico caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente occidental, es decir, una hoya hidrográfica alargada, con lagunas localizadas en la parte alta y ríos de cauces profundos e irregulares y cuyas aguas drenan hacia el Océano Pacífico. La cuenca está delineada por la red hidrográfica conformada por: El río Lurín, principal colector de la cuenca, pertenece al Sistema Hidrográfico del Pacífico y tiene su origen en los nevados y lagunas de la Cordillera Occidental de los Andes. El cauce en su inicio toma el nombre de río Chalilla y al juntarse éste con la quebrada Taquíá cambia de nombre al de río Lurín. Tiene una longitud media de 106,00 km, y en su recorrido recibe el aporte de numerosos ríos y quebradas, siendo los más importantes Taquíá, Llacomayqui, Tinajas, Numincancha y Canchahuara por la margen izquierda y la quebrada Chamacna por la margen derecha.

Pluviometría

La información pluviométrica utilizada fue extraída de material bibliográfico cuya fuente es el SENAMHI, referente a registros de precipitación máxima en 24 horas disponibles en la zona de estudio y de los estudios realizados por IPROGA/EDUCANDES en la Cuenca del río Lurín.

Con estos datos se elaboró el Mapa de Isoyetas de la Cuenca del río Lurín con datos hidrológicos de 1966 al año 1993, como se muestra a continuación:

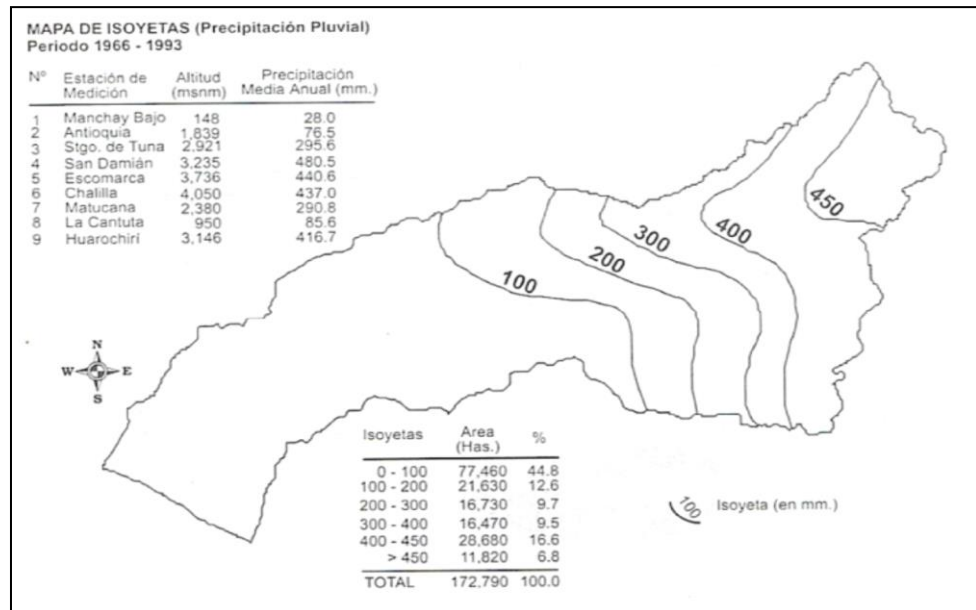


Fig. 11. Mapa de isoyetas de la cuenca del río Lurín 1966-1993 [13]

Para nuestro caso, tomaremos como valor de precipitación el que corresponde a Antioquia (76.5mm) del Mapa de Isoyetas, que es mayor al límite normal superior de la figura anterior.

3.1.4.1. Análisis Hidrológico

La información hidrológica básica que ha servido para cuantificar la descarga máxima de diseño para fines de la investigación, se ha obtenido mediante la aplicación de fórmulas empíricas, al contar con información estadística insuficiente. Para fines del proyecto se han considerado los datos de la estación de Antapucro, debido a la representatividad de los regímenes pluviométricos y a que está ubicada dentro de la zona en estudio.

Hidrología General

El cauce principal en su inicio toma el nombre del río Chalilla, y al juntarse este con la quebrada Taquia cambia al nombre de Lurín. Recibe en su recorrido el aporte de numerosos ríos y quebradas siendo lo más importante:

Taquia, Lahuaytambo, Langa, Sunicancha, y Tinajas, por la margen izquierda; y Chamaca, por la margen derecha. En el siguiente cuadro se resume las características de la Red Hidrográfica de la cuenca.

Tabla IV
Red hidrográfica de la Cuenca del Río Lurín

Nombre del río	Extensión de la cuenca (km ²)			Longitud (km)	Pendiente (%)
	Húmeda	Seca	Total		
Lurín	833	865	1698	106	4.72
Chalilla	122	-	122	29	7.59
Taquila	159	-	159	26	8.46
Sunicancha	32	-	32	12	17.5
Lahuaytambo	65	3	68	19	14.47
Chamaca	73	13	86	18	15.56
Langa	164	7	171	39	7.82
Tinajas	8	184	192	30	9.07

Nota: Extraído de las publicaciones del Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA

El Nivel Medio Mensual (m) del río Lurín, se obtuvo de información proporcionada por SENAMHI, datos correspondientes a la Estación Meteorológica ANTAPUCRO / H-203003 / DRE-04.

Latitud	: 12° 02' "S"	Dpto: Lima
Longitud	: 76° 38' "W"	Prov.: Huarochirí
Altitud	: 1300msnm.	Dist.: Antioquia

La mencionada estación fue instalada en octubre de 1968, mediante convenio ex ONERN – SENAMHI, con el propósito de determinar la disponibilidad del agua para riego en la cabecera del río. También se presenta la disponibilidad hídrica superficial de la vertiente pacífico, donde se encuentra el río Lurín con datos de varias entidades.

CUENCA	ELECTROPERU m3/s	ONERN m3/s	CEDEX m3/s	PROMEDIO m3/s
ZARUMILLA	4.8	5.4	4.7	5.0
TUMBES	92.1	115.6	80.5	96.1
CHIRA	96.2	114.5	140.8	117.2
PIURA	29.8	20.2	37.2	29.1
CASCAJAL	9.4	4.4	1.2	5.0
OLMOS	3.7	1.7	0.7	2.0
MOTUPE	15.1	3.7	3.4	7.4
LA LECHE	8.1	5.0	7.2	6.8
CHAN.-LAMBAYEQUE.	32.3	25.8	42.2	33.4
ZAÑA	9.1	8.0	7.4	6.2
CHAMAN	4.5	1.1	0.4	2.0
JEQUETEPEQUE	39.8	37.7	29.0	35.5
CHICAMA	29.9	22.5	24.0	25.5
MOCHE	11.2	10.3	8.2	9.9
VIRU	7.8	8.6	4.0	6.8
CHAO	3.8	3.3	2.8	3.3
SANTA	150.2	143.7	180.8	158.2
LACRAMARCA	0.8	0.3	0.1	0.4
NEPEÑA	3.8	2.0	2.8	2.9
CASMA	8.4	4.6	7.3	6.8
CULEBRAS	0.9	0.5	0.5	0.6
HUARMEY	6.6	3.3	2.1	4.0
FORTALEZA	5.1	5.8	4.8	5.2
PATIVILCA	52.1	48.0	47.3	49.1
SUPE	3.3	1.1	1.8	2.1
HUAURA	38.3	31.3	35.8	34.5
CHAN.-HUARAL	20.2	19.1	15.8	18.3
CHILLAN	12.5	11.0	8.4	10.6
RIMAC	29.0	25.9	24.0	26.3
LURIN	9.0	6.6	4.5	6.7
CHILCA	1.4	0.4	0.2	0.7
MALA	17.5	18.0	16.9	17.5
OMAS	3.8	1.5	0.8	2.0
CAÑETE	57.1	63.0	54.9	58.3
TOPARA	1.2	0.0	0.4	0.5
SAN JUAN	28.4	13.8	14.1	18.8
PISCO	26.2	23.5	24.6	24.8
ICA	13.1	11.3	8.3	10.9
GRANDE	17.1	19.4	13.3	16.8
ACARI	22.7	20.6	13.6	19.0
YAUCA	21.1	7.8	20.0	16.2
CHALA	1.7	0.1	0.2	0.7
CHAPARRA	2.6	0.3	0.5	1.1
ATICO	1.6	0.1	0.1	0.8
CARAVELI	3.2	0.8	0.2	1.4
OCOÑA	90.0	66.6	96.3	85.0
MAJES-CAMANA	90.0	82.5	97.7	90.1
QUILCA CHILI	38.7	23.2	15.6	25.8
TAMBO	39.9	39.7	39.1	39.8
OSMORE	4.3	2.9	1.8	3.0
LOCUMBA	4.2	8.2	4.2	5.5
SAMA	2.4	1.5	1.8	1.9
CAPLINA	1.8	3.1	1.3	2.1
TOTAL	1225.8	1099.3	1 157.4	1160.8

Fig. 12: Disponibilidad hídrica superficial

Tabla V
Disponibilidad del agua de riego en el Rio Lurín

Año 2000 (Mes)	Nivel Medio Mensual (m)	Año 2000 (Mes)	Nivel Medio Mensual (m)
Enero	0.75	Julio	0.5
Febrero	0.8	Agosto	0.52
Marzo	0.83	Setiembre	0.48
Abril	0.71	Octubre	0.56
Mayo	0.55	Noviembre	0.49
Junio	0.48	Diciembre	0.66

Nota: Extraído de las publicaciones del Instituto nacional de Recursos Naturales INRENA

Como se aprecia el nivel medio mensual mínimo se presentó en los meses de junio y Setiembre del 2000, y fue de 0.48m; mientras que el nivel máximo fue de 0.83m y se presentó en el mes de marzo, en épocas de lluvia.

Cabe anotar que, según los registros históricos, el máximo aforo que se ha presentado en el río Lurín fue de 84.8 m³/mes y se presentó durante el Fenómeno El Niño, periodo noviembre 1997 hasta abril 1998.

En el año 2007, la cuenca del Río Lurín ha sido muestreada cerca de la cabecera de valle en la estación hidrológica HLG – Antapucro, Las actividades de aforo realizadas permitieron determinar el volumen de agua que transcurre por la sección transversal de la mencionada estación, registrándose el escurrimiento superficial del Río Lurín, como se muestra:

Tabla VI
Cantidad de Agua
Estación Hidrológica Antapucro

Estación	Rio Lurín: Antapucro
Caudal (m ³ /seg)	3.92
Nivel (m)	0.2

Periodo de retorno y vida útil de las obras de arte viales

El tiempo promedio, en años, en que el valor caudal pico de una creciente determinada es igualada o superado por lo menos una vez se le llama Período de Retorno. El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil.

Se define $P(X \geq X_0)$ como la probabilidad de ocurrencia, o la probabilidad de que un evento X sea mayor o igual a un valor dado X_0 .

Se define $P(X < X_0) = 1 - P(X \geq X_0)$ como la probabilidad de no ocurrencia, o la probabilidad de que un evento x sea menor a un valor dado X_0 .

$$T = 1 / P(X \geq X_0)$$

$$P(X < X_0) = 1 - P(X \geq X_0)$$

La probabilidad de no ocurrencia dentro de n años de la vida útil de una obra, está dada por:

$$J = (P(X < X_0))^n$$

Suponiendo que los eventos de ocurrencia sean independientes.

La probabilidad de ocurrencia dentro de n años de la vida útil de la obra, denominada aquí RIESGO ADMISIBLE, está dada por:

$$K = 1 - J = 1 - (P(X < X_0))^n$$

Substituyendo se tiene:

$$K = 1 - (1 - P(X \geq X_0))^n$$

$$K = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Reagrupando:

$$(1 - K)^{1/n} = 1 - 1/T$$

$$1 - (1 - K)^{1/n} = 1/T$$

$$T = 1 / (1 - (1 - K)^{1/n})$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T , fijando el riesgo permisible K , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. En la Tabla adjunta se presenta el valor T para varios riesgos permisibles K y para la vida útil n de la obra.

Tabla VII
Valores de períodos de retorno t (años)

Riesgo admisible K	Vida útil de las obras (n años)										
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200	
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900	
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900	
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900	
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899	
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897	
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695	
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289	
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144	
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44	

Nota. Información del Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje. MTC. [14]

El porcentaje de riesgo aceptado, es de 20% ($R = 0.2$). Considerando una vida útil de 20 años, para cunetas y alcantarillas, corresponde un período de retorno de 90 años, se puede asumir 100 años.

Tabla VIII
Período de retorno y vida útil de obras de arte

Descripción	Riesgo Admisible	Vida Útil	Período De Retorno
Estructuras mayores (puentes)	0,20	50 años	225 años
Estructuras medias (pontones)	0,20	25 años	113 años
Alcantarillas, cunetas.	0,20	20 años	90 años

Nota. Información del Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje. MTC. [14]

Caudales de diseño

La estimación de los caudales se efectuó con arreglo a la información hidrológica disponible, a la importancia de cada uno de los cursos comprometidos y al área de influencia de cada una de las subcuencas, utilizándose los siguientes criterios:

- Para áreas de aportación menores de 10 km², el caudal de diseño estimado mediante el Método Racional.
- Para áreas de aportación mayores de 50 km², el caudal de diseño se ha estimado haciendo uso del Método Racional Modificado.

a) Método Racional

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, está dado por:

$$Q = 0,278 CIA$$

Donde:

- Q : Descarga máxima de diseño (m³/s)
C : Coeficiente de escorrentía
I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A : Área de la cuenca (km²)

Tabla IX
Coeficientes de Escorrentía - Método Racional

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronun. > 50%	Alta > 20%	Media > 5%	Suave > 1%	Despreciable < 1%
Sin vegetación	<i>Impermeable</i>	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota. Información del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC. [14]

Se tomó en consideración un valor promedio del coeficiente de escurrimiento $C = 0.45$, tomando en cuenta las características de las cuencas descritas. La intensidad o altura de lluvia por hora se deduce analizando la variación de la intensidad de lluvia de otras cuencas. El valor que se acepta es aquel que está dado por el modelo de Yance Tueros donde:

$$I_{\text{hora}} = C_Y (P_{\text{máx}} 24\text{horas})^n$$

Donde:

$$C_Y = 0,4602$$

$$n = 0,875$$

Para una vida útil de 20 años, el período de retorno se ha asumido en 100 años, obteniéndose una altura de lluvia media de 76.5 mm según el mapa de Isoyetas y las estimaciones de SENAMHI del 2017 presentados, luego la intensidad de lluvia se ha estimado según Yance Tueros:

$$I_{\text{hora}} = 0,4602 (76,50)^{0,875} = 20,47 \text{ mm/hora} \quad (\text{Cuenca Media})$$

$$I_{\text{hora}} = 0,4602 (38,00)^{0,875} = 11,10 \text{ mm/hora} \quad (\text{Cuenca Baja})$$

Método Racional Modificado

El Método Racional Modificado, propuesto por J. Témez, está dado por la siguiente expresión:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (km^2)

K: Coeficiente de uniformidad

Los diferentes factores que intervienen en la fórmula de J. Témez, fueron determinados haciendo uso de las siguientes expresiones matemáticas:

$$Tc = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$K = 1 + \frac{Tc^{0.25}}{Tc^{0.25} + 14}$$

$$P = P_d \times K_{\Delta}$$

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) \times \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{28^{0.1} - Tc^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

$$C = \frac{\left(\frac{P_d}{P_0} - 1\right) [(P_d + P_0) + 23]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 11\right]^2}$$

Siendo:

L : Longitud máxima del curso principal (km)

S : Pendiente promedio (m/m)

Tc : Tiempo de concentración (horas)

α : Coeficiente

K_{Δ} : Factor reductor

Pd : Precipitación máx. 24 horas, periodo de retorno de 100 años (mm)

I : Intensidad máxima de precipitación máxima horaria

P : Lluvia real sobre la cuenca (mm)

Po : Umbral de escorrentía (mm/h)

C : Coeficiente de escorrentía

I1/Id: Isolinéa de precipitación máxima horaria (mm/h)

Caudal de diseño de las subcuencas hidrográficas

Se ha estimado el caudal de diseño de las subcuencas hidrográficas, haciendo uso de la metodología anteriormente descrita, cuyos resultados se muestran en los cuadros siguientes:

Tabla X
Caudal de diseño para áreas de cuencas no mayores a 10 km²

Progresiva (km)	Nombre del curso principal	Área (km ²)	Coeficiente de escorrentía C	Intensidad de precipitación I (mm/h)	Caudal Q (m ³ /seg)
09 + 260	Vado N°1 Sisicaya	9.75	0,45	11,10	13,54
18 + 740	Vado N°2 Antapucro	6.22	0,45	11,10	8,64
27 + 000	Quebrada Antioquía	2.74	0,45	20,47	7,02

Tabla XI
Caudal de diseño para áreas de cuencas mayores a 50 km²

Progresiva (km)	Nombre del curso principal	Área (km ²)	Coeficiente de escorrentía C	Intensidad de precipitación I (mm/h)	Coeficiente de uniformidad K	Caudal Q (m ³ /seg)
05 + 100	Lurín (Antioquía)	135	0,15	20,47	1,09	125,61

Para el cálculo del curso principal en el río Lurín, solo se ha considerado el área y longitud, en la zona del proyecto (Antioquia), es decir la franja de área comprendida entre las isolíneas de precipitación 100 y 200. Por lo tanto, el caudal estimado promedio es $Q=125.61 \text{ m}^3/\text{seg}$.

3.1.5 Evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico

Para la presente evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico en la carretera Chontay - Antioquia, tomaremos como base la metodología presentada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión 2014, en el cual se expresa que: los niveles de riesgos no solo dependen de los fenómenos de origen natural, sino de los niveles de vulnerabilidad de los centros urbanos y/o rurales, por ejemplo su localización en riberas de los ríos, desembocadura de quebradas activas, rellenos sanitarios, cercanía a fallas geológicas, etc. (exposición), así como el tipo de infraestructura de material precario o noble utilizado como vivienda (fragilidad), y la capacidad de la población para organizarse, asimilar y/o recuperarse ante el impacto de un fenómeno de origen natural (resiliencia). [15]

La razón fundamental que justifica la aplicación de esta metodología, es que involucra no solamente los riesgos por factores naturales hacia la infraestructura vial, sino que además relaciona en su evaluación el incremento de los eventos naturales en forma extraordinaria que pueden afectar la vida en general de los habitantes que se encuentran dentro del área de influencia.

El aporte de la investigación, es que se desarrolla a nivel de propuesta, una metodología aplicada dentro de los factores hidrometeorológicos, principalmente las precipitaciones y los caudales al entorno de una carretera que involucra varios centros poblados y actividades socio económicas diversas.

La Evaluación de Riesgos

Según la publicación de INDECI denominada “Terminología de Defensa Civil” de julio del 2010: RIESGO, “Es la estimación o evaluación matemática de probables pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y la economía, para un periodo específico y un área conocida. Se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad”. [16].

La Evaluación de Riesgos, se aplica en nuestro país tomando en cuenta los siguientes criterios generales:

- Identificar los peligros potenciales por fenómenos naturales que se producen en las diversas cuencas.

- Prevenir la ocurrencia de nuevos peligros asociados a eventos anteriores presentados con algún nivel intensidad.
- Establecer las vulnerabilidades de los componentes del entorno físico, natural y socio económico.
- Reducir los riesgos existentes a través de medidas de emergencias, de corto o largo plazo.
- Incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en los futuros proyectos, para dar sostenibilidad a la infraestructura en general.

Evaluación del Riesgo hidrológico e Hidráulico

La evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico, constituye una necesidad técnica y social, la misma que es requerida por las autoridades nacionales, para estimar los posibles daños que pudieran generarse por diversos factores que tengan como origen la acción de los recursos hídricos, en este caso en la infraestructura vial.

Las carreteras pueden sufrir daños por inundaciones, pero, además, pueden potenciar las condiciones peligrosas de una inundación. La inundación de una carretera produce dos niveles de consecuencias: por un lado, puede haber personas heridas y destrucción de vehículos; por el otro, la interrupción del tráfico puede tener secuelas indirectas graves.

El cierre de carreteras puede tener consecuencias económicas, sociales y de seguridad (Tacnet y Mermet). [17]

El colapso temporal o prolongado de una red vial está directamente vinculado a las actividades de los usuarios de las carreteras, así como a las infraestructuras complementarias como puentes y obras de arte en general; la infraestructura esencial que se relaciona de otras construcciones de la red vial como la energía o telecomunicaciones y por supuesto con la función específica del transporte que son la conectividad y la accesibilidad entre dos poblados unidos por la carretera.

Los desbordamientos causan el corte del tránsito, que se restablece tan pronto como las aguas bajan y retornan a su cauce. En algunos casos, uno de los estragos más comunes es la aparición de depósitos de sedimento, como lodo u otro material de grano grueso. En zonas donde hay una pendiente de fondo elevada, el agua contiene energía para ocasionar daños parciales o totales.

Suarez *et al.* proporcionan un ejemplo que incluye el cambio climático en el análisis del riesgo de inundaciones en redes viales. Su enfoque estima el impacto de las inundaciones en una red vial bajo la influencia del cambio climático.

Este enfoque requiere un modelo que sea capaz de estimular los flujos de tráfico rodado en una variedad de condiciones.

El modelo se ejecuta por primera vez en circunstancias normales a fin de proporcionar valores de referencia para el volumen de tránsito y el tiempo de viaje. Luego, se diseña un conjunto de escenarios de inundación para identificar las áreas que se inundan y sus impactos. [17]

3.1.5.1 Identificación y caracterización del peligro

Según INDECI, define peligro originados por fenómenos naturales, como “la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, que se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definido”. Más adelante menciona que: “El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: los generados por fenómenos de origen natural; y, los inducidos por la acción humana”. [15]

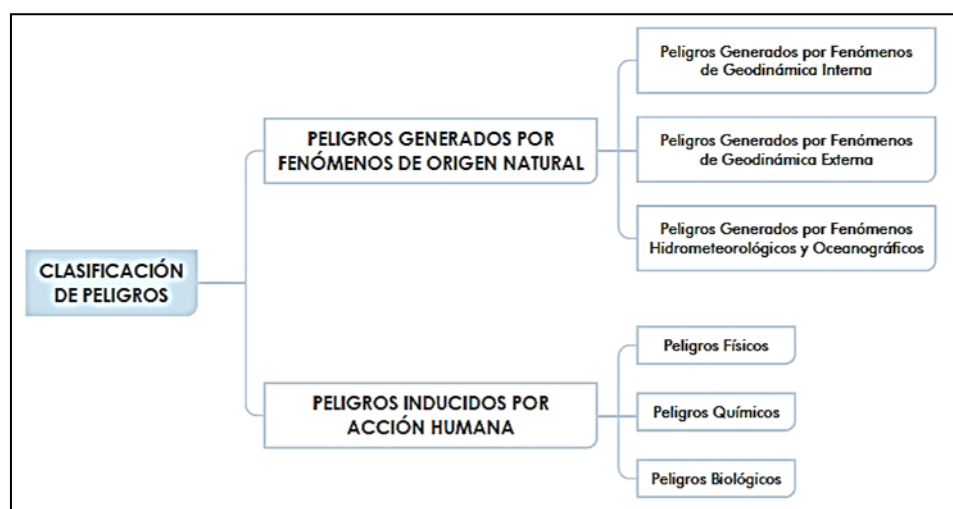


Fig. 13. Clasificación de Peligros [15]

Para la presente investigación, solo hemos considerado los peligros originados por fenómenos de origen natural generados por fenómenos hidrometeorológicos y de geodinámica externa que son los que se relacionan a riesgos hidrológicos e hidráulicos y se aplica a la zona de estudio.

Peligros por fenómenos de geodinámica externa

En este rubro se consideran los deslizamientos de roca o suelo, las caídas de rocas o suelo, el volcamiento, la reptación, la propagación lateral y los flujos de detritos o lodos.

Caídas o Derrumbes

Es el desprendimiento de una masa rocosa de un talud, que puede ocurrir a través de saltos, rodando, etc. Se produce en rocas intrusivas, volcánicas y/o sedimentarias, considerablemente diaclasadas y alteradas lo que produce numerosos bloques libres e inestables, que pueden caer por la fuerza de gravedad, lluvias torrenciales o movimientos sísmicos. [8]

Flujo de detritos

Son flujos masivos o canalizados de fragmentos y escombros de regular magnitud. Frecuentemente ocurren en laderas de fuerte pendiente, por efecto combinado de la gravedad y la precipitación que ocasionan la pérdida de cohesión interna del suelo, conduciéndolo de estado plástico a líquido y haciendo que se desplace y deposite en forma de abanico o mantos en la parte baja de las laderas o cauces de quebradas, donde alcanzan mayores velocidades y por tanto mayor fuerza de arrastre. Ejemplos de procesos de este tipo los observamos en las quebradas Palma Izquierda, La Capilla, Ocorure, Palma de Lara del distrito de Huarochirí. [8]

Peligros por fenómenos hidrometeorológicos

Aquí tomaremos en cuenta, las lluvias intensas, las inundaciones, las granizadas, los fenómenos del niño y erosión.

Inundación

Una inundación es un proceso geohidrológico, provocado por el régimen de descargas de un río, que presenta crecientes en épocas de lluvias. Las zonas más afectadas son las terrazas fluviales y/o aluviales que no son lo suficientemente altas para proteger las riberas de los ríos. En la cuenca del río Lurín se ha observado vestigios de inundación en los distritos de Pachacamac (foto 3) Cieneguilla (Lima) y Antioquia (Huarochirí).

Erosión

En la cuenca del río Lurín es frecuente la generación de procesos de erosión de laderas y la erosión fluvial. La primera se manifiesta a manera de surcos y cárcavas en laderas de valle, altiplanicies y montañas. Comienzan con canales muy delgados y profundidades menores a 1 m, que a medida que persiste la erosión, pueden profundizarse a decenas de metros. Este fenómeno sucede por infiltración de precipitaciones pluviales en suelos sueltos y desprovistos de vegetación. Es perjudicial para la agricultura, el paisaje y puede llegar a afectar carreteras, caminos de herradura y canales. Un ejemplo típico de este proceso se observa en la margen izquierda del río Canchahuara en el distrito y provincia de Huarochirí.

El segundo tipo de erosión fluvial, es debido a que el río Lurín es de régimen irregular, en épocas de creciente incrementa su caudal con el consiguiente arrastre de material que actúa como agente erosivo de sus riberas. Esto ocurre mayormente en zonas de mayor velocidad de circulación, meandros y zonas con presencia de rocas de menor resistencia. Este proceso puede afectar puentes, carreteras, infraestructura de riego como bocatomas y canales. [8]

Identificación y caracterización de los Peligros

Para realizar la identificación de los peligros en la zona de la investigación hemos recurrido a los antecedentes de fenómenos hidrometeorológicos y de geodinámica externa registrados por la Municipalidad Metropolitana de Lima y por el INGEMMET principalmente, que a continuación presentamos:

En primer lugar, el Estudio Geodinámico de futuras áreas de Expansión Urbana de Lima y Cañete desarrollado por el INGEMMET en el año 1996, donde se menciona que : El estudio de la geomorfología de la cuenca es importante para la evaluación y análisis de las amenazas geológicas, y es útil para una adecuada planificación de áreas urbanas y rurales, zonas turísticas, centros poblados y recreacionales, así como la explotación de materiales de construcción, planificación de defensas y trabajos multisectoriales para el manejo integral de la cuenca. [18]

TABLA XII
AMENAZAS GEOLOGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

1	Centros poblados	Amenaza geológica
	Cruz de Laya	
	La Pampilla	
	Cochahuayco	Huaycos en épocas de fuertes precipitaciones pluviales
	Antioquía	
	Ocorure	
	Chilaco Chico	
2	Infraestructura Vial	Amenaza Geológica
	Tramo carretero entre el Puente Chontay y Cruz de Laya	Huaycos, desprendimientos de rocas y derrumbes en épocas de precipitaciones pluviales
Vías	Tramos críticos	Amenaza geológica
	Puente Chontay	Erosión fluvial, desprendimiento de rocas
	Avivay km 41.4	Erosión fluvial, derrumbes
	Sisicaya kms 44.4 y 46.3	Erosión fluvial
Lurín - Cruz de Laya	Antapucro km 48.6	Erosión fluvial
	Chilaco Chico km 51 y 51.2	Erosión fluvial, inundación, derrumbes
	Ocurire km 57.1 al 57.6	Erosión fluvial, huayco
	Palma Derecha km 59.6, 60.3 y 60.6	Erosión fluvial, derrumbes, inundaciones y huayco

Nota. Información extraída del Estudio de INGEMMET [18]

En segundo lugar, se muestra un extracto de los cuadros del Capítulo Identificación de Peligros según su origen en Lima Metropolitana, publicado en el Plan de Prevención para reducción de riesgo de desastres 2019-2022, [10]. Donde se

identifican para las zonas involucradas, peligros de origen natural tales como deslizamientos, huaycos, derrumbes e inundaciones.

Tabla XIII
Zonas identificadas con peligros de origen natural

Distritos	De origen natural						Inducidos	
	Sismo	Tsunami	Deslizamiento	Huayco	Derrumbe	Inundación	Incendio	Material peligroso
1. Cieneguilla	X		X	X	X	X	X	X
2. Lurín	X	X			X	X	X	X
3. Pachacamac	X				X	X	X	X

Nota. Información publicada en el Plan de la MML y extraída de SINPAD [10]

Tabla XIV
Zonas identificadas con peligros de origen natural

Distritos	Códigos/fichas	Flujo de detritos	Flujos lodos	Inundación	Inundación y erosión	Erosión de riberas
1. Cieneguilla	086, 087, 088, 089, 090, 091, 092, 093, 094			2	7	
2. Lurín	060, 061, 062, 063			4		
3. Pachacamac	064, 065, 066, 067			3	1	

Nota. Información publicada en el Plan de la MML y extraída de los trabajos de campo [10]

En tercer lugar, de la información extraída del Informe técnico N° A6647 de INGEMMET [8] titulado: Reporte de Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geo Hidrológicos en la cuenca del río Lurín, como resultado de las investigaciones desarrolladas entre los años 2008 al 2010, se presenta el siguiente cuadro:

Tabla XV
Zonas críticas en la provincia de Huarochirí y Lima

No.	Cód. BD GR	Distrito	Zona	Peligro
1	HCR 196*	Antioquía	Villa Pampilla/Qda. Huariaco	Flujo de dretitos
2	LUR 029*/LUR 030*	Antioquía	Cochahuayco	Flujo de dretitos
3	LUR 124*	Antioquía	Cerro La Mina Qda. Chamacha	Derrumbe/Erosión de laderas/flujo de detritos
4	LUR 034*/LUR 131*	Antioquía	Km 62 al 64 Cieneguilla - Antioquía	Inundación fluvial/Flujo de detritos/ Derrumbe
5	LUR 122*/LUR 123*	Antioquía	Km 59 al 61 Cieneguilla - Antioquía	Caída/Derrumbe
6	LUR 126*	Antioquía	Ocorure	Erosión fluvial/Flujo de detritos
7	LUR 133*/LUR 127*	Antioquía	Qda. Capilla/ Chillaco Chico	Flujo de detritos/Erosión fluvial
8	LUR 129*	Antioquía	Antapucro/ Qda. Chamallanca	Flujo de dretitos
9	LUR 125*	Antioquía	Puente Chacra Alta	Erosión fluvial
10	LUR 062*	Cieneguilla	Qda. Tinajas	Flujo de detritos/Caída de rocas
11	LUR 057*	Cieneguilla	Fundo Molle	Erosión fluvial/ Inundación
12	154641281	Lurín	Sector Oasis	Erosión fluvial/ Inundación
13	154631221	Lurín	AH Víctor Raúl/ Moras de Lurín	Derrumbe/ Asentamiento
14	154641245	Pachacamac	Qda. Tambo Inga	Flujo de detritos
14	154641240	Pachacamac	Qda. Golondrina	Flujo de detritos

3.1.5.2 Susceptibilidad del territorio

La metodología utilizada para la evaluación del peligro es el procedimiento de análisis jerárquico mencionado en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales – 2da edición [15]. En esa medida, a continuación, se desarrollaron las matrices de comparación de pares, la matriz de normalización, de índice de consistencia de pesos ponderados de cada parámetro, etc. En base a la tabla desarrollado por Saaty que presentamos en los anexos.

Por lo tanto, para la evaluación de la susceptibilidad en la delimitación del escenario de riesgo esta se enmarca dentro del ámbito de la carretera Puente Chontay – Antioquia.

De acuerdo a este criterio, aquellas franjas de terreno que quedan rápidamente bajo las aguas de inundación corresponderían a áreas de mayor susceptibilidad hídrica, en tanto que aquellas que no resulten invadidas representarían a áreas de menor susceptibilidad hídrica.

El análisis de susceptibilidad se realiza a través de la evaluación de los factores desencadenantes, que son parámetros que detonan el fenómeno y pueden generar peligros, como en este caso las precipitaciones anómalas. Por otro lado, se analizan

los factores condicionantes, que son propios del ámbito geográfico y contribuyen a la efectivización del fenómeno natural.

Tabla XVI
Factores de la susceptibilidad

Factor desencadenante	Factores condicionantes		
Precipitaciones anómalas	Geomorfología	Pendiente	Geología

Análisis del factor desencadenante

Para la obtención de los pesos ponderados del factor desencadenante, se aplicó el proceso de análisis jerárquico [15], calculándose la matriz de comparación de pares y la matriz de normalización y con ello los pesos y los índices respectivos.

Tabla XVII
Matriz de comparación de pares para la precipitación anómalas

Parámetro	Mayor P90	P70 - P90	P50 - P70	P30 - P50	Menor P30
Mayor P90	1.000	2.000	4.000	5.882	9.091
P70 - P90	0.500	1.000	42.500	4.000	7.692
P50 - P70	0.250	0.400	1.000	3.333	6.667
P30 - P50	0.170	0.250	0.300	1.000	5.882
Menor P30	0.110	0.130	0.150	0.170	1.000
Suma	2.030	3.780	7.950	14.386	30.332
1/Suma	0.493	0.265	0.126	0.070	0.033

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para el parámetro de Precipitaciones anómalas, que a continuación presentamos:

$$IC = 0.0822$$

$$RC = IC/IA = 0.0737$$

Análisis de los factores condicionantes

Para la obtención de los pesos ponderados de los factores condicionantes, se aplicó el proceso de análisis jerárquico [12], calculándose la matriz de comparación de pares y la matriz de normalización y con ello los pesos y los índices respectivos.

A.- GEOMORFOLOGIA

Para el cálculo de los pesos ponderados, se tomó en cuenta las unidades y características geomorfológicas del estudio de INGEMMET [18], donde se identifican los siguientes parámetros (descriptores):

- a) Zona de glaciares
- b) Zona de altiplanicie

- c) Zona de valle de río y quebradas
- d) Zona de estribaciones de cordillera
- e) Zona de pampa costera

Tabla XVIII
Matriz de comparación de pares para la geomorfología

Parámetro	Zona de glaciares	Altiplanicie	Valle de río y quebradas	Estribaciones cordillera	Pampa costera
Zona de glaciares	1.000	1.429	2.000	4.000	9.091
Altiplanicie	0.700	1.000	2.500	4.000	7.692
Valle de río y quebradas	0.500	0.400	1.000	3.333	6.667
Estribaciones cordillera	0.250	0.250	0.300	1.000	6.667
Pampa costera	0.110	0.130	0.150	0.150	1.000
Suma	2.560	3.209	5.950	12.483	31.117
1/Suma	0.391	0.312	0.168	0.080	0.032

Tabla XIX
Matriz de normalización de pares para la precipitación

Parámetro	Zona de glaciares	Altiplanicie	Valle de río y quebradas	Estribaciones cordillera	Pampa costera	Vector de priorización
Zona de glaciares	0.391	0.445	0.336	0.320	0.292	0.357
Altiplanicie	0.273	0.312	0.420	0.320	0.247	0.315
Valle de río y quebradas	0.195	0.125	0.168	0.267	0.214	0.194
Estribaciones cordillera	0.098	0.078	0.050	0.080	0.214	0.104
Pampa costera	0.043	0.041	0.025	0.012	0.032	0.031
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para el parámetro de Geomorfología, que a continuación presentamos:

$$IC = 0.0660$$

$$RC = IC/IA = 0.0592$$

B.- PENDIENTE

En lo que se refiere a la pendiente, se tomó como referencia el rango de pendientes del Estudio hidrológico de la cuenca río Lurín elaborado por el ANA [13].

Tabla XX

Matriz de comparación de pares para la pendiente

Parámetro	Mayor 30°	20° - 30°	10° - 20°	5° - 10°	Menor 5°
Mayor 30°	1.000	2.000	2.500	3.030	9.091
20° - 30°	0.500	1.000	2.500	2.857	7.692
10° - 20°	0.400	0.400	1.000	2.000	6.667
5° - 10°	0.330	0.350	0.500	1.000	5.556
Menor 5°	0.110	0.130	0.150	0.180	1.000
Suma	2.340	3.880	6.650	9.067	30.005
1/Suma	0.427	0.258	0.150	0.110	0.033

Tabla XXI

Matriz de normalización de pares para la pendiente

Parámetro	Mayor 30°	20° - 30°	10° - 20°	5° - 10°	Menor 5°	Vector de priorización
Mayor 30°	0.427	0.515	0.376	0.334	0.303	0.391
20° - 30°	0.214	0.258	0.376	0.315	0.256	0.284
10° - 20°	0.171	0.103	0.150	0.221	0.222	0.173
5° - 10°	0.141	0.090	0.075	0.110	0.185	0.120
Menor 5°	0.047	0.034	0.023	0.020	0.033	0.031
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para el parámetro de Pendiente, que a continuación presentamos:

$$IC = 0.0392$$

$$RC = IC/IA = 0.0351$$

C.- GEOLOGIA

Para el cálculo de los pesos ponderados, se tomó en cuenta las unidades y características litológicas superficiales del estudio de INGEMMET [18], donde se identifican los siguientes parámetros (descriptores):

- a) Depósitos glaciares
- b) Depósitos flujoglaciares
- c) Depósitos aluviales
- d) Depósitos eólicos
- e) Depósitos coluviales

Tabla XXII

Matriz de comparación de pares para la geología

Parámetro	Depósitos glaciares	Depósitos flujoglaciares	Depósitos aluviales	Depósitos eólicos
Depósitos glaciares	1.000	2.000	3.030	5.882
Depósitos flujoglaciares	0.500	1.000	2.500	5.000
Depósitos aluviales	0.330	0.400	1.000	4.000
Depósitos eólicos	0.170	0.200	0.250	1.000
Depósitos coluviales	0.110	0.130	0.150	0.170
Suma	2.110	3.730	6.930	16.052
1/Suma	0.047	0.268	0.144	0.062

Tabla XXIII

Matriz de normalización de pares para la geología

Parámetro	Depósitos glaciares	Depósitos flujoglaciares	Depósitos aluviales	Depósitos eólicos	Depósitos coluviales	Vector de priorización
Depósitos glaciares	0.474	0.536	0.437	0.366	0.3	0.423
Depósitos flujoglaciares	0.237	0.268	0.361	0.311	0.254	0.286
Depósitos aluviales	0.156	0.107	0.144	0.249	0.22	0.175
Depósitos eólicos	0.081	0.054	0.036	0.062	0.194	0.085
Depósitos coluviales	0.052	0.035	0.022	0.011	0.033	0.03
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para el parámetro de Geología, que a continuación presentamos:

$$IC = 0.0900$$

$$RC = IC/IA = 0.0807$$

D.- PESOS DE FACTORES CONDICIONANTES

Determina la participación de cada uno de los factores condicionantes en el peligro:

Tabla XXIV

Matriz de comparación de pares para los factores condicionantes

Parámetro	Geomorfología	Pendiente	Geología
Geomorfología	1.000	1.250	4.000
Pendiente	0.800	1.000	1.250
Geología	0.250	0.800	1.000
Suma	2.050	3.050	6.250
1/Suma	0.488	0.328	0.160

Tabla XXV

Matriz de normalización de pares para los factores condicionantes				
Parámetro	Geomorfología	Pendiente	Geología	Vector de priorización
Geomorfología	0.488	0.410	0.640	0.513
Pendiente	0.390	0.328	0.200	0.306
Geología	0.122	0.262	0.160	0.181
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para los factores condicionantes, que a continuación presentamos:

$$IC = 0.0498$$

$$RC = IC/IA = 0.0447$$

Análisis del factor de evaluación

Para determinar el factor de evaluación, se tomó como parámetro la frecuencia o recurrencia del fenómeno a través del Periodo de Retorno (T) de las precipitaciones anómalas. En esa medida, asumiendo las obras hidráulicas viales y la vida útil de estas obras se definieron los descriptores a los periodos de retorno de 100, 50, 25, 10 y 5 años.

Tabla XXVI

Matriz de comparación de pares para la frecuencia					
Parámetro	T=100 años	T=50 años	T=25 años	T=10 años	T=5 años
T=100 años	1.000	3.030	4.000	5.000	7.143
T=50 años	0.330	1.000	3.030	4.000	5.000
T=25 años	0.250	0.363	1.000	3.030	4.000
T=10 años	0.200	0.250	0.330	1.000	3.030
T=5 años	0.140	0.200	0.250	0.330	1.000
Suma	1.920	4.810	9.610	13.360	20.173
1/Suma	0.521	0.208	0.116	0.075	0.050

Tabla XXVII

Matriz de normalización de pares para la frecuencia						
Parámetro	T=100 años	T=50 años	T=25 años	T=10 años	T=5 años	Vector de priorización
T=100 años	0.521	0.630	0.465	0.374	0.354	0.469
T=50 años	0.172	0.208	0.352	0.299	0.248	0.256
T=25 años	0.130	0.069	0.116	0.227	0.198	0.148
T=10 años	0.104	0.052	0.038	0.075	0.150	0.084
T=5 años	0.073	0.042	0.029	0.025	0.050	0.044
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Con estos datos se determinó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) para el parámetro de Frecuencia o Periodo de Retorno (T), como sigue:

$$IC = 0.0728$$

$$RC = IC/IA = 0.0653$$

3.1.5.3 Niveles de peligrosidad

La determinación de los niveles de peligrosidad de un fenómeno natural, se realiza a través de la determinación de niveles e intensidades de parámetros generales, el número y la complejidad del parámetro depende del nivel de detalle del estudio. También nos muestra las formas particulares como se manifiestan los distintos fenómenos naturales dentro del área de estudio, por eso es que se basan principalmente en las evaluaciones de entidades especializadas que se toman como base para determinar los pesos de cada uno de los parámetros vinculados al registro y medición de los fenómenos naturales, en este caso hidrometeorológicos, ya que a partir de este punto la evaluación se centró en uno de los fenómenos hidrometeorológicos como es las inundaciones, tomando en cuenta la identificación de casos críticos. Todo ello, se realizó mediante los factores desencadenante y condicionantes, así como con los descriptores de cada uno de ellos, con los pesos identificados se calculó los rangos de peligrosidad.

Tabla XXVIII
Cálculo de los niveles de peligro

	Parámetro de evaluación	Factores condicionantes			Factores desencadenantes	Valor peligro
Peso	1	0.513	0.306	0.181	1	
Descriptor	Frecuencia	Geomorfología	Pendiente	Geología	Precipitación	
D1	0.469	0.357	0.391	0.423	0.447	0.432
D2	0.256	0.315	0.284	0.286	0.271	0.276
D3	0.148	0.194	0.173	0.175	0.161	0.164
D4	0.084	0.104	0.120	0.085	0.090	0.093
D5	0.044	0.031	0.031	0.030	0.030	0.035

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

Tabla XXIX
Niveles de peligro ante inundación

Nivel de peligro	Rango		
Muy alto	0.276	< P ≤	0.432
Alto	0.164	< P ≤	0.276
Medio	0.093	< P ≤	0.164
Bajo	0.035	< P ≤	0.093

Estratificación del nivel del peligro

Efectuando el análisis de los factores condicionantes y desencadenantes, así como el parámetro de evaluación, se obtuvo la matriz de los niveles de peligro.

NIVEL DE PELIGRO	DESCRIPCION	RANGOS
PELIGRO MUY ALTO	Precipitaciones mayores a P90, es decir superiores a 90mm o extremadamente lluvioso; geomorfología desde zona caracterizada por cerros de topografía abrupta hasta un relieve moderado con topografía fluvio-glaciaria, integrado por pampas, colinas y cadena de cerros en nacientes de ríos y quebradas; presenta una pendiente desde 20° hasta mayores a 30°; con una geología de bloques, gravas y cantos sub angulosos, limo arcillosa arenosa, buena compactación y permeabilidad baja hasta cantos, gravas y bloques subredondeados con matriz arena limo arcillosa, mediana a bien compactado, permeabilidad media a baja. En periodos de retorno mayores de 50 años y hasta 100 años.	0.276 < P < 0.432
PELIGRO ALTO	Precipitaciones entre el percentil P50 a P70mm o muy lluvioso; geomorfología corresponde a valles y quebradas tributarias, con topografía muy variada de llana a abrupta, ocupa gran parte de la cuenca, aquí se producen la mayoría de fenómenos de geodinámica externa; presenta una pendiente entre 10° a 20°; con una geología de bloques, cantos, gravas con relleno arenoso limoso, poco a medianamente compactos, forman terrazas en el lecho y buen material de fundación, con periodos de retorno superiores a 25 años y menores de 50 años.	0.164 < P < 0.276
PELIGRO MEDIO	Precipitaciones entre el percentil P30 a P50mm o lluvioso; geomorfología de cerros y colinas aisladas que se levantan bruscamente sobre la pampa costera; presenta una pendiente entre 5° a 10°; con una geología de acumulaciones de arena transportadas por el viento, de espesor variable que recubren suelos y rocas, muy permeable, su uso como material de construcción y fundación es dudoso. Con periodos de retorno mayores de 10 años y menores de 25 años.	0.093 < P < 0.164
PELIGRO BAJO	Precipitaciones menores a P30mm o escasamente a levemente lluvioso; geomorfología de llanura aluvial, constituye superficies áridas de morfología plana a moderada. El cono de deyección constituye el área agrícola limitada por terrazas; presenta pendientes menores a 5°; con una geología de mezcla de bloques y gravas angulosas con relleno de arena y finos, poco compactos, permeabilidad media a alta. Con periodos de retorno mayores de 5 años y menores de 10 años.	0.035 < P < 0.093

Fig. 14. Matriz de Peligros

3.1.6 Análisis de vulnerabilidad de la carretera

Según el manual de CENEPRED, en el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM) se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. [15]

Para analizar la vulnerabilidad de los elementos expuestos en la carretera Puente Chontay – Antioquia, se ha trabajado de manera semi cuantitativa, es decir utilizando los datos e información de estudios e investigaciones anteriores, así como con las verificaciones de campo realizadas para la presente investigación.

Para determinar los niveles de vulnerabilidad en el área de influencia de la inundación fluvial señalada como punto crítico en forma académica, se ha considerado analizar los

factores de vulnerabilidad desde la dimensión social, económica y ambiental, utilizando los parámetros y descriptores del factor más significativo y/o priorizado en la presente investigación.

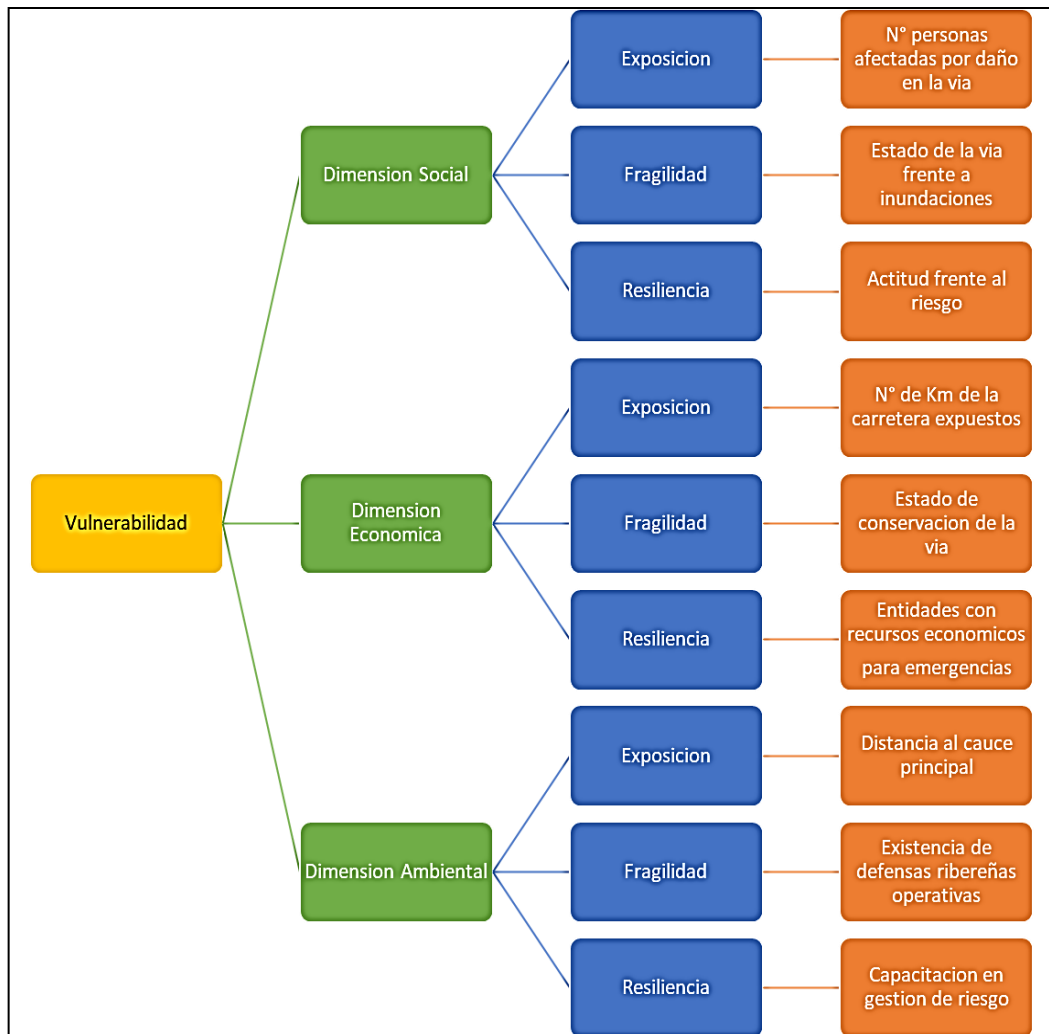


Fig. 15. Niveles de análisis de la Vulnerabilidad

3.1.6.1 Análisis de los factores de la Dimensión Social de la vulnerabilidad

En el gráfico de la fig.16 se muestran los parámetros de la dimensión social y sus respectivos factores, con los cuales se han determinado las matrices de comparación entre la exposición, fragilidad y resiliencia, así mismo las matrices de comparación y normalización de pares para los factores: Número de personas afectadas por daño de la vía, estado de obras de protección de vía frente a inundaciones y actitud frente al riesgo.

A.- Parámetros de la Dimensión Social

Tabla XXX

Matriz de comparación de pares para dimensión social

Parámetro	Exposición social	Fragilidad social	Resiliencia social
Exposición social	1.000	2.000	3.030
Fragilidad social	0.500	1.000	2.000
Resiliencia social	0.330	0.500	1.000
Suma	1.830	3.500	6.030
1/Suma	0.546	0.286	0.166

Tabla XXXI

Matriz de normalización para dimensión social

Parámetro	Exposición social	Fragilidad social	Resiliencia social	Vector de priorización
Exposición social	0.546	0.571	0.503	0.540
Fragilidad social	0.273	0.286	0.332	0.297
Resiliencia social	0.180	0.143	0.166	0.163
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro dimensión social:

$$IC = 0.0043$$

$$RC = IC/IA = 0.0082$$

B.- Factores de cada uno de los parámetros de la Dimensión Social

a) Exposición Social: N° personas afectadas por daño a la vía.

Tabla XXXII

Matriz de comparación de pares para el N° de personas afectadas por daño a la vía

Parámetro	Más de 1000 hab	De 200 a 1000 hab	Menor a 200 hab
Más de 1000 hab	1.000	2.000	5.000
De 200 a 1000 hab	0.500	1.000	3.030
Menor a 200 hab	0.200	0.330	1.000
Suma	1.700	3.330	9.030
1/Suma	0.588	0.300	0.111

Tabla XXXIII

Matriz de normalización para el N° personas afectadas por daño a la vía

Parámetro	Más de 1000 hab	De 200 a 1000 hab	Menor a 200 hab	Vector de priorización
Más de 1000 hab	0.588	0.601	0.554	0.581
De 200 a 1000 hab	0.294	0.300	0.336	0.310
Menor a 200 hab	0.118	0.099	0.111	0.109
Suma	1.700	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro exposición social:

$$IC = 0.0021$$

$$RC = IC/IA = 0.0039$$

b) Fragilidad Social: Estado de la vía frente a inundaciones (obras de protección).

Tabla XXXV

Matriz de comparación de pares para el estado de la vía frente a inundaciones

Parámetro	Malo	Regular	Bueno
Malo	1.000	2.000	5.000
Regular	0.500	1.000	3.030
Bueno	0.200	0.330	1.000
Suma	1.700	3.330	9.030
1/Suma	0.588	0.300	0.111

Cuenta con obras de drenaje y obras de protección

Tabla XXXVI

Matriz de normalización para el estado de la vía frente a inundaciones

Parámetro	Malo	Regular	Bueno	Vector de priorización
Malo	0.588	0.601	0.544	0.581
Regular	0.294	0.300	0.336	0.310
Bueno	0.118	0.099	0.111	0.109
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro fragilidad social:

$$IC = 0.0021$$

$$RC = IC/IA = 0.0039$$

C) Resiliencia Social: Actitud frente al riesgo.

Tabla XXXVII

Matriz de comparación de pares para el estado de actitud frente al riesgo

Parámetro	Fatalista	Conservadora	Previsionista
Fatalista	1.000	2.000	4.000
Conservadora	0.500	1.000	2.500
Previsionista	0.250	0.400	1.000
Suma	1.750	3.400	7.500
1/Suma	0.571	0.294	0.133

Tabla XXXVIII

Matriz de normalización para el estado de actitud frente al riesgo

Parámetro	Fatalista	Conservadora	Previsionista	Vector de priorización
Fatalista	0.571	0.588	0.533	0.564
Conservadora	0.286	0.294	0.333	0.304
Previsionista	0.143	0.118	0.133	0.131
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro resiliencia social:

$$IC = 0.0028$$

$$RC = IC/IA = 0.0053$$

3.1.6.2 Análisis de los factores de la Dimensión Económica de la vulnerabilidad

En el gráfico de la fig.16 se muestran los parámetros de la dimensión económica y sus respectivos factores, con los cuales se han determinado las matrices de comparación entre la exposición, fragilidad y resiliencia, así mismo las matrices de comparación y normalización de pares para los factores: Número de kilómetros de la carretera expuestos, estado de conservación general de la vía y entidades con recursos para emergencias.

A.- Parámetros de la Dimensión Económica

Tabla XXXIX

Matriz de comparación de pares para dimensión económica

Parámetro	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1.000	1.250	4.000
Fragilidad	0.800	1.000	1.250
Resiliencia	0.250	0.800	1.000
Suma	2.050	3.050	6.250
1/Suma	0.488	0.328	0.160

Tabla XXXX

Matriz de normalización para dimensión económica

Parámetro	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector de priorización
Exposición	0.488	0.410	0.640	0.513
Fragilidad	0.390	0.328	0.200	0.306
Resiliencia	0.122	0.262	0.160	0.181
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro de dimensión económica:

$$IC = 0.0498$$

$$RC = IC/IA = 0.0949$$

B.- Factores de cada uno de los parámetros de la Dimensión Económica

a) Exposición Económica: N° de kilómetros de carretera expuestos.

Tabla XXXXI

Matriz de comparación de pares para el N° de kms de carretera expuestos

Parámetro	Más de 25 km	de 10 a 25 km	Menos de 10 km
Más de 25 km	1.000	1.429	5.000
de 10 a 25 km	0.700	1.000	3.030
Menos de 10 km	0.200	0.330	1.000
Suma	1.900	2.759	9.030
1/Suma	0.526	0.363	0.111

Tabla XXXXII

Matriz de normalización para el N° de kms de carretera expuestos

Parámetro	Más de 25 km	de 10 a 25 km	Menos de 10 km	Vector de priorización
Más de 25 km	0.526	0.518	0.554	0.533
de 10 a 25 km	0.368	0.363	0.336	0.355
Menos de 10 km	0.105	0.120	0.111	0.112
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro de exposición económica:

$$IC = 0.0012$$

$$RC = IC/IA = 0.0022$$

b) Fragilidad Económica: Estado general de conservación de la vía.

Tabla XXXXIII

Matriz de comparación de pares para el estado de conservación de la vía

Parámetro	Malo	Regular	Bueno
Malo	1.000	1.250	4.000
Regular	0.800	1.000	1.250
Bueno	0.250	0.800	1.000
Suma	2.050	3.050	6.250
1/Suma	0.488	0.328	0.160

Se refiere al estado general del pavimento y sus componentes

Tabla XXXXIV

Matriz de normalización para el estado de conservación de la vía

Parámetro	Malo	Regular	Bueno	Vector de priorización
Malo	0.488	0.410	0.640	0.513
Regular	0.390	0.328	0.200	0.306
Bueno	0.122	0.262	0.160	0.181
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro fragilidad económica:

$$IC = 0.0498$$

$$RC = IC/IA = 0.0949$$

C) Resiliencia Económica: Entidades con recursos para emergencias.

Tabla XXXXV

Matriz de comparación de pares para entidades con recursos para emergencias

Parámetro	Gobierno local	Gobierno regional	Gobierno nacional
Gobierno local	1.000	2.000	4.000
Gobierno regional	0.500	1.000	3.030
Gobierno nacional	0.250	0.330	1.000
Suma	1.750	3.330	8.030
1/Suma	0.571	0.300	0.125

Tabla XXXXVI

Matriz de normalización para entidades con recursos para emergencias

Parámetro	Gobierno local	Gobierno regional	Gobierno nacional	Vector de priorización
Gobierno local	0.571	0.601	0.498	0.557
Gobierno regional	0.286	0.300	0.377	0.321
Gobierno nacional	0.143	0.099	0.125	0.122
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro resiliencia económica:

$$IC = 0.0096$$

$$RC = IC/IA = 0.0183$$

3.1.6.3 Análisis de los factores de Dimensión Ambiental de la vulnerabilidad

En el gráfico de la fig.16 se muestran los parámetros de la dimensión ambiental y sus respectivos factores, con los cuales se han determinado las matrices de comparación entre la exposición, fragilidad y resiliencia, así mismo las matrices de comparación y normalización de pares para los factores: Distancia al cauce principal, existencia de defensas ribereñas operativas y conocimiento en temas ambientales.

A.- Parámetros de la Dimensión Ambiental

Tabla XXXXVII

Matriz de comparación de pares para dimensión ambiental

Parámetro	Exposición ambiental	Fragilidad ambiental	Resiliencia ambiental
Exposición ambiental	1.000	2.000	4.000
Fragilidad ambiental	0.500	1.000	3.030
Resiliencia ambiental	0.250	0.330	1.000
Suma	1.750	3.330	9.030
1/Suma	0.588	0.300	0.111

Tabla XXXXVIII

Matriz de normalización para dimensión ambiental

Parámetro	Exposición ambiental	Fragilidad ambiental	Resiliencia ambiental	Vector de priorización
Exposición ambiental	0.588	0.601	0.554	0.581
Fragilidad ambiental	0.294	0.300	0.336	0.310
Resiliencia ambiental	0.118	0.099	0.111	0.109
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro de dimensión ambiental:

$$IC = 0.0021$$

$$RC = IC/IA = 0.0039$$

B.- Factores de cada uno de los parámetros de la Dimensión Ambiental

a) Exposición Ambiental: Distancia al cauce principal.

Tabla XXXXIX

Matriz de comparación de pares para la distancia al cauce principal

Parámetro	Menor a 100 m	De 100 a 500 m	Mayor a 500 m
Menor a 100 m	1.000	1.250	4.000
De 100 a 500 m	0.800	1.000	1.250
Mayor a 500 m	0.250	0.800	1.000
Suma	2.050	3.050	6.250
1/Suma	0.488	0.328	0.160

Tabla L

Matriz de normalización para la distancia al cauce principal

Parámetro	Menor a 100 m	De 100 a 500 m	Mayor a 500 m	Vector de priorización
Menor a 100 m	0.488	0.410	0.640	0.513
De 100 a 500 m	0.390	0.328	0.200	0.306
Mayor a 500 m	0.122	0.262	0.160	0.181
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro de exposición ambiental:

$$IC = 0.0498$$

$$RC = IC/IA = 0.0949$$

b) Fragilidad Ambiental: Existencia de defensas ribereñas operativas.

Tabla LI

Matriz de comparación de pares para la existencia defensas ribereñas operativas

Parámetro	Existen pocas	Existe regular número	Existen en gran número
Existen pocas	1.000	2.000	4.000
Existe regular número	0.500	1.000	1.250
Existen en gran número	0.250	0.800	1.000
Suma	1.750	3.800	6.250
1/Suma	0.571	0.263	0.160

Tabla LII

Matriz de normalización para la existencia defensas ribereñas operativas

Parámetro	Existen pocas	Existe regular número	Existen en gran número	Vector de priorización
Existen pocas	0.571	0.526	0.640	0.579
Existe regular número	0.286	0.263	0.200	0.250
Existen en gran número	0.143	0.211	0.160	0.171
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro fragilidad ambiental:

$$IC = 0.0123$$

$$RC = IC/IA = 0.0235$$

c) Resiliencia Ambiental: Conocimiento de temas ambientales.

Tabla LIII

Matriz de comparación de pares para el conocimiento en temas ambientales

Parámetro	Sin conocimiento en temas ambientales	Conocimiento limitado en temas ambientales	Con conocimientos en temas ambientales
Sin conocimiento en temas ambientales	1.000	2.000	5.000
Conocimiento limitado en temas ambientales	0.500	1.000	4.000
Con conocimientos en temas ambientales	0.200	0.250	1.000
Suma	1.700	3.250	10.000
1/Suma	0.588	0.308	0.100

Tabla LIV
Matriz de normalización para el conocimiento en temas ambientales

Parámetro	Sin conocimiento en temas ambientales	Conocimiento limitado en temas ambientales	Con conocimientos en temas ambientales	Vector de priorización
Sin conocimiento en temas ambientales	0.588	0.615	0.500	0.568
Conocimiento limitado en temas ambientales	0.294	0.308	4.000	0.334
Con conocimientos en temas ambientales	0.118	0.077	1.000	0.098
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro resiliencia ambiental:

$$IC = 0.0123$$

$$RC = IC/IA = 0.0235$$

3.1.6.4 Determinación de los niveles de vulnerabilidad

Priorización de las Dimensiones de la Vulnerabilidad

En las siguientes tablas se muestran los pesos de las distintas dimensiones:

Tabla LV
Matriz de comparación de pares para las dimensiones de la vulnerabilidad

Parámetro	Dimensión social	Dimensión económica	Dimensión ambiental
Dimensión social	1.000	2.000	4.000
Dimensión económica	0.500	1.000	3.030
Dimensión ambiental	0.250	0.330	1.000
Suma	1.750	3.330	8.030
1/Suma	0.571	0.300	0.125

Tabla LVI
Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

Parámetro	Dimensión social	Dimensión económica	Dimensión ambiental	Vector de priorización
Dimensión social	0.571	0.601	0.498	0.557
Dimensión económica	0.286	0.300	0.377	0.321
Dimensión ambiental	0.143	0.099	0.125	0.122
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000

Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del proceso de análisis jerárquico para el parámetro resiliencia ambiental:

$$IC = 0.0096$$

$$RC = IC/IA = 0.0183$$

Cálculo del nivel de Vulnerabilidad

Para el caso, se elaboró una matriz de doble entrada con una columna para los descriptores y en la fila los parámetros y factores de las dimensiones, donde se colocaron los valores de las priorizaciones de cada análisis jerárquico. Estos valores fueron ponderados por los pesos de los factores y de las dimensiones.

TABLA LVII
MATRIZ DE NORMALIZACIÓN PARA LAS DIMENSIONES DE LA VULNERABILIDAD

	Parámetro de evaluación			Factores condicionantes			Factores desencadenantes			Valor vulnerabilidad
Peso Dimensiones	0.557			0.321			0.122			
Peso Factores	0.54	0.297	0.163	0.513	0.306	0.181	0.581	0.310	0.109	
Descriptor	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	
D1	0.581	0.581	0.564	0.533	0.513	0.557	0.513	0.579	0.568	0.558
D2	0.31	0.31	0.304	0.355	0.306	0.321	0.306	0.250	0.334	0.315
D3	0.109	0.109	0.109	0.112	0.181	0.122	0.181	0.171	0.098	0.127

Con los valores finales de las vulnerabilidades se elaboró la tabla de estratificación de los niveles de la vulnerabilidad y la matriz de vulnerabilidad.

Tabla LVIII
Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

Nivel de vulnerabilidad	Rango		
Muy alta	0.558	< P ≤	1.000
Alta	0.315	< P ≤	0.558
Media	0.127	< P ≤	0.315
Baja	0.010	< P ≤	0.127

NIVEL DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION	RANGOS
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Mas de 1000 habitantes afectados por los daños en la via originados por la inundacion, con mal estado de las obras de arte y de proteccion y una actitud frente al rieso fatalista por parte de la poblacion y autoridades. Mas de 25 km de la carretera expuestos, en mal estado de conservacion general y solo con recursos para emergencia del gobierno local. Con una distancia al cauce principal menor a 100 metros, pocas defensas ribereñas operativas y sin conocimiento en temas ambientales.	0.558 < P < 1.000
VULNERABILIDAD ALTA	De 500 a 1000 habitantes afectados por los daños en la via originados por la inundacion, de regular a malo el estado de las obras de arte y de proteccion y una actitud fente al riesgo de conservadora a fatalista por parte de la poblacion y autoridades. De 20 a 25 km de la carretera expuestos, de regular a malo el estado de conservacion general y cuenta con algunos recursos para emergencias del gobierno regional ademas del gobierno local. Con una distancia al cauce principal entre 100 a 300 metros, algunas defensas ribereñas operativas y con limitados conocimiento en temas ambientales.	0.315 < P < 0.558
VULNERABILIDAD MEDIA	De 200 a 500 habitantes afectados por los daños en la via originados por la inundacion, de regular el estado de las obras de arte y de proteccion y una actitud frente al riesgo conservadora por parte de la poblacion y autoridades. De 10 a 20 km de la carretera expuestos, de regular estado de conservacion general y cuenta con recursos para emergencias del gobierno regional ademas del gobierno local. Con una distancia al cauce principal entre 300 y 500 metros, con regular numero de defensas ribereñas operativas y con regulares conocimiento en temas ambientales.	0.127 < P < 0.315
VULNERABILIDAD BAJA	Menor a 200 habitantes afectados por los daños en la via originados por la inundacion, cuenta con obras de arte y de proteccion en buen estado y una actitud frente al riesgo previsionista por parte de la poblacion y autoridades. Menos de 10 km de la carretera expuestos, en buen estado de conservacion general y cuenta con recursos para emergencias del gobierno nacional ademas del gobierno local. Con una distancia al cauce principal mayor a 500 metros, con un buen numero de defensas ribereñas operativas y con cuentan con conocimiento en temas ambientales.	0.010 < P < 0.127

Fig. 16. Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

3.1.7 Análisis del riesgo hidrológico e hidráulico

El riesgo de desastre según la ley 29664 es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro. Entonces metodológicamente el riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas al escenario de una probable inundación para precipitaciones anómalas superiores a 90mm.

3.1.7.1 Identificación de áreas de riesgo potencial

Los niveles de riesgo en las zonas afectadas por inundación, que han sido los escenarios que se han analizado desde los niveles de las amenazas y las vulnerabilidades, se determinan de acuerdo al producto de:

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

Pero como se tiene varios escenarios, se elaboró primero una matriz simplificada de niveles de riesgo, recomendada por el Manual de CENEPRED [15].

Tabla LIX
Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

Método Simplificado de Niveles de Riesgo					
PMA	0.432	0.055	0.136	0.241	0.432
PA	0.276	0.035	0.087	0.154	0.276
PM	0.164	0.021	0.052	0.092	0.164
PB	0.093	0.012	0.029	0.052	0.093
		0.123	0.304	0.538	0.965
		VB	VM	VA	VMA

Con estos valores se elabora la Matriz de estratificación de los riesgos por rangos:

Tabla LX
Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

Nivel de Riesgo	Rango		
Muy alto	0.558	$< P \leq$	1.000
Alto	0.315	$< P \leq$	0.558
Medio	0.127	$< P \leq$	0.315
Bajo	0.010	$< P \leq$	0.127

3.1.7.2 Matriz de riesgo hidrológico e hidráulico de la carretera

La matriz de riesgo hidrológico e hidráulico, describe en forma resumida la estratificación del riesgo en los puntos críticos de la carretera Puente Chontay – Antioquia. Lo cual es una adaptación al fenómeno natural hidrometeorológico.

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCION	RANGOS
RIESGO MUY ALTO	<p>Precipitaciones superiores a 90mm o extremadamente lluvioso; geomorfología con cerros de topografía abrupta hasta un relieve moderado, integrado por pampas, colinas y cadena de cerros en nacientes de ríos y quebradas; pendiente de 20° a más de 30°; geología de bloques, gravas y cantos sub angulosos, buena compactación y permeabilidad baja. Periodos de retorno > 50 años y hasta 100 años.</p> <p>Más de 1000 habitantes afectados por los daños en la vía originados por la inundación, con mal estado de las obras de protección y una actitud frente al riesgo fatalista. Más de 25 km de la carretera expuestos, en mal estado de conservación general y solo con recursos para emergencia del gobierno local. Distancia al cauce principal < a 100 m, pocas defensas ribereñas operativas y sin conocimiento en temas ambientales.</p>	0.154 < P < 0.432
RIESGO ALTO	<p>Precipitaciones entre P50 a P70mm o muy lluvioso; geomorfología con valles y quebradas tributarias, topografía muy variada de llana a abrupta, ocupa gran parte de la cuenca; presenta una pendiente entre 10° a 20°; con una geología de bloques, cantos, gravas con relleno arena limoso, poco a medianamente compactos, con periodos de retorno > 25 años y < 50 años.</p> <p>De 500 a 1000 habitantes afectados por los daños en la vía originados por la inundación, de regular a malo el estado de las obras de protección y una actitud frente al riesgo de conservadora a fatalista. De 20 a 25 km de la carretera expuestos, de regular a malo el estado de conservación general y cuenta con algunos recursos para emergencias del gobierno regional. Distancia al cauce principal entre 100 a 300 metros, algunas defensas ribereñas operativas y con limitado conocimiento en temas ambientales.</p>	0.035 < P < 0.154
RIESGO MEDIO	<p>Precipitaciones entre P30 a P50mm o lluvioso; geomorfología de cerros y colinas aisladas que se levantan bruscamente sobre la pampa costera; pendiente entre 5° a 10°; con una geología de acumulaciones de arena transportadas por el viento, que recubren suelos y rocas, muy permeable.</p> <p>Con periodos de retorno > 10 años y < 25 años.</p> <p>De 200 a 500 habitantes afectados por los daños en la vía originados por la inundación, de regular estado de las obras de protección y una actitud frente al riesgo conservadora. De 10 a 20 km de la carretera expuestos, de regular estado de conservación general y cuenta con recursos para emergencias del gobierno regional. Distancia al cauce principal entre 300 y 500 metros, con regular número de defensas ribereñas operativas y con regulares conocimientos en temas ambientales.</p>	0.012 < P < 0.052
RIESGO BAJO	<p>Precipitaciones menores a P30mm o escasamente lluvioso; geomorfología de llanura aluvial, constituye superficies áridas de morfología plana a moderada. El cono de deyección constituye el área agrícola; pendientes menores a 5°; con una geología de mezcla de bloques y gravas angulosas con relleno de arena y finos, poco compactos, permeabilidad media a alta. Periodos de retorno > 5 años y < 10 años.</p> <p>Menos de 200 habitantes afectados por los daños en la vía originados por la inundación, cuenta con obras de protección en buen estado y una actitud frente al riesgo previsionista. Menos de 10 km de la carretera expuestos, en buen estado de conservación general y cuenta con recursos para emergencias del gobierno nacional. Distancia al cauce principal mayor a 500 metros, buen número de defensas ribereñas operativas y con buenos conocimientos en temas ambientales.</p>	0.001 < P < 0.012

Fig. 17. Matriz de normalización para las dimensiones de la vulnerabilidad

3.2 Evaluación comparativa del riesgo hidrológico

Según CENEPRED [15], El riesgo, la prevención y reducción del riesgo de desastre son las principales condiciones para garantizar el desarrollo territorial sostenible como base para un crecimiento económico y el mejoramiento de la calidad de la vida de la población, y

constituyen aspectos fundamentales en los planes de zonificación y acondicionamiento territorial.

Desde ese punto de vista, identificar las zonas de muy alto riesgo sirve para planificar acciones de prevención basado en el criterio de la adaptabilidad a los fenómenos naturales anómalos estudiados.

Tomando en cuenta los resultados de los análisis de peligro, vulnerabilidad y riesgo realizados, se elaboró la matriz de niveles de riesgo en relación a las implicancias que podrían originarse en el ordenamiento vial.

LEYENDA	PERDIDAS Y DAÑOS PREVISIBLES EN LA CARRETERA Y AFINES	IMPLICANCIAS PARA EL ORDENAMIENTO VIAL
RIESGO ALTO NO MITIGABLE	Las personas y los vehículos están en peligro dentro del radio de 50m del cauce a desbordar. Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de grandes tramos de carretera, obras de drenaje y protección, incluso casas y áreas agrícolas e infraestructura vial. Los eventos se manifiestan con una intensidad fuerte, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, la carretera está en peligro incluye vehículos y personas.	Zona de prohibición, no apta para ubicación de infraestructura vial, probable tratamiento de obras de emergencia y defensas ribereñas. Prohibida toda edificación y si existen deben ser reubicadas
RIESGO MUY ALTO	Las personas están en peligro tanto dentro del radio de 100m del cauce a desbordar. Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de tramos de carretera, obras de drenaje, incluso casas y áreas agrícolas. Los eventos se manifiestan con una intensidad moderada, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, la carretera esta en peligro incluye vehículos y personas.	Zona de prohibición, de actividades económicas y sociales, puede haber infraestructura vial con restricciones y tratamiento con obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.
RIESGO ALTO	Las personas y los vehículos están en peligro dentro del radio de 200m del cauce a desbordar. Se pueden suscitar daños en tramos críticos de la carretera, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su funcionen adecuadamente las obras de drenaje y hayan sido adaptadas a las condiciones del lugar.	Zona a ser monitoreada, en la cual se puede permitir de manera restringida la infraestructura vial completa, siempre y cuando existan y se respeten reglas. Deben ser reforzadas, protegidas con obras adecuadas.
RIESGO MEDIO	El peligro para las personas y los vehículos es regular. La carretera puede sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños en los tramos críticos.	Zona de tratamiento, de funcionamiento regular de las vías de comunicación, los usuarios deben ser sensibilizados ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable.
RIESGO BAJO	El peligro para las personas, los vehículos y sus intereses económicos son de baja magnitud, con probabilidades de ocurrencia mínimas.	Zona de sensibilización, apta para todo tipo de infraestructura, en la cual los usuarios deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento ante la ocurrencia de dichos peligros.

Fig. 18. Matriz de Zonificación de Riesgos

Control del riesgo

De la tabla anterior, se identifican escenarios de riesgo extremos hasta de nivel bajo, esto demuestra que los riesgos tienen límites de control, es decir impactos que son tolerables y también impactos que están fuera del control y no es plausible de inversiones.

Según el Manual de CENEPRED, Esta etapa de medición, tiene como objetivo conceptualizar sobre la racionalidad de riesgos identificados, proceder a listarlos con el criterio de mayor a menor puntaje, con lo cual se dispondrá de una base para decidir sobre la prioridad de tratamiento. [15]

a) Valoración de consecuencias

Las consecuencias por el impacto de un fenómeno natural, como las precipitaciones anómalas que provocan las inundaciones, dentro del escenario de la carretera Puente Chontay–Antioquia, se consideran críticas (**Alta**), por lo cual, debe ser gestionado con apoyo externo al gobierno local a fin de mitigar y prevenir probables daños

VALOR	NIVELES	DESCRIPCION
4	Muy Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenomeno natural son catastroficas
3	Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenomeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo
2	Media	Las consecuencias debido al impacto de un fenomeno natural son gestionadas con los recursos disponibles
1	Baja	Las consecuencias debido al impacto de un fenomeno natural pueden ser gestionadas sin dificultad

Fig. 19. Niveles de Consecuencias

b) Valoración de la frecuencia de ocurrencias

En el peligro por inundación dentro del escenario de riesgo delimitado, la frecuencia del fenómeno dependerá mucho del periodo de retorno, observándose la recurrencia del fenómeno de los antecedentes estudiados, por lo tanto, esto podría ocurrir en periodos medianamente largos (**Alta**), debido a la variabilidad climática.

VALOR	PROBABILIDAD	DESCRIPCION
4	Muy Alta	Puede ocurrir en la mayoría de las circunstancias
3	Alta	Puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según circunstancias
2	Media	Puede ocurrir en periodos de tiempo largos según las circunstancias
1	Baja	Puede ocurrir en circunstancias excepcionales

Fig. 20. Probabilidad de Frecuencia de Ocurrencia

c) Nivel de consecuencias y daños

Del análisis en la matriz de consecuencias y daños, se obtiene como resultado el nivel es ALTO, que es el producto de la intersección de una consecuencia ALTA y frecuencia ALTA.

Consecuencias	Nivel	Zona de Consecuencias y Daños			
MUY ALTA	4	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta
ALTA	3	Media	Alta	Alta	Muy Alta
MEDIA	2	Media	Media	Alta	Alta
BAJA	1	Baja	Media	Media	Alta
	Nivel	1	2	3	4
	Frecuencia	Baja	Media	Alta	Muy alta

Fig. 21. Matriz de Consecuencias y Daños

d) Medidas cualitativas de consecuencias y daños

Las medidas a ser consideradas en concordancia al nivel de consecuencias y daños, entonces son del mismo nivel, es decir ALTA, y ello se identifica en el siguiente cuadro.

VALOR	DESCRIPTOR	DESCRIPCION
4	Muy Alta	Muerte de personas, enorme pérdida y bienes y financieros
3	Alta	Lesiones grandes en las personas, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieras importantes
2	Media	Requiere tratamiento médico en las personas, pérdidas de bienes y financieras altas
1	Baja	Tratamiento de primeros auxilios a las personas, pérdidas de bienes y financieras altas

Fig. 22. Medidas cualitativas de consecuencias y Daños

e) Aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo

Este nivel debe estar en correspondencia a las consecuencias y daños, por lo cual se identifica que la aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo ante lluvias anómalas que provocan inundaciones es de nivel 3: INACEPTABLE (ver tabla siguiente), es decir deben prepararse medidas inmediatas y prioritarias para el manejo de los riesgos identificados.

VALOR	DESCRIPTOR	DESCRIPCION
4	Inadmisible	Se debe aplicar inmediatamente medidas de control físico y de se posible transferir inmediatamente recursos económicos para reducir los riesgos.
3	Inaceptable	Se deben desarrollar actividades INMEDIATAS y PRIORITARIAS para el manejo de riesgos.
2	Tolerable	Se deben desarrollar actividades para el manejo de riesgos.
1	Aceptable	El riesgo no presenta un peligro significativo

Fig. 23. Aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo

f) Matriz de aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo

Se presenta a continuación la matriz de aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo

Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inadmisible	Riesgo Inadmisible
Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inadmisible
Riesgo Tolerable	Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable
Riesgo Aceptable	Riesgo Tolerable	Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable

Fig. 24. Matriz de Aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo

g) Priorización de la intervención

Del cuadro anterior se obtiene que el nivel de priorización es II, por ser un riesgo inaceptable, lo cual se convierte en la base para establecer las prioridades en acciones, proyectos e inversiones.

VALOR	DESCRIPTOR	NIVEL DE PRIORIZACION
4	Inadmisible	I
3	Inaceptable	II
2	Tolerable	III
1	Aceptable	IV

Fig. 25. Nivel de Priorización

3.3 Evaluación de la sostenibilidad en la carretera

La Administración Federal de Carreteras (FHWA) en Estados Unidos, define una carretera sostenible como la que satisface los requisitos funcionales del ciclo de vida del desarrollo social y el crecimiento económico, mientras se esfuerza por mejorar el entorno natural y reducir el consumo de recursos naturales desde su concepción hasta la construcción, operación y mantenimiento.

Un indicador de sostenibilidad es una expresión cualitativa, cuantitativa o descriptiva que brinda información sobre aspectos ambientales, sociales y/o económicos, que permiten realizar un adecuado seguimiento y evaluación al alcance de políticas, programas y acciones integrales que garantizan la conservación del ambiente, el bienestar de la comunidad y el crecimiento económico a largo plazo. [19]

En base al estudio de riesgo hidrológico e hidráulico realizado en el tramo de carretera entre Puento Chontay y Antioquia, podemos proponer los siguientes indicadores de sostenibilidad:

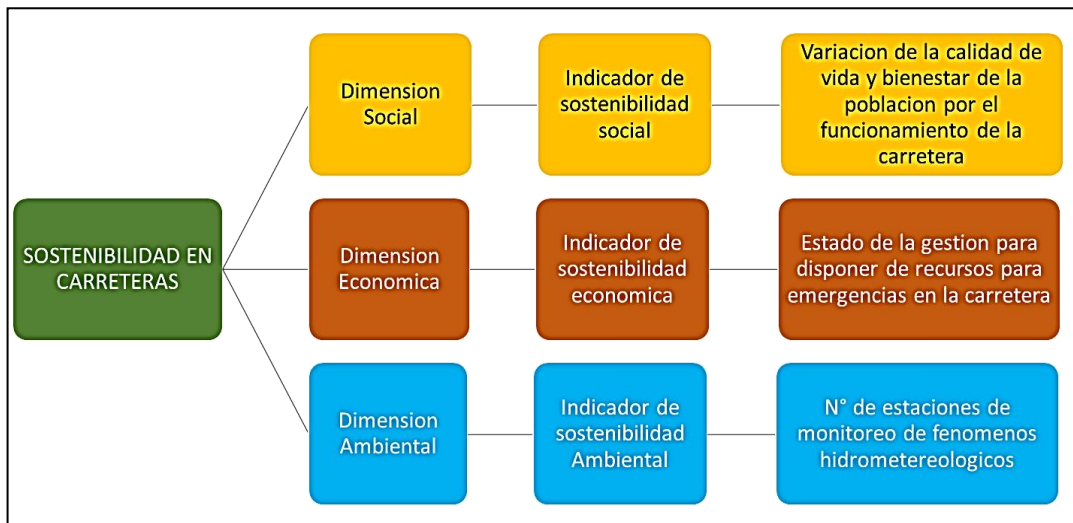


Fig. 26. Indicadores de Sostenibilidad en Carreteras

El indicador de sostenibilidad social, nos señala los cambios en el tiempo por el uso de la carretera en lo que se refiere a la calidad de vida y bienestar de la población, esto evidentemente depende de la conservación y las obras de protección contra fenómenos hidrometeorológicos. El Indicador de sostenibilidad económica registra el estado de la gestión de las autoridades y líderes comunales con relación a la disponibilidad de recursos económicos principalmente para atender emergencias y acciones de resiliencia en la carretera. El indicador de sostenibilidad ambiental contribuye a mejorar las alertas tempranas y acciones de precaución ante los eventos como lluvias anómalas

DISCUSIÓN

4.1 Interpretación y Discusión de Resultados

Para la discusión de los resultados, tomaremos en cuenta los objetivos específicos y los antecedentes identificados para la presente investigación y los relacionaremos con los resultados de las matrices de peligro, vulnerabilidad y riesgo principalmente.

El primer objetivo fue Analizar los escenarios para la identificación de las causas de los peligros que influyen en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico y esto se fortaleció con la investigación del Banco Mundial cuando menciona que: La inundación de una carretera produce dos niveles de consecuencias: por un lado, puede haber personas heridas y destrucción de vehículos; por el otro, la interrupción del tráfico puede tener secuelas indirectas graves [17]; lo cual refuerza los resultados obtenidos en el análisis de los peligros o amenazas donde se analizaron cuatro escenarios que se pueden presentar en una inundación lo cual se describe en la matriz de riesgo. La aplicación de la metodología de priorizaciones jerárquicas recomendadas por el Manual de CEPRENED analizo los escenarios probables e identifico las causas, y desde allí describir los niveles de peligro; por lo tanto, se cumplió con este primer objetivo.

Con relación al segundo objetivo: Aplicar una evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico que explique las relaciones con la priorización de intervención contra riesgos en carreteras, como ya se mencionó, se realizó una adaptación a la metodología presentada por el Manual de CENEPRED [15] para el caso del escenario de inundaciones en el tramo carretero llegando a relacionar, la evaluación de los peligros y vulnerabilidades con los riesgos hidrológicos e hidráulicos, además de identificar el nivel de priorización en base a la matriz de consecuencias y daños. Esto permitió cumplir con el segundo objetivo.

En cuanto al tercer objetivo, como es el de formular las propuestas principales que mejoran la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima; nos hemos apoyado en la Investigación publicada en el Informe Técnico N°A6647 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) [8] donde plantea una serie de recomendaciones para el tratamiento de zonas con peligros geológicos y geohidrológicos en la cuenca del río Lurín, que sustentan las propuestas técnicas que apoyan la sostenibilidad social, económica y ambiental en el tramo de carretera de Chontay a Antioquia. En esa medida, se verifica el cumplimiento del objetivo tercero y con ello la meta del objetivo general.

4.2 Medidas de control propuestas

La reducción del riesgo de un tramo de carretera puede incluir lo siguiente:

1. Reforzamiento de la infraestructura vial en el tramo de carretera. Los tramos críticos de carretera amenazados por un fenómeno natural como las precipitaciones anómalas que pueden originar una inundación, deben modificarse para aumentar su resistencia a procesos hidrológicos como la erosión y socavación o a procesos hidráulicos como caudales extraordinarios. Para esto, se pueden llevar a cabo reforzamientos en la construcción. Por ejemplo, convertir los bordos naturales de los tramos críticos en diques revestidos con enrocados, crear cimientos de carretera más profundos que la socavación total y dar mayor capacidad hidráulica a las estructuras de drenaje.
2. Mantenimiento periódico. Este debe garantizarse no solamente para la carretera sino principalmente el mantenimiento al cauce principal. En cuanto al mantenimiento en la carretera, la entidad competente tiene la responsabilidad de organizar inspecciones y tareas de mantenimiento de forma adecuada, y debe trabajar con los datos obtenidos a fin de evaluar si es necesario rediseñar los sistemas de drenaje actuales y también determinar un plan de acción específico para las inspecciones y el mantenimiento.
3. Monitorear los fenómenos hidrometeorológicos. Utilizar los datos de las estaciones meteorológicas en el ámbito de influencia del tramo de carretera Puente Chontay – Antioquia para elaborar estudios prospectivos de precipitaciones principalmente así las crecidas extraordinarias en el río Lurín. Los cambios en la respuesta a lo largo del tiempo también proporcionan buenas pistas respecto de cuando se necesita mantenimiento.
4. Alerta temprana de inundaciones. El objetivo de los sistemas de alerta temprana de inundaciones es proporcionar a las personas con puestos de responsabilidad algo de tiempo para considerar las medidas adecuadas antes de que comiencen los verdaderos problemas. Prever el estado de una red vial alternativa durante una inundación puede ser útil para evitar que el tránsito principal utilice carreteras que corren riesgos y para identificar las rutas de acceso más seguras a las áreas afectadas para los servicios de rescate. Existen numerosos ejemplos de sistemas de alerta temprana de inundaciones para una red vial, para el que se definen niveles de advertencia a partir de la distribución de los periodos de retorno de las inundaciones y caudales simulados a partir de un modelo hidrometeorológico distribuido.

4.3 Comprobación de Hipótesis

4.3.1 Contrastación de Hipótesis General

- La caracterización actualizada del riesgo hidrológico e hidráulico mejora la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, Región Lima

Contrastación:

Los resultados del análisis de peligros o amenazas analizaron cuatro escenarios posibles en una inundación para caracterizar la sostenibilidad de la carretera descritas en la matriz de riesgo. Luego aplicando la metodología de priorizaciones jerárquicas que recomienda CEPRENED se identificó los escenarios probables y sus causas describiendo los niveles de peligro con lo cual se proponen las medidas de control que benefician a la carretera mejorando su sostenibilidad frente a los riesgos; por lo tanto, se cumple con esta hipótesis.

4.3.2 Contratación de Hipótesis Específicas

- La identificación de las causas de peligros es determinante en la evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico.

Contratación:

Efectivamente al identificarse el origen de los peligros, a partir de esa información se pudo elaborar la matriz de riesgo hidrológico e hidráulico, comprobándose la hipótesis.

- La evaluación del riesgo hidrológico e hidráulico se relaciona positivamente con la supervisión por emergencia de carreteras.

Contratación:

Esta hipótesis también es afirmativa, ya que establecida la sostenibilidad de la carretera la evaluación de la dimensión económica mostró indicadores de sostenibilidad económica que al mejorarse permite gestionar recursos para las emergencias en la carretera.

- Las propuestas principales como resultado del análisis de riesgo, mejoran la sostenibilidad de la carretera puente Chontay – Antioquia, provincia de Huarochirí, región Lima.

Contratación:

Esta hipótesis también es afirmativa, ya que el indicador de sostenibilidad ambiental contribuye a mejorar las alertas tempranas y acciones de precaución ante los eventos como lluvias anómalas.

CONCLUSIONES

Presentamos las siguientes conclusiones que se han arribado como consecuencia de la investigación realizada:

1. Siendo el principal parámetro de investigación las precipitaciones promedio en la cuenca, se realizó el análisis hidrológico, para lo cual se tomó información inicial de los registros de SENAMHI y los datos presentados en los informes y estudios de la cuenca del río Lurín, se aplicaron metodologías directas llegándose a identificar que las precipitaciones máximas eran de 76.5mm en promedio, con lo cual se calculó el caudal máximo promedio que fue de 125.61 m³/seg.; ambos datos más el determinación del periodo de retorno sirvieron para establecer los descriptores en el análisis del peligro, vulnerabilidad y riesgo posteriores.
2. Se investigaron todos los tramos de la carretera con antecedentes de peligros y riesgos recogidos en los estudios de INGEMMET, ANA y MLM, de lo cual se concluyó que existen cinco tramos críticos: Sisicaya – km 9+140, Antapucro – km 11+040, Chillaco – 15+940, Ocorure – km18+740 y Antioquia km-27+020, en donde se identificaron peligros de inundaciones, erosión fluvial, flujo de detritos y derrumbes.
3. Se determinó el peligro o amenaza por inundación fluvial, evaluando los factores condicionantes como la geomorfología, la pendiente y la geología. Los umbrales de precipitaciones anómalas se consideraron como factores desencadenantes de la susceptibilidad, y como parámetro de evaluación se consideró el periodo de retorno de 5 a 100 años; llegándose a establecer como nivel de peligro de los cuatro rangos: El Peligro Alto, en los tramos críticos de Antioquia, Ocorure y Sisicaya, con rangos en la matriz de peligros de $0.164 < P < 0.276$.
4. El análisis de vulnerabilidad para el escenario de riesgo delimitado, se realizó para las dimensiones social, económica y ambiental, donde fueron caracterizados los parámetros de exposición, fragilidad y resiliencia teniendo como resultado: una Vulnerabilidad Alta, en las zonas críticas de peligro alto, con zonas con hasta 1000 habitantes afectados, con hasta 25 km de carretera expuestos a una distancia de hasta 300 metros del cauce principal. , con rangos en la matriz de vulnerabilidades de $0.315 < V < 0.558$.
5. El cálculo del nivel de Riesgo por inundación en el tramo de carretera analizado, dio como resultado: Riesgo Alto, en los tramos críticos de peligros y vulnerabilidades con rangos de $0.035 < R < 0.1540$. De acuerdo a la matriz de zonificación de riesgos las

personas y vehículos está en peligro dentro del radio de 200m del cauce, se suscitan daños críticos, pero no destrucción repentina.

6. El nivel de aceptabilidad y tolerancia de la zona es de Riesgo Inaceptable, por lo que se deben desarrollar actividades Inmediatas y Prioritarias para el manejo de riesgos a fin de proteger la vida, el bienestar y garantizar los derechos e intereses de la población en el tramo de la carretera. Esto incluye resolver los riesgos con apoyo de recursos externo y con ocurrencias medianamente periódicas de las precipitaciones anómalas, por lo tanto, el nivel de priorización es II.
7. En cuanto a la sostenibilidad de la carretera, se identificaron los indicadores priorizados para la dimensión social: la variación de calidad de vida y bienestar en función del estado de la carretera; en la dimensión económica; el estado de la gestión para disponer de recursos para emergencias en la carretera y en la dimensión ambiental: el monitoreo de los fenómenos hidrometeorológicos que sirve para las alertas tempranas y medidas de precaución contra inundaciones.
8. Las Medidas de control propuestas en función de los resultados son: el reforzamiento de la infraestructura vial, principalmente de las obras de drenaje vial, el mantenimiento periódico de la carretera, utilizar los datos de las estaciones hidrometeorológicas para estudios prospectivos y el establecimiento de un sistema de alerta temprana.

RECOMENDACIONES

- 1) Ampliar la investigación para el análisis de riesgo a todos los fenómenos naturales identificados en la presente tesis, lo cual no quita relevancia e impacto al trabajo realizado, sin embargo, nos daría una propuesta más general y de aplicación a diversos sectores que realizan otras actividades en la zona.
- 2) Incorporar en los análisis a estudiantes y profesionales de otras especialidades, logrando trabajos más participativos y buscando objetivos más amplios, todo con el fin de plantear mejores medidas de resiliencia.
- 3) Capacitar a la autoridades y población en los alcances y aportes que trae la aplicación de estudios de gestión de riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Diario El Peruano: “Lluvias y huaicos causan daños en emblemático distrito de Antioquia”. Artículo periodístico 26/01/2017: Lima – Perú. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-lluvias-y-huaicos-causan-danos-emblematico-distrito-antioquia-651126.aspx>. Consultado el 10 noviembre 2022.
- [2] ANA. “Plan de Prevención ante la presencia de Fenómenos Naturales por Inundaciones, Deslizamientos, Huaycos y Sequías”. Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú, 2010.
- [3] J. Pérez.: “Estudio Comparativo de Sostenibilidad en Carreteras Mexicanas”. Tesis para obtener el grado de Master. Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2018.
- [4] M. Candia. “Análisis de riesgo por inundación en la zona Metropolitana de San Luis Potosí”. Tesis de grado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis de Potosí, México, 2015.
- [5] E. Pagaza. “Evaluación de riesgos por sismo, flujo de detritos e inundación en el asentamiento humano 03 de octubre, en Chosica, Distrito de Lurigancho, Lima2. Tesis para titulación. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú, 2021.
- [6] E. Flores. “Análisis de Riesgos de Desastres y Políticas de Mantenimiento en la Carretera de Huaraz a Tingo María – 2018”. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho – Perú, 2018.
- [7] J. Casaretto y A. Ordoñez. "*Análisis de Riesgos Cualitativo aplicado al tramo Piedras blancas – Cora Cora del Proyecto Conservación Vial Cora Cora*". Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú, 2015.
- [8] S. Villacorta, M. Rosado y S. Núñez. “*Reporte de Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Cuenca del Rio Lurín*”. Informe Técnico N°A6647. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Lima, Perú, 2014.
- [9] F. Arias. “El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica”. Editorial Episteme. Caracas – República Bolivariana de Venezuela, 2012.
- [10] Municipalidad de Lima Metropolitana. Publicación técnica: “Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2019 – 2022”. Lima, Perú, 2019.
- [11] MTC. Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, 2008.
http://www.carreteros.org/hispana/peru/11_peru.pdf

- [12] Municipalidad de Lima Metropolitana. “Monitoreo de los Sectores Críticos de la Cuenca del Río Lurín y la Reducción de Riesgos en el ámbito del gobierno Metropolitano”. Sub Gerencia de Defensa Civil. Informe N°058-2013/MML/sgdc/rhqm. Lima, Perú, 2013.
- [13] MINAGRI: Estudio Hidrológico de la Cuenca del Rio Lurín”. Ministerio de Agricultura: Administración Técnica del distrito de Riego Chillón – Rímac – Lurín. Lima, Perú,.2004.
- [14] MTC. “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Transportes. Lima, Perú, 2010.
- [15] CENEPRED. “Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales Versión 02”. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. Lima, Perú, 2016.
- [16] INDECI: “Terminología de Defensa Civil”. Instituto Nacional de Defensa Civil. Sistema Nacional de Defensa Civil – SINADECI. Lima, Perú, 2010.
- [17] Banco Mundial. “Notas Técnicas: Riesgo de Inundaciones en Redes Viales”. Washington DC. EE.UU. 2011.
- [18] S. Dávila y G. Valenzuela. “Estudio Geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete – Estudio Geodinámico de la Cuenca del rio Lurín”. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Lima, Perú, 1996.
- [19] M. Ordoñez y L. Meneses. “Criterios e Indicadores de Sostenibilidad en el Subsector Vial”. Revista Ciencias e Ingeniería Neogranadina, vol. 25-2. pág.: 81-98. Bogotá, Colombia, 2015.

ANEXOS

ESCALA DE SAATY PARA LA SELECCIÓN DE LOS VALORES EN LA PRIORIZACION JERARQUICA PARA EL ANALISIS DE PELIGROS

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

Fuente: Saaty (1980)

RANGOS DE CONDICIONES GEOLOGICAS

UNIDADES LITOLÓGICAS					
Fa	UNIDADES	SUB-UNIDADES	LITOLÓGIA	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
S U P E R F I C I A L E S		I - Co	DEPOSITOS COLUMIALES	Mezcla de bloques y gravas angulosas con relleno de arena y finos. Acumulación caótica y heterométrica de laderas, poco compactos, permeabilidad media a alta. Nos son tan buenos como terrenos de fundación.	Q - Co
		I - e	DEPOSITOS EOLICOS	Acumulaciones de arena transportados por el viento, de espesor variable, recubren suelos y rocas, muy permeable, su uso como material de construcción y terreno de fundación es dudoso.	Q - e
		I - al	DEPOSITOS ALUVIALES	Bloques, cantos, gravas con relleno areno-limoso, poco a medianamente compactos, forman terrazas a diferentes niveles del lecho del río. Buenas características como material de fundación.	Q - al
		I - fg	DEPOSITOS FLUVIOGLACIARES	Cantos, gravas y bloques subredondeados con matriz areno-limoso-arcilloso, medianamente a bien compactos, permeabilidad media a baja. Como terrenos de fundación son regulares.	Q - fg
		I - g	DEPOSITOS GLACIARES	Bloques, gravas y cantos sub-angulosos a angulosos con matriz limo-arcilloso-arenoso. Buena compactación, permeabilidad baja. Como terrenos de fundación varían de malos a buenos.	Q - g
		I - m	DEPOSITOS MARINOS	Arena de grano medio a fino, permeabilidad media a alta, inconsolidados. Como terrenos de fundación no son recomendables.	Q - m

RANGOS DE CONDICIONES GEOMORFOLOGICAS

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS		
UNIDADES		CARACTERISTICAS
ISLAS	I	Porción de territorio rodeado de mar, con una topografía de cerros abruptos, bordeado por playas muy angostas, puntas y acantilados.
BORDE LITORAL	II	Constituyen playas de borde irregular en forma de faja delgada y anchura variable, con una topografía generalmente llana con tendencia ascendente hacia el Este.
PAMPA COSTANERA Y CONO DE DEYECCION	III	La llanura aluvial constituye amplias superficies áridas de morfología plana a moderada. El cono deyección constituye el área agrícola en donde las márgenes del río Lurín están limitadas por terrazas.
ESTRIBACIONES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL	IV	Cerros y colinas aisladas que se levantan bruscamente sobre la pampa costanera, con laderas de pendientes entre los 5° a 25°.
VALLE DEL RIO Y QUEBRADAS TRIBUTARIAS	V	Valle del río Lurín y quebradas tributarias, con topografía muy variada llana a abrupta. Ocupa gran parte de la cuenca. En este ambiente ocurren con mayor frecuencia fenómenos de geodinámica externa.
ALTIPLANICIES	VI	Área de relieve moderado, con formas topográficas de tipo modelado glaciar y fluvio-glaciar, integrado además por pampas, colinas y cadena de cerros más o menos concordantes y disectado por las nacientes de los ríos y quebradas.
CORDERA DE GLACIARES	VII	Corresponde a la parte más alta de la divisoria de aguas, caracterizada por cerros de topografía abrupta. La cima de las montañas presentan casquetes en retroceso.

TABLA PARA EL CALCULO DEL INDICE ALEATORIO (IA) PARA EL RANGO DE CONSISTENCIA

Nota: Los Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes "n", obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices (Aguarón y Moreno – Jiménez, 2001), son:

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO N° 01: Se observa el ingreso al pueblo de Antioquia en el cruce al río Lurín que provoca las alteraciones hídricas, en el Km 25 aproximadamente.



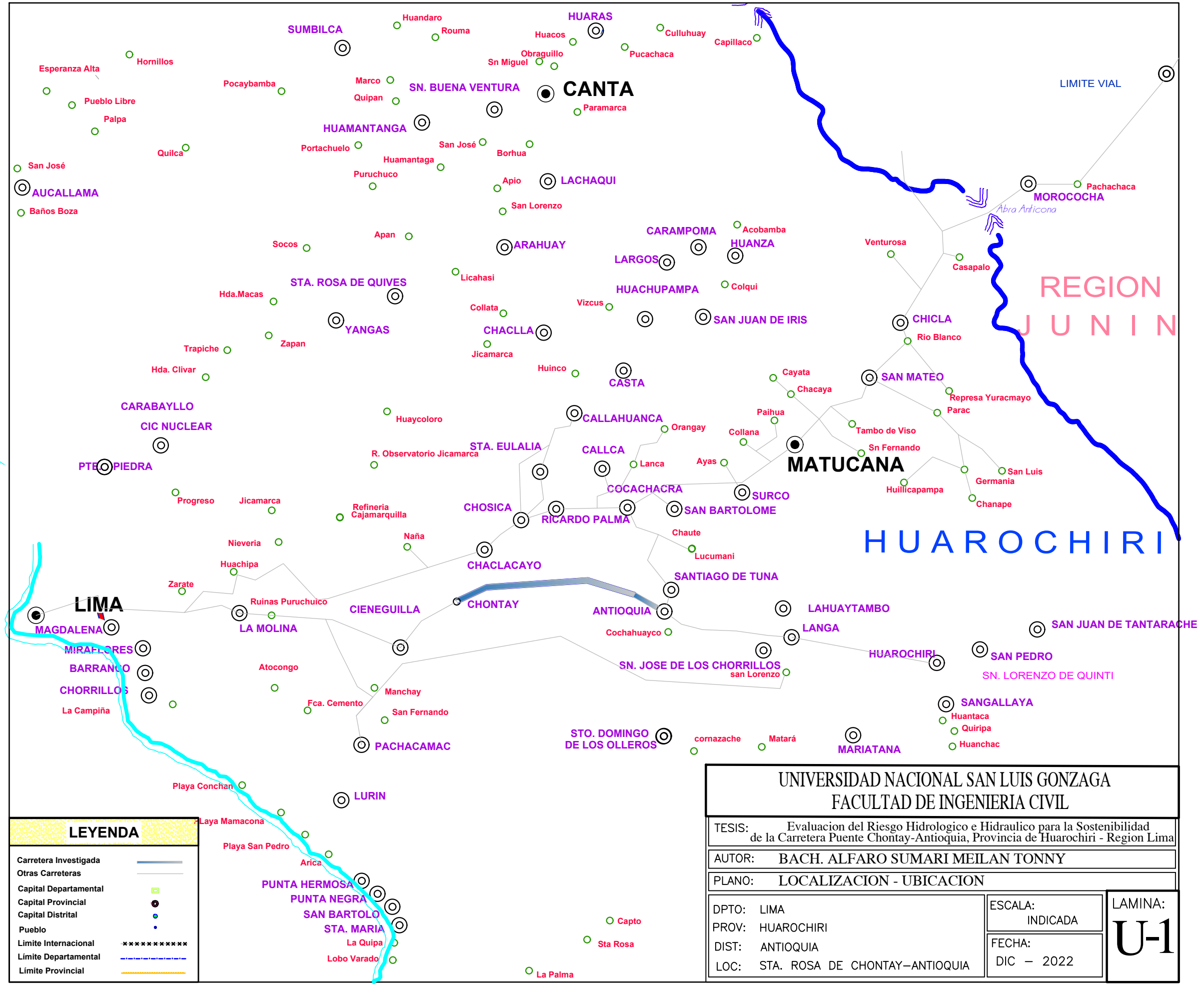
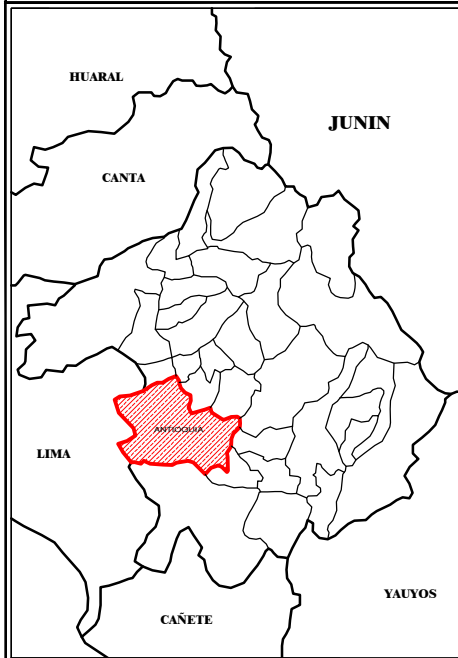
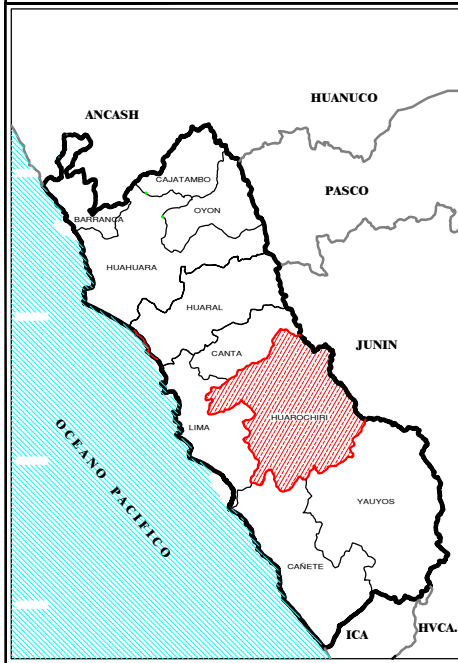
FOTO N° 02: Otra vista de la carretera en el kilómetro 18 cerca a la quebrada y centro poblado de Antapucro donde se han registrado procesos de flujos como inundaciones.



FOTO N° 03: Tramo de la carreta en el kilómetro 7.00 del inicio, zona característica de deslizamientos y derrumbes.

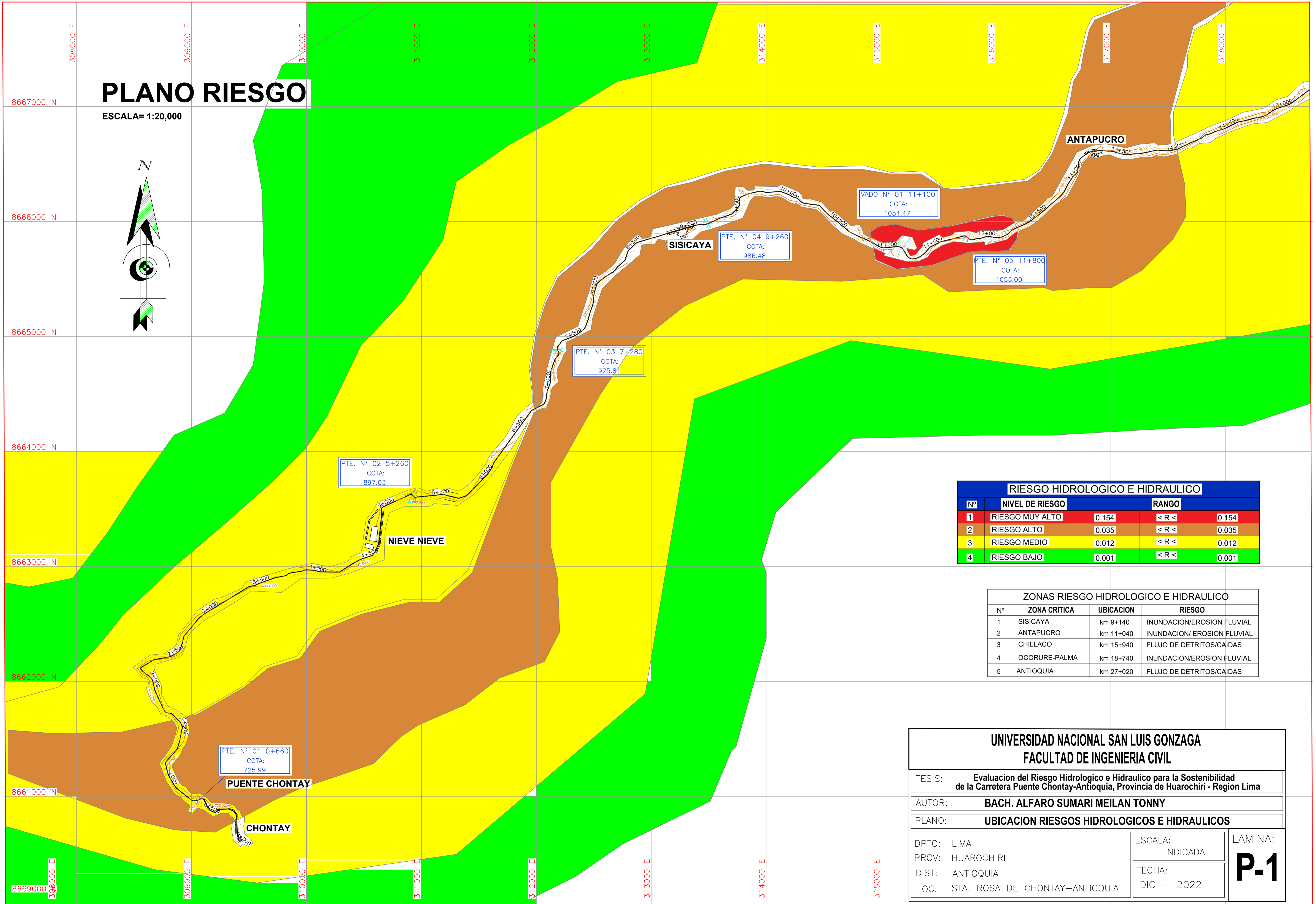
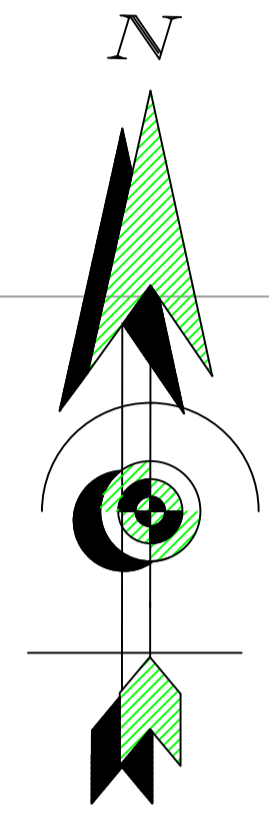


FOTO N° 04: Se observa el inicio de la carreta en el Puente Chontay, límite con el distrito de Cieneguilla.



PLANO RIESGO

ESCALA= 1:20,000



RIESGO HIDROLOGICO E HIDRAULICO				
Nº	NIVEL DE RIESGO	RANGO		
1	RIESGO MUY ALTO	0.154	< R <	0.154
2	RIESGO ALTO	0.035	< R <	0.035
3	RIESGO MEDIO	0.012	< R <	0.012
4	RIESGO BAJO	0.001	< R <	0.001

ZONAS RIESGO HIDROLOGICO E HIDRAULICO			
Nº	ZONA CRITICA	UBICACION	RIESGO
1	SISICAYA	km 9+140	INUNDACION/EROSION FLUVIAL
2	ANTAPUCRO	km 11+040	INUNDACION/EROSION FLUVIAL
3	CHILLACO	km 15+940	FLUJO DE DETRITOS/CAIDAS
4	OCORURE-PALMA	km 18+740	INUNDACION/EROSION FLUVIAL
5	ANTIOQUIA	km 27+020	FLUJO DE DETRITOS/CAIDAS

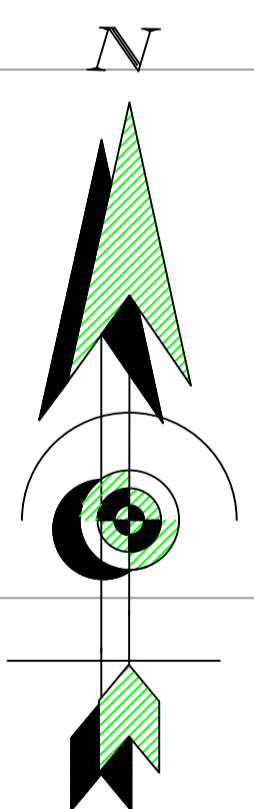
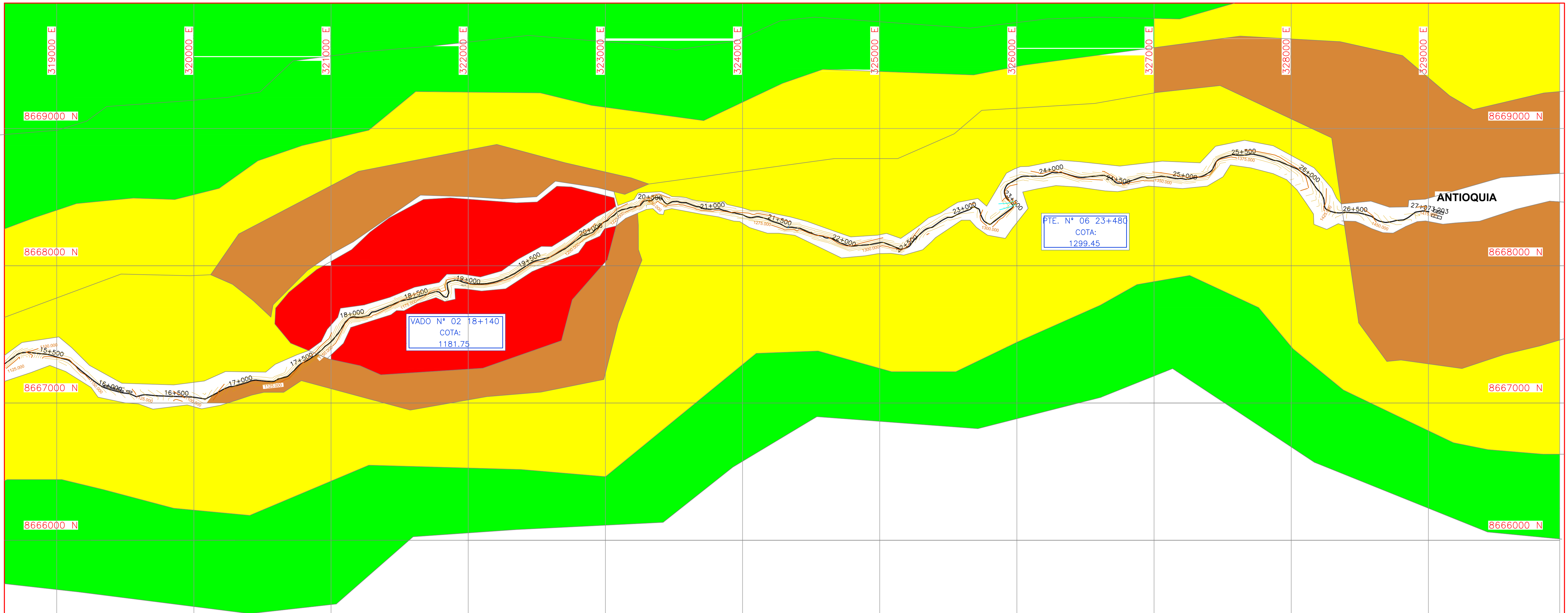
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: **Evaluación del Riesgo Hidrológico e Hidráulico para la Sostenibilidad de la Carretera Puente Chontay-Antioquia, Provincia de Huarochiri - Region Lima**

AUTOR: **BACH. ALFARO SUMARI MEILAN TONNY**

PLANO: **UBICACION RIESGOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS**

DPTO: LIMA	ESCALA: INDICADA	LAMINA: P-1
PROV: HUAROCHIRI	FECHA: DIC - 2022	
DIST: ANTIOQUIA		
LOC: STA. ROSA DE CHONTAY-ANTIOQUIA		



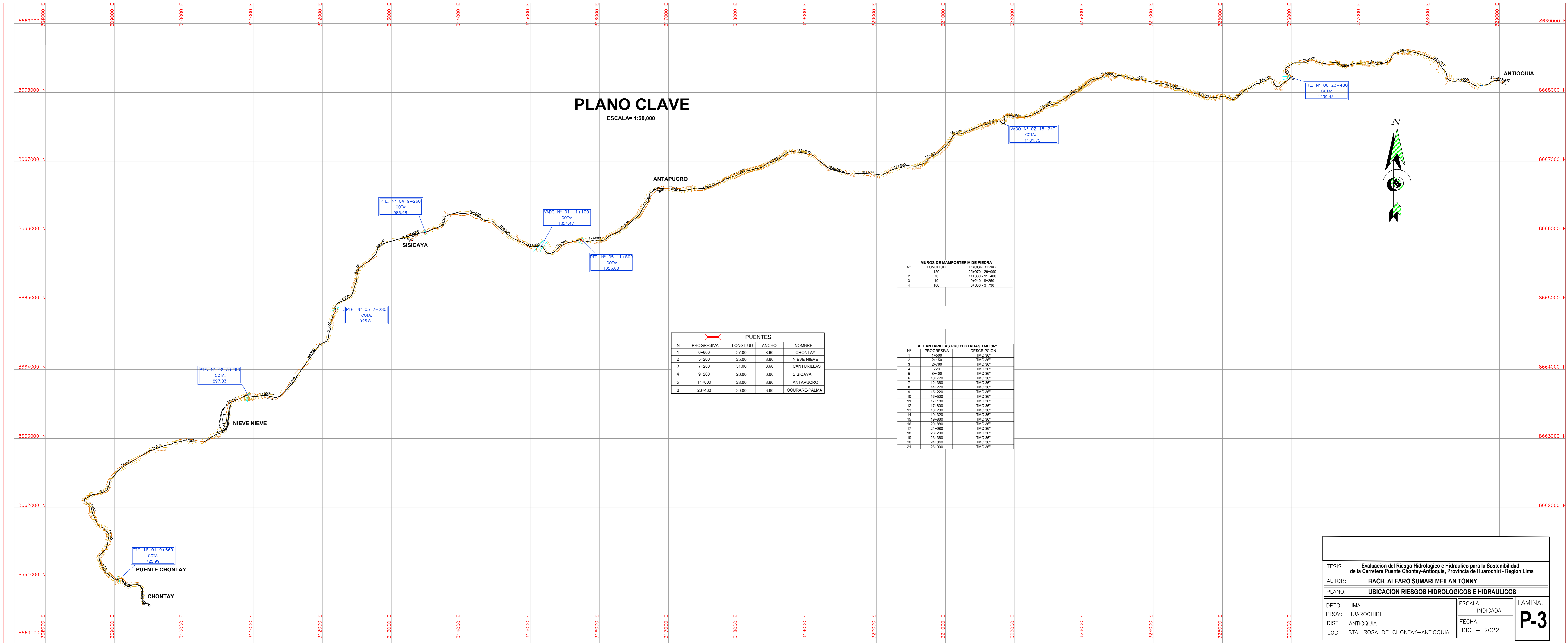
PLANO RIESGO

ESCALA= 1:20,000

RIESGO HIDROLOGICO E HIDRAULICO				
Nº	NIVEL DE RIESGO		RANGO	
1	RIESGO MUY ALTO	0.154	< R <	0.154
2	RIESGO ALTO	0.035	< R <	0.035
3	RIESGO MEDIO	0.012	< R <	0.012
4	RIESGO BAJO	0.001	< R <	0.001

ZONAS RIESGO HIDROLOGICO E HIDRAULICO			
Nº	ZONA CRITICA	UBICACION	RIESGO
1	SISICAYA	km 9+140	INUNDACION/EROSION FLUVIAL
2	ANTAPUCRO	km 11+040	INUNDACION/ EROSION FLUVIAL
3	CHILLACO	km 15+940	FLUJO DE DETRITOS/CAIDAS
4	OCORURE-PALMA	km 18+740	INUNDACION/EROSION FLUVIAL
5	ANTIOQUIA	km 27+020	FLUJO DE DETRITOS/CAIDAS

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
TESIS: Evaluacion del Riesgo Hidrologico e Hidraulico para la Sostenibilidad de la Carretera Puente Chontay-Antioquia, Provincia de Huarochiri - Region Lima		
AUTOR: BACH. ALFARO SUMARI MEILAN TONNY		
PLANO: UBICACION RIESGOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS		
DPTO: LIMA	ESCALA: INDICADA	P-2
PROV: HUAROCHIRI	FECHA: DIC - 2022	
DIST: ANTIOQUIA		
LOC: STA. ROSA DE CHONTAY-ANTIOQUIA		



TESIS: Evaluación del Riesgo Hidrológico e Hidráulico para la Sostenibilidad de la Carretera Puente Chontay-Antioquia, Provincia de Huarochiri - Region Lima

AUTOR: BACH. ALFARO SUMARI MEILAN TONNY

PLANO: UBICACION RIESGOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS

DPTO: LIMA

PROV: HUAROCHIRI

DIST: ANTIOQUIA

LOC: STA. ROSA DE CHONTAY-ANTIOQUIA

ESCALA: INDICADA

FECHA: DIC - 2022

LAMINA: P-3