

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco – Langui del km 19+840 al Km 29+840, provincia de Canas, Cusco**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autores:**

Bach. Paul Yelsin Huamán Guerra

Bach. Heydy Kinberly Marrujo Carpio

**Asesor:**

Mg. Reymundo Jaulis Palomino

**Lima, Junio del 2023**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

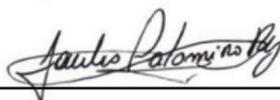
Yo Reymundo Jaulis Palomino, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco – Langui del km 19+840 al Km 29+840, provincia de Canas, Cusco”**, de los autores Paul Yelsin Huamán Guerra y Heydy Kinberly Marrujo Carpio tiene un índice de similitud de 6.0% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 12 días del mes de Junio del año 2023.



---

Reymundo Jaulis Palomino

165

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **05** día(s) del mes de **junio** del año 2023 siendo las **10:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, el secretario: **Mg. Leonel Chahuares Paucar** y los demás miembros: **Ing. David Diaz Garamendi** y el asesor **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco – Langui del km 19+840 al km 29+840, provincia de Canas, Cusco"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ..... **PAUL YELSIN HUAMAN GUERRA**.....  
 .....b) .....**HEYDY KINBERLY MARRUJO CARPIO**.....  
 .....conducente a la obtención del título profesional de:.....  
 .....**INGENIERO CIVIL**.....  
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **PAUL YELSIN HUAMAN GUERRA** .....

| CALIFICACIÓN    | ESCALAS   |           |              | Mérito           |
|-----------------|-----------|-----------|--------------|------------------|
|                 | Vigesimal | Literal   | Cualitativa  |                  |
| <b>APROBADO</b> | <b>15</b> | <b>B-</b> | <b>BUENO</b> | <b>MUY BUENO</b> |

Candidato (b): ..... **HEYDY KINBERLY MARRUJO CARPIO** .....

| CALIFICACIÓN    | ESCALAS   |           |              | Mérito           |
|-----------------|-----------|-----------|--------------|------------------|
|                 | Vigesimal | Literal   | Cualitativa  |                  |
| <b>APROBADO</b> | <b>15</b> | <b>B-</b> | <b>BUENO</b> | <b>MUY BUENO</b> |

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Ing. Ferrer  
 Canaza Rojas

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario  
 Mg. Leonel  
 Chahuares Paucar

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Mg. Reymundo  
 Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Ing. David Diaz  
 Garamendi

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)  
 Paul Yelsin  
 Huaman Guerra

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)  
 Heydy Kinberly  
 Marrujo Carpio

## DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por darme la salud y vida para conseguir mis metas propuestas. Además de poner en el camino a las personas indicadas en el momento indicado.

Con todo mi amor y cariño este artículo se lo dedico a mis padres Susana Elisa Guerra Rojas y Ángel Eduardo Huamán Alvarado, porque creyeron en mí y me sacaron adelante con dignos ejemplos de superación y entrega. Así también a mis hermanos Nelson y Diego, mi tío Jhon Guerra y abuela Raymunda Rojas por impulsarme a no rendirme en el camino. Por último, a cada familiar que hicieron de mí una persona de bien. Este logro es de todos ellos.

**Paul Y. Huamán Guerra**

En primer lugar, a Dios por estar conmigo en cada momento de mi vida y permitirme llegar hasta este punto, logrando parte de mis sueños conduciendo mis pasos para cumplir mis metas.

A mis padres Maribel Emilia Carpio Laura y Miguel Angel Marrujo Rodríguez por ser mi motivación ayudándome a no rendirme y gracias a su sacrificio poder ser una gran persona y profesional.

A mis hermanos Irving y Ludwing por su compañía en los buenos y malos momentos.

Por último, mi abuela Emilia por motivarme a no rendirme.

**Heydy K. Marrujo Carpio**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor, Mg. Reymundo Jaulis por colaborar con su valiosa experiencia, asesoramiento y consejos los cuales permitieron culminar la presente investigación.

A mi mejor amigo y compañero de la presente investigación Paul Huamán Guerra, por su amistad, perseverancia y su apoyo en todos estos años.

A mis familiares y amigos por ser parte de mi formación personal como profesional.

Agradecer a la Universidad Peruana Unión y a los docentes que me brindaron sus conocimientos que hoy me permiten realizarme como profesional.

**Heydy K. Marrujo Carpio**

Agradecimiento a mi alma máter, la Universidad Peruana Unión por acogerme en sus aulas, a cada docente que formó parte de mi aprendizaje en esta maravillosa profesión de Ingeniería Civil, así como al personal administrativo por el apoyo brindado.

A mis amigos y a todas las personas que conocí durante mi estadía en la UPeU, así como al ing. Carlos Palacios Tovar por su disponibilidad e ideas para iniciar y proseguir con la investigación, a todos los que hicieron posible la culminación de este artículo tesis. En especial para mi mejor amiga y compañera de tesis Heydy Marrujo, de quién aprendí mucho y formó parte de mi vida universitaria brindándome su apoyo y amistad; mil gracias.

A nuestro asesor Mg. Reymundo Jaulis por su valioso tiempo y orientación para realizar la presente investigación. Así como también a cada dictaminador por sus observaciones y recomendaciones en el artículo tesis.

**Paul Y. Huamán Guerra**

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....                          | 8  |
| 1.1. Área de estudio.....                      | 9  |
| 2. DESARROLLO.....                             | 10 |
| 2.1. Análisis hidrológico .....                | 10 |
| 2.2. Drenaje superficial .....                 | 10 |
| 2.2.1. Drenaje superficial transversal .....   | 10 |
| 2.2.2. Drenaje superficial longitudinal.....   | 11 |
| 2.3. Diseño hidráulico .....                   | 11 |
| 3. METODOLOGÍA.....                            | 12 |
| 3.1. Análisis de la red vial .....             | 12 |
| 3.2. Pluviometría .....                        | 12 |
| 3.2.1. Tormenta de diseño.....                 | 13 |
| 3.3. Hidrografía .....                         | 14 |
| 3.3.1. Delimitación de subcuenca.....          | 14 |
| 3.4. Caudal.....                               | 14 |
| 3.4.1. Método racional .....                   | 15 |
| 3.4.2. Método racional modificado.....         | 15 |
| 3.4.3. Modelación hidrológica en HEC-HMS ..... | 15 |
| 3.5. Diseño hidráulico .....                   | 16 |
| 3.5.1. Alcantarillas .....                     | 16 |
| 3.5.2. Cunetas .....                           | 17 |
| 4. RESULTADOS.....                             | 17 |
| 4.1. Análisis de la red vial .....             | 17 |
| 4.2. Análisis hidrológico .....                | 18 |
| 4.2.1. Delimitación .....                      | 18 |
| 4.2.2. Tormenta de diseño.....                 | 18 |
| 4.2.3. Prueba bondad de ajuste.....            | 19 |
| 4.2.4. Caudales máximos .....                  | 19 |
| 4.3. Diseño hidráulico superficial .....       | 21 |
| 5. CONCLUSIONES.....                           | 23 |
| 6. FINANCIAMIENTO.....                         | 24 |
| 7. AGRADECIMIENTOS .....                       | 24 |
| 8. CONFLICTOS DE INTERÉS DEL AUTOR .....       | 24 |
| 9. REFERENCIAS.....                            | 25 |
| 10. CONTRIBUCIONES DE AUTORES .....            | 26 |

# **Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco - Langui del km 19+840 al km 29+840, provincia de Canas, Cusco.**

## **Hydrological analysis for the hydraulic design of the surface drainage system on the Colpahuayco - Langui highway from km 19+840 to km 29+840, province of Canas, Cusco.**

Paúl Yelsin Huamán Guerra<sup>1</sup>; Heydy Kinberly Marrujo Carpio<sup>2</sup>; Reymundo Jaulis Palomino<sup>3</sup>

### **RESUMEN**

El objetivo del artículo es evaluar la influencia del análisis hidrológico en el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial de la carretera Colpahuayco-Langui, ubicado en el distrito de Langui, provincia de Canas, Cusco, Perú; con el fin de conocer el estado de las obras de drenaje existentes. La metodología utilizada incluyó trabajos de campo a través de un reconocimiento del tramo de la carretera km 19+840 al km 29+840 y las condiciones del sistema de drenaje actual. En las tareas de gabinete se organizó la información obtenida del trabajo en campo, seguido de un análisis estadístico de las precipitaciones, así como de los parámetros geomorfológicos de cada microcuenca, apoyado por softwares computacionales. Para la determinación de los caudales de diseño se empleó los softwares Excel y HEC HMS. Finalmente, se llevó a cabo el diseño hidráulico de alcantarillas y cunetas en base a los caudales de diseño obtenidos. De acuerdo a los resultados se hallaron 61 alcantarillas en estado de conservación de regular a bueno, de las cuales se proponen reemplazar 22 debido al sub dimensionamiento, mantener 37 y proyectar 7 alcantarillas de alivio, para un total de 66 estructuras que sumado a los 9821 metros de cunetas de concreto conforman la propuesta de un nuevo sistema de drenaje superficial para la carretera. Se concluye con la propuesta de un diseño hidráulico para mejorar la capacidad y funcionalidad del sistema existente, asimismo se sugirieron acciones y actividades para el mantenimiento periódico del sistema que garanticen un adecuado drenaje en el tramo vial.

**Palabras clave:** *Análisis hidrológico, diseño hidráulico, sistema de drenaje.*

---

<sup>1</sup> Paúl Yelsin Huamán Guerra. Bachiller Ingeniería Civil. Universidad Peruana Unión. Perú. Correo: [pauyelsin.hg@gmail.com](mailto:pauyelsin.hg@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0321-0017>

<sup>2</sup> Heydy Kinberly Marrujo Carpio. Bachiller Ingeniería Civil. Universidad Peruana Unión. Perú. Correo: [heydymarrujo@gmail.com](mailto:heydymarrujo@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-3283>

<sup>3</sup> Reymundo Jaulis Palomino. Docente Investigador de la Universidad Peruana Unión. Ingeniero Agrícola. Perú. Correo: [reymundojaulis@upeu.edu.pe](mailto:reymundojaulis@upeu.edu.pe). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1330-2801>

## ABSTRACT

The objective of the article is to evaluate the influence of hydrological analysis on the hydraulic design of the surface drainage system of the Colpahuayco-Langui highway, located in the district of Langui, province of Canas, Cusco, Peru; to find out the status of existing drainage works. The methodology used included field work through a reconnaissance of the section of the highway km 19+840 to km 29+840 and the conditions of the current drainage system. In the office tasks, the information obtained from field work was organized, followed by a statistical analysis of rainfall, as well as the geomorphological parameters of each micro-basin, supported by computer software's. For the determination of the design flows the Excel and HEC HMS software's were used. Finally, the hydraulic design of sewers and ditches was carried out based on the design flows obtained. According to the results, 61 culverts were found in a fair to good state of conservation, of which proposed to replace 22 due to under-dimensioning, maintain 37 and project 7 relief culverts, for a total of 66 structures that added to the 9821 meters of concrete ditches make up the proposal for a new surface drainage system for the highway. It concludes with the proposal of a hydraulic design to improve the capacity and functionality of the existing system, in addition, actions and activities were suggested for the periodic maintenance of the system that guarantee adequate drainage in the road section.

**Keywords:** *Hydrological analysis, hydraulic design, drainage system.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La problemática del cambio climático es un tema de interés a nivel mundial, particularmente en el Perú se evidencia por los eventos del fenómeno El Niño (FEN), cuyo impacto ha sido evaluado a lo largo de los últimos 40 años por distintos académicos [1]. Su acontecimiento desencadena intensas lluvias contempladas en los registros de las estaciones meteorológicas instaladas a nivel nacional, a través de ellos se aprecia el aumento de precipitaciones en los meses de diciembre a marzo que recurrentemente resultan en inundaciones, las cuales generan daños en la infraestructura vial por la poca o nula capacidad en obras de drenaje para la evacuación del agua. Con la ocurrencia de estos eventos se observa la rápida acumulación de escorrentías superficiales fluir por la calzada y no por las estructuras de drenaje transversal o longitudinal, ya que estas se encuentran colmatadas de sedimentos o erosionadas por las mismas aguas superficiales [2]. Conllevando de esta forma restauraciones a corto y largo plazo, que se traducen en millonarias pérdidas económicas (Ver tabla 1).

**Tabla 1.** Impacto del Fenómeno del Niño en la Infraestructura vial del Perú.

| Año   | 1982 - 1983           | 1997 - 1998            | 2017                   |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Infraestructura Vial  | 2600 km<br>51 puentes | 3136 km<br>370 puentes | 4931 km<br>881 puentes |
| Referencia de pérdidas a nivel general (dólares americanos) | 3.28 mil millones     | 3.5 mil millones       | 3.9 mil millones       |

Fuente: Adaptado de Institute for Social and Environmental Transition International [3].

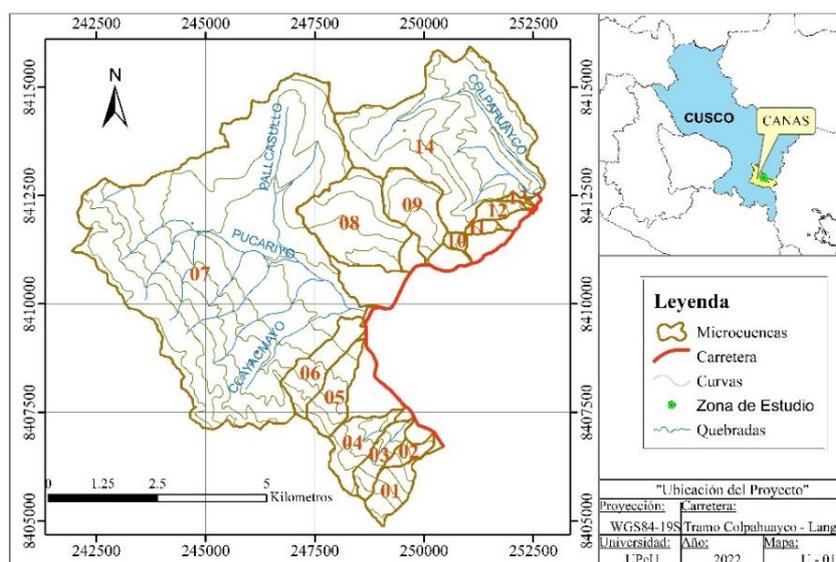
El agua es un elemento fundamental para todo ser vivo, beneficiando en particular a los seres humanos [4]. No obstante, puede causar daños a estructuras, al ambiente, afectar la vida diaria de las personas y en casos extremos ser catastrófica [5], sus efectos negativos en el Perú son palpables a través de la destrucción y deterioro de carreteras, sobre todo en zonas

de la región altoandina, sometidas continuamente a la acción del agua producto de las precipitaciones.

Uno de los principales factores que afecta el rendimiento de la superficie del pavimento es la escorrentía de aguas pluviales [6]. En el drenaje de carreteras afirmadas generalmente se usan bajos estándares de diseño, construidos con materiales pobres o de poca calidad permeables al agua, que propician el desgaste acelerado la infraestructura vial [7]. Por ende, es necesario en primera instancia evitar la filtración de agua al subsuelo, asegurando su adecuada recolección, encauzamiento y disposición, mitigando así la pérdida de capacidad en la vía para resistir los efectos del tráfico, que dan origen a las grietas y/o baches en la superficie de rodadura.

### 1.1. Área de estudio

La zona de estudio corresponde al tramo Colpahuayco-Langui km19+840 al km29+840 ubicada en el distrito de Langui, provincia de Canas, departamento de Cusco, Perú (Ver figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del estudio.

El tramo evaluado pertenece a la carretera Patahuasi – Sicuani que une las ciudades de Arequipa y Cusco para luego empalmar con la Interoceánica Sur hacia Puerto Maldonado y Brasil. Por la geografía accidentada y condiciones climáticas variadas, la zona es considerada altoandina [8], que destaca por las siguientes condiciones que se encontraron en el trabajo de campo: (i) es el único tramo que se encuentra a nivel de afirmado, (ii) está compuesta por una regular densidad en obras de drenaje transversales y longitudinales colmatadas de sedimentos o erosionadas por las mismas aguas superficiales y (iii) un inadecuado nivel de transitabilidad. Luego de apreciar esta situación se consideró que el sistema de drenaje superficial actual deba cumplir con evacuar las precipitaciones propias de la zona, siguiendo normativas y procedimientos establecidos en los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC). En base a esta premisa el objetivo planteado consistió en

realizar un análisis hidrológico del área en estudio, determinando los caudales de diseño con los periodos de retorno para alcantarillas y cunetas; todo esto mediante información meteorológica y geográfica disponible, para así obtener un diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial, que luego se contraste con las obras de drenaje existentes en el tramo de la carretera.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1. Análisis hidrológico**

Para determinar los caudales de diseño en un área específico, se debe relacionar entre la pluviometría y/o fluviometría y la geomorfología de una cuenca hidrográfica establecida.

La pluviometría requiere trabajar con las irregularidades que tiene las precipitaciones (temporadas de sequías e inundaciones), esto al momento de proyectar obras hidráulicas. En referencia Cubides señala que el estudio de las precipitaciones, escurrimiento, infiltración y evaporación es un tema de interés investigativo, pues la atenuación de estos eventos en los sistemas de drenaje convencionales existentes es insuficiente [9].

Respecto a las cuencas hidrográficas estas tienen una estructura basada en subcuencas que conjuntamente forman grandes áreas naturales donde se ve reflejado parte del ciclo hidrológico, en estas áreas las aguas de precipitación, se unen y forman un solo curso. Al respecto Meléndez refiere que para su delimitación se deba emplear mapas topográficos y mediante líneas divisorias lograr aproximadamente unir los puntos de las partes altas de geoformas positivas como montañas o colinas [10]. Permitiendo obtener los parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio, que posteriormente permitan realizar un análisis hidrológico.

### **2.2. Drenaje superficial**

#### **2.2.1. Drenaje superficial transversal**

Las obras de drenaje transversal (ODT) son elementos esenciales de cualquier infraestructura de transporte por evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta la infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o provisional [11], a fin de evitar daños a la calzada. Sin embargo, su atención en labores de mantenimiento a menudo es secundario para las autoridades, obviando el hecho que su eventual fallo provoca dificultades en la funcionalidad del servicio global [12]. El elemento básico de este tipo de drenaje es la alcantarilla y el badén, donde la primera es de gran importancia a lo largo de la carretera, por ello se debe tener especial atención en su diseño, son conductos relativamente cortos mediante los cuales se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Mientras que el badén es de utilidad cuando el nivel de la rasante de la carretera coincide con el nivel del fondo del cauce del curso natural que intercepta su alineamiento, permitiendo el flujo de sólidos y donde por las condiciones del terreno no ha sido posible la proyección de una alcantarilla [11].

### **2.2.2. Drenaje superficial longitudinal**

Como elemento básico se presenta la cuneta, cuya función es recolectar y eliminar el agua de la escorrentía superficial procedente de la calzada y entornos cercanos aportada por los taludes superiores adyacentes o por el escurrimiento local, logrando evitar daños a la infraestructura vial y su transitabilidad, asegurando así la estabilidad y durabilidad de la carretera [13]. Dentro de las más comunes se encuentra las de tipo triangulares, siendo la más usada en la práctica, ya que su construcción es más sencillas, aplicadas generalmente en lugares de circulación vial esporádica o nula, tienen menor tendencia a la sedimentación y cumplen con las recomendaciones mínimas de seguridad vial. Mientras que las de tipo rectangulares constructivamente son complejas y de baja capacidad hidráulica, su utilización es adecuada en trayectos viales en los que se presenta entrada y salida permanente de vehículos.

### **2.3. Diseño hidráulico**

El objetivo principal del diseño hidráulico de una obra de drenaje es determinar la ubicación, alineación, pendiente y sección hidráulica más idóneo; permitiendo el paso libre del flujo líquido y sólido que eventualmente transportan los cursos naturales y conducirlos adecuadamente [11]. Gelmi señala que el diseño de obras hidráulicas en carreteras es de fundamental importancia ya que deben permitir el escurrimiento del agua que accede al camino modificando lo menos posible las condiciones naturales del mismo y preservando la infraestructura [14]. En otro aspecto Hasan señala que el cambio climático ha desencadenado el aumento de la intensidad y frecuencia de lluvias, por ende, los diseños en base a suposiciones anteriores se han vuelto incorrectos y la capacidad de estos se vuelve demasiado pequeña para acomodar el aumento de las lluvias [4].

En el proceso de diseño los análisis hidrológicos e hidráulicos son componentes indispensables para que los ingenieros diseñen o rediseñen adecuadamente el tratamiento de las aguas. Es clave equilibrar los principios y datos técnicos considerando factores de seguridad y economía. En base a que en la hidrología y la hidráulica los cálculos y análisis no siempre resultan en una expresión matemática precisa, un diseño de drenaje funcionalmente aceptable se basa en la información disponible, con las debidas consideraciones sobre inundación y protección, los cual es proporcional a la importancia de la carretera [15]. En el Perú la obtención y procedimientos de información hidrológica e hidráulica se obtiene mediante estas instituciones:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC
- Autoridad Nacional del Agua - ANA
- Instituto Geográfico Nacional - IGN
- Gobiernos Locales

### 3. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio comprendió trabajos de campo y tareas de gabinete:

- **Trabajo de campo:** las actividades realizadas consistieron en el reconocimiento del tramo vial, desde el punto de vista hidráulico, llevando a cabo trabajos topográficos para ubicar, dimensionar y acotar características relevantes sobre las estructuras de drenaje superficial existentes, resaltando además aspectos técnicos bajo un criterio cualitativo sobre el estado de dichas estructuras.
- **Tareas de gabinete:** La primera actividad implicó organizar la información obtenida en campo, que luego fue integrada con datos cartográficos actualizados utilizando el software Google Earth, además de la carta topográfica (29-t-Sicuani) proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100000, correspondientes a la zona de estudio, que fue georreferenciada, para su manipulación y actualización. Por otro lado, se recopiló información hidrológica (precipitaciones) y consecuentemente se realizó el análisis del modelo digital de elevación (MDE), para generar mapas de pendiente y red de flujo a través de los cuales se lograron delimitar las microcuencas aportantes a las estructuras de drenaje en el tramo evaluado. A partir de ello se desarrolló el análisis hidrológico para el bosquejo de los caudales y diseño de las obras de drenaje superficial, lo cual finalmente permitió contrastar la funcionalidad y capacidad en relación al sistema de drenaje existente.

#### 3.1. Análisis de la red vial

Por ser una vía existente que posee obras de drenaje fue necesario inventariar cada uno de ellas. Al respecto se consignaron alcantarillas transversales (de estas se informaron su localización en coordenadas geográficas, tipo, materiales, dimensiones y estado) [15]. A partir de esta información en campo se logró comprender el comportamiento de la vía, permitiendo así la toma de decisiones en relación a continuar con este tipo de estructuras o proponer nuevas para el mejoramiento de las condiciones y funcionalidad de la red vial.

#### 3.2. Pluviometría

El tramo de la carretera evaluada corresponde a la cuenca Vilcanota – Urubamba, dicha unidad geográfica es monitoreada a través de estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). A partir de esta premisa se procedió a seleccionar estaciones de registro en base a criterios de ubicación dentro o cercanos al tramo de estudio, disponibilidad de data, vigencia de funcionamiento y tiempo de registro. Resultando la elección en base a dichos criterios de la estación Sicuani, a través de la cual se extrajo información de interés correspondiente al resumen de precipitaciones máximas en 24 horas comprendidas entre los años 1993-2020 (Ver tabla 2).

**Tabla 2.** Estación Meteorológica Sicuani. Resumen de Precipitaciones Máximas 24h (mm)

| <b>Datos Generales de Estación Sicuani</b>  |      |               |                             |      |               |    |      |               |
|---|------|---------------|-----------------------------|------|---------------|----|------|---------------|
| <b>Tipo de estación:</b> Automática         |      |               | <b>Longitud</b> 71°14'12.1W |      |               |    |      |               |
| <b>Departamento:</b> Cusco                  |      |               | <b>Latitud</b> 14°14'14.5"S |      |               |    |      |               |
| <b>Distrito:</b> Sicuani                    |      |               | <b>Altitud</b> 3534 msnm    |      |               |    |      |               |
| Resumen de Precipitaciones Máximas 24h (mm) |      |               |                             |      |               |    |      |               |
| N°  | Año  | Precipitación | N°                          | Año  | Precipitación | N° | Año  | Precipitación |
| 1   | 1993 | 30.40mm       | 11                          | 2003 | 30.40mm       | 21 | 2013 | 28.30mm       |
| 2   | 1994 | 24.50mm       | 12                          | 2004 | 34.10mm       | 22 | 2014 | 23.30mm       |
| 3   | 1995 | 27.00mm       | 13                          | 2005 | 44.40mm       | 23 | 2015 | 28.50mm       |
| 4   | 1996 | 40.60mm       | 14                          | 2006 | 29.80mm       | 24 | 2016 | 33.60mm       |
| 5   | 1997 | 40.50mm       | 15                          | 2007 | 28.80mm       | 25 | 2017 | 23.10mm       |
| 6   | 1998 | 28.80mm       | 16                          | 2008 | 31.30mm       | 26 | 2018 | 28.20mm       |
| 7   | 1999 | 24.80mm       | 17                          | 2009 | 20.00mm       | 27 | 2019 | 25.80mm       |
| 8   | 2000 | 25.80mm       | 18                          | 2010 | 24.70mm       | 28 | 2020 | 34.20mm       |
| 9   | 2001 | 36.00mm       | 19                          | 2011 | 34.10mm       |    |      |               |
| 10  | 2002 | 34.60mm       | 20                          | 2012 | 31.60mm       |    |      |               |

Fuente: SENAMHI, 2021

En el análisis de estos datos se emplearon técnicas estadísticas a fin de estimar precipitaciones máximas en 24h para diferentes períodos de retorno, aplicando modelos probabilísticos discretos o continuos, propuestos por el MTC-Perú, entre ellos la distribución normal, Log Normal, Pearson Tipo III, Log Pearson Tipo III, Gumbel y Log Gumbel [11]. Seguidamente se empleó la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, fueron analizados dichos modelos para determinar el de mejor ajuste a la data proporcionada.

### 3.2.1. Tormenta de diseño

Para el análisis de precipitación o tormentas se deben considerar los siguientes parámetros:

- **Periodo de Retorno:** Se considera para brindar seguridad a la hora de dimensionar obras de drenaje en carreteras destinadas a soportar avenidas, de acuerdo al Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [11], se establece el siguiente riesgo máximo admisible para cada obra (Ver tabla 3).

**Tabla 3.** Periodo de retorno según obra de drenaje.

| TIPO DE OBRA  | Riesgo Admisible | Vida Útil |
|---|------------------|-----------|
| Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes                  | 30               | 25        |
| Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas. | 35               | 15        |
| Drenaje de la plataforma (nivel longitudinal).                            | 40               | 15        |

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [11]

El riesgo de falla de una estructura está en función a:

$$R = 1 - (1 - T)^n \quad (1)$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R [11].

- **Hietogramas de diseño:** Durante una tormenta la intensidad de la precipitación varía en cada instante, por ello se hacen necesarios hietogramas que determinen estas variaciones a fin de proponer obras de drenaje lo más ajustadas posibles a las

condiciones y comportamiento de las precipitaciones. En el caso de este estudio se elaboró un hietograma sintético bajo el método del bloque alterno, utilizando curvas de Intensidad- Duración-Frecuencia (IDF).

- **Curvas IDF:** Al solo utilizar datos de precipitación máxima de 24 horas ( $P_{24h}$ ). La estimación de la precipitación total ( $P_d$ ), se calculó empleando el método Dick Peschke, permitiendo de esta manera obtener las intensidades máximas [11]. La expresión matemática del método en mención es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (2)$$

Cabe resaltar que en este estudio las curvas IDF fueron representadas en forma gráfica.

### 3.3. Hidrografía

#### 3.3.1. Delimitación de subcuenca

Fue necesario delimitar la cuenca Vilcanota Urubamba únicamente al tramo de vía en estudio, teniendo la denominación de subcuenca, la misma que fue subdividida de acuerdo a las quebradas encontradas, siendo estas últimas denominadas microcuencas, las cuales finalmente serán las que aportarán al diseño hidráulico de las obras de drenaje superficial. La delimitación se llevó a cabo luego de obtener la carta en formato shapefile (.shp) empleando el software SIG ArcMap 10.3 que nos permitió dar el resultado de los diferentes parámetros geomorfológicos de las microcuencas.

**Tabla 4.** Parámetros geomorfológicos.

| Tipo de Parámetro     | Parámetro                | Símb.             | Fórmula/Definición                  | Unidad          |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Parámetros Generales  | Área                     | A                 | Medición con SIG                    | km <sup>2</sup> |
|                       | Perímetro                | P                 | Medición con SIG                    | km              |
|                       | Long. de cauce principal | L                 | Medición con SIG                    | km              |
|                       | Ancho de la microcuenca  | B                 | Medición con SIG                    | km              |
|                       | Tiempo de concentración  | Tc                | $Tc=3.98*L^{(0.77)} * S^{(-0.385)}$ | h               |
| Parámetros de Forma   | Factor de forma          | Kf                | Kf = B/L                            |                 |
|                       | Coef. de Compacidad      | Kc                | Kc = 0.28 (P/√A)                    |                 |
| Parámetros de Relieve | Cota máxima              | $H_{m\acute{a}x}$ | Curvas de Nivel                     | m s.n.m.        |
|                       | Cota mínima              | $h_{m\acute{i}n}$ | Curvas de Nivel                     | m s.n.m.        |
|                       | Elevación media          | $E_m$             | Curvas de Nivel                     | m s.n.m.        |
|                       | Pend. de microcuenca     | S                 | Curvas de Nivel                     | m/m             |
|                       | Pend. de cauce principal | s                 | Curvas de Nivel                     | m/m             |

Nota: Los parámetros de factor de forma y coeficiente de compacidad contienen unidades adimensionales.

### 3.4. Caudal

La cuenca en estudio no dispone de información directa para la obtención de los caudales de diseño para las obras de drenaje. Por esa razón, para su estimación se utilizó un modelo hidrológico en el software HEC-HMS en subcuencas con áreas mayores de 10 Km<sup>2</sup>, del método racional modificado en alcantarillas de paso y del método racional para alcantarillas de alivio y cunetas; en cuencas con áreas menores de 10 Km<sup>2</sup>, según lo establecido en manuales del MTC – Perú.

### 3.4.1. Método racional

El método racional estima a partir de la precipitación el caudal máximo de escorrentía, abarcando todas las abstracciones en el coeficiente de escorrentía estimado sobre la base de las características de la cuenca. Es importante resaltar que la duración de la precipitación ( $P$ ) es igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ). Por otra parte, las fórmulas que definen cada factor de la ecuación general se tomaron del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [11].

$$Q = 0.278 C I A \quad (3)$$

Dónde:

$Q$  = es el caudal en unidades de volúmenes métricos por segundo ( $m^3/s$ ).

$I$  = es la intensidad de precipitación en milímetros por hora (mm/h).

$A$  = es el área en unidades métricas ( $Km^2$ ).

$C$  = es la constante o coeficiente de escorrentía, adimensional. Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [11].

### 3.4.2. Método racional modificado

También se consideró el método racional modificado, ya que mejora al método racional a través del tiempo de concentración de la cuenca incorporando el coeficiente de uniformidad ( $K$ ), para tener en cuenta la variación de la precipitación neta a lo largo del tiempo [11]. Teniendo la siguiente ecuación general:

$$Q = 0.278 C I A K \quad (4)$$

Dónde:

$P_d$  = precipitación máxima diaria (mm).

$P_0$  = umbral de escorrentía =  $[(500/CN) - 50]$ .

CN = número de curva.

La constante ( $C$ ) de escorrentía se determinó con la siguiente expresión:

$$C = [(P_d - P_0)(P_d + 23P_0)] / (P_d + 11P_0)^2 \quad (5)$$

### 3.4.3. Modelación hidrológica en HEC-HMS

La modelación simuló el proceso de precipitación-escorrentía para la obtención de caudales de crecida a la salida de una cuenca para una tormenta específica. El modelo se basó en la estructuración de la cuenca origen en subcuencas según la hidrografía encontrada; esto conllevó a utilizar el tránsito de hidrogramas a través del método de Muskingum, basado en un tiempo de retraso de la onda por el cauce. Así mismo, la selección del flujo base en el hidrograma de las subcuencas se consideró sin contribución, ya que no existen datos de este tipo en la cuenca, considerando así solo el flujo directo.

- **Tormentas de diseño:** El modelo HEC-HMS requirió de aquellas variaciones de precipitación a lo largo del tiempo, las cuales se reflejaron mediante un hietograma, obtenido previamente a través del procedimiento detallado en la sección 3.2.1.

- **Pérdidas por infiltración:** obtenido las características del suelo en el área de estudio se permitió la estimación de la capacidad total de infiltración, se escogió el modelo Número de Curva del SCS (CN), basado en un número adimensional que varía entre 0 y 100, el cual depende de la cobertura vegetal, grupo hidrológico y uso del suelo de la subcuenca, estas últimas se obtuvieron empleando el software SIG ArcMap 10.3, la carta en formato shapefile (.shp) del IGN y la herramienta Google Mapper, el cual nos permite tener el modelo de elevación digital (MED) para la zona en estudio que cuenta con resolución espacial de celda 1x1 m.
- **Modelo de transformación precipitación – escorrentía:** Finalmente, a la precipitación efectiva se le aplicó una transformación para el cálculo de caudales de escorrentía, mediante el HEC – HMS utilizando el hidrograma unitario sintético del SCS. Dicho cálculo requirió del CN y del tiempo de retardo  $0.6t_c$  (tlag), parámetros previamente obtenidos mediante el software SIG ArcMap 10.3

### 3.5. Diseño hidráulico

#### 3.5.1. Alcantarillas

El caudal de las alcantarillas de paso recibe el aporte de las microcuencas (quebradas) y en ocasiones de las estructuras aferentes (cunetas). Para el caso de alcantarillas de alivio solo se recibe aporte de las cunetas. A continuación, los criterios tomados y que se debiesen cumplir en su totalidad para su diseño:

- La capacidad hidráulica en las alcantarillas debe trabajar con el 75% de la diseñada, evitando riesgo de obstrucción por material flotante y desechos.
- Alcantarillas de sección cuadrada o rectangular serán de concreto armado (MC) y las de sección circular de tubería metálica corrugada (TMC).
- El diámetro mínimo en alcantarillas TMC considerado es de 0.90m (36").
- Velocidad máxima admisible de 5m/s. y velocidad mínima de 0.25m/s.

Para el cálculo hidráulico de las alcantarillas a proyectar fue aplicada la fórmula de Manning, al igual que para la verificación de la capacidad en las estructuras existentes. Obteniendo la velocidad de flujo en una condición de régimen uniforme.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (6)$$

Donde:

V = velocidad media de flujo (m/s)

S = Pendiente de fondo (m/m)

n = Coeficiente de Manning

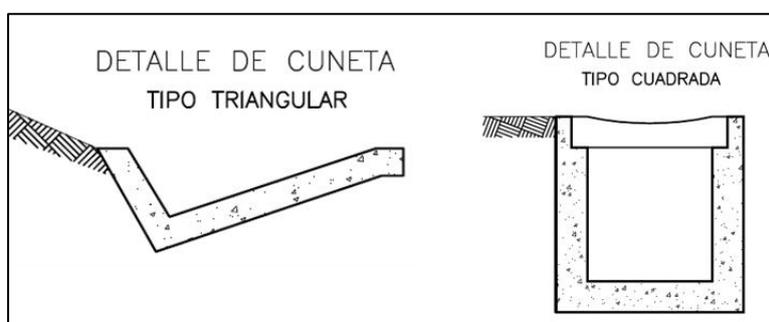
R= Radio hidráulico (m)

La rugosidad ( $n$ ) del conducto será  $n=0.020$  en ducto de tubería metálica corrugada (TMC) y  $n=0.014$  si es de marco de concreto (MC).

### 3.5.2. Cunetas

La estimación de caudales de diseño empleó el método racional detallado en la sección 3.4.1, el área tributaria ( $A$ ) considera el área de la intercuenca más la calzada de la vía. Las consideraciones para su diseño fueron las siguientes:

- La ubicación de alcantarillas de paso y alivio.
- Colocación en todos los tramos al pie de los taludes de corte.
- Las cunetas viales tendrán revestimiento de concreto y será de tipo triangular o cuadrada en zonas vecinas a casas de la población (Figura 2).
- La velocidad máxima y mínima admisible será la misma de las alcantarillas.
- Deberán cumplir como mínimo las dimensiones estipuladas en el Manual de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito-MTC. [16]



**Figura 2.** Tipos de cunetas empleadas en el diseño del sistema de drenaje.

### Diseño hidráulico

El dimensionamiento de las cunetas utilizó el principio del flujo en canales abiertos, mediante la ecuación de Manning, para verificar la capacidad hidráulica.

$$Q = \frac{(A * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}})}{n} \quad (7)$$

Donde:

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$V = Q/A$

$R_h=A/P$  = radio hidráulico (m) – área de la sección ( $A$ ) entre el perímetro mojado ( $P$ ).

$S$  = pendiente de fondo (m/m)

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de la red vial

Luego de inventariar in situ las obras de drenaje en el tramo de estudio, se localizaron mayor cantidad de alcantarillas, cuyo estado de conservación variaba de regular a buen estado en función a los criterios del Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial Departamental No Pavimentada [17]. En el caso de drenaje longitudinal predominaron cunetas

de tierra, sin una sección hidráulica definida, sólo como un perfilado lateral del terreno próximo a la vía, resultando un total de 61 alcantarillas halladas. (Ver tabla 5).

**Tabla 5.** Resumen General de Alcantarillas Existentes

| TIPO                            | SECCIÓN | DIAMETRO  | OJOS        | CANT. |    |
|---------------------------------|---------|-----------|-------------|-------|----|
| Tubería Metálica Corrugada      | TMC     | Circular  | 48"         | 1     | 37 |
| Tubería Metálica Corrugada      | TMC     | Circular  | 48"         | 2     | 4  |
| Tubería Metálica Corrugada      | TMC     | Circular  | 36"         | 1     | 15 |
| Tubería Metálica Corrugada      | TMC     | Abovedada | 3.6m x 2.0m | 1     | 1  |
| Tubería Metálica Corrugada      | TMC     | Abovedada | 3.0m x 2.0m | 1     | 1  |
| Policloruro de Vinilo           | PVC     | Circular  | 4"          | 2     | 1  |
| Policloruro de Vinilo           | PVC     | Circular  | 6"          | 1     | 1  |
| Polietileno de Alta Densidad    | HDPE    | Circular  | 4"          | 1     | 1  |
| <b>TOTAL = 61 Alcantarillas</b> |         |           |             |       |    |

Nota: Alcantarillas existentes del km 19+840 al km 29+840.

## 4.2. Análisis hidrológico

### 4.2.1. Delimitación

La delimitación de las microcuencas se logró empleando la herramienta ArcGis 10.3. Dichas unidades coincidieron con las alcantarillas de quebradas existentes en el tramo vial. Luego de ello se obtuvieron los parámetros geomorfológicos descritos en el apartado 3.3.1, estos resultados evidenciaron mayor pendiente hacia las quebradas número 1, 10 y 11, las cuales también presentan menor tiempo de concentración, en base a ello se consideró como una de las zonas más propensas a procesos de degradación acelerada por agentes hídricos. Sin embargo, se pudo comprobar que el estado de conservación de las obras de drenaje en estas zonas cumple la función de drenar adecuadamente el flujo de agua y por ende mitigar el deterioro acelerado de la infraestructura vial en el tramo evaluado (Ver tabla 6).

**Tabla 6.** Valores de parámetros geomorfológicos.

| Símb.     | Und.            | Microcuencas |      |      |      |       |       |       |      |       |      |      |      |      |       |
|-----------|-----------------|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|
|           |                 | 1            | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8    | 9     | 10   | 11   | 12   | 13   | 14    |
| A         | Km <sup>2</sup> | 0.97         | 0.42 | 0.90 | 1.40 | 1.32  | 1.53  | 29.94 | 3.70 | 1.86  | 0.20 | 0.21 | 0.39 | 0.09 | 10.60 |
| P         | Km              | 6.21         | 4.18 | 5.21 | 6.65 | 5.62  | 6.97  | 29.30 | 9.09 | 6.50  | 2.43 | 2.24 | 4.16 | 2.67 | 16.49 |
| L         | Km              | 2.01         | 1.61 | 2.43 | 2.92 | 2.60  | 2.99  | 8.59  | 3.94 | 2.70  | 0.99 | 1.13 | 1.81 | 1.17 | 7.08  |
| B         | Km              | 0.48         | 0.26 | 0.37 | 0.48 | 0.51  | 0.51  | 3.49  | 0.94 | 0.69  | 0.20 | 0.19 | 0.22 | 0.08 | 1.50  |
| Tc        | min             | 10.2         | 9.51 | 12.4 | 14.4 | 13.56 | 16.57 | 38.02 | 20.1 | 15.06 | 5.57 | 6.86 | 10.1 | 7.78 | 28.56 |
| Kf        |                 | 0.24         | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.20  | 0.17  | 0.41  | 0.24 | 0.26  | 0.20 | 0.17 | 0.12 | 0.07 | 0.21  |
| Kc        |                 | 1.77         | 1.81 | 1.54 | 1.57 | 1.37  | 1.58  | 1.50  | 1.32 | 1.33  | 1.52 | 1.37 | 1.87 | 2.49 | 1.42  |
| $H_{máx}$ | m s.n.m.        | 4642         | 4389 | 4576 | 4564 | 4485  | 4485  | 4660  | 4388 | 4397  | 4310 | 4291 | 4292 | 4127 | 4429  |
| $h_{mín}$ | m s.n.m.        | 3972         | 3977 | 3978 | 3991 | 3966  | 3945  | 3943  | 3938 | 3941  | 3932 | 3854 | 3808 | 3800 | 3778  |
| $E_m$     | m s.n.m.        | 4384         | 4104 | 4271 | 4294 | 4123  | 4225  | 4129  | 4073 | 4239  | 4216 | 4159 | 4060 | 3939 | 4122  |
| S         | m/m             | 0.35         | 0.27 | 0.31 | 0.30 | 0.28  | 0.22  | 0.21  | 0.23 | 0.23  | 0.41 | 0.31 | 0.29 | 0.24 | 0.30  |
| s         | m/m             | 0.33         | 0.26 | 0.25 | 0.20 | 0.20  | 0.18  | 0.08  | 0.11 | 0.17  | 0.38 | 0.39 | 0.27 | 0.28 | 0.09  |

Nota: En la tabla 4 se muestra los parámetros correspondientes para cada simbología presentada en este cuadro.

### 4.2.2. Tormenta de diseño

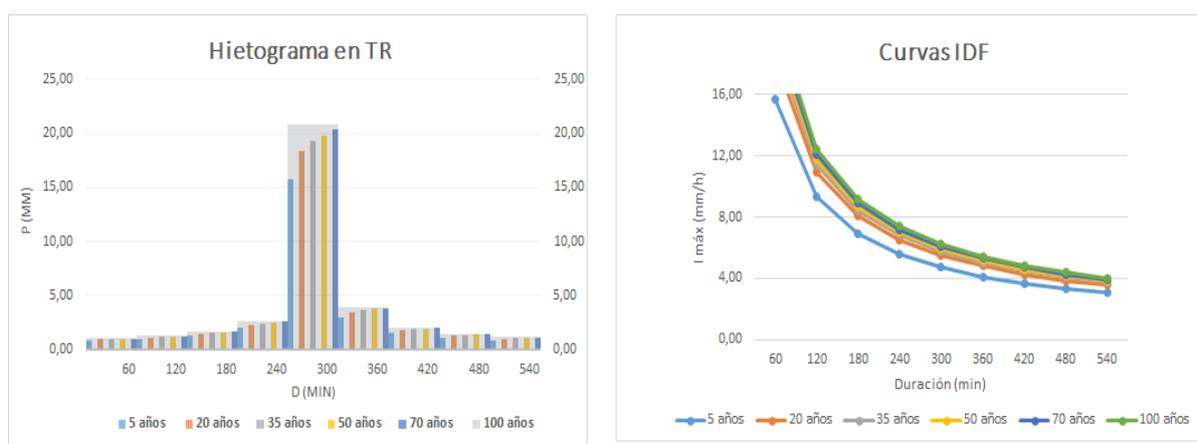
#### ▪ Periodo de retorno

A partir de los resultados de la ecuación (1) el diseño de las alcantarillas de paso será con un periodo de retorno de 70 años, mientras que las alcantarillas de alivio y cunetas será de 35 años. Yañez indica que los resultados conseguidos para los periodos de retorno demuestran

las diferencias de caudales existente entre el diseño realizado y las obras de drenaje pluvial existentes en la zona [18]. Ya que se acostumbra emplear periodos de retorno inferiores con tal de minorar el dimensionamiento y por ende tener bajos costos.

#### ▪ Hietograma de diseño

Siguiendo el procedimiento del apartado 3.2.2, a partir de los valores obtenidos se proyectaron las curvas de intensidad (I) en diferentes intervalos de duración (d) y distintos periodos de retorno (T). Posteriormente se generaron hietogramas en base a curvas IDF mediante el producto de la intensidad con el intervalo de tiempo propuesto (1 hora). A partir de ello se supuso que dentro de las 2 horas se encuentra la hora anterior, por lo tanto, estos valores se restaron, resultando el siguiente hietograma (Ver figura 3).



**Figura 3.** Hietograma de diseño y curvas de Intensidad- Duración-Frecuencia

#### 4.2.3. Prueba bondad de ajuste

Luego de aplicar el análisis estadístico al resumen de precipitaciones máximas 24h (mm), según las distribuciones probabilísticas establecidas por el MTC y mediante la prueba de bondad de ajuste, todas las distribuciones obtuvieron valores calculados de delta menores al tabular, sin embargo, el método de Pearson Tipo III fue seleccionado por tener el menor valor de todos, obteniendo un valor en delta calculado (0.0537) menor a delta tabular (0.2570). A continuación, se muestran las precipitaciones producidas para diferentes periodos de retorno (Ver tabla 7).

**Tabla 7.** Precipitaciones máximas 24h con diferentes T.

| Distribución de Ajuste | Periodos de Retorno (Años) |         |         |         |         |         |
|------------------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                        | 5                          | 20      | 35      | 50      | 70      | 100     |
| Pearson Tipo III       | 34.83mm                    | 40.59mm | 42.62mm | 43.85mm | 44.98mm | 46.15mm |

#### 4.2.4. Caudales máximos

A partir de los parámetros geomorfológicos de las microcuencas y la tormenta de diseño, se procedió al cálculo de caudales de diseño para las obras de drenaje, tomando en cuenta las consideraciones establecidas por el MTC- Perú para cada tipo de obra. (Ver tabla 8).

**Tabla 8. Resultado para caudales de diseño por tipo de obra**

| <b>ALCANTARILLAS DE PASO &lt; 10 km<sup>2</sup></b> |             |                       |           |         |        | <b>ALCANTARILLAS DE PASO &gt; 10 km<sup>2</sup></b> |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
|---|-------------|-----------------------|-----------|---------|--------|---|-----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|
| Método hidrológico: Racional modificado             |             |                       |           |         |        | Método hidrológico: Software HEC-HMS                |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| Período de retorno TR (años): 70                    |             |                       |           |         |        | Período de retorno TR (años): 70                    |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| Precipitación Max 24h (mm): 44.98                   |             |                       |           |         |        |   |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| Id  | Prog.<br>Km | Coef. Escorrentía (C) |           |         |        | Caudal(Q)<br>m <sup>3</sup> /s                      | Microcuencia 07 |                      |                             | Microcuencia 14 |                      |                        |
|   |             | K<br>-                | I<br>mm/h | A<br>ha | C<br>- |   | SC              | A<br>Km <sup>2</sup> | Q<br>m <sup>3</sup> /s      | SC              | A<br>Km <sup>2</sup> | Q<br>m <sup>3</sup> /s |
| 1   | 19+987      | 1,04                  | 27.10     | 113.89  | 0,28   | 2,41  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 2   | 20+403      | 1,03                  | 30.04     | 39.22   | 0,22   | 0,74  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 3   | 21+019      | 1,05                  | 24.80     | 92.09   | 0,30   | 1,88  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 4   | 21+344      | 1,06                  | 22.49     | 141.29  | 0,32   | 2,80  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 5   | 23+045      | 1,05                  | 23.40     | 143.15  | 0,27   | 2,49  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 6   | 23+519      | 1,06                  | 21.36     | 154.11  | 0,26   | 2,34  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 8   | 25+356      | 1,08                  | 18.29     | 403.16  | 0,30   | 6,09  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 9   | 25+830      | 1,05                  | 22.52     | 192.78  | 0,32   | 3,86  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 10  | 26+902      | 1,02                  | 39.42     | 25.57   | 0,31   | 0,87  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 11  | 28+198      | 1,02                  | 36.65     | 28.03   | 0,31   | 0,89  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 12  | 28+808      | 1,04                  | 28.82     | 44.22   | 0,31   | 1,11  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
| 13  | 29+356      | 1,02                  | 35.49     | 11.75   | 0,31   | 0,36  |                 |                      |                             |                 |                      |                        |
|   |             |                       |           |         |        | Total 29,94 Km <sup>2</sup>                         |                 |                      | Total 10,60 Km <sup>2</sup> |                 |                      |                        |

**ALCANTARILLAS DE ALIVIO**

Método hidrológico: Racional  
Período de retorno TR 35  
Precipitación Max 24h (mm): 42,62

| Id | Prog.<br>Km | Coef. Escorrentía (C) |           |        | Caudal(Q)<br>m <sup>3</sup> /s |
|----|-------------|-----------------------|-----------|--------|--------------------------------|
|    |             | Á<br>ha               | I<br>mm/h | C<br>- |                                |
| 1  | 19+855      | 10.09                 | 103.17    | 0,55   | 1,59                           |
| 2  | 20+264      | 3.73                  | 86.54     | 0,50   | 0,45                           |
| 3  | 20+707      | 16.59                 | 132.16    | 0,54   | 3,29                           |
| 4  | 20+790      | 5.70                  | 155.60    | 0,53   | 1,31                           |
| 5  | 21+150      | 4.94                  | 147.32    | 0,49   | 0,99                           |
| 6  | 21+321      | 2.19                  | 139.51    | 0,53   | 0,45                           |
| 7  | 21+383      | 1.81                  | 172.70    | 0,50   | 0,43                           |
| 8  | 21+530      | 2.14                  | 120.73    | 0,53   | 0,38                           |
| 9  | 21+662      | 14.33                 | 107.74    | 0,51   | 2,19                           |
| 10 | 21+832      | 5.33                  | 158.18    | 0,53   | 1,24                           |
| 11 | 21+885      | 14.30                 | 106.56    | 0,51   | 2,16                           |
| 12 | 22+044      | 21.35                 | 94.84     | 0,51   | 2,87                           |
| 13 | 22+259      | 19.76                 | 79.96     | 0,51   | 2,24                           |
| 14 | 22+350      | 16.38                 | 98.15     | 0,54   | 2,41                           |
| 15 | 22+420      | 3.09                  | 142.00    | 0,50   | 0,61                           |
| 16 | 22+470      | 2.34                  | 136.88    | 0,50   | 0,44                           |
| 17 | 22+509      | 1.55                  | 144.60    | 0,50   | 0,31                           |
| 18 | 22+589      | 0.96                  | 178.99    | 0,50   | 0,24                           |
| 19 | 22+790      | 2.38                  | 185.36    | 0,50   | 0,61                           |
| 20 | 22+850      | 0.66                  | 206.93    | 0,50   | 0,19                           |
| 21 | 23+739      | 1.94                  | 137.35    | 0,50   | 0,37                           |
| 22 | 23+923      | 1.64                  | 161.88    | 0,50   | 0,37                           |
| 23 | 24+155      | 4.21                  | 88.69     | 0,45   | 0,47                           |
| 24 | 24+278      | 1.25                  | 21.96     | 0,40   | 0,03                           |
| 25 | 24+360      | 0.80                  | 33.50     | 0,40   | 0,03                           |
| 26 | 24+575      | 9.29                  | 61.20     | 0,50   | 0,79                           |
| 27 | 24+660      | 6.71                  | 58.58     | 0,45   | 0,49                           |
| 28 | 24+766      | 42.85                 | 46.33     | 0,50   | 2,76                           |
| 29 | 24+941      | 23.39                 | 60.70     | 0,45   | 1,77                           |
| 30 | 25+093      | 3.78                  | 69.39     | 0,45   | 0,33                           |
| 31 | 25+166      | 4.43                  | 72.52     | 0,50   | 0,45                           |
| 32 | 25+487      | 10.10                 | 103.41    | 0,50   | 1,45                           |
| 33 | 25+557      | 11.98                 | 116.54    | 0,50   | 1,94                           |
| 34 | 25+702      | 6.25                  | 124.90    | 0,50   | 1,08                           |
| 35 | 25+955      | 4.88                  | 156.56    | 0,55   | 1,17                           |
| 36 | 26+092      | 1.45                  | 246.83    | 0,55   | 0,55                           |
| 37 | 26+267      | 5.45                  | 164.70    | 0,55   | 1,37                           |
| 38 | 26+431      | 2.76                  | 207.55    | 0,55   | 0,88                           |
| 39 | 26+677      | 11.15                 | 159.84    | 0,55   | 2,72                           |
| 40 | 27+095      | 5.24                  | 169.55    | 0,55   | 1,36                           |
| 41 | 27+234      | 5.03                  | 174.32    | 0,55   | 1,34                           |

**CUNETAS**

Método hidrológico: Racional  
Período de retorno TR (años): 35  
Precipitación Max 24h (mm): 42,62

| Id | Desde<br>Km | Hasta<br>Km | Longitud<br>m | Tipo | Q<br>m <sup>3</sup> /s |
|----|-------------|-------------|---------------|------|------------------------|
|    |             |             |               |      |                        |
| 2  | 19+987,1    | 20+264,0    | 276,90        | I    | 0,07                   |
| 3  | 20+264,0    | 20+403,0    | 139,00        | I    | 0,06                   |
| 4  | 20+403,0    | 20+707,4    | 304,40        | I    | 0,30                   |
| 5  | 20+707,4    | 20+790,2    | 82,80         | I    | 0,08                   |
| 6  | 20+790,2    | 21+019,5    | 229,30        | I    | 0,17                   |
| 7  | 21+019,5    | 21+150,3    | 130,80        | II   | 0,03                   |
| 8  | 21+150,3    | 21+320,6    | 170,30        | II   | 0,12                   |
| 9  | 21+320,6    | 21+343,8    | 23,20         | II   | 0,06                   |
| 10 | 21+343,8    | 21+384,0    | 40,20         | II   | 0,02                   |
| 11 | 21+384,0    | 21+530,5    | 146,50        | II   | 0,05                   |
| 12 | 21+530,5    | 21+662,1    | 131,60        | I    | 0,40                   |
| 13 | 21+662,1    | 21+832,2    | 170,10        | I    | 0,16                   |
| 14 | 21+832,2    | 21+884,8    | 52,60         | I    | 0,12                   |
| 15 | 21+884,8    | 22+043,8    | 159,00        | I    | 0,25                   |
| 16 | 22+043,8    | 22+259,0    | 215,20        | I    | 0,53                   |
| 17 | 22+259,0    | 22+350,0    | 91,00         | III  | 0,44                   |
| 18 | 22+350,0    | 22+420,0    | 70,00         | III  | 0,30                   |
| 19 | 22+420,0    | 22+470,0    | 50,00         | II   | 0,07                   |
| 20 | 22+470,0    | 22+508,8    | 38,80         | II   | 0,05                   |
| 21 | 22+508,8    | 22+588,9    | 80,10         | II   | 0,04                   |
| 22 | 22+588,9    | 22+789,5    | 200,60        | II   | 0,07                   |
| 23 | 22+789,5    | 22+849,9    | 60,40         | II   | 0,02                   |
| 24 | 22+849,9    | 23+045,2    | 195,30        | II   | 0,18                   |
| 25 | 23+045,2    | 23+518,9    | 473,70        | II   | 0,03                   |
| 26 | 23+518,9    | 23+739,3    | 220,40        | II   | 0,05                   |
| 27 | 23+739,3    | 23+922,8    | 183,50        | II   | 0,04                   |
| 28 | 23+922,8    | 24+155,1    | 232,30        | II   | 0,08                   |
| 29 | 24+155,1    | 24+277,7    | 122,60        | II   | 0,02                   |
| 30 | 24+277,7    | 24+360,2    | 82,50         | II   | 0,01                   |
| 31 | 24+360,2    | 24+408,2    | 48,00         | II   | 0,01                   |
| 32 | 24+408,2    | 24+575,2    | 167,00        | II   | 0,13                   |
| 33 | 24+575,2    | 24+660,0    | 84,80         | II   | 0,09                   |
| 34 | 24+660,0    | 24+766,3    | 106,30        | III  | 0,44                   |
| 35 | 24+766,3    | 24+941,5    | 175,20        | IV   | 0,16                   |
| 36 | 24+941,5    | 25+093,0    | 151,50        | IV   | 0,15                   |
| 37 | 25+093,0    | 25+166,3    | 73,30         | IV   | 0,06                   |
| 38 | 25+166,3    | 25+355,8    | 189,50        | IV   | 0,41                   |
| 39 | 25+355,8    | 25+486,8    | 131,00        | I    | 0,09                   |
| 40 | 25+486,8    | 25+557,3    | 70,50         | I    | 0,29                   |
| 41 | 25+557,3    | 25+701,9    | 144,60        | I    | 0,37                   |
| 42 | 25+701,9    | 25+829,7    | 127,80        | I    | 0,20                   |

|    |        |       |        |      |      |    |          |          |        |    |      |
|----|--------|-------|--------|------|------|----|----------|----------|--------|----|------|
| 42 | 27+299 | 3.87  | 170.32 | 0,55 | 1,01 | 43 | 25+829,7 | 25+955,5 | 125,80 | I  | 0,14 |
| 43 | 27+398 | 4.80  | 152.22 | 0,55 | 1,12 | 44 | 25+955,5 | 26+091,8 | 136,30 | I  | 0,08 |
| 44 | 27+653 | 12.84 | 133.69 | 0,55 | 2,62 | 45 | 26+091,8 | 26+266,6 | 174,80 | I  | 0,21 |
| 45 | 27+731 | 4.04  | 173.10 | 0,55 | 1,07 | 46 | 26+266,6 | 26+430,6 | 164,00 | I  | 0,13 |
| 46 | 27+909 | 4.36  | 183.49 | 0,55 | 1,22 | 47 | 26+430,6 | 26+677,3 | 246,70 | I  | 0,41 |
| 47 | 28+424 | 7.98  | 155.92 | 0,55 | 1,90 | 48 | 26+677,3 | 26+901,6 | 224,30 | I  | 0,19 |
| 48 | 28+557 | 7.73  | 166.16 | 0,55 | 1,96 | 49 | 26+901,6 | 27+095,3 | 193,70 | I  | 0,21 |
| 49 | 29+461 | 2.40  | 206.32 | 0,50 | 0,69 | 50 | 27+095,3 | 27+233,5 | 138,20 | I  | 0,20 |
| 50 | 29+580 | 1.44  | 290.44 | 0,55 | 0,64 | 51 | 27+233,5 | 27+298,6 | 65,10  | I  | 0,15 |
|    |        |       |        |      |      | 52 | 27+298,6 | 27+398,0 | 99,40  | I  | 0,18 |
|    |        |       |        |      |      | 53 | 27+398,0 | 27+653,4 | 255,40 | I  | 0,42 |
|    |        |       |        |      |      | 54 | 27+653,4 | 27+731,4 | 78,00  | I  | 0,16 |
|    |        |       |        |      |      | 55 | 27+731,4 | 27+909,4 | 178,00 | I  | 0,18 |
|    |        |       |        |      |      | 56 | 27+909,4 | 28+198,3 | 288,90 | I  | 0,21 |
|    |        |       |        |      |      | 57 | 28+198,3 | 28+423,9 | 225,60 | I  | 0,30 |
|    |        |       |        |      |      | 58 | 28+423,9 | 28+556,7 | 132,80 | I  | 0,30 |
|    |        |       |        |      |      | 59 | 28+556,7 | 28+808,5 | 251,80 | II | 0,12 |
|    |        |       |        |      |      | 60 | 28+808,5 | 29+356,3 | 547,80 | II | 0,09 |
|    |        |       |        |      |      | 61 | 29+356,3 | 29+460,8 | 104,50 | II | 0,11 |
|    |        |       |        |      |      | 62 | 29+460,8 | 29+580,0 | 119,20 | II | 0,08 |
|    |        |       |        |      |      | 63 | 29+580,0 | 29+675,5 | 95,50  | II | 0,01 |

Rojas y Humpiri sostienen que el método racional tiene limitaciones en cuencas mayores a los 10 km<sup>2</sup>, que el software cubre para un diseño más real [19].

### 4.3. Diseño hidráulico superficial

Obtenido la información sobre el terreno de estudio, dio un resultado cualitativo del estado de conservación de las estructuras de drenaje. Posteriormente cumpliendo los criterios mencionados en el apartado 3.5.1. en relación al diseño para las alcantarillas (quebrada y alivio), se obtuvo un modelo que a su vez fue contrastado desde el punto de vista hidráulico con el sistema de drenaje existente para su mejoramiento en capacidad y funcionalidad. Al realizar dicha comparación fueron detectados una serie de conflictos, a partir de los cuales se proponen el reemplazo, mantenimiento y nueva proyección de obras. (Ver tabla 9).

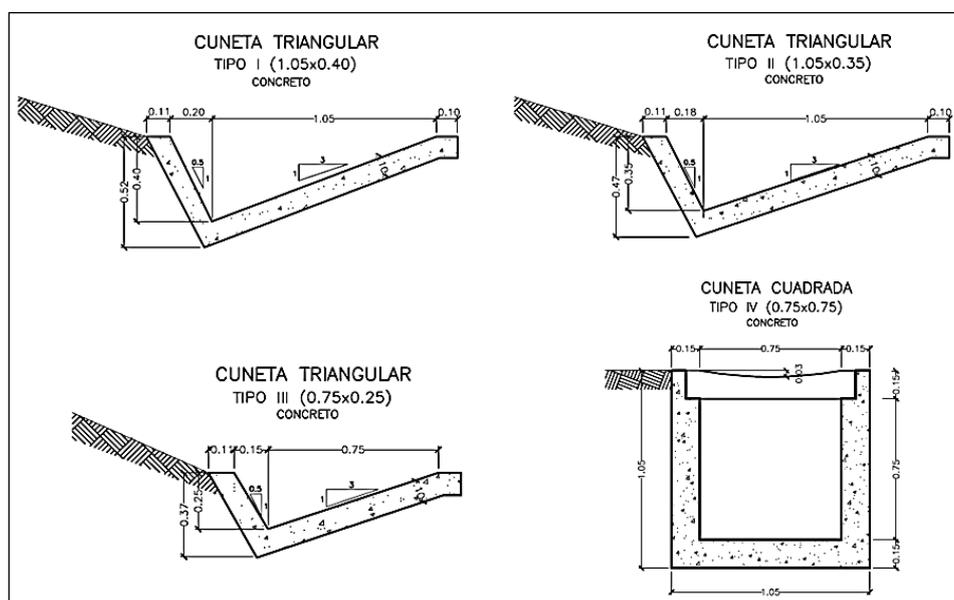
**Tabla 9.** Resumen de propuesta para nuevo sistema de drenaje superficial (alcantarillas)

| Ítem | ALCANTARILLA      | CANT. | TIPO                       | DIAMETRO    | OJOS |
|------|-------------------|-------|----------------------------|-------------|------|
| 1    | Nueva a proyectar | 1,00  | Tubería Metálica Corrugada | 48"         | 2    |
|      |                   | 6,00  | Tubería Metálica Corrugada | 36"         | 1    |
| 2    | Reemplazar        | 1,00  | Marco de Concreto          | 1.4mx1.4m   |      |
|      |                   | 1,00  | Marco de Concreto          | 1.35mx1.35m |      |
|      |                   | 1,00  | Marco de Concreto          | 1.6mx1.6m   |      |
|      |                   | 1,00  | Marco de Concreto          | 1.8mx1.8m   |      |
|      |                   | 1,00  | Tubería Metálica Corrugada | 36"         | 1    |
|      |                   | 5,00  | Tubería Metálica Corrugada | 36"         | 2    |
|      |                   | 8,00  | Tubería Metálica Corrugada | 48"         | 1    |
|      |                   | 4,00  | Tubería Metálica Corrugada | 48"         | 2    |
| 3    | Mantener          | 37,00 |                            |             |      |

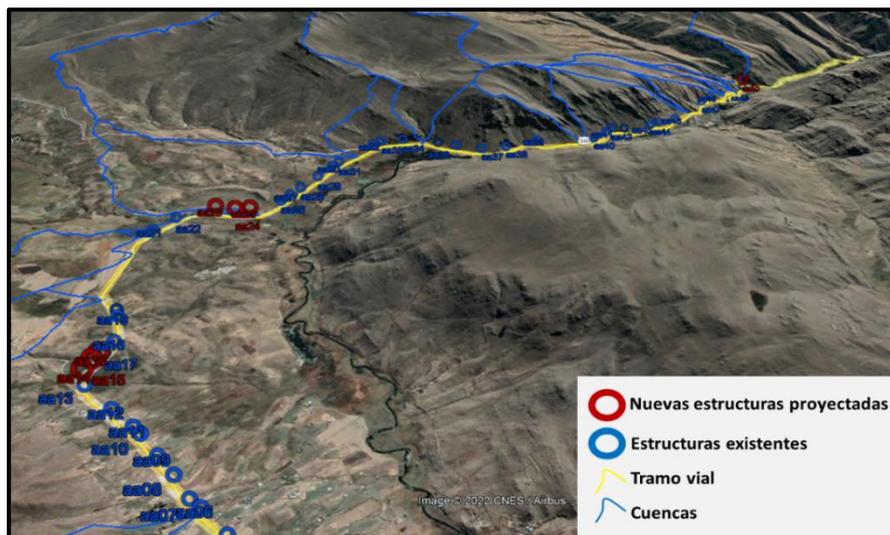
**Total, de obras propuestas 66,00 alcantarillas.**

Rojas y Humpiri concluyen que el diseño de obras superficiales proyectados y ejecutados según el expediente técnico elaborado quedan desfasados por no cumplir con los parámetros básicos necesarios. Siendo por ello que los autores realizan el análisis hidráulico el cual cumpla con los parámetros de diseño normalizados en los manuales vigentes en el Perú [19].

Las estructuras que se decidieron mantener en su mayoría presentaban un buen estado de conservación, por otro lado, a las que evidenciaron un estado de conservación regular se les determinó que a través de actividades de tratamiento podrían mejorar su funcionalidad, en su mayoría requerían de limpieza al ingreso o salida de cabezal o presentaban fisuras en el muro, por lo cual para ellas solo son necesarias tareas de resane. Al contrario, a las que se detectaron en un mal estado o su capacidad era insuficiente al comportamiento de las precipitaciones en el terreno de acuerdo al diseño estimado, se optaron por reemplazar en su mayoría los ductos que se encontraban obstruidos por sedimentos o colmatados. Por último, las estructuras de nueva proyección se ubicaron en zonas estratégicas distribuidas de tal manera que fuera optimizado el flujo del agua, dichas estructuras fueron alcantarillas de alivio, cercanas a las microcuencas 4, 5, 6, 7, 8 y 14 (Ver figura N°5). Cabe resaltar que, en cuanto obras de drenaje longitudinal se proyectaron cunetas de concreto, en su mayoría triangulares. Las de tipo I en el diseño abarcan una longitud de: 5 km 094m; las de tipo II: 3km 870m de longitud; las de tipo III 267 m de longitud; y el tipo IV 590 m de longitud. Los cálculos hidráulicos de las cunetas vienen cumpliendo con las dimensiones mínimas para una región lluviosa según lo indica el Manual de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito-MTC [16]. Sumado a que se verificó que los caudales de diseño sean menores a lo que las cunetas puedan recibir.



**Figura 4.** Representación de los tipos de cunetas proyectados.



**Figura 5.** Referenciación del nuevo sistema drenaje para la carretera Colpahuayco - Langui, Cusco.

## 5. CONCLUSIONES

Se detectaron potenciales dificultades hidráulicas, en el tramo vial evaluado de la carretera Colpahuayco - Langui, Cusco, Perú. Estas dificultades en las obras de drenaje corresponden a obstrucciones, fisuras y cunetas de tierra, sin una sección hidráulica definida. En base a estos conflictos surgieron posibles acciones a considerar para mejorar la capacidad y funcionalidad del sistema existente, entre ellas actividades de tratamiento como limpieza y resane de cabezales, además del reemplazo de obras de arte por evidenciar estados de conservación poco recuperables debido a su obstrucción por sedimentos y colmatación.

En el análisis hidrológico se logró determinar los parámetros geomorfológicos de las microcuencas y las precipitaciones máximas en 24 horas teniendo 44.98mm y 42.62mm, para los periodos de retorno de 70 y 35 años respectivamente. Se encontraron dos cuencas con áreas superiores a los 10 km<sup>2</sup>, correspondiente a la quebrada Colpahuayco con 10,60 km<sup>2</sup> y las quebradas Ccayacmayo, Pucariyo y Pallcasullo con 29,94 km<sup>2</sup> que conjuntamente forman un solo cauce. Los caudales de diseño en alcantarillas de alivio y cunetas se calcularon con el método racional, el método racional modificado en alcantarillas de paso con un área menor a los 10 km<sup>2</sup> y las alcantarillas de paso con áreas mayores a 10 km<sup>2</sup> haciendo uso del programa HEC HMS. Los resultados que se obtuvieron del caudal son aproximaciones a la realidad, debido a que dentro de la zona de estudio no se tienen más estaciones hidrometeorológicas para una mejor validez de los datos, que permita brindar mayor confiabilidad a la hora de diseñar una obra de arte.

Dentro de los trabajos de campo se encontró 61 alcantarillas en estado de conservación de regular a bueno, de las cuales después de realizado su diseño hidráulico se propuso reemplazar 22 debido al sub dimensionamiento, mantener 37 por cumplir los criterios mínimos imprescindibles, y de proyectar 7 nuevas alcantarillas de alivio de tipo TMC en los km 22+350, km 22+420, km 22+470, km 24+155.05, km 24+278, km 24+360 y km 29+580 con diámetros

de 36" y 48" para lograr una rápida descarga del agua proveniente de las cunetas; las cuales sumado a los 9821 metros de cunetas de concreto proyectado de tipo triangular o rectangular evitarán la acumulación de escorrentías superficiales fluir por la calzada, logrando mejorar la transitabilidad de los vehículos en temporadas de intensa lluvia muchas veces no contemplados.

Ante esto se recomienda que a la hora de ubicar dichas estructuras se respeten condiciones altimétricas para alargar su durabilidad en la obra, además de prestar atención al mantenimiento periódico de la red en general, que consiste en eliminar vegetación y todo aquel material que obstruya el paso libre del agua, garantizando así, un adecuado drenaje.

A partir de esta investigación se espera contribuir con entidades interesadas en la prevención y mitigación de daños por inundaciones en carreteras, priorizando la intervención de la zona en estudio para dar solución a sus dificultades y beneficiar a los habitantes del área y zonas aledañas, a través de una carretera en óptimo estado para su transitabilidad. De esta forma se favorece el alcance del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 que impulsa el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el Perú y a nivel mundial, referido a construir infraestructuras resilientes a los desastres y al cambio climático.

Luego de priorizar las acciones para mitigar riesgos de inundaciones en la zona de estudio, esta investigación abre paso a la realización de análisis más detallados de cada zona y áreas aledañas que incluyan análisis de precipitaciones tomando en consideración otras estaciones de registro meteorológico, relevamiento planialtimétrico y determinación de los caudales, todo ello respetando las pautas recomendadas anteriormente para este tipo de trabajos, conllevando así al enriquecimiento y actualización de información en la zona y por ende a la puesta en marcha de obras en esta parte del país.

## **6. FINANCIAMIENTO**

El artículo que presentamos no ha sido financiado, total o parcialmente, por ninguna empresa o entidad.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento primeramente a Dios, y a la Universidad Peruana Unión (UPeU) por todas las enseñanzas y experiencias dadas dentro de sus aulas, y permitirnos cumplir una de nuestras metas. Un agradecimiento especial para cada familiar, amigo, compañero que nos brindaron su amistad, ideas, ánimos y apoyo en los momentos más difíciles que se nos presentaron. A la subgerencia de infraestructura y obras de la Municipalidad Distrital de Langui y al SENAMHI por permitirnos acceder a la información para el desarrollo del presente artículo.

## **8. CONFLICTOS DE INTERÉS DEL AUTOR**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## 9. REFERENCIAS

- [1] P. Chambi. "Derivados financieros y los efectos del fenómeno El Niño en la rentabilidad de las empresas pesqueras y agroindustriales peruanas" *Economía & Negocios*, Vol. 02 N° 01 (2020) (15-23). <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/eyn/article/view/904/987>
- [2] E. Castillo. *Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará- Amazonas*, tesis Pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Lima, Perú, 2017.
- [3] K. Venkateswaran, K. MacClune, and M. Enríquez. "El Niño Costero: Las inundaciones de 2017 en el Perú." Boulder, Colorado: Institute for Social and Environmental Transition–International (2017).
- [4] F. Pereira, L. De Souza. "Evaluación comparativa de técnicas para la enseñanza de la geografía: una aproximación desde el concepto de ciclo hidrológico". *INTERCONOCIMIENTO* [Internet]. 13 de diciembre de 2019;14(33):644. Disponible en: <https://www.revistasuninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/view/627>
- [5] H. Hazman, S. Mohd, A. Ahmad. "Integrated Hydrological-Hydraulic Model for Flood Simulation in Tropical Urban Catchment". *Sustainability* (2019) 11, 6700. <https://doi.org/10.3390/su11236700>
- [6] C. Plati. "Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review". *Construction and Building Materials* (2019). Volume 211, Pages 539-555, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242>.
- [7] Z. Farukh y V.P. Ravekar. "Estudio sobre el rendimiento relacionado con el drenaje de pavimentos de carreteras flexibles". *International Journal On Recent & Innovative Trend In Technology* (2016).
- [8] M.S. Maldonado. "Introducción a los bofedales de la región Altoandina Peruana". *International Mire Conservation Group and International Peat Society* (2014). Disponible en: [http://mires-and-peat.net/media/map15/map\\_15\\_05\\_Spanish.pdf](http://mires-and-peat.net/media/map15/map_15_05_Spanish.pdf)
- [9] E.D. Cubides, G.E. Santos. "Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración". *eci* (2019). Available from: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/view/98>
- [10] J.F. Meléndez. La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones. *Investig.soc* (2019). Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/view/16005>
- [11] Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú, 2011.

- [12] J. Campos, J. Gonzales, S. Diaz, A. Galán. “Metodología para la evaluación del riesgo y la priorización de inversiones en el mantenimiento de obras de drenaje transversal”. V Jornadas de Ingeniería del Agua (2017). p. 25-26.
- [13] V.M. Ponce. Drenaje de carreteras. “Manual de drenaje para carreteras”. Colombia. (2018).
- [14] A. Vornetti, M. Gelmi, S. Gobbi, B. Díaz, Bruno, M. Marchioni. “Detección de conflictos hidráulicos en la red vial rural del distrito de Olavarría. Ingeniería”. (2019) 23(2):1-14. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760454007>
- [15] Ş. Zekâi. "Flood Safety and Hazard." Flood Modeling, Prediction and Mitigation. Springer, Cham (2018). 381-418.
- [16] Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú, 2008.
- [17] Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial Departamental No Pavimentada. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú, 2006.
- [18] E. Yañez. *Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la av. Angamos y jr. Santa Rosa*, tesis Pregrado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, 2014.
- [19] P. Rojas, V. Humpiri. *Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM*, tesis Pregrado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2016.

## 10. CONTRIBUCIONES DE AUTORES

1. Paúl Yelsin Huamán Guerra y Heydy Kinberly Marrujo Carpio estuvieron implicados en la recolección, análisis e interpretación de datos, elaboración del borrador original (resumen, introducción, desarrollo, metodología, resultados, conclusiones, referencias y otros).
2. Reymundo Jaulis Palomino estuvo implicado en el análisis e interpretación de los datos, supervisión, redacción-revisión y edición del manuscrito final.
3. Todos los autores revisaron la redacción del manuscrito y aprueban la versión finalmente remitida.



Paul Huamán Guerra <pauyelsin.hg@gmail.com>

---

## ENVIO DE ARTICULO DE INVESTIGACIÓN PARA REVISION

---

Paul Huamán Guerra <pauyelsin.hg@gmail.com>  
Para: gacetadic@ucla.edu.ve

27 de diciembre de 2022, 20:07

**Autores:**

Paúl Yelsin Huamán Guerra  
Heydy Kinberly Marrujo Carpio  
Reymundo Jaulis Palomino

---

**2 adjuntos**

-  **Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje en la carretera Colpahuayco - Langui, Cusco, Perú..docx**  
2148K
-  **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y AUTORIA .pdf**  
442K



Paul Huamán Guerra <pauyelsin.hg@gmail.com>

---

## ENVIO DE ARTICULO DE INVESTIGACIÓN PARA REVISION

---

gaceta DIC <gacetadic@ucla.edu.ve>

29 de diciembre de 2022, 9:18

Para: Paul Huamán Guerra <pauyelsin.hg@gmail.com>

Buenos días estimado

Gusto en saludarle. Gracias por el envío de su manuscrito, procederemos a iniciar al proceso de revisión.

Deseándole felices fiestas, atentamente

El mar, 27 dic 2022 a las 21:08, Paul Huamán Guerra (<pauyelsin.hg@gmail.com>) escribió:

**Autores:**

Paúl Yelsin Huamán Guerra  
Heydy Kinberly Marrujo Carpio  
Reymundo Jaulis Palomino

--

*Dra. Luisa Casadei Camiel*

*Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado*

[luisacasadei@ucla.edu.ve](mailto:luisacasadei@ucla.edu.ve)

Skipe: *luisa.casadei*

Twitter: *@LuisaCasadei*

*Directora de la Revista Gaceta Técnica*

<https://revistas.uclave.org/index.php/gt>

<http://bibvirtual.ucla.edu.ve/gt/>

Twitter: *@gaceta\_tecnica*

[gacetadic@ucla.edu.ve](mailto:gacetadic@ucla.edu.ve)

[gacetadic@gmail.com](mailto:gacetadic@gmail.com)

*Barquisimeto, Venezuela*



“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

**RESOLUCIÓN N° 0033/A-2021/UPeU-FIA-CF-T**

Lima, Ñaña 17 de febrero de 2021

**VISTO:**

El expediente de **PAUL YELSIN HUAMAN GUERRA Y HEYDY KINBERLY MARRUJO CARPIO**, identificados con Código Universitario N° 201410031 Y 201410028, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **PAUL YELSIN HUAMAN GUERRA Y HEYDY KINBERLY MARRUJO CARPIO**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado “Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco – Langui del km 19+840 al km 29+840, provincia de Canas, Cusco.” y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 16 de febrero de 2021, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado “Análisis hidrológico para el diseño hidráulico del sistema de drenaje superficial en la carretera Colpahuayco – Langui del km 19+840 al km 29+840, provincia de Canas, Cusco.” y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al **Ing. Jaulis Palomino Reymundo** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Ferrer Cajaza Rojas y el Mg. Carlos Frank Yoctun Rios**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. María Vallejos Atalaya de Cornejo  
**DECANA**



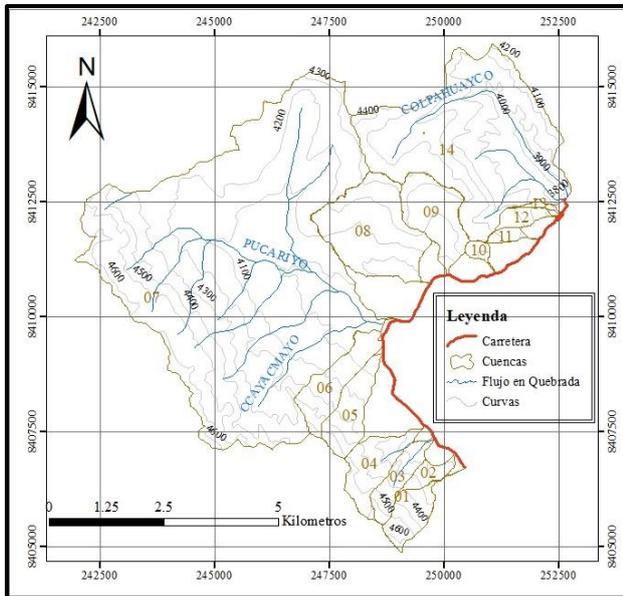
Mg. Sergio Omar Valladares Castillo  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

cc:  
-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo

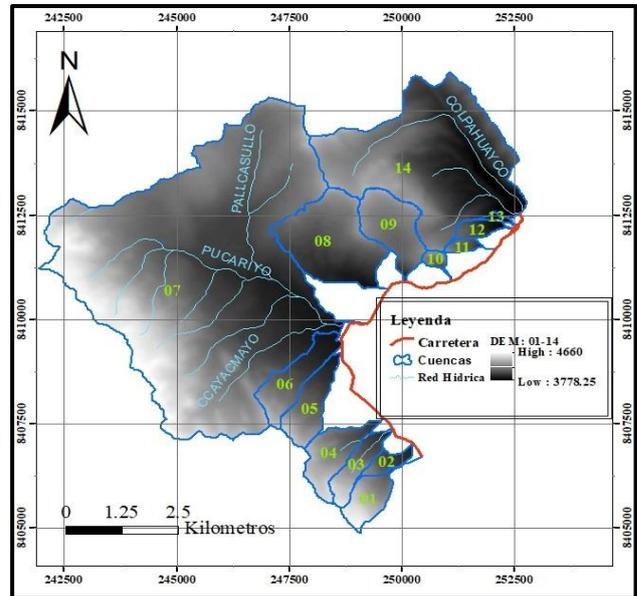
# ANEXOS

## Anexo 01:

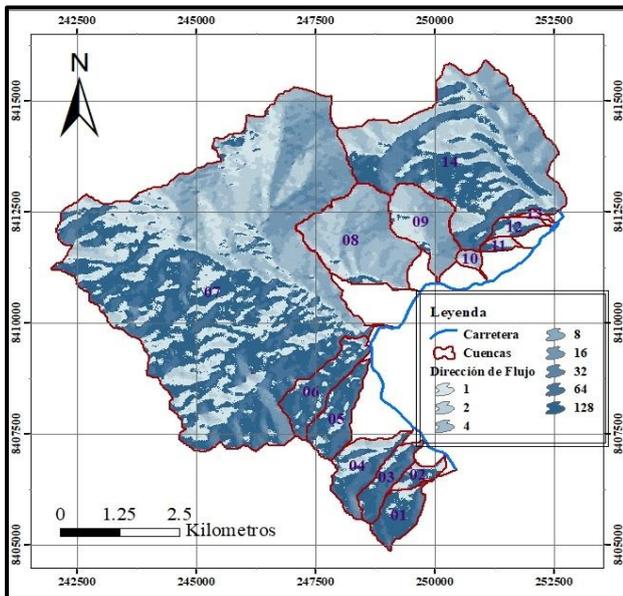
- Mapas de delimitación



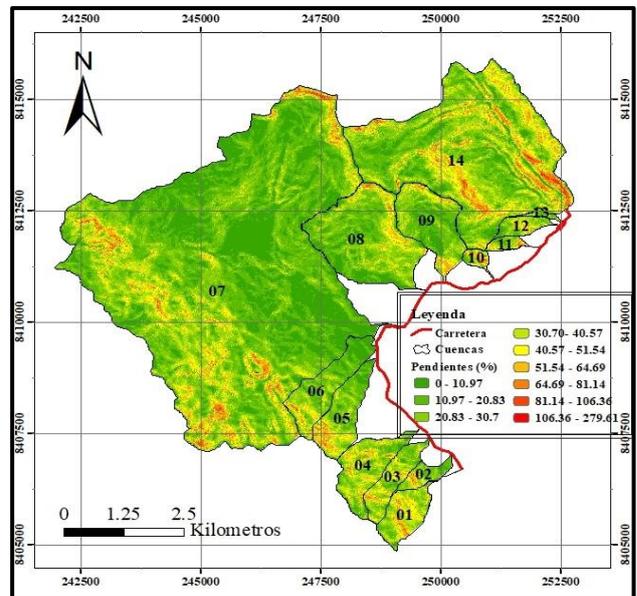
Cuencas Hidrográficas de Aportación



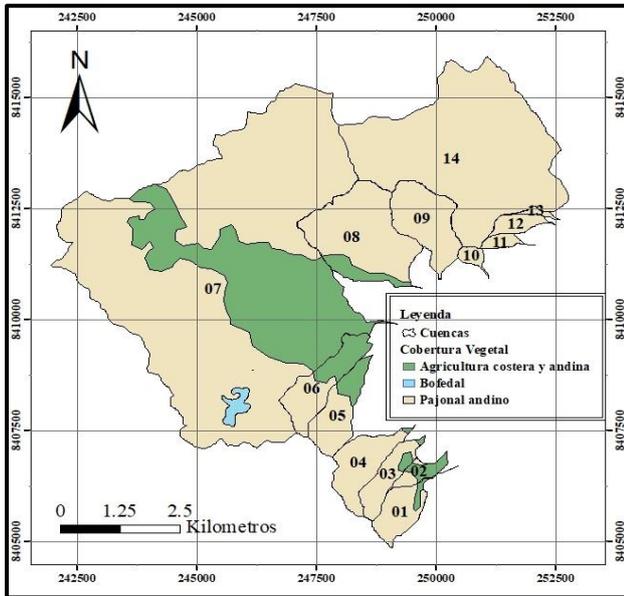
Modelo de elevación digital DEM



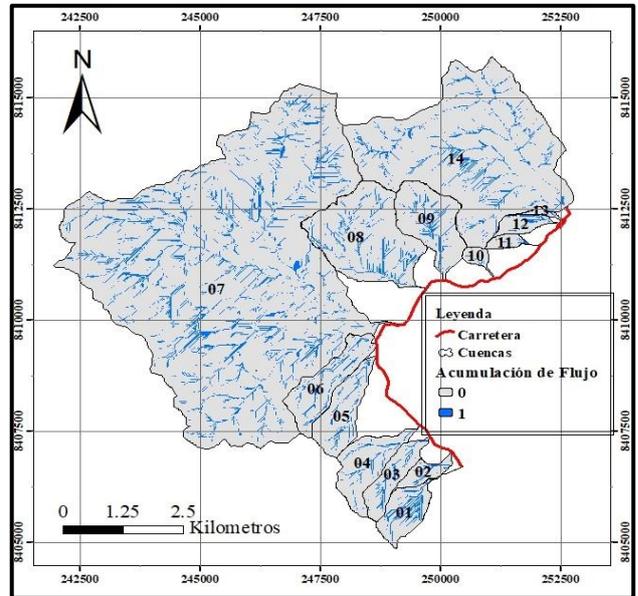
Mapa raster de dirección de flujo.



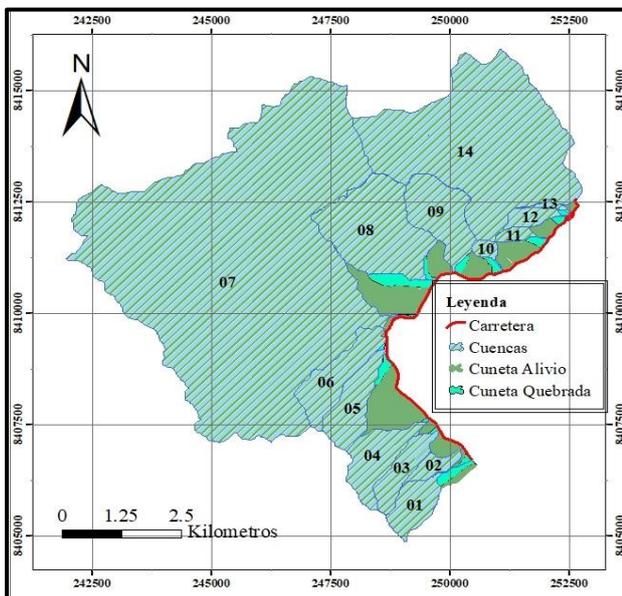
Mapa raster de pendientes.



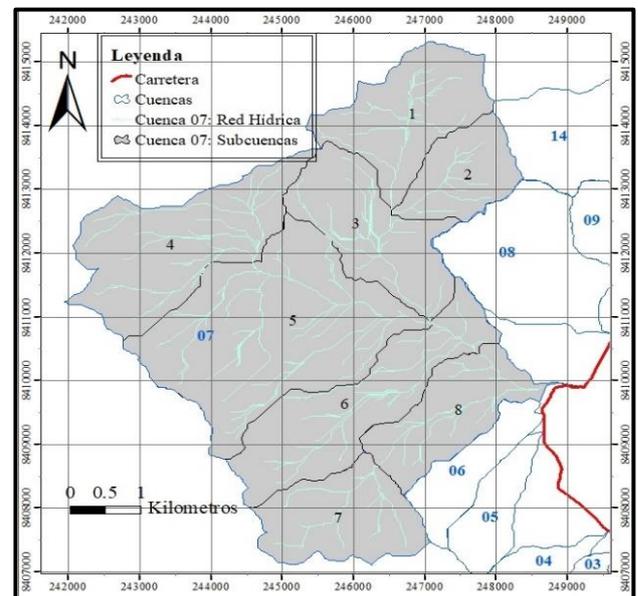
Mapa de cobertura vegetal.



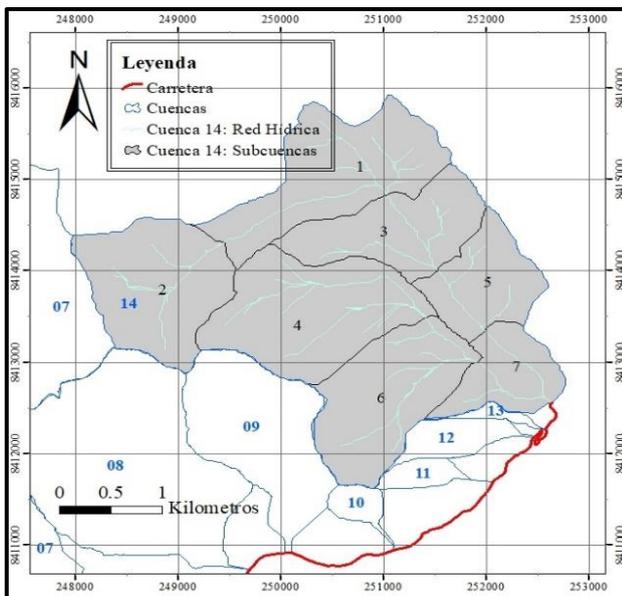
Mapa raster de acumulación de flujo.



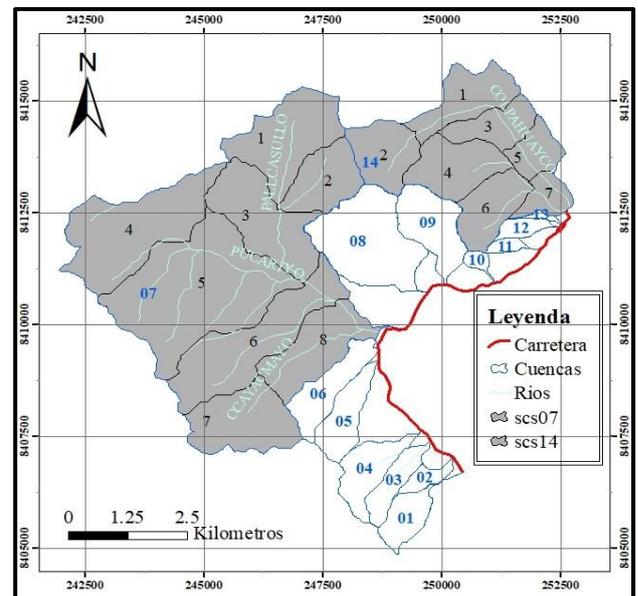
Áreas totales de aporte hidrológico.



Cuenca 07: Subcuencas hidrológicas.



Cuenca 14: Subcuencas hidrológicas.



Cuencas y subcuencas hidrológicas.

## Anexo 02:

- Tabla de levantamiento de información en campo.

| N <sup>o</sup> | Progresiva<br>(km) | Estructura   | Ubicación | Tipo | Sección  | Ojos | Sección b x h o<br>Diámetro |   |          | Estado de cabezales   |                         | Recomendación IN SITU                            |
|----------------|--------------------|--------------|-----------|------|----------|------|-----------------------------|---|----------|-----------------------|-------------------------|--|
|                |                    |              |           |      |          |      | b                           | h | Ø<br>plg | Ingreso               | Salida                  |  |
| 1              | 19+854.89          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 36       | Limpieza              | Limpieza                | Mantener   |
| 2              | 19+987.10          | Alcantarilla | Quebrada  | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar con mortero de cemento         |
| 3              | 20+264.01          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 4              | 20+403.02          | Alcantarilla | Quebrada  | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 5              | 20+707.43          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Limpieza                | Mantener, limpiar sedimento                      |
| 6              | 20+790.20          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 7              | 21+019.47          | Alcantarilla | Quebrada  | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 8              | 21+150.25          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 9              | 21+320.57          | Alcantarilla | Alivio    | PVC  | Circular | 2    |                             |   | 4        | Tubos pequeños        |                         | Reemplazar                                       |
| 10             | 21+343.80          | Alcantarilla | Quebrada  | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       |                       | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 11             | 21+383.97          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 12             | 21+530.47          | Alcantarilla | Quebrada  | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 13             | 21+662.14          | Alcantarilla | Pequeño   | PVC  | Circular | 1    |                             |   | 6        | Ducto sedimentado     |                         | Reemplazar                                       |
| 14             | 21+832.18          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 15             | 21+884.84          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 16             | 22+043.84          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Limpieza              | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 17             | 22+259.00          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 18             | 22+508.75          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 19             | 22+588.93          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |
| 20             | 22+789.49          | Alcantarilla | Alivio    | TMC  | Circular | 1    |                             |   | 48       | Muro cabezal Fisurado | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento |

|    |           |              |        |      |           |   |      |    |    |                         |                         |   |
|----|-----------|--------------|--------|------|-----------|---|------|----|----|-------------------------|-------------------------|---|
| 21 | 22+849.93 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento  |
| 22 | 23+045.22 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento  |
| 23 | 23+518.91 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Buena                   |                         | Reemplazar  |
| 24 | 23+739.31 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Colapsado               |                         | Reemplazar  |
| 25 | 23+922.76 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Buena                   |                         | Reemplazar  |
| 26 | 24+115.50 | Alcantarilla |        | HDPE | Circular  | 1 |      |    | 6  | Tapada                  |                         | Eliminar  |
| 27 | 24+408.17 | Alcantarilla | Rio    | TMC  | Abovedado | 1 | 3.6m | 2m |    | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Reemplazar  |
| 28 | 24+422.22 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Tapada                  |                         | Eliminar  |
| 29 | 24+575.24 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 30 | 24+659.98 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 31 | 24+766.25 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 32 | 24+941.50 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 33 | 25+092.96 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fracturado | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 34 | 25+166.32 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 35 | 25+355.82 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 36 | 25+486.75 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fracturado | Muro cabezal Fracturado | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 37 | 25+557.29 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 38 | 25+701.92 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 39 | 25+829.67 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Ducto sedimentado       | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 40 | 25+955.49 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Muro cabezal Fisurado   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto |
| 41 | 26+091.84 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Muro cabezal golpeado   | Bueno                   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento  |
| 42 | 26+266.58 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 48 | Buena                   | Bueno                   | Mantener  |
| 43 | 26+430.63 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Buena                   | Muro cabezal Fisurado   | Mantener  |
| 44 | 26+677.31 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Buena                   | Bueno                   | Mantener  |
| 45 | 26+901.64 | Alcantarilla | Alivio | TMC  | Circular  | 1 |      |    | 36 | Cabezal golpeado        | Bueno                   | Mantener, resanar cabezal con mortero de cemento  |

|    |           |              |          |     |           |   |       |    |                          |                                   |  |
|----|-----------|--------------|----------|-----|-----------|---|-------|----|--------------------------|-----------------------------------|--|
| 46 | 27+095.34 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Muro cabezal Fisurado    | Bueno                             | Mantener, limpiar sedimento                              |
| 47 | 27+233.53 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Ducto sedimentado        | Bueno                             | Mantener, limpiar sedimento                              |
| 48 | 27+298.61 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Buena                    | Sedimentado                       | Mantener   |
| 49 | 27+398.01 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Sedimentado              | Terreno lateral a muro erosionado | Limpia y reforzar extremos de muro                       |
| 50 | 27+653.41 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 48 | Ducto sedimentado        | Bueno                             | Mantener, limpiar sedimento                              |
| 51 | 27+731.36 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Colmatado                | Bueno                             | Quitar material, construir emboquillado en salida        |
| 52 | 27+909.40 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Ducto sedimentado        | Bueno                             | Quitar material, construir emboquillado en salida        |
| 53 | 28+198.29 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Circular  | 2 |       | 48 | Emboquillado sedimentado | Emboquillado sedimentado          | Mantener   |
| 54 | 28+423.86 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Sedimentado              | Muro cabezal Fisurado             | Mantener, resanar cabezal con mortero de concreto        |
| 55 | 28+556.74 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 48 | Ducto sedimentado        | Muro cabezal Fisurado             | Mantener, colocar escollera 10 m aguas abajo en salida   |
| 56 | 28+808.49 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Circular  | 2 |       | 48 | Buena                    | Buena                             | Mantener   |
| 57 | 29+106.41 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Circular  | 2 |       | 48 | Sin cabezal              | Buena                             | Construir cabezal y aleros de ingreso                    |
| 58 | 29+192.45 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Circular  | 2 |       | 48 | Buena                    | Buena                             | Limpieza   |
| 59 | 29+356.25 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Circular  | 1 |       | 48 | Buena                    | Ducto sedimentado                 | Mantener, quitar material de ducto                       |
| 60 | 29+460.76 | Alcantarilla | Alivio   | TMC | Circular  | 1 |       | 36 | Buena                    | Buena                             | Limpieza   |
| 61 | 29+675.45 | Alcantarilla | Quebrada | TMC | Abovedada | 1 | 3m 2m |    | Emboquillado con rocas   | Emboquillado con rocas            | Mantener, quitar material, estabilizar material de talud |

### Anexo 03

- Panel fotográfico



Figura 01. Estimación del borde lado derecho de la carretera sin asfaltar.



Figura 02. Estimación del borde lado izquierdo de la carretera sin asfaltar.



Figura 03. Ubicación de cabezal de salida, alcantarilla de alivio.



Figura 04. Ubicación de cabezal de entrada, alcantarilla de alivio.



Figura 05. Cabezal de entrada, obstruido.



Figura 06. Ubicación de cabezal de salida, alcantarilla de alivio.



Figura 07. Ubicación cabezal de salida, alcantarilla de quebrada o paso.



Figura 08. Estado de conservación de la carretera en estudio.



Figura 09. GPS y radio, equipos de mano en trabajo de campo.



Figura 10. Ubicación de borde de carretera en ladera.



Figura 11. Ubicación de cabezal de salida, alcantarilla de alivio.

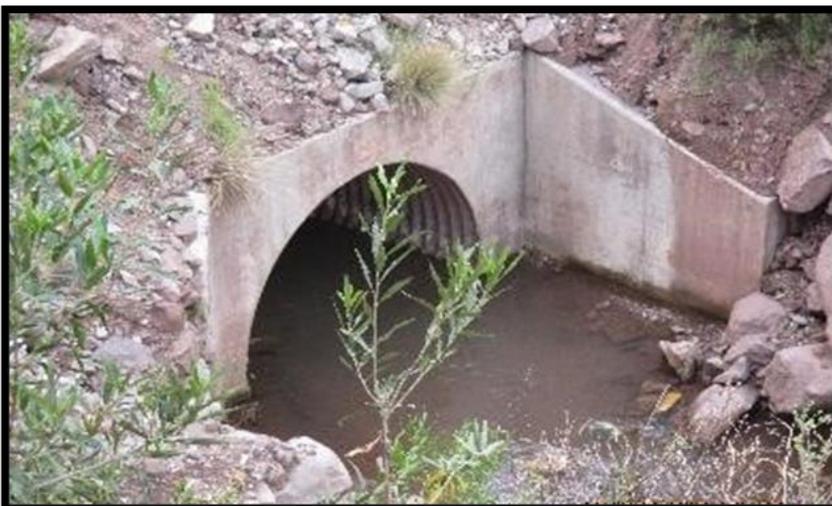


Figura 12. Sedimentación en cabezal de salida, alcantarilla de alivio.



Figura 13. Levantamiento de pendientes en la carretera.



Figura 14. Cunetas de tierra sin pendientes.

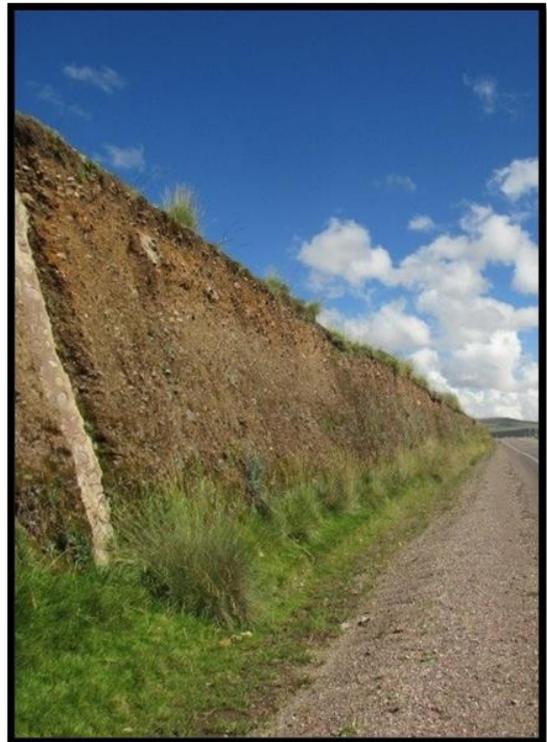


Figura 15. Cunetas cubiertas de vegetación.