

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE
CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS
DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL,
DEPARTAMENTO CAJAMARCA**

Para Optar El Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por

Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA

Asesor

Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

Cajamarca – Perú

2021

DEDICATORIA

Con todo el cariño y afecto a cada uno de los seres que Dios me ha permitido tener a mi lado, y que me brindan su apoyo incondicional cada día de mi vida, ellos son: mi madre, Ida Graciela, mis tíos: Alfredo, Audberto, Héctor, Adelinda, mis demás familiares y amigos; por toda esa intervención tan necesaria en mi vida, a todos ellos, dedico este trabajo con mucho amor.

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional De Cajamarca, y a cada uno de los docentes que conforman la Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica, de manera especial al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado; a todos ellos mi profundo agradecimiento de todo corazón, por todo el aprendizaje obtenido en esa inolvidable etapa de estudiante de la gloriosa EAPIG, y que gracias a su actuar como docentes y seres humanos fue posible hoy estar dando un paso más hacia mi futuro profesional.

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|-------------|
| CARÁTULA..... | i |
| DEDICATORIA..... | ii |
| AGRADECIMIENTO..... | iii |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO..... | iii |
| ÍNDICE..... | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE FOTOS..... | ix |
| LISTA DE PLANOS | ix |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |
| | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO. MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| | |
| 2.1 Antecedentes Teóricos..... | 3 |
| 2.2 Bases Teóricas..... | 4 |
| 2.2.1 Cartografiado Geotécnico..... | 4 |
| 2.2.2 Exploración del Subsuelo | 4 |
| 2.2.3 Factor de Seguridad en Muros de Contención | 5 |
| 2.2.4 Presión Lateral de Tierra de Rankine | 6 |
| 2.3.5 Empuje de Tierra Dinámico | 8 |
| 2.3.6 Criterio de Falla de Mohr-Coulomb..... | 10 |
| 2.3.7 Fórmula de Oswald | 10 |
| 2.3.8 Predimensionamiento de Muros de Contención..... | 10 |
| 2.3.9 Norma Técnica E-030 | 11 |
| 2.3 Definición de Términos Básicos | 12 |
| | |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| | |
| 3.1 Ubicación del Proyecto..... | 15 |
| 3.1.1 Ubicación Geográfica..... | 15 |
| 3.1.2 Demarcación Política | 15 |
| 3.1.3 Accesibilidad y Vías de Comunicación..... | 17 |
| 3.2 Generalidades del Proyecto | 17 |
| 3.2.1 Clima y Cobertura Vegetal..... | 17 |
| 3.2.2 Relieve..... | 18 |
| 3.2.3 Inventario de Infraestructura Existente | 18 |
| 3.2.4 Características Socioeconómicas | 18 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.3 | Metodología de Investigación | 19 |
| 3.3.1 | Recolección de Información..... | 19 |
| 3.3.2 | Etapa de Campo..... | 20 |
| 3.3.3 | Etapa de Gabinete..... | 20 |
| 3.4 | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos | 20 |
| 3.4.1 | Técnicas..... | 20 |
| 3.3.2 | Instrumentos de Recolección de Datos | 20 |
| 3.4 | Geología Local | 21 |
| 3.4.1 | Depósitos Fluvio-Aluviales (Qh-fl-al) | 21 |
| 3.4.2 | Depósitos Coluvio-aluviales (Qh-co-al)..... | 21 |
| 3.4.3 | Formación Volcánico Huambos (Nm-vh)..... | 22 |
| 3.5 | Unidades Morfogenéticas | 22 |
| 3.5.1 | Planicies..... | 23 |
| 3.5.2 | Lomadas | 23 |
| 3.5.3 | Laderas | 24 |
| 3.5.4 | Escarpes..... | 24 |
| 3.6 | Geología Estructural | 25 |
| 3.6.1 | Fallas | 25 |
| 3.6.2 | Discontinuidades..... | 25 |
| 3.7 | Hidrología | 26 |
| 3.7.1 | Demarcación Hidrográfica | 26 |
| 3.7.2 | Parámetros Geomorfológicos | 26 |
| 3.7.3 | Balace Hidrológico..... | 30 |
| 3.8 | Geotecnia | 35 |
| 3.8.1 | Exploración Geotécnica. | 35 |
| 3.8.2 | Predimensionamiento de los Muros de Contención y Estribos. | 39 |
| 3.8.3 | Determinación del Factor de Seguridad en los Muros de Contención | 45 |
| 3.8.4 | Determinación del Factor de Seguridad de los Estribos del Puente..... | 50 |
| 3.8.5 | Determinación del Factor de Seguridad de los Terraplenes de los Accesos | 55 |
| CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | | 61 |
| 4.1 | Muros de Contención | 62 |
| 4.2 | Estribos del Puente | 64 |
| 4.3 | Terraplenes | 65 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 67 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 69 |
| ANEXOS | | 70 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Coordenadas UTM de la ubicación Geográfica del Puente..... | 15 |
| Tabla 2. Demarcación política de la zona de estudio. | 15 |
| Tabla 3. Red vial y accesibilidad. | 17 |
| Tabla 4. Tipo de topografía según pendiente..... | 18 |
| Tabla 5. Demarcación Hidrográfica del río La Majada. | 26 |
| Tabla 6. Áreas parciales de la microcuenca La majada, obtenidas mediante el SIG..... | 27 |
| Tabla 7. Grado de ramificaciones en la microcuenca La Majada..... | 27 |
| Tabla 8. Parámetros geomorfológicos fundamentales de la microcuenca La Majada.... | 29 |
| Tabla 9. Ubicación política y geográfica de la microcuenca La Majada..... | 30 |
| Tabla 10. Cálculo de la precipitación anual para los datos de la estación San miguel.... | 31 |
| Tabla 11. Cálculo de la transposición de precipitaciones. | 32 |
| Tabla 12. Balance hidrológico de la microcuenca La Majada..... | 33 |
| Tabla 13. Balance hidrológico de la microcuenca La Majada: determinación de los porcentajes de precipitación total, y la infiltración promedio. | 34 |
| Tabla 14. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos de las muestras del suelo de fundación de los muros de contención..... | 36 |
| Tabla 15. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos del relleno de los muros de contención y estribos del puente..... | 36 |
| Tabla 16. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos de las muestras del suelo de fundación de los estribos del puente..... | 36 |
| Tabla 17. Resultados del predimensionamiento de los estribos del puente..... | 44 |
| Tabla 18. Resultados del predimensionamiento de los muros de contención. | 44 |
| Tabla 19. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales. | 48 |
| Tabla 20. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas. | 48 |
| Tabla 21. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales | 48 |
| Tabla 22. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas | 48 |

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 23. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M1. | 49 |
| Tabla 24. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M2. | 49 |
| Tabla 25. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M3. | 49 |
| Tabla 26. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M4. | 49 |
| Tabla 27. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales. | 53 |
| Tabla 28. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas | 53 |
| Tabla 29. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales | 53 |
| Tabla 30. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas | 53 |
| Tabla 31. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, para el estribo izquierdo del puente Taulis-El Ingenio..... | 54 |
| Tabla 32. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, y losa del puente, para el estribo izquierdo del puente..... | 54 |
| Tabla 33. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, para el estribo derecho del puente Taulis-El Ingenio..... | 54 |
| Tabla 34. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, y losa del puente, para el estribo derecho del puente | 54 |
| Tabla 35. Resultados del Factor de Seguridad de los terraplenes del puente Taulis-El Ingenio. | 60 |
| Tabla 36. Variación de la amplitud del factor de seguridad y la carga permisible en los estribos. | 63 |
| Tabla 37. Variación de la amplitud del factor de seguridad y la carga permisible,..... | 64 |
| Tabla 38. Variación de la amplitud del factor de seguridad en los terraplenes. | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Modelado del relleno con presencia del nivel freático y sobrecarga. | 8 |
| Figura 2. Dimensiones aproximadas para varios componentes de un muro de contención para la revisión inicial de su estabilidad: a) muro de gravedad, b) muro en voladizo. | 11 |
| Figura 3. Zonificación Sísmica del territorio peruano. | 12 |
| Figura 4. Ubicación del proyecto en el Distrito de Calquis | 16 |
| Figura 5. Polígono de Frecuencia de Altitudes de la microcuenca La majada | 28 |
| Figura 6. Curva Hipsométrica de la microcuenca La Majada..... | 28 |
| Figura 7. Perfil Longitudinal de la microcuenca La Majada.. | 28 |
| Figura 8. Correlación de los perfiles del suelo, de cada calicata muestreada en el área de cimentación. | 38 |
| Figura 9. Sección transversal del río La Majada..... | 40 |
| Figura 10. Distribución de las presiones laterales, debidas al empuje y a la sobrecarga: a) Tensiones totales, b) Tensiones efectivas..... | 47 |
| Figura 11. Distribución de las presiones laterales sobre los muros de contención, en condiciones de sismicidad: a) Tensiones totales, b) Tensiones efectivas..... | 47 |
| Figura 12. Distribución de las presiones laterales sobre los estribos del puente, en condiciones de sismicidad: a) tensiones totales, b) tensiones efectivas..... | 52 |
| Figura 13. Distribución de las presiones laterales sobre los estribos del puente, en condiciones de sismicidad: a) Tensiones totales, b) Tensiones efectivas..... | 52 |
| Figura 14. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales. | 56 |
| Figura 15. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales. | 57 |
| Figura 16. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad..... | 57 |
| Figura 17. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en tensiones Totales con Sismicidad. | 58 |
| Figura 18. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop Simplificado, en Tensiones Totales..... | 58 |
| Figura 19. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales. | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad..... | 59 |
| Figura 21. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad..... | 60 |

ÍNDICE DE FOTOS

| | |
|--|----|
| Foto 1. Depósitos fluvio-aluviales en la margen izquierda del río La Majada, aguas arriba. | 21 |
| Foto 2. Depósitos coluvio -aluviales, en el costado izquierdo de la carretera que conduce al CC. PP Taulis | 22 |
| Foto 3. Afloramiento de tobas dacíticas de la formación Nm-vh, con meteorización de leve a moderada. | 22 |
| Foto 4. Planicie formada en un margen del río La Majada, asociado a depósitos fluvio-aluviales. | 23 |
| Foto 5. Lomadas presentes en la parte alta de la microcuenca La Majada. | 23 |
| Foto 6. Laderas en los márgenes de los afluentes del Río La Majada | 24 |
| Foto 7. Escarpes presentes en la cabecera de la microcuenca La Majada | 24 |
| Foto 8. Macizo rocoso en tobas dacíticas del Nm-Vh, con 4 familias de discontinuidades. Representadas por los lineamientos F1, F2, F3 y F4. | 25 |

LISTA DE PLANOS

| | |
|-----------|---|
| Plano 01. | Plano de Ubicación del Proyecto |
| Plano 02. | Modelo Digital de Elevaciones de la Microcuenca La Majada |
| Plano 03. | Plano Geológico de la Microcuenca La Majada |
| Plano 04. | Plano Satelital de la Microcuenca La Majada |
| Plano 05. | Plano Hidrológico de la Microcuenca La Majada |
| Plano 06. | Plano de Áreas Parciales de la Microcuenca La Majada |
| Plano 07. | Plano Geotécnico del Proyecto. |
| Plano 08. | Plano de Estructuras. |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| CC.PP. | Centro poblado. |
| RNE. | Reglamento nacional de edificaciones. |
| Nm-vh | Formación geológica Volcánico Huambos. |
| FS. | Factor de Seguridad. |
| P.P. | Precipitación total. |
| Pe. | Precipitación efectiva. |
| C. | Coefficiente de escorrentía. |
| F. | Infiltración. |
| Amc. | Área de la microcuenca. |
| Df. | Profundidad de cimentación. |
| H. | Altura |
| hz. | Altura de zapata. |
| B. | Ancho total de la zapata. |
| B1. | Ancho de la puntera del muro de contención. |
| B2. | Ancho de la pantalla del muro de contención. |
| B3. | Ancho del talón del muro de contención. |
| t. | Ancho del alma de la pantalla. |
| FsD. | Factor de Seguridad contra deslizamiento. |
| FsV. | Factor de Seguridad contra volteo. |
| FsCp. | Factor de Seguridad por capacidad de carga |
| T.T. | Tensiones Totales. |
| T.E | Tensiones Efectivas. |
| S. | Sismicidad. |

RESUMEN

La investigación se realizó en el Distrito de Calquis, Provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; y analiza las principales variables en la microcuenca del río La Majada, las cuales condicionan la estabilidad de las estructuras del puente Taulis – El Ingenio, como son: los muros de contención, estribos y terraplenes. Para tal efecto se planteó como objetivo analizar el comportamiento geotécnico y las probabilidades de inestabilidad de la cimentación del puente. Para ello se realizó un balance hidrológico, donde se trabajó con la variable Precipitación e Infiltración determinando que, se tiene que trabajar considerando el efecto de poropresión, y que la ubicación del nivel freático está a 1 metro de profundidad. Posteriormente se realizó el predimensionamiento de las estructuras, con estos resultados, además de los datos obtenidos de la exploración geotécnica, se determinó los Factores de Seguridad, en condiciones de Tensiones Totales y Efectivas, incluyendo el efecto de la variable Sismicidad, definida mediante los coeficientes sísmicos, horizontal (0.35) y vertical (0.23). Finalmente se concluyó que la cimentación del puente carrozable Taulis – El Ingenio, que incluye la cimentación de los muros de contención, es estable frente a todas las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y sísmicas.

Palabras clave: Precipitación, Infiltración, Sismicidad, Factor de Seguridad.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the District of Calquis, Province of San Miguel and Department of Cajamarca; and analyzes the main variables in the La Majada river micro-basin, which condition the stability of the structures of the Taulis - El Ingenio bridge, such as: retaining walls, abutments and embankments. For this purpose, the objective was to analyze the geotechnical behavior and the probabilities of instability of the foundation of the bridge. For this, a hydrological balance was carried out, where we worked with the variable Precipitation and Infiltration, determining that, it is necessary to work considering the effect of poropression, and that the location of the water table is 1 meter deep. Subsequently, the predimensioning of the structures was carried out, with these results, in addition to the data obtained from the geotechnical exploration, the Safety Factors were determined, under conditions of Total and Effective Stresses, including the effect of the Seismicity variable, defined by the coefficients seismic, horizontal (0.35) and vertical (0.23). Finally, it was concluded that the foundation of the Taulis - El Ingenio carriage bridge, which includes the foundation of the retaining walls, is stable against all geological, geotechnical, hydrological and seismic conditions.

Keywords: Precipitation, Infiltration, Seismicity, Safety Factor.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó en la zona denominada Taulis, del Distrito de Calquis, Provincia de San miguel. En este lugar se requiere de la construcción de un puente, terraplenes y muros de contención en las partes laterales de los terraplenes; para unirse con el poblado de Calquis. La infraestructura será cimentada en las márgenes del río La Majada en el lugar denominado centro poblado Taulis, donde tiene depósitos fluvio-aluviales cuaternarios, los cuales son afectados por las precipitaciones, infiltración y sismicidad regional, dando lugar a la inestabilidad geotécnica del área de cimentación de la infraestructura propuesta por el Municipio Distrital. La interacción entre las variables independientes y dependientes; como la precipitación e infiltración dan lugar a la disminución de la cohesión y fricción entre las partículas del depósito cuaternario. Además, la sismicidad regional puede provocar cambios en la estructura de las partículas de los depósitos generando junto con la disminución de la cohesión y fricción probable inestabilidad geotécnica en la cimentación de la infraestructura, determinando que para evitar esta situación se deberá dimensionar y calcular los diseños de la infraestructura con Factores de Seguridad mayores a los de condición crítica.

Teniendo en cuenta las condiciones problemáticas antes mencionadas, formulamos como interrogante de la investigación, ¿Las variables independientes como la precipitación, infiltración y sismicidad que actúan sobre los depósitos cuaternarios, originarán inestabilidad geotécnica en la cimentación del puente, terraplenes y muros de contención? Para desarrollar esta investigación nos planteamos como hipótesis que, la cimentación del puente, terraplenes y muros de contención en las partes laterales de los terraplenes, se realizará sobre depósitos cuaternarios cuyas variables geomecánicas pueden ser influenciados por la precipitación, infiltración y sismicidad, condicionando el dimensionamiento y cálculos de la infraestructura para evitar la inestabilidad geotécnica y lograr un comportamiento geotécnico estable para la cimentación de estructuras.

La realización de esta investigación y los resultados que se obtengan serán de suma importancia para realizar el diseño geotécnico de la cimentación del puente carrozable Taulis-El Ingenio; con lo cual se asegure la estabilidad de las estructuras, frente a las condiciones geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas y sísmicas. De esta manera contribuiremos a la ejecución del proyecto de construcción del puente Taulis – El Ingenio, que será de suma trascendencia para minimizar las condiciones que afecten el comercio entre los poblados de Taulis Calquis, Taulis Playa, con el distrito de Calquis, lográndose mejorar las condiciones de bienestar de estas poblaciones y sus alrededores.

En la presente investigación, se realizó el cálculo de las variables que condicionan el comportamiento geotécnico de la cimentación del puente Taulis-El Ingenio; y será de alcance descriptivo, correlacional y explicativo. Para lo cual no se realizó ensayos especiales (ensayos triaxiales, corte directo) por falta de presupuesto para dichos estudios.

Considerando la situación problemática a estudiar, se definió como objetivo general, analizar el comportamiento geotécnico y las probabilidades de inestabilidad de la cimentación del puente carrozable Taulis – El Ingenio; y como objetivos específicos: cartografiar el área de cimentación del puente, realizar el muestreo de calicatas y sus parámetros geomecánicos, predimensionar los muros de contención y los terraplenes, calcular los Factores de seguridad de la cimentación del puente, terraplenes y muros de contención

El presente trabajo, se estructuró en V capítulos. En el capítulo I exponemos el planteamiento del problema, la formulación del problema, los objetivos del estudio, la hipótesis que se plantea al problema. En el capítulo II, incluimos la literatura que nos ha servido de fundamento teórico para orientar y desarrollar el presente trabajo. En el capítulo III, se enumeran los aspectos básicos y generales del proyecto como son: ubicación, geología, hidrología, y además se presentan los resultados obtenidos fruto del análisis objeto del proyecto, así como la metodología seguida para llegar a obtener dichos resultados. En el capítulo IV se presenta la discusión y el análisis de los resultados obtenidos en el proyecto. Y en el capítulo V, se exponen las conclusiones a las que se llegó en concordancia con los objetivos planteados, además de algunas recomendaciones al proyectista.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

Cruzado (2014), realizó la Zonificación Geotécnica para la Cimentación de la Presa de Relaves Fraylones-Proyecto la Arena-La Libertad, mediante este estudio se determinó las condiciones de estabilidad para la presa de relaves, se identificaron las unidades geotécnicas en suelos y rocas presentes en dicho proyecto, mediante investigación geofísica, geológica y geotécnica.

Infante (2014), realizó el Estudio Geotécnico para el Diseño de la Presa de Relaves Collparacra Minera Milpo-Ancash-Perú, en este trabajo se aplicó la investigación sísmica, geológica, y geotécnica para determinar los problemas de estabilidad que puede presentar la presa de relaves, además de identificar las unidades geotécnicas presentes en este proyecto.

Rodríguez (2016), realizó el estudio denominado Método de Investigación Geológico-Geotécnico para el Análisis de Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos Zona Ronquillo-Corisorgona, teniendo como objetivo analizar la inestabilidad de las laderas asociadas a sus factores internos, para lo cual analizó el comportamiento geoestructural, geomorfológico, geodinámico y geomecoánico de los macizos rocosos de las unidades geológicas, y con los resultados obtenidos determina y define el modelo geológico-geotécnico operacional y conceptual de la inestabilidad de laderas.

Ballón y Echenique (2017), realizaron la investigación titulada, Análisis de Estabilidad de Muros de Contención de Acuerdo a las Zonas Sísmicas del Perú; planteando como objetivo analizar la respuesta sísmica de los muros de contención en cada zona sísmica del Perú; para ello analizaron 3 muros de contención en voladizo, con diferentes inclinaciones de talud: 0°, 20° y 35°, para las condiciones sísmicas de Arequipa, Lima y

Chachapoyas; con ello se determinó las respuestas sísmicas de los muros de contención en la zonas sísmicas 1, 2 y 3.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Cartografiado Geotécnico

Es un estudio que se elabora sobre la base del reconocimiento de campo, es una representación a escala de los datos geotécnicos que se van a tener en cuenta para la elaboración de futuros proyectos. Al respecto González de Vallejo et al. (2002) nos indica que una caracterización geotécnica debe realizarse sobre la base de un plano topográfico que contenga información geológica, caso contrario de no existir dicha información, esta deberá obtenerse con reconocimientos de campo, considerando la escala que más se ajuste a las necesidades del proyecto.

Este estudio debe incluir la mayor cantidad de datos posibles, que nos acerquen a la interpretación geotécnica del área de estudio, al respecto González de Vallejo et al. (2002:378), nos dice que estos datos son: topografía del terreno, datos geológicos (grado de meteorización, estructura, tipos de materiales, estratificación), clasificación y propiedades geotécnicas de suelos y rocas (densidad, porosidad, resistencia, cohesión), condiciones hidrogeológicas (situación del nivel freático, localización de acuíferos,), datos de inestabilidad del terreno (indicios o señales de deslizamientos, áreas de erosión intensa, zonas afectadas por subsidencia, hundimientos y cavidades)

2.2.2 Exploración del Subsuelo

Al respecto Das (2004) nos dice que este proceso consiste en utilizar algún método que pueden ser sondeos como también calicatas, para identificar las capas de materiales que subyacen en un área determinada, y de ellas obtener sus propiedades físicas y mecánicas; también menciona que este proceso se realiza con el objetivo de obtener la información que ayude al ingeniero geotécnico en:

Seleccionar el tipo y profundidad de la cimentación adecuada para u a estructura dada.

Evaluar la capacidad de carga de cimentación.

Estimar el asentamiento probable de una estructura.

Detectar problemas potenciales de la cimentación, por ejemplo: suelos expansivos, y colapsables.

Determinar la posición del nivel freático.

Predecir el empuje lateral de tierras en estructuras como pueden ser muros de contención.

Establecer métodos de construcción para muros cambiantes del subsuelo.

2.2.3 Factor de Seguridad en Muros de Contención

Una de las tareas del ingeniero geotecnista es analizar la estabilidad calculando el factor de seguridad (Das 2012). Para lo cual que se requiere verificar:

-Si hay vuelco sobre su punta, esto se verifica por la siguiente fórmula:

$$FS_{(\text{Vuelco})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O}$$

Donde:

$\sum M_R$ = suma de los momentos de fuerzas que tienden a evitar el vuelco de la estructura sobre su punta.

$\sum M_O$ = suma de los momentos de fuerzas que tienden a volcar sobre la estructura sobre su punta.

Si hay fallas de deslizamiento a lo largo de su base, esto se verifica mediante el siguiente modelo:

$$FS_{\text{deslizam}} = \frac{\sum f_r}{\sum f_d}$$

Donde:

$\sum f_r$: Suma de las fuerzas de resistencia horizontal.

$\sum f_d$: Suma de fuerzas impulsoras horizontales.

Si hay fallas por capacidad de carga, podemos evaluar aplicando la siguiente fórmula:

$$FS_{\text{capacidad de carga}} = \frac{q_u}{q_{max}}$$

Donde:

q_u : Presión última.

q_{max} : Presión en la punta.

2.2.4 Presión Lateral de Tierra de Rankine

Para estudiar el comportamiento de una pared vertical, en nuestro caso los muros de contención, frente a la carga que ejerce el suelo que está como relleno, es fundamental comprender el empuje lateral de tierra que plantea Rankine.

Rankine, citado por Das (2013) investigó las condiciones de presión sobre el suelo en un estado de equilibrio plástico, concluyendo que existe un estado pasivo y un estado activo, fue así que estableció coeficientes para el estado activo y pasivo, definiéndolos así:

2.2.4.1 Coeficiente Activo de Rankine:

$$K_a = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_0} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

$$\sigma'_a = \sigma'_0 \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right) - 2c' \tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

Donde:

σ'_a : Presión efectiva lateral activa de Rankine.

σ'_0 : Presión efectiva vertical activa de Rankine.

c' : Cohesión efectiva del suelo.

ϕ' : Ángulo de fricción interna efectivo del suelo.

2.2.4.2 Coeficiente Pasivo de Rankine:

$$K_p = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$

$$\sigma'_p = \sigma'_0 \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$

Donde:

σ'_p : Presión efectiva lateral pasiva de Rankine.

σ'_0 : Presión efectiva vertical pasiva de Rankine.

c' : Cohesión efectiva del suelo.

ϕ' : Ángulo de fricción interna efectivo del suelo.

Para el caso de determinar los esfuerzos laterales en suelos no cohesivos simplemente se considera $c' = 0$

2.2.4.3 Condiciones de Nivel Freático.

Das (2012) establece una metodología para obtener la fuerza lateral de Empuje Activo de Rankine (P_a), cuando se tiene la presencia del nivel freático; de esta manera llega a obtener el siguiente modelo matemático:

$$P_a = K_a * q * H + \frac{1}{2} * K_a * \gamma_1 * H1^2 + K_a * \gamma_1 * H1 * H2 + \frac{1}{2} * (k_a * \gamma_1' + \gamma_\omega) * H2^2$$

Donde:

K_a : Coeficiente de empuje lateral activo de Rankine

c' : Cohesión efectiva del suelo

ϕ : Ángulo de fricción interna efectivo del suelo

γ_1' : Peso específico sumergido del suelo de relleno

γ_1 : Peso específico húmedo del suelo de relleno

γ_ω : Peso específico del agua

q : Sobrecarga aplicada en el relleno

$H, H1$ y $H2$: Alturas definidas según la figura 1

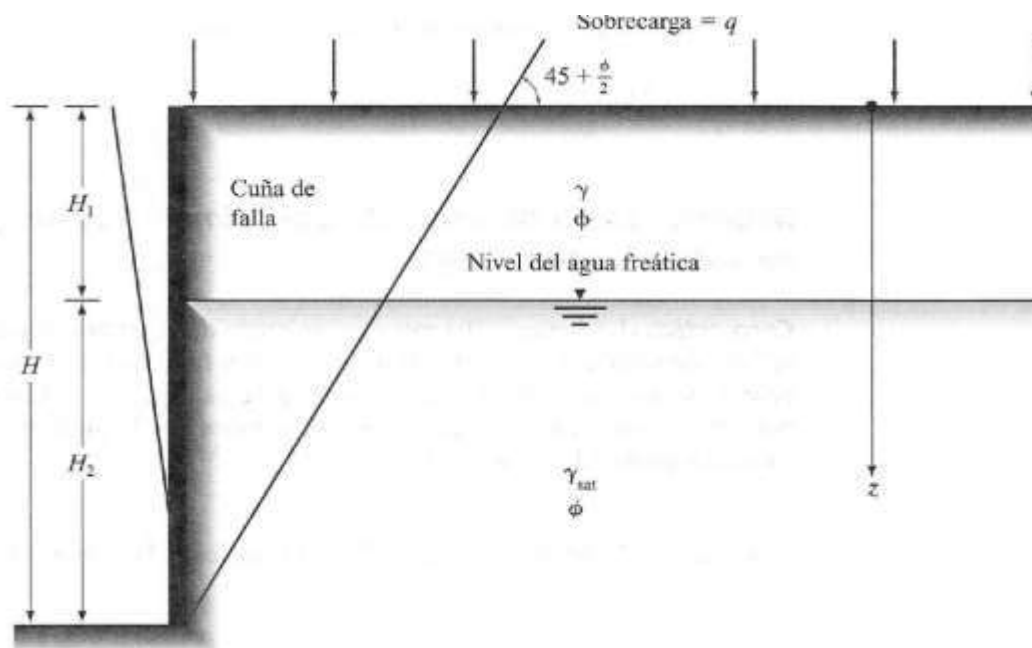


Figura 1. Modelado del relleno con presencia del nivel freático y sobrecarga.

Fuente: Das (2012)

El modelo matemático anterior lo podemos adaptar para el caso de reemplazar la sobrecarga q por una altura de relleno equivalente h , quedando el modelo matemático de la siguiente manera:

$$P_a = K_a * \gamma_1 * h * H + \frac{1}{2} * K_a * \gamma_1 * H_1^2 + K_a * \gamma_1 * H_1 * H_2 + \frac{1}{2} * (k_a * \gamma_1' + \gamma_w) * H_2^2$$

Para el caso pasivo solo se reemplaza el coeficiente activo (K_a) por el pasivo (K_p) y se determinan las demás variables, siguiendo una metodología igual que en el caso activo.

2.3.5 Empuje de Tierra Dinámico

Es cierto que el empuje de tierras que plantea Rankine, citado por Das (2012), es muy completo para analizar la estabilidad de estructuras de contención, pero no deja de ser un método estático, es decir no toma en cuenta la fuerza producida por la variable sísmica. Es así que Mononobe Okabe, citado por Das (2013), plantea un modelo matemático para obtener el coeficiente de empuje de tierras dinámico (K_{ae}), tanto para el caso activo como el pasivo.

2.3.5.1 Estado activo

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta') * (1 - k_v)}{\cos^2(\theta') * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin\phi * \sin(\phi - \theta')}{\cos\theta'}} \right]^2}$$

$$\theta' = \arctan\left(\frac{k_h}{1 - K_v}\right)$$

Donde:

k_h : Coeficiente horizontal de aceleración sísmica

k_v : Coeficiente vertical de aceleración sísmica

El empuje activo dinámico quedará definido por:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} * K_{ae} * H^2$$

2.3.5.2 Estado pasivo

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi - \theta') * (1 - k_v)}{\cos^2(\theta') * \left[1 - \sqrt{\frac{\sin\phi * \sin(\phi - \theta')}{\cos\theta'}} \right]^2}$$

El empuje pasivo dinámico quedará definido por:

$$P_{pe} = \frac{1}{2} * K_{pe} * H^2$$

Para obtener el empuje de tierras dinámico, o presión lateral de tierras dinámica (P_{ae}), en el caso de presencia de nivel freático, se seguirá la misma metodología que Das (2012) propone para calcular la presión lateral de tierra de Rankine cuando se tiene presencia de nivel freático; con la condición de reemplazar en la ecuación obtenida, el coeficiente de empuje de tierra de Rankine por el coeficiente de empuje de tierras dinámico de Mononobe Okabe. Este proceso se seguirá para calcular el empuje de tierras dinámico tanto en el estado activo, como en el estado pasivo.

2.3.6 Criterio de Falla de Mohr-Coulomb

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, inicialmente pensado para el estudio en suelos, siendo un criterio lineal, es ampliamente usado en la actualidad para la evaluación de estabilidad de taludes en suelos, terraplenes y cimentaciones.

Das (2013) describe este criterio, indicando la ecuación que define la superficie de fluencia es una línea recta, definiéndose la rotura en función a dos variables: el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal a un plano. Como se muestra en la ecuación:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Donde:

c' : Cohesión efectiva

ϕ' : Ángulo de rozamiento interno efectivo

σ' : Esfuerzo normal que actúa en el plano de rotura.

τ : Resistencia al esfuerzo cortante.

2.3.7 Fórmula de Oswald

Ortiz (2004) definió el modelo matemático para transponer datos de precipitación de una cuenca a otra, este modelo está definido de la siguiente manera:

$$PP = \frac{H}{H_1} * PP_1$$

Donde:

PP : Precipitación de altitud H .

PP_1 : Precipitación de altitud H_1 .

H : Altitud de la cuenca a trasponer.

H_1 : Altitud de la estación de origen.

2.3.8 Predimensionamiento de Muros de Contención

Al iniciar el diseño de muros de contención el ingeniero debe suponer ciertas dimensiones para estas estructuras, suposiciones que van a servir para revisar la estabilidad

de secciones de prueba de los muros. Si de los cálculos realizados los resultados obtenidos no son óptimos se pueden volver a revisar las dimensiones.

Das (2013) determinó las dimensiones de los componentes de muros de contención que se pueden emplear para iniciar el diseño, como podemos observar en la Figura 2.

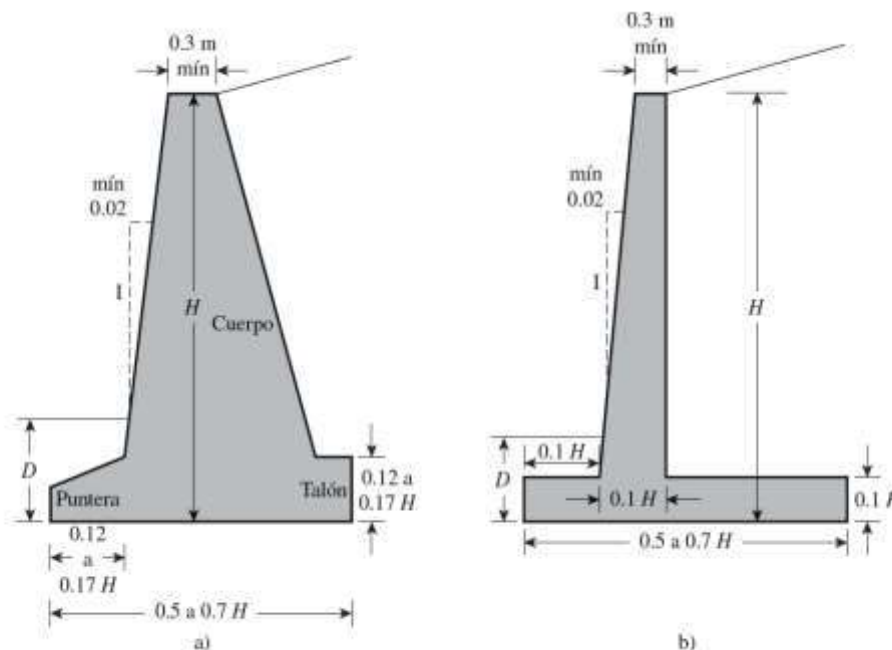


Figura 2. Dimensiones aproximadas para varios componentes de un muro contención, para la revisión inicial de su estabilidad: a) muro de gravedad; b) muro voladizo.

Fuente. Das (2013)

2.3.9 Norma Técnica E-030

La norma técnica del diseño sismoresistente E-030, del reglamento RNE, establece los valores de la aceleración sísmica máxima vertical y horizontal, en todo el territorio peruano, para lo cual divide a este en cuatro 4 zonas sísmicas. Para nuestro caso, según la zonificación sísmica del territorio nacional, el área de estudio se ubica en la zona 3 (Reglamento Nacional de Edificaciones 2019), a la cual le corresponde un valor de la aceleración horizontal máxima de 0.35 g. Con la cual calculamos el valor de la componente de aceleración sísmica vertical, como dos tercios de la componente de aceleración sísmica horizontal, dándonos esto un valor de 0.23, para nuestro caso.



Figura 3. Zonificación Sísmica del territorio peruano.
Fuente. Reglamento nacional de edificaciones (2019).

2.3 Definición de Términos Básicos

Hidrología. Ciencia natural que se ocupa de estudiar la ocurrencia, circulación y distribución del agua en la superficie terrestre, además de sus propiedades fisicoquímicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo en esto a los seres vivos. (Villón 2011).

Precipitación Pluvial. Caída de aguas de la atmósfera por el cambio de temperatura, en forma de lluvia, nieve o granizo (Dávila 2011).

Infiltración. Capacidad de penetración de las aguas (mayormente lluvias) en las rocas y/o suelos, o de cualquier otro fluido (Dávila 2011).

Factor de Seguridad. Es un concepto probabilístico representado por un valor numérico que suele hacerse variar entre 1,5 y 6, y que nos va a indicar la probabilidad de rotura (Rodríguez 2016).

Estabilidad. Dícese de un área o parte de la corteza terrestre que no muestra ningún tipo de deformación ni signos de movimiento tectónico a través de mucho tiempo geológico (Dávila 2011).

Deformación. Cualquier cambio en la posición o en las relaciones geométricas internas sufrida por un cuerpo como consecuencia de la aplicación de un campo de esfuerzos (Rodríguez 2016).

Sismicidad. Es la frecuencia con que tienen ocurrencia los fenómenos sísmicos, por unidad de área, incluyendo al mismo tiempo, cierta información de la energía sísmica liberada (Rodríguez 2016).

Cimentación. Estructura que se encarga de repartir y transmitir las cargas, de otra estructura, sobre el terreno, de modo que estas cargas sean compatibles con la resistencia y deformabilidad del suelo (González de Vallejo et al. 2002).

Muro de contención. Es una estructura rígida, o flexible, que puede ser compuesto de, concreto cíclopeo, mampostería, concreto armado, gaviones; se utiliza por lo general para contener y/o estabilizar masas de tierra u otro material. (SAGARPA 2017).

Terraplén. Estructura compuesta por tierra, arena, grava; que se utiliza generalmente para elevar el nivel de terreno a la altura deseada. (Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño s.f)

Estribo de Puente. Son por lo general muros de contención, que en la cara vecina al puente, soportan la reacción de la superestructura para transmitir las a la cimentación, y además reciben las cargas que actúan directamente en ellos como son: la fuerza de empuje del relleno de los accesos al puente, las acciones del viento y sismos actuantes sobre ellos (Bosio et al. 1994)

Deslizamiento. Cambio de posición de masas rocosas y/o suelos, por saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes u otras causas (Dávila 2011).

Capacidad Portante. Capacidad que tiene el terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él (Coral y Flores 2016).

Slide. Programa de computación usado para el análisis de equilibrio límite en estabilidad de taludes en suelos y rocas (Rocscience Inc, citado por Rodriguez 2016).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Proyecto

3.1.1 Ubicación Geográfica

En la Tabla 1 se indica la ubicación del proyecto del puente Taulis-El Ingenio, en el sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84 (Plano 01).

Tabla 1. Coordenadas UTM de la ubicación Geográfica del Puente.

| Sistema | Datum | Componentes | Valor |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------|
| Coordenadas UTM Zona 17 S | Horizontal WGS 1984 | Este | 724865.67 |
| | | Norte | 9232685.085 |
| Altitud del fondo del Río La Majada | Vertical Nivel Medio del Mar | m.s.n.m | 2794.84 |

Fuente: Ruiz (2018).

3.1.2 Demarcación Política

El proyecto se encuentra ubicado políticamente en el departamento de Cajamarca, Provincia de San Miguel, Distrito de Calquis, y en el CCPP Taulis, como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Demarcación política de la zona de estudio.

| | |
|---------------------|------------|
| Departamento | Cajamarca |
| Provincia | San Miguel |
| Distrito | Calquis |
| CC.PP | Taulis |

Fuente: Ruiz (2018)

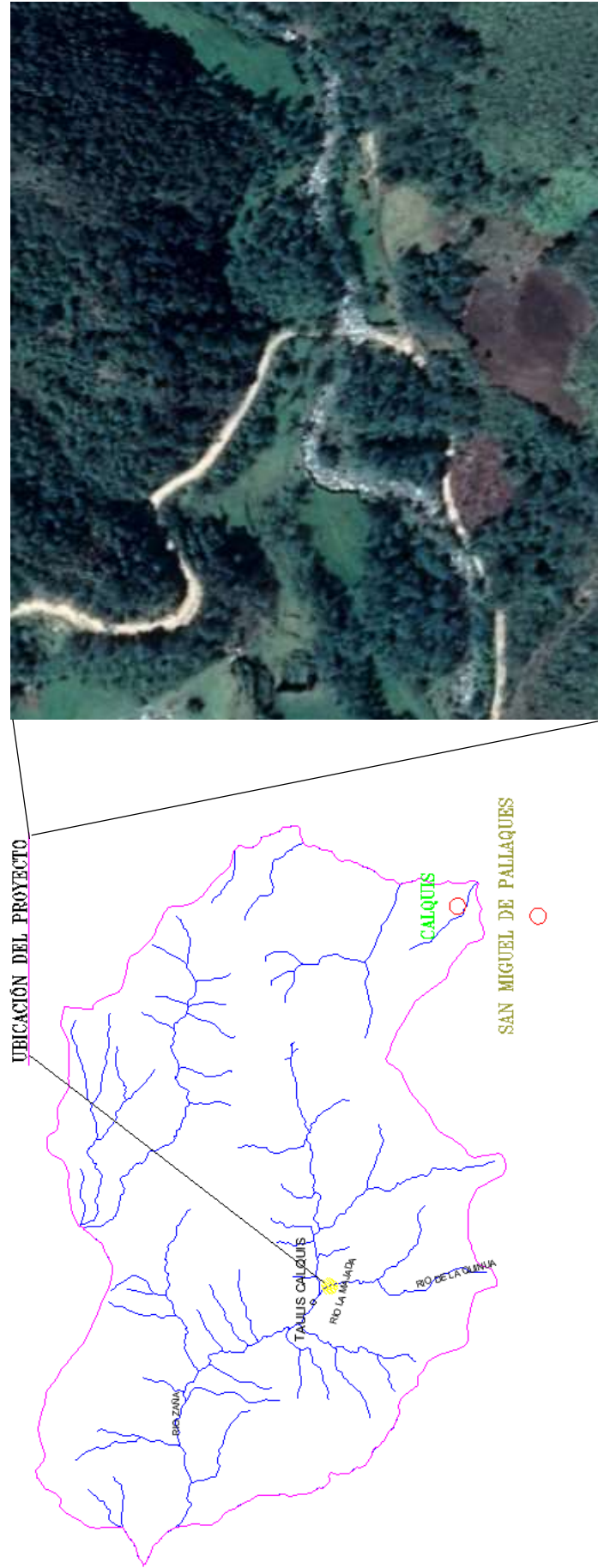


Figura 4. Ubicación del proyecto en el distrito de Calquis.
Fuente. Google Earth

3.1.3 Accesibilidad y Vías de Comunicación

Para llegar al proyecto del puente Taulis - El Ingenio desde la ciudad de Cajamarca, se tiene que dirigir al terminal de la empresa Emtrallac, desde aquí se parte con rumbo a la Provincia de San Miguel, posteriormente se dirige al paradero de autos en esta localidad, y toma la movilidad pública hacia el Distrito de Calquis, y finalmente de la plaza de armas de este Distrito se toma una movilidad particular hasta la ubicación del proyecto. A continuación, en la Tabla 3, se detalla el recorrido a realizar desde la ciudad de Cajamarca.

Tabla 3. Red vial y accesibilidad.

| DESDE | HASTA | CANT. KM | TIPO DE VÍA | TIEMPO | MEDIO DE TRANSPORTE |
|------------------------------|-------------------------------|----------|-------------|---------------|-------------------------------------|
| Terminal Emtrallac-Cajamarca | Terminal Emtrallac-San Miguel | 180 | Asfaltada | 3 horas | Combis, Autos, Buses, Camiones |
| Paradero-San Miguel | Plaza de Armas-Calquis | 25 | Afirmada | 20 min | Autos, combis, camionetas, Camiones |
| Plaza de Armas-Calquis | Zona del Proyecto | 70 | Afirmada | 1 hora 20 min | Autos, camionetas, camiones |

Fuente: Ruiz (2018)

3.2 Generalidades del Proyecto

3.2.1 Clima y Cobertura Vegetal

El clima el distrito está dominado por los efectos moderados de los Andes. Predomina un clima húmedo semifrío, aunque en la parte más alta encontramos un clima húmedo frío. Los meses más fríos son: noviembre, diciembre, enero, marzo y abril. Los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre son soleados, presentando fuertes correntadas de viento en el mes de agosto y descenso brusco de la temperatura por las noches. Sus temperaturas máximas y mínimas son: 15°C y -4°C (Ruiz 2018).

En el área donde se ubica el proyecto se distingue en la cobertura vegetal, en la parte alta: el ichú, cultivos agropecuarios como la papa; y en la parte baja: cultivos de maíz, papa y árboles de aliso.

3.2.2 Relieve

La cimentación del Puente Taulis-El Ingenio, la superficie es plana, pero en sí la microcuenca presenta un relieve accidentado y se ha ubicado en el Plano Modelo Digital de Elevaciones (Plano 02-MDE).

Tabla 4. Tipo de topografía según pendiente.

| Tipo de Topografía | Rango de Pendiente |
|---------------------------|---------------------------|
| Llana | <2% |
| Ondulada | 2-8% |
| Fuertemente ondulada | 8-16% |
| Colinada | 16-30% |
| Fuertemente socavada | >30% |
| Montañosa | >30% |

Fuente: MINAGRI, citado por Ruiz (2018)

3.2.3 Inventario de Infraestructura Existente

El CC. PP Taulis, no cuenta actualmente con infraestructura vial, más que la carretera que atraviesa el río La Majada.

3.2.4 Características Socioeconómicas

Población

La población beneficiaria del presente proyecto es alrededor de 6000 personas incluyendo a los habitantes del Distrito de Calquis (Ruiz 2018).

Actividades Principales y niveles de vida

La principal actividad económica que se realiza en el CCP Taulis, es la agricultura y en menor escala la ganadería, lo cual constituye el sustento de su economía; los principales cultivos que se practican son: la papa, maíz, trigo.

La ganadería que se practica, corresponde en su mayoría, a la crianza de ganado vacuno para producción de leche, que tiene venta directa a las empresas de recolectoras de productos lácteos, Gloria S.A. y Nestlé Perú.

Población Económicamente Activa.

La población económicamente activa está constituida por los jefes de familia, quienes se dedican íntegramente a la agricultura y a la ganadería. Se observó que niños y jóvenes en edad escolar también se dedican a estas actividades ayudando a sus padres, relegando muchos de ellos sus estudios.

Infraestructura de servicios

Los servicios básicos existentes son:

Institución educativa de nivel inicial

Institución educativa de nivel primario

Casa comunal

Servicio de agua potable

Comité de rondas campesinas

Club de madres

Servicio de energía eléctrica

3.3 Metodología de Investigación

La investigación es de tipo explicativa, y desarrolló en 3 etapas: Recolección de información, etapa de campo, y etapa de gabinete. Se trabajó con el método explicativo-descriptivo, y un diseño no experimental.

3.3.1 Recolección de Información

En esta etapa se recopiló los antecedentes de la investigación, que nos sirvieron de guía para el diseño de la investigación.

3.3.2 Etapa de Campo

En esta etapa se desarrolló salidas de campo, en la cuales se identificó las condiciones geológicas, hidrológicas y estructurales del área en la que se encuentra el proyecto, se recolectó muestras de suelo, con el fin de obtener sus propiedades físicas y parámetros geotécnicos.

3.3.3 Etapa de Gabinete

Se desarrolló la interpretación de la información recogida en la etapa anterior, mediante el uso de la hoja de cálculo Excel, y el Software geotécnico Slide. Además, se determinó la principal variable en estudio, que es el Factor de Seguridad.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1 Técnicas

Salidas de campo, donde se tomó muestras de suelo para determinar sus propiedades físicas, y parámetros geomecánicos.

Transposición de precipitaciones hacia microcuenca La Majada, utilizando la Fórmula de Oswald.

Elaboración de balance hidrológico en la microcuenca La Majada, para determinar infiltración promedio.

3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Imágenes satelitales, para determinar la población de estudio.

Modelo Digital de Elevaciones, Plano Geológico; en coordenadas UTM, Datum WGS-84.

Hojas de precipitación de Senhami, para obtener la precipitación anual en la microcuenca de estudio y elaborar el balance hidrológico.

Ensayos de suelos, para determinar las propiedades físicas y parámetros geomecánicos.

Gps Diferencial, para realizar el levantamiento topográfico del área de estudio.

Brújula Axis Pocket Brunton, para medir azimut y buzamiento de estructuras.

3.4 Geología Local

3.4.1 Depósitos Fluvio-Aluviales (Qh-fl-al)

Estos depósitos se ubican en la margen izquierda y derecha del río La Majada, formando terrazas, las cuales son utilizadas para el pastoreo de ganado vacuno. Presentan cantos redondeados, con una matriz de arena, limo y arcillas, el espesor de esta capa supera los 3 m. (Plano 03)



Foto 1. Depósitos fluvio-aluviales en la margen izquierda del río La Majada, aguas arriba.

3.4.2 Depósitos Coluvio-aluviales (Qh-co-al)

Se encuentran conformando laderas, presentan una distribución granulométrica muy variada con cantos angulosos englobados en una matriz limo-arcillosa. Su resistencia es variable, pero en general presentan baja resistencia, de acuerdo con los índices de campo medidos por medio de golpes con la picota de geólogo. (Plano 03)



Foto 2. Depósitos coluvio -aluviales, en el costado izquierdo de la carretera que conduce al CCPP Taulis.

3.4.3 Formación Volcánico Huambos (Nm-vh)

Aflora principalmente en la parte media y superior de la microcuenca La Majada, aunque se encontró un pequeño afloramiento en la margen derecha del río La Majada, a 1.5 km de la ubicación del proyecto. Su composición es principalmente tobas dacíticas, de color gris amarillento. (Plano 03)

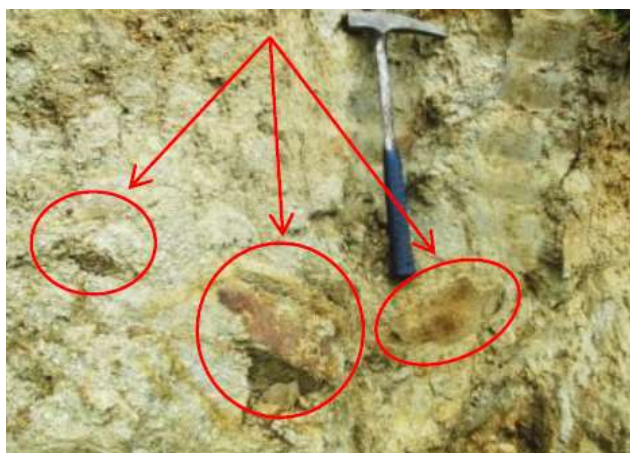


Foto 3. Afloramiento de tobas dacíticas de la Formación Huambos (Nm-vh), con meteorización de leve a moderada.

3.5 Unidades Morfogenéticas

El área de estudio se encuentra ubicada en la cordillera occidental del norte, y presenta planicies, lomadas, laderas, escarpes, según la clasificación de Rodríguez (2016). Presenta una topografía accidentada y va desde los 2800 a los 3500 m.s.n.m.

3.5.1 Planicies

Rodríguez (2016) indica al respecto que son áreas geográficas ligeramente onduladas, con poca presencia de erosión actual, de fácil manejo para actividades agrícolas y ganaderas, por acción del agua que arrastra y deposita los sedimentos. Su rango de pendientes está entre 0° a 8° .

En este caso están presentes en las márgenes del río La Majada, y asociados a depósitos fluvio-aluviales.



Foto 4. Vista de Planicie Fluvio-aluvial, en la margen izquierda del Río La Majada, la cual es constantemente erosionada.

3.5.2 Lomadas

Son elevaciones del terreno, que presentan pendientes que van desde los 8° hasta los 25° (Rodríguez 2016). En la microcuenca La Majada, se evidencia su presencia mayormente en la zona media a alta de la microcuenca.



Foto 5. Lomadas presentes en la parte alta de la microcuenca La Majada.

3.5.3 Laderas

Son geoformas constituidas por la inclinación de los cerros entre 20° a 50° (Rodríguez 2016). Dentro de la microcuenca La Majada están mayormente presentes en la margen derecha del río La Majada, aguas arriba.



Foto 6. Laderas en los márgenes de los afluentes del Río La Majada.

3.5.4 Escarpes

Al respecto Rodríguez (2016) lo define como: “un relieve cuyas pendientes van desde los 50° a los 90° ”. Están presentes en la cabecera de la microcuenca La Majada, a una altitud de 3500 m.s.n.m.



Foto 7. Escarpes presentes en la cabecera de la microcuenca La Majada.

3.6 Geología Estructural

3.6.1 Fallas

En la zona de estudio se evidencia la presencia de 3 fallas geológicas locales, las cuales tienen ocurrencia en la parte superior de la microcuenca. Estas fallas fueron inferidas a través de imágenes satelitales del área de estudio, como se puede ver en el Plano Satelital. (Plano 05)

3.6.2 Discontinuidades

En la zona de estudio hay presencia de un macizo rocoso, altamente meteorizado, muy fracturado, con 19 fracturas por metro. Se verifica la presencia de más de 4 familias de discontinuidades, en este caso diaclasas.

Las diaclasas se presentan con orientación preferencial N 200°, y un buzamiento promedio de 65°, además presentan las siguientes condiciones:

- Espaciamiento: 25 cm.
- Rugosidad: Ligeramente rugosa.
- Persistencia: 40 cm.
- Abertura: 1 mm
- Relleno: óxidos, arcilla.
- Presencia de humedad.

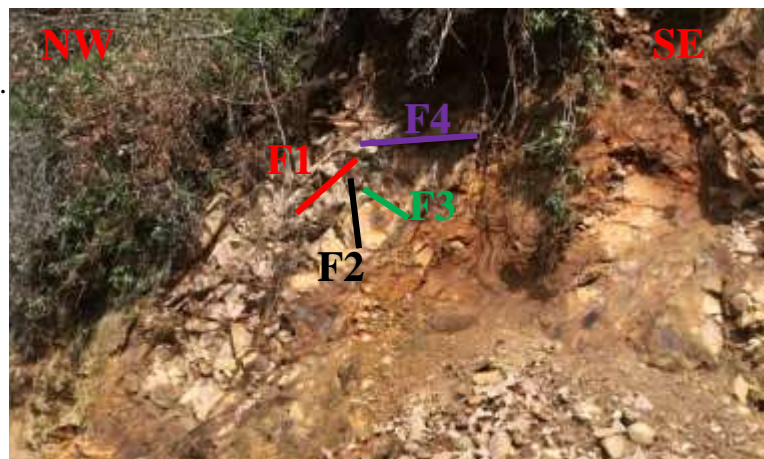


Foto 8. Macizo rocoso en tobas dacíticas del Nm-vh, con 4 familias de discontinuidades. Representadas mediante los lineamientos F1, F2, F3 y F4.

3.7 Hidrología

El área de estudio comprende, el área geográfica delimitada por la microcuenca del río la Majada, sobre el cuál se construirá el puente carrozable Taulis-El Ingenio. (Plano 05)

3.7.1 Demarcación Hidrográfica

De acuerdo con la delimitación y codificación Pfafstetter, de unidades hidrográficas del Perú; la microcuenca del río LA MAJADA se ubica en el nivel 7.

La microcuenca La Majada, hidrográficamente se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Río Zaña, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Demarcación Hidrográfica del río La Majada.

| Niveles | Nombre | Código |
|----------------|----------------------------------|---------------|
| Nivel 1 | Región hidrográfica Del Pacifico | 1 |
| Nivel 2 | Intercuenca | 13 |
| Nivel 3 | Intercuenca | 137 |
| Nivel 4 | Intercuenca | 1377 |
| Nivel 5 | Intercuenca | 13775 |
| Nivel 6 | Cuenca del río Zaña | 137754 |
| Nivel 7 | Río La Majada | 1377549 |

Fuente: Autoridad Nacional Del Agua, citado por Ruiz (2018)

3.7.2 Parámetros Geomorfológicos

Fueron obtenidos con ayuda del Software Argis 10.3, nos muestran las características hidrológicas de la microcuenca del Río La Majada, las cuales van a incidir en el comportamiento geotécnico de las estructuras que se van a cimentar, para la construcción del puente carrozable Taulis-El Ingenio. Se determinaron los parámetros Básicos y Fundamentales de la unidad hidrográfica, que se pueden apreciar a continuación.

En la Tabla 6, se muestra las Áreas Parciales obtenidas, utilizando el software Argis, éstas se calcularon cada 100 metros de desnivel, y en total se obtuvieron 12 áreas (Plano 07).

Tabla 6. Áreas parciales de la microcuenca La majada, obtenidas mediante el SIG.

| Áreas Parciales (SIG) | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| Nº Área | Altitud (m.s.n.m) | Área (m ²) | Áreas (Km ²) |
| A - 01 | 2799-2900 | 402,837.61 | 0.40 |
| A - 02 | 2900-3000 | 990,756.63 | 0.99 |
| A - 03 | 3000-3100 | 1,445,496.30 | 1.45 |
| A - 04 | 3100-3200 | 1,776,467.17 | 1.78 |
| A - 05 | 3200-3300 | 2,268,372.12 | 2.27 |
| A - 06 | 3300-3400 | 2,684,050.27 | 2.68 |
| A - 07 | 3400-3500 | 3,025,287.61 | 3.03 |
| A - 08 | 3500-3600 | 2,873,706.01 | 2.87 |
| A - 09 | 3600-3700 | 3,220,913.08 | 3.22 |
| A - 10 | 3700-3800 | 2,206,096.64 | 2.21 |
| A - 11 | 3800-3900 | 853,681.40 | 0.85 |
| A - 12 | 3900-3984 | 94,151.00 | 0.09 |
| Total | | 21,841,815.84 | 21.84 |

A continuación, en la Tablas 7, se muestran las ramificaciones de la microcuenca, la cual nos arrojó que la unidad hidrográfica corresponde al orden 3.

Tabla7 . Grado de ramificaciones en la microcuenca La Majada.

| Drenajes Por Órdenes | | | |
|----------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| Orden | Nº de Drenajes | Long. Total de Drenajes (m) | Long. Total de Drenajes (Km) |
| 1 | 13 | 12,348.73 | 12.35 |
| 2 | 2 | 7,124.06 | 7.12 |
| 3 | 1 | 2,288.31 | 2.29 |
| 4 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 16 | 21,761.10 | 21.76 |

En las Figura 5, el Polígono de Frecuencia de Altitudes nos indica que la microcuenca la Majada se ubica en la zona altoandina y que la mayor cantidad de su superficie se encuentra sobre los 3200 m.s.n.m.

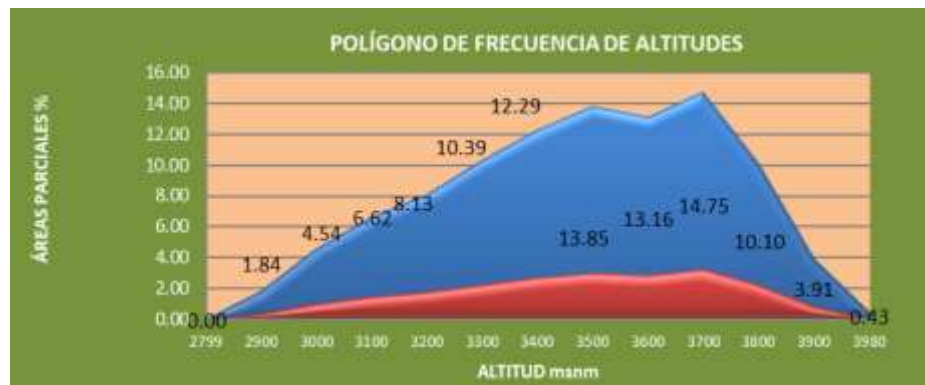


Figura 5. Polígono de Frecuencia de Altitudes de la microcuenca La majada

La Curva Hipsométrica que se muestra en la Figura 6, nos indica que el río La Majada tiene un alto potencial erosivo y que se encuentra en fase de juventud.

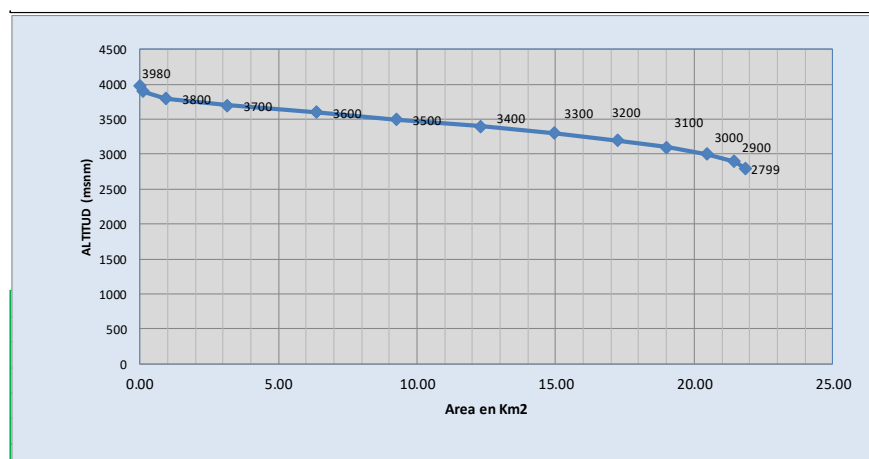


Figura 6. Curva Hipsométrica de la microcuenca La Majada.

En la Figura 7, se muestra el Perfil Longitudinal de la microcuenca, del cual se obtuvo su pendiente media, con un valor de 0.29.

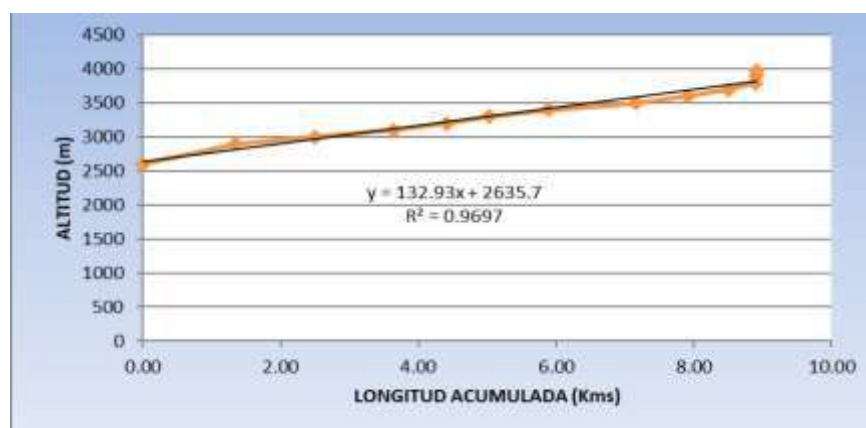


Figura 7. Perfil Longitudinal de la microcuenca La Majada.

A continuación en la Tabla 8, se presentan los Parámetros Básicos y Fundamentales de la unidad hidrográfica, con sus respectivos valores.

Tabla 8. Parámetros geomorfológicos fundamentales de la microcuenca La Majada.

| ORDEN DEL PARÁMETRO | DENOMINACIÓN DEL PARÁMETRO | IDENTIFICADOR DEL PARÁMETRO | NOMBRE DE LA MICROCUENCA | | LA MAJADA | |
|--|--|--|--------------------------|-----------------------------|------------|--------|
| | | | CÓDIGO DE MICROCUENCA | | MC-LM | |
| | | | UBICACIÓN | N | 9234000 | |
| | | | | E | 732000 | |
| | | | | DTO. (S) | CALQUIS | |
| | | | | PROV. (S) | SAN MIGUEL | |
| | | | | DPTO. | CAJAMARCA | |
| | | | | | | |
| | | | | UNID. | VALOR | |
| PARÁMETROS BÁSICOS | | | | | | |
| 1 | ÁREA | A | | Km ² | 21.85 | |
| 2 | PERÍMETRO | P | | Km | 25.13 | |
| 3 | LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL | L | | Km | 8.91 | |
| 4 | DESNIVEL ALTITUDINAL | DA | | msnm | 1,181.00 | |
| Parámetros de Drenaje | | | | | | |
| 5 | GRADO DE RAMIFICACIONES | Or | | Nº | | |
| | | 1 | | Km | 13 | 426.30 |
| | | 2 | | Km | 2 | 178.93 |
| | | 3 | | Km | 1 | 103.93 |
| | | 4 | | Km | 0 | 38.54 |
| | | 5 | | Km | 0 | 29.75 |
| | | Numero Total de cursos o ríos : <i>NTc</i> | | Cantid | 16 | |
| | | Longitud Total de ríos : <i>Li</i> | | Km | | 777.44 |
| PARÁMETROS FUNDAMENTALES | | | | | | |
| 6 | DENSIDAD DE DRENAJE | <i>Dd</i> | | Km/Km ² | 1.00 | |
| 7 | EXTENSIÓN MEDIA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL | <i>Es</i> | | Km | 0.25 | |
| 8 | FRECUENCIA DE RÍOS | <i>Fr</i> | | Rios/Km ² | 0.73 | |
| Parámetros de Forma | | | | | | |
| 9 | ANCHO PROMEDIO DE LA MICROCUENCA | <i>Ap</i> | | Km | 2.45 | |
| 10 | FACTOR DE FORMA | <i>Ff</i> | | Nº | 0.28 | |
| 11 | COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS | <i>Kc</i> | | Nº | 1.51 | |
| Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Microcuenca | | | | | | |
| 12 | ALTITUD MEDIA DE LA MICROCUENCA | <i>Hm</i> | | msnm | 3,423.01 | |
| 13 | MÉTODO DEL ÍNDICE DE PENDIENTE DE LA MICROCUENCA O PENDIENTE MEDIA DE LA MICROCUENCA | <i>Ip</i> | | m/Km | 0.29 | |
| 14 | POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES | | | | | |
| 15 | CURVA HIPSOMÉTRICA | | | | | |
| Parámetro del Rectángulo Equivalente | | | | | | |
| 16 | PARÁMETRO DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE | | | | | |
| | | Longitud del Lado Mayor : <i>L</i> | | Km | 10.48 | |
| | | Longitud del Lado menor : <i>l</i> | | Km | 2.08 | |
| Parámetro Declividad de los Cursos de Agua | | | | | | |
| 17 | PENDIENTE MEDIA DEL RÍO PRINCIPAL | <i>lc</i> | | m/Km | 0.13 | |
| 18 | DECLIVE EQUIVALENTE CONSTANTE | <i>S</i> | | Nº | 0.10 | |
| 19 | PERFIL LONGITUDINAL DE LA MICROCUENCA | | | | | |
| Parámetro del Coeficiente de Torrencialidad | | | | | | |
| 20 | COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD | <i>Ct</i> | | rios 1er Or/Km ² | 0.60 | |
| Parámetro del Coeficiente de Masividad | | | | | | |
| 21 | COEFICIENTE DE MASIVIDAD | <i>Cm</i> | | m/Km ² | 158.08 | |

Fuente: Propia

3.7.3 Balance Hidrológico

Se realizó el balance hidrológico de la microcuenca La Majada, con el objetivo de determinar su capacidad de infiltración, para así poder enfocar el análisis del comportamiento geotécnico de la cimentación de las estructuras que conformarán el Puente Carrozable Taulis-El Ingenio. Para llevar a cabo este proceso, se recolectó la data de precipitaciones de la estación meteorológica San Miguel, precipitación mensual, por lo cual se realizó la sumatoria por año para obtener la precipitación anual, como podemos apreciar en la Tabla 8.

Tabla 9. Ubicación política y geográfica de la estación San Miguel.

| | |
|---------------|-------------------|
| DEPARTAMENTO: | CAJAMARCA |
| PROVINCIA: | SAN MIGUEL |
| DISTRITO: | SAN MIGUEL |
| LATITUD: | 6° 59' 49" Sur |
| LONGITUD: | 78° 51' 11" Oeste |
| ALTITUD: | 2560 m.s.n.m |

Fuente: SENAMHI- Dirección Zonal 3 Cajamarca

Los datos de precipitación presentados en la Tabla 8, no corresponde a la microcuenca La Majada, es por ello que se realizó una transposición de precipitaciones de la estación original San Miguel a la microcuenca La Majada, utilizando un factor de transposición 1.34, calculado según la ecuación de Oswald (Ortiz 2004); conforme se muestra en la Tabla 9.

Tabla 10. Cálculo de la precipitación anual para los datos de la estación San miguel.

| AÑO | PRECIPITACION MENSUAL | | | | | | | | | | | | PP Anual |
|------|-----------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | |
| 1997 | 50.7 | 197.5 | 65.8 | 125.2 | 8.0 | 16.2 | 0.0 | 0.2 | 54.8 | 72.5 | 111.6 | 204.2 | 906.7 |
| 1998 | 266.1 | 415.0 | 326.0 | 185.2 | 27.7 | 4.6 | 2.6 | 2.8 | 20.5 | 77.0 | 11.8 | 79.0 | 1418.3 |
| 1999 | 132.6 | 352.5 | 195.0 | 88.0 | 73.5 | 33.8 | 10.7 | 2.0 | 69.6 | 39.3 | 24.9 | 102.3 | 1124.2 |
| 2000 | 46.2 | 272.2 | 378.4 | 126.1 | 69.2 | 15.2 | 0.9 | 9.9 | 32.5 | 45.4 | 39.5 | 137.5 | 1173.0 |
| 2001 | 254.5 | 161.2 | 438.7 | 145.0 | 51.8 | 3.4 | 0.6 | 0.0 | 55.7 | 31.3 | 61.0 | 69.9 | 1273.1 |
| 2002 | 24.9 | 164.7 | 331.6 | 209.1 | 11.7 | 20.8 | 1.7 | 0.1 | 38.0 | 61.7 | 100.5 | 126.2 | 1091.0 |
| 2003 | 107.0 | 100.9 | 118.9 | 52.4 | 21.8 | 26.1 | 0.5 | 2.7 | 21.0 | 23.3 | 34.7 | 61.2 | 570.5 |
| 2004 | 22.5 | 160.4 | 95.7 | 71.5 | 38.8 | 2.7 | 15.7 | 1.6 | 43.7 | 54.4 | 46.4 | 99.0 | 652.4 |
| 2005 | 84.2 | 130.4 | 263.6 | 42.6 | 4.8 | 5.0 | 0.0 | 0.4 | 7.4 | 39.9 | 24.1 | 78.8 | 681.2 |
| 2006 | 159.9 | 220.8 | 447.3 | 72.5 | 10.6 | 22.2 | 2.9 | 18.3 | 30.5 | 9.9 | 101.6 | 158.4 | 1254.9 |
| 2007 | 120.5 | 71.3 | 356.5 | 126.3 | 33.1 | 0.0 | 3.8 | 4.1 | 4.0 | 52.1 | 71.3 | 36.6 | 879.6 |
| 2008 | 163.0 | 335.6 | 287.5 | 155.0 | 28.9 | 5.3 | 3.0 | 7.0 | 37.2 | 83.3 | 68.8 | 20.3 | 1194.9 |
| 2009 | 309.6 | 210.0 | 265.5 | 98.4 | 31.7 | 7.2 | 6.8 | 9.3 | 7.5 | 56.7 | 98.5 | 59.8 | 1161.0 |
| 2010 | 44.0 | 165.2 | 262.8 | 108.3 | 49.4 | 6.2 | 7.8 | 1.5 | 29.7 | 29.6 | 38.3 | 72.6 | 815.4 |
| 2011 | 126.9 | 110.2 | 172.7 | 172.8 | 7.1 | 5.6 | 3.2 | 6.5 | 19.0 | 22.8 | 27.5 | 138.4 | 812.7 |
| 2012 | 190.1 | 292.2 | 159.6 | 137.4 | 28.8 | 12.0 | 0.0 | 6.6 | 9.0 | 110.9 | 70.4 | 70.7 | 1087.7 |
| 2013 | 105.9 | 142.4 | 302.6 | 57.7 | 71.9 | 15.1 | 1.2 | 12.0 | 4.0 | 97.9 | 2.7 | 51.4 | 864.8 |
| 2014 | 67.3 | 84.6 | 214.6 | 38.4 | 36.3 | 3.8 | 1.1 | 1.4 | 37.8 | 46.1 | 66.3 | 61.1 | 658.8 |
| 2015 | 154.3 | 98.2 | 335.9 | 113.2 | 43.1 | 0.5 | 1.1 | 0.0 | 13.8 | 72.4 | 90.0 | 51.5 | 974.0 |
| 2016 | 93.8 | 243.4 | 176.5 | 137.5 | 7.6 | 13.6 | 3.6 | 0.0 | 11.0 | 22.9 | 10.6 | 113.0 | 833.5 |
| 2017 | 180.6 | 281.2 | 462.3 | 119.2 | 58.4 | 6.3 | 0.0 | 7.4 | 18.3 | 80.5 | 40.6 | 73.1 | 1327.9 |
| 2018 | 112.3 | 189.6 | 151.6 | 129.2 | 61.7 | 1.7 | 4.7 | 0.0 | 13.1 | 21.5 | 36.2 | 101.6 | 823.2 |

Fuente: Propia

Tabla 11. Cálculo de la transposición de precipitaciones.

| TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIONES | | | | | |
|---|----------------------------------|-----|---------|---------|--------------------------|
| ESTACIÓN SAN MIGUEL- MICRUECUEÑA LA MAJADA | | | | | |
| Microcuenca La Majada | Precipitación a la altitud H | PP | 67.80 | mm. | PP1 mes enero 1997 |
| Estación San Miguel | Precipitación a la altitud H1 | PP1 | 50.70 | mm. | |
| Microcuenca La Majada | Altitud media cuenca a trasponer | H | 3423.01 | m.s.n.m | |
| Estación San Miguel | Altitud estación de origen | H1 | 2560.00 | m.s.n.m | |
| | Factor de transposición | FT | 1.34 | | |

Fuente: Propia

Posteriormente se llevó a cabo el balance hidrológico para la microcuenca La Majada, siguiendo la metodología propuesta por Rodríguez (2016), para este proceso se utilizó las siguientes fórmulas:

$$PP = P_e + F$$

$$PP = \text{Precipitación}$$

$$P_e = \text{Precipitación efectiva}$$

$$F = \text{Infiltración}$$

El coeficiente de escorrentía (C) se tomará como:

$$C = \frac{P_e}{PP}$$

Se tomará el valor de 0.65, (Cálculos según Rodríguez y Huamán, citado por Rodríguez 2016)

El coeficiente de infiltración (C_i) es:

$$C_i = 1 - C$$

Cálculos según Huamán, citado por Rodriguez 2016

Los cálculos realizados se muestran en la tabla 12 , con sus respectivas variables.

Tabla 12. Balance hidrológico de la microcuenca La Majada.

| BALANCE HIDROLÓGICO | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|------------------------------|--|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| MICROCUCENA LA MAJADA | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3=1*2 | 4=1-3 | 5=4/1000 | 6=5*Amc | 7=6/1000000 | | |
| | PP | C | Pe | F | F | VF | VF | | |
| | mm | C=Pe/PP | Pe-c*PP | F=PP-Pe | F=PP-Pe | VF=F*Amc | VF=F*Amc | | |
| | | | mm | mm | m | m ³ | m ³ | | |
| AÑOS DE REGISTRO DE PRECIPITACIÓN | NÚMERO DE AÑOS | COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA © | PRECIPITACIÓN EFECTIVA O ESCURRIMIENTO | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) |
| 1997 | 1 | 0.65 | 788.03 | 424.33 | 0.42 | 9269472.32 | 9269472.32 | 9.27 | |
| 1998 | 1 | 0.65 | 1232.68 | 663.75 | 0.66 | 14499716.11 | 14499716.11 | 14.50 | |
| 1999 | 1 | 0.65 | 977.07 | 526.11 | 0.53 | 11493041.56 | 11493041.56 | 11.49 | |
| 2000 | 1 | 0.65 | 1019.48 | 548.95 | 0.55 | 11991938.94 | 11991938.94 | 11.99 | |
| 2001 | 1 | 0.65 | 1106.48 | 595.80 | 0.60 | 13015291.95 | 13015291.95 | 13.02 | |
| 2002 | 1 | 0.65 | 948.21 | 510.58 | 0.51 | 11153627.77 | 11153627.77 | 11.15 | |
| 2003 | 1 | 0.65 | 495.84 | 266.99 | 0.27 | 5832396.56 | 5832396.56 | 5.83 | |
| 2004 | 1 | 0.65 | 567.02 | 305.32 | 0.31 | 6669685.39 | 6669685.39 | 6.67 | |
| 2005 | 1 | 0.65 | 592.05 | 318.79 | 0.32 | 6964116.63 | 6964116.63 | 6.96 | |
| 2006 | 1 | 0.65 | 1090.66 | 587.28 | 0.59 | 12829227.77 | 12829227.77 | 12.83 | |
| 2007 | 1 | 0.65 | 764.48 | 411.64 | 0.41 | 8992420.71 | 8992420.71 | 8.99 | |
| 2008 | 1 | 0.65 | 1038.52 | 559.20 | 0.56 | 12215829.36 | 12215829.36 | 12.22 | |
| 2009 | 1 | 0.65 | 1009.05 | 543.34 | 0.54 | 11869259.25 | 11869259.25 | 11.87 | |
| 2010 | 1 | 0.65 | 708.68 | 381.60 | 0.38 | 8336084.41 | 8336084.41 | 8.34 | |
| 2011 | 1 | 0.65 | 706.34 | 380.34 | 0.38 | 8308481.48 | 8308481.48 | 8.31 | |
| 2012 | 1 | 0.65 | 945.35 | 509.03 | 0.51 | 11119890.86 | 11119890.86 | 11.12 | |
| 2013 | 1 | 0.65 | 751.62 | 404.72 | 0.40 | 8841115.76 | 8841115.76 | 8.84 | |
| 2014 | 1 | 0.65 | 572.58 | 308.31 | 0.31 | 6735114.55 | 6735114.55 | 6.74 | |
| 2015 | 1 | 0.65 | 846.53 | 455.82 | 0.46 | 9957500.87 | 9957500.87 | 9.96 | |
| 2016 | 1 | 0.65 | 724.41 | 390.07 | 0.39 | 8521126.26 | 8521126.26 | 8.52 | |
| 2017 | 1 | 0.65 | 1154.11 | 621.44 | 0.62 | 13575529.17 | 13575529.17 | 13.58 | |
| 2018 | 1 | 0.65 | 715.46 | 385.25 | 0.39 | 8415826.20 | 8415826.20 | 8.42 | |
| Total | 22 | | 18754.64 | 10098.65 | 10.10 | 220606693.86 | 220606693.86 | 220.61 | |

| | | | |
|-----|--|---------------|-----------------|
| Amc | AREA DE LA MICROCUENA LA MAJADA EN km ² | 21.85 | km ² |
| Amc | AREA DE LA MICROCUENA LA MAJADA EN m ² | 21,845,156.25 | m ² |

Fuente: Propia

Tabla 13. Balance hidrológico de la microcuenca La Majada: determinación de los porcentajes de precipitación total, y la infiltración promedio.

| BALANCE HIDROLÓGICO MICROCUCENA LA MAJADA | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|---|------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------|
| AÑOS DE REGISTRO DE PRECIPITACIÓN | NÚMERO DE AÑOS | PRECIPITACIÓN ANUAL TOTAL (PP) | COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA © | PRECIPITACIÓN EFECTIVA O ESCURRIMIENTO | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | % DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL | |
| | | mm | C=Pe/PP | Pe mm | F mm | F=PP-Pe | F m | VF m ³ | VF=Pe*Amc m ³ | VF=6/1000000 MMC | |
| 1997 | 1 | 1212.36 | 0.65 | 788.03 | 424.33 | | 0.42 | 9269472.32 | | 9.27 | 4.20 |
| 1998 | 1 | 1896.43 | 0.65 | 1232.68 | 663.75 | | 0.66 | 14499716.11 | | 14.50 | 6.57 |
| 1999 | 1 | 1503.18 | 0.65 | 977.07 | 526.11 | | 0.53 | 11493041.56 | | 11.49 | 5.21 |
| 2000 | 1 | 1568.43 | 0.65 | 1019.48 | 548.95 | | 0.55 | 11991938.94 | | 11.99 | 5.44 |
| 2001 | 1 | 1702.28 | 0.65 | 1106.48 | 595.80 | | 0.60 | 13015291.95 | | 13.02 | 5.90 |
| 2002 | 1 | 1458.79 | 0.65 | 948.21 | 510.58 | | 0.51 | 11153627.77 | | 11.15 | 5.06 |
| 2003 | 1 | 762.82 | 0.65 | 495.84 | 266.99 | | 0.27 | 5832396.56 | | 5.83 | 2.64 |
| 2004 | 1 | 872.33 | 0.65 | 567.02 | 305.32 | | 0.31 | 6669685.39 | | 6.67 | 3.02 |
| 2005 | 1 | 910.84 | 0.65 | 592.05 | 318.79 | | 0.32 | 6964116.63 | | 6.96 | 3.16 |
| 2006 | 1 | 1677.94 | 0.65 | 1090.66 | 587.28 | | 0.59 | 12829227.77 | | 12.83 | 5.82 |
| 2007 | 1 | 1176.12 | 0.65 | 764.48 | 411.64 | | 0.41 | 8992420.71 | | 8.99 | 4.08 |
| 2008 | 1 | 1597.72 | 0.65 | 1038.52 | 559.20 | | 0.56 | 12215829.36 | | 12.22 | 5.54 |
| 2009 | 1 | 1552.39 | 0.65 | 1009.05 | 543.34 | | 0.54 | 11869259.25 | | 11.87 | 5.38 |
| 2010 | 1 | 1090.28 | 0.65 | 708.68 | 381.60 | | 0.38 | 8336084.41 | | 8.34 | 3.78 |
| 2011 | 1 | 1086.67 | 0.65 | 706.34 | 380.34 | | 0.38 | 8308481.48 | | 8.31 | 3.77 |
| 2012 | 1 | 1454.38 | 0.65 | 945.35 | 509.03 | | 0.51 | 11119890.86 | | 11.12 | 5.04 |
| 2013 | 1 | 1156.34 | 0.65 | 751.62 | 404.72 | | 0.40 | 8841115.76 | | 8.84 | 4.01 |
| 2014 | 1 | 880.89 | 0.65 | 572.58 | 308.31 | | 0.31 | 6735114.55 | | 6.74 | 3.05 |
| 2015 | 1 | 1302.35 | 0.65 | 846.53 | 455.82 | | 0.46 | 9957500.87 | | 9.96 | 4.51 |
| 2016 | 1 | 1114.48 | 0.65 | 724.41 | 390.07 | | 0.39 | 8521126.26 | | 8.52 | 3.86 |
| 2017 | 1 | 1775.55 | 0.65 | 1154.11 | 621.44 | | 0.62 | 13575529.17 | | 13.58 | 6.15 |
| 2018 | 1 | 1100.71 | 0.65 | 715.46 | 385.25 | | 0.39 | 8415826.20 | | 8.42 | 3.81 |
| Total | 22 | 28853.30 | | 18754.64 | 10098.65 | | 10.10 | 220606693.86 | | 220.61 | 100.00 |
| Amc | | AREA DE LA MICROCUCENA LA MAJADA EN km ² | | 21.85 | km ² | | | | | | |
| Amc | | AREA DE LA MICROCUCENA LA MAJADA EN m ² | | 21,845,156.25 | m ² | | | | | | |
| F promedio | | 0.5 | | | m. | | | | | | |

Fuente: Propia

3.8 Geotecnia.

3.8.1 Exploración Geotécnica.

Se realizó la exploración geotécnica mediante excavaciones sobre los depósitos fluvio-aluviales, donde se cimentarán las estructuras que conforman el puente Taulis-El Ingenio y sus accesos.

Se excavaron 4 calicatas, las cuales las dividimos en dos grupos: el primer grupo de dos calicatas corresponde al suelo de fundación para los estribos del puente, el segundo grupo de 2 calicatas corresponde al suelo de fundación para los muros de contención de los accesos del puente. Cada calicata muestreada, fue analizada según los siguientes ensayos: contenido de humedad, límites de Atterberg, análisis granulométrico, peso específico, capacidad portante, cada uno de ellos según la norma que lo rige; por consecuencia se logró obtener los valores de las propiedades físicas, y parámetros geotécnicos del suelo de fundación; los cuales se muestran en las Tablas 14 y 16.

También se reconoció las propiedades del suelo que se utilizó como relleno, en la Tabla 15 podemos apreciar las propiedades físicas y geotécnicas del material de relleno para los muros de contención y estribos del puente, datos que fueron tomados de Ruiz (2018).

Tabla 14. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos de las muestras del suelo de fundación de los muros de contención.

| MUESTRA | ESTE | NORTE | COTA (m.s.n.m) | Propiedades Físicas | | | Parámetros Geotécnicos | |
|---------|--------|---------|-------------------|---|---|---|----------------------------------|----------|
| | | | | Peso específico húmedo (γ_h) Tn/m ³ | Peso específico seco (γ_d) Tn/m ³ | Peso específico saturado (γ_{sat}) Tn/m ³ | Ángulo de fricción (ϕ) | Cohesión |
| C1 | 724855 | 9232696 | 2795.4 | 1.9 | 1.61 | 1.96 | 34.65 | 0 |
| C2 | 724875 | 9232688 | 2794.6 | 1.92 | 1.65 | 1.98 | 36.05 | 0 |

Fuente: Propia

Tabla 1436. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos del relleno de los muros de contención y estribos del puente.

| MUESTRA | ESTE | NORTE | COTA (m.s.n.m) | Propiedades Físicas | | | Parámetros Geotécnicos | |
|---------|--------|---------|-------------------|---|---|---|----------------------------------|----------|
| | | | | Peso específico húmedo (γ_h) Tn/m ³ | Peso específico seco (γ_d) Tn/m ³ | Peso específico saturado (γ_{sat}) Tn/m ³ | Ángulo de fricción (ϕ) | Cohesión |
| Relleno | 724520 | 9233005 | 3542 | 1.8 | 1.52 | 1.9 | 32 | 0 |

Fuente: Propia

Tabla 1244. Propiedades físicas y parámetros geotécnicos de las muestras del suelo de fundación de los estribos del puente.

| MUESTRA | ESTE | NORTE | COTA (m.s.n.m) | Propiedades Físicas | | | Parámetros Geotécnicos | |
|---------|--------|---------|-------------------|---|---|---|----------------------------------|----------|
| | | | | Peso específico húmedo (γ_h) Tn/m ³ | Peso específico seco (γ_d) Tn/m ³ | Peso específico saturado (γ_{sat}) Tn/m ³ | Ángulo de fricción (ϕ) | Cohesión |
| E1 | 724859 | 9232691 | 2793.4 | 1.92 | 1.64 | 1.94 | 33.56 | 0 |
| E2 | 724870 | 9232695 | 2792.6 | 1.97 | 1.68 | 2 | 35.05 | 0 |

Fuente: Propia

Además de los valores obtenidos para las propiedades físicas y parámetros geotécnicos del suelo de fundación, se generó los perfiles del suelo de cada calicata muestreada, las cuales podemos ver en la Figura 8. Donde se utilizó la clasificación SUCS: El primer estrato de cada columna corresponde a una capa de relleno antrópico.

ML, según la clasificación SUCS, y corresponde a un estrato de suelo arcilloso de baja compresibilidad.

ML-CL, según la clasificación SUCS, corresponde a un estrato de suelo arcilloso-limoso de baja compresibilidad.

GP-GM, según la clasificación SUCS, corresponde a un estrato de grava mal graduada, con arena y limo.

GP, según la clasificación SUCS, corresponde a un estrato de grava mal graduada, con arena.

Basándonos en la distribución de las calicatas muestreadas y teniendo el perfil del suelo de cada calicata, se realizó una correlación entre las 4 calicatas; de esta manera se logró analizar la continuidad y la homogeneidad del suelo de fundación. Este proceso se muestra en la Figura 8.

Así logramos generar la zonificación geotécnica del área de cimentación, basándonos en la continuidad del suelo, y la distribución de estas en el área de cimentación. (Plano 07).

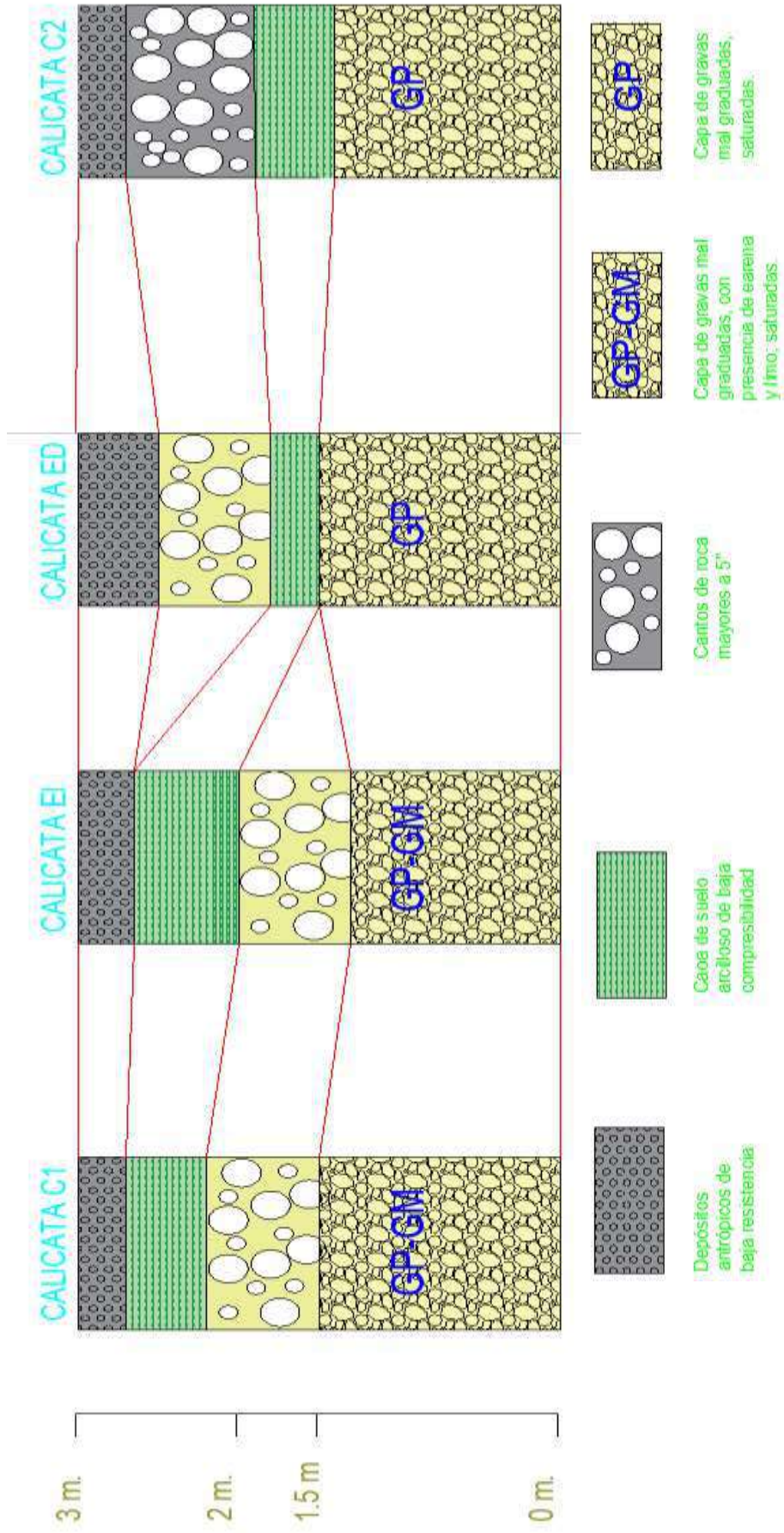


Figura 8. Correlación de los perfiles de suelo de cada calicata muestreada, en el área de cimentación del puente.

3.8.2 Predimensionamiento de los Muros de Contención y Estribos.

El predimensionamiento es el primer acercamiento al análisis geotécnico, este procedimiento se llevó a cabo tomando como referencia los cálculos que según el método de Das, estructuras a predimensionar en 2 grupos, el primero corresponde a los muros de contención que se utilizarán para contener el relleno de los accesos al puente y el otro grupo corresponde a los estribos del puente. En ambos casos para llevar a cabo el cálculo de sus dimensiones contamos con: la cota de cimentación y el perfil transversal del río La Majada con ubicación de la rasante y el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME).

3.8.2.1 Predimensionamiento de los Muros de Contención en los Accesos al Puente.

Estas estructuras servirán para contener el relleno que conforman los terraplenes para acceder al puente carrozable Taulis – El Ingenio. De acuerdo con el perfil de elevación transversal que se muestra en la Figura 9 y el plano topográfico del proyecto, definimos que se utilizarán muros de contención con juntas, debido a la longitud que estos tendrán que cubrir. Es así que determinamos diseñar 4 pares de muros de contención para contener el relleno de los accesos al puente.

Teniendo en cuenta la topografía de la zona, y el perfil transversal generado (Figura 10), podemos inferir que los muros de la derecha de la vía van a presentar similitud geométrica, sobre todo en su altura (H), con respecto a los muros que se ubicarán a la derecha de la vía; así también tenemos que debido a las condiciones geológicas, determinadas en la sección anterior, tenemos un suelo que presenta continuidad y homogeneidad en su estructura, y por tanto de sus propiedades físicas y parámetro geotécnicos. Estas condiciones nos determinan que tendremos muros de contención en un lado de la vía, que van a presentar un comportamiento geotécnico muy similar con su par correspondiente, al otro lado de la vía. Por tanto, para llevar a cabo los cálculos se consideró 4 muros de contención, denominándolos M1, M2, M3 y M4, que presentan variación en su geometría y en sus condiciones de cimentación.

Para el predimensionamiento de los muros de contención se necesitó generar la sección transversal del río La Majada, con la ubicación de los muros de contención, los

terraplenes, los estribos, y el puente; como se puede ver en la Figura 9. Es así que se logró obtener la cota de elevación de cada muro de contención.

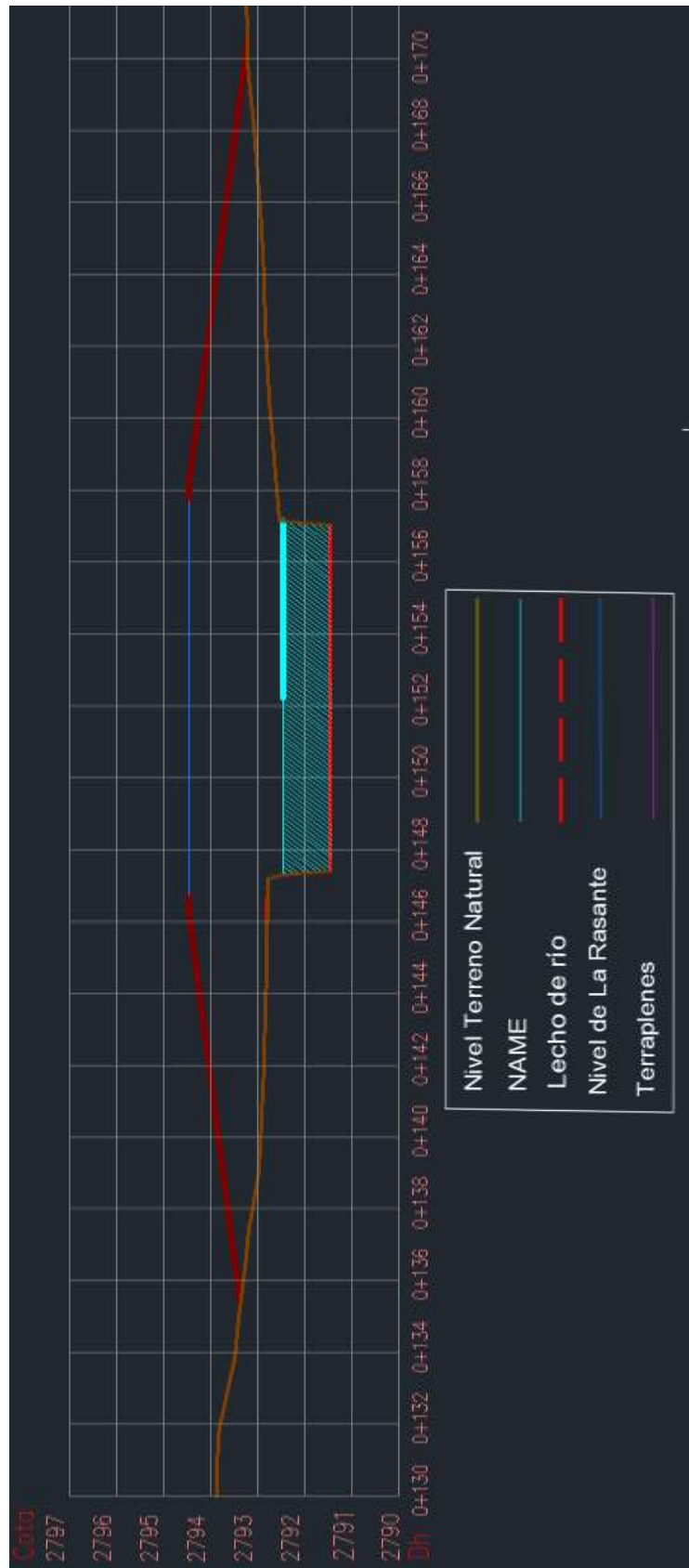


Figura 9. Sección transversal del río La Majada

Para el predimensionamiento de los muros de contención, se emplearon las siguientes fórmulas y consideraciones:

| | |
|--|---|
| Cota de terreno en m.s.n.m | Obtenida del plano topográfico del proyecto. |
| Cota de cimentación en m.s.n.m | Definida de acuerdo al estudio de mecánica de suelos. |
| Cota de elevación en m.s.n.m | Se obtiene del plano de sección transversal del río La Majada, y variará según la ubicación de la estructura. |
| $D_f = \text{cota de terreno} - \text{cota de cimentación}$ | |
| $L = \text{Cota de elevación de la rasante} - \text{cota del terreno}$ | |
| $H = D_f + L$ | |
| $h_z = 0.1 * H$ | Cálculos según Das 2013. |
| $t = 0.3$ mínimo | Cálculos según Das 2013. |
| $B = 0.5 \text{ A } 0.7 * H$ | Cálculos según Das 2013. |
| $B_1 = 0.1 * H$ | Cálculos según Das 2013. |
| $B_3 = 0.1 * H$ | Cálculos según Das 2013. |
| $B_2 = B - B_1 - B_3$ | Cálculos según Das 2013. |

En la Tabla 18 se muestran los cálculos realizados para el predimensionamiento de los muros de contención M1, M2, M3 y M4, con sus respectivas fórmulas y sus resultados obtenidos.

3.8.2.2 Predimensionamiento de los Estribos del Puente

Estas estructuras servirán para resistir el empuje del relleno de los accesos al puente, la sobrecarga y la reacción que ejerce el puente sobre los mismos.

También al igual que en el caso de los muros de contención fue necesario contar con la sección transversal del río La Majada, con la ubicación de los muros de contención, los terraplenes, los estribos, y el puente, mostrada en la Figura 9.

El predimensionamiento se llevó a cabo siguiendo las siguientes fórmulas y consideraciones:

| | |
|-------------------------------|---|
| Cota de terreno= 2792 m.s.n.m | Obtenida del plano topográfico del proyecto |
|-------------------------------|---|

| | |
|-----------------------------------|--|
| Cota de cimentación= 2789 m.s.n.m | Definida de acuerdo al estudio de mecánica de suelos |
|-----------------------------------|--|

| | |
|---|--------------------------|
| Cota de elevación de la rasante= 2794 m.s.n.m | Cálculos según Ruiz 2018 |
|---|--------------------------|

| | |
|---|--------------------------|
| Ancho de la cajuela de la losa del puente=0.5m. | Cálculos según Ruiz 2018 |
|---|--------------------------|

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| Altura de la cajuela =0.75m. | Cálculos según Ruiz 2018 |
|------------------------------|--------------------------|

$D_f = \text{cota de terreno} - \text{cota de cimentación}$

$L = \text{Cota de elevación de la rasante} - \text{cota del terreno}$

$H = D_f + L$

| | |
|-----------------|-------------------------|
| $h_z = 0.1 * H$ | Cálculos según Das 2013 |
|-----------------|-------------------------|

| | |
|------------------|-------------------------|
| $t = 0.3$ mínimo | Cálculos según Das 2013 |
|------------------|-------------------------|

$$B = 0.5 A + 0.7 * H$$

Cálculos según Das 2013

$$B1 = 0.1 * H$$

Cálculos según Das 2013

$$B3 = 0.1 * H$$

Cálculos según Das 2013

$$B2 = B - B1 - B3$$

Cálculos según Das 2013

En la Tabla 19 se muestran los cálculos realizados para el predimensionamiento de los estribos derecho e izquierdo del puente, con sus respectivas fórmulas y sus resultados obtenidos.

Tabl 17. Resultados del predimensionamiento de los estribos del puente.

| PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ESTRIBOS | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------|-------|-------|---------|------|----------|----------|----------|------------|
| ESTRUCT. | 1 | 2 | 3 | 4=1-2 | 5=3-1 | 6=4+5 | 7=6*0.1 | 8 | 9=6**0.6 | 10=6*0.1 | 11=6*0.1 | 12=9-10-11 |
| | COTA DEL TERRENO | COTA DE CIMENTACIÓN | COTA DE ELEVACIÓN | Df | L | H | hz | t | B | B1 | B2 | B3 |
| | m.s.n.m | m.s.n.m | m.s.n.m | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| EI | 2792.59 | 2789.59 | 2794.44 | 3 | 1.65 | 4.65 | 0.5 | 0.75 | 4.1 | 1.7 | 0.9 | 1.5 |
| ED | 2792.99 | 2789.99 | 2794.44 | 3 | 1.85 | 4.85 | 0.5 | 0.75 | 4.2 | 1.8 | 0.9 | 1.5 |

Fuente: Propia

Tabla 1828. Resultados del predimensionamiento de los muros de contención.

| PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|---------------------|-------------------|-------|-------|-------|---------|-----|----------|----------|----------|------------|
| MURO DE CONTENCIÓN | 1 | 2 | 3 | 4=1-2 | 5=3-1 | 6=4+5 | 7=6*0.1 | 8 | 9=6**0.6 | 10=6*0.1 | 11=6*0.1 | 12=9-10-11 |
| | COTA DEL TERRENO | COTA DE CIMENTACIÓN | COTA DE ELEVACIÓN | Df | L | H | hz | t | B | B1 | B2 | B3 |
| | m.s.n.m | m.s.n.m | m.s.n.m | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| M1 | 2792.79 | 2791.59 | 2794.44 | 1.2 | 1.65 | 2.85 | 0.3 | 0.3 | 2.3 | 0.35 | 0.9 | 1.05 |
| M2 | 2792.89 | 2791.69 | 2793.99 | 1.2 | 1.1 | 2.3 | 0.25 | 0.3 | 2.1 | 0.3 | 1.1 | 0.7 |
| M3 | 2792.59 | 2791.39 | 2794.44 | 1.2 | 1.85 | 3.05 | 0.3 | 0.3 | 2.4 | 0.4 | 0.9 | 1.1 |
| M4 | 2492.89 | 2491.69 | 2493.94 | 1.2 | 1.05 | 2.25 | 0.25 | 0.3 | 2.1 | 0.3 | 1.1 | 0.7 |

Fuente: Propia

3.8.3 Determinación del Factor de Seguridad en los Muros de Contención

Se determinó los factores de seguridad contra volteo, deslizamiento, y capacidad de carga, siguiendo la metodología de Das (2013), para los 4 muros de contención codificados y predimensionados en la sección anterior.

Se tomó en cuenta las condiciones de sismicidad y la presencia del nivel freático; esto se determinó así debido a la zona sísmica donde se ubica el proyecto y además las condiciones hidrológicas evaluadas en el apartado 3.4; por tanto, se trabajó el Factor de Seguridad en Tensiones Totales (TT), Tensiones Efectivas (TE), Tensiones Totales con Sismicidad (TT+S), y Tensiones Efectivas con sismicidad (TE+S).

Se trabajó con la hoja de cálculo Excel, la cual se diseñó utilizando la teoría del empuje de tierras de Rankine y la teoría de Mononobe Okabe; esta última se utilizó específicamente para tratar el caso de sismicidad.

Para el cálculo se tomaron los datos que arrojó la exploración geotécnica (Tabla 14) y las propiedades físicas y geotécnicas del relleno (Tabla 15). Además de los datos obtenidos en la exploración geotécnica, descrita en el apartado, para realizar los cálculos también se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

Aceleración sísmica horizontal máxima ($Z=0.35g$) Según zonificación sísmica del RNE 2019

Coefficiente horizontal de la aceleración sísmica ($K_h=0.175$)

Coefficiente vertical de aceleración sísmica ($K_v=0.12$)

Relleno de suelo horizontal ($\alpha=0$)

Ángulo de fricción del muro y del relleno ($\varphi = 0$)

Profundidad del nivel freático ($D_1=1m$) Según exploración geotécnica realizada

Sobrecarga actuante sobre el relleno ($q=1080 \text{ Tn/m}^2$) Cálculos según Ruiz 2018

En las Figuras, 11 y 12, se presentan la distribución de las presiones ejercidas por el empuje de tierras y la presencia de sobrecarga en el relleno, en un contexto sin sismicidad y con sismicidad respectivamente.

Los resultados de las principales variables que afectan el cálculo del Factor de Seguridad de los muros de contención: M1, M2, M3, y M4; se muestran en las Tablas, 19, 20, 21 y 22.

En las Tablas: 23, 24, 25 y 26; se muestran los valores obtenidos del Factor de Seguridad contra volteo, deslizamiento, y por capacidad de carga, de cada uno de los muros de contención evaluados, para las condiciones de tensiones Totales, Tensiones Efectivas, con y sin Sismicidad.

Las dimensiones de los muros de contención, que fueron verificadas contra falla por volteo, deslizamiento y capacidad de carga; se muestran en el Plano de Estructuras (Plano 08).

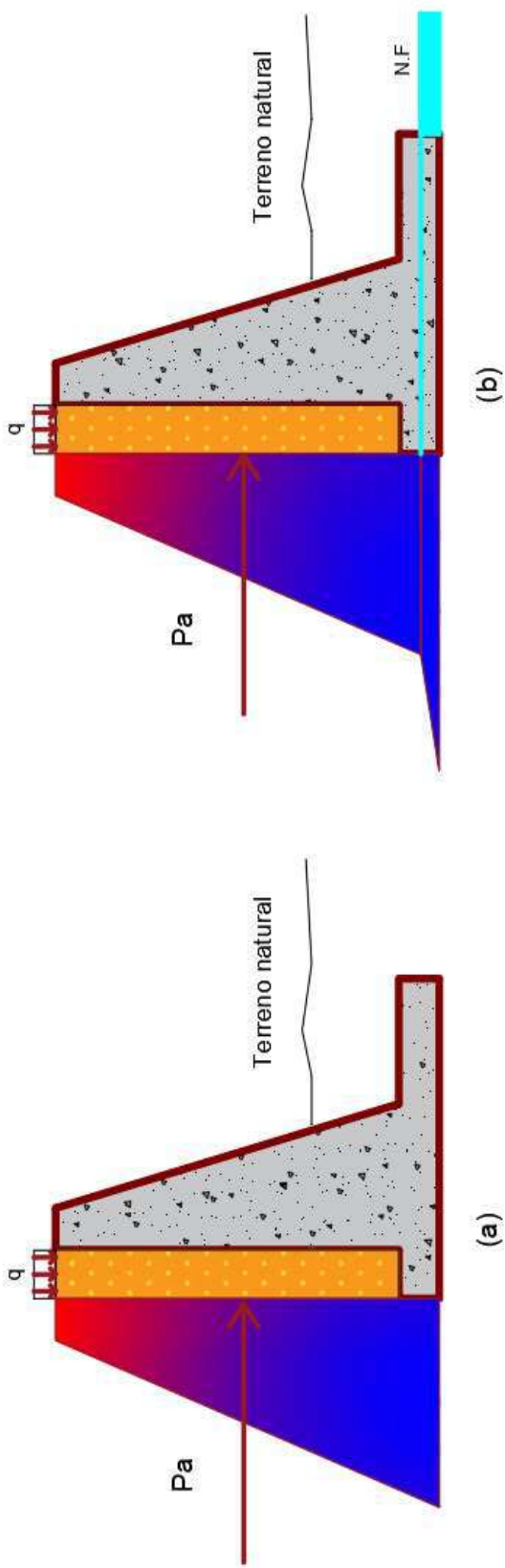


Figura 10. Distribución de las presiones laterales, debidas al empuje y a la sobrecarga: a) Tensiones totales, b) Tensiones efectivas.

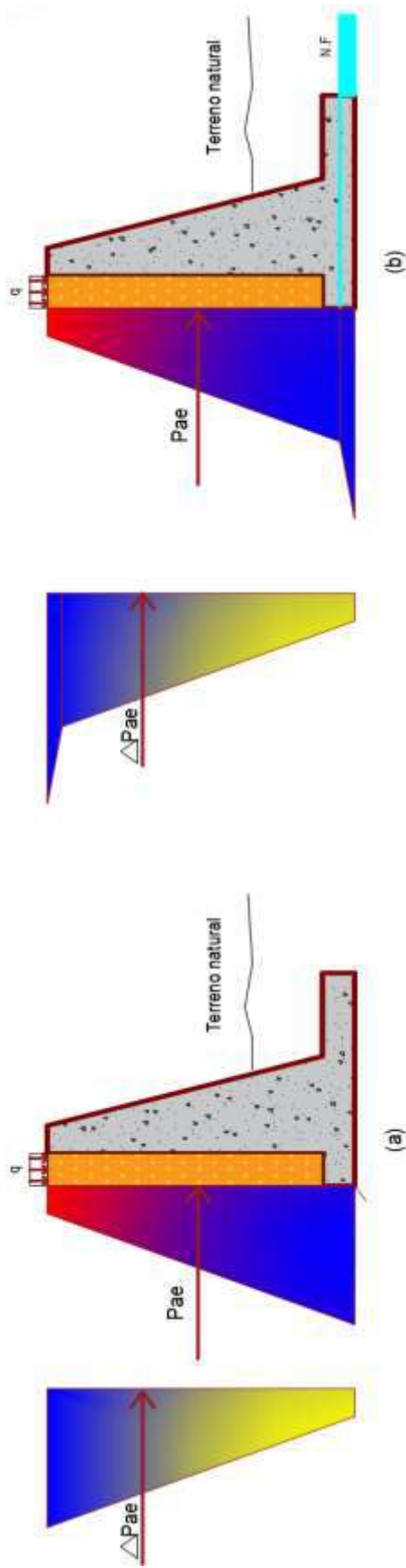


Figura 11. Distribución de las presiones laterales sobre los muros de contención, en condiciones de sismicidad:

a) Tensiones totales, b) Tensiones efectivas.

Tabla 19. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales.

| TENSIONES TOTALES (T.T) | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---|---------------|------|
| ESTRUCTURA | Coeficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad | |
| | Ka | Pa | Za | e | B/2 |
| M1 | 0.31 | 3.19 | 1.09 | 0.05 | 0.38 |
| M2 | 0.31 | 2.23 | 0.9 | 0.11 | 0.35 |
| M3 | 0.31 | 3.58 | 1.16 | 0.05 | 0.4 |
| M4 | 0.31 | 2.15 | 0.89 | 0.1 | 0.35 |

Fuente: Propia

Tabla 2242. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas.

| TENSIONES EFECTIVAS (T.E) | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---|---------------|------|
| ESTRUCTURA | Coeficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad | |
| | Ka | Pa | Za | e | B/2 |
| M1 | 0.31 | 3.21 | 1.08 | 0.05 | 0.38 |
| M2 | 0.31 | 2.24 | 0.89 | 0.11 | 0.35 |
| M3 | 0.31 | 3.6 | 1.15 | 0.05 | 0.4 |
| M4 | 0.31 | 2.16 | 0.88 | 0.1 | 0.35 |

Fuente: Propia

Tabla 2354. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales con Sismicidad.

| TENSIONES TOTALES CON SISMICIDAD (T.T+S) | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|---|---------------|------|
| ESTRUCTURA | Coeficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad | |
| | Ka | Pa | Za | e | B/2 |
| M1 | 0.42 | 4.38 | 1.24 | 0.22 | 0.38 |
| M2 | 0.42 | 3.05 | 1.01 | 0.12 | 0.35 |
| M3 | 0.42 | 4.91 | 1.32 | 0.23 | 0.4 |
| M4 | 0.42 | 2.94 | 0.99 | 0.11 | 0.35 |

Fuente: Propia

Tabla 2546. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas con Sismicidad.

| TENSIONES EFECTIVAS CON SISMICIDAD (T.E+S) | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|---|---------------|------|
| ESTRUCTURA | Coeficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad | |
| | Ka | Pa | Za | e | B/2 |
| M1 | 0.42 | 4.39 | 1.31 | 0.25 | 0.38 |
| M2 | 0.42 | 3.06 | 1.52 | 0.32 | 0.35 |
| M3 | 0.42 | 4.93 | 1.65 | 0.37 | 0.4 |
| M4 | 0.42 | 2.95 | 1.51 | 0.32 | 0.35 |

Fuente: Propia

Tabla 23. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M1.

| MURO DE CONTENCIÓN M1 | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 4.70 | 4.69 | 2.58 | 2.45 |
| FsD | 2.61 | 2.58 | 1.68 | 1.67 |
| FsCp | 20.29 | 15.71 | 8.03 | 6.41 |
| Qmax | 4.10 | 4.10 | 7.32 | 7.73 |
| Qperm | 27.70 | 21.46 | 19.59 | 16.50 |

Fuente: Propia

Tabla 2769. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M2.

| MURO DE CONTENCIÓN M2 | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 5.53 | 5.52 | 2.95 | 2.07 |
| FsD | 3.33 | 3.29 | 2.11 | 2.09 |
| FsCp | 32.88 | 25.38 | 12.34 | 7.25 |
| Qmax | 2.60 | 2.60 | 4.98 | 7.14 |
| Qperm | 28.47 | 21.99 | 20.49 | 17.26 |

Fuente: Propia

Tabla 28815. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M3.

| MURO DE CONTENCIÓN M3 | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 4.56 | 4.56 | 2.52 | 2.07 |
| FsD | 2.56 | 2.54 | 1.61 | 1.59 |
| FsCp | 24.24 | 18.50 | 9.20 | 6.28 |
| Qmax | 4.26 | 4.26 | 7.77 | 9.49 |
| Qperm | 34.46 | 26.30 | 23.82 | 19.85 |

Fuente: Propia

Tabla 2993. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad para el muro M4.

| MURO DE CONTENCIÓN M4 | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 5.69 | 5.69 | 3.03 | 2.10 |
| FsD | 3.65 | 3.60 | 2.22 | 2.20 |
| FsCp | 41.75 | 31.80 | 16.01 | 9.14 |
| Qmax | 2.59 | 2.59 | 4.85 | 6.98 |
| Qperm | 35.99 | 27.43 | 25.88 | 21.29 |

Fuente: Propia

3.8.4 Determinación del Factor de Seguridad de los Estribos del Puente

Se determinó los factores de seguridad contra volteo, deslizamiento y capacidad de carga siguiendo la metodología indicada por Das (2013), para los 2 estribos del puente carrozable Taulis - El Ingenio, predimensionados en la sección 3.4.2.

Se tomó en cuenta las condiciones de sismicidad y la presencia de nivel freático; esto se determinó así debido a la zona sísmica donde se ubica el proyecto, y además las condiciones hidrológicas evaluadas en el apartado 3.4; por tanto, se trabajó el Factor de Seguridad en Tensiones Totales (TT), Tensiones Efectivas (TE), Tensiones Totales con Sismicidad (TT+S), y Tensiones Efectivas con Sismicidad (TE+S).

Se trabajó con la hoja de cálculo Excel, la cual se diseñó utilizando la teoría del empuje de tierras de Rankine, y la teoría de Mononobe Okabe, esta última se utilizó específicamente para tratar el caso de sismicidad.

A diferencia del cálculo realizado para los muros de contención, en el caso de los estribos se consideró no sólo la fuerza de empuje de tierras de Rankine, sino también las cargas debidas a la presencia del puente que son: reacción del puente por peso propio, reacción por sobrecarga y fuerza de frenado. Es así que se calculó por separado el factor de seguridad de los estribos; en un primer caso se trabajó; estribo con relleno, sobrecarga y sin considerar la presencia del puente y las cargas asociadas a esta estructura; y en un segundo caso, estribo con relleno, sobrecarga y considerando la presencia del puente y sus respectivas cargas.

Para el cálculo se tomaron los datos que arrojó la exploración geotécnica (Tabla 16) y las propiedades físicas y geotécnicas del relleno (Tabla 15), además de estos datos, cálculos también se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

Aceleración sísmica horizontal máxima ($Z=0.35$ g) Según la zonificación sísmica del RNE 2019

Coefficiente horizontal de la aceleración sísmica ($K_h= 0.35$)

Coefficiente vertical de la aceleración sísmica ($K_v=0.23$)

Relleno de suelo horizontal ($\alpha=0$)

Ángulo de fricción del muro y del relleno ($\varphi = 0$)

Profundidad del nivel freático ($D_1=1$ m.)

Según la exploración geotécnica realizada

Sobrecarga actuante sobre el relleno ($q=1080$ Tn/m²)

Cálculos según Ruiz 2018

Fuerza de frenado ($F_f=1.46$ Tn.)

Cálculos según Ruiz 2018

Ubicación de línea de acción de F_f ($Z_f=4.85$ m.)

Cálculos según Ruiz 2018

Reacción por sobrecarga y peso propio del puente ($R=9.74$ Tn)

Cálculos según Ruiz 2018

En las Figuras 13 y 14, se presentan la distribución de las presiones ejercidas por el empuje de tierras, y la presencia de sobrecarga en el relleno, en un contexto sin sismicidad y con sismicidad respectivamente.

Los resultados de las principales variables que afectan el cálculo del factor de seguridad de los muros de contención: M1, M2, M3, y M4; se muestran en las Tablas: 27, 28, 29 y 30.

En las Tablas: 31, 32, 33 y 34; se muestra los valores obtenidos del Factor de Seguridad contra volteo, deslizamiento, y por capacidad de carga, de cada uno de los muros de contención evaluados, para las condiciones de Tensiones Totales, Tensiones Efectivas, con y sin Sismicidad.

Las dimensiones de los estribos del puente, que fueron verificadas contra falla por volteo, deslizamiento y capacidad de carga; se muestran en el Plano de Estructuras (Plano 08).

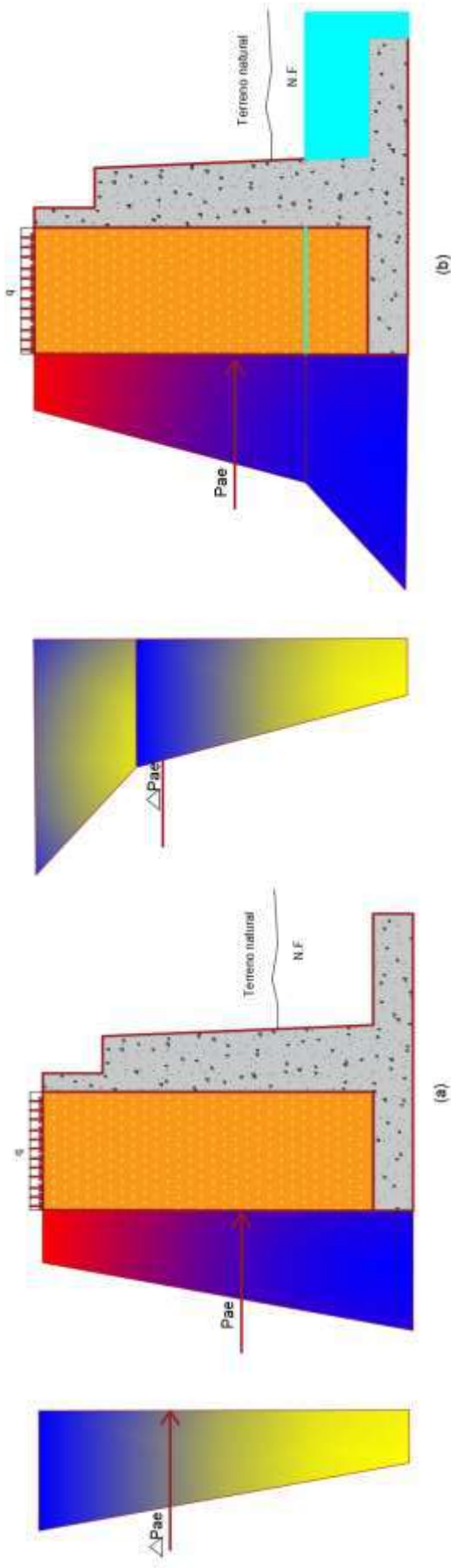


Figura 12. Distribución de las presiones laterales sobre los estribos del puente, en condiciones de sismicidad: a) tensiones totales, b) tensiones efectivas.

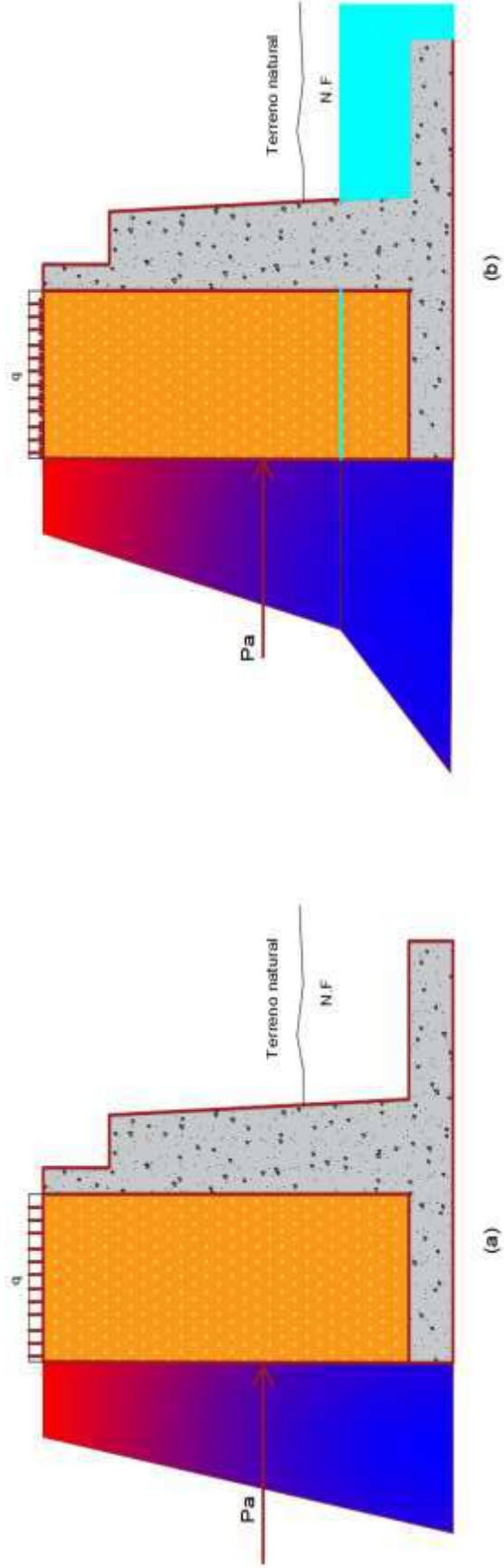


Figura 13. Distribución de las presiones laterales sobre los estribos del puente: a) tensiones totales, b) tensiones efectivas.

Tabla 27. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales.

| TENSIONES TOTALES (T.T) | | | | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|------|
| ESTRUCTURA | Coficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad sin puente | Excentricidad con puente | B/6 |
| | Ka | Pa | Za | e | e | |
| EI | 0.31 | 7.52 | 1.71 | 0.22 | 0.29 | 0.68 |
| ED | 0.31 | 8.11 | 1.78 | 0.23 | 0.28 | 0.7 |

Fuente: Propia

Tabla 28. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas

| TENSIONES EFECTIVAS (T.E) | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|------|
| ESTRUCTURA | Coficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad sin puente | Excentricidad con puente | B/6 |
| | Ka | Pa | Za | e | e | |
| EI | 0.31 | 8.97 | 1.54 | 0.33 | 0.4 | 0.68 |
| ED | 0.31 | 9.56 | 1.61 | 0.34 | 0.4 | 0.7 |

Fuente: Propia

Tabla 29. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Totales con Sismicidad.

| TENSIONES TOTALES CON SISMICIDAD (T.T+S) | | | | | | |
|--|------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|------|
| ESTRUCTURA | Coficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad sin puente | Excentricidad con puente | B/6 |
| | Ka | Pae | Zae | e | e | |
| EI | 0.38 | 9.28 | 1.9 | 0.57 | 0.55 | 0.68 |
| ED | 0.38 | 10.01 | 1.97 | 0.59 | 0.55 | 0.7 |

Fuente: Propia

Tabla 3558. Valores de las principales variables que afectan al Factor de Seguridad, en Tensiones Efectivas con Sismicidad

| TENSIONES EFECTIVAS CON SISMICIDAD (T.E+S) | | | | | | |
|--|------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|------|
| ESTRUCTURA | Coficiente del empuje activo | Fuerza de empuje activo de tierras | Punto de aplicación del empuje de tierras | Excentricidad sin puente | Excentricidad con puente | B/6 |
| | Ka | Pae | Zae | e | e | |
| EI | 0.38 | 10.6 | 1.83 | 0.67 | 0.66 | 0.68 |
| ED | 0.38 | 11.33 | 1.92 | 0.7 | 0.68 | 0.7 |

Fuente: Propia

Tabla 36701. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, para el estribo izquierdo del puente Taulis-El Ingenio.

| ESTRIBO IZQUIERDO | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 5.48 | 5.35 | 2.96 | 2.89 |
| FsD | 5.25 | 3.99 | 3.85 | 3.10 |
| FsCp | 18.74 | 8.89 | 11.75 | 6.09 |
| Qmax | 10.16 | 12.69 | 14.05 | 16.89 |
| Qperm | 63.49 | 37.59 | 55.03 | 34.29 |

Fuente: Propia

Tabla 32. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, y losa del puente, para el estribo izquierdo del puente Taulis-El Ingenio.

| ESTRIBO IZQUIERDO | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 4.75 | 4.58 | 3.06 | 2.92 |
| FsD | 5.67 | 4.31 | 4.19 | 3.38 |
| FsCp | 14.95 | 7.33 | 10.53 | 5.46 |
| Qmax | 14.62 | 17.31 | 18.52 | 21.52 |
| Qperm | 72.86 | 42.32 | 65.00 | 39.18 |

Fuente: Propia

Tabla 33. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, para el estribo derecho del puente Taulis-El Ingenio.

| ESTRIBO DERECHO | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 5.31 | 5.24 | 2.89 | 2.83 |
| FsD | 5.33 | 4.11 | 3.74 | 3.07 |
| FsCp | 22.57 | 10.92 | 13.91 | 7.35 |
| Qmax | 10.52 | 13.14 | 14.63 | 17.61 |
| Qperm | 79.13 | 47.83 | 67.84 | 43.15 |

Fuente: Propia

Tabla 34. Resultados de los cálculos del Factor de Seguridad considerando relleno, sobrecarga, y losa del puente, para el estribo derecho del puente Taulis-El Ingenio.

| ESTRIBO DERECHO | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S |
| FsV | 4.73 | 4.54 | 3.03 | 2.87 |
| FsD | 5.76 | 4.43 | 4.08 | 3.34 |
| FsCp | 18.61 | 9.17 | 12.85 | 6.70 |
| Qmax | 14.67 | 17.54 | 18.78 | 22.00 |
| Qperm | 91.01 | 53.62 | 80.42 | 49.14 |

Fuente: Propia

3.8.5 Determinación del Factor de Seguridad de los Terraplenes de los Accesos

Debido al desnivel que existe entre la elevación de la losa del puente y la vía, en ambos extremos, se hace necesario la construcción de terraplenes para permitir el acceso a los vehículos que transitarán por el puente Taulis-El Ingenio.

Se determinó para estas estructuras de tierra, el factor de seguridad por medio del software Slide, para ello se modeló dicha estructura en el software y se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

| | |
|--|--|
| Pendiente del terraplén =10% | Según los cálculos de Ruiz 2018 |
| Cota de elevación en m.s.n.m | Se obtiene del plano de sección transversal del río La Majada, y variará según la ubicación de la estructura |
| Aceleración sísmica horizontal máxima ($Z=0.35g$) | Según la zonificación sísmica del RNE 2019 |
| Coeficiente horizontal de la aceleración sísmica ($K_h= 0.35$) | |
| Coeficiente horizontal de la aceleración sísmica ($K_v=0.23$) | |

Se trabajó el factor de seguridad para las condiciones de Tensiones Totales (TT) y Tensiones Totales con Sismicidad (TT+S); ya no se consideró el caso de Tensiones Efectivas (TE) debido a que las estructuras se ubicarán por encima del nivel del terreno natural, y tendrán sistema de drenaje, que se instalará en los muros de contención, que contendrán dicho relleno; por todo esto los terraplenes no se verán afectados por la poropresión.

En las siguientes Figuras, de la 15 a la 22, se muestran para cada uno de los terraplenes, las superficies de falla más críticas, con el valor de su Factor de Seguridad, según Bishop simplificado y Janbú simplificado; estos resultados se obtuvieron según el software Slide.

3.8.5.1 Factor de Seguridad Terraplén Izquierdo (T.I)

Se calculó utilizando los métodos de Bishop simplificado y Janbú simplificado. A continuación, en las Figuras: 15, 16, 17, y 18; se muestran los resultados que arrojó el software Slide para el terraplén izquierdo, considerando Tensiones totales y Tensiones Totales con sismicidad.

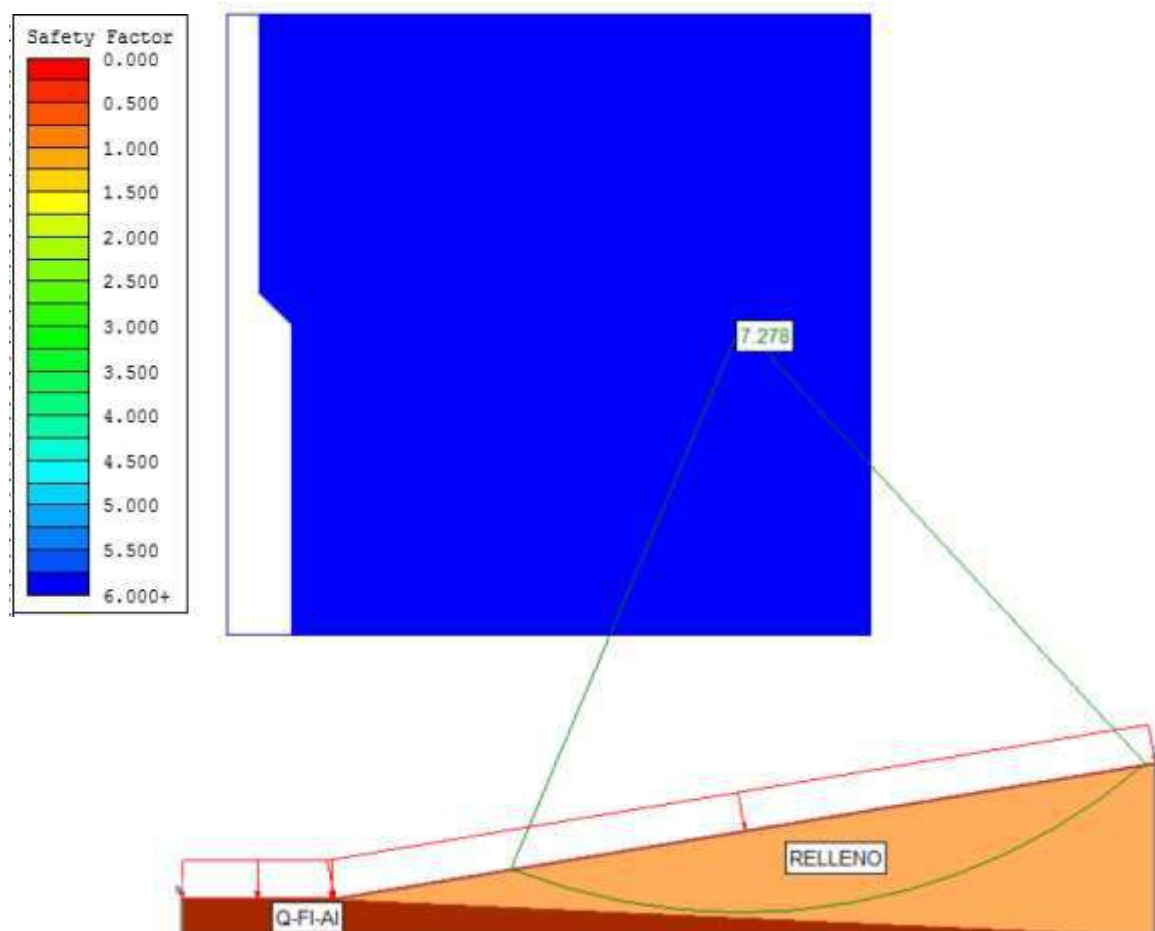


Figura 14. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales.

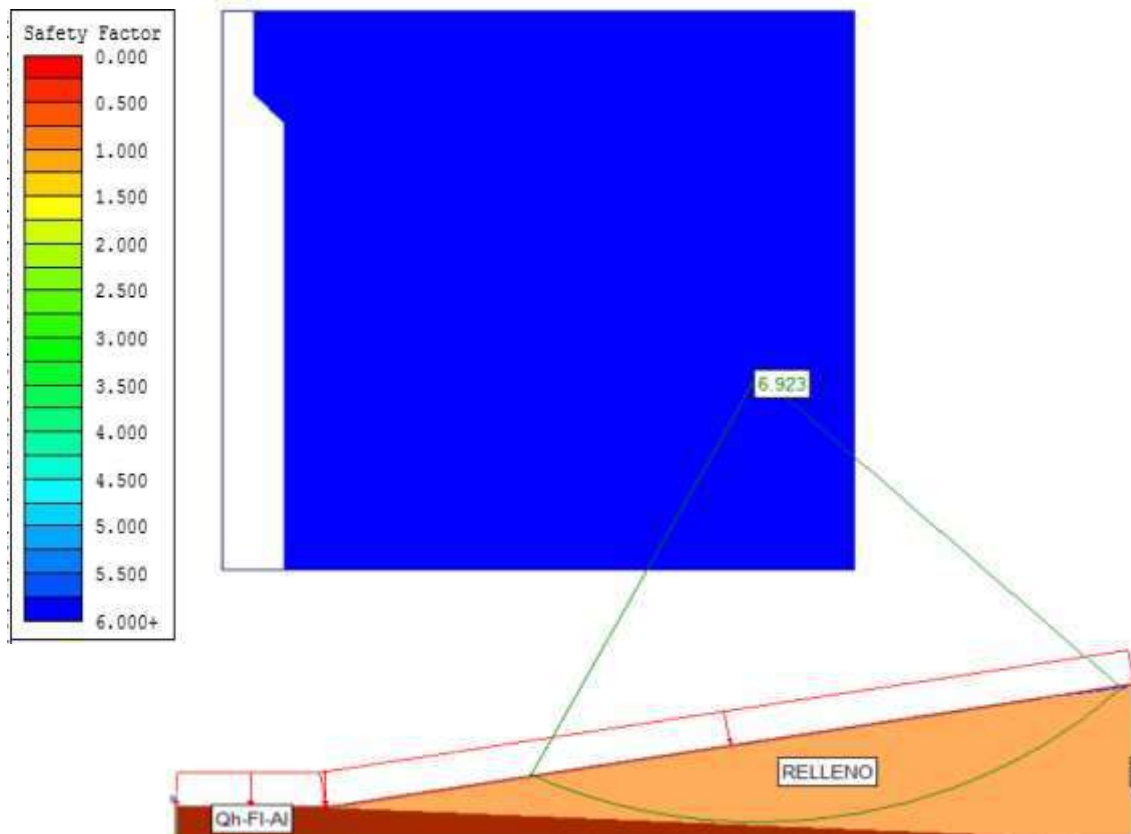


Figura 15. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales.

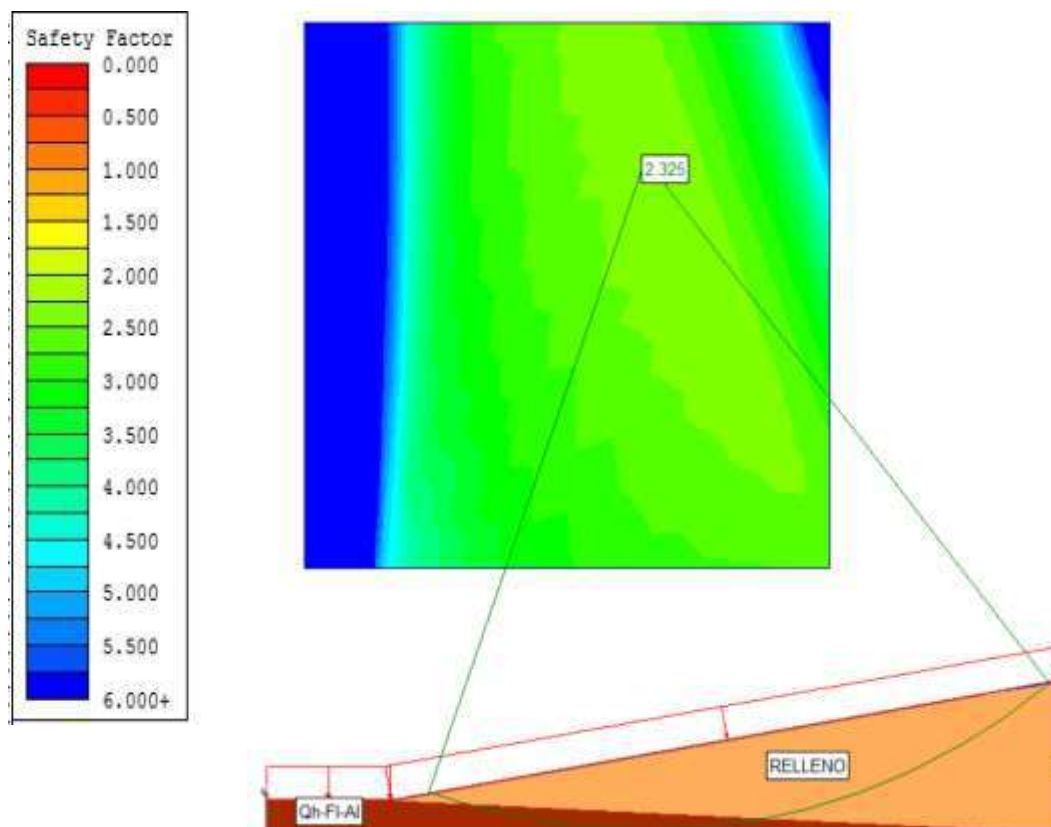


Figura 16. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad.

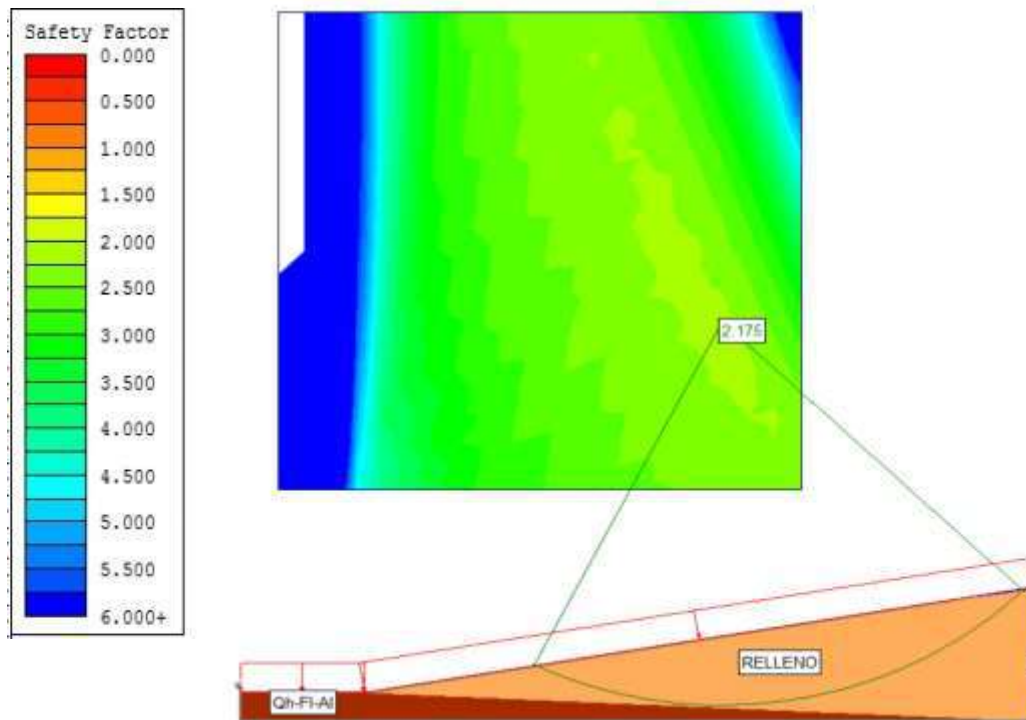


Figura 17. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en tensiones Totales con Sismicidad.

3.8.5.2 Factor de Seguridad Terraplén Derecho (T.D)

Se calculó utilizando los métodos de Bishop simplificado y Janbú simplificado. A continuación, en las Figuras: 19, 20, 21 y 22; se muestra los resultados que nos arrojó el software Slide para el terraplén derecho, considerando Tensiones Totales, y Tensiones Totales con Sismicidad.

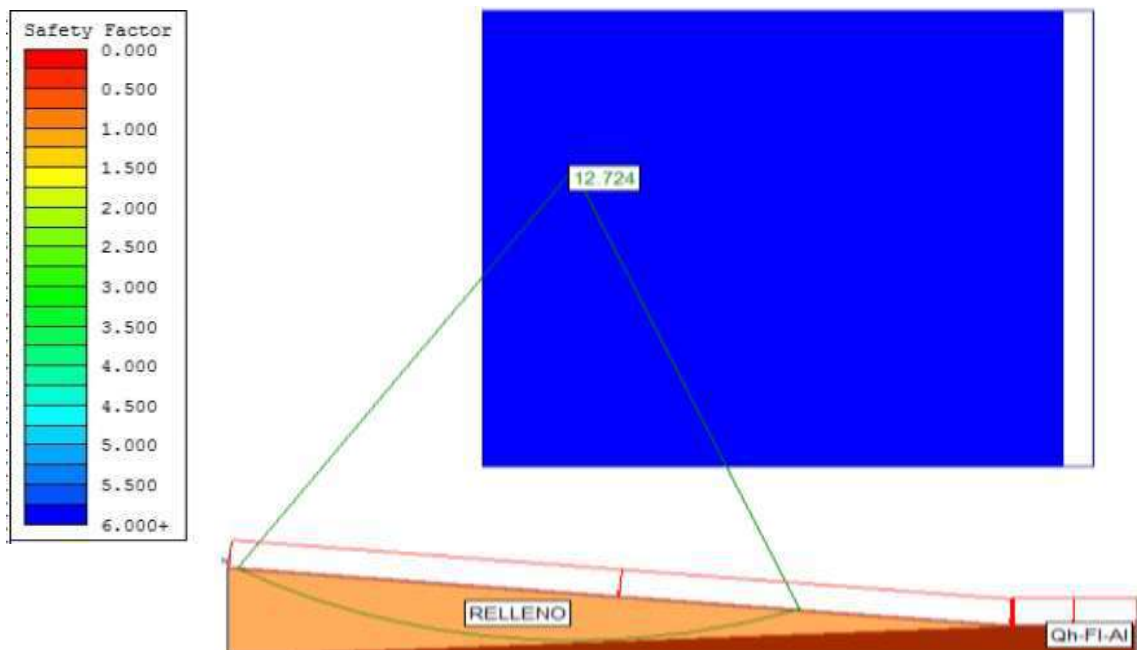


Figura 18. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop Simplificado, en Tensiones Totales.

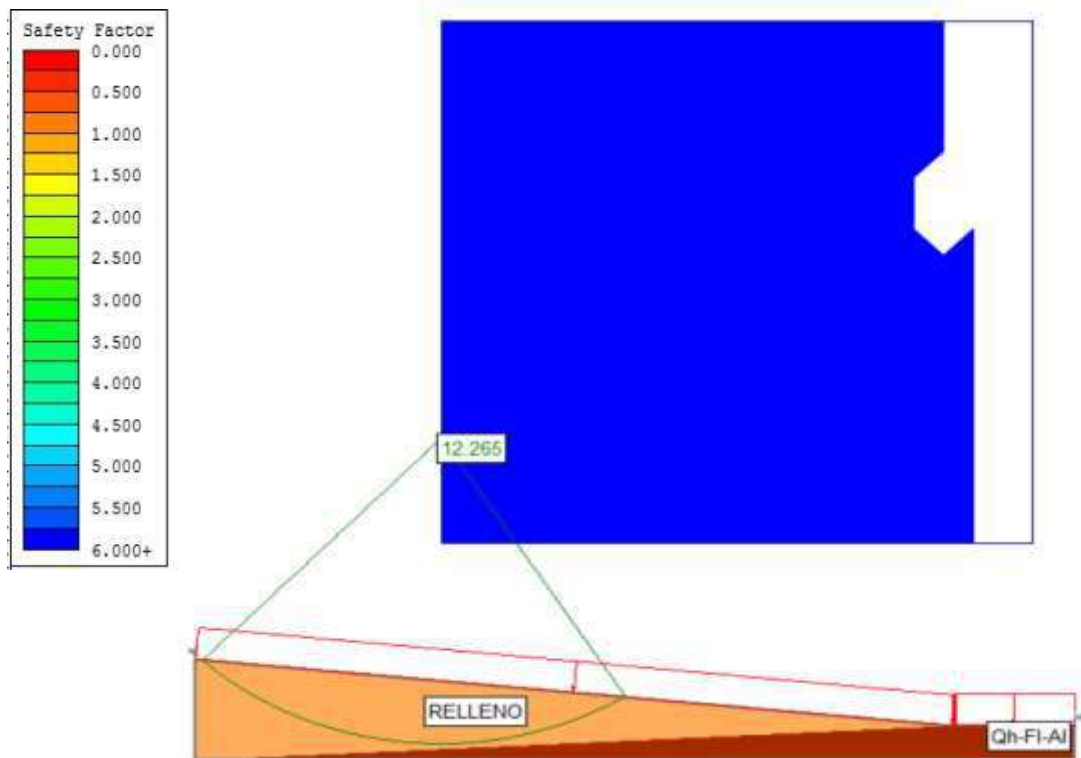


Figura 19. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales.

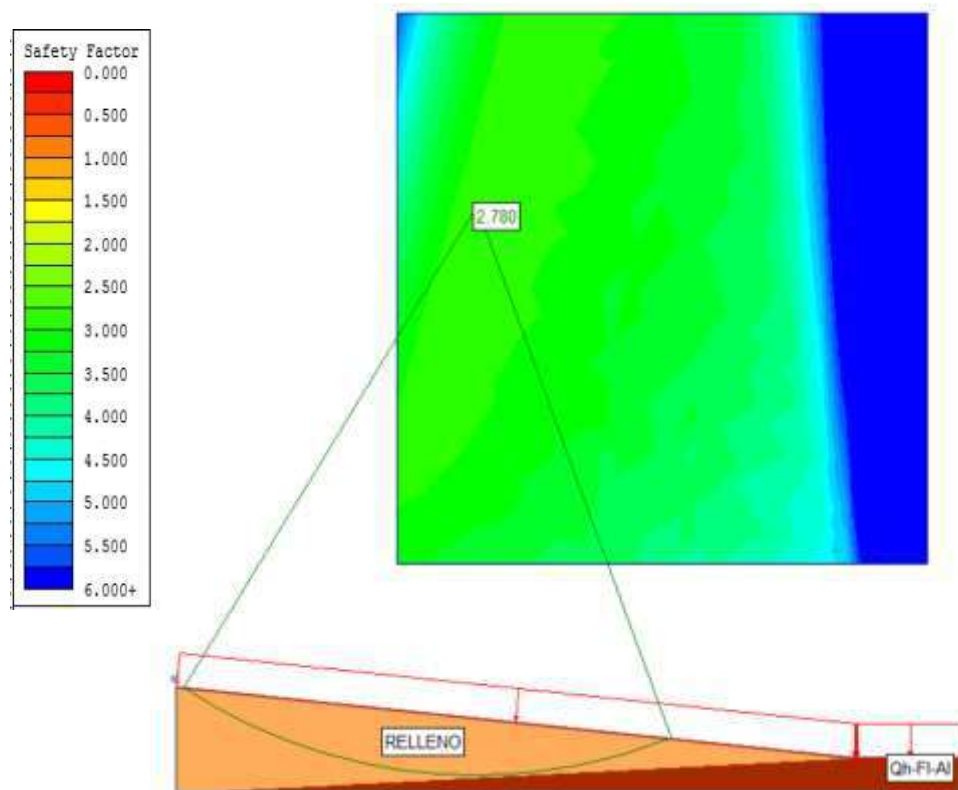


Figura 20. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Bishop simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad.

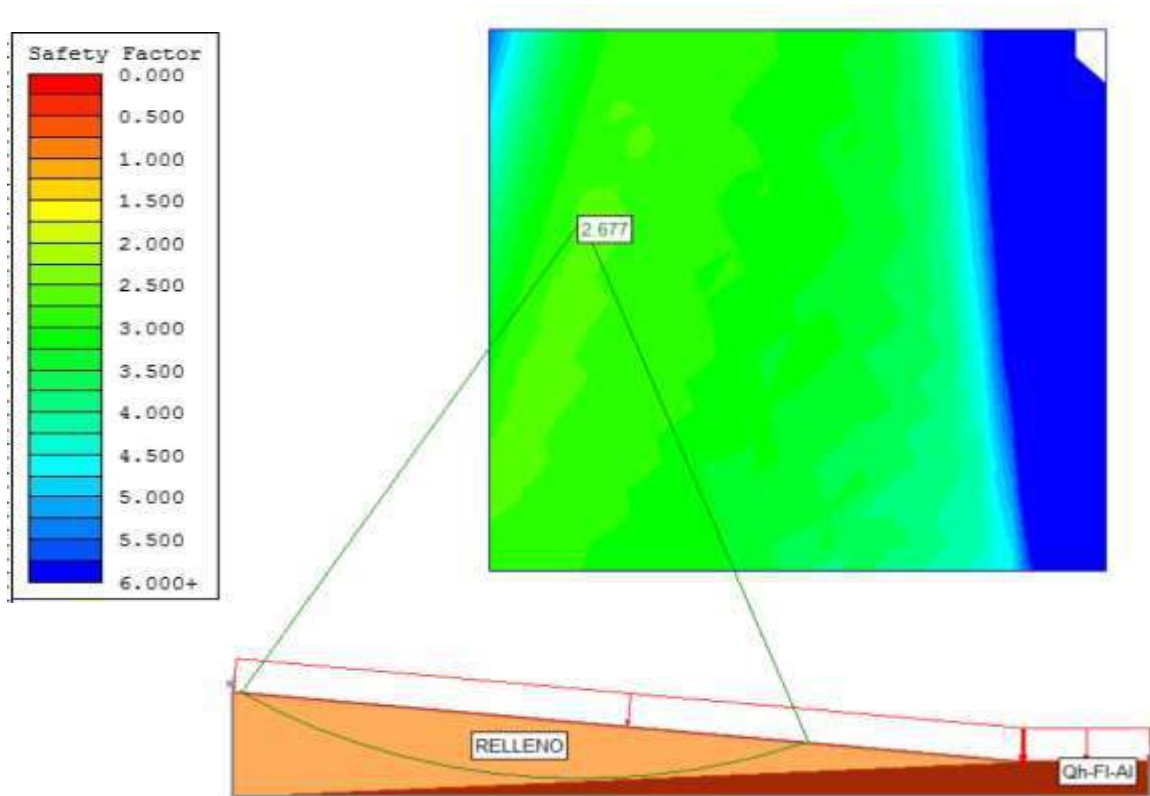


Figura 21. Factor de Seguridad del círculo de falla más crítico, según el modelo de Janbú simplificado, en Tensiones Totales con Sismicidad.

En la Tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos del cálculo del factor de seguridad, en los terraplenes del puente carrozable Taulis-El Ingenio.

Tabla 35. Resultados del Factor de Seguridad de los terraplenes del puente Taulis-El Ingenio.

| ESTRUCTURA | FACTOR DE SEGURIDAD | | | |
|------------|---------------------|---------------|--------|---------------|
| | T.T | | T.T+S | |
| | Bishop | Janbu Simplif | Bishop | Janbu Simplif |
| T.I | 7.278 | 6.923 | 2.325 | 2.175 |
| T.D | 13.629 | 13.076 | 2.981 | 2.856 |

Fuente: Propia

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El balance hidrológico de la microcuenca La Majada (Tabla 12), que alberga el proyecto del puente carrozable Taulis – El Ingenio, nos mostró que dicha microcuenca recibe una infiltración total de 220.61 millones de metros cúbicos, en un periodo de 22 años; siendo este un valor considerable, que a la vez nos indica que habrá influencia de la poropresión sobre las estructuras que se van a cimentar para la construcción del puente. Por tanto, se definió trabajar en Tensiones Efectivas para la determinación del Factor de Seguridad.

Los resultados de la exploración geotécnica nos indicaron la presencia del nivel freático a 1.5 m. de profundidad; este sería el nivel a considerar en el cálculo del factor de seguridad para los muros de contención y los estribos; pero del balance hidrológico encontramos un volumen de infiltración bastante importante, lo cual nos indica que la microcuenca del río La Majada tiene un potencial elevado de infiltración lo cual elevará el nivel freático. De los parámetros geomorfológicos calculados, particularmente el Coeficiente de Compacidad (1.51) y del Factor de Forma (0.28), nos indican que es una cuenca con una baja capacidad de generar acumulación de caudal, lo cual reduce un poco el potencial de infiltración. Entonces para poder evaluar las condiciones más reales, y que nos den una confiabilidad mayor en el cálculo del Factor de Seguridad, optamos por calcular del balance hidrológico la infiltración promedio (0.5 m.), siendo este valor el que representa los niveles más continuos de infiltración en la zona, lo sumamos a la cota del nivel freático, obtenida en la exploración geotécnica, para obtener la profundidad del nivel freático más permanente que se suscita en la zona de estudio.

El valor que se obtuvo para la profundidad del nivel freático más permanente fue el de 1 metro de profundidad y se utilizó para los cálculos en Tensiones Efectivas y Tensiones Efectivas con Sismicidad.

El nuevo valor obtenido (1m.) para la profundidad del nivel freático, es el que representa las condiciones hidrológicas más persistentes en la zona de estudio, y se debe tomar en cuenta para los cálculos que se vayan a realizar en adelante.

4.1 Muros de Contención

Se planificaron que se cimentarán 8 muros de contención, para contener el relleno de los accesos al puente, los cuales se ubicarán a los costados de la vía, siendo 4 a cada costado. Pero como podemos ver en la Figura 9, el suelo de cimentación corresponde a un suelo gravoso, continuo y con cierta homogeneidad, así que inferimos que así serán sus propiedades físicas y parámetros geotécnicos. Además, la zona donde se llevará a cabo la cimentación tiene un relieve casi plano, como se verifica en el plano topográfico del proyecto, lo cual evidencia que las 4 estructuras de un costado de la vía tendrán su par correspondiente al otro lado con igual o similar geometría. Por tanto, podemos extender las propiedades obtenidas de la exploración geotécnica para generar la zonificación geotécnica del área del proyecto, y además podemos considerar que los resultados obtenidos, para los muros M1, M2, M3 y M4, serán válidos para sus pares correspondientes al otro lado de la vía, por presentar similar geometría y las mismas condiciones de cimentación.

En la sección 3.8.3, se calcularon los Factores de Seguridad contra volteo, deslizamiento y capacidad de carga para los muros de contención M1, M2, M3 y M4 los cuales se mostraron en las Tablas, 23 a la 26. Estos valores del Factor de Seguridad obtenidos, nos indican condiciones bastante fiables de estabilidad, frente a la acción de las fuerzas desestabilizadoras, la acción sísmica, y la poropresión; teniendo una amplitud considerable, sobre todo para los resultados obtenidos en tensiones totales.

Teniendo en cuenta que, los muros de contención son estructuras que toleran desplazamientos (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles 2018), se determinó el coeficiente de aceleración sísmica horizontal y el coeficiente de aceleración sísmica vertical como 0.175 y 0.12, respectivamente.

Tabla 36. Variación de la amplitud del factor de seguridad y la carga permisible en los muros de contención.

| MUROS DE CONTENCIÓN | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|------------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S | Δ AMPLITUD |
| FsV | 155.9% | 155.8% | 38.5% | 8.6% | -147.4% |
| FsD | 113.1% | 110.8% | 42.6% | 41.6% | -71.4% |
| FsCp | 893.0% | 661.6% | 279.8% | 142.3% | -750.7% |
| Qperm | 993.0% | 761.6% | 379.8% | 242.3% | -750.7% |

Fuente: Propia

La amplitud del Factor de Seguridad, calculada en porcentaje, se refiere a cuánto más es el valor del factor de seguridad calculado, que el mínimo requerido para que la estructura sea estable, frente al volteo, deslizamiento y capacidad de carga; de igual manera para el caso de la amplitud en la carga permisible, es el porcentaje de cuánto más es el valor obtenido, que el mínimo requerido para que no se llegue a la falla en el suelo de fundación. En la Tabla 36, se muestran las amplitudes promedio calculadas para cada factor de seguridad, y para la carga permisible del suelo de fundación, la cual se trabajó para un factor de seguridad de 3. Los cálculos de la amplitud se realizaron sobre los resultados obtenidos en Tensiones Totales, Tensiones Efectivas, Tensiones Totales con Sismicidad y Tensiones Efectivas con Sismicidad.

Como se puede apreciar de la tabla anterior, los resultados obtenidos del Factor de Seguridad y la carga permisible, para los muros de contención M1, M2, M3, y M4; son amplios para todos los casos. Por tanto, las cimentaciones de los muros de contención serán estables frente a todas las condiciones que plantea la zona donde se ubica el proyecto.

También de la Tabla 36, podemos ver que la amplitud que existe en los valores del factor de seguridad y la carga permisible, se reduce al pasar de las condiciones de Tensiones Totales a Tensiones Efectivas y más considerablemente al pasar a las condiciones de sismicidad, siendo el caso más desfavorable el de Tensiones Totales con Sismicidad. Estas variaciones son un indicador de la intensidad con que afectan las condiciones hidrológicas y sísmicas, a la estabilidad de la cimentación.

4.2 Estribos del Puente

En la sección 3.8.4, se calcularon los factores de seguridad contra volteo, deslizamiento y capacidad de carga para los estribos del puente. Estos valores del factor de seguridad obtenidos y que se muestran en las tablas 31 a la 34, nos indican condiciones bastante fiables de estabilidad, frente a la acción de las fuerzas desestabilizadoras, la acción sísmica y la poropresión; teniendo una amplitud considerable, sobre todo para los resultados en Tensiones Totales.

Teniendo en cuenta que los muros de contención y los estribos son estructuras que no deben tolerar desplazamiento (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles 2018), se consideró, para el cálculo en condiciones de sismicidad los valores del coeficiente sísmico horizontal (0.35) y vertical (2.3).

Los cálculos realizados, considerando el empuje de tierras, sobrecarga, reacción del puente y fuerza de frenado, mostraron los valores más bajos del factor de seguridad, contra volteo, y capacidad de carga, en todas las condiciones evaluadas (TT, TE, TT+S, TE+S), pero esto no sucede con el Factor de Seguridad contra el deslizamiento, esto se debe a que la reacción que ejerce el puente sobre los estribos, contribuye a minimizar los efectos del empuje activo.

Tabla 37. Variación de la amplitud del factor de seguridad y la carga permisible, en los muros de contención.

| ESTRIBOS DEL PUENTE | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|------------|
| FS | T.T | T.E | T.T+S | T.E+S | Δ AMPLITUD |
| FsV | 152.8% | 145.9% | 49.0% | 43.5% | -109.3% |
| FsD | 266.8% | 180.8% | 164.3% | 114.7% | -152.1% |
| FsCp | 523.1% | 202.3% | 308.2% | 113.2% | -409.9% |
| Qperm | 623.1% | 302.3% | 408.2% | 213.2% | -409.9% |

Fuente: Propia

La Tabla 37, muestra la amplitud que se tiene con los resultados obtenidos para el Factor de Seguridad y la Carga admisible del suelo de fundación; también podemos notar que ocurre una reducción considerable de la amplitud al pasar a Tensiones Efectivas con

Sismicidad, es decir sucede lo mismo que se observó en el análisis de los muros de contención.

Así también podemos decir, que el Factor de Seguridad contra volteo, deslizamiento, capacidad portante; es amplio para los dos estribos del puente, asimismo sucede con la carga permisible; por tanto, la cimentación de los estribos del puente, será estable frente a todas las condiciones que plantea la zona donde se ubica el proyecto.

4.3 Terraplenes

En la sección 3.8.5, se calcularon los factores de seguridad para los terraplenes: izquierdo y derecho de los accesos al puente. Estos valores del factor de seguridad obtenidos y que se muestran en la Tabla 35, nos indican condiciones bastante fiables de estabilidad, frente a la acción de las fuerzas desestabilizadoras y la acción sísmica; teniendo una amplitud considerable, sobre todo para los resultados obtenidos en Tensiones Totales.

En los cálculos para estas estructuras, no se consideró los efectos de la poropresión, ya que los terraplenes se construirán sobre el nivel del terreno y serán drenados a través de los muros de contención según (Ruiz 2018).

Tabla 38. Variación de la amplitud del factor de seguridad en los terraplenes.

| TERRAPLENES | | | | | |
|-------------|--------|---------------|--------|---------------|----------------------|
| | T.T | | T.T+S | | Δ AMPLITUD |
| | Bishop | Janbu Simplif | Bishop | Janbu Simplif | |
| FS | 596.9% | 566.6% | 76.9% | 67.7% | -529.2% |

Fuente: Propia

Como se puede apreciar de la Tabla anterior, los resultados del Factor de Seguridad y la Carga permisible, son bastante amplios para todos los casos, por tanto, los terraplene que se construirán para los accesos al puente serán estables, frente a todas las condiciones que plantea la zona del proyecto.

También se determinó que existe una reducción de la amplitud del Factor de Seguridad de los terraplenes, al pasar de condiciones de Tensiones Totales a Tensiones

Totales con sismicidad, como se muestra en la tabla 35; esto también sucedió en los muros de contención y en los estribos.

Por tanto, deducimos que los resultados que se obtengan en Tensiones Totales van a generar una excesiva confiabilidad, que no asegura la estabilidad; ya que dichos resultados experimentarán una disminución considerable al entrar en acción la poropresión y la sismicidad, pudiendo esto ocasionar que las estructuras fallen.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El cartografiado geotécnico de la zona de cimentación del puente Taulis - El Ingenio determinó, que se cimentará sobre depósitos fluvio-aluviales (Qh-fl-al), siendo el fondo de cimentación una capa de grava con presencia de arena y limo, la cual es continua y homogénea en ambos márgenes del río La Majada. Además, se determinó la presencia de nivel freático a 1 metro de profundidad, recalculado de acuerdo con el análisis del balance hidrológico realizado.

Las propiedades físicas y parámetros geotécnicos del suelo de fundación fueron obtenidos en la etapa de exploración geotécnica; y dichos valores fueron empleados en los cálculos del Factor de Seguridad para los muros de contención, estribos del puente y los terraplenes.

El predimensionamiento de los muros de contención, los estribos del puente y los terraplenes de los accesos, arrojaron dimensiones óptimas para dichas estructuras, las cuales satisfacen los requerimientos mínimos para asegurar la estabilidad geotécnica de las estructuras en condiciones de tensiones totales, tensiones efectivas, tensiones totales con sismicidad y tensiones efectivas con sismicidad.

Los Factores de Seguridad obtenidos para los muros de contención, los estribos del puente, los terraplenes, aseguran la estabilidad geotécnica de dichas estructuras frente a las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y sísmicas que se presentan en el área del proyecto.

RECOMENDACIONES

El proyectista debe realizar mayor exploración geotécnica en la zona de cimentación mediante ensayos especiales y SPT; y con los datos obtenidos recalculan los factores de seguridad de los muros de contención, de los estribos, para contrastarlos con los resultados obtenidos en esta investigación.

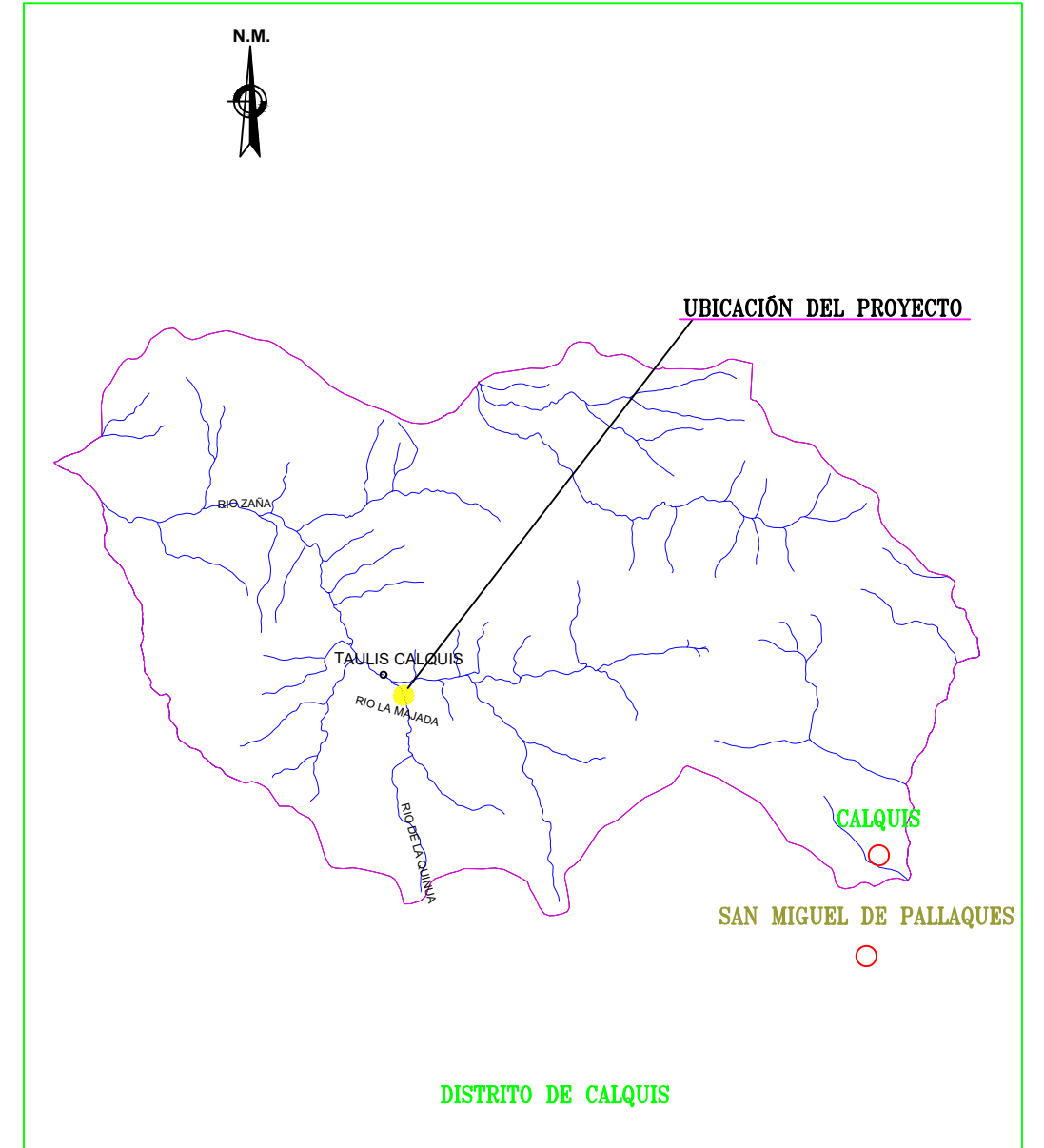
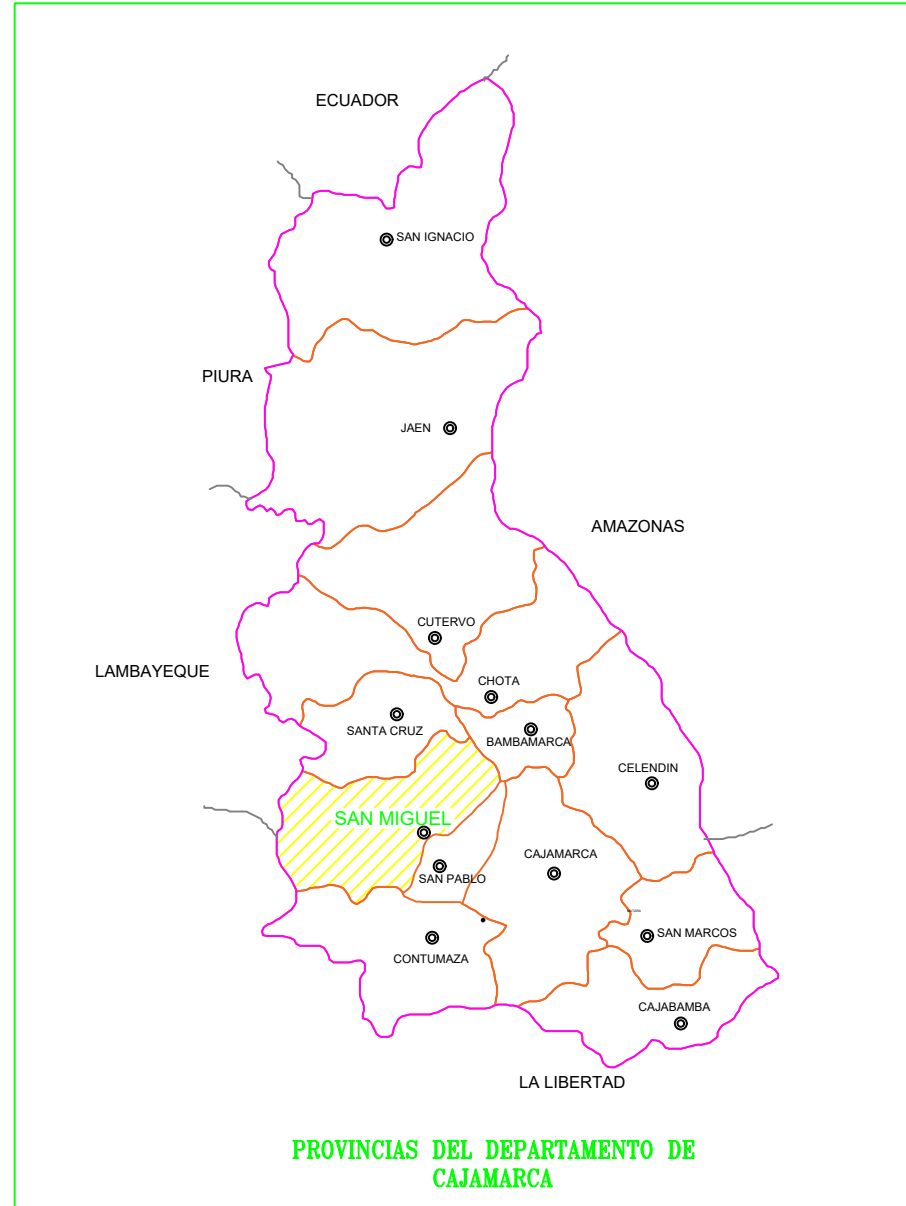
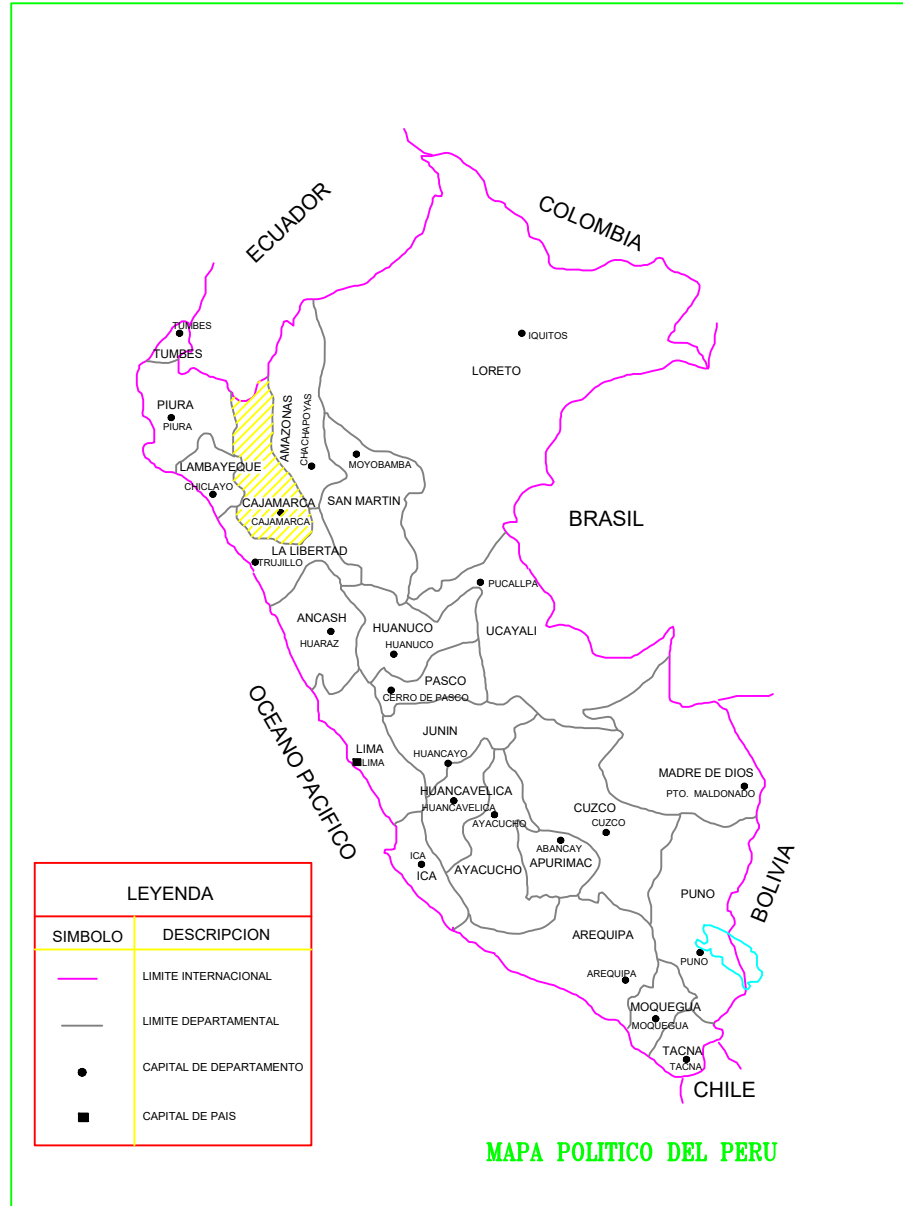
El río La Majada tiene un alto potencial erosivo, de acuerdo con los parámetros geomorfológicos obtenidos; por ello se recomienda al proyectista, determinar, mediante un estudio hidráulico el socavamiento que se genera en las márgenes del río La Majada y analizar la incidencia que tendrá sobre la cimentación de los estribos.

Se recomienda al proyectista, diseñar muros de encausamiento para las márgenes del río La Majada, en las áreas de inundación (Ver Plano 07), para evitar dichos eventos logrando reducir los efectos erosivos en los bordes de las estructuras de cimentación.

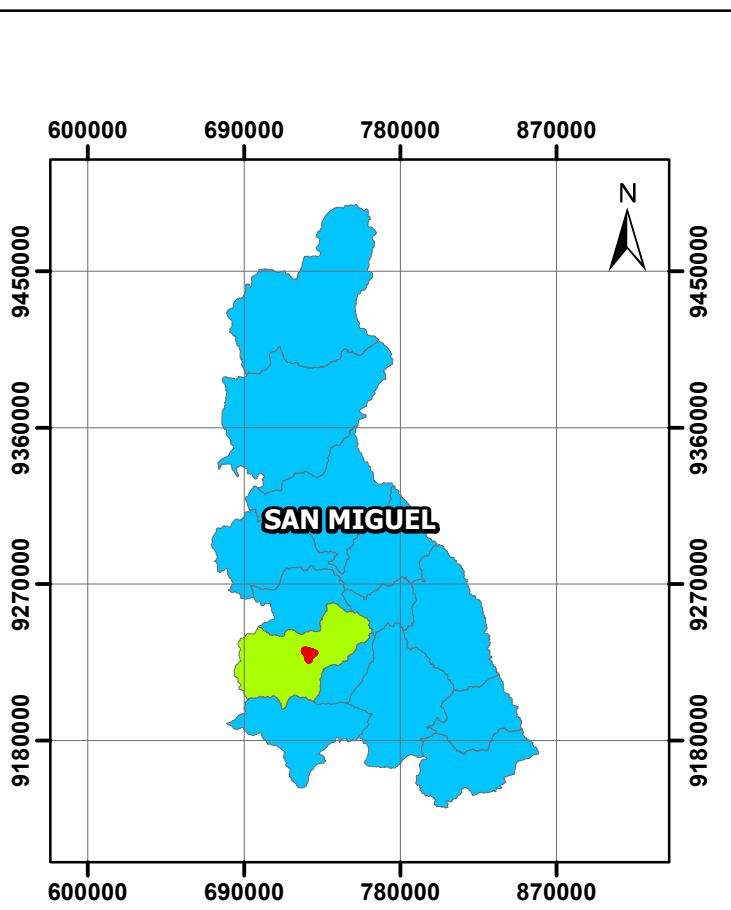
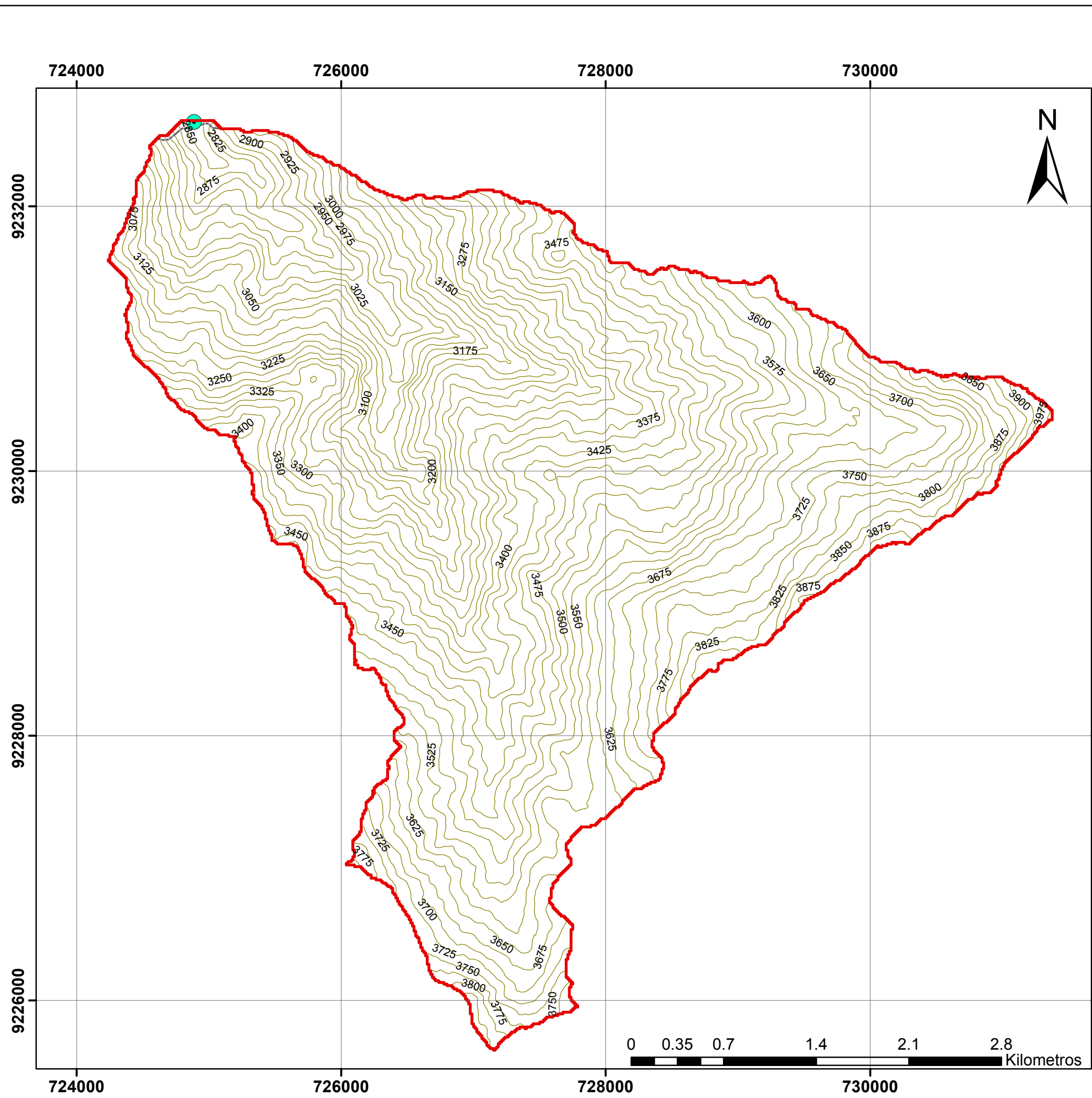
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballón, A y Echenique, JF. 2017. Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmicas del Perú. Tesis: Bach. Lima, Perú, UPC.
- Bosio Velasquez, JL; Lopez Acuña, J; Gallo Deza, E; Pastor Guajardo, M; Lainez-Lozada Campos, P. 1994. Puentes, Análisis diseño y construcción. 2 ed. Lima, Perú, s.e.
- Coral, J, Flores, CM. 2016. Zonificación de la capacidad portante de los suelos de la localidad de Bernabé Guridi del distrito de Tarapoto, Provincia de San Martín, región San Martín. Tarapoto. Tesis: Bach. Tarapoto, Perú, UNSM.
- Cruzado, F. 2014. Zonificación geotécnica para la cimentación de la presa de relaves Fraylones-proyecto La Arena-La Libertad. Tesis: Bach. Cajamarca, Perú, UNC.
- Das, BM. 2004. Principos de Ingeniería de Cimentaciones. 4 ed. México D.F., México, Cengage Learning Brooks Cole.
- Das, BM. 2012. Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. 7 ed. México D.F., México Cengage Learning.
- Das, BM. 2013. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. 4 ed. México D.F., México, Cengage Learning.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. Lima, Perú, Ingemmet.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. 2018. Manual de puentes. Lima, Perú
- González de Vallejo, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España, Pearson.
- Infante, A. 2014. Estudio geotécnico para el diseño de la presa de relaves Collparac minera Milpo Ancash-Perú. Tesis: Bach. Cajamarca, Perú, UNC.
- Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. s.f. Glosario de términos (Ingeniería civil). Maracay, Venezuela, s.e.
- Ortiz, O. 2004. Evaluación hidrológica. Hidrored.
- Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma E-030. 2019. 3 ed. Lima, Perú, Megabyte S.A.C.
- Rodríguez, SR. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos. Zona Ronquillo-Corisorgona. Tesis Magister. Lima, Perú, UNMSM.
- Ruiz, F. 2018. Expediente técnico: Creación del puente carrozable Taulis-El Ingenio, distrito de Calquis, provincia de San miguel, departamento Cajamarca. Cajamarca, Perú, s.e.
- SAGARPA. 2017. Muros de contención. 2 ed. México D.F, México, s.e.
- Villón, M. 2011. Hidrología. Cartago, Costa Rica, Editorial Villón.





ANEXOS

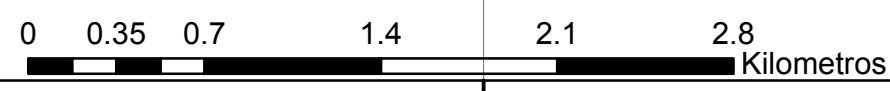


| | | |
|---|-------------|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
|  | | PLANO: <h1 style="font-size: 48px; margin: 0;">01</h1> |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | | |
| PLANO DE UBICACIÓN POLÍTICA | | |
| TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | | |
| ASESOR: Dr. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO | | |
| DATUM: UTM-WGS84 | ESCALA: S/E | FECHA: 07/08/2021 |

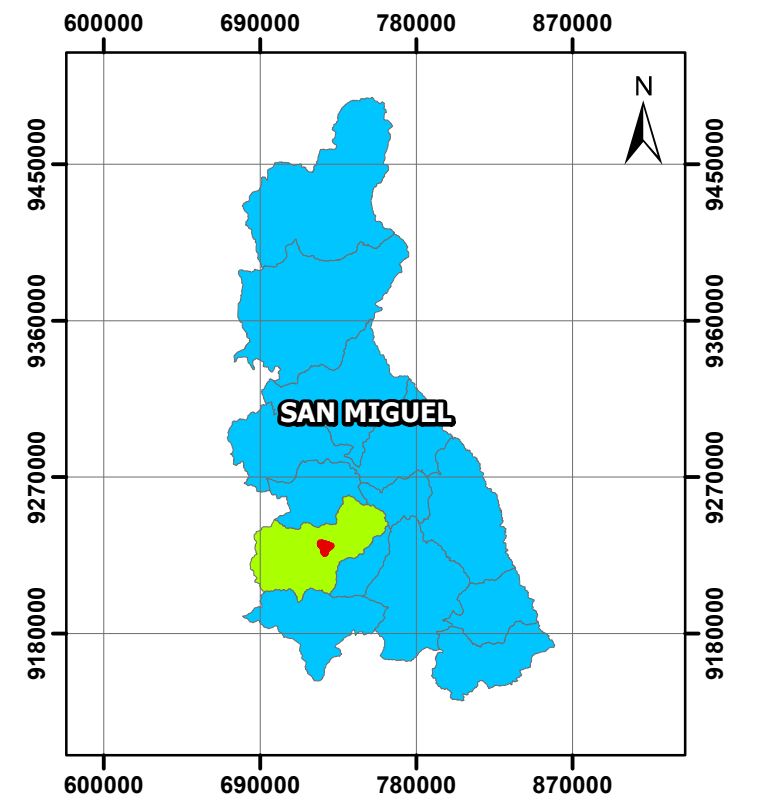
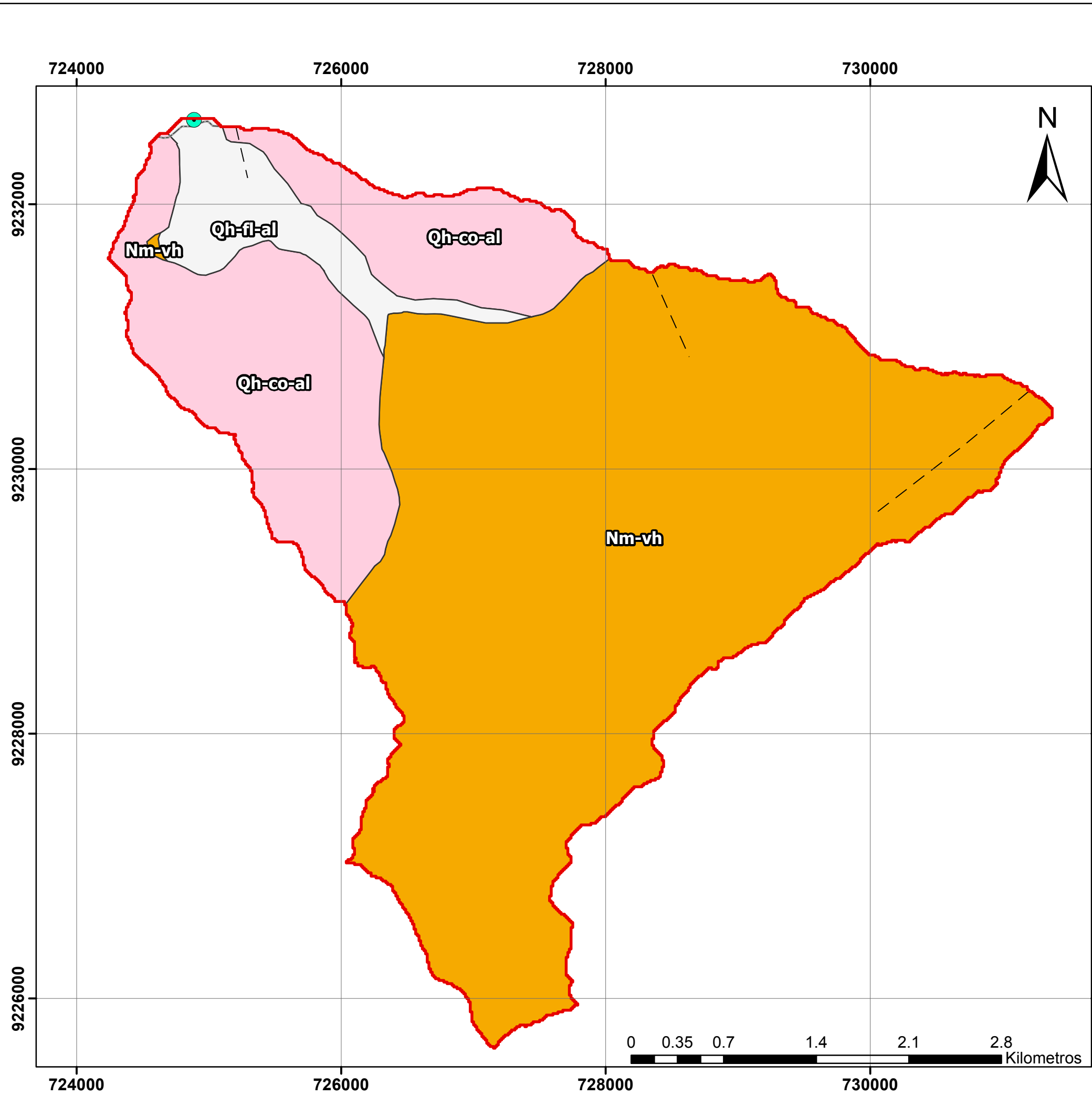


SIMBOLOGÍA




-  Divortium Aquarium
-  Aforo
-  Carretera afirmada
-  Curvas de nivel 25 m.






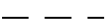
| | | |
|---|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
|  | TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TALLIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | |
| | PLANO: | |
| PLANO DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES | | 02 |
| TESISISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA ASESOR: Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | | |
| DATUM: UTM-WGS 84 | ESCALA: 1/30 000 | FECHA: 07/08/2021 |



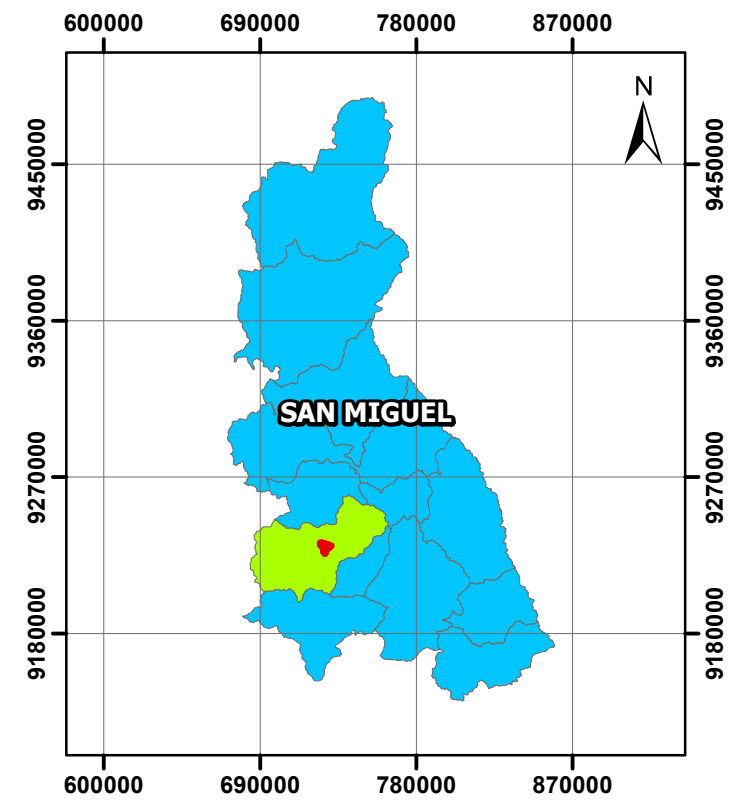
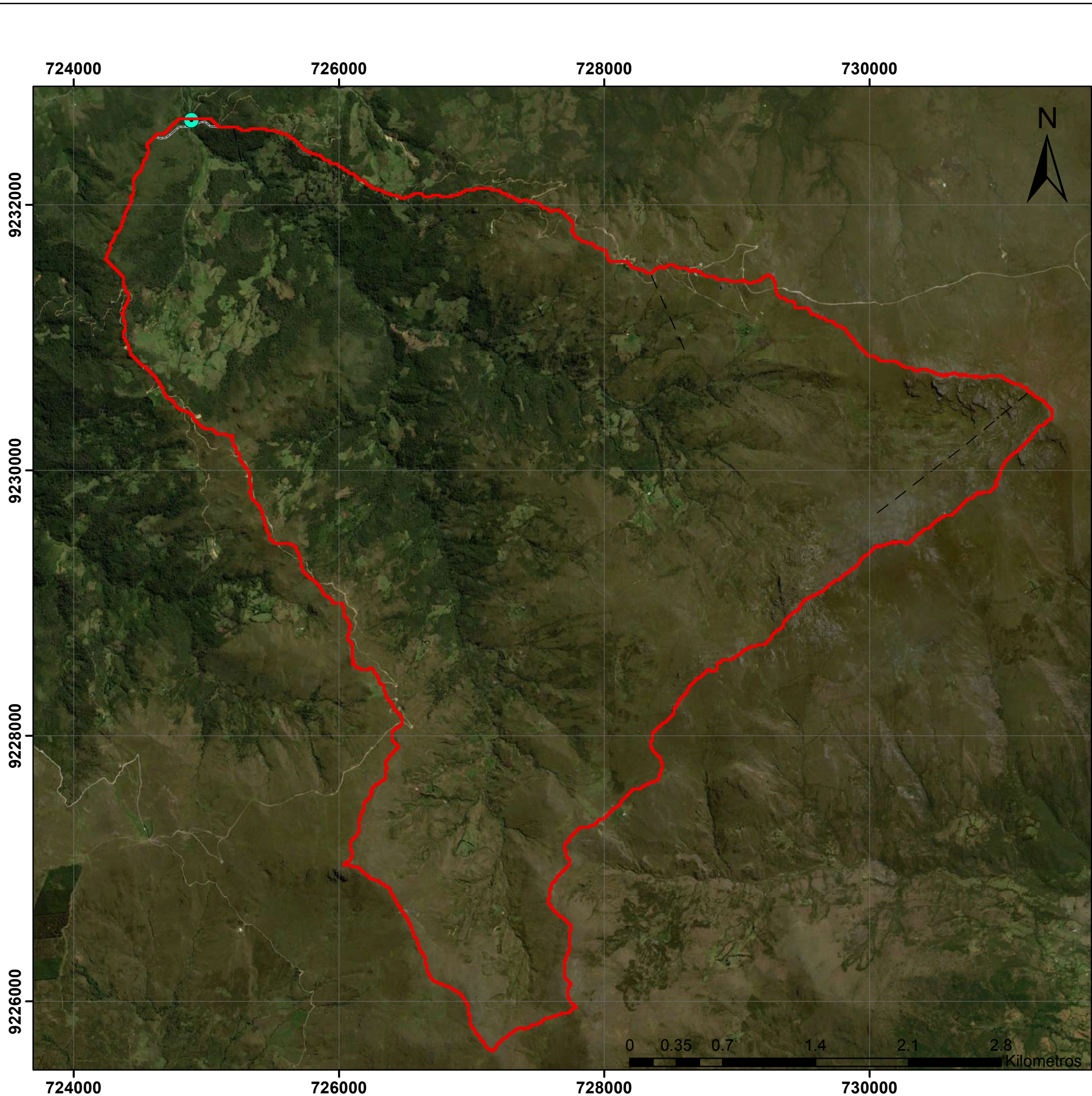
LEYENDA

-  Qh-co-al
-  Qh-fl-al
-  Nm-vh




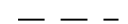
SIMBOLOGÍA

-  Divortium Aquarium
-  Aforo
-  Carretera afirmada
-  Falla normal inferida

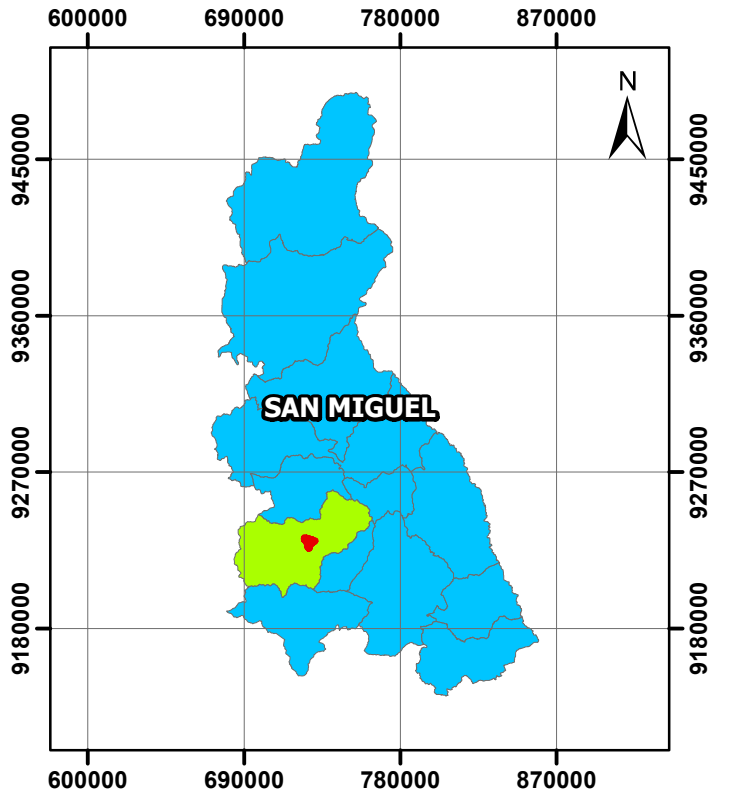
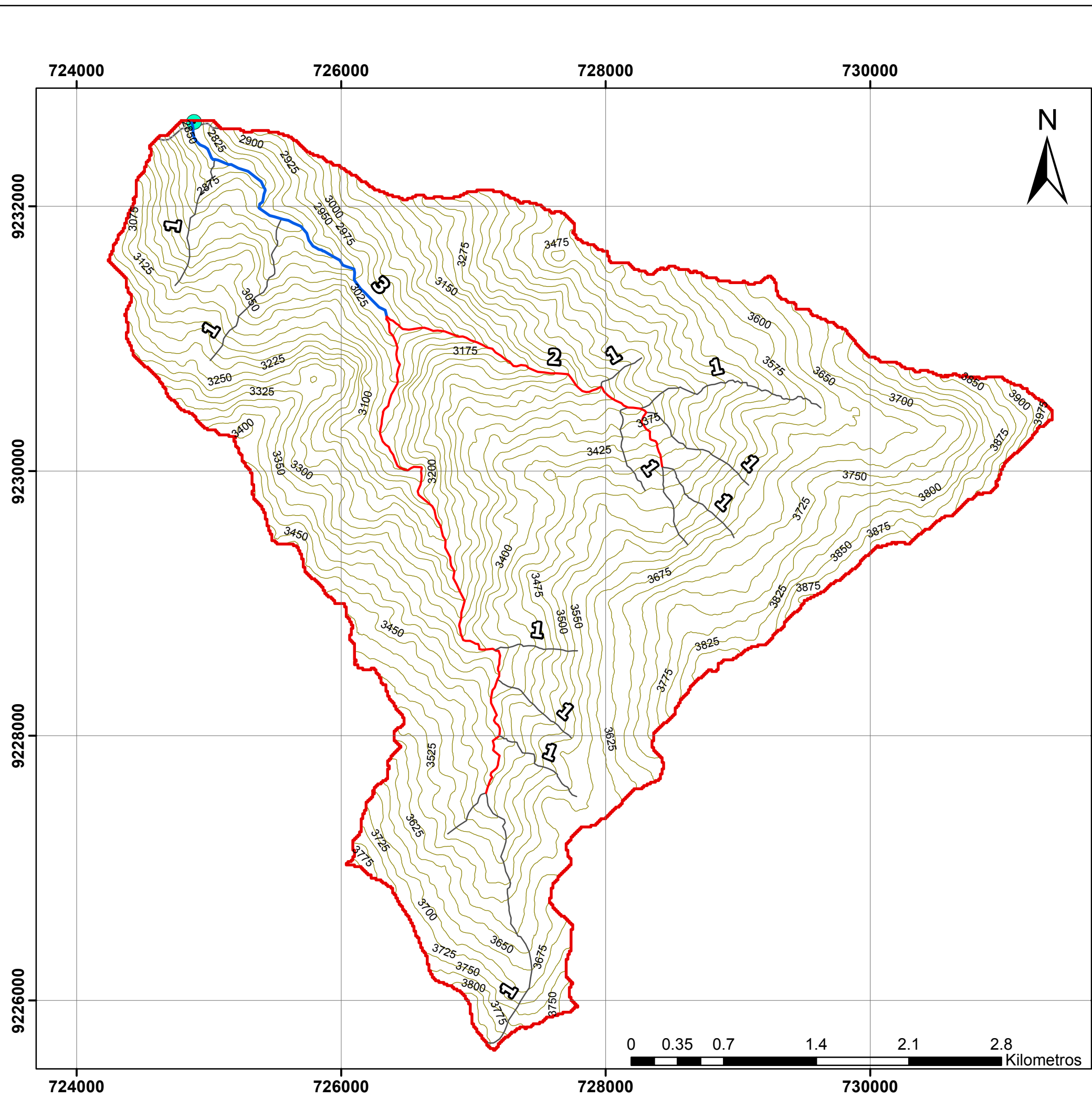
| | | |
|---|------------------|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | | |
| PLANO GEOLÓGICO | | |
| TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | | 03 |
| ASESOR: Dr. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO | | |
| DATUM: UTM-WGS 84 | ESCALA: 1/30 000 | FECHA: 07/08/2021 |



SIMBOLOGÍA

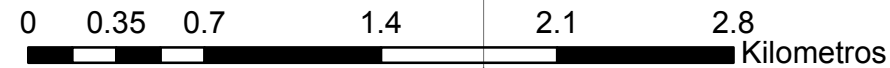
-  Divortium Aquarium
-  Aforo
-  Carretera afirmada
-  Falla normal inferida

| | | |
|---|---|---------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
|  | TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | |
| | PLANO SATELITAL | |
| TESISTA: | Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | |
| ASESOR: | Dr. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO | |
| DATUM: UTM-WGS 84 | ESCALA: 1/30 000 | FECHA: 07/08/2021 |
| | | PLANO: 04 |



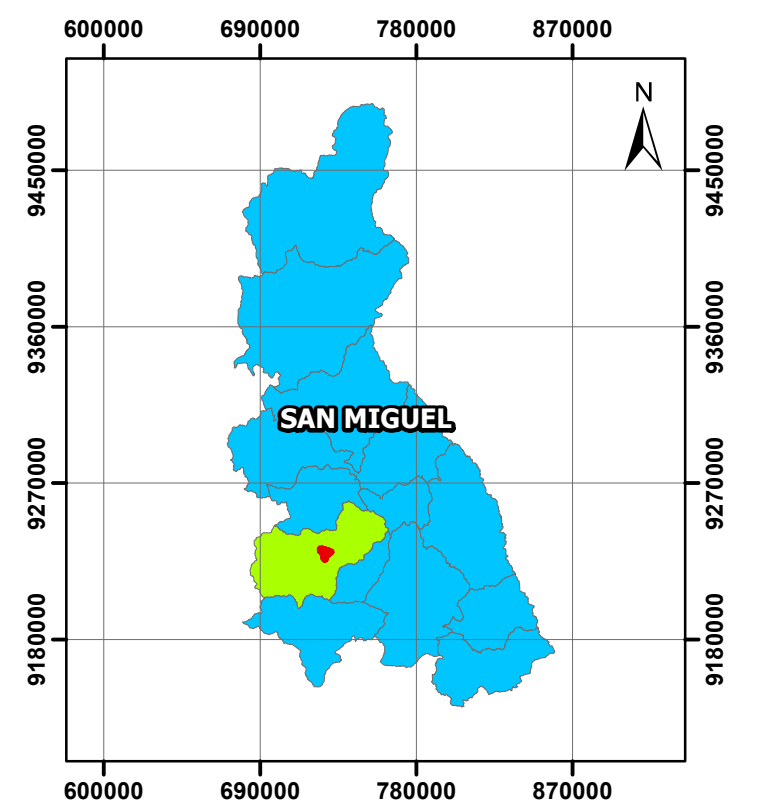
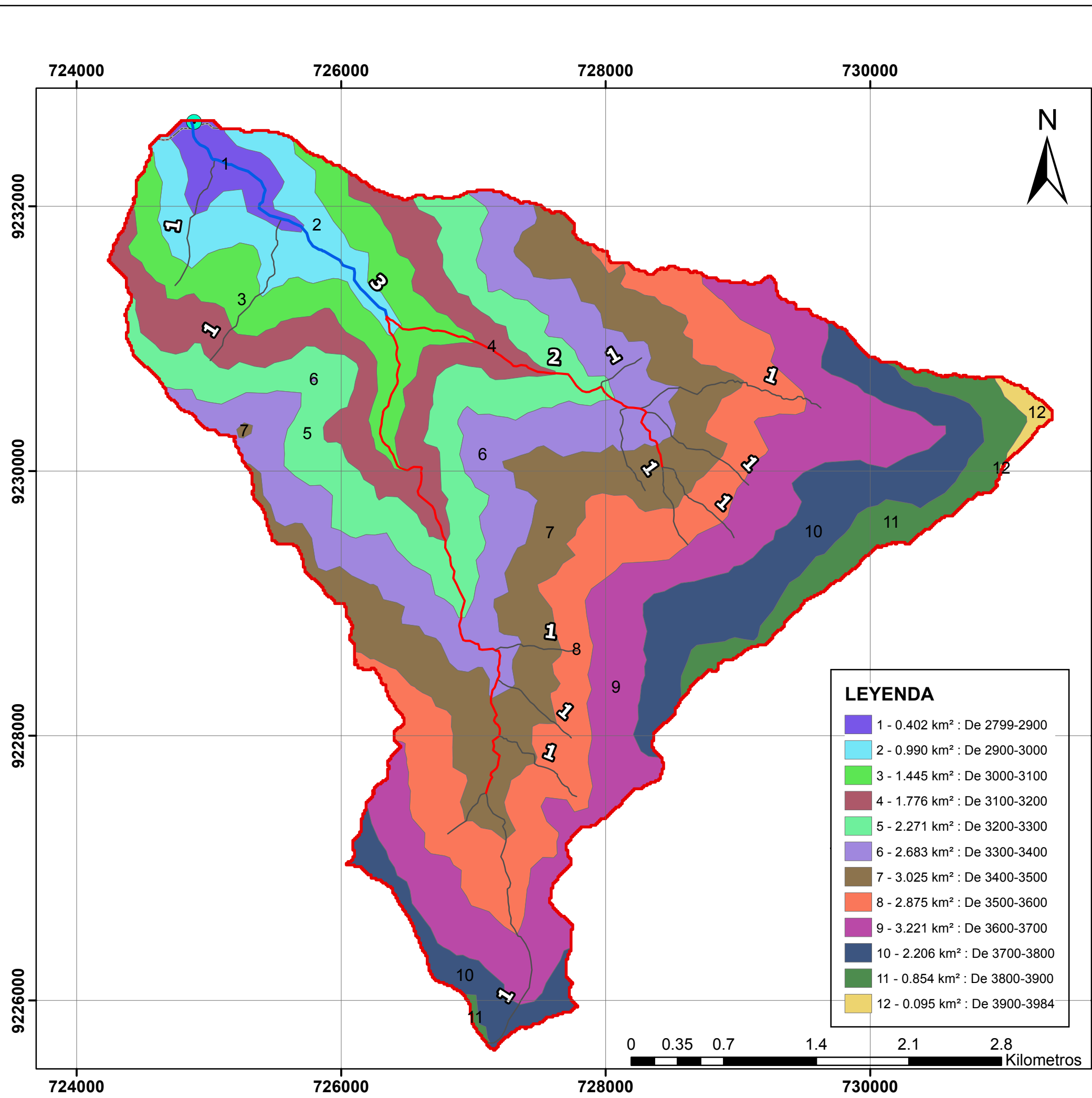
SIMBOLOGÍA

- Orden 1
- Orden 2
- Orden 3
- Divortium Aquarium
- Aforo
- Carretera afirmada
- Curvas de nivel 25 m.



| | | |
|---|------------------|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
| PLANO HIDROLÓGICO | | |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | | |
| TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | | |
| ASESOR: Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | | |
| DATUM: UTM-WGS 84 | ESCALA: 1/30 000 | FECHA: 07/08/2021 |

PLANO:
05



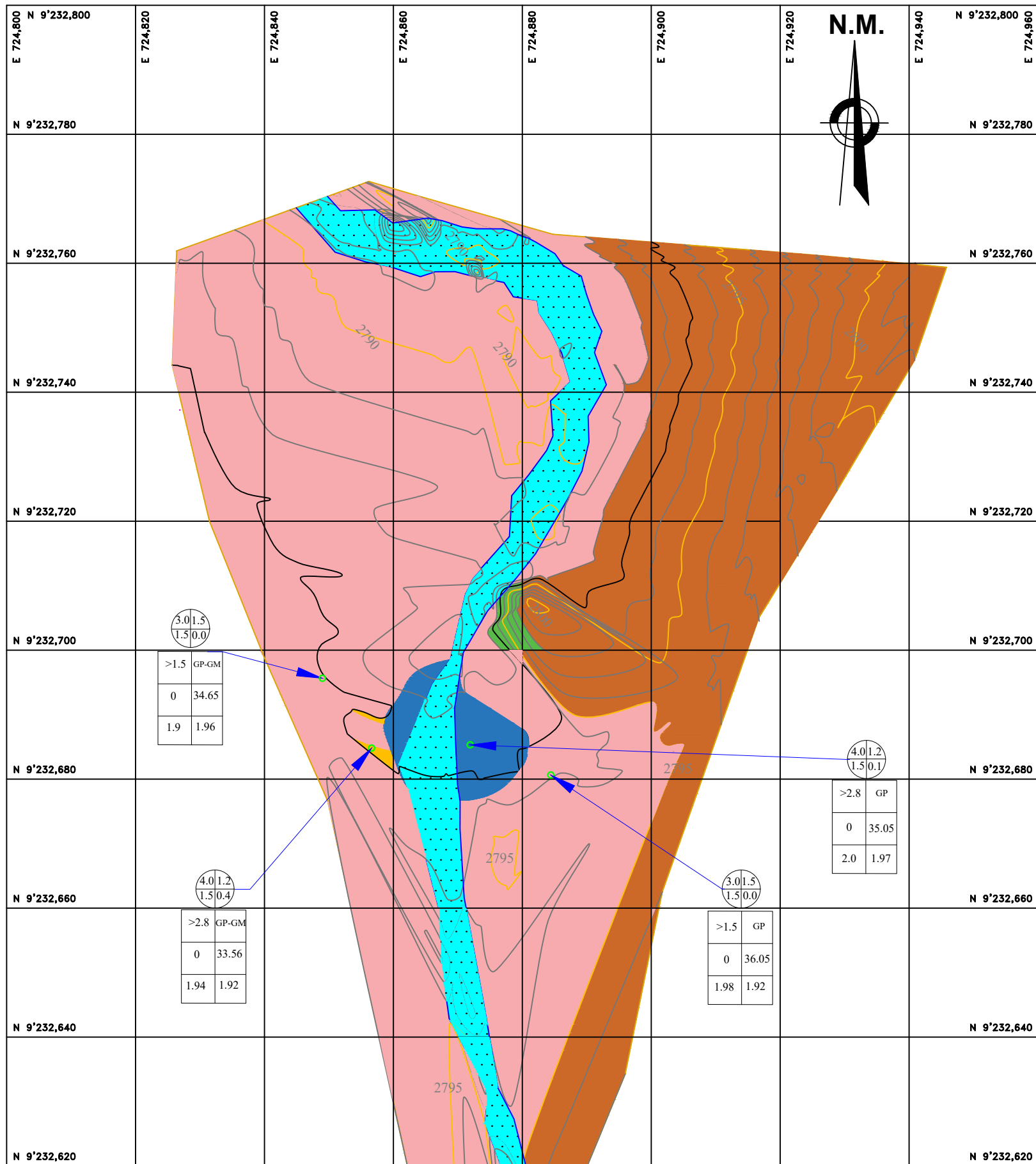
LEYENDA



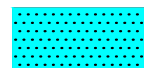



| | |
|----|--------------------------------------|
| 1 | 0.402 km ² : De 2799-2900 |
| 2 | 0.990 km ² : De 2900-3000 |
| 3 | 1.445 km ² : De 3000-3100 |
| 4 | 1.776 km ² : De 3100-3200 |
| 5 | 2.271 km ² : De 3200-3300 |
| 6 | 2.683 km ² : De 3300-3400 |
| 7 | 3.025 km ² : De 3400-3500 |
| 8 | 2.875 km ² : De 3500-3600 |
| 9 | 3.221 km ² : De 3600-3700 |
| 10 | 2.206 km ² : De 3700-3800 |
| 11 | 0.854 km ² : De 3800-3900 |
| 12 | 0.095 km ² : De 3900-3984 |

SIMBOLOGÍA



| | |
|--|--------------------|
| | Orden 1 |
| | Orden 2 |
| | Orden 3 |
| | Divortium Aquarium |
| | Aforo |
| | Carretera afirmada |

| | | |
|---|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
| | TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | |
| PLANO DE ÁREAS PARCIALES | | |
| TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | | PLANO: 06 |
| ASESOR: Dr. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | | |
| DATUM: UTM-WGS 84 | ESCALA: 1/30 000 | FECHA: 07/08/2021 |



-  Planicies fluvioaluviales, con pendientes de 3° a 5°, presenta una estratigrafía conformada por: una capa superficial de top soil en la parte superior, que suprayace a un estrato de suelo CL-ML, y este a su vez suprayace a un estrato de suelo GP-ML. Presencia de nivel freático a 1.5 m. de profundidad.
-  Lomadas coluvio-aluviales, con pendientes de 17°, compuesta por cantos, englobados en una matriz limo-arcillosa, presentan baja resistencia, color marrón oscuro.
-  Lecho del río La Majada, que corresponde a un suelo de grava con arena y limo, que va más allá de 2.5 m. de profundidad
-  Laderas coluvio-aluviales, con pendientes de 25°, compuesta por cantos, englobados en una matriz limo-arcillosa, presentan baja resistencia, color amarillento.
-  Depósitos antrópicos de baja resistencia, conformado por escombros, desechos orgánicos y no orgánicos.
-  Zonas de inundación permanente, en épocas de lluvia, a causa de desborde el río La Majada.

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Profundidad de la calicata | Profundidad del nivel freático (m.) | Profundidad del suelo duro | Esesor (m.) | Clasificación SUCS |
| | | Espesor de rellenos antrópicos (m.) | Cohesión (Mpa) | Ángulo de fricción (°) |
| | | | Peso específico saturado (kg/m3) | Peso específico (kg/m3) |

-  Curvas de nivel principales
-  Curvas de nivel secundarias

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

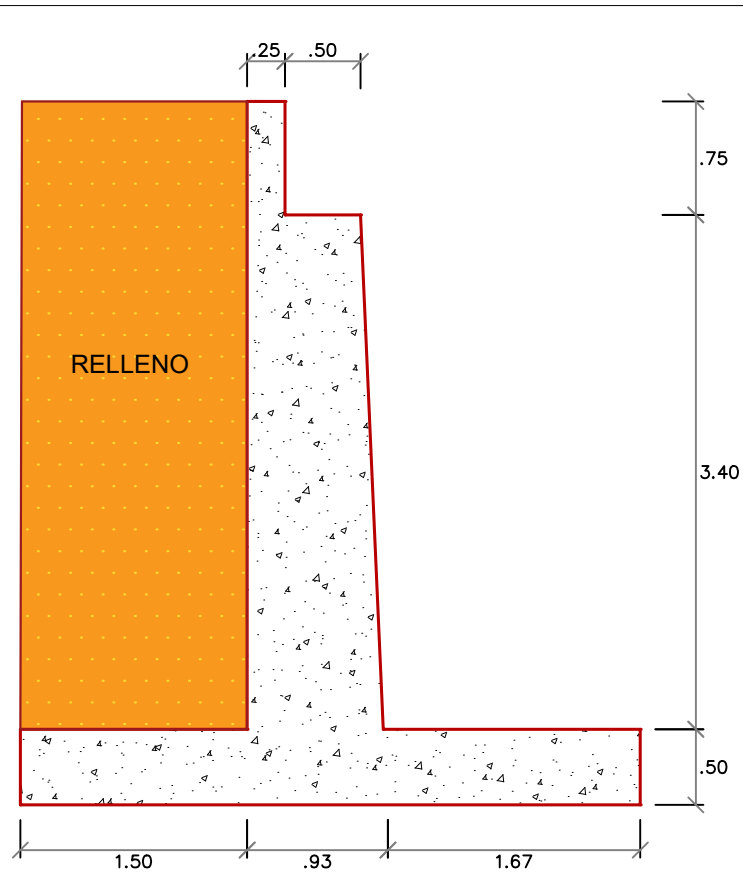
TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS Muros DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA.

PLANO GEOTÉCNICO

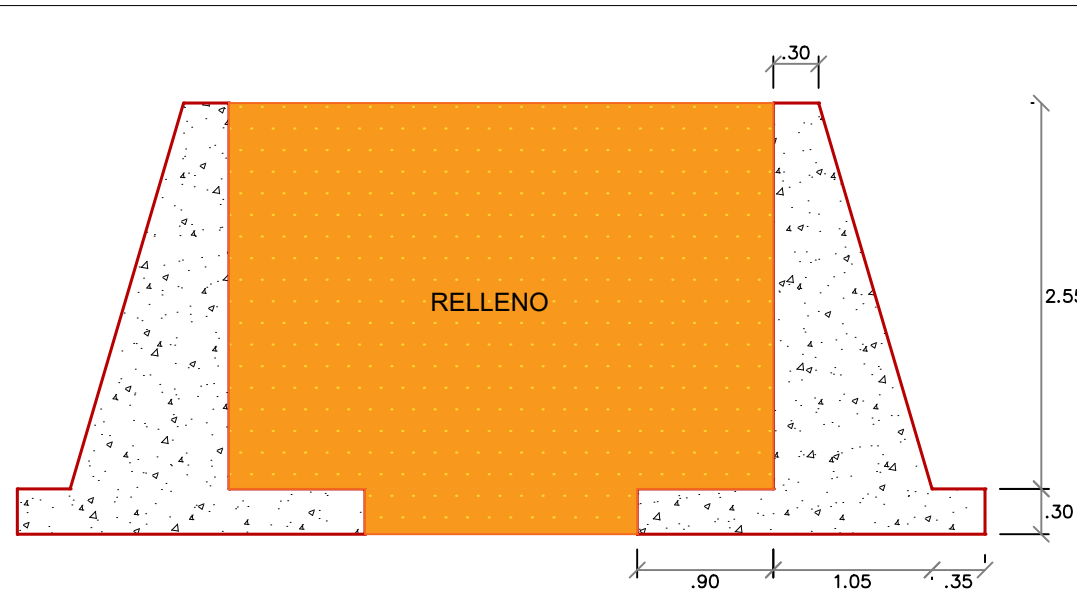
TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA
 ASESOR: Dr. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO

DATUM: UTM-WGS84 ESCALA: 1/750 FECHA: 08/07/2021

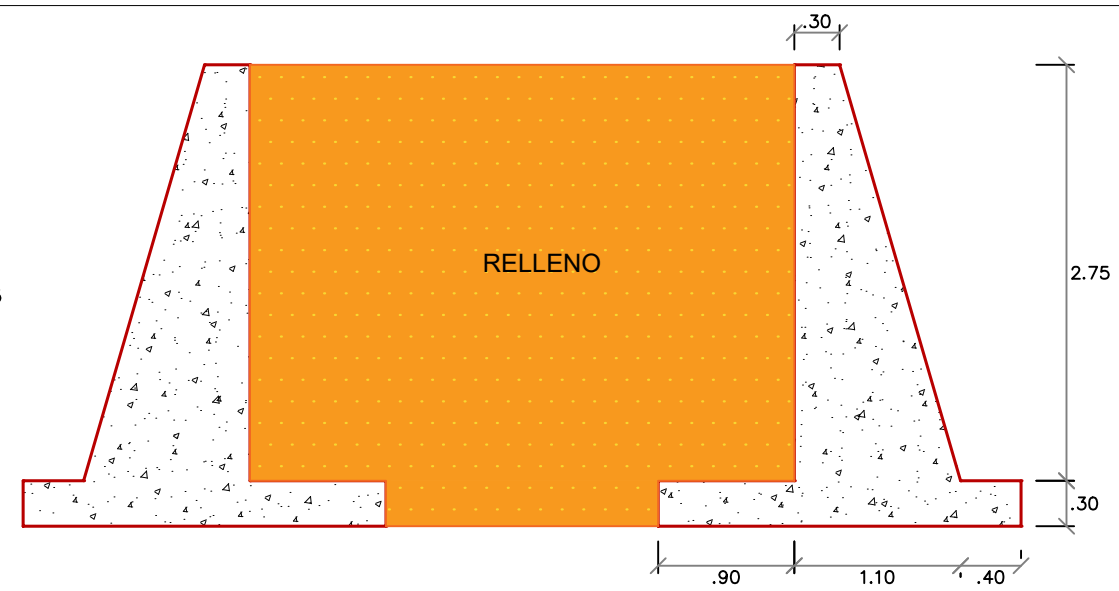
PLANO: 07



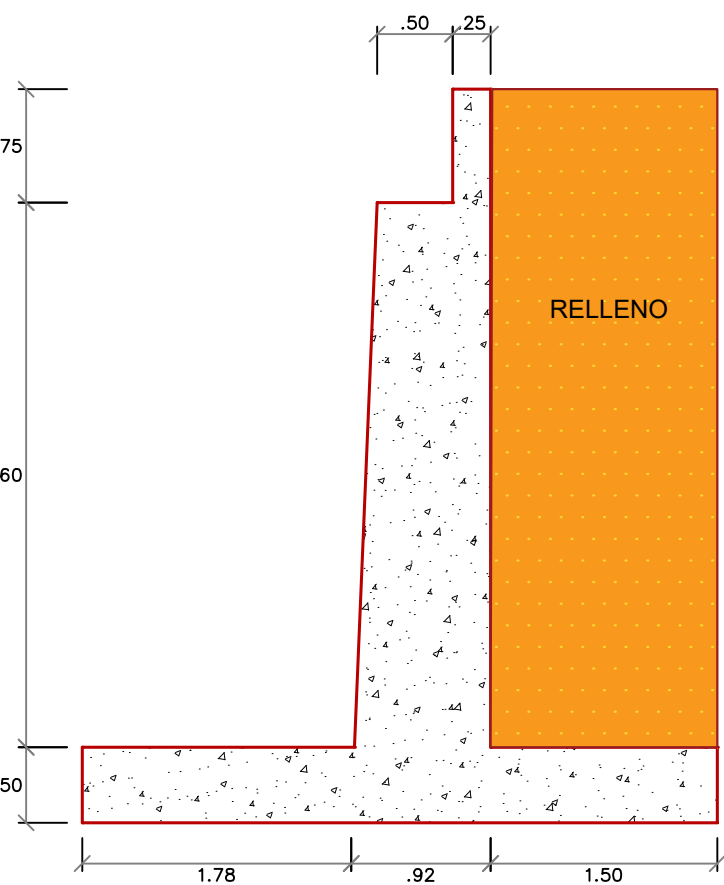
ESTRIBO IZQUIERDO



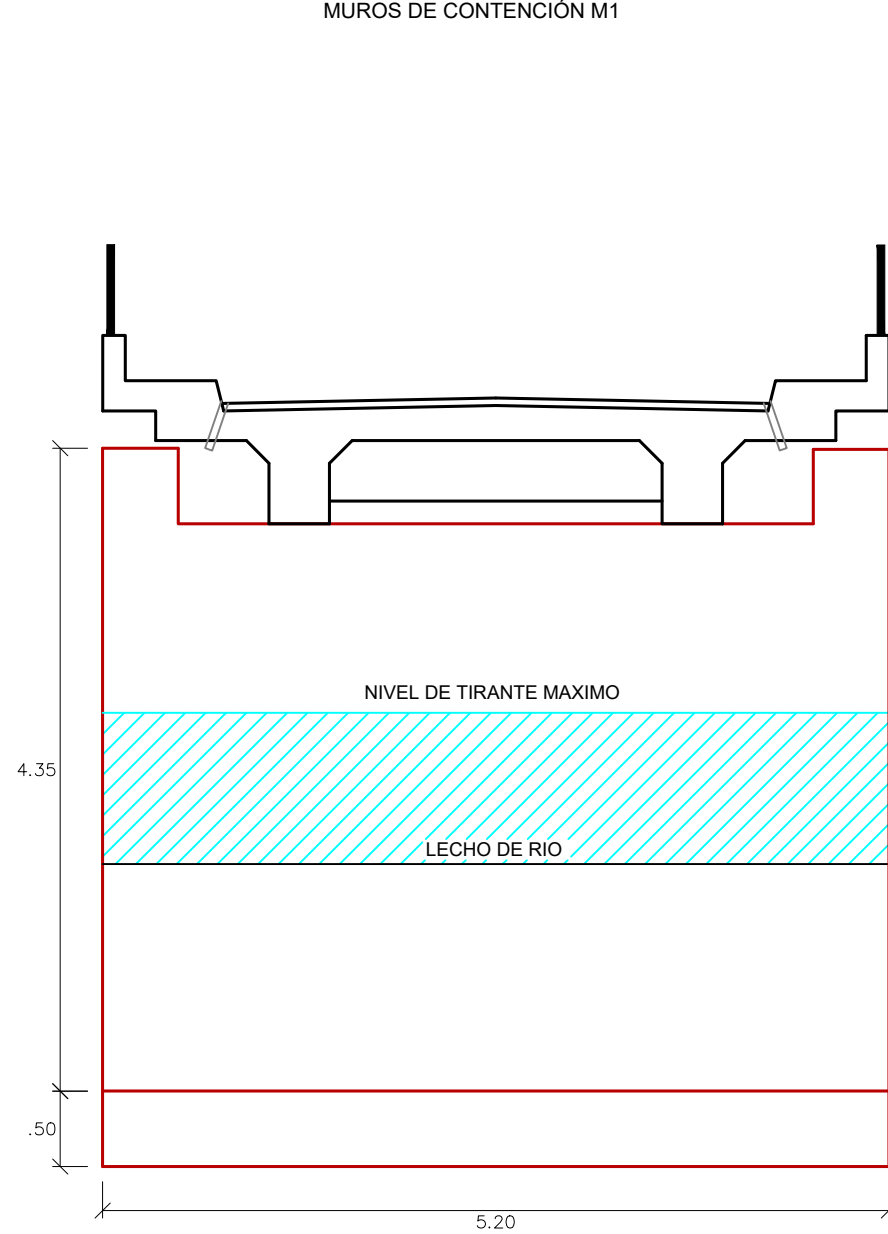
MUROS DE CONTENCIÓN M1



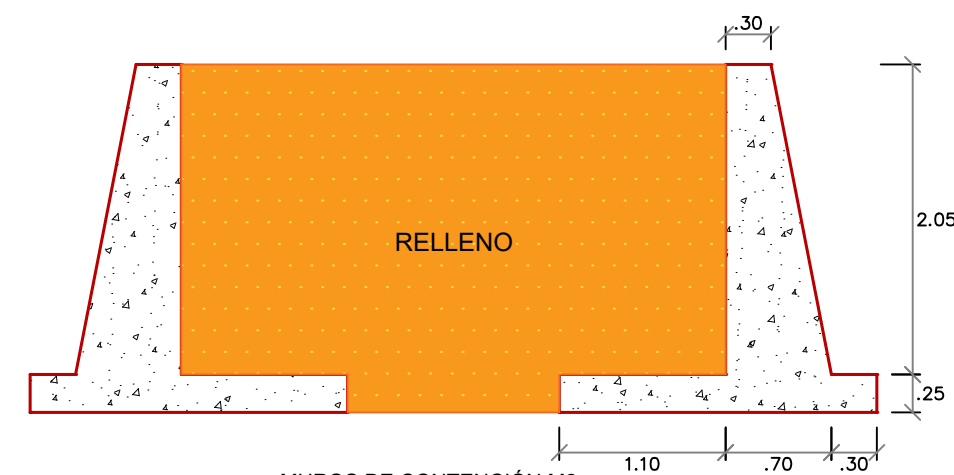
MUROS DE CONTENCIÓN M3



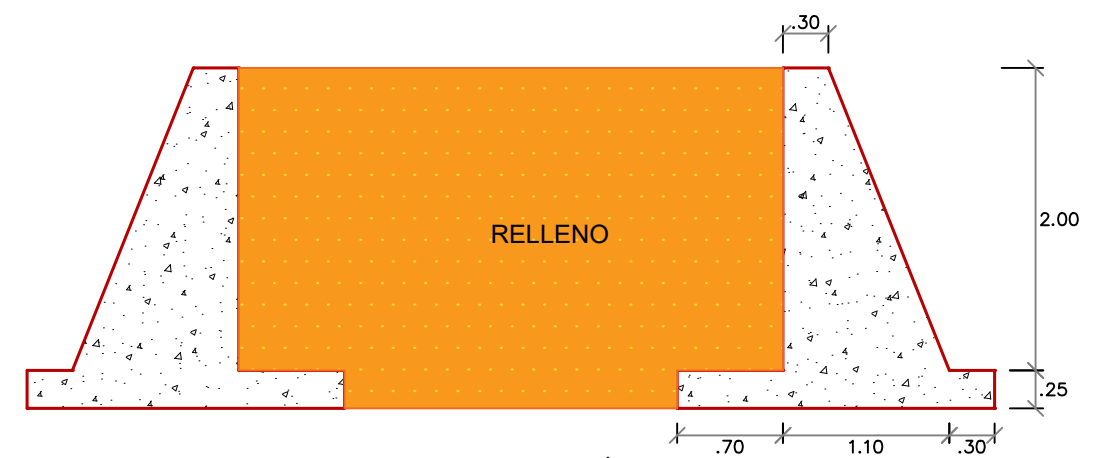
ESTRIBO DERECHO




VISTA FRONTAL ESTRIBO



MUROS DE CONTENCIÓN M2



MUROS DE CONTENCIÓN M4

| | | |
|---|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA | | |
|  | TESIS: COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE CARROZABLE TAULIS - EL INGENIO, LOS TERRAPLENES Y LOS MUROS DE CONTENCIÓN, DISTRITO CALQUIS, PROVINCIA DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO CAJAMARCA. | |
| | PLANO DE ESTRUCTURAS | |
| | TESISTA: Bach. WALTER HERNÁNDEZ GAMARRA | |
| | ASESOR: Dr. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO | |
| DATUM: UTM-WGS84 | ESCALA: 1/50 | FECHA: 07/08/2021 |
| | | 08 |