



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
DE MINAS**

Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en  
la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**AUTORES:**

Farro Oblitas, Segundo Erick Jair (ORCID: 0000-0001-5078-2213)

Gonzales Domínguez, Josué Luis Josías (ORCID: 0000-0003-4857-9456)

**ASESOR:**

Mg. Salazar Ipanaqué, Javier Ángel. (ORCID: 0000-0002-7909-6433)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Análisis de Estabilidad de Taludes.

**CHICLAYO – PERÚ.**

2020

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Yolanda, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre Segundo, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mis hermanas Lady y Teresa, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestas a escucharme y brindarme su ayuda en cualquier momento. A mis grandes amigos con los que nos brindamos apoyo mutuo a lo largo de nuestra formación profesional.

**Segundo Erick Jair.**

Este trabajo se lo dedico primero a Dios, porque sin ayuda no habría llegado hasta este momento, ya que Él conoce todo los sentimientos que han envuelto su realización desde el inicio hasta el final. A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional y palabras de aliento, son ellos quienes impulsan día a día mis ganas de salir adelante teniendo en cuenta siempre que lo más importante es la familia. A mi pequeño sobrino quien en su inocencia me hizo recordar el verdadero significado de la vida que todos olvidamos de niños, mi esfuerzo será para apoyarte como me apoyaron a mí. A mis mejores amigos que me acompañaron durante toda esta vida universitaria, no fue fácil llegar a este punto, a pesar de todo seguimos siendo los mismos y estando unidos demostrando que un profesional no se define por sus notas o por el lugar en el que se siente en un salón de clases sino por la calidad de persona que es con los demás.

**Josué Luis Josías.**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mi madre Yolanda, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos. A mis hermanas Lady y Teresa, por su gran apoyo y demostrarme la confianza que tienen en mí. A mis amigos Alexander, Josias, Roberto y Pedro por haber logrado nuestro gran objetivo con mucha perseverancia. A la Mg. Silvia Aguinaga Vásquez por el apoyo brindado en la realización de esta tesis con sus consejos e ideas, además de docente la considero una gran guía y ejemplo del conocimiento, le agradezco por su constante e invaluable orientación y asesoramiento para nuestro desarrollo de esta investigación ya que nos acompañó desde el inicio cuando se propuso esta idea. Y gracias a todos los que nos brindaron su ayuda en este proyecto.

**Segundo Erick Jair.**

Le doy gracias a Dios, por guiar siempre mis planes, por permitirme tener fe en su voluntad, por demostrarme que no hay nada imposible, por llenarme de confianza para no dejarme derrotar ante las dificultades. Agradezco a mis padres por creer en mí a pesar de mis errores, por el esfuerzo que realizaron para que no nos faltara lo necesario a mis hermanas y a mí, por brindarnos educación, por sus valores, enseñanzas y consejos para poder ser personas de bien, para no depender de nadie y no anhelar lo material sino para apoyarnos cuando uno más lo necesite impulsándonos mutuamente. Agradezco a mis hermanas quienes estuvieron en cada etapa de mi existencia, escuchándome siempre sin juzgarme, apoyándome emocionalmente a pesar de mi inmadurez, por ser mis primeras maestras y explicarme mediante sus experiencias lo que trata la vida. Agradezco todos los amigos que conocí a lo largo de estos años, en especial a aquellos con los que llegue al final de esta carrera, a quienes ya lo lograron y a quienes les falta, por su amistad y los recuerdos que forjamos juntos. Agradezco a la Mg. Silvia Aguinaga Vásquez y aquellos docentes de quienes aprendí más como persona que como profesional, ellos que no se olvidan que también fueron estudiantes, representan lo mejor de la Universidad César Vallejo, gracias por su apoyo, orientación y paciencia constante.

**Josué Luis Josías.**

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de gráficos .....	viii
Índice de figuras .....	ix
Índice de fórmulas .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>37</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	37
3.2. Variables y operacionalización .....	37
3.2.1. Definición conceptual.....	37
3.3. Población, muestra y muestreo .....	38
3.3.1. Población .....	38
3.3.2. Muestra y muestreo .....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.4.1. Técnica de gabinete.....	38
3.4.2. Técnica de campo.....	39
3.5. Procedimientos.....	40
3.5.1. Flujograma.....	40
3.5.2. Detalles.....	40
3.6. Método de análisis de datos .....	43
3.7. Aspectos éticos .....	44
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros físicos y mecánicos del agregado en la cantera Las Tres Tomas. ....	54
<b>Tabla 2.</b> Análisis estadístico de las estaciones pluviométricas. ....	57
<b>Tabla 3.</b> <i>Estimación de los datos meteorológicos faltantes</i> .....	58
<b>Tabla 4.</b> Diferentes tipos de revestimientos en drenajes superficiales.....	65
<b>Tabla 5.</b> Coeficiente de escorrentía del Método Racional.....	107
<b>Tabla 6.</b> <i>Coeficiente de rugosidad empleado por Manning</i> . ....	108
<b>Tabla 7.</b> <i>Resumen de porosidades</i> . ....	109
<b>Tabla 8.</b> Estimación en terreno de la resistencia en compresión uniaxial. ....	110
<b>Tabla 9.</b> Métodos de análisis de estabilidad de taludes. ....	111
<b>Tabla 10.</b> <i>Precipitaciones máximas en cada periodo de retorno</i> .....	112
<b>Tabla 11.</b> <i>Precipitaciones en diferentes intervalos de duración según el periodo de retorno</i> .....	113
<b>Tabla 12.</b> <i>Intensidad de precipitaciones en diferentes intervalos de duración según el periodo de retorno</i> .....	114

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Análisis de consistencia visual-gráfico de las estaciones pluviométricas. ....	56
<b>Gráfico 2.</b> Curva IDF de las precipitaciones máximas con su respectivo periodo de retorno y su duración en base al registro de la Estación Ferreñafe. ....	115

## Índice de figuras

Figura 1. Serie con componente transitoria en la forma de salto. ....	14
Figura 2. Estaciones índice A, B y C para correlacionar datos en Estación X.....	16
Figura 3. Distribución típica de saturación y niveles freáticos en un talud.....	22
Figura 4. Presión de poros sobre una superficie de falla potencial. ....	23
Figura 5. Construcción de cunetas en bermas y en la corona de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto. ....	23
Figura 6. Contracuneta en base de talud, Las Colinas, La Libertad.....	24
Figura 7. Caja generando cambio de dirección de flujo de agua en talud.....	24
Figura 8. Detalle transversal de un drenaje longitudinal de zanja. ....	25
Figura 9. Ejemplo de un sistema de drenes transversales.....	26
Figura 10. Detalle de ubicación de drenes en espina de pez en un talud. ....	26
Figura 11. Esquemas de colocación de sistemas de drenes horizontales. (a) adecuado. (b) inadecuado.....	27
Figura 12. Esquema de captación de las galerías de drenaje en un talud. ....	27
Figura 13. Disminución del nivel freático en un talud haciendo uso de pozo drenante.....	28
Figura 14. Envolvente de falla, criterio de Mohr-Coulomb.....	35
Figura 15. Perfil de elevación del levantamiento topográfico. ....	46
Figura 16. Modelamiento 3D del sector junto al levantamiento topográfico. ....	47
Figura 17. Cauces de agua dirigidos hacia el área vulnerable del sector.....	48
Figura 18. Atributos del polígono que representa a la unidad litoestratigráfica en que se encuentra el levantamiento topográfico. ....	49
Figura 19. Detalles geológicos del área vulnerable.....	50
Figura 20. Resistencia de la roca intacta usando la picota de geólogo.....	51
Figura 21. Empleo del método del metro lineal y espaciamiento de las discontinuidades.....	52
Figura 22. Longitud y abertura de las discontinuidades. ....	53
Figura 23. Ubicación y distancia de las estaciones pluviométricas elegidas.....	55
Figura 24. Perfil de elevación usado para realizar la simulación en Slide 6.0. ....	61
Figura 25. Distancia de los estratos expuesta en la cara libre del talud de corte. ....	62
Figura 26. Factor de seguridad calculado con el método de Bishop. ....	63
Figura 27. Factor de seguridad calculado con el método de Janbu. ....	63

Figura 28. Comparación de imágenes satelitales del área vulnerable capturadas en el año 2016 -2017 .....	64
Figura 29. Diseño de la zanja de coronación. (a) Vista de Planta. (b) Vista Perfil. (c) Perfil, gradiente y longitud.....	67
Figura 30. Toma de puntos con GPS para el levantamiento topográfico. ....	100
Figura 31. Elaboración de calicatas para determinar el nivel freático. ....	100
Figura 32. Recopilación de datos hidrometeorológicos en SENAMHI.....	100
Figura 33. Mapa de cuencas hidrológicas de la Región Lambayeque. ....	101
Figura 34. Mapa de unidades hidrológicas (Microcuencas), Ferreñafe, Manuel Antonio Mesones Muro.....	102
<i>Figura 35. Geología regional del departamento de Lambayeque.....</i>	<i>103</i>
Figura 36. Geología Local del distrito de Manuel Antonio Mesones Muro, Ferreñafe.....	104
Figura 37. Principal columna estratigráfica de la Región Lambayeque-La Libertad-Cajamarca. ....	105
Figura 38. Plano del sector Caolín evidenciando redes de flujo que discurren en dirección nor-este.....	106



## Índice de fórmulas

Fórmula 1. Distribución T de Student ( $t_c$ ).....	14
Fórmula 2. Componente Sd. ....	14
Fórmula 3. Desviación estándar ponderada.....	15
Fórmula 4. Condiciones del T tabular con el T calculado.....	15
Fórmula 5. Condición uno de distribución F de Fisher. ....	15
Fórmula 6. Condición dos de distribución F de Fisher. ....	15
Fórmula 7. Comparación del F tabular con el F calculado. ....	16
Fórmula 8. Método de los promedios. ....	17
Fórmula 9. Método de Gumbel.....	17
Fórmula 10. Variable relacionada al periodo de retorno.....	18
Fórmula 11. Componente $\mu$ .....	18
Fórmula 12. Componente d.....	18
Fórmula 13. Precipitación de diseño. ....	18
Fórmula 14. Intensidad máxima. ....	19
Fórmula 15. Tiempo de concentración. ....	19
Fórmula 16. Método Racional. ....	20
Fórmula 17. Velocidad del caudal. ....	20
Fórmula 18. Radio hidráulico.....	20
Fórmula 19. Coeficiente de escorrentía.....	21
Fórmula 20. Porosidad. ....	31
Fórmula 21. Cohesión. ....	32
Fórmula 22. Ángulo de fricción.....	32
Fórmula 23. RMR. ....	33
Fórmula 24. Método del metro lineal. ....	33
Fórmula 25. Factor $\lambda$ . ....	33
Fórmula 26. Plano de rotura de Mohr-Coulomb. ....	34
Fórmula 27. Factor de seguridad. ....	36
Fórmula 28. Fórmula química de caolinita.....	50

## Resumen

El presente informe de investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe. La investigación surgió a partir de observar un problema vinculado a la inestabilidad de taludes ante un deficiente nivel de control de aguas superficiales a causa de las lluvias, para dicha investigación se buscó trabajar como muestra al sector de Caolín dentro de la cantera Las Tres Tomas, utilizando un tipo de investigación cuantitativa con un diseño explicativo. Asimismo, para recoger información se utilizaron métodos analíticos, sistémicos y estadísticos junto a técnicas de investigación documental y observación sistemática usando instrumentos como la guía de levantamiento topográfico, guía de precipitaciones máximas y la guía de campo, procesando esta información mediante softwares como Google Earth, Global Mapper, AutoCAD Civil 3D, Slide, Microsoft Excel y ArcMap. Toda esta metodología dio a este informe el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Finalmente se obtuvo como resultados que el diseño de zanjas de coronación sobre el talud soportarán la fuerza hidráulica del caudal proporcionado por precipitaciones máximas en base al periodo de retorno del fenómeno del niño los cuales serán desviados del área vulnerable delimitada geomorfológica e hidrográficamente y así no afectar los parámetros geomecánicos del material que se extrae bajo condiciones inestables. Todo esto se presentan por medio de imágenes, gráficos y tablas, cada uno con su respectivo análisis que contribuye a comprobar la hipótesis señalada en que el diseño de un sistema de drenaje controlará la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe llegando a concluir que las dimensiones y revestimiento de zanjas de coronación controlan el impacto de los caudales sobre la superficie del sector el cual es inestable ante factores naturales y operacionales.

**Palabras claves:** Sistema de drenaje, diseño, caudal, estabilidad de taludes, factor de seguridad.

## Abstract

This research aimed to design a drainage system to control the stability of the Caolin sector in “La Cantera las Tres Tomas, Ferreñafe”. The investigation arose from observing a problem linked to the instability of slopes before the poor level of control of surface water because of the rains, for this investigation it was sought to work as a sample the Caolin sector within the Las Tres Tomas quarry, using a type of quantitative research with an explanatory design. Likewise, to gather information, analytical, systemic and statistical methods were used together with techniques of documentary research and systematic observation using instruments such as the topographic survey guide, maximum rainfall guide and the field guide, processing this information through softwares such as Google Earth, Global Mapper, AutoCAD Civil 3D, Slide, Microsoft Excel and ArcMap. All this methodology gave this report the support, sustenance and respective seriousness. Finally, it was obtained as results that the design of crowning trenches on the slope will withstand the hydraulic force of the flow rate provided by maximum rainfall based on the period of return of “Fenomeno del Niño” which will be diverted from the vulnerable area geomorphologically and hydrographically delimited and thus not affect the geomechanical parameters of the material that is extracted under unstable conditions. All this is presented through images, graphs and tables, each with its respective analysis that helps to verify the hypothesis indicated that the design of a drainage system will control the stability of the Caolin sector in “ La Cantera las Tres Tomas, Ferreñafe” concluding that the dimensions and coating of coronation ditches control the impact of the flows on the surface of the sector which is unstable in the face of natural and operational factors.

**KEY WORDS:** Drainage system, design, flow, slope stability, safety factor.

La que suscribe, **Dra. María Magdalena Usquiano Piscocoya**, hace constar que el resumen está correctamente traducido.



CAMPUS CHICLAYO  
Carretera Pimentel Km. 3.5  
Tel.: (074) 481 616 Anx.: 6514

fb/ucv.peru  
1 @ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

Al indagar respecto a la **Realidad Problemática**, nos dimos cuenta que al insinuarse sobre los deslizamientos de masas, el estudio de estabilidad de taludes adquiere importancia en nuestra sociedad, debido a que se vuelve clave en el diseño y construcción de diferentes actividades en ingeniería, tales como la minería a cielo abierto. La mayoría de proyectos asociados a este sector mencionado, involucra cortes o excavaciones, formando estas estructuras de tierra o roca, a lo que se denomina talud, en donde se trabaja con los materiales en su estado natural, los cuales pueden presentar variaciones sometidos a ciertas condiciones, por lo que es fundamental el grado de control, siendo apenas uno de los aspectos que trata esta rama de la geotecnia.

De acuerdo a Zuluaga (2016) mencionó que el análisis de estabilidad de taludes es uno de los grandes campos de aplicación de la ingeniería geotécnica. Estos análisis se realizan con el objeto de determinar las condiciones de estabilidad de un talud o una ladera, investigar los mecanismos potenciales de falla, determinar la influencia de diferentes mecanismos de activación (precipitaciones, sismos, entre otros), revisar la efectividad de obras de remediación o estabilización, y diseñar taludes artificiales en función de la seguridad y la economía. (p.13)

Sin embargo, suele ser común el no prever el comportamiento del ambiente en el análisis de estabilidad taludes, ya que los factores naturales pueden ser impredecibles para el ser humano. A veces, suele tomarse en cuenta solo factores que influyen en el proceso de extracción, debido a que estas estructuras son usadas de varias formas, sea como vías de acceso, bancos de producción, etc. Por lo que el principal problema observado es la inestabilidad de estos cuerpos ante el deficiente nivel de control de las siguientes causas, que son el agua y el clima.

Cuando se habla sobre el agua, Giraldo y Tejeda (2016) infieren que este factor puede presentarse de dos formas, como superficial o subterránea, en ambos casos provoca la saturación de los poros del suelo, aumentando el peso de la masa y ocasionando la erosión de los taludes. En periodos de alta pluviosidad el agua de escorrentía se infiltra por las grietas reduciendo la resistencia al deslizamiento debido al aumento de la presión en la estructura del talud. Una

evidencia clara, según Guardado y Dos Santos (2011) ocurrió en la mina Catoca, ubicada en Angola, donde se produjeron deslizamientos de flujos en los taludes de este yacimiento kimberlítico, los cuales son generados por periodos de lluvia y efecto del empuje de aguas subterráneas, ocasionando avalanchas de suelo arcilloso y rocas de mediana proporción presentes en esta mina.

Otra evidencia según la Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2017) sucedió en el Tajo minero Angosturas, donde al Botadero Móngora, ubicado en Santander, Colombia se le realizó un análisis geotécnico de los taludes finales, por la empresa GeoBlast, donde determinaron un riesgo de rotura en las escombreras a causa de que la estabilidad de la pendiente del depósito de estériles es susceptible por la presencia de aguas subterráneas, además no se tomó en cuenta en el diseño aspectos como que en la zona llueve y tiembla.

Por otro lado, en Perú, según Calderón (2016) aconteció que en el Tajo Quinua Oeste, correspondiente a la mina Yanacocha, en Cajamarca, se identificaron los factores en la inestabilidad del talud perteneciente a este sector, entre los que destaca la influencia del agua superficial y subterránea, por lo que se orientó a controlar este problema mediante un monitoreo usando la tecnología.

Por su parte Bazán (2016) detalla al siguiente indicador de este problema, el clima, debido a que la influencia de esta causa puede ser el principal factor que ocasiona este problema, ya que involucra distintas condiciones atmosféricas, entre ellas la lluvia, la cual es un desencadenante de inestabilidades contribuyendo a la acción de la meteorización, esta deteriora las rocas y en periodos de mayor precipitación acelera las masas deslizantes en los suelos. Un caso concreto es lo señalado por Espinoza y Maguiña (2015) en la Mina La Zanja, ubicada en Perú, departamento de Cajamarca, donde se detectó un problema de inestabilidad en la principal vía de acarreo entre el PAD San Pedro Sur y tajo Pampa Verde, donde implementaron un plan integral que involucraba analizar el control del agua superficial producto de las precipitaciones, las cuales ocasionaban este problema en la temporada de lluvias del 2014-15, donde se verificaron posibles deslizamientos en el talud.

También, otra evidencia según García (2015) se produjo en Perú, específicamente en el Tajo Quinoa Norte, perteneciente a la Mina Yanacocha del departamento de Cajamarca, sector donde se ubica el depósito de desmonte, donde en diciembre del 2010 se reportaron deslizamientos a causa de las precipitaciones, delimitando dos zonas de alerta roja por movimientos de 3-4 cm por día, ocasionando que se detenga el minado en el banco 3480.

Otros hechos similares a los anteriores, según la Agencia Reuters, Diario Gestión (2019) ocurrieron en las propiedades de Southern Perú Copper Corporation, donde se paralizaron las operaciones debido a deslizamiento de lodo y piedras a causa de las precipitaciones pluviales presentes en el departamento de Moquegua, donde se dañaron las distintas áreas operativas en la Mina Cuajone, como en el depósito de desmonte, donde el organismo fiscalizador ambiental evaluó un posible derrame de relaves a causa de las inundaciones en la zona. Además se originó un alud ocasionado por las lluvias intensas, en la Mina Toquepala del departamento de Tacna, en el sector Quebrada Santallana, donde un trabajador fue sepultado cuando realizaba labores de limpieza de material grueso manejando una retroexcavadora.

Asimismo, se suma una prueba más, producida en las canteras pertenecientes al distrito de Manuel Mesones Muro en Ferreñafe. Según CIEZA RUIZ, José quien es el actual secretario técnico de Defensa Civil en la Municipalidad de esta localidad, describió el hecho durante sus verificaciones de campo en el año 2017, constatando que los predios mineros de dominio privado se ven muy afectados por las lluvias intensas durante los meses de febrero y marzo, ocasionando que se active la quebrada seca del río Loco inundando enormemente los cientos de hectáreas de dichas canteras, por lo que recomendó descolmatar dicho cauce y contar con un drenaje, ya que hasta ese momento se registraron deslizamientos de masa de los taludes naturales cercanos al área.

En base a lo puntualizado es conveniente precisar las siguientes interrogantes: ¿La geomorfología e hidrografía especifican las características vulnerables del sector Caolín? ¿La resistencia del material es parametrizado por medio de sus características físicas y su comportamiento geomecánico? ¿El diseño hidráulico, en cualquier sistema de drenaje, es obtenido por los factores meteorológicos e

hidrológicos que posea el sector? ¿Qué factor de seguridad presenta la estructura ante estas condiciones de equilibrio? Y en relación a todo lo anterior ¿Qué tipo de sistema de drenaje ha de controlar su estabilidad? Son estas incógnitas las que se resolverán a lo largo de nuestra investigación.

La **Formulación al Problema** se planteó en ¿Cómo controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe?

El trabajo se **Justifica** a nivel social, institucional y teórico. Es social, debido a que se desea mejorar la relación entre la población y la actividad minera no metálica, minimizando las consecuencias de la presencia eventual del Fenómeno del Niño en el distrito de Mesones Muro, el cual provoca activaciones en las cuencas vertientes y cauces de los ríos que se encuentran alterados en su geomorfología por la extracción de áridos, afectando de esa forma gran parte de la comunidad. Es institucional, ya que se enfoca en beneficiar a la empresa Planta Chancadora Piedra Azul S.R.L con un plan de contingencia ante este fenómeno, logrando aumentar la productividad y reducir los costos al intentar restablecer las actividades en sus propiedades. Es teórico, porque mediante la aplicación de la teoría se pretende explicar cómo se podrá controlar las secuelas originadas por este evento en los sectores de la cantera Las Tres Tomas mediante la alternativa plasmada en esta investigación, convirtiéndose también en una medida de prevención en desastres hacia los trabajadores durante las jornadas de labor.

La **Importancia** que tiene esta investigación es que se enfoca en diseñar un sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, para ello se especificara las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector, asimismo en esta investigación se identificara los parámetros de resistencia en el material del sector mediante su caracterización física y comportamiento geomecánico, como también se determinaran los factores meteorológicos e hidrológicos en el sector para la obtención del diseño hidráulico de cualquier sistema de drenaje, para luego calcular el factor de seguridad ante las condiciones de equilibrio presentadas por el sector y de esa forma se podrá seleccionar el tipo de sistema de drenaje de acuerdo a los resultados obtenidos.

Por lo que la **Hipótesis** quedó señalada de la siguiente manera: el diseño de un sistema de drenaje podrá ayudar a controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

Para comprobar todo ello, se trazaron objetivos, donde el **Objetivo General** es diseñar un sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

Para cumplir este propósito se plantearon los siguientes **Objetivos Específicos**: Especificar las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector, identificar los parámetros de resistencia en el material del sector mediante su caracterización física y comportamiento geomecánico, determinar los factores meteorológicos e hidrológicos en el sector para la obtención del diseño hidráulico de cualquier sistema de drenaje, calcular el factor de seguridad ante las condiciones de equilibrio presentadas por el sector y finalmente seleccionar el tipo de sistema de drenaje de acuerdo a los resultados obtenidos.



## II. MARCO TEÓRICO

Entre los **Trabajos Previos** que respaldan esta investigación se encuentran los internacionales, nacionales y un local. En el ámbito **Internacional** figura el trabajo realizado en México por ZULUAGA BETANCUR, Daniel quien en el 2016 elaboró una investigación titulada “Análisis de estabilidad de taludes 3D considerando el efecto de la infiltración por precipitaciones”, teniendo como propósito implementar metodologías para realizar análisis acoplados de flujo transitorio (MEF) y de estabilidad de taludes en dos y tres dimensiones (MEL y MEF), con el fin de determinar el efecto de la infiltración por precipitaciones en la disminución del factor de seguridad en un talud o una ladera, y en el que se concluye que en ambos análisis llega a ser crítico considerar el incremento de las presiones de los poros a causa de la infiltración por precipitaciones, porque en los casos considerados, excepto del talud 3D de forma cóncava con falla cinemática, se obtuvo un F.S menor. Ya que al tener en cuenta la superficie en 3D de una falla no solo se consideran las fuerzas resistentes al deslizamiento, sino también estas fuerzas desestabilizantes, las cuales son tratadas en este proceso.

Asimismo, se tiene la investigación ejecutada en el 2016 por GIRALDO FERNÁNDEZ, Katherine y TEJEDA MUÑOZ, Alejandro en su país natal Colombia, la cual titularon “Análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones de infiltración por lluvia”, cuya intención es estudiar la relación lluvia – infiltración como agente detonante de inestabilidad de taludes para el movimiento en masa ocurrido en el mes de noviembre de 1987 en el sector de Los Mangos del barrio Brisas de Mayo, concluyendo que al analizar el F.S con el método de equilibrio límite bajo las condiciones descritas, las cuales fueron registradas previo y en tanto que la deflagración del movimiento en masa del barrio Brisas de Mayo sucedía, se determinó que este hecho fue directamente causado por dichas lluvias, por lo que se puede estudiar este factor descrito en el análisis del diseño de futuros taludes o laderas actuales.

También está el estudio efectuado por la chilena ALFARO ALARCÓN, Alejandra que en el 2013 lo nombro “Modelación numérica 3D para estabilización de taludes utilizando drenes subhorizontales”, donde su finalidad fue elaborar una herramienta que permita comparar el efecto de distintas configuraciones

espaciales de los drenes subhorizontales, en la estabilidad de un talud representativo del sur de Chile, llegando a concluir que el modelamiento numérico se convertirá en un instrumento vital en los estudios geotécnicos, además de que se debe considerar la interacción de otras ramas como: la hidráulica de tuberías y canales, el flujo de agua en medios porosos y la geomecánica. Se debe tener presente que la falla de un talud se ve en tres dimensiones y no solo en una franja limitada, por lo que es fundamental realizar este tipo de análisis en la estabilización, de esa forma se podrá considerar la distribución real de las presiones de los poros, por lo que usar drenes horizontales es una opción alterna para estabilizar un talud, debido a la relación de los parámetros de resistencia al corte con el aumento en la consistencia de esta estructura.

Igualmente, se incluye la tesis de título “Modelación del flujo en taludes para drenes horizontales”, hecha en el 2011 por los autores GONZÁLEZ VERGARA, Carlos y DUSSÁN BUITRAGO, Edgar ambos de nacionalidad colombiana, quienes plasmaron como plan proponer un criterio de diseño de obras de drenaje (drenes horizontales) en estabilización de taludes, teniendo como conclusión que el aumento en el factor de seguridad de los taludes estudiados se debió a la realización de drenes horizontales, donde el diseño metodológico planteado puede establecerse como un instrumento de prefactibilidad en el inicio del análisis de un talud para determinar de forma rápida si requiere o no una medida de estabilización mediante los drenes horizontales y así acrecentar de manera favorable el factor de seguridad.

Además, se considera la proposición establecida en Bogotá, Colombia por los autores JIMÉNEZ TÉLLEZ, Gabriel y VIÁFARA MORALES, Jorge quienes en el 2011 la denominaron “Análisis 3D de drenes horizontales para la estabilización de taludes”, siendo su objeto modelar en tres dimensiones la variación del régimen de flujo de agua sub superficial en taludes, con la implementación de drenes horizontales, sosteniendo la conclusión de que la variación del régimen de flujo decrece en función de la longitud efectiva, la cual está sujeta a la altura en la que se ubique al dren, por eso los que estén situados lejos de la base del talud no podrán aminorar el nivel freático significativamente por la pequeña área de proyección. Por este motivo es de gran importancia, primero localizar el nivel

freático cuando se hace un procedimiento de estabilización usando drenajes, ya que se puede determinar las longitudes correctas para elevar la efectividad de los drenes a usar.

Por otro lado, a nivel **Nacional** se muestra la investigación trabajada en Lima, en el 2017 por SACKSCHEWSKI CHAPMAN, Carlos denominada “Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta - Huayllay entre las progresivas del Km 102 al Km 110”, el autor planteo como objetivo brindar soluciones geotécnicamente seguras, eficaces y económicamente viables que garanticen la estabilidad de los taludes de la carretera Canta – Huayllay en los sectores con problemas de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa de riesgo medio ha elevado entre las progresivas del Km 102 al Km 110, manifestando como conclusión que la inestabilidad del talud localizado en esos sectores, se debe al problema en la realización de cortes inapropiados para los materiales que constituyen la superficie, al estado adverso de las discontinuidades y la preponderancia de las filtraciones del agua en las laderas. Además propone mediante análisis geológicos – geotécnicos mejorar la estabilidad de dicho talud reconfigurando su geometría, sellando sus grietas y colocando cunetas de coronación, de esa forma presentara un F.S adecuado en el sector del km 102+780 al Km 103+020 de la carretera Canta – Huayllay.

De la misma manera, se manifiestan a los autores ESPINOZA NORIEGA, Raúl y MAGUIÑA ALIAGA, Javier con su argumentación del 2015 en el departamento de Cajamarca, nombrada “Identificación y control de un talud inestable y su implicancia operativa sobre la vía de acarreo de mineral”, ambos propusieron como aspiración solucionar la inestabilidad mediante un plan integral que comprende el cambio en la geometría de los taludes, la despresurización del nivel freático de la zona y control de agua superficial producto de la lluvia para la estabilización de la vía, obteniendo como resultado que el efecto indudable del agua ha generado inestabilidad en varias zonas del tajo, ocasionadas por las épocas de lluvias. Pese a mantener bajo control la presión de la filtración, despresurizando la zona de falla mediante perforaciones, se vio forzado añadir canales de coronación como un control complementario en las zonas superiores al fallamiento para mermar la contingencia por la acción del agua.

De igual forma, se menciona al artículo redactado en Lima por ALVA HURTADO, Jorge en el año 2012, calificado como “Solución integral a la erosión de los taludes de las Vegas, carretera Tingo María. Pucallpa – Perú”, sugiriendo como anhelo presentar las alternativas innovadoras de estabilización de taludes, control de erosión y manejo de aguas que se utilizó como alternativa de solución integral al problema de las cárcavas del Sector Las Vegas, entregando como resultados que para lograr envolver la altura de 50 m del talud, se tenía que reajustar en 5 terrazas o banquetas de 10 m de altura, las cuales fueron reforzadas con geomallas sintéticas de poliéster de mayor aguante y menor distorsión en el interior de cada talud de suelo. Una vez realizado el análisis de estabilidad geotécnica de las estructuras mencionadas anteriormente, se determinó el sistema de regulación de la erosión superficial en el que se decidió emplear la revegetación del talud con especies extranjeras y locales. En cada banqueta, en específico en sus pies, se ha diseñado una cuneta de recolección del escurrimiento superficial, misma que dirige el flujo hacia unas rápidas, que luego son llevadas a los niveles más bajos del talud final. Con el fin de evitar la erosión al momento de distribuir el agua, las rápidas deben poseer disipadores de energía los que disminuirán la intensidad de esta al fluctuar a lo largo de la cuneta.

Del mismo modo, se detalla el análisis inscrito como “Estudio de probabilidad de falla e implementación de alternativas de solución al deslizamiento de taludes andinos”, sustentado por el limeño MOSTAJO CARBONEL, Jorge que en el 2009 procuro tener como meta evaluar la probabilidad de falla del terreno en estudio, con ayuda de implementaciones modernas y conceptos teóricos ya existentes, proponiendo así alternativas de solución a la zona afectada que sea económica y confiable, logrando que los taludes en estudio puedan ser seguros, pudiendo concluir que en la primera opción de proposición, la sección de mayor riesgo tiene una posibilidad de falla del 100%, en el que después de efectuar los estudios de estabilidad, como un tratamiento, se pudo confirmar que esta característica depende en gran parte del nivel freático y de la estructura que lo soporte, obteniendo buenos resultados en ambos diseños, en donde se proveerá mejores valores a los mínimos en cuanto al factor de seguridad se refiere.

Cabe resaltar que en el ámbito **Local** existe una investigación mencionada como “Influencia de la longitud de diseño del sistema de drenaje tipo horizontal para un modelamiento físico bidimensional en presas de material homogéneo no cohesivo y compactado”, la cual fue creada en el 2017 por los autores GONZALES GUEVARA, Emilio y PELÁEZ CÁCERES, Ricardo quienes residen en Pimentel, cuyo fin fue determinar la influencia de la longitud de diseño del sistema de drenaje tipo horizontal en un aumento de la estabilidad de taludes, finalmente lograron concluir que la extensión del diseño del sistema de drenaje tipo horizontal influye en el crecimiento de la estabilidad de taludes reduciendo las lecturas piezométricas y líneas de saturación por los caudales de infiltración, específicamente en la etapa de construcción donde la sección de aguas abajo de la presa queda gravemente comprometida. Todo lo dicho anteriormente es constatado en un modelo físico – bidimensional interpretado para una presa de material homogéneo no cohesivo y compactado.

Las **Teorías Relacionadas al Tema** fueron compuestas por una serie de conceptos empleados durante el análisis del tema de investigación empezando por:

El **Sistema de Drenaje**, en el que para diseñar uno, implica distintos parámetros, siendo el Reconocimiento de Campo el más importante ya que por medio de este se puede observar las **Condiciones Topográficas e Hidrográficas** de la zona, por eso es vital evaluar en donde se planea realizar estos sistemas, estar presente en el lugar para obtener conocimiento de las condiciones actuales de los cauces por donde fluye el agua e identificar los motivos del por qué se ven afectados. La morfología del terreno influye mucho en esto, así lo establece el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

El Grupo Tragsa (2019) menciona que cualquier obra en ingeniería puede modificar la naturaleza del drenaje que posee el relieve del área en donde se planea desarrollar, por lo que es fundamental plantear soluciones al seccionar aquellas formaciones por donde discurre al agua y reubicar estratégicamente el sentido e interceptación de estas.

El mismo autor recalca lo descrito en este último párrafo, ya que otro punto clave es verificar si el proyecto está ubicado en una zona de captación, conocidas como cuencas de aporte ya que son estas en donde se dirigen todos los cauces, acumulándose el agua en esta específica localización.

Para ello se requiere definir las cuencas de aporte, se refiere con esto, a que lo principal es delimitar el área a drenar teniendo en cuenta sus características físicas y su respuesta hidrológica a cauces con pendientes significativas, conocidas como cuencas vertientes.

Todos estos detalles de cada unidad hidrológica se plasmaran en la cartografía de la zona con la única finalidad de determinar los factores que influyen en el cálculo de la cantidad de agua que circulara por el sistema de drenaje, a lo que se conoce como caudal, en los que solo se tomaran en cuenta los provenientes de precipitaciones, más no de deshielos, desborde de ríos o colapso de presas, así está escrito por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Se debe tener igual consideración en la **Configuración geológica** del terreno, ya que es un factor también influye en el diseño de un sistema de drenaje, ya que por la composición del material de la zona, la distribución de este y las diferentes propiedades que posea, han de garantizar la resistencia del terreno ante las exigencias hidrológicas, es lo que infiere el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), incluyendo que por medio de estos estudios se determinara la forma en que se desplazan las aguas, ya sea de manera subterránea o superficial, debido a que las formaciones geológicas guardan una estrecha relación con morfología de la superficie terrestre, la cual ha sufrido cambios a lo largo de su formación, ya sea por distintos agentes externos e internos que también han modificado el drenaje natural de las cuencas, dando a entender que estos estudios son importantes para determinar la unidad litoestratigráfica en que se emplaza el proyecto, teniendo una idea clara del nivel de alteración que esta posee ante las precipitaciones.

En el **Análisis pluviométrico**, este se compone de la información recopilada por organismos especializados en el pronóstico del tiempo, que permitirán determinar el efecto de los factores climáticos en la realización de cualquier obra de

ingeniería. Este estudio está conformado por los siguientes procesos, según Severino (2015):

- Ubicar las estaciones climatológicas en la zona de interés y usar los datos descritos a continuación, para elaborar el estudio: Duración de la estación en la zona, recopilar los datos generados por los equipos de evaluación meteorológica, seleccionar los datos en base a un porcentaje mayor de veracidad.
- Detallar el comportamiento de la atmósfera en la zona, como el régimen del periodo regular de las lluvias y cuanto llueve en un día.
- Buscar la información necesaria para el análisis del recorrido de agua pluvial: curvas IDF (intensidad - duración - frecuencia), representación gráfica de los ciclos reanudación.
- Sugerencias de acuerdo a la condición atmosférica.

En el caso de nuestro país, la entidad que brinda este tipo de datos básicos usados en los procedimientos mencionados anteriormente, es el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), del cual dependerá la decisión de cómo se estimara las proporciones del caudal que soportara las obras de drenaje, acorde a la información puesta a disposición ya que no todas las cuencas hidrográficas del territorio cuentan con estaciones instrumentadas para determinar estos registros pluviométricos, por lo que se opera el diseño en base a métodos indirectos, de tal forma lo afirma el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Las **precipitaciones máximas en 24 horas**, Alagón (2018) menciona a la precipitación pluvial, como el fluido líquido generado a partir de la condensación del vapor de agua por efecto del sol, el cual se precipita en forma de granizo, rocío y lluvia sobre la superficie terrestre y se miden en milímetros (mm) porque está al caer sobre una superficie horizontal, como el suelo, formara una lámina cuyo espesor es expresado por esta unidad, la cual es equivalente a litros por metro cuadrado ( $lt/m^2$ ).

Las estaciones pluviométricas son las responsables del registro de precipitaciones, por lo que es importante saber con exactitud las más cercanas al

objeto de estudio, conocer sus condiciones y la fiabilidad de sus datos, ya que la cantidad y consistencia de los mismos son esenciales para comenzar algún estudio hidrológico en este tipo de proyectos.

El análisis estadístico de datos hidrológicos, Villón (2006) sostiene que antes de usar las anotaciones de lluvias de cierta zona para un proyecto hidrológico específico se debe verificar la confiabilidad de estos, ya que son muchas las razones por las que se presenta este problema, ya sea que se relacione con datos Insuficientes, erróneos o dubitativos presentes en la recopilación o relacionados con altercados en las estaciones pluviométricas por variación de ubicación, mantenimiento de equipos hasta el cambio de personal.

Análisis de consistencia, la no homogeneidad e inconsistencia son las consecuencias a las que puede estar expuesta la información hidrológica a causa de sus variaciones, trayendo consigo además errores sistemáticos en su digitación, por lo que es importante identificar estos, mediante criterios físicos y estadísticos que permitan evaluar y eliminar el problema, pudiendo ser ocasionado por la naturaleza (fenómenos climáticos) o por el hombre (contaminación que altere el clima). Habiendo dicho esto Villón (2006) incluye que estos errores sistemáticos pueden presentarse como saltos, así define al dato cuyo valor es exagerado dentro de una serie de submuestras, afectando sus características estadísticas como media y desviación estándar. El análisis de consistencia puede realizarse mediante distintos procedimientos: visuales o gráficos, doble masa y estadísticos.

Análisis visual-gráfico, el mismo autor orienta a trazar sobre planos cartesianos el registro histórico de precipitaciones en el eje de las ordenadas y el tiempo de cada valor en las abscisas. Esto servirá para indicar de forma visual los periodos que posean registros dudosos, estos se reflejan como “picos” altos o bajos, por lo que es necesario comprobar su ocurrencia, si fue por la naturaleza o por una mala incorporación al registro. Una forma de determinar la causa de la anomalía detectada es graficando de una estación vecina sus precipitaciones con respecto a las mismas series históricas (años) para poder compararlos.



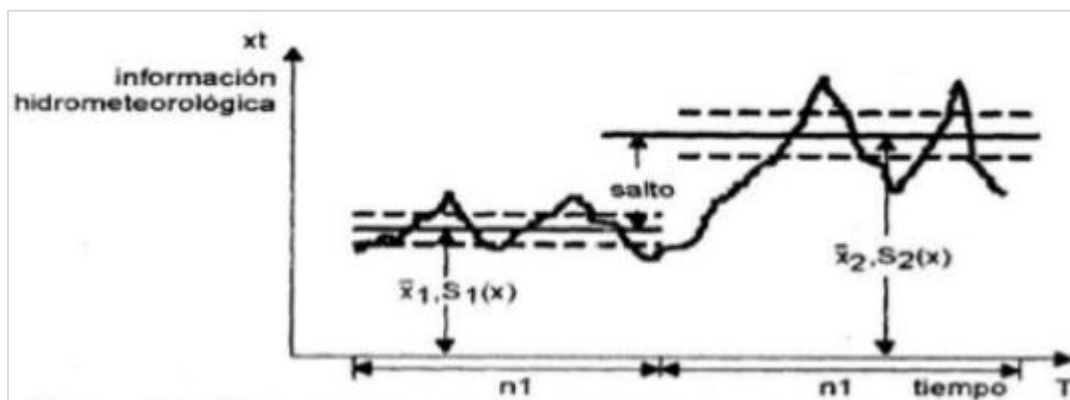


Figura 1. Serie con componente transitoria en la forma de salto.

Fuente: Villón (2006).

Análisis estadísticos, esta evaluación sirve para comprobar la consistencia de series hidrológicas mediante fórmulas matemáticas establecidas en la estadística, donde se analiza tanto la media como la desviación estándar.

Consistencia en la media, con ayuda de una prueba de hipótesis (prueba t) se comprobara si el promedio de las submuestras son iguales o diferentes en base a una probabilidad estadística del 95% o con un 5% de nivel de significación.

Calculo de la t de Student (tc), este es igual a la división entre la resta del promedio de ambas submuestras ( $x_1$  y  $x_2$ ) con la desviación de esta misma diferencia ( $S_d$ )

$$tc = \frac{x_1 - x_2}{S_d}$$

Fórmula 1. Distribución T de Student (tc).

Donde el  $S_d$  se halla del producto de la desviación estándar ponderada ( $S_p$ ) con la suma de la inversa proporcional del tamaño de cada submuestra ( $n_1$  y  $n_2$ ) elevado a 0.5.

$$S_d = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2}$$

Fórmula 2. Componente  $S_d$ .

Este  $S_p$  equivale a la división entre la suma de las submuestras disminuidas en un valor ambas multiplicadas con su respectiva varianza ( $s_1^2$ ,  $s_2^2$ ) sobre la pérdida de 2 valores de las suma de ambas submuestras, todo a la potencia de 0.5.

$$\left[ \frac{(n-1)s^2 + (n-1)s^2}{2} \right]$$

*Fórmula 3.* Desviación estándar ponderada.

Comparación con el t tabular (tt), este es el valor crítico de la t de Student en relación a sus tablas estandarizadas. Si la t de Student calculada es menor o igual al estándar de su tabla (tt), entonces los promedios de ambas submuestras son estadísticamente iguales y no se requiere la corrección de los datos.

$$|tc| \leq tt (95\%) \Rightarrow$$

*Fórmula 4.* Condiciones del T tabular con el T calculado.

Pero si se da todo lo contrario, es necesario corregir aquella submuestra que presente inconsistencia.

Consistencia de la desviación estándar, analizando estadísticamente con la prueba F de Fisher se comprobaba con la misma probabilidad y significancia de una prueba de hipótesis, si la desviación estándar de dos submuestras es parecida o diferente.

Calculo de la F de Fisher (Fc), está en relación a la varianza, no es más que la desviación estándar al cuadrado y esta se desarrolla en base a dos criterios; si la varianza de la primer submuestra es mayor que la segunda, entonces se divide  $s^2$  entre  $s_2^2$ , pero si la varianza de la segunda submuestra ahora es mayor, solo se tiene que invertir los datos de la división anterior.

$$\frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (x) \quad (x)$$

*Fórmula 5.* Condición uno de distribución F de Fisher.

$$\frac{s_2^2}{s_1^2} \quad (x) \quad (x)$$

*Fórmula 6.* Condición dos de distribución F de Fisher.

Comparación con el F tabular, se obtiene de las tablas F, el valor crítico a comparar con el F calculado, donde si este último es menor o igual que el del

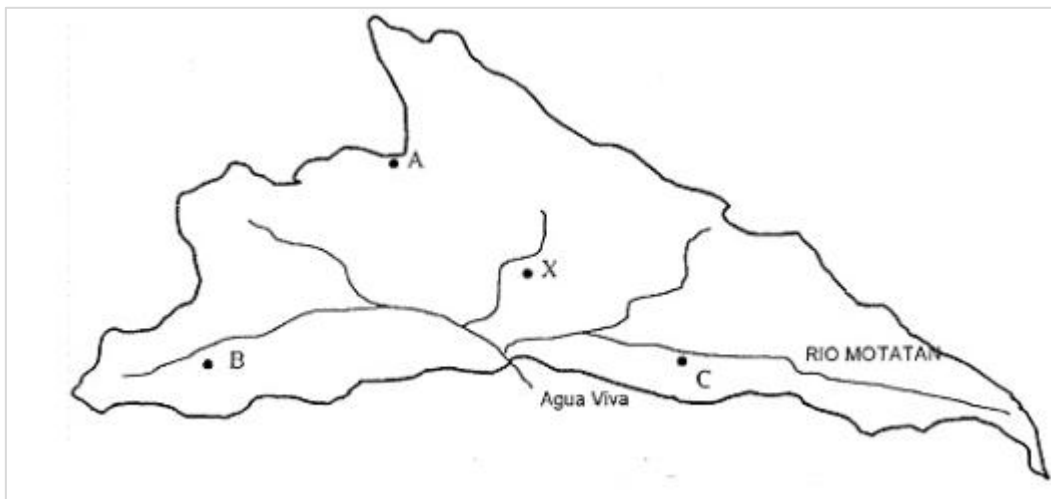
estándar, entonces la desviación de ambas submuestras son iguales según la Estadística, sin embargo que no se cumpla esta comparación será forzoso modificar la submuestra inconsistente.

$$F_c \leq F_t (95\%) \Rightarrow S1(x) = S2(x)$$

*Fórmula 7.* Comparación del F tabular con el F calculado.

Estimación de los datos faltantes, quizá sea inevitable hallar interrupciones o ausencia de datos en la recopilación de información meteorológica, los cuales pueden ser ocasionados por descuido del operador o porque en determinados periodos no se poseía equipos de medición. Villón (2006) arguye incluso que la operación para completar estos datos se llama correlación, en el cual se usan las estaciones vecinas que posean datos completos y que tengan similar destaca y altura en relación al objeto de estudio, ya que estos factores son demasiado influyentes. La estimación de datos faltantes se puede calcular con cuatro métodos: promedios aritméticos, proporción normal, correlación lineal y análisis doblemente acumulativo.

Método de los promedios, en la siguiente imagen se presenta como se distribuyen equipos para medición de precipitaciones en cierto sector, donde la estación X es la que no cuenta con datos completos por lo que se puede tomar como índices de correlación los registros de las estaciones A, B y C.



*Figura 2.* Estaciones índice A, B y C para correlacionar datos en Estación X.

Fuente: Villón (2006).

Se debe usar la siguiente fórmula para empezar el proceso de completar un dato faltante (xf) el que se restara el dato índice de la estación vecina elegida (xc) con el promedio del registro de la estación incompleta XF, donde todo dividirá al promedio de la estación vecina con datos completos (XC).

$$xf = \frac{xc - XF}{XC}$$

*Fórmula 8. Método de los promedios.*

Modelos de distribución de probabilidad, El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) asegura que este tipo de análisis posee relación directa con la reiteración de tempestades en categorías semejantes como magnitud y durabilidad en un intervalo determinado, a lo que se conoce como frecuencia, donde la única finalidad que tiene es determinar la probabilidad de saber en qué año se repetirá un evento similar y las proporciones de precipitaciones o caudales que traerá consigo, para ello se aplican varios modelos probabilísticos teóricos.

Ajustes de distribución hidrológica por Método de Gumbel, De acuerdo a Chow, Maidment y Mays (1988) citados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) explican que en las variables aleatorias, como las precipitaciones, se puede expresar la recurrencia de estas en términos de probabilidades, analizando su función mediante la siguiente fórmula, la cual determinara la cantidad de lluvia diaria que alcanzara en cada año que se repita la magnitud del evento hidrometeorológico.

$$N = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(x)))}{d}$$

*Fórmula 9. Método de Gumbel.*

Donde F(x) estará expresado en función de restar la unidad con la inversa proporcional del periodo de retorno (tr) en el que se estimara su precipitación. Además  $\mu$  y  $d$  son constantes de la ecuación de Gumbel (N) que dependen de la media (x) y desviación estándar (S) de los datos.

$$F(x) = 1 - \frac{1}{tr}$$

*Fórmula 10.* Variable relacionada al periodo de retorno.

$$\mu = x - 0.450047 * S$$

*Fórmula 11.* Componente  $\mu$ .

$$d = \frac{1}{0.779696 * S}$$

*Fórmula 12.* Componente d.

**Periodo de retorno**, Según el Grupo Tragsa (2019) indica que para elegir el caudal de avenida sobre un elemento de drenaje se debe especificar en que periodo es en el que se puede presentar una posibilidad de ocurrencia de precipitaciones, donde si estas son mayores el caudal a estimar también lo será. Por eso el periodo de retorno es expresa como el tiempo promedio en años correspondiente a la magnitud de un fenómeno.

Precipitación de diseño, Alagón (2018) induce que los registros pluviográficos se presentan en formatos de 24 horas y no se detalla la acumulación de estos en diferentes intervalos de tiempo menores al formato, por lo que la aplicación del método de Dick Peschke permite obtener estos datos puntuales que serán necesarios para determinar la intensidad de las precipitaciones en cada periodo de retorno especificando detalladamente su duración en minutos u horas.

$$Pd = P24h \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

*Fórmula 13.* Precipitación de diseño.

La precipitación de diseño (Pd) se obtiene tomando las precipitaciones máximas esperadas de cada periodo de retorno (P24h) multiplicándolas por la división entre la duración (d) en intervalo diferentes al formato, en este caso en minutos, con una cifra dada de 1440 donde esta operación será elevada a 0.25.

Intensidad, es la mayor potencia que puede presentarse en un periodo de lluvias y está basado en el tiempo que perdura la presencia de caída de agua. Se expresa

en milímetros por hora, donde el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) muestra que también con el método de Dick Peschke se puede definir mediante la siguiente fórmula.

$$I_{max} = \frac{Pd}{d}$$

*Fórmula 14.* Intensidad máxima.

Donde la intensidad máxima ( $I_{max}$ ) se halla dividiendo la precipitación de diseño ( $Pd$ ) entre la duración ( $d$ ) en intervalos menores de 24 horas.

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) Se designa como curva IDF, a las que simbolizan la permanencia en abscisas y alturas de lluvias en las ordenadas, Jiménez (2017) también dice que cada una de estas corresponde a la duración de reingreso y permiten que la curva figure la magnitud en transcurso distintos con respecto a su duración y la frecuencia con la que esta se puede observar.

**Caudales máximos**, se divide en **Escorrentía**, este factor que define el vínculo existente entre las aguas de lluvias que llegan a precipitar en su totalidad y las que fluyen en la superficie. Castillo (2017) recalca que existen diversos parámetros que pueden influir en su valoración: forma del valle o cuenca, porosidad del terreno, recubrimiento de flora y las inclinaciones longitudinales.

Tiempo de concentración, Alagón (2018) testifica que es un periodo en que una gota se puede transportar de un punto a otro desde el más elevado hasta el punto de salida o de término. Cabe recalcar que en este tiempo de concentración al existir zonas con mayor inclinación entonces la rapidez de transporte del flujo aumentará de tal medida que se reducirá la duración de condensación. Una de las tantas fórmulas para calcular este parámetro de diseño es con el método de Kirpich, donde el tiempo de concentración ( $T_c$ ) dependerá de la longitud del cauce ( $L$ ) desde la parte superior hasta su salida junto a la pendiente de la cuenca ( $S$ ).

$$T_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

*Fórmula 15.* Tiempo de concentración.

Estimación de caudales, cuando no existan datos sobre caudales, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) recomienda usar las precipitaciones, ya que al ocurrir estas, la cuenca se humectara lentamente, donde parte de la lluvia se infiltrara y después de unos momentos se podrá convertir en flujo superficial.

Método racional, esta metodología se basa en obtener el flujo superficial máximo ( $Q$ :  $m^3/s$ ) en relación con las características de la cuenca, las cuales no deben pasar de un área de  $10 \text{ Km}^2$ . Se obtiene a partir de la intensidad de precipitación ( $I$ :  $mm/hr$ ) con el área de la cuenca ( $A$ :  $\text{Km}^2$ ), teniendo en cuenta un coeficiente de escorrentía ( $C$ ) el cual será tomado de la tabla 5. Lo mencionado por el autor anterior se refleja en la siguiente fórmula:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

*Fórmula 16. Método Racional.*

Velocidad de escorrentía, con el afán de prever la rapidez que poseerá el flujo superficial sobre las obras de drenaje es que se utiliza la ecuación de Manning, donde la velocidad del caudal ( $V$ ) se expresa por la inversa proporcional del coeficiente de rugosidad ( $n$ ) tomada de la tabla 6, multiplicado por las variables hidráulicas en función de la pendiente y el radio de flujo, este último se obtiene de la división del área en metros del escurrimiento sobre cuenca ( $A$ ) con el perímetro ( $p$ ) del mismo.

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{0.6} * S^{0.5}$$

*Fórmula 17. Velocidad del caudal.*

$$Rh = \frac{A}{p}$$

*Fórmula 18. Radio hidráulico.*

Escurrimiento o precipitación efectiva, dada por la proporción de agua que se desliza sobre las capas superficiales cuando se presenta excesos de lluvias, Alagón (2018) señala que este se obtiene al despejar la fórmula del coeficiente de escorrentía ( $C$ ) que es igual al escurrimiento ( $Pe$ ) sobre la intensidad máxima en un determinado periodo de retorno ( $Imax$ ).

---

*Fórmula 19. Coeficiente de escorrentía.*

**Infiltración**, se le conoce como la acción que tiene un fluido de desplazarse en la superficie de un terreno con dirección al suelo, esto mediante la presencia de la porosidad de las rocas o también de grietas y fallas presentes en el área.

Jiménez (2017) alude incluso a la tasa de infiltración, como un índice en la cual el fluido ingresa al suelo en el exterior, se denota en centímetros por hora o en pulgadas por horas. Esta tasa cumple una función de gran importancia dentro del análisis puesto que determina la capa de agua que puede ingresar a desequilibrar el talud.

Tipos de infiltración, las precipitaciones en la superficie del suelo conllevan a dos requisitos desiguales de frontera:

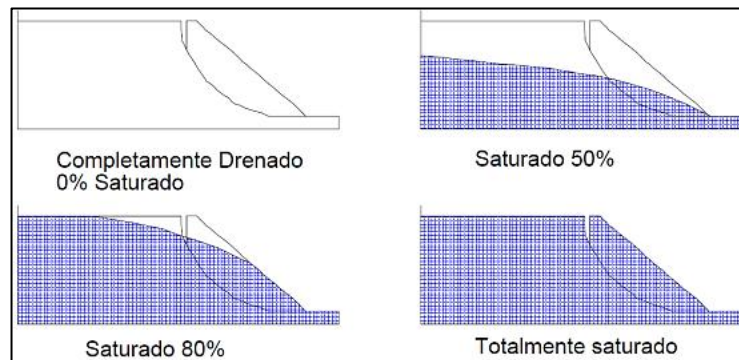
- Superficie del talud inundada: Únicamente se podrá tomar en cuenta los fluidos de lluvia infiltrados en el terreno y no lo que corresponde a la escorrentía que es el agua que circula por un torrente ya que la magnitud de una lluvia suele ser muy superior a la cantidad de agua que puede ingresar en el suelo. En este modelo, el requisito de frontera es la infiltración en la superficie del terreno sea igual a cero equivalente a impregnación del 100 %.
- Infiltración controlada: Se puede manejar de acuerdo a la magnitud de las precipitaciones porque esta magnitud o intensidad tendrá un valor por debajo del flujo máximo de agua que puede filtrar en el talud.

Conductividad hidráulica, Alagón (2018) apunta que la conductividad hidráulica simboliza el movimiento de un fluido originado por el agua en estratos y se le denomina infiltración en la que por la presencia de los vacíos del estrato tendrá una dirección no lineal. Habiendo sucedido la precipitación, procederá está a almacenarse en las pendientes donde se originarán dos etapas que son la de filtración y escurrimiento, La filtración se podrá representar mediante la permeabilidad de las capas y la inclinación del talud que tomará cierta velocidad de filtración y un determinado caudal. La filtración cuenta con tres fases, primero



se comprende y se entra a las capas internas de una superficie, como segunda fase se arranca a apilar dentro de las capas y por último se obtendrá la red de flujos subterránea.

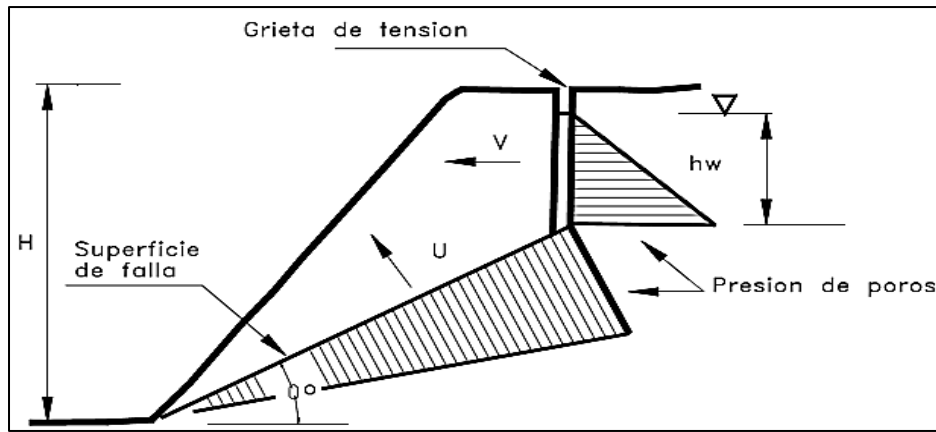
Nivel freático, es la terminación suprema del área de saturación por lo que se forma como un elemento de mucha importancia en aguas subterráneas, fue la explicación que dio Jiménez (2017). Además dijo que las variaciones que ocurran trascenderán de manera importante en lo que corresponde a la estabilidad de taludes regidos por la presión de poros.



*Figura 3.* Distribución típica de saturación y niveles freáticos en un talud.

Fuente: Jiménez (2017).

Presiones de poros, Suárez (1998) recalca que la presión que ejercen los poros dentro del suelo estará relacionada con la ubicación de los niveles freáticos y características geológicas del sitio. Esta presión puede presentar variaciones por los cambios del régimen de fluidos subterráneos. Los piezómetros sirven como herramienta para medir o para tener en cuenta el valor de presiones de poros. Al existir presiones de poros en terrenos con presencia de fallas geológicas se debe tomar en cuenta las condiciones de drenaje. Al existir un sistema de drenaje la presión de los poros asumirá valores mínimos con respecto a la superficie del talud, pero cuando los drenajes diseñados son deficientes se puede presentar aumentos considerables en la presión de poros en la base del talud.



*Figura 4.* Presión de poros sobre una superficie de falla potencial.

Fuente: Suárez (1998).

En el **Diseño del Sistema de Drenaje**, lo principal a tener en cuenta son los tipos, estos se dividen en superficiales y subterráneos:

**Drenajes superficiales:** Son sistemas de obras civiles que toman el agua que se transporta por la superficie, dándole una dirección a un lugar de almacenamiento donde ya no estaría considerada como peligro o será perjudicial a la estabilidad de un talud. Estos drenajes se diseñan para evitar prontas llegadas y formaciones de acuíferos en un talud, es lo que dilucidan Alberti, Canales y Sandoval (2006) y agregan que las obras principales de drenaje son:

**Cunetas:** Están construidas a uno o los dos lados de la corona de un talud, son zanjitas de sección determinada, son definidas también como un conducto abierto revestido o no. Poseen secciones de tipo trapezoidal, rectangular, triangular y semicircular.



*Figura 5.* Construcción de cunetas en bermas y en la corona de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

Contracunetas: Tienen la función de tomar el agua que se desplace por el talud para evitar que erosionen sobre este, presentan secciones variables ya sea cuadrada o triangular, y se suelen construir cuando el agua que llega al talud es de gran abundancia y para taludes que sobrepasan los 4 metros de alto.



*Figura 6.* Contracuneta en base de talud, Las Colinas, La Libertad.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

Cajas: Estructuras resistentes diseñadas para cambiar la dirección de los fluidos que están siendo conducidos por una contracuneta o cuneta.



*Figura 7.* Caja generando cambio de dirección de flujo de agua en talud.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

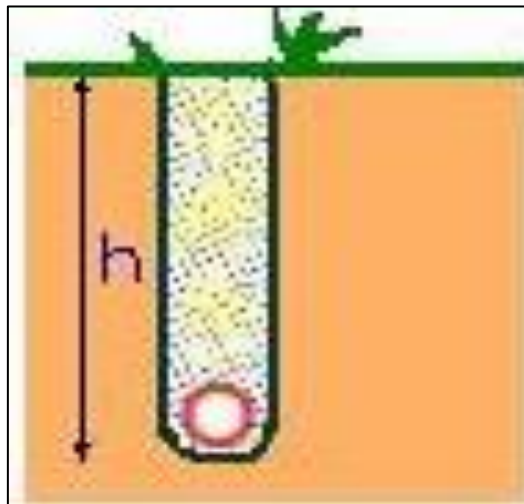
**Drenajes subterráneos:** Conforme a Alberti, Canales y Sandoval (2006) argumentan que estos tipos de drenajes, se proyectaran principalmente para limitar y controlar la humedad de los diversos elementos que presenta un talud. Presentan las siguientes funciones:

- Obstaculizar y separar corrientes subterráneas.
- Declinar el nivel freático.
- Limpiar las capas del talud, de material libre.

Un vigoroso sistema de drenaje está conformado por tres componentes básicos: el drenante que tiene como función recoger y conducir las aguas saneando el suelo, el filtrante que impide el transporte de partículas del suelo hacia la parte interior del elemento drenante lo que originaría pérdida de flujo, y un colector que transporta el fluido drenado para ser descargado posteriormente.

Alberti, Canales y Sandoval (2006) los clasifica en:

Drenaje longitudinal de zanja: Es una obra civil que cuenta con una profundidad de 1 a 1.5 metros, esta estructura es saturada de material compactado, con un tubo dispuesto en su fondo que capta el agua y por medio de la gravedad la conduce a sitios donde no generen peligro alguno. Se subdivide en:



*Figura 8.* Detalle transversal de un drenaje longitudinal de zanja.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

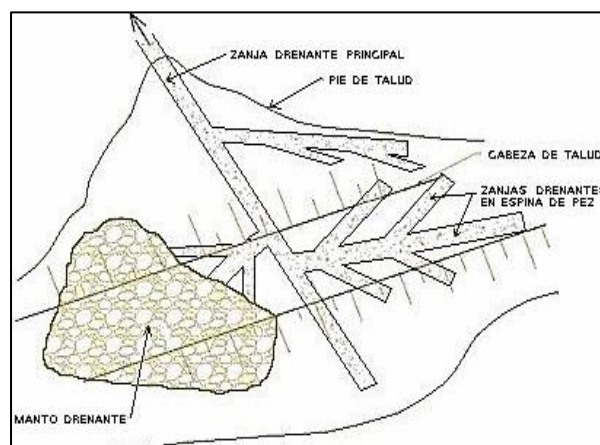
Drenes de penetración transversal: Son tubos perforados con una longitud de 10 metros de acuerdo a la dificultad que presente el suelo, ya que en masas de suelo con difícil comunicación interna se pueden colocar a 5 metros. Las instalaciones de estos tubos se realizan con una pendiente que oscila entre 5% al 20% inclinados hacia la vía.



*Figura 9.* Ejemplo de un sistema de drenes transversales.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

Drenes en espina de pez: Formadas por diferentes zanjas que conducen en su similitud a una vía principal, esta vía albergará una tubería drenante y un colector en su interior. El diseño de este tipo de drenes se puede dar de acuerdo con la ubicación y posicionamiento de los manantiales o afloramientos que hubieran de captarse en cada caso.



*Figura 10.* Detalle de ubicación de drenes en espina de pez en un talud.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).



Subdrenes horizontales: Este tipo de drenes se instalan principalmente como método de prevención en taludes inestables. Tienen gran efectividad para captar y controlar aguas subterráneas profundas, para ejecutar este tipo de drenes se estima un costo alto y equipos especiales de perforación. En su momento eran instalados únicamente como medida correctiva.

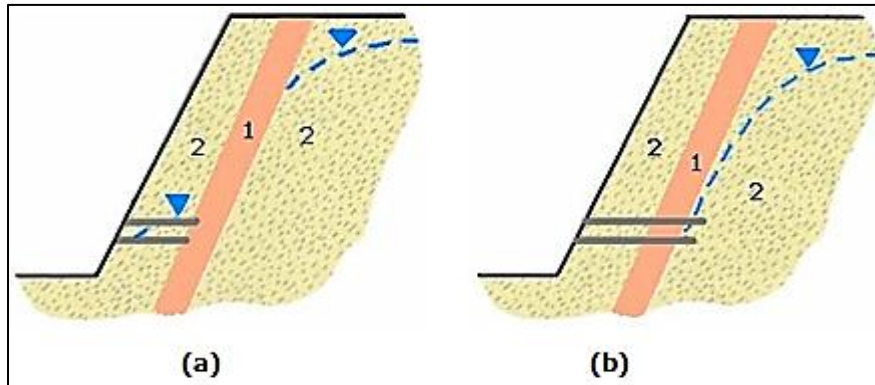


Figura 11. Esquemas de colocación de sistemas de drenes horizontales. (a) adecuado. (b) inadecuado.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

Galerías o túneles de subdrenaje: Estas galerías son efectivas para estabilizar en taludes con posibles deslizamientos o desprendimientos profundos con una permeabilidad significativa y aguas subterráneas. Si el agua superficial presenta una profundidad muy grande, los pozos drenantes serán muy caros, entonces se recurre a los túneles drenantes que son excavaciones en terreno natural con forma subhorizontales que cuentan con sistemas que captan y evacúan las aguas. Estos túneles drenantes en algunas ocasiones suelen ser construidos para ser utilizados como medida preventiva.

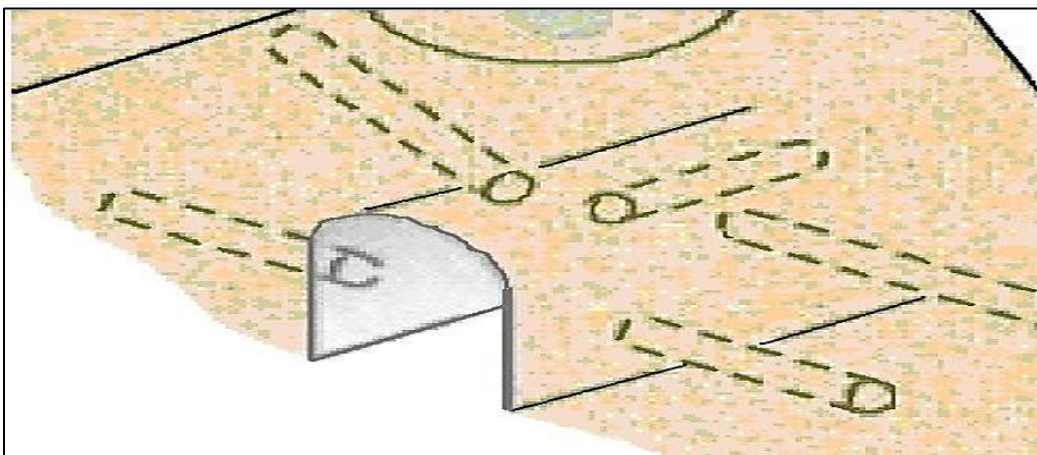


Figura 12. Esquema de captación de las galerías de drenaje en un talud.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

Pozos profundos de subdrenaje: En taludes de gran tamaño se utiliza generalmente los pozos profundos para drenar a aquellos que puedan ser inestables, estos suelen ser más económicos que las trincheras drenantes. Requieren un mantenimiento permanente y por la necesidad de operación es que este tipo de drenajes es limitado en cuanto a su empleo.

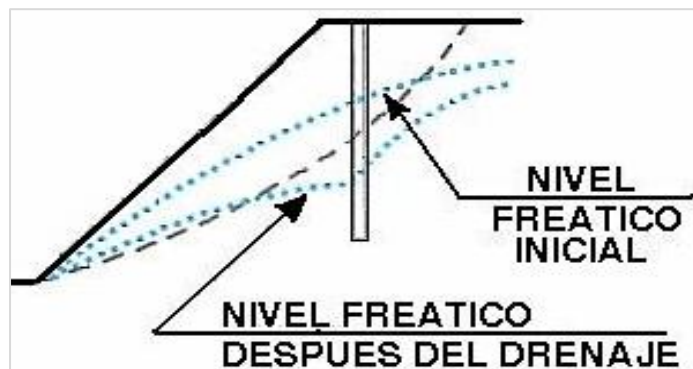


Figura 13. Disminución del nivel freático en un talud haciendo uso de pozo drenante.

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

El Grupo Tragsa (2019) opina que se debe tomar en cuenta diferentes **Consideraciones** al seleccionar un sistema de drenaje, dado que el propósito primordial de este es aminorar y suprimir la energía producida por los cauces que atraviesen el objeto de estudio a drenar e impedir la aparición de humedad en exceso sobre este, ya que suele influir de forma negativa en las propiedades de resistencia de los materiales que lo constituyen, por lo que la previsión de estos sistemas son aspectos imprescindibles en la estabilidad de taludes.

La mayoría de problemas asociados a los drenajes naturales de un proyecto, se pueden evitar al tener en cuenta las labores que se realizaran dentro de este, por esta razón es necesario trabajar con un sistema que capte los posibles caudales de agua que transcurran hacia la obra, para ello se debe incluir estos factores en el planeamiento y desarrollo de sus actividades. Para la eficacia de un sistema de drenaje durante el lapso de vida de un proyecto se debe prever lo siguiente:

- Modificar el drenaje natural lo menos posible.
- Distribuir el agua de la superficie, esparciéndola de la manera en que no se acumule en zonas vulnerables propensas a erosión y filtración.

Los criterios a tener en cuenta en la elección de un sistema de drenaje, van de acuerdo a la eficacia este, la facilidad de construcción, duración, la frecuencia del mantenimiento, su adaptación a las labores.

A veces estos criterios mencionados se limitan por la ubicación o topografía del terreno, este mismo autor incluye que el factor de las aguas sobrantes se debe tratar mediante la combinación de drenajes superficiales y subterráneos.

Según Herrera (2009) especifica que para la **Viabilidad de un Proyecto** que se ubique, ya sea dentro de una cuenca hidrológica o se desarrolle por debajo de los niveles freáticos de la zona, como es el caso de la minería, se debe considerar principalmente los costos de los instrumentos que permitan la redistribución de las aguas presentes en cada uno por la interferencia de la hidrosfera en el plano operativo de la explotación, dado que esta constituye puntos de descarga de flujos superficiales o subterráneos al haber alterado las funciones hidrológicas e hidrogeológicas del área.

En cuanto a la realización de estudios, lo que prima al iniciar la aplicación de un sistema de drenaje se da en definir cada condición y parámetro de acuerdo a la significación dentro del proyecto, debido a que suele involucrar enormes gastos en dinero y tiempo tratando de reunir los datos en los que se envuelve el diseño.

Se debe conceder demasiada atención al detalle y evaluación de costos en los siguientes aspectos:

- Mano de obra y supervisión.
- Transporte de equipos y puesta en obra de materiales.
- Instalación de la estructura sobre la superficie.
- Maquinaria utilizada como pala cargadora, grúa, herramientas, etc.
- Combustible.
- Por último se incluyen los gastos en las gestiones administrativas.

En conclusión para el control efectivo de las aguas, este se debe planear durante la etapa de diseño de una mina, tomada en gran consideración en los diferentes métodos de explotación, sean superficiales o subterráneos.



Relativamente, la **Estabilidad de taludes**, Suárez (1998) citado por Abramson, Lee, Sharma y Boyce (2002) mencionan que esta disciplina se ve involucrada en el diseño de drenajes debido a que esta ira cambiando en cuanto a la aplicación y efectividad del mismo sobre un objeto de estudio, como estructuras de corte, por tal motivo se debe considerar las características físicas de este en relación a sus **Parámetros Geométricos**, donde los elementos que componen al talud y su forma de actuar de estos, ya sea de similar o diferente forma, determinaran los esfuerzos totales y las fuerzas de gravedad producto de los desplazamientos afectarán al talud. El relieve del talud puede llegar a tener dominio de la meteorización, filtraciones y desplazamiento de fluidos por medio del material que constituye la estructura, este dominio de la topografía puede alterar y afectar la cantidad de agua disponible y determinará la peculiaridad de los niveles freáticos. Los parámetros a investigar juegan un rol importante, por lo que Suárez (1998) detalla los siguientes:

- Área: Es la medida de la superficie en la que se encuentra ubicado un terreno natural, se puede medir desde  $m^2$  hasta  $Km^2$ , dentro de ella se encuentran los materiales a extraer por medio de bancos de producción.
- Altura: Es el trayecto perpendicular existente entre la base y la cima del talud, esta se encuentra claramente delimitada en taludes artificiales.
- Pendiente: Se pueden encontrar perfiles con mayor profundidad en taludes suaves, a diferencia de taludes empinados existen, pero en pocas oportunidades se pueden apreciar. Cada formación presenta un determinado ángulo de inclinación y a partir de este, un talud será inestable.

Los **Parámetros Físicos** que posee cada macizo rocoso está dado por:

Peso Específico: Es la concordancia que existe entre la carga y la masa de un elemento, puesto que la carga del mismo es la magnitud en que la tierra se adhiera y actúe sobre él y al mismo tiempo la masa es la extensión que ocupa dicho elemento. De acuerdo al sistema internacional se expresa en Newtons sobre metro cúbico ( $n/m^3$ ), así lo infiere Suárez (1998).

Permeabilidad: Alagón (2018) lo teoriza como la amplitud de un terreno para transferir agua bajo infiltraciones mediante el flujo de estos, la geometría del terreno y la composición de este detallarán su representación.

Jiménez (2017) presume que para determinar la permeabilidad de un terreno se deben realizar ensayos de campo o ensayos de laboratorio, se pueden encontrar también por una serie de procedimientos que te faciliten relacionar ciertos valores de coeficiente de permeabilidad como lo dice el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS por sus siglas en inglés), de tal modo que se pueda obtener un acercamiento a la permeabilidad comprendiendo la dimensión de grano del material. Se detallarán mediante un esquema las desigualdades impregnadas a la cantidad de fluido infiltrado en el terreno en una duración de tiempo en la que el tamaño de la partícula pueda variar.

Porosidad: Son las características propias de cada material que compone la corteza terrestre definida por la cantidad y tamaño de aberturas que puedan presentar. La porosidad se representa como la proporción de extensión relacionada a una capacidad de sedimento o de roca. Se tiene la siguiente formulación para la porosidad (n: % adimensional) que es igual al volumen de espacios vacíos ( $V_v$ :  $L^3$ ) sobre el volumen unitario de roca o sedimento, todo esto multiplicado por 100.

$$n (\%) = \left( \frac{V_v}{V} \right) * 100$$

*Fórmula 20. Porosidad.*

Seguidamente, se muestra la tabla 7, con la valoración extrema de porosidad, sometidas por el grado de afectación física y química que sufrió y por el tipo de elemento geológico. Al momento en que se acumula sedimentos con elementos granulares o se forma una roca, también se estará dando origen a presencia de poros, lo expresa Mogrovejo (2016).

Para conocer el comportamiento de los taludes se debe realizar **Estudios de Campo**, donde se debe identificar las condiciones dadas sobre la zona para determinar las fallas involucradas en alterar su estabilidad, Según Suárez (1998) dice que estas se reflejan en los **Movimientos en Masa**, estos son la marcha que

existe producto de la gravedad en la cual una parte del volumen del talud se desprende y tiene trayectoria desde la parte superior hasta la parte inferior del mismo ya que las fuerzas estabilizadoras serán superadas rápidamente por las fuerzas desestabilizadoras.

Deslizamientos Traslacionales: Estos se ocasionan tanto en rocas como en suelos, la fractura se produce en una o múltiples áreas de falla ya sean planas u orientan en sentido del talud (ladera), puede estar presente en estratificación, contacto entre rocas y planos de debilidad.

Las **Clasificaciones Geomecánicas**: Brindan los parámetros de resistencia que posee un área mediante tablas, estas se clasifican en resistencia de la roca intacta, RQD, estado de las discontinuidades, flujo de agua en las juntas. Se acepta que para suelos tengan un vigor inferior a 1 MPa.

Rock Mas Rating (RMR): Elaborado por Bieniawski 1976, es la clasificación geomecánica de más utilización, en su comienzo se planteó para estimar la rigidez y los apoyos que se requieren en subterráneo, sin embargo este resultó tener capacidad para valorar la estabilidad de un talud. El RMR brinda datos como ángulo de fricción y cohesión, parámetros de rigidez del principio de Mohr-Coulomb. A continuación se describen las siguientes ecuaciones que demuestran las relaciones existentes entre parámetros resistentes y RMR.

$$c = 5RMR(KPa)$$

*Fórmula 21. Cohesión.*

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} \text{ (deg)}$$

*Fórmula 22. Ángulo de fricción.*

Donde la cohesión (c) es igual a cinco veces el RMR, el resultado se obtiene en KPa y la cohesión ( $\phi$ ) es la suma de cinco más la división del RMR entre dos obteniendo un resultado en deg.

Para utilizar el RMR se debe tener en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia de la roca intacta (1), se puede determinar con picota de geólogo como se muestra en la tabla 8.
- RQD (2).
- Espaciado de las discontinuidades (3).
- Estado de las discontinuidades (4).
- Flujo de agua en las juntas (5).

A partir de la generación de estos valores se procederá a calcular el RMR que se podrá obtener por la suma de los mismos como se explica en la siguiente fórmula:

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

*Fórmula 23. RMR.*

Con respecto al RQD existen varios procedimientos de cálculo, en lo que se puede ayudar mediante relaciones empíricas para determinar este porcentaje mediante medidas en los macizos rocosos, tal es el método del metro lineal, el cual está en función del número de fisuras con el espaciado de estas en un rango de un metro donde se encuentran la discontinuidades, como expresa la siguiente fórmula:

$$100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda+1)$$

*Fórmula 24. Método del metro lineal.*

Donde Hudson en 1989, al realizar el levantamiento litológico en el área de una estructura o zona determinada relaciona el factor  $\lambda$  en función del número de fisuras en un metro lineal (a) dividido entre la sumatoria del espaciado de cada fisura (b).

$$\lambda = \frac{(a)}{(b)}$$

*Fórmula 25. Factor  $\lambda$ .*

Los **Parámetros de Resistencia al Corte** que presenta cada material sea suelo o roca, Suárez (1998) expresa que esta dado por:

**Cohesión:** Es la medida de unión de las partículas del suelo. En física es utilizada en la simbolización de tensión, pero en mecánica de suelos se interpreta como la resistencia a la falla por cementación.

**Ángulo de fricción:** Representa matemáticamente el coeficiente de rozamiento. El ángulo de fricción obedece a factores, de los cuales se tienen los más importantes y son: dimensión de los granos, perfil de los granos, repartición de las dimensiones de granos, densidad.

Dentro del **Análisis de las Condiciones de Equilibrio**, se deben tomar en cuentas distintas consideraciones fundamentadas por Suárez (1998):

**Modo de Falla:** Metodología que se usa para estudiar e identificar el origen de las fallas y para comprender su repetición y colisión. Se divide en varias, entre ellas esta:

**Falla Traslacional:** Generalmente consisten en desplazamientos traslacionales de gran importancia de la figura del talud sobre áreas de falla que son llanas y estas están relacionadas con los estratos que componen al talud, ya que son poco resistentes y están ubicados a poca profundidad.

**Criterio de Rotura:** Se relaciona al estado de someter cualquier sólido a las tensiones dirigidas en ciertos puntos de su estructura, existen distintos métodos que analizan estas fuerzas como:

**Criterios de Mohr – Coulomb:** Carranza (2017) lo pormenoriza como un criterio lineal que a sus inicios fue propuesto con el objetivo de estudiar los suelos. Esto implica que la operación matemática que precisa la extensión de fluencia es una recta.

$$t = c' + \tan\phi$$

*Fórmula 26. Plano de rotura de Mohr-Coulomb.*

La ecuación mostrada trata sobre la tensión tangencial actuante al plano de rotura (t) equivalente de la cohesión efectiva (c'), variable que simboliza la tensión cortante que resiste el cuerpo sin aplicar un esfuerzo normal, a la que se suma el tangente del ángulo de fricción interior ( $\phi$ ).

Si el círculo de Mohr queda totalmente por debajo de la envolvente, entonces el suelo será estable. La resistencia máxima del suelo será alcanzada en un plano donde el círculo de Mohr sea tangente a la envolvente.

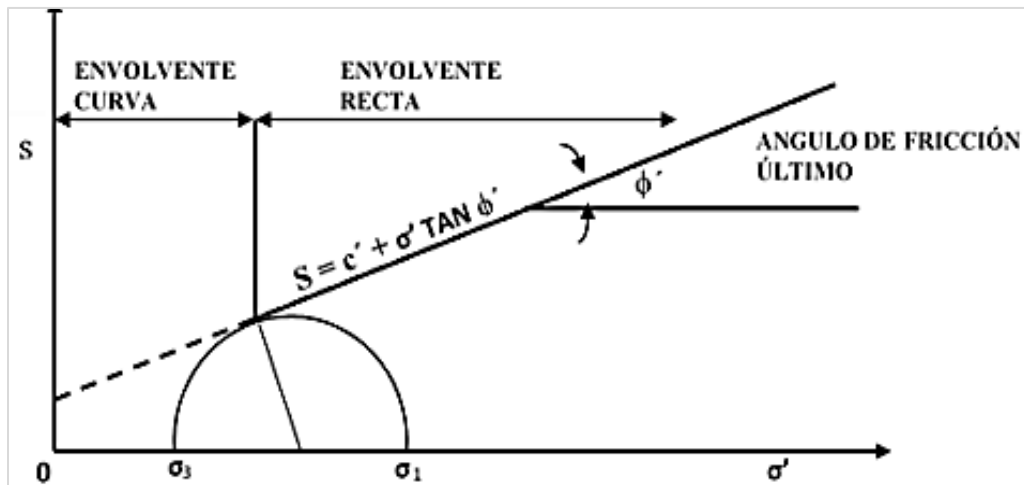


Figura 14. Envolvente de falla, criterio de Mohr-Coulomb.

Fuente: Suarez (1998).

Dentro de las **Metodologías para el Análisis** de las condiciones de equilibrio, se encuentra el Método de equilibrio límite, el cual durante mucho tiempo se ha realizado estudios de los movimientos de los taludes empleando esta metodología, Suárez (1998) agrega que este necesita datos tales como la resistencia del suelo. El estudio en el método de equilibrio límite se logra o se aplica en la totalidad de la longitud de la superficie de falla. Actualmente existen software que son fáciles de utilizar, ya que en la antigüedad se utilizaba por medio de sistemas de dovelas desarrollados a inicios del siglo XX.

Método de Bishop simplificado: Propuesto por Bishop en 1955, estudia la rigidez de un talud con superficie de falla de tipo circular, tomando en cuenta el resultado de las fuerzas entre dovelas. Ya que es un método de dovelas, el volumen del macizo que se desliza se debe dividir en “n” bandas verticales, de modo de analizar los esfuerzos e instantes implicados en cada una de las porciones definidas y obtener así el factor de seguridad de acuerdo al caso.

Método de Janbú: El método simplificado de Janbú ocurre a partir de la consideración de que los esfuerzos entre dovelas son horizontales y estas no toman en consideración los esfuerzos de cortante. Janbú examina que las áreas

de falla no sean circulares obligatoriamente y plantea un factor de corrección que depende de la curvatura e el área de falla.

**Factor de seguridad:** Es manejado para determinar el coeficiente que fuerze a fallar un talud debido a las condiciones de comportamiento del diseño de la estructura. Suárez (1998) cita a Fellenius como el autor que demuestra el vínculo que posee la verdadera resistencia al corte con los esfuerzos que intentan originar la falla sobre una supuesta extensión propensa a ella.

$$F.S = \frac{\textit{resistencia al corte}}{\textit{esfuerzo cortante}}$$

*Fórmula 27.* Factor de seguridad.

En general, la mayor parte de los métodos de análisis que admiten un principio de “equilibrio limite” se complace sobre toda la superficie dada, el criterio de falla propuesto por Coulomb, como se ve en la tabla 9.

En estos casos, se examina un sólido libre donde se equilibra las fuerzas que intervienen y resisten a la falla, es por eso que en el cálculo de esa fuerza que aguante, se compara con la que dispone el material (suelo o roca) obteniendo así el factor de seguridad.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Este estudio según las peculiaridades y objetivos propuestos, se ajustó al tipo de investigación cuantitativa con un diseño explicativo, el cual tuvo como finalidad identificar el vínculo que le permite a ambas variables relacionarse, permitiendo así que el proceder de una sea explicado en función de la otra, así lo afirma Hernández, Fernández y Baptista (2010). Dicho esto, se fundamentó la investigación en explicar cómo el diseño de un sistema de drenaje favorecerá al control sobre la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **3.2.1. Definición conceptual**

- Sistema de Drenaje, según Herrera (2009) define esta variable independiente como aquel conjunto de instrumentos cuya finalidad es captar, dirigir y acumular las aguas producidas por consecuencia de los periodos de lluvias, evitando que estas lleguen a afectar la morfología y características de los cuerpos receptores, en este caso los taludes, preservándolos de la erosión, saturación y variaciones en la calidad física y química de los materiales, los cuales son efectos causados por este tipo de eventos.
- Estabilidad de Taludes, es cierta característica otorgada cuando las fuerzas resistentes y actuantes a los deslizamientos de estos se encuentran en equilibrio, por lo que en el diseño de estas estructuras de masa que poseen una superficie externa inclinada de forma natural o artificial, se debe analizar la probabilidad de falla ante los factores que alteren dicho equilibrio, así describe a esta variable dependiente la revista Seguridad Minera (2018).

Se consideró en la matriz de operacionalización de variables lo antes descrito.  
(Ver Anexo N° 03)



### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

En esta investigación, la población de estudio se conformó por todos los sectores que pertenecen a la cantera Las Tres Tomas. Por conveniencia se usaron:

- Criterios de inclusión
  - Sectores que se componen en su extensión por bancos de producción.
  - Sectores donde se extraen agregados de construcción.
- Criterios de exclusión
  - Sectores que no estén compuestos por taludes naturales.
  - Sectores que no sean inestables durante épocas de mayor precipitación pluvial.

#### **3.3.2. Muestra y muestreo**

Estuvo conformada por el sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, donde el tipo de muestreo fue no probabilístico.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En el informe de investigación se aplicó las siguientes técnicas; de gabinete y de campo.

#### **3.4.1. Técnica de gabinete**

Conocida también como técnica de investigación documental, esta contribuyó a la realización de la búsqueda de datos bibliográficos para luego examinarlos. Se utilizó en un primer plano para disponer de los estudios dentro de las plataformas digitales en la elaboración de las teorías relacionadas al tema y al determinar las causas – evidencias en la realidad problemática, como lo indica la Secretaria de Marina (2013).

Asimismo, se empleará como instrumento el uso de citas, ya sean textuales o parafraseadas, en base al sistema ISO, permitiéndose encontrar a los autores de repositorios y sitios distinguidos en la red de donde fue obtenida

la información, teniendo como fuente principal libros y artículos de revistas, los cuales son totalmente accesibles de forma online y gratuita.

### **3.4.2. Técnica de campo**

Arcaya, González y Rodríguez (2012) indican que es un procedimiento que permite obtener información de fuentes primarias, recopiladas de forma empírica en un ambiente determinado, es por eso que se recurrió a esta técnica permitiendo al observador relacionarse de forma directa con el objeto de investigación, logrando construir por sí mismo la realidad de estudio. En el reconocimiento de campo se manejó la técnica de observación sistemática.

- **Técnica de observación sistemática**

Se encontró parametrada a ciertos indicadores y estuvo basada en contemplar de manera ordenada, algún hecho, situación o fenómeno acontecido en un entorno rotundo; justamente lo detalló así Arias (2006). Para ello se recurrió al instrumento como fue la guía de observación, por medio del cual se recolectó datos y tendrá como objetivo vincular dicha información con las variables del problema halladas. (Ver Anexo N° 05)

- **Guía del levantamiento topográfico**

Esta herramienta fue desarrollada con la finalidad de determinar la posición del área vulnerable al deslizamiento sobre el sector, representándolo a escala en un plano mediante la toma de puntos y coordenadas, en donde se identificara las cuencas y micro cuencas, que en épocas de mayor precipitación dirigen el agua hacia la zona propensa, por lo que es vital conocer las características geológicas del material de cada una de ellas, lo que es indispensable para conocer de qué forma afectara el agua al sector.

- **Guía de precipitaciones máximas**

Con ayuda de este instrumento se recopiló, de las estaciones pluviométricas cercanas a la zona del área representativa, los datos hidrometeorológicos a través de registros inventariados por SENAMHI en el transcurso de los últimos 25 años, lo cual apporto a los parámetros

hidrológicos necesarios en esta investigación para estimar el caudal en el que debe estar basado la estructura de drenaje.

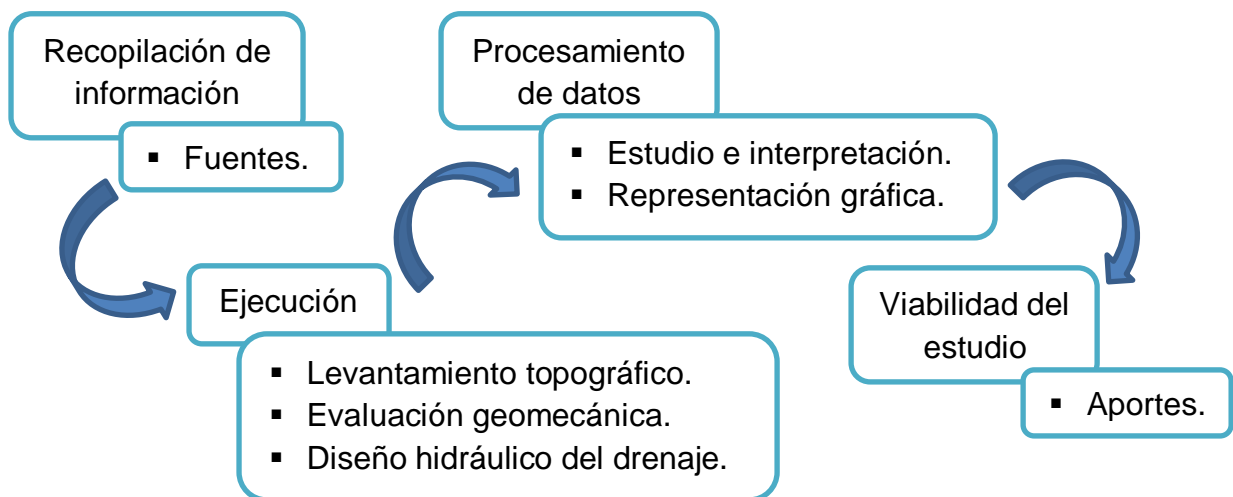
– Guía de campo

Esta clase de guía de observación facilito la obtención de información in situ sobre el sector de interés en este estudio, apoyándose en tablas representativas y geomecánicas que contribuyeron al conocimiento del material que lo conforma, indicando sus características físicas, permitiéndonos conocer el comportamiento de las discontinuidades y sus dimensiones en la estructura. Además, esta guía ayudo a orientar sobre el método más preciso para poder analizar la estabilidad del sector, teniendo en cuenta las pautas descritas que encuadran dentro del concepto del equilibrio limite.

La validez y confiabilidad de los instrumentos empleados fue dada mediante la evaluación de expertos los cuales en base a su criterio dejaron evidencia de esto. (Ver Anexo N° 06)

### 3.5. Procedimientos

#### 3.5.1. Flujograma



#### 3.5.2. Detalles

- Recopilación de información sobre los procesos

El diseño del sistema de drenaje seleccionado fue efectivo, porque se basó en la experiencia de otros investigadores, tomando como fuente sus

estudios realizados, los cuales se encuentran en espacios online confiables (CONCYTEC, SCOPUS, WOS).

- Ejecución del procedimiento

Teniendo los datos y sabiendo que hacer con ellos, se empezó por:

- Levantamiento topográfico

Lo básico fue delimitar el área propensamente inestable del sector, por eso fue necesario el uso del GPS navegador Garmin eTrex 30X, debido a su fácil movilización en terrenos de difícil acceso. Por medio de esta técnica se pudo verificar los problemas de drenaje presentes en el objeto de estudio y su específica composición geológica.

- Evaluación geomecánica

Se conoció la resistencia que posee el material ante el eventual problema observado, empleando tablas geomecánicas que especificaron ciertos parámetros, los cuales en conjunto ayudaron estimar esto. La alternativa más fácil y rápida elegida fue la clasificación  $RMR_{89}$  de Bieniawski, esta permitió calcular in situ la calidad del macizo sin necesidad de tomar muestras y llevarlas a laboratorio. Es cierto que no señalo todas las características del elemento, pero por darle más confiabilidad a este instrumento fue que se combinó con tablas referenciadas de ensayos más completos, realizados por otros autores, al mismo tipo de roca, por lo que nos basamos en sus resultados también.

- Diseño hidráulico del drenaje

Lo primero que se hizo fue ver que estaciones meteorológicas se encuentran cercanas al sector para poder acceder a sus registros de precipitaciones anuales máximas en un día, y de ese modo se trabajó con estos datos en el cálculo del caudal que podrá soportar el drenaje diseñado, también se tuvo en cuenta los diferentes factores hidrológicos. Toda la información fue facilitada por organismos públicos que brindan un servicio al usuario de manera virtual o presencial; la ubicación de las estaciones fue hallada en GEOCATMIN un servicio de información georeferenciada desarrollado por INGEMMET y los antecedentes de lluvias fueron entregados por SENAMHI.

- Procesamiento de los datos obtenidos

Ya reunido toda esta información, fue fundamental tratarla para la obtención de los resultados en cada objetivo planteado, por lo que el uso de varios software agilizaron este proceso, comenzando con:

- Estudio e interpretación de la data

Las precipitaciones al ser una variable aleatoria, toma distintos valores a lo largo del tiempo, por lo que se evaluó esta información que dio lugar a errores sistemáticos al inventariarse, comprobando así la poca confiabilidad. Para ello se usó la herramienta de Microsoft Excel en el análisis estadístico de la data, ya que es el software más adecuado para estos casos, donde nos permitió verificar y corregir de forma rápida esa inconsistencia mediante gráficos, tablas y fórmulas, los que facilitaron a la interpretación de lo que fallo y cómo se solucionó este problema.

- Representación gráfica de los estratos y su comportamiento

Son varios instrumentos usados para este procedimiento, como el Google Earth Pro, el cual ayudó a ubicar en tiempo real los puntos y coordenadas tomados, además de capturar imágenes satelitales del sector, las cuales se procesaron en el Global Mapper 18 proporcionándonos sus curvas de nivel con sus respectivas cotas. Todos estos programas al poseer una herramienta de compatibilidad de archivos fueron almacenados con los del formato que posee el software AutoCAD Civil 3D para su fácil manipulación, en lo que favoreció a la elaboración del diseño eficiente obtenido en este programa mencionado.

En la cartografía tanto para la geología e hidrografía, del sector y su región a la que pertenece, se utilizó la información descargada de GEOCATMIN, la cual se manipuló por medio del programa ArcMap 10.5 que pertenece al conjunto de productos de software ArcGIS empleados en el campo de sistemas de información geográfica, conociendo con exactitud la estratigrafía del material, de la cual se explicó mejor su formación y sus propiedades.

En la simulación del análisis de estabilidad de taludes se introdujo los parámetros obtenidos del campo a Slide 6.0, el cual es un producto del Rocscience que permitió evaluar los problemas geotécnicos del sector, donde se eligió el método adecuado para el cálculo de equilibrio de las fuerzas, tomando en cuenta los factores que afectan dicha resistencia, los cuales fueron vistos en esta investigación.

- Viabilidad del estudio

Se tomó en cuenta los pasos descritos anteriormente para este diseño óptimo, lo que permitió acertar en la elección del tipo de drenaje a usar, siendo el más adecuado debido a su ubicación en el sector, por lo que este sistema de drenaje planteado se adaptó a las necesidades del diseño de explotación que emplea la empresa y así no entorpecerá las labores, además este drenaje fue proyectado desde un punto de vista económico para evitar gastos innecesarios en ensayos costosos, instalación y mantenimiento, pero el principal aporte está dado en que controlara los efectos inestables producidos por periodos prolongados de lluvia y el agua que produce esta, eligiendo este método de estabilidad por encima de otro con la única razón de que si no se trata primero la presión intersticial o la erosión del sector, cualquier otro sistema de refuerzo será en vano, ya que este método trabaja en conjunto para aumentar los parámetros de resistencia del material, por lo que un sistema de drenaje es la base fundamental en la estabilización de taludes.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En esta fase de dicha investigación, fue necesario tener en cuenta que métodos fueron los adecuados para determinar cómo se deben analizar los datos obtenidos. Entre los cuales tenemos:

- Método analítico: Es aquel que permitió conocer minuciosamente al objeto de estudio, para poder comprender mejor su esencia y estudiar la relación entre sí de cada uno de los elementos de los que se descompuso todo un fenómeno o hecho, así lo detallo Ruiz (2006).
- Método sistémico: Cabrales (2011) puntualiza que la investigación por sí misma posee sus propias reglas, y en base a estas se insta un sistema que

permite entender las partes que conforman un hecho dado y la manera en que funcione cada una de ellas.

- Método estadístico: Este método dependió directamente del diseño de investigación seleccionado, debido a las características que adopta esta serie de procesos que administraron los datos numéricos del estudio, los cuales tuvieron como propósito comprobar la realidad de las consecuencias deducidas por la hipótesis planteada; esto fue acorde con lo expuesto por Reynaga (2015).

### **3.7. Aspectos éticos**

En la filial de Chiclayo, la Universidad César Vallejo, establece principios acordes a la esencia de lo que trata la investigación, y son por esos fundamentos que los aspectos éticos que se tomaron en cuenta son:

- Empleo de fuentes de orientación: Tuvo como finalidad destacar el esfuerzo de los distintos autores mediante el uso de las textuales o no, de todas las fuentes de donde se obtuvo información, detallando los datos completos en las fichas bibliográficas empleadas.
- Objetivos concisos en el estudio: Los objetivos son los que ayudaron a ver hacia donde estaba orientada la investigación, por lo tanto debió mostrarse de forma clara y precisa desde el principio del trabajo de investigación.
- Veracidad en la obtención de datos: En el estudio se manifestó los problemas y sus causas tal cual fueron mostrados, evitando que el análisis que podamos darles, distorsionen la realidad en la que se presentó.
- Confidencialidad: Es importante reservar aquellos datos de naturaleza científica y más si son los mismos autores quienes exigieron que se respete dicha información y sea tratada con el debido cuidado.
- Ahondar en el avance del tema: El principal propósito fue que se debió tener un dominio completo del tema de investigación, se logró mediante la indagación creando diferentes puntos de vista entre el lector y autor, formando nuevas hipótesis en el estudio realizado.

#### **IV. RESULTADOS**

En este apartado se puntualizaron los resultados obtenidos de cada objetivo específico:

4.1. Especificación de las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector.

A través de observaciones de campo se dedujo que el sector Caolín es propenso a la inestabilidad debido a los cortes rudimentarios productos de la extracción de este agregado, la cual empeoraría su condición durante épocas de mayor precipitación pluvial, por lo que se delimitó el área vulnerable, mediante el levantamiento topográfico, en el cual se tomaron 25 puntos a lo largo del terreno obteniendo sus coordenadas UTM a través del GPS navegador Garmin eTrex 30X, las cuales obtuvieron un margen de error de +/- 3 metros.

El recorrido total fue de un aproximado de 500 metros dado que las distancias entre cada punto tomado fue de 20 metros. El datum utilizado fue el WGS84, ubicando al sector en la zona 17M.

Para confirmar esto, se transfirieron los datos de la ficha técnica N° 01 a hojas de Excel para poder ser importados al programa AutoCAD Civil 3D, especificando el este y norte con sus respectivas alturas, elaborando un polígono que represente al área mencionada.

Dicho archivo se exportó al formato con el que trabaja Google Earth Pro, obteniendo la siguiente imagen:



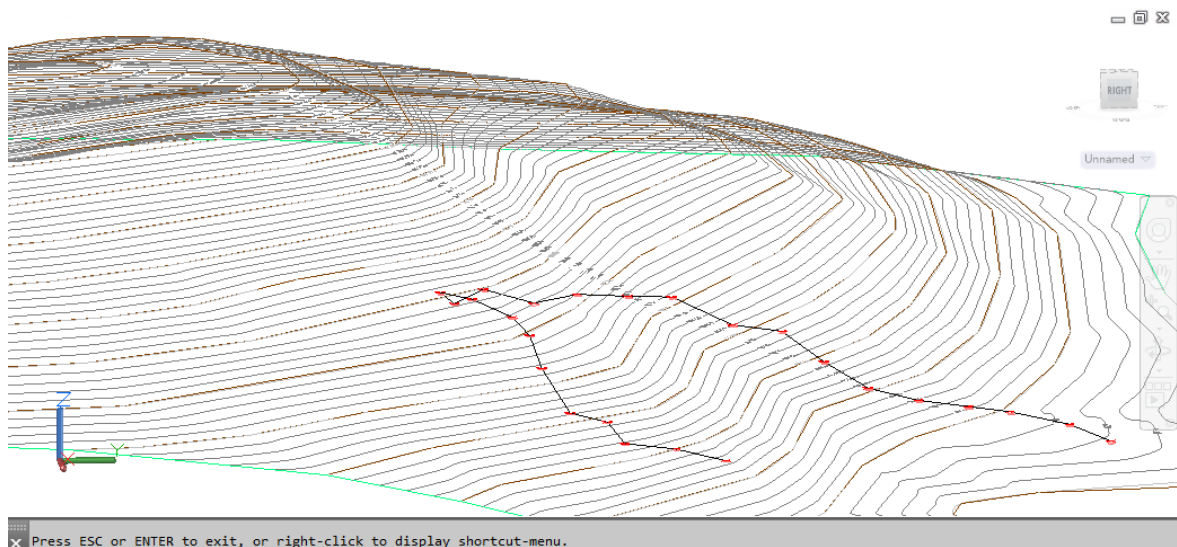


*Figura 15.* Perfil de elevación del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a las herramientas que posee este último programa, se proporcionó el perfil de elevación del levantamiento topográfico comprobando que la distancia real del recorrido fue de 472 metros, donde la altura máxima del área vulnerable es de unos 136 metros con una inclinación del 39.5 %.

Para obtener un modelo más manejable de la topografía, se proyectó en tres dimensiones todo el sector, para lo que fue necesario elaborar las curvas de nivel con ayuda del Global Mapper, el cual proporciona estas con un intervalo de 10 metros al tan solo insertar una captura satelital tomada desde el Google Earth Pro. Aquí se observó que la cota máxima es de 200 y la mínima de 60 m.s.n.m. donde las líneas menores se separan en intervalos equidistantes de 2 metros de altitud. Por lo tanto la profundidad del pit final del yacimiento según el método de extracción que realizan, será de unos 140 metros.



*Figura 16.* Modelamiento 3D del sector junto al levantamiento topográfico.

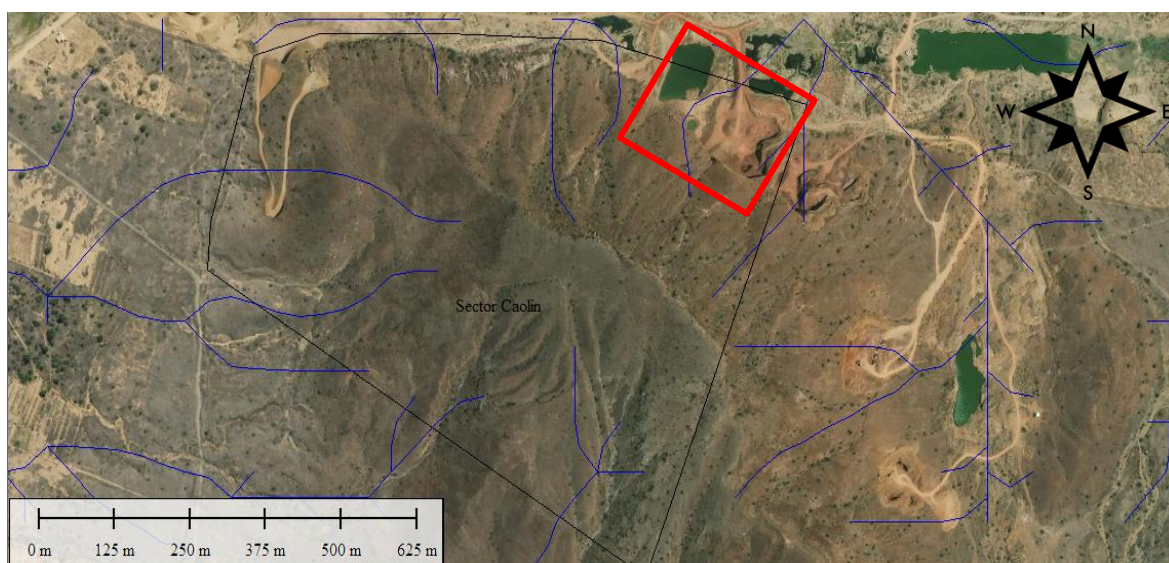
Fuente: Elaboración propia.

Esta área delimitada es definida como una cuenca aportante a causa de la modificación del terreno por la extracción de este material, donde el talud de corte conformado por una altura de 32 metros y una pendiente de 65%, equivalente a un ángulo de  $37^\circ$ , es el principal riesgo de inundación e inestabilidad, por lo que se identificaran los cauces de agua que fueron seccionados por esta obra, la cual al presentar una pendiente pronunciada se convierte en una estructura vertiente. Para ello se realizó la cartografía correspondiente en el software ArcMap tomando la información del INGEMMET, en específico del servicio georeferenciado GEOCATMIN, y de esta forma saber los detalles de estas unidades hidrológicas, lo cual está plasmado en las figuras 33, 34.

En base a esto, nos especifica que el sector se encuentra dentro de la región hidrográfica del Pacífico, es decir que a través de este conjunto de cuencas vertientes, las redes de cauces (ríos) desembocan las aguas al océano Pacífico y su característica principal es que posee recorridos cortos, pero con caudales irregulares, ya que descienden de aproximadamente unos 5000 de altitud. Desde un punto de vista más local, se observa que la microcuenca principal en la que se posiciona el sector es la intercuenca 137771, la cual es un área que comunica el tránsito de las aguas en unidades hidrológicas superiores hacia las inferiores, así lo declara La Comunidad Andina (2008). Esta microcuenca suele sufrir grandes crecidas en verano, mientras que en invierno u otra estación se queda inactiva,

confirmando la versión obtenida en la realidad problemática de la comunidad de Manuel Antonio Mesones Muro.

Para beneficio del diseño del sistema de drenaje a realizar, se analizó el sector mediante una herramienta del Global Mapper, donde se identificaron seis cursos de agua que fluyen en sentido noreste hacia el área vulnerable, las cuales para ser redirigidas será necesario implementar un drenaje superficial, por lo que se irá confirmando esta teoría más adelante en nuestra investigación.



*Figura 17.* Cauces de agua dirigidos hacia el área vulnerable del sector.

Fuente: Elaboración propia.

Con ayuda del mapeo geológico a nivel nacional brindado de la data de GEOCATMIN, se ubicó la región y localidad donde se encuentra el sector Caolín, especificando cada una de las formaciones que convergen con ellas junto al detalle de sus columnas estratigráficas, expresado en las figuras 35, 36 y 37. Según el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2017) preciso que el distrito de Ferreñafe está asentado en un gran manto de sedimentos debido al arrastre del río que pasa por ahí, el cual se deposita en una matriz areno limosa de forma angulosa o sub-angulosa presente en las cuencas y en las laderas existen sedimentos arcillosos detríticos formados por la erosión eólica o pluvial.

Al importar el levantamiento topográfico dentro del plano geológico desarrollado en ArcMAP, se encontró que este sector pertenece al eratema del mesozoico,

específicamente al sistema cretácico de serie inferior presentando rocas sedimentarias de origen marino – continental. Esta interpretación fue tomada de la leyenda y de la tabla de atributos del software, como se visualiza en la siguiente imagen:



*Figura 18.* Atributos del polígono que representa a la unidad litoestratigráfica en que se encuentra el levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia.

Para saber la descripción litológica exacta fue necesario ubicar los puntos en el GEOCATMIN, como se observa en la imagen 19, donde se constató que el sector Caolín pertenece a las unidades morfoestructurales de la cordillera occidental y oriental en la principal columna estratigráfica de la Región Lambayeque-La Libertad-Cajamarca. Se pudo notar que el área vulnerable esta sobre el Grupo Goyllarisquizga (Ki-g) la cual, según INGENMMET, yace sobre una acentuada cadena de cuarcitas blancas agrupadas en bancos de 2-3 metros de grosor, con granulometría de media a gruesa, los cuales en su parte inferior exhiben laminaciones oblicuas por la erosión eólica en roca sedimentaria, que van subiendo hasta posicionarse sobre una reunión de gruesas masas fluviales alteradas de cuarcita que presentan una coloración rojiza. Además la parte superior del Grupo Goyllarisquizga entra en contacto con la Formación Inca, por lo



que también se manifiestan areniscas y lutitas de contenido ferruginoso, por eso tienen ese color marrón rojizo o naranja.

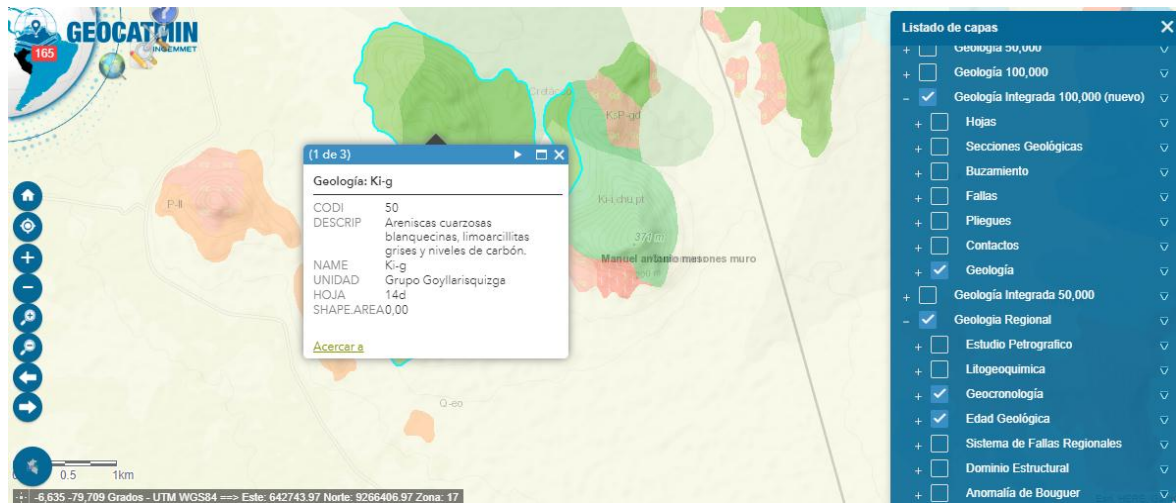
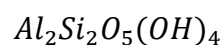


Figura 19. Detalles geológicos del área vulnerable.

Fuente: GEOCATMIN, 2019.

La información brindada por la empresa Planta Chancadora Piedra Azul S.R.L. va acorde con este resultado dado que al observar macroscópicamente en la cara libre del talud de corte identificaron que los principales componentes mineralógicos son cuarzo, caolinita, feldespatos, donde los componentes químicos presentes son  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  los cuales coinciden con la mineralización de un yacimiento hidrotermal cuyo génesis es por alteración.

Según Gaibor (2016) arguye que el caolín se origina por la descomposición de las rocas feldespáticas, siendo un silicato de aluminio hidratado con gran contenido de caolinita, cuya fórmula es:



Fórmula 28. Fórmula química de caolinita.

Además este autor añade que la degeneración del feldespato se da por la lixiviación total de componentes alcalino-térreos y lixiviación parcial de sílice, además de la cristalización de la caolinita. Todo esto es causado por dos tipos de fluidos presentes en la disolución como el agua superficial o soluciones hidrotermales, los cuales actúan en el proceso lavando la roca madre de forma ascendente y descendente.

4.2. Identificación de los parámetros de resistencia en el material del sector mediante su caracterización física y comportamiento geomecánico.

En la siguiente visita de campo se verificó que el área vulnerable del sector Caolín presenta una estructura de corte a causas de la extracción de este agregado y que a la vez esta presentaría problemas en su estabilidad en temporadas de precipitaciones. En el sector de estudio se detalló que la roca presente en el talud es de tipo sedimentaria, el modo de falla es traslacional, ya que sus estratos son poco resistentes y están ubicados en poca profundidad, el movimiento en masa que se produce a causa de esta falla son los deslizamientos de roca, el cual es accionado en periodos de precipitaciones altas. Para ello se averiguó los parámetros de resistencia que posee dicha área vulnerable en general, se utilizaron las tablas de clasificación geomecánicas  $RMR_{89}$  elaborada por Bieniawski las cuales fueron incluidas a la ficha técnica N° 02, donde lo primero que se hizo fue identificar el comportamiento geomecánico el cual está dividido en parámetros de resistencia a la roca intacta, la cual se obtuvo con la utilización de la picota de geólogo según las especificaciones de la tabla 8, donde la roca se fracturó al ser golpeada una sola vez con esta herramienta y fue difícil descostrarla con la punta, mediante esto se verificó como se observa en la imagen 20, que esta roca es de clase 3 con resistencia moderada de unos 25 -50 MPa de resistencia uniaxial y un índice de carga puntual de 1-2 MPa obteniendo el primer rango de valor de 4.



*Figura 20.* Resistencia de la roca intacta usando la picota de geólogo.

Fuente: Elaboración propia.

El segundo parámetro calculado fue el RQD obtenido de forma empírica por el método de metro lineal planteado en la fórmula 24, tomando un metro de la cara del talud que presente más discontinuidades donde se visualizaron 10 fisuras dentro de esta medida en las que respectivamente poseen diferente espaciado del cual se promedió en 0.86 cm. Según la fórmula 25, especifica que el coeficiente  $\lambda$  obtenido de la división del número de fisuras entre el promedio del espaciado de cada uno es de 11.6 donde al reemplazarlo el porcentaje de RQD in situ resultante es de un 68% teniendo una valoración dentro de la tabla geomecánica de 13.

$$RQD = 100e^{-0.1(11.6)}(0.1 * 11.6 + 1) = 68\%$$

$$\lambda = \frac{10}{0.86} = 11.6$$

En base al proceso anterior como se observa en la imagen 21, se verificó que el tercer parámetro del espaciado de las diez discontinuidades tomadas dentro del metro lineal no sobrepasan los 6 cm siendo de valor 5 en el instrumento elaborado.



*Figura 21.* Empleo del método del metro lineal y espaciado de las discontinuidades.

Fuente: Elaboración propia.

En la cuarta variable del estudio de las discontinuidades se reconoció que la longitud de estas posee una medida de 16 metros encajando dentro la valoración



1 que pertenece dentro del rango de 10-20 metros. Lo siguiente fue la abertura que tiene una dimensión de 5 mm obteniendo un valor de 1, ya que se encuentra dentro la categoría de 1-5 mm.



*Figura 22.* Longitud y abertura de las discontinuidades.

Fuente: Elaboración propia.

Se llegó a concluir que la rugosidad es de tipo ondulada ya que al rozarla con el dedo se logró sentir ciertas estrías en el afloramiento rocoso por lo que tiene un valor de 1 en la clasificación geomecánica. Se constató que el relleno de cada fisura era blando y de longitud menor a 5 mm por lo que se le otorgó un valor de 2 según la tabla. Igualmente con la alteración al ser un material producto de la erosión de feldespatos como lo es el caolín se dedujo que el valor otorgado sea de 1 en el que encajan rocas muy alteradas. Finalmente el flujo de agua por las juntas se verificó que la condición general del sector es ligeramente húmedo por lo que se le dio un valor de 10 dado que presenta evidencias de haber sido afectado por fuertes precipitaciones las cuales aún son notables debido a la formación de una pequeña laguna la cual no desaparece debido a que el material de mayor proporción es semipermeable y sin vegetación por lo que la evaporación de estas aguas es lenta a pesar de las condiciones climáticas de Manuel Antonio Mesones Muro que suelen ser calurosas.



Ya teniendo todos los valores de los parámetros asignados por Bieniawski se procedió al cálculo de los parámetros geomecánicos mediante las siguientes fórmulas 23, 21 y 22, previamente se sumaron estos valores obteniendo:

$$RMR = 4 + 13 + 5 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 10 = 38$$

Se obtuvo la cohesión y el ángulo de fricción, hallados a partir de este resultado el cual se reemplaza a continuación:

$$C = 5x(38) = 190 \text{ KPa} \quad \phi = 5 + \frac{38}{2} = 24 \text{ deg}$$

Pero dado que la estructura se forma a partir de estratos como se detalló en la geología del resultado anterior se procedió a verificar mediante la tabla 1 como referencia en los ensayos de laboratorios calibrados realizados por Legos y Mego (2019), quienes obtuvieron los parámetros físicos y mecánicos de cada material como se detalla a continuación en la siguiente lista:

**Tabla 1.** *Parámetros físicos y mecánicos del agregado en la cantera Las Tres Tomas.*

Material	Permeabilidad	Porosidad	Peso Específico	Cohesión	Fricción
Cuarcita blanca alterada	3 – 3400 mm/ día	0.5 – 2 %	2600 Kg/m <sup>3</sup>	10 MPa	40°
Caolín	0 – 0.002 mm/día	-	1.72 Kg/m <sup>3</sup>	0.047 MPa	36°

Fuente: Legos y Mego (2019).

Además estos autores precisan que el caolín generalmente es de color blanco, pero puede variar por las impurezas, su dureza es de dos en la escala de Mohs, su brillo es terroso mate asimismo pertenece a la categoría de minerales filosilicatos con un sistema cristalino triclinico de exfoliación perfecta y fractura astillosa.

En cambio la cuarcita blanca y alterada varía de gris, amarillo, blanco y rojo también a causa de las impurezas, este mineral posee una dureza de seis a siete con un brillo vítreo, cuyo tipo básico de roca es metamórfica que pertenece al grupo de las calizas y cuarzos con una estructura cristalina endentada y entrelazada de fractura astillada.

4.3. Determinación de los factores meteorológicos e hidrológicos en el sector para la obtención del diseño hidráulico de cualquier sistema de drenaje.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) recomienda que para predecir eventos hidrometeorológicos, el registro de precipitaciones debe ser de 25 años de recojo en información histórica, los cuales brindaran una mayor confiabilidad en el análisis pluviométrico.

Fundamentando la recopilación de datos en este argumento se tomó los registros de lluvias de similar cronología en la estación Ferreñafe, esta fue elegida dado que se encuentra aproximadamente a unos 17 km del objeto de estudio, siendo la más cercana, así se constató en el servicio georeferenciado GEOCATMIN.

Para obtener acceso a estos datos fue necesario presentar distintos documentos al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), dichos datos fueron anotados en la ficha técnica N° 03 observando datos faltantes en 5 periodos del listado, para ello se pretendió estimar la ausencia de estos, tomando como índice de correlación los datos de la estación vecina de Lambayeque, la cual se encuentra a 28 Km de separación, una distancia relativamente corta en comparación con las demás, tal como se muestra en la siguiente figura:

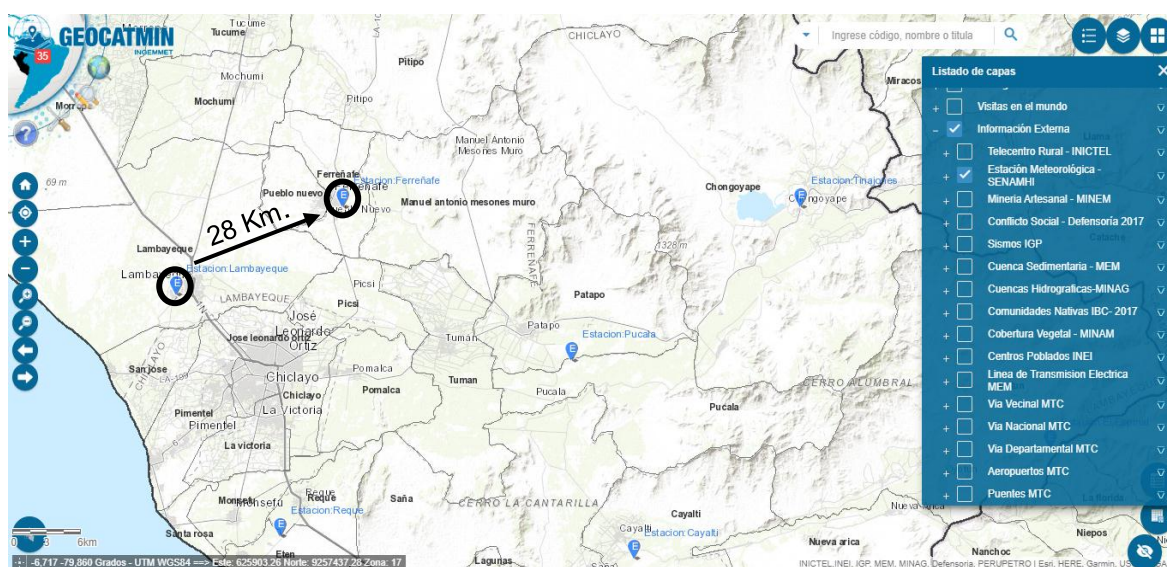
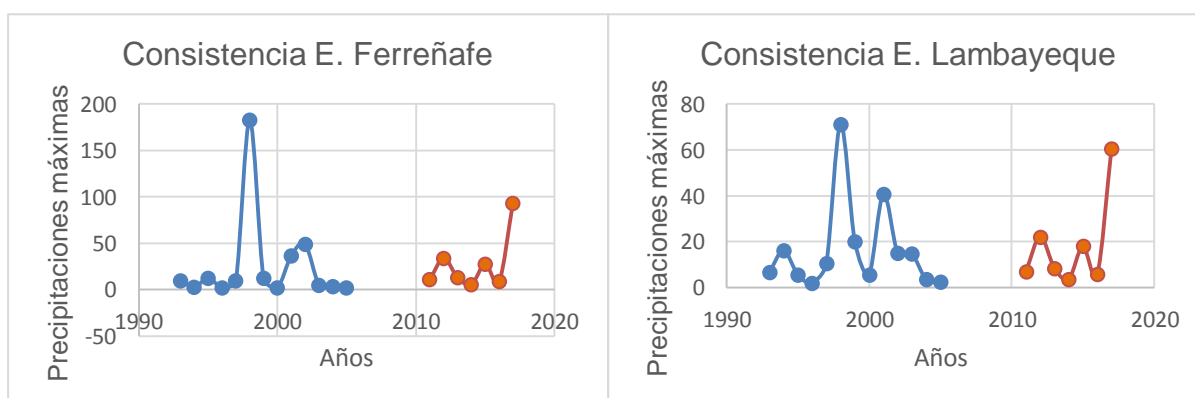


Figura 23. Ubicación y distancia de las estaciones pluviométricas elegidas.

Fuente: Elaboración propia.

Pero antes de empezar a completar los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas promediadas de forma anual en cada una de las estaciones, se realizó un análisis visual-gráfico respectivamente donde se observó la presencia de picos altos en algunos periodos por lo que se comprobó estadísticamente la consistencia de estos resultados tanto en la media como su desviación estándar, usando la funciones del Microsoft Excel se agilizó estos procesos, dividiendo a las series hidrológicas de cada registro en dos submuestras, la primera de 13 y la segunda de 7, donde el vacío presentado en el gráfico 1 representan los datos faltantes.



**Gráfico 1.** Análisis de consistencia visual-gráfico de las estaciones pluviométricas.

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la prueba T de Student se verificó por medio de las fórmulas 1, 2, 3, 4 que el promedio de ambas estaciones son uniformes, ya que el valor crítico de las tablas es mayor al que se calculó en este procedimiento.

**Tabla 2.** *Análisis estadístico de las estaciones pluviométricas.*

Estación Ferreñafe	Datos 1	Datos 2
Promedio (mm)	25.5	27.7
Desviación Estándar (mm)	49.379857	30.8172092
Cantidad de datos	13	7
Varianza (D.E <sup>2</sup> ) (mm)	2438.370303	949.700381
Sp (adimensional)	44.06979686	
Sd (adimensional)	20.66023943	
T de Student (tc) (adim.)	0.105819864	
Tc en tablas (adim.)	2.10092204	(Valor crítico)
F de Fisher (Fc) (adim.)	2.567515346	
Fc en Tablas (adim.)	3.999935383	(Valor crítico)
Estación Lambayeque	Datos 1	Datos 2
Promedio (mm)	16.5	18.0
Desviación Estándar (mm)	19.481480	20.0103664
Cantidad de datos	13	7
Varianza (D.E <sup>2</sup> ) (mm)	379.5280769	400.4147619
Sp (adimensional)	19.65935668	
Sd (adimensional)	9.216448569	
T de Student (tc) (adim.)	0.159533215	
Tc en tablas (adim.)	2.10092204	(Valor crítico)
F de Fisher (Fc) (adim.)	1.055033306	
Fc en Tablas (adim.)	2.996120378	(Valor crítico)

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente con la prueba F de Fisher denotamos mediante las fórmulas 5, 6, 7 que la desviación estándar de cada estación es consistente, ya que similar al anterior proceso, los valores críticos tabulados son mayores a los calculados. Para mayor comprensión puede observar la tabla 2.

Una vez comprobada la confiabilidad de cada información histórica, se procedió a estimar los años que no presentan datos (NP) mediante la fórmula 8 usada del método de los promedios, donde las precipitaciones máximas en 24 horas faltantes de la estación Ferreñafe a partir del año 2006 al 2010 son:

**Tabla 3.** *Estimación de los datos meteorológicos faltantes.*

Año	Pmáx. Lambayeque (mm)	Pmáx. Ferreñafe (mm)	
1993	6.60	10.16	10.16
1994	16.10	2.90	2.90
1995	5.70	12.50	12.50
1996	2.00	2.30	2.30
1997	10.50	9.90	9.90
1998	71.30	182.80	182.80
1999	20.10	12.40	12.40
2000	5.70	2.10	2.10
2001	40.80	36.60	36.60
2002	15.20	48.90	48.90
2003	14.70	5.30	5.30
2004	3.60	3.60	3.60
2005	2.40	2.20	2.20
2006	11.80	NP1	19.78
2007	2.40	NP2	4.02
2008	11.70	NP3	19.61
2009	5.70	NP4	9.55
2010	19.70	NP5	33.02
2011	7.10	10.93	10.93
2012	22.10	34.04	34.04
2013	8.50	13.09	13.09
2014	3.70	5.70	5.70
2015	18.00	27.72	27.72
2016	5.80	8.93	8.93
2017	60.70	93.48	93.48
Promedio	15.68	26.28	24.46

Fuente: Elaboración propia.

$$xf = \frac{11.8 * 26.28}{15.68} = 19.78 \text{ mm}$$

Teniendo ya el registro completo, se procedió a estimar la proporción de las precipitaciones en eventos futuros, con la misma magnitud a la del Fenómeno del Niño sobre el área vulnerable, para ello se recurrió al método de Gumbel para ajustar esta distribución hidrológica, pero antes se averiguó los periodos en los que sucede este patrón climático, el cual altera las temperaturas en la parte central y oriental del Océano Pacífico, donde estas aguas superficiales se enfrían o calientan en ciclos de 3 a 7 años, así lo detalla el Comité encargado del Estudio

Nacional del Fenómeno El Niño (2019) mediante mapas históricos de lluvias en el que representan las anomalías de precipitaciones entre los años de 1973 hasta el 2017 especificando que este evento tiene mayor implicancia en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Además adjuntan que en los últimos cinco siglos ocurrieron 120 acontecimientos del Niño en el país. Por tal motivo se eligió el periodo de retorno de 100 años para ejecutar el modelo de probabilidad mencionado líneas arriba, donde el  $F(x)$  obtenido mediante la fórmula 10 fue de 0.990, el cual se reemplazó en la ecuación de Gumbel (fórmula 9) donde las constantes  $\mu$  y  $d$  encontradas en las fórmulas 11y 12 son de 7.0787 y 0.0332 respectivamente, ambas dependientes de la media y la desviación estándar.

$$N = 7.0787 - \frac{\ln(-\ln(0.990))}{0.0332} = 145.62 \text{ mm}$$

$$F(x) = 1 - \frac{1}{100} = 0.990 \quad \mu = 24.46 - 0.450047 * 38.62 = 7.0787$$

$$d = \frac{1}{0.779696 * 38.62} = 0.0332$$

Al realizar el cálculo se obtuvo que la precipitación máxima de 145.62 mm en el periodo de retorno de 100 años, los otros periodos con sus respectivas precipitaciones se puedan ver en la tabla 10.

Con la finalidad de saber específicamente cuanto lloverá en cada hora, se usó las proporciones en milímetros de este periodo de retorno elegido sobre la fórmula 13 hallando la precipitación de diseño en este ciclo con relación a su duración en minutos, obteniendo que la cantidad de lluvia sobre el sector será de 65.79 mm si esta durara una hora dentro de 100 años. Con este resultado también pudimos obtener la intensidad máxima de esta precipitación futura la cual será de 65.79 mm/hora al reemplazar la anterior cifra obtenida en la fórmula 14. Estos datos se pueden hallar fácilmente en el gráfico 2 de la curva de IDF mostrada junto a las tablas 11 y 12 de la precipitación de diseño e intensidad máxima de cada periodo de retorno.

$$Pd = 145.62 \left( \frac{60 \text{ min}}{1440} \right)^{0.25} = 65.79 \text{ mm} \quad I_{max} = \frac{65.79 \text{ mm}}{1 \text{ hr}} = 65.79 \text{ mm/hr}$$

Todo lo calculado hasta el momento se usó para determinar el caudal de avenida que soportara el sistema de drenaje, el cual se obtuvo mediante la fórmula 16 del método Racional, la cual especifica que puede usarse cuando el área de cuenca es menor de 10 km<sup>2</sup>, en este caso es de 0.02693 km<sup>2</sup>, la cual si se multiplica a la intensidad máxima de 65.79 mm/hr se obtendrá un caudal máximo de 0.32 m<sup>3</sup>/s al elegir un coeficiente de escorrentía de 0.65, ya que el área vulnerable del sector Caolín no presenta vegetación y las propiedades físicas del material son semipermeables por lo que se eligió este, según la tabla 5.

$$Q = 0.278 * 0.65 * 65.79 * 0.02693 = 0.32 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para hallar la concentración de aguas en la zona, se utilizó la fórmula 15 del método de Kirpich, por la cual se calculó que el intervalo de tiempo aproximado que demora en acumularse este fluido en la cuenca es de 0.74 minutos. Dado que la longitud total del cauce entre la cota máxima y mínima es de 71 m y la pendiente en la vertiente es de 0.395, expresada sin porcentaje.

$$T_c = 0.01947 * 71^{0.77} * 0.395^{-0.385} = 0.74 \text{ min.}$$

La velocidad del fluido que recorrerá el sistema de drenaje construido en los cauces, será de 1.43 m/s fue calculada al haber reemplazado los parámetros hidráulicos de la pendiente de 0.395 y un radio de flujo de 0.0084 m (fórmula 18), este último hallado al despejar la fórmula 19.

$$P_e = \frac{65.79 \text{ mm}}{0.65} = 101.2 \text{ mm} \approx 0.1012 \text{ m}$$

$$A = 1 \text{ m} * 0.1012 \text{ m} = 0.1012 \text{ m}^2 \quad p = 1 + (2 * 0.1012 \text{ m}) = 1.2024 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.1012}{1.2024} = 0.0084 \text{ m}$$

Donde la fórmula 17 usada por Manning, brinda un coeficiente de rugosidad de 0.025 elegido por ser el valor medio del revestimiento sobre el sistema de drenaje que pueda resistir la rapidez del caudal trayendo consigo arenas, gravas o fragmentos de rocas, como se expresa en la tabla 6.

$$V = \frac{1}{0.025} * 0.0084^{0.6} * 0.395^{0.5} = 1.43 \text{ m/s}$$

4.4. Cálculo del factor de seguridad ante las condiciones de equilibrio presentadas por el sector.

Mediante las herramientas brindadas por el software Slide 6.0 se simuló las condiciones descritas en el resultado anterior, donde estas constantes permitieron determinar el factor de seguridad usando los métodos simplificados de Bishop y Janbu, obteniendo un resultado de 0.834 y 0.849 respectivamente. El primer paso a realizar fue ingresar las coordenadas al software que fueron obtenidas del levantamiento topográfico y de la vista en perfil de elevación de este, como se especifica en la siguiente imagen:



*Figura 24.* Perfil de elevación usado para realizar la simulación en Slide 6.0.

Fuente: Elaboración propia.

Esta detalla la cota superior de 136 m.s.n.m. y la inferior de 65 m.s.n.m. del área vulnerable con una distancia horizontal de 260 m, pero la altura del talud de corte es de 32 metros con una pendiente de 65% equivalente a  $37^\circ$  donde la distancia de los estratos se dedujo a través de la observación de campo donde la cara libre del talud nos facilitó esta idea.





*Figura 25.* Distancia de los estratos expuesta en la cara libre del talud de corte.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo la figura del talud de acuerdo a los puntos ingresados en el software, dentro de este se agregó el material, ya que está compuesto por caolín y cuarcita blanca - alterada, los parámetros físicos de estos materiales se encuentran detallados en la tabla 1. De acuerdo a estos parámetros se asignaron los respectivos colores a estos para luego proceder a aplicar las cargas según el tipo de equipo que se encargue de extraer el material en este caso es la excavadora modelo 330 CL que tiene un peso de 35 toneladas como se menciona en sus especificaciones técnicas y para ser aplicadas se tuvo que convertir a  $\text{KN/m}^2$  obteniendo como un valor de 343. En la siguiente visita de campo se ejecutaron diferentes calicatas para poder diseñar el nivel freático de la estructura donde la profundidad de este varía entre 1 y 2 metros.

A partir de estos resultados se comprueban que las condiciones establecidas en el área vulnerable a lo largo de esta investigación influyen en la característica geotécnica de esta estructura como se presenta en el análisis desarrollado:

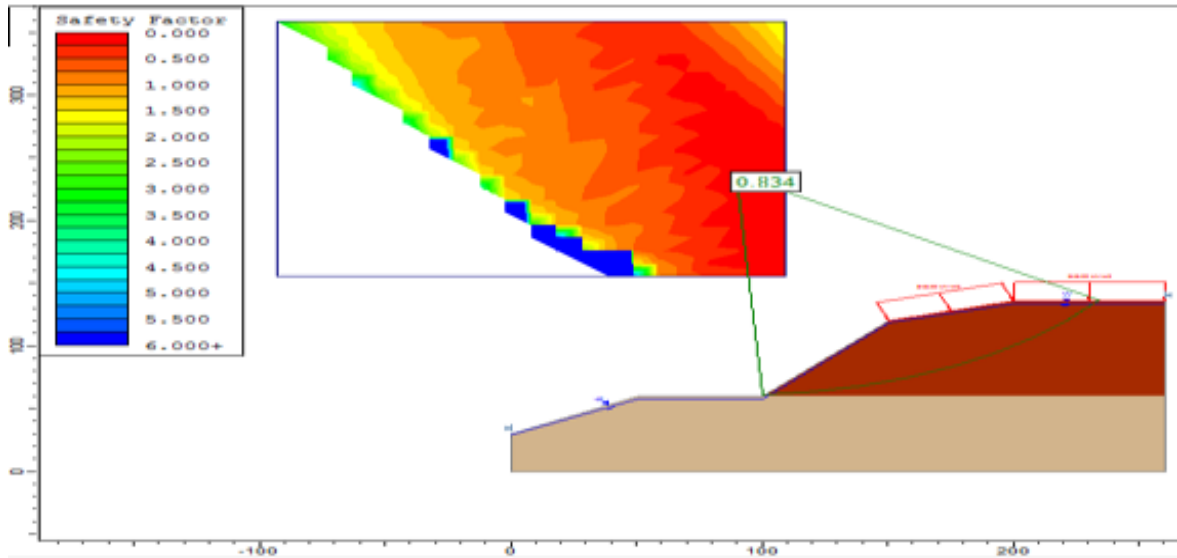


Figura 26. Factor de seguridad calculado con el método de Bishop.

Fuente: Elaboración propia.

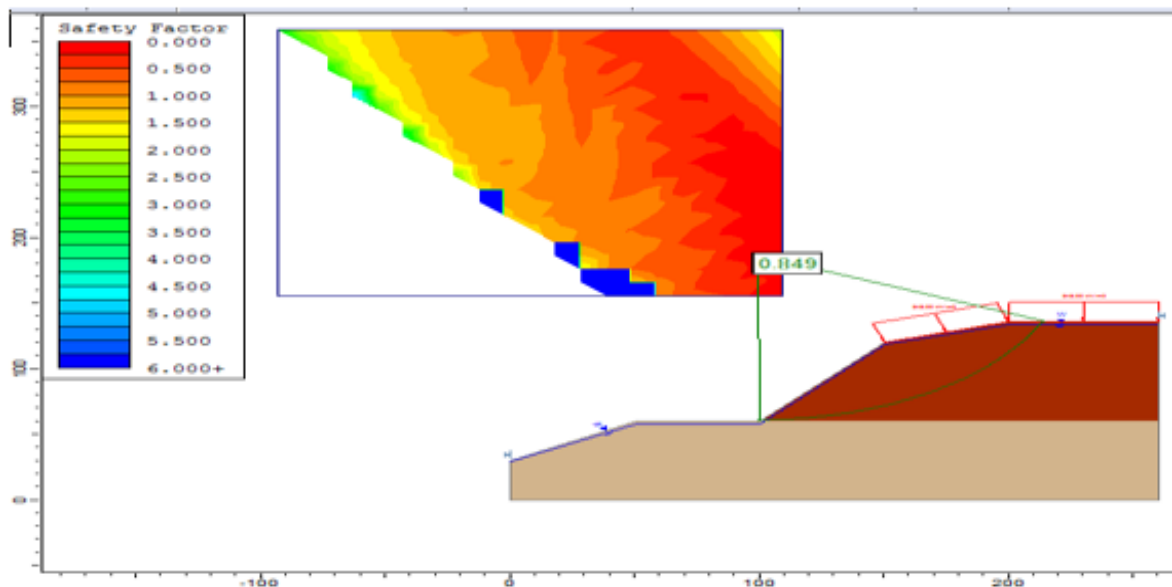


Figura 27. Factor de seguridad calculado con el método de Janbu.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Selección del tipo de sistema de drenaje de acuerdo a los resultados obtenidos.

Se seleccionó el tipo de sistema de drenaje superficial, ya que el área vulnerable es atravesada por seis cauces naturales los cuales fueron seccionados por el método de extracción empleado por la empresa, en el que la elaboración de un solo banco de producción de 32 metros y una pendiente de 65% es el principal

riesgo del sector, comprobado por las características geológicas del caolín y la cuarcita donde se realizan las labores, estas mayormente se forman por alteración de factores naturales como la precipitación pluvial. Además se comprobó que los parámetros resistentes que posee cada estrato no son los adecuados para resistir las condiciones a las que se someten actualmente.

Por tal motivo es que se diseñó zanjas de coronación sobre el talud para soportar la influencia hidrológica que se evidencia por la erosión que posee la superficie y del tipo de falla que en los periodos de aparición del Fenómeno del Niño se refleja como deslizamientos de rocas, a causa de las propiedades físicas que posee el terreno, el cual al ser semipermeable se ve afectado por el caudal de  $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$  que se forma desde la parte más alta del área vulnerable y al discurrir sobre la pendiente alta del talud alcanza una velocidad de  $1.43 \text{ m/s}$  por lo que la infiltración es mínima sobre la estructura llegando a ingresar el agua solo aproximadamente uno o dos metros, esto se da también por la evaporación a causa del mismo clima caluroso de Manuel Mesones Muro. Se descarta la presencia de agua subterránea, ya que al comparar imágenes satelitales de años anteriores al 2017, en el que sucedió el último suceso de este evento climatológico, se observa que la laguna cercana al área vulnerable no estaba ahí, esta se formó a causa de la magnitud de las lluvias en ese año, por eso es que la clave económica del diseño de este sistema de drenaje es para reducir los costos en bombeo de las zonas operativas inundadas, lo que trae consigo costos indirectos relacionados al transporte y mantenimiento de la maquinaria afectada.



*Figura 28.* Comparación de imágenes satelitales del área vulnerable capturadas en el año 2016 -2017

Fuente: Google Earth.

El diseño de las zanjas de coronación en la parte alta del talud se dio para que intercepte y dirija el agua de las lluvias fuera del área vulnerable, evitando que discurra sobre el talud de corte, por eso es que se ubicó a 3 metros de distancia del borde de la estructura, así lo recomienda la Geotechnical Engineering Office (1984) citado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), añade además que debe estar completamente impermeabilizado por lo que las características físicas de la zona en que será canalizado no será suficiente, por lo que será necesario un revestimiento, el cual según el coeficiente de rugosidad de Manning debe resistir la velocidad del flujo que transporte agua con arenas, grava o fragmentos de rocas. El recubrimiento va a depender de sus virtudes y desventajas que posea, como cuán rápido se instala, su duración y del costo prudente de los diferentes tipos, como se observa en la tabla 4:

**Tabla 4.** *Diferentes tipos de revestimientos en drenajes superficiales.*

Revestimiento	Ventajas	Desventajas
<b>Hormigón</b> Mezcla de cemento, arena, grava y agua, se endurece por fraguado.	Fácil puesta en obra, rigidez, impermeable.	No resiste tracción Agrietamiento y fisuras
<b>Concreto</b> Piedra, arenas, agua y cemento, al solidificarse es muy resistente.	Soporta los cambios de temperatura extremos. Costos de conservación son mínimos	Costo inicial alto Secciones de acero de refuerzo adicionales.
<b>Mortero</b> Combinación de arena, agua y cemento	Usado para canales pequeños, espesor de 5 mm en taludes firmes.	Propenso a fallas hidrostáticas.
<b>Mampostería</b> Muros que consisten en piedra, ladrillo o bloques	Mano de obra económica y rentable Se puede instalar con mortero o solo acomodándolo en el canal.	Excelente revestimiento siempre y cuando abunden estos materiales

<p><b>Colchones reno</b></p> <p>Armado con rocas de la misma zona formando estructuras permeables.</p>	<p>Eco-amigables.</p> <p>Sirve como revestimiento total o parcial</p>	<p>Promueve el rápido crecimiento de vegetación</p>
<p><b>Mantos permanentes</b></p> <p>Geotextiles que protegen la superficie de canales en tierra contra la erosión.</p>	<p>Resistente a fuerzas hidrodinámicas que posee el flujo del agua.</p>	<p>No soporta desprendimiento de material en canales con pendientes escarpadas</p>

Fuente: Alberti, Canales y Sandoval (2006).

En la ubicación estratégica para las zanjas de coronación se tomó en cuenta los límites de la concesión, como se observa en la figura 38, para saber exactamente los tramos en los que se instalara este sistema de drenaje, además se investigó el total de reservas del sector Caolín dado que estas actividades de drenaje deben ser de larga duración incluso deben seguir cuando se concluya la explotación, tal como lo expresa Herrera (2009).

Según SALAZAR, Víctor supervisor de las actividades de extracción en la cantera Las Tres Tomas nos brindó esta información de que la concesión era aproximadamente de 68 hectáreas y que el sector Caolín posee una estimación de reservas de 27.028 m<sup>3</sup> de estéril y 109.581 m<sup>3</sup> del agregado, en base a ello extraen el material por medio de un banco de 32 metros al cual la maquinaria accede por dos principales vías, donde las dimensiones de las plataformas en las que realizan las labores influyeron en el diseño del sistema de drenaje, el cual es el siguiente:



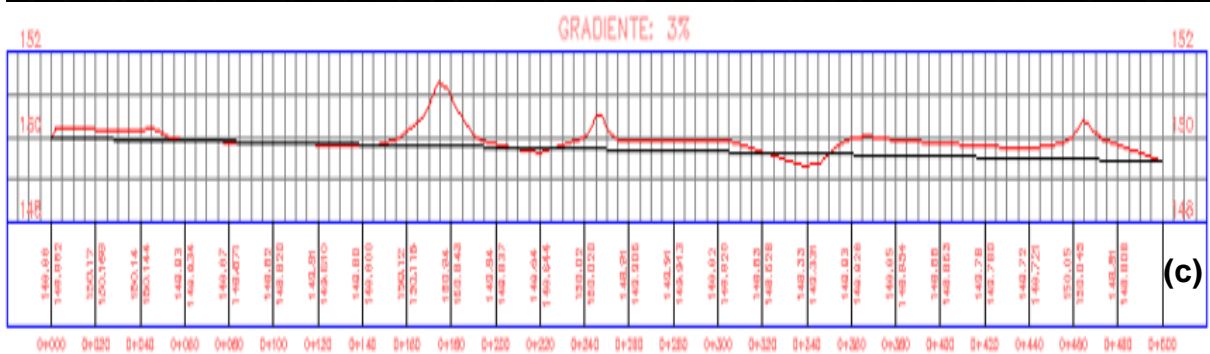
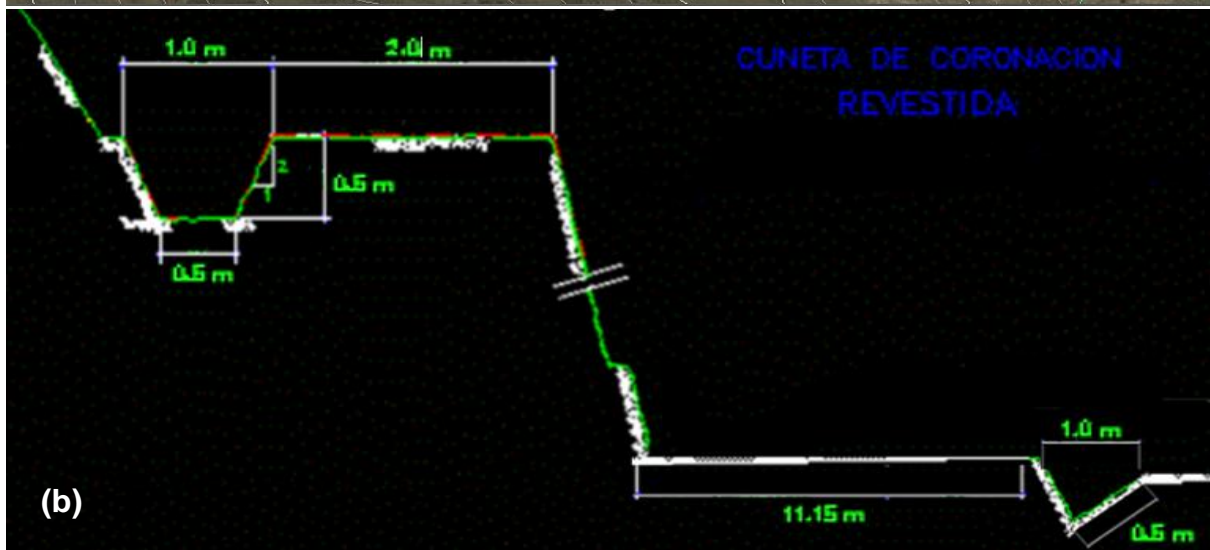
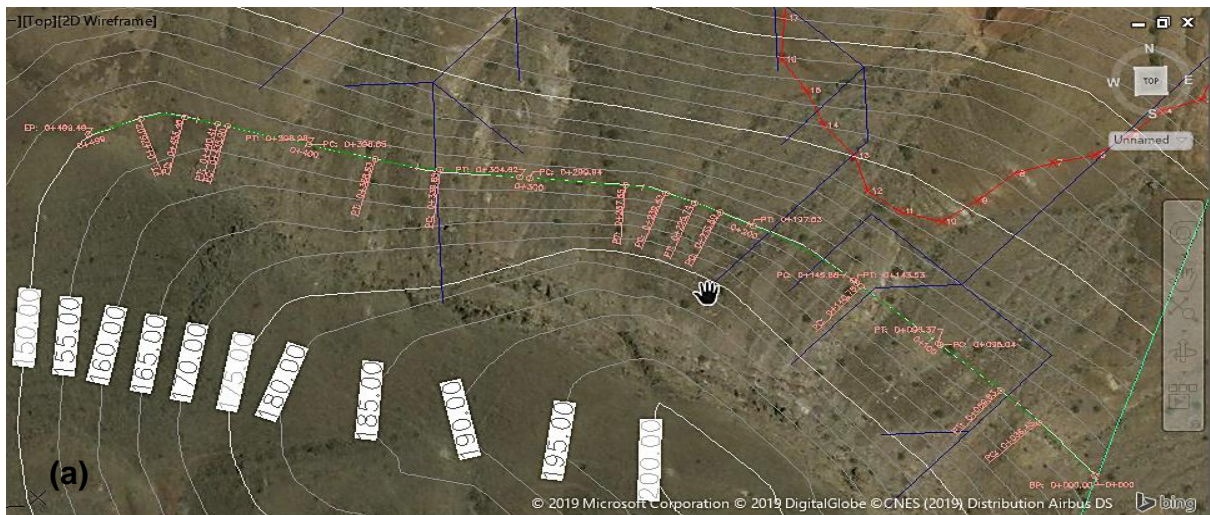


Figura 29. Diseño de la zanja de coronación. (a) Vista de Planta. (b) Vista Perfil. (c) Perfil, gradiente y longitud.

Fuente: Elaboración propia.

La zanja de coronación es trapezoidal de un metro de ancho y 0.5 metros de profundidad, esta se ubicará en la curva de nivel 150 para el correcto drenaje, donde la separación mínima recomendada del borde de la corona debe ser de 3 metros para no producir una falla sobre el escarpe. La zanja de coronación se

dispondrá con una gradiente de 2-4%, esto será suficiente para evacuar rápidamente el agua que captara. Sin embargo a pesar estas zanjas posean un revestimiento con el pasar del tiempo se producirán grietas a causa de los movimientos naturales en la estructura, para ello se recomienda que al menos cada dos años se repare las fisuras o grietas que presente el drenaje, dado que puede llevar a filtraciones en este y ocasionar que la resistencia del macizo rocosa, en el que se canalizó, disminuya.

Para que este diseño se adapte a las labores de extracción, se proporcionó la distancia de 11.15 metros a la plataforma que se encuentra en la base del talud, basándonos en las especificaciones técnicas de la excavadora 330CL que utilizan, la cual posee una longitud total de 11.15 metros, donde su ancho de transporte es de 3.35 metros en el que puede operar junto a un volquete NL 10 INTERCOOLER con ancho de 0.025 metros sin afectar el sistema de drenaje, logrando extraer el material de esta área con total normalidad y sin inconvenientes.

Finalmente se consideró el proceso constructivo del sistema de drenaje, el cual debe compararse con los costos que traerá consigo y evaluar el beneficio dado teóricamente en adoptar la solución más económica, ya que depende de los recursos financieros que se asignaran a este proyecto, en el que se deberá elegir el revestimiento menos caro a aplicarse desde el inicio junto a la maquinaria y materiales para no poder sobrepasar los recursos, ya que la extensión diseñada es de 635 m y se recomienda añadir cunetas en las vías principales de un metro de ancho y profundidad de 0.5 metros para poder distribuir las aguas hacia la quebrada río Loco cercano a la concesión, la que debe ser descolmatada para beneficio no solo de la empresa sino de toda la zona de canteras y la comunidad de Manuel Antonio Mesones Muro.

## V. DISCUSIÓN

Los resultados corroboran la hipótesis propuesta en que el sistema de drenaje diseñado ayuda a controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe ya que se proyectó para mitigar los efectos del fenómeno del Niño ante las condiciones inestables del área vulnerable dentro de este, donde su objetivo principal fue redirigir los caudales que se presentan durante y después de este evento climatológico para evitar costos elevados en recuperar sus propiedades lo cual afecta la productividad por el tiempo que invertirán. Esto coincide con la investigación de Espinoza y Maguiña (2015) quienes detectaron un problema de inestabilidad en un talud usado como vía de acceso en la Mina La zanja, Cajamarca donde se solucionó esta dificultad mediante un plan en el que comprendía controlar el agua superficial producto de las lluvias mediante canales de coronación para reducir el nivel de riesgo sin afectar la producción diaria de mineral debido a que las operaciones de acarreo se realizaran con normalidad gracias a la implementación de este sistema de drenaje.

En cuanto a la especificación de las características geomorfológicas e hidrográficas del sector Caolín, se constituyó importante iniciar con este procedimiento, ya que por medio de las distintas técnicas ejercidas se pudo conocer el nivel de vulnerabilidad que este posee ante factores externos como la lluvia, se logró delimitar el área más propensa a la inestabilidad, esta es en la que se realiza la extracción de este material, en donde se definió cada cauce que atraviesa esta zona, los cuales cuando se activan en las épocas de verano alteran la superficie de la cuenca en que se almacena el agua, que este caso es en la base de del banco de producción (talud de corte), este está compuesto geológicamente a lo largo de su estructura por un material sedimentario erosionado. Sin embargo, en el estudio hecho por Giraldo y Tejeda (2016) también iniciaron con la zonificación geográfica del área a mejorar por condiciones de infiltración de lluvia, donde describieron la litología y formación geológica de los distintos taludes ubicados en la ciudad de Cali en Colombia, detallándolo todo en cartografía, siendo para ellos más importante conocer los efectos internos de la estructura ante este factor más no toman en cuenta la forma



en que altera la superficie el agua que no se infiltra y fluye sobre el talud por medio de sus cauces.

En relación a identificar los parámetros de resistencia del área vulnerable como una estructura en general se utilizaron tablas geomecánicas como la del RMR<sub>89</sub> donde las valoraciones de cada variable fueron utilizadas para hallar la cohesión y fricción del talud, obteniendo el índice de calidad de roca considerado como “malo”, además se pudo cotejar este resultado con los factores que influyen en el proceso de la inestabilidad como el modo de falla presente que es traslacional y el movimiento de masa que puede generarse por la influencia de las precipitaciones es de deslizamientos de roca dado que se evaluó mediante una tabla de referencia elaborada por otro autor en un laboratorio los estándares de los parámetros físicos y mecánicos en cada estrato presente en la estructura pudiendo valorar el nivel de alteración con respecto a la porosidad, peso específico y la permeabilidad, además de obtener un rango de cohesión y fricción. Todo lo mencionado concuerda con la investigación de Severino (2015) donde identificó los factores de mayor influencia en las fallas de taludes en República Dominicana mediante revisión de documentos elaborados por expertos en la materia y mediante sus estudios tomados como antecedentes se verificó los parámetros físicos y geotécnicos de cada material estratificado en este tipo de taludes alterados comprobando estos resultados con lo observado en campo.

Lo correspondiente a determinar los factores meteorológicos en el área vulnerable se tomaron registros históricos de precipitaciones de los últimos 25 años los cuales antes de completar los datos faltantes primero se debió analizar la consistencia de estos y de la estación elegida para correlacionarlos, donde al comprobar su confiabilidad se estimó los vacíos con el método de los promedios, después se eligió el periodo de retorno teniendo en cuenta el lapso de repetición del Fenómeno del Niño, calculando las probabilidades de precipitaciones máximas en 24 hrs en este ciclo elegido mediante la distribución de Gumbel y la proporción de estas lluvias respecto al intervalo de una hora junto a su intensidad máxima las cuales se obtuvieron con la ecuación de Dick Peschke, donde los parámetros hidrológicos hallados como el caudal máximo son estimados usando estos datos mediante el método racional, por último se reconoció el tiempo de

acumulación de las aguas en la cuenca usando la fórmula de Kirpich donde la velocidad del caudal fue hallada gracias a la metodología de Manning, con ellos se obtuvo el diseño hidráulico del sistema de drenaje. Sin embargo, lo que llama la atención de la investigación realizada por Alagón (2018) quien al analizar la influencia de las aguas en el deslizamiento de un talud en Cusco, tomó de igual forma registros históricos de las estaciones pluviométricas cercanas a esta área inestable, pero comenzó completando los vacíos en la recopilación sin haber analizado su consistencia antes, lo cual pudo llevar a errores en el cálculo del diseño hidráulico del flujo modelado, el cual fue utilizado para evaluar cada factor hidrológico implicado en la estabilidad de esta estructura.

Al trabajar el factor de seguridad, el cálculo que se obtuvo fue de valoración baja, realizándose mediante la simulación de la estructura en base a los métodos simplificados de Bishop y Janbu donde se demostró que la inestabilidad del área vulnerable es atribuida directamente por los parámetros geomecánicos de cada material los cuales fallan al ser sometidos a condiciones de precipitaciones altas, al peso añadido de la maquinaria al realizar las labores de extracción y también al posicionamiento de cada estrato. Se dedujo la influencia de cada circunstancia mediante visitas de campo donde se realizó calicatas para determinar el posicionamiento del nivel freático y se tomó en cuenta las distancias de cada estrato los cuales son expuestos debido a los cortes realizados en el talud comprobando esta teoría al haber obtenido como resultado una baja capacidad de resistencia del macizo rocoso. Esto va acorde a la investigación de Gonzáles y Dussán (2011) los cuales realizaron la modelación analítica con ayuda del software Slide cada condición de estabilidad de un talud sin obras de drenaje en Colombia donde incorporaron los parámetros geométricos y geomecánicos con la metodología del método de equilibrio límite obteniendo un factor de seguridad para cada superficie de falla los cuales fueron influidos por la infiltración del agua para lo cual fue necesario determinar la ubicación del nivel freático y poder simular el flujo de este.

Finalmente al seleccionar el tipo sistema de drenaje adecuado para tratar la influencia del agua pluvial que afecta al proyecto ejecutado en el sector Caolín, se tomó en cuenta cada resultado, en el que primero se verificó la vulnerabilidad del

área más afectada por la modificación de las labores de extracción, especificando sus características geomorfológicas e hidrográficas, donde fue necesario conocer la calidad del macizo rocoso que conforma a la estructura para ello se identificó sus parámetros resistentes mediante instrumentos en los que se detalló la caracterización física de estos y el comportamiento geomecánico de cada estrato y de esa forma conocer su nivel de implicancia en la estabilidad del talud, además se precisó las condiciones operacionales y naturales a las que se ven sometidos, donde los factores meteorológicos e hidrológicos fueron los principales a determinar para obtener el diseño hidráulico del flujo que soportara el sistema de drenaje seleccionado, el cual estará durante toda la vida útil del proyecto incluso después, por eso fue necesario calcular el factor de seguridad, para saber si el sector es estable o no ante estas condiciones de equilibrio, y comprobar cómo ha de controlar dicha estabilidad este sistema de drenaje. Lo realizado se ajusta a la investigación de Herrera (2009) quien para plantear un sistema de drenaje en una explotación tuvo que realizar exhaustivos estudios mediante actividades convencionales dentro del área, como caracterizar geológica y estructuralmente la zona, identificar las cuencas vertientes relacionadas a la circulación de caudales, estudiar las precipitaciones, la escorrentía e infiltración de estas, donde al tomar en cuenta todo estos datos llego a la elección y diseño del sistema de drenaje más conveniente.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se diseñó una zanja de coronación de 1 metro de ancho y 0.5 metros de profundidad sobre el talud aprovechando las propiedades semipermeables del área, para poder revestirlo con la opción más económica de acuerdo al presupuesto que se le asigne a este proyecto y así soportar las fuerzas hidráulicas calculadas del flujo superficial que discurre sobre el sector caolín.
2. Las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector Caolín, son talud de corte con pendiente de 65%, ángulo de 37° y altura de 32 metros, seis principales cauces de mediana extensión y tamaño que dirigen el agua hacia la base del talud y el material del que se compone son estratos de cuarcita blanca, areniscas y lutitas de color marrón rojizo, formados por erosión eólica y pluvial.
3. Los parámetros de resistencia al corte detectados en la estructura son: cohesión de 190 KPa y el ángulo de fricción de 24°, el índice de calidad de los estratos son: cohesión de la cuarcita y el caolín de 10 y 0.047 MPa respectivamente, ambos con ángulo de fricción de 40° y 36°, localizados a poca profundidad, poco resistentes y ocasionan un modo de falla traslacional de deslizamientos en rocas. Las características físicas de estos son poco permeables, de porosidad mínima y con un peso específico de 2600 y 1.72 KG/m<sup>3</sup>.
4. Los factores meteorológicos e hidrológicos son de 145.62 mm de precipitación en periodo de retorno de 100 años, con proporciones de 65.79 mm en una hora e intensidad de 65.79 mm/hr. El caudal es de 0.32 m<sup>3</sup>/s con tiempo de concentración de 0.74 min. y una velocidad de 1.43 m/s.
5. El factor de seguridad calculado fue de 0.834 y 0.849 con los métodos de Bishop y Janbu respectivamente, las condiciones de mayor influencia a fallar se dan por las características geomecánicas de los estratos de cuarcita y caolín, por la presencia del nivel freático entre 1 y 2 metros de la superficie y por el peso operacional añadido de 343 KN/m<sup>2</sup> el cual pertenece a la excavadora 330 CL.

6. Se seleccionó el tipo de drenaje superficial, por la pendiente alta del área vulnerable de 39.5% y la influencia de hidráulica de los seis cauces que atraviesan al talud de corte cuyo caudal de  $0.32\text{m}^3/\text{s}$  será tratado por el periodo de retorno de 100 años por zanjas de coronación que resistan la velocidad de 1.43 m/s, para no afectar las bajas propiedades físicas, geológicas y mecánicas de la cuarcita y caolín que soportan las condiciones inestables dadas por la lluvia y extracción de material.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se aconseja a la empresa Planta Chancadora Piedra Azul S.R.L. tomar medidas de prevención ante los evidentes deslizamientos de masa dentro de la cantera Las Tres Tomas, ya que para la extracción del caolín se emplea bancos de producción en el sector del mismo nombre, donde el material que es trabajado en su estado natural presenta alteraciones ante distintas condiciones, entre ellas la lluvia, las cuales son de gran intensidad y duración con la presencia del fenómeno del niño, por lo que el sistema de drenaje diseñado es un plan de contingencia económico que controla los efectos de este evento una vez acabado, logrando restablecer sus actividades lo más antes posible evitando enormes gastos en el bombeo de agua en las zonas inundadas, maquinaria destruida hasta posibles pérdidas humanas.

Se sugiere a los profesionales en ingeniería de Minas especializarse en temas de geotecnia como los tratados en esta investigación, para que realicen más estudios y puedan brindar nueva información, esto es apropiado ya que ellos al verse rodeados día a día por estructuras que requieren cierto grado de control, analizan continuamente las condiciones que puedan alterar el equilibrio entre las fuerzas resistentes y actuantes de estas masas de suelo o roca.

A profesionales interesados en ejecutar algún proyecto relacionado con la estabilidad de taludes en minería se les recomienda tener en cuenta y como punto principal de inicio, examinar el efecto de las lluvias y el agua que produce estas en su objeto de estudio, ya que si no se trata secuelas como la presión de poros y la erosión de la superficie cualquier otro método que puedan usar para controlar su estabilización será en vano, debido a que estas técnicas trabajan en conjunto siendo el sistema de drenaje el primero a ejecutarse.

Finalmente, se exhorta a los alumnos de ingeniería de Minas, en especial de la Universidad César Vallejo, a recibir capacitaciones en el manejo de software libres que faciliten la manera de realizar un análisis de estabilidad de taludes en un ambiente que simule la realidad problemática presente en la minería, además de brindar información sobre los métodos que puedan corregir o controlar esto,

particularmente en el diseño de sistemas de drenaje los cuales son fundamentales en todo tipo de circunstancias.

## REFERENCIAS

ABRAMSON, Lee [et.al.]. Slope stability and stabilization methods [en línea]. 2° edición. Estados Unidos: Jhon Willey & Sons, Inc., 2002. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/334871397/Abramson-et-al-2001-Slope-Stability-and-Stabilization-Methods-pdf>  
ISBN 0-471-38493-3

Agencia Reuters. Southern Copper paralizó temporalmente operaciones mineras tras fuertes lluvias [en línea]. Diario Gestión. pe, Perú. 11 de febrero de 2019. [Fecha de consulta: 17 de abril de 2019]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/empresas/southern-copper-paraliza-temporalmente-operaciones-mineras-fuertes-lluvias-258346>

ALAGÓN, Dennis. Análisis del flujo de filtraciones para la estabilidad física del deslizamiento - cerro Tumbay Orcco - Lucre – Cusco-2018. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/25728/Alag%C3%B3n\\_MDJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/25728/Alag%C3%B3n_MDJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ALBERTI, José, CANALES, Rodolfo y SANDOVAL, Brenda. Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). El Salvador: Universidad de El Salvador, 2006. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4514/1/T%C3%A9cnicas%20de%20mitigaci%C3%B3n%20para%20el%20control%20de%20deslizamientos%20en%20taludes%20y%20su%20aplicaci%C3%B3n%20a%20un%20caso%20espec%C3%ADfico.pdf>

ALFARO, Alejandra. Modelación numérica 3D para estabilización de taludes utilizando drenes subhorizontales. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Santiago



de Chile: Universidad de Chile, 2013. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115558/cf-alfaro\\_aa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115558/cf-alfaro_aa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Solución integral a la erosión de los taludes de las Vegas, carretera Tingo María. Pucallpa – Perú [mensaje en un blog]. Lima: ALVA, Jorge, (Mayo 2012). [Fecha de consulta: 18 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/geoamericas2012taludeslasvegas.pdf>

Investigación de campo – descriptiva [mensaje en un blog]. Judibana: ARCAYA, María, GONZÁLEZ, Anais y RODRÍGUEZ, Rosannys, (15 de junio de 2012). [Fecha de consulta: 19 de abril de 2019]. Recuperado de: <http://investigacioneducativaparaguana.blogspot.com/>

ARIAS, Fidas. El Proyecto de Investigación [en línea]. 5° edición. Caracas: Editorial Episteme. 2006. [Fecha de consulta: 19 de abril de 2019]. Disponible en: [https://www.academia.edu/9103795/Fidas\\_G.\\_Arias\\_El\\_Proyecto\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_5ta.\\_Edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/9103795/Fidas_G._Arias_El_Proyecto_de_Investigaci%C3%B3n_5ta._Edici%C3%B3n)  
ISBN: 980-07-8529-9

Estabilidad de taludes mineros [mensaje en un blog]. Lima: Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente, (19 de mayo de 2017). [Fecha de consulta: 20 de abril de 2019]. Recuperado de: [https://es.slideshare.net/AIDA\\_Americas/estabilidad-de-taludes-mineros](https://es.slideshare.net/AIDA_Americas/estabilidad-de-taludes-mineros)

Técnicas de estabilidad de taludes [mensaje en un blog]. Lima: BAZÁN, Cesar, (2016). [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2019]. Recuperado de: [https://www.academia.edu/30430170/T%C3%89CNICAS\\_DE\\_ESTABILIZACI%C3%93N\\_DE\\_TALUDES](https://www.academia.edu/30430170/T%C3%89CNICAS_DE_ESTABILIZACI%C3%93N_DE_TALUDES)

Método sistemático en la administración de proyectos [mensaje en un blog]. México: CABRALES, Juan, (8 de junio de 2011). [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2019]. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/juancabrales22/unidad-1-metodo-sistematico-en-la-administracion-de-proyectos>

CALDERÓN, Francisco. Control de inestabilidad de taludes del tajo la Quinua Oeste – Minera Yanacocha. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2016. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10946/calderon\\_hf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10946/calderon_hf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CARRANZA, Mildor. Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite y elementos finitos, Tramo Santa Rosa– Tuco Bajo Carretera Bambamarca – Centro Poblado Tuco. Tesis (Licenciado en Ingeniería Geológica). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1404/ANALISIS%20DE%20IN%20ESTABILIDAD%20MEDIANTE%20EQUILIBRIO%20LIMITE%20Y%20ELEMENTOS%20FINITOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTILLO, Edwin. Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará – Amazonas. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1511/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CENEPRED. Informe de evaluación del riesgo por lluvias intensas en el centro poblado de Ferreñafe Sector Norte – Distrito de Ferreñafe – Provincia de Lambayeque – Departamento de Lambayeque [en línea]. Agosto, 2017. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Disponible en:

[http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//4125\\_informe-de-evaluacion-del-riesgo-por-lluvias-intensas-en-el-centro-poblado-de-ferrenafe-sector-norte-distrito-de-ferrenafe-provincia-de-lambayeque-dep.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//4125_informe-de-evaluacion-del-riesgo-por-lluvias-intensas-en-el-centro-poblado-de-ferrenafe-sector-norte-distrito-de-ferrenafe-provincia-de-lambayeque-dep.pdf)

Delimitación y codificación de las cuencas hidrográficas en la CAN [Mensaje en un blog]. Colombia: COMUNIDAD ANDINA (24 de abril de 2008). [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Recuperado de: [http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG\\_REG\\_EMAB\\_IX\\_dt%203.pdf](http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203.pdf)

CHOW, Ven Te, MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Applied Hidrology [en línea]. Singapur: McGraw-Hill, 1998 [fecha de consulta: 13 de noviembre del 2019]. Disponible en: [http://ponce.sdsu.edu/Applied\\_Hydrology\\_Chow\\_1988.pdf](http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf)  
ISBN: 007-010810-2

Identificación y control de talud inestable y su implicancia operativa sobre vía de acarreo de mineral [mensaje en un blog]. Cajamarca: ESPINOZA, Raúl y MAGUIÑA, Javier, (2015). [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2019]. Recuperado de: <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/respin oza.pdf>

Histórico de lluvias Fenómeno del Niño [en línea]. Perú: EFEN – SENAMHI, 2019. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=escenarios-lluvia>

GAIBOR, Diego. Diseño de explotación del caolín existente en el área Sinabamba, ubicada en la parroquia la Asunción, Cantón San José de Chimbo, provincia de Bolívar. Tesis (Licenciado en Ingeniería de Minas). Quito:

Universidad Central del Ecuador, 2016. Disponible en:  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6731/1/T-UCE-0012-19.pdf>

Experiencia en fallas a tajos abiertos. Causas y soluciones [mensaje en un blog].  
Lima: GARCÍA, Eduardo, (5 de abril de 2015). [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2019].  
Recuperado de:  
[https://issuu.com/osinergmin/docs/2ndday\\_exp10\\_\\_experiencia\\_de\\_fallas](https://issuu.com/osinergmin/docs/2ndday_exp10__experiencia_de_fallas)

GIRALDO, Katherine y TEJEDA Alejandro. Análisis de estabilidad de taludes bajo condiciones de infiltración por lluvia. Tesis (Licenciados en Ingeniería Civil).  
Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2016. Disponible en:  
<http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/4134>

GONZÁLEZ Carlos y DUSSÁN Edgar. Modelación del flujo en taludes para drenes horizontales. Tesis (Magísteres en Ingeniería Civil). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011. Disponible en:  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1462/GonzalezVergaraCarlosJavier2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GONZALES, Emilio y PELÁEZ, Ricardo. Influencia de la longitud de diseño del sistema de drenaje tipo horizontal para un modelamiento físico bidimensional en presas de material homogéneo no cohesivo y compactado. Tesis (Licenciados en Ingeniería Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2017. Disponible en:  
<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4082>

GUARDADO, Rafael y DOS SANTOS, Domingo. Deslizamiento de taludes en el yacimiento kimberlítico de Catoca, Angola. Revista Científica Minería y Geología [en línea]. Julio – Setiembre 2011, vol. 27, núm. 3. [Fecha de consulta: 06 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/2235/223522423002/>  
ISSN: 1993-8012

GRUPO TRAGSA. Caminos Naturales. Manual de aspectos constructivos [en línea]. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2019 [fecha de consulta: 11 de noviembre del 2019]. Capítulo 6. Normalización de aspectos constructivos – Sistema de Drenaje. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.4.%20Sistema%20de%20drenaje\\_tcm30-140102.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.4.%20Sistema%20de%20drenaje_tcm30-140102.pdf)

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 5° edición. Ciudad de México: Interamericana Editores S.A., 2010. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.academia.edu/20792455/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_Investigaci%C3%B3n\\_5ta\\_edici%C3%B3n\\_-\\_Roberto\\_Hern%C3%A1ndez\\_Sampieri](https://www.academia.edu/20792455/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n_5ta_edici%C3%B3n_-_Roberto_Hern%C3%A1ndez_Sampieri)  
ISBN: 978-607-15-0291-9

Introducción al drenaje de explotaciones mineras [mensaje en un blog]. Madrid: HERRERA, Juan, (11 de mayo de 2009). [Fecha de consulta: 03 de junio de 2019]. Recuperado de: [http://oa.upm.es/10404/1/INTRODUCCION\\_AL\\_DRENAJE\\_MINERO-R01-090320.pdf](http://oa.upm.es/10404/1/INTRODUCCION_AL_DRENAJE_MINERO-R01-090320.pdf)

JIMÉNEZ, Carlos. Análisis de metodologías para la inclusión de parámetros hidrológicos en la estabilidad de taludes. Tesis (Magister en Ingeniería Geotecnia). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2017. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/56338/7/CarlosA.Jim%C3%A9nezMaduro.2017.pdf>

JIMÉNEZ, Gabriel y VIÁFARA, Jorge. Análisis 3D de drenes horizontales para la estabilización de taludes. Tesis (Licenciados en Ingeniería Civil). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011. Disponible en:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7305/tesis507.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LEGOAS, Víctor y MEGO, Henry. Diseño del Drenaje Pluvial, Pistas y Veredas del Distrito de Manuel Mesones Muro, Provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Chiclayo: Universidad Señor de Sipán, 2019. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/6043>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [en línea]. Perú: Normas Legales, 2014 [fecha de consulta: 11 de noviembre del 2019]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)

MOGROVEJO, Rubén. Modelación numérica con FEFLOW+FMH3 para el estudio definitivo de las galerías de drenaje: caso Derrumbe 5 - Complejo Hidroeléctrico del Mantaro. Tesis (Magister en Ingeniería Hidráulica). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2016. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5894>

MOSTAJO, Jorge. Estudio de probabilidad de falla e implementación de alternativas de solución al deslizamiento de taludes andinos. Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2009. Disponible en: [http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/112/1/mostajo\\_ja.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/112/1/mostajo_ja.pdf)

El Método Estadístico [mensaje en un blog]. Ciudad de México: REYNAGA, Jesús, (2015). [Fecha de consulta: 06 de junio de 2019]. Disponible en: <http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/sp/wp-content/uploads/2015/11/03REYNAGA1.pdf>

RUIZ, Ramón. Historia y evolución del pensamiento científico [en línea]. Ciudad de México: Euler Ruiz Inc., 2006. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/GestioPolis.com/historia-y-evolucion-del-pensamiento-cientifico>  
ISBN: 978-84-690-6369-9

SACKSCHEWSKI, Carlos. Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta –Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110. Tesis (Licenciado en Ingeniería Geológica). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5743>

Metodología de la investigación [en línea]. Ciudad de México: Secretaria de Marina, (2013). [Fecha de consulta: 17 de junio de 2019]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA\\_DE\\_INVESTIGACION.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf)

Seguridad Minera. Fallas que afectan la estabilidad de taludes. Revista seguridad minera [en línea]. 30 de mayo de 2018. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2019]. Disponible en: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/fallas-que-afectan-la-estabilidad-de-taludes/>

SEVERINO, Betsy. Riesgos de taludes y terraplenes en obras lineales de Republica Dominicana. Tesis (Magister en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015. Disponible en: [http://oa.upm.es/38455/1/Tesis\\_master\\_Betsy\\_Severino.pdf](http://oa.upm.es/38455/1/Tesis_master_Betsy_Severino.pdf)

SINGH, Vijay. Chow's Handbook of Applied Hydrology [en línea]. 2º edición. Estados Unidos: McGraw Hill education, 2016. [Fecha de consulta: 27 de junio de

2019]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/306097368\\_Chow's\\_Handbook\\_of\\_Applied\\_Hydrology](https://www.researchgate.net/publication/306097368_Chow's_Handbook_of_Applied_Hydrology)  
ISBN 978-0-07-183509-1

Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales [mensaje en un blog]. Bucaramanga: SUAREZ, Jaime, (Julio de 1998). [Fecha de consulta: 30 de junio de 2019]. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/8925280/DESLIZAMIENTOS\\_Y\\_ESTABILIDAD\\_DE\\_TALUDES\\_EN\\_ZONAS\\_TROPICALES](https://www.academia.edu/8925280/DESLIZAMIENTOS_Y_ESTABILIDAD_DE_TALUDES_EN_ZONAS_TROPICALES)

VILLÓN, Máximo. Hidrología [en línea]. 2° edición. Cartago: Editorial Villón, 2002. [Fecha de consulta: 01 de julio de 2019]. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/doc/312660908/HIDROLOGIA-Ing-Maximo-Villon-Bejar-pdf>

ZULUAGA, Daniel. Análisis de estabilidad de taludes 3D considerando el efecto de la infiltración por precipitaciones. Tesis (Magister en Ingeniería Civil - Geotécnica). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2016. Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/12050/1/tesis.pdf>



Anexos:

**Anexo N° 01**

**MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub-indicadores	Técnicas	Instrumentos
Sistema de drenaje	Parámetros en el diseño	Reconocimiento de campo	Condición topográfica e hidrológica	Documental	Guía de precipitaciones máximas
			Configuración geológica		
		Análisis pluviométrico	Precipitaciones máximas en 24hrs		
			Periodo de retorno		
	Diseño del sistema de drenaje	Caudales máximos	Intensidad	Observación	Guía del levantamiento topográfico
			Escorrentía		
		Tipos	Superficial		
			Subterráneo		
Consideraciones	Viabilidad del proyecto				

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub-indicadores	Técnicas	Instrumentos
Estabilidad de taludes	Características físicas	Parámetros geométricos	Área	Documental	
			Altura		
			Pendiente		
			Peso específico		
	Comportamiento geomecánico	Parámetros físicos	Permeabilidad	Observación	
			Porosidad		
	Análisis de las condiciones de equilibrio	Estudios de campo	Movimientos en masa	Observación	Guía de campo
			Clasificaciones geomecánicas		
			Parámetros de resistencia al corte		
			Angulo de fricción		
Consideraciones		Cohesión	Observación		
		Modo de falla			
		Criterio de rotura			
		Metodología para el análisis			
		Factor de seguridad			




**TÍTULO:** Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO
	<b>General</b>			
Inestabilidad de taludes en canteras.	Diseñar un sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.		<b>Independiente</b>	
	<b>Específicos</b>			
<b>Formulación del problema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Especificar las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector.</li> <li>▪ Identificar los parámetros de resistencia en el material del sector mediante su caracterización física y comportamiento geomecánico.</li> <li>▪ Determinar los factores meteorológicos e hidrológicos en el sector para la obtención del diseño hidráulico de cualquier sistema de drenaje.</li> <li>▪ Calcular el factor de seguridad ante las condiciones de equilibrio presentadas por el sector.</li> <li>▪ Seleccionar el tipo de sistema de drenaje de acuerdo a los resultados obtenidos.</li> </ul>	El diseño de un sistema de drenaje podrá ayudar a controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.	Sistema de drenaje	Explicativo
¿Cómo se controlará la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe?			<b>Dependiente</b>	
			Estabilidad de taludes	

## Anexo N° 04

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha técnica N° 01 Guía del levantamiento topográfico.	Facultad de Ingeniería de Minas
---	--	------------------------------------

Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.


Observadores Gonzales Domínguez, Josué. Lugar: Lambayeque, Ferreñafe, Manuel Mesones Muro.  
Farro Oblitas, Erick. Fecha y hora: 02/11/19 - 9:00 a.m.

Objetivo: Especificar las características geomorfológicas e hidrográficas del área vulnerable en el sector.

Coordenadas: UTM Datum: WGS-84 Zona UTM: 17M Hemisferio: Sur Distancia entre puntos: 20 m

Puntos	Latitud (S)	Longitud (O)	Este (X)	Norte (Y)	Altura (m)
1	6°37'58"	79°42'31"	642759	9266664	93
2	6°37'58"	79°42'31"	642750	9266647	96
3	6°37'59"	79°42'31"	642743	9266630	97
4	6°37'59"	79°42'32"	642725	9266625	102
5	6°38'00"	79°42'32"	642710	9266613	103
6	6°38'00"	79°42'33"	642695	9266604	117
7	6°38'00"	79°42'34"	642676	9266601	126
8	6°38'00"	79°42'34"	642659	9266596	130
9	6°38'01"	79°42'35"	642642	9266583	134
10	6°38'01"	79°42'35"	642626	9266573	134
11	6°38'01"	79°42'36"	642608	9266579	127
12	6°38'00"	79°42'36"	642594	9266590	130
13	6°38'00"	79°42'36"	642589	9266608	124
14	6°37'59"	79°42'37"	642576	9266624	125
15	6°37'59"	79°42'37"	642569	9266642	123

16	6°37'58"	79°42'37"	642559	9266658	121
17	6°37'57"	79°42'37"	642561	9266679	111
18	6°37'57"	79°42'37"	642564	9266696	109
19	6°37'56"	79°42'37"	642559	9266711	97
20	6°37'56"	79°42'38"	642551	9266727	86
21	6°37'55"	79°42'38"	642542	9266745	80
22	6°37'55"	79°42'38"	642532	9266763	76
23	6°37'54"	79°42'38"	642526	9266778	73
24	6°37'54"	79°42'38"	642537	9266798	70
25	6°37'53"	79°42'38"	642545	9266812	65
Mapa hidrográfico			Mapa Geológico		
Cuencas		Microcuencas	Regional	Local	
Figura 33.		Figura 34.	Figura 35.	Figura 36.	

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha técnica N° 02 Guía de campo.	Facultad de Ingeniería de Minas
---	---------------------------------------	---------------------------------

Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

Observadores: Gonzales Domínguez, Josué. Lugar: Lambayeque, Ferreñafe, Manuel Mesones Muro.  
Farro Oblitas, Erick. Fecha y hora: 12/11/19 – 10:30 a.m.

Objetivo: Identificar los parámetros de resistencia en el material del sector mediante su caracterización física y comportamiento geomecánico.

Obra en ingeniería: Talud de corte

Proyecto: Extracción de áridos para construcción

Tipo de roca: Sedimentaria

Modo de falla: Traslacional

Movimiento en Masa: Deslizamiento

RQD in situ (%)

$$\lambda = \frac{(a)}{(b)} = \frac{10}{0.86} = 11.6$$

N° fisuras/metro lineal (a): 10

Fórmula:  $100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) = 68\%$

$\Sigma$  Espacios c/fisura (b) : 0.86

Tablas: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
		Valor	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD	90-100%	75-95%	50-75%	25-50%		<25%		
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	>2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm		<6 cm		
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m		>20 m	
		Valor	6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm		>5 mm		
	Valor	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligera Rugosa	Ondulada	Suave			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Relleno	Ninguno	Duro <5 mm	Duro >5 mm	Blando <5 mm	Blando >5 mm			
	Valor	6	4	2	2	0			
	Alteración	Inalterada	Ligera alterada	Moderada alterada	Muy alterada	Descompuesta			
	Valor	6	5	3	1	0			
5	Flujo de agua en las juntas	Condiciones generales	Completa sequedad	Ligera humedad	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
		Valor	15	10	7	4	0		



Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.

Observadores Gonzales Domínguez, Josué. Lugar: Lambayeque, Ferreñafe, Manuel Mesones Muro.  
Farro Oblitas, Erick. Fecha y hora: 04/11/19 - 1:00 p.m.

Objetivo: Determinar los factores meteorológicos e hidrológicos en el sector para la obtención del diseño hidráulico de cualquier sistema de drenaje.

Estación Lambayeque	Dpto.: Lambayeque	Estación Ferreñafe	Dpto.: Lambayeque
Código: 120301	Prov.: Lambayeque	Código: 110331	Prov.: Ferreñafe
Tipo	Lat.: 6°42'03" S	Tipo	Lat.: 6°38'20" S
Convencional meteorológica	Long.: 79°54'21" O	Convencional meteorológica	Long.: 79°47'20" O
	Alt.: 18 m.s.n.m.		Alt.: 64 m.s.n.m.
Año	Pmáx. En 24 hrs. (mm)	Año	Pmáx. En 24 hrs. (mm)
1993	6.60	1993	10.16
1994	16.10	1994	2.90
1995	5.70	1995	12.50
1996	2.00	1996	2.30
1997	10.50	1997	9.90
1998	71.30	1998	182.80
1999	20.10	1999	12.40
2000	5.70	2000	2.10
2001	40.80	2001	36.60
2002	15.20	2002	48.90
2003	14.70	2003	5.30
2004	3.60	2004	3.60
2005	2.40	2005	2.20
2006	11.80	2006	NP

2007	2.40	2007	NP
2008	11.70	2008	NP
2009	5.70	2009	NP
2010	19.70	2010	NP
2011	7.10	2011	10.93
2012	22.10	2012	34.04
2013	8.50	2013	13.09
2014	3.70	2014	5.70
2015	18.00	2015	27.72
2016	5.80	2016	8.93
2017	60.70	2017	93.48

Nota: NP (No presenta datos en este año)



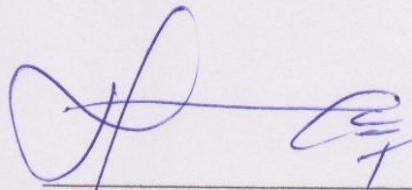
## AUTORIZACIÓN DE APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO

Los docentes y especialistas que suscriben los documentos son: el Ing. COTRINA TEATINO, Marco Antonio con DNI: 41872247 de la especialidad de geomecánica, el Ing. MBA GONZALES TORRES, Jorge Omar con DNI: 43703713 de la especialidad de planificación y gestión de proyectos y la docente AGUINAGA VÁSQUEZ, Silvia Josefina con DNI: 16790469 de la especialidad en investigación educativa y docencia universitaria; dan conformidad a los instrumentos de recolección de datos que a continuación se presentan los cuales fueron sometidos a una evaluación y validación, con la finalidad de que sean aplicados por los estudiantes responsables: FARRO OBLITAS, Segundo Erick Jair y GONZALES DOMINGUEZ, Josué Luis Josías en la investigación titulada: **Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas, Ferreñafe.**

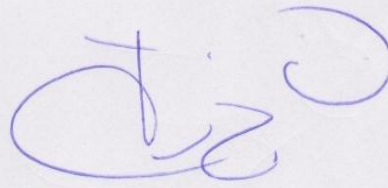
Dejamos evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo 15 de noviembre del 2019.

Atentamente.



COTRINA TEATINO, Marco Antonio.  
DNI: 41872247

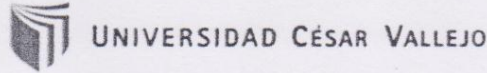


GONZALES TORRES, Jorge Omar.  
DNI: 43703713



AGUINAGA VÁSQUEZ, Silvia Josefina  
DNI: 16790469

**CONSENTIMIENTO INFORMADO**



Chiclayo, 04 de noviembre del 2019

Señor:

Dr. Beder Martell Espinoza

**Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Minas, Universidad César Vallejo - Chiclayo**

DECLARADO que la presente copia  
fotostática es reproducción fiel y  
exacta del ORIGINAL, que he tenido  
a la vista y al que me remito en  
caso necesario.

La Victoria, **09 NOV 2019**  
Chiclayo.

Yo, JESUS A. GRANDA GARCIA, identificado con DNI N° 76499140,

en calidad de Gerente de la empresa Planta Chancadora Piedra Azul S.R.L, AUTORIZO a los Sres. Gonzales Dominguez, Josué Luis Josías y Farro Oblitas, Segundo Erick Jair, estudiantes del X ciclo de la especialidad de Ingeniería de Minas en la Universidad César Vallejo (filial Chiclayo) para que realice la recolección de información ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE que se encuentre relacionada con el trabajo de investigación titulado "Sistema de drenaje para controlar la estabilidad del sector Caolín en la cantera Las Tres Tomas" el mismo que vienen desarrollando para la obtención de sus títulos profesionales en dicho centro de estudios.

Además dicha autorización comprende la divulgación y comunicación pública del citado trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la UCV.

Atentamente.

PLANTA CHANCADORA PIEDRA AZUL SRL  
  
Ing. Jesus A. Granda Garcia  
Ing. Gerente General  
Gerente General



NOTARIO ABOGADO  
C.N.L. 37  
NOTARIO DE CHICLAYO  
C.N.L. 37



DOCUMENTOS ADICIONALES



**AREA DE DEFENSA CIVIL**  
**MUNICIPALIDAD DIST. MANUEL A. MESONES MURO**



**VISITA DE INSPECCION TECNICA**  
**DE SEGURIDAD EN DEFENSA CIVIL N° 005- 2019**

**1.- DATOS DE OBJETO DE LA VISITA**

Dirección : Las Canteras  
Organización Vecinal: Pueblo Tradicional Mesones Muro  
Distrito : Manuel Antonio Mesones Muro  
Provincia : Ferreñafe  
Departamento : Lambayeque

**2.- DATOS PERSONALES**

Solicitantes : Gonzales Parraguez, Josué Luis Josías  
N° DNI : 73133684

**3.- REFERENCIAS**

Solicitud o registro : 3624  
Órgano Ejecutante : Secretaria Técnica de Defensa Civil

**4.- MOTIVO DE LA VISITA: INSPECCION DE DEFENSA CIVIL**

Acciones de Prevención.

**5.- BASE LEGAL**

D. S. N° 002-2018-PCM

**6.- ANOTACIONES**

De la verificación efectuada en campo se ha constatado un predio minero de diferentes dueños", que se encuentra ubicado en las canteras, al sur este de la ciudad de Mesones Muro, centro minero de dominio Privado, que fue muy afectado por las lluvias intensas (Fenómeno el Niño) de los meses de Febrero y Marzo del año 2017.

## 7.- CONCLUSION

De acuerdo a las diferentes Visitas de Inspección efectuada a las canteras en los meses de Febrero y Marzo 2017 se constató que por el lugar se encuentra la **Quebrada Seca (Rio Loco)** el que en esa época se activó enormemente inundando los cientos de hectáreas de dichas canteras y damnificando a muchos de los dueños de dichas canteras donde se taparon maquinarias, cargadores frontales, retro excavadoras, casetas de control y herramientas manuales.

## 8.- INDICACIONES

Se considera **RIESGO MUY ALTO EN TIEMPO DE LLUVIAS INTENSAS** TODOS LOS CIENTOS DE HECTAREAS DE LAS CANTERAS, QUE AL ACTIVARSE LA QUEBRADA RIO LOCO VOLVERIA A DAMNIFICAR.

- Como medida de prevención para evitar los riesgos a las vidas humanas que laboran en el lugar y evitar daños materiales en caso de lluvias intensas, se **recomienda que dicho cauce sea descolmatado, debe contar con drenaje y muros de contención.**

  
José Ermitaño Cloza Ruiz  
SECRETARIO TECNICO  
DEFENSA CIVIL  
MUNICIPALIDAD M.A. MESONES MURO  
FERRENAFE

## 3.- REFERENCIAS

Solicitud a registro : 2017

Organismo Ejecutante : Secretaría Técnica de Defensa Civil

## 4.- MOTIVO DE LA VISITA: INSPECCION DE DEFENSA CIVIL

Acciones de Prevención:

## 5.- BASE LEGAL

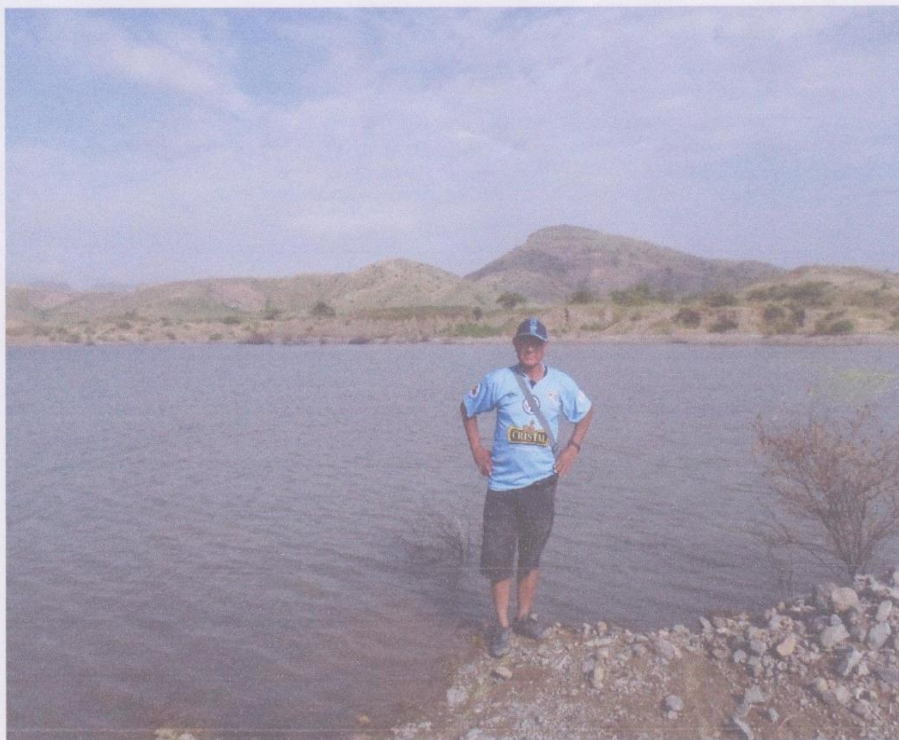
D. S. N° 002-2016-PCM

## 6.- ANOTACIONES

De la verificación efectuada en campo se ha observado un gran número de diferentes cuencos, que se encuentra ubicado en las canteras, al oriente de la ciudad de Mesones Muro, centro minero de dominio Privado, que se han activado por las lluvias intensas (Fenómeno El Niño) de las masas de Febrero y Marzo del año 2017.



**FOTOS DAÑOS CANTERAS 2017**





FOTOS



*Figura 30.* Toma de puntos con GPS para el levantamiento topográfico.  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 31.* Elaboración de calicatas para determinar el nivel freático.  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 32.* Recopilación de datos hidrometeorológicos en SENAMHI.  
Fuente: Elaboración propia.

MAPAS

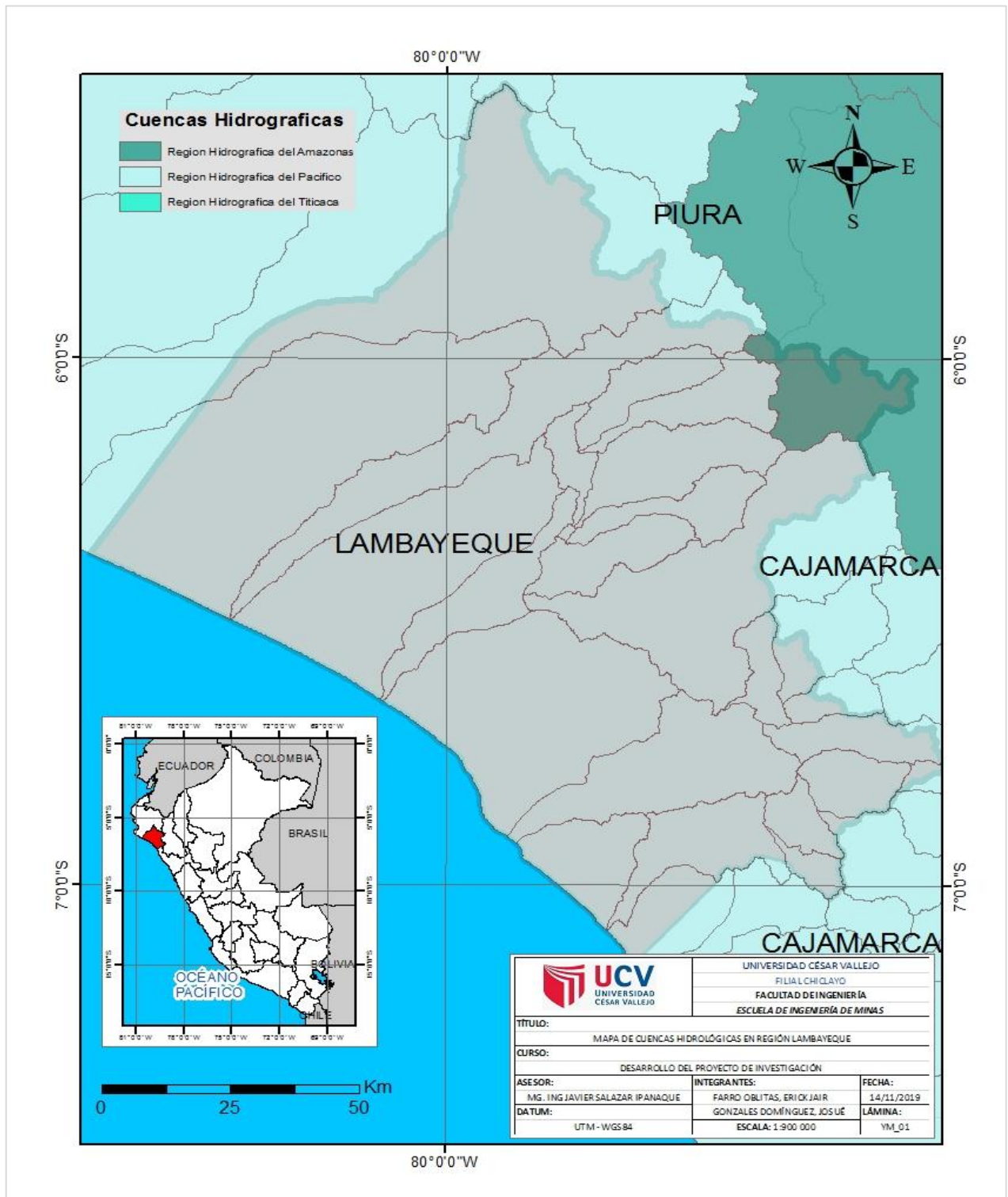


Figura 33. Mapa de cuencas hidrológicas de la Región Lambayeque.

Fuente: Elaboración propia.

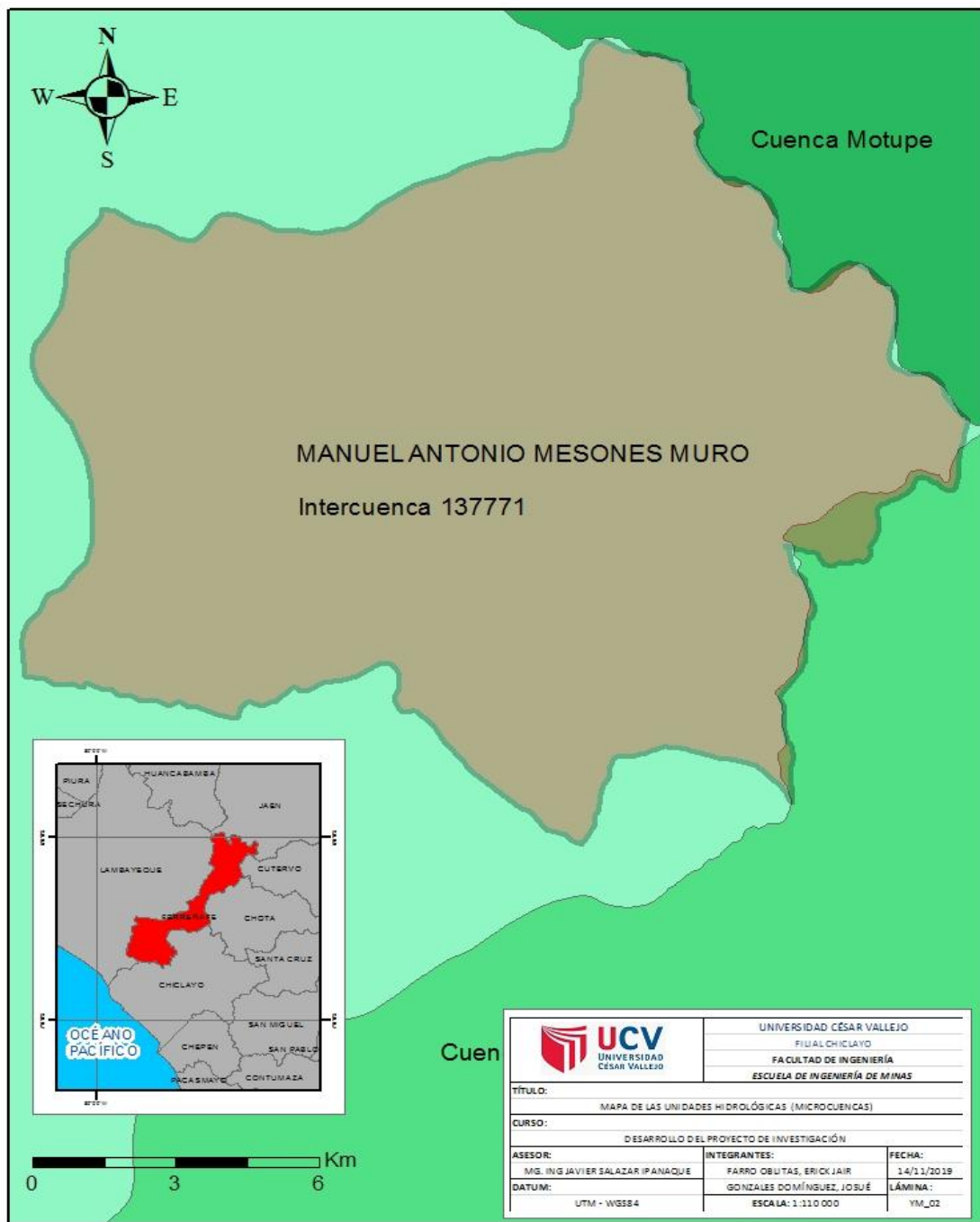


Figura 34. Mapa de unidades hidrológicas (Microcuencas), Ferreñafe, Manuel Antonio Mesones Muro.

Fuente: Elaboración propia.



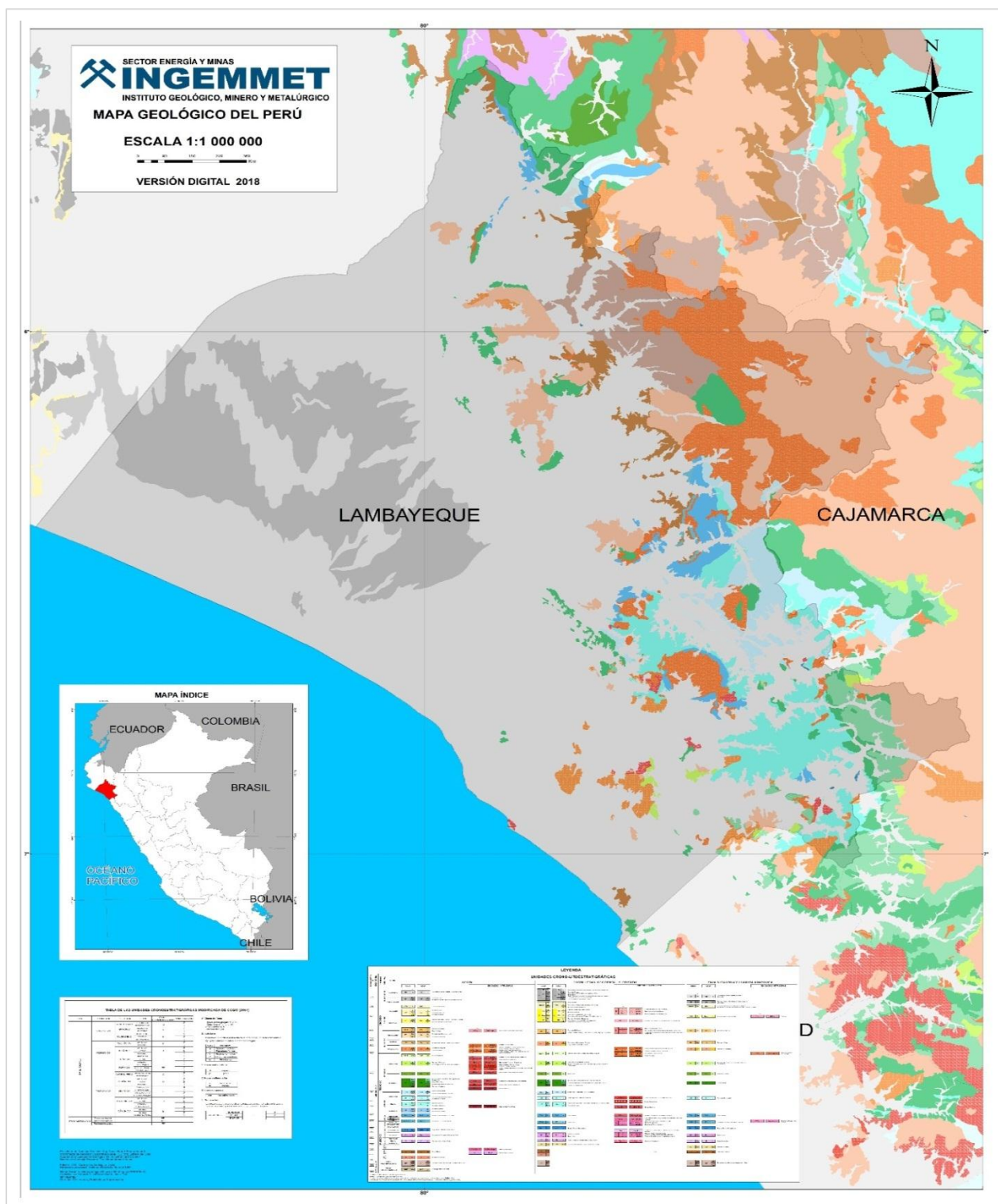


Figura 35. Geología regional del departamento de Lambayeque.

Fuente: INGEMMET.

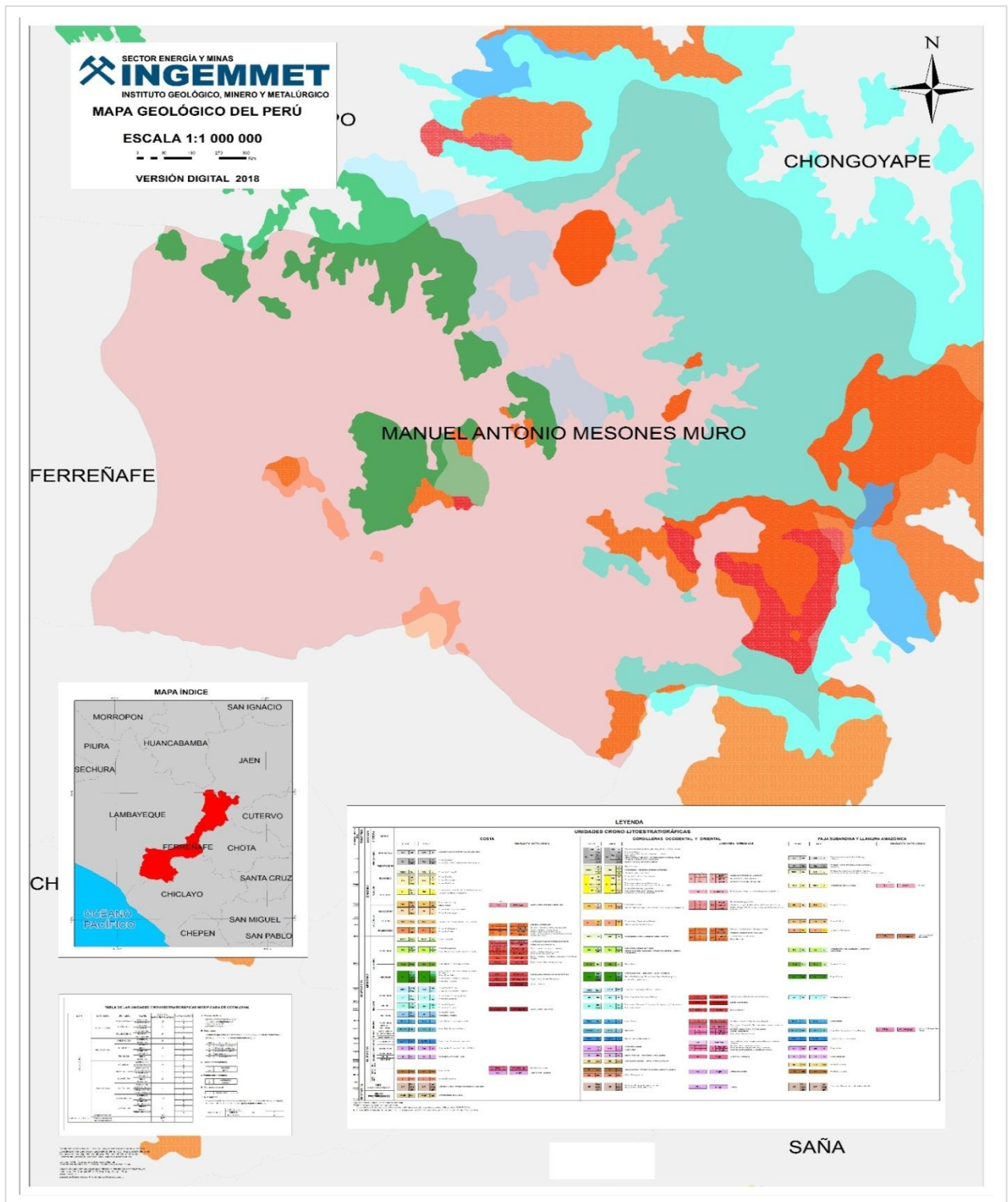


Figura 36. Geología Local del distrito de Manuel Antonio Mesones Muro, Ferreñafe. Fuente: INGGEMMET.



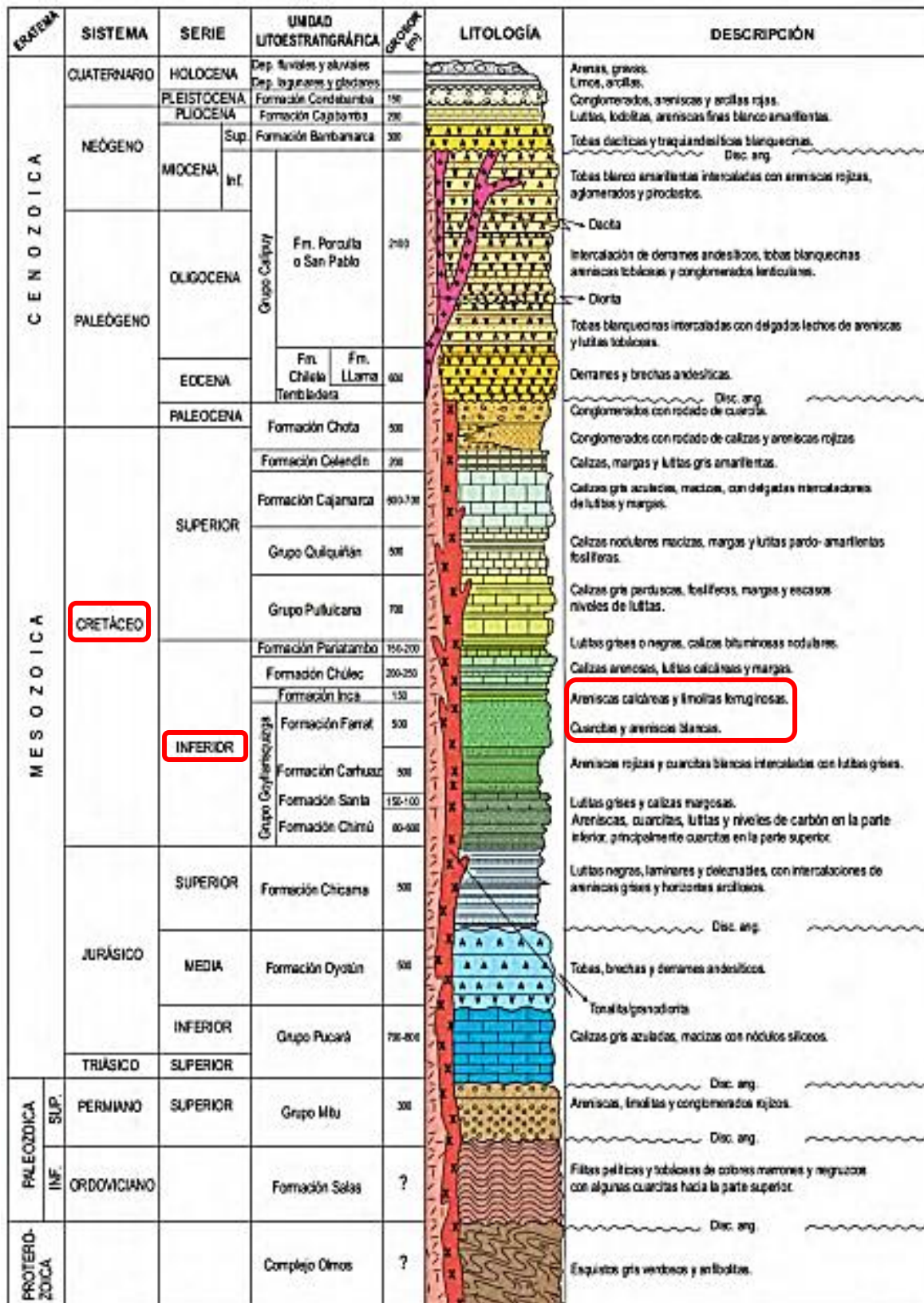


Figura 37. Principal columna estratigráfica de la Región Lambayeque-La Libertad-Cajamarca.

Fuente: CENEPRED, 2017.

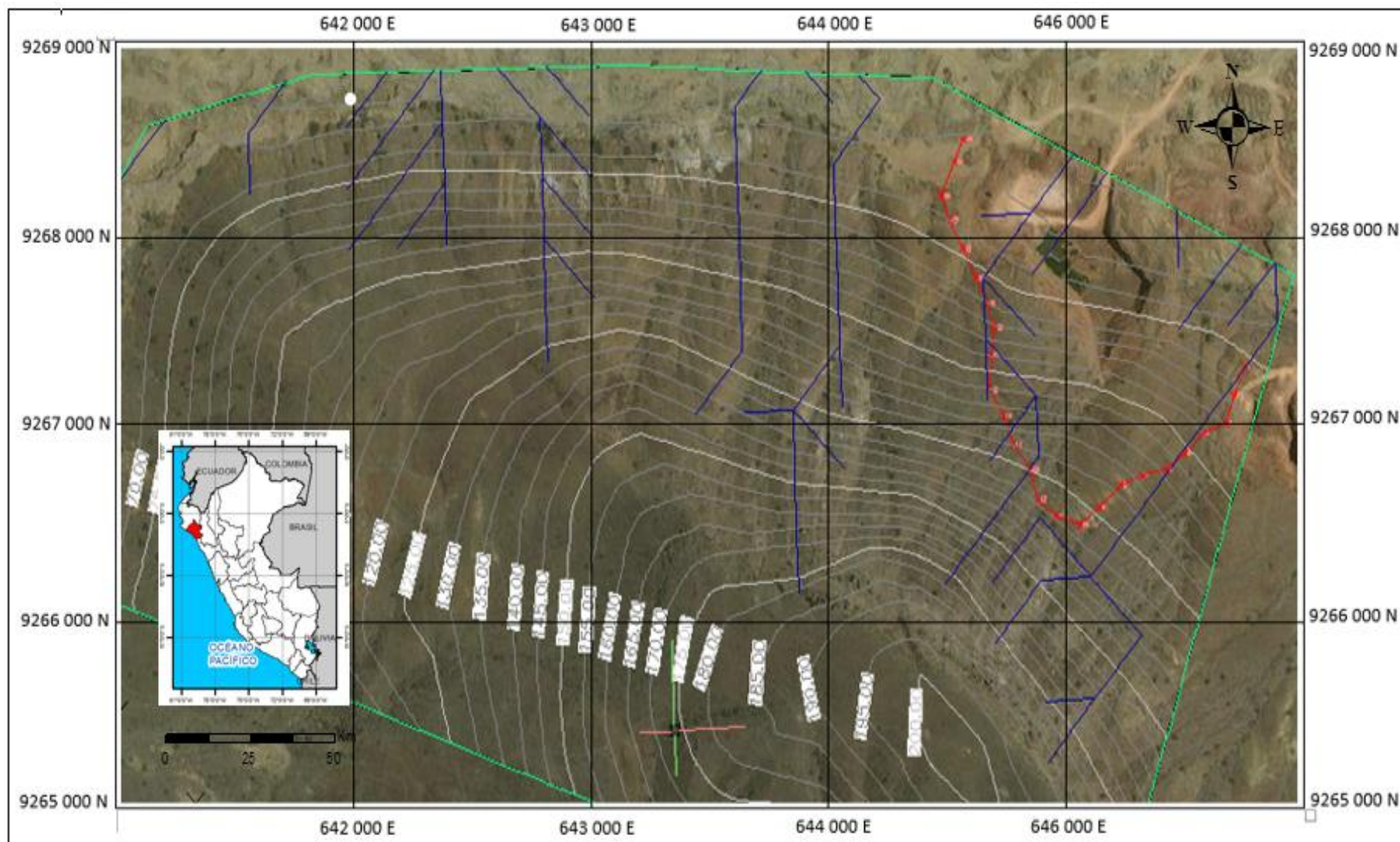


Figura 38. Plano del sector Caolín evidenciando redes de flujo que discurren en dirección nor-este.

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo N° 10

### TABLAS

**Tabla 5. Coeficiente de escorrentía del Método Racional.**

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNC.	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPREC.
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Imperm.	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semiperm.	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Imperm.	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semiperm.	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, Vegetación ligera	Imperm.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semiperm.	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Imperm.	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semiperm.	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Imperm.	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semiperm.	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

**Tabla 6. Coeficiente de rugosidad empleado por Manning.**

MATERIAL EN CAJA DEL CANAL	“n” Manning	Velocidad (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no coloidal	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.60
Franco consistente normal	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado coloidal	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Fuente: Sing (2016).

**Tabla 7. Resumen de porosidades.**

Tipo De Material	Porosidad (%)
Materiales no consolidados	
Grava gruesa	28 – 12
Grava media	32 – 13
Grava fina	34 – 21
Arena con grava	39 – 20
Arena gruesa	35 – 20
Arena media	39 – 15
Arena fina	43 – 10
Arcilla arenosa	12 – 3
Materiales consolidados	
Arenisca	5 – 30
Caliza y dolomía	0 – 40
Caliza cárstica	0 – 40
Pizarras y lutitas	0 – 10
Basalto fracturado	5 – 50
Roca cristalina fracturada	0 – 10
Roca cristalina densa	0 – 5
Granito alterado	34 – 57

Fuente: Mogrovejo (2016).



**Tabla 8.** Estimación en terreno de la resistencia en compresión uniaxial.

Clase (a)	Calificación roca según resistencia	Resistencia Uniaxial (MPa)	Índice carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de resistencia	Ejemplos
R6	Extrem. Resistente	>250	>10	Golpes de martillo geológico solo causan descostramientos superficiales en la roca	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderada Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillotita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25		Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 - 5	(b)	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extrem. Débil	0.25 - 1		La roca puede ser endentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

(a) Clases según Brown [2].

(b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 MPa a los resultados del ensayo de carga puntual son poco confiables.

Fuente: Abramson, Lee, Sharma y Boyce (2002).



**Tabla 9. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.**

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F, para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco modificado U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo final al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de fallas	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad.
Elementos finitos	Cualquier forma de superficie de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzos. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Fuente: Suarez (1998).

**Tabla 10.** *Precipitaciones máximas en cada periodo de retorno.*

Periodo de retorno (Tr)	Pmáx. Esperada
2	18.12
5	52.25
10	74.85
20	96.53
25	103.40
50	124.59
75	136.90
100	145.62
150	157.88
200	166.57
300	178.80
400	187.48
500	194.21

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 11.** Precipitaciones en diferentes intervalos de duración según el periodo de retorno.

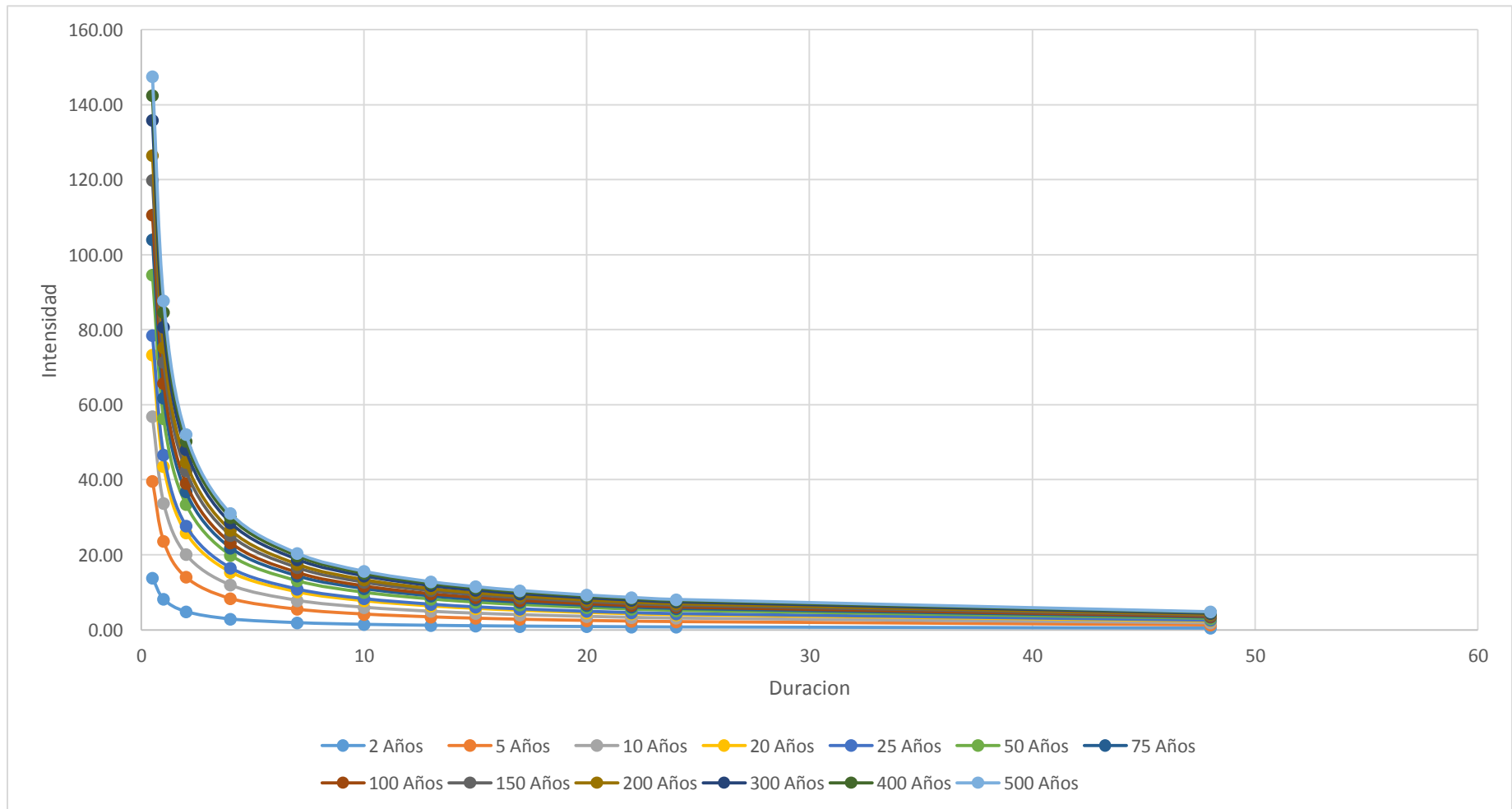
Precipitación de diseño (mm)													
Periodo retorno (Tr)	Duración en horas												
	0.5	1	2	4	7	10	13	15	17	20	22	24	48
	Duración en minutos												
	30	60	120	240	420	600	780	900	1020	1200	1320	1440	2880
2	6.88	8.19	9.73	11.58	13.31	14.56	15.54	16.11	16.62	17.31	17.73	18.12	21.54
5	19.85	23.61	28.07	33.39	38.40	41.98	44.83	46.46	47.93	49.92	51.13	52.25	62.14
10	28.44	33.82	40.22	47.82	55.01	60.14	64.21	66.55	68.67	71.51	73.24	74.85	89.01
20	36.67	43.61	51.86	61.68	70.94	77.55	82.81	85.83	88.55	92.23	94.45	96.53	114.79
25	39.29	46.72	55.56	66.07	75.99	83.08	88.71	91.94	94.86	98.80	101.18	103.40	122.97
50	47.33	56.29	66.94	79.60	91.56	100.10	106.88	110.78	114.30	119.04	121.91	124.59	148.16
75	52.01	61.85	73.55	87.47	100.61	109.99	117.45	121.72	125.59	130.80	133.95	136.90	162.80
100	55.32	65.79	78.24	93.04	107.01	116.99	124.92	129.47	133.59	139.13	142.48	145.62	173.17
150	59.98	71.33	84.82	100.87	116.02	126.84	135.44	140.37	144.84	150.84	154.48	157.88	187.75
200	63.28	75.25	89.49	106.43	122.41	133.82	142.90	148.10	152.81	159.14	162.98	166.57	198.08
300	67.93	80.78	96.07	114.24	131.40	143.65	153.39	158.98	164.03	170.83	174.95	178.80	212.63
400	71.23	84.70	100.73	119.79	137.78	150.62	160.84	166.69	171.99	179.12	183.44	187.48	222.95
500	73.78	87.74	104.34	124.09	142.72	156.03	166.61	172.68	178.16	185.55	190.03	194.21	230.95

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12.** Intensidad de precipitaciones en diferentes intervalos de duración según el periodo de retorno.

		Intensidad máxima (mm/hr)												
		Duración en horas												
Periodo retorno (Tr)	0.5	1	2	4	7	10	13	15	17	20	22	24	48	
	Duración en minutos													
	30	60	120	240	420	600	780	900	1020	1200	1320	1440	2880	
2	13.77	8.19	4.87	2.89	1.90	1.46	1.20	1.07	0.98	0.87	0.81	0.75	0.45	
5	39.70	23.61	14.04	8.35	5.49	4.20	3.45	3.10	2.82	2.50	2.32	2.18	1.29	
10	56.87	33.82	20.11	11.96	7.86	6.01	4.94	4.44	4.04	3.58	3.33	3.12	1.85	
20	73.35	43.61	25.93	15.42	10.13	7.76	6.37	5.72	5.21	4.61	4.29	4.02	2.39	
25	78.57	46.72	27.78	16.52	10.86	8.31	6.82	6.13	5.58	4.94	4.60	4.31	2.56	
50	94.67	56.29	33.47	19.90	13.08	10.01	8.22	7.39	6.72	5.95	5.54	5.19	3.09	
75	104.02	61.85	36.78	21.87	14.37	11.00	9.03	8.11	7.39	6.54	6.09	5.70	3.39	
100	110.64	65.79	39.12	23.26	15.29	11.70	9.61	8.63	7.86	6.96	6.48	6.07	3.61	
150	119.96	71.33	42.41	25.22	16.57	12.68	10.42	9.36	8.52	7.54	7.02	6.58	3.91	
200	126.56	75.25	44.75	26.61	17.49	13.38	10.99	9.87	8.99	7.96	7.41	6.94	4.13	
300	135.86	80.78	48.03	28.56	18.77	14.37	11.80	10.60	9.65	8.54	7.95	7.45	4.43	
400	142.45	84.70	50.36	29.95	19.68	15.06	12.37	11.11	10.12	8.96	8.34	7.81	4.64	
500	147.56	87.74	52.17	31.02	20.39	15.60	12.82	11.51	10.48	9.28	8.64	8.09	4.81	

Fuente: Elaboración Propia



**Gráfico 2.** Curva IDF de las precipitaciones máximas con su respectivo periodo de retorno y su duración en base al registro de la Estación Ferreñafe.

Fuente: Elaboración propia.