



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para
para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna
Blanca**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero de Minas

AUTORES:

Durand Fernandez, Ronald (ORCID: 0000-0003-1260-1076)

Rojas Gutierrez, Wilson Fernando (ORCID: 0000-0003-1006-6145)

ASESORA:

Mg. Castro Zavaleta, Liliana (ORCID: 0000-0002-1973-4245)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Análisis de Estabilidad de taludes

CHICLAYO - PERÚ

2022

Dedicatoria

La presente investigación va dedicada en primer lugar a Dios por otorgarme la vida y colmarme de bendiciones fortaleciendo mis habilidades durante los años de estudios. A mi mamá María Lucía Fernández Cusquisiban, por su amor incondicional en todo momento, en mis momentos de fortaleza y de debilidad. A mi papá Manuel Durand Aquino, siempre está para incentivar me a seguir adelante.

Ronald Durand

A Dios, por darme la vida y salud, por permitirme lograr una de mis metas. A mi mamá Casimira Gutierrez Escobal, por su amor incondicional y su apoyo en todo lo que me proponga, mi guía y pilar esencial en mi vida. A mi hermana Jenny Malaver Gutierrez, por sus consejos brindados, por el valor mostrado para salir adelante y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

Wilson Fernando

Agradecimiento

A nuestra asesora Mg. Liliana Castro Zavaleta, que con sus enseñanzas nos impartieron conocimientos necesarios para lograr redactar esta investigación.

A la Universidad César Vallejo por brindarnos la oportunidad de llevar el curso para sustentar la investigación realizada.

Sobre todo, nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que nos apoyaron en hacer realidad la presente investigación.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos	13
3.6. Método de análisis de datos.....	14
3.7. Aspectos éticos	14
IV. RESULTADOS	15
V. DISCUSIÓN.....	37
VI. CONCLUSIONES.....	42
VII. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS	52

Índice de tablas

Tabla 1. Ubicación de cantera Tuna Blanca.....	16
Tabla 2. Mapeo geomecánico.	19
Tabla 3. Características geométricas de los laboreos.....	19
Tabla 4. Parámetros mecánicos y propiedades físicas de la roca.....	20
Tabla 5. Valores de estación por mapeo.....	20
Tabla 6. Resistencia a la comprensión uniaxial.....	21
Tabla 7. Valores RQD.	22
Tabla 8. Espaciamiento.....	22
Tabla 9. Persistencia.....	23
Tabla 10. Rugosidad.	23
Tabla 11. Relleno.	24
Tabla 12. Resumen del Rocdata.....	27
Tabla 13. Resumen del Rocdata.....	30

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de cantera Tuna Blanca.....	15
Figura 2. Lito estratigrafía de la localidad.....	17
Figura 3. Sistema RMR.	18
Figura 4. Reporte del software de la estación 1	24
Figura 5. Reporte del software de la estación 2.	25
Figura 6. Reporte del software de la estación 3.	25
Figura 7. Reporte del software de la estación 4.	26
Figura 8. Reporte del software de la estación 5.	26
Figura 9. Reporte del software de la estación 6.	27
Figura 10. Reporte del software de la estación 1.	28
Figura 11. Reporte del software de la estación 2.	28
Figura 12. Reporte del software de la estación 3.	29
Figura 13. Reporte del software de la estación 4	29
Figura 14. Representación de parte y geometría del sector seleccionado.....	31
Figura 15. Condiciones del contorno numérico 2D.....	32
Figura 16. Grabo superior e inferior.	33
Figura 17. Esfuerzos plásticos efectivos.	34
Figura 18. Deformaciones plásticas efectivas.	35
Figura 19. Resultados de las deformaciones.	35
Figura 20. Resultado de modificación de la estación 1	36
Figura 21. Inspección de canteras.	71
Figura 22. Inspección de canteras – 2.	71
Figura 23. Supervisión de cantera.....	72
Figura 24. Modo de extracción del material.	72
Figura 25. Toma frontal de cantera.	73
Figura 26. Toma frontal 2 de la cantera.	73
Figura 27. Toma de pendiente de la cantera.....	74
Figura 28. Toma del acceso a la cantera.	74

RESUMEN

En la presente investigación titulada “Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna Blanca” cuyo objetivo principal es realizar el modelamiento de la zona de investigación que fue la cantera Tuna Blanca para poder controlar la estabilidad de los taludes en dicha cantera mediante el uso del software mencionado. Para ello se empleó una metodología cuya finalidad fue aplicada, con un nivel explicativa. Los resultados obtenidos luego de la simulación, los cuales fueron desarrollados considerando puntos escogidos bajo un criterio de verificación visual de talud, uno se encontró con un valor inferior a 1 indicando una inestabilidad y proponiéndose un estiramiento de la zona excavada para la extracción del material que se extrae de dicha cantera. Finalmente se concluye mencionando que, mediante en el software la variación de la resistencia también mejora incrementando su factor de seguridad superior a uno siendo una zona estable.

Palabras clave: Modelamiento, estabilidad, talud, simulación, software.

Abstract

In the present investigation entitled "Numerical modeling using the LS DYNA software to control the stability of the slopes in the Tuna Blanca quarry" whose main objective is to model the research area that was the Tuna Blanca quarry in order to control the stability of the slopes in said quarry through the use of the aforementioned software. For this, a methodology was used whose purpose was applied, with an explanatory level. The results obtained after the simulation, which were developed considering points chosen under a visual slope verification criterion, one was found with a value less than 1 indicating instability and proposing a stretching of the excavated area for the extraction of the material that is extracted from said quarry. Finally, it is concluded by mentioning that, through the software, the variation of the resistance also improves by increasing its safety factor greater than one, being a stable zone.

Keywords: Modeling, stability, slope, simulation, software.

I. INTRODUCCIÓN

La industria minera es una herramienta fundamental para promover el desarrollo económico, avance social y protección de los recursos naturales. Según su método de explotación, la explotación por canteras es desarrollada justamente en estos yacimientos o canteras que son la fuente de extracción de materiales agregados y pétreos, comúnmente trabajada a cielo abierto. Estos materiales son fundamentales para cualquier proyecto de construcción civil, por lo que su valor monetario influye de manera significativa en los proyectos (Construval Ingeniería, 2020).

Según Sousa, *et al.* (2021 pág. 550), en la actividad de explotación, las canteras presentan problemas de erosión, caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos, lo cual genera retrasos en la operación, y afecta la economía de la empresa. De acuerdo con Bobillo (2017 págs. 66-77), un caso es la Cantera Punta de Pena en Argentina, la cual presentó estos problemas de 4 a 10 metros de diámetro y presentaron dimensiones grandes de 15 y 30 cm, para ello se tuvo que trabajar la estabilidad del talud con los conocimientos geotécnicos, el talud presentó rocas muy fracturadas por el control estructural, por lo cual se tuvo que evaluar las condiciones geológicas, establecer el factor de seguridad, poder identificar los distintos mecanismos, donde el talud rocoso presentó un comportamiento cinemático, el cual fue inestable por las discontinuidades.

Otro ejemplo, de acuerdo a Hernández, *et al.* (2019 págs. 303-313), se tiene en Huasca de campo, una operación en México que presentó 33% de degradación en la estabilidad, donde la erosión hídrica y la mala explotación fue la causa principal de este problema, el cual presentó 1.97% de flujo concentrado, razón que causó incisión y un socavón sobre la superficie del suelo, donde se formó unos canales de 0.5 a 30 m, ocasionando derrumbes, deslizamientos en el sector que se estuvo trabajando, por lo cual se tuvo que realizar un análisis geomecánico, una topografía, las propiedades mecánicas y físicas en los taludes.

En este sentido, se observa que la explotación minera por canteras es importante ser desarrollada correctamente para el progreso humano, tan solo en el período de 1970 a 2008, la extracción tuvo un crecimiento del 3.5% al año, el cual fue significativo y seguirá siéndolo, dado al aumento de la tasa de urbanización, lo que

conduce a un aumento del consumo de materiales en América Latina, y se estima que actualmente es un 80%, en 2050 será el 90%. Davies, *et al.* (2018, pág. 1).

Sin embargo, la explotación en las canteras debe ser desarrollada de manera minuciosa, ya que si no se planean o se controlan pueden producir alteraciones a las rocas y los recursos a su alrededor, ya que la actividad en sí es excavar, extraer y transportar estos materiales, lo que produce una alteración en las condiciones naturales del macizo rocoso, lo que incrementa el riesgo de inestabilidad de talud. Los factores que provocan la inestabilidad, generalmente son por rotura por volteo directo (44.41%), ruptura por volteo oblicuo (14.51%) y en menor porcentaje la ruptura por volteo directo en base plana (4.20%) (Paredes, 2019 págs. 15-40). Por lo que, la existencia de métodos para mejorar la explotación minera, sobre todo, la explotación por canteras, deben tomarse en cuenta y priorizarse antes del desarrollo de la operación. El uso de tecnologías, en la actualidad, no es ajena a la mejora de procesos, y uno de los softwares que brinda solución a la inestabilidad de las canteras es el LS DYNA, ya que este permitirá el análisis de la zona y poder entregar una data simulada de la realidad. Zabala, *et al.* (2020 págs. 52-60).

En cuanto al presente estudio, en la Cantera Tuna Blanca, ubicada en Cajamarca, en la provincia y distrito de Santa Cruz, la problemática generada en los últimos años, la causa es el incremento de los esfuerzos del suelo, el cual tiene como consecuencia la falla de un talud, ya que esto mayormente es generado por los aspectos geológicos durante el levantamiento, la exploración de campo y esto ya que la cantera no cuenta con un estudio técnico el cual permita determinar la estabilidad de taludes de la cantera.

Por lo tanto, para poder conseguir una buena estructura se tiene que trabajar con distintas escalas, como la microfractura que abarca la matriz de la roca, donde también se tiene en cuenta las estructuras mayores y el medio de discontinuidad que presenta la cantera. Asimismo, la consideración de una evaluación de estabilidad de taludes es fundamental para disminuir la incertidumbre del factor de seguridad.

En este sentido se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo se realizará el modelamiento numérico con el software LS DYNA para poder controlar la estabilidad de los taludes de la cantera Tuna Blanca?

Por tanto, la presente investigación se justificó teóricamente, debido a que la información encontrada acerca de las variables de estudio será utilizada para el análisis geomecánico, cuyo resultado será la solución al problema suscitado, de igual manera, podrá ser utilizado como antecedente por otros autores. Asimismo, se justificó de manera metodológica, ya que se empleará la técnica de la observación para poder recolectar información y el Software LS-DYNA para poder solucionar el problema.

Se tiene como justificación económica, que el presente estudio será beneficioso en cuanto al uso de recursos, ya que no existirá un paro en la operación debido a las causas mencionadas en la problemática, ahorrando costos en una evaluación en medio de la operación. De esta manera, también se justifica prácticamente, ya que se brindará una solución a través del Software LS-DYNA para mejorar de la estabilidad de taludes de la Cantera, lo cual, permitirá una buena estabilidad y no habrá deslizamientos y derrumbes de la roca.

Conforme a lo mencionado se estableció como objetivo general realizar el modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para controlar la estabilidad de taludes en la cantera Tuna Blanca. De tal manera, los objetivos específicos indican: Determinar las características geotécnicas de la cantera Tuna Blanca. Realizar el análisis geomecánico de la roca mediante el software RocPlane. Realizar el modelamiento numérico utilizando un software. Analizar la estabilidad de taludes mediante el software. Proponer el control de la estabilidad del talud de la cantera.

En este sentido la hipótesis general de la investigación sostiene que: El modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA permite controlar la estabilidad en los taludes en la cantera Tuna Blanca.

II. MARCO TEÓRICO

A nivel internacional el trabajo de Monte (2020 pág. 50), con una investigación “Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos”, el cual tuvo como objetivo estudiar la estabilidad de taludes con los métodos finitos, donde se obtuvo una metodología experimental, teniendo como resultado que se aplicó un instrumento mediante la topografía el cual su altura fue de 24 metros con una inclinación de 54° para el talud A, donde el talud B se basó con una altura de 9 metros y con una inclinación de 55° , por otro lado, se pueden realizar las características del macizo rocoso, ya que ambos taludes obtuvieron una densidad de 2640 kg/m^3 , teniendo una porosidad de 11,7% contando con 15 de MPa, con una deformación del macizo rocoso de 500MPa. Llegando a la conclusión que la inestabilidad fue producto de la baja resistencia de la roca, ya que se dio a conocer que el talud A se basó en el riesgo que presentó la cuña el cual no forma parte de los antecedentes es por ello que no se recomienda nuevos estudios, donde en el talud B se obtuvo una falla de potencial, todo ello por el volcamiento no contemplado.

Manrique y Tigrero (2019 págs. 40-47), con una investigación “Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en Anconcito, provincia de SANTA ELENA”, el cual tuvo como objetivo evaluar la estabilidad del talud en el barrio 9 de octubre, obteniendo una metodología analítica con un diseño no experimental, teniendo como resultado la localización del macizo rocoso, el cual se tuvo que hacer una geología tanto como local y regional para poder localizar su yacimiento, para ello se tuvo que utilizar la geomecánica para poder realizar la estabilidad de los taludes, el cual se logró ver la clase del macizo rocoso, que fue de clase II, todo eso gracias al RMR, ya que también presenté su cohesión de 2 a 3 Kpa/cm³ con un ángulo de rozamiento de 25 a 35° . Llegando a la conclusión que para la realización del macizo rocoso se tuvo que identificar las estructuras, la litología, ya que así se pudo observar las características de la cobertura, la rugosidad, la meteorización y el relleno, el cual produjo el grado de la descomposición de la roca.

Martínez (2018 págs. 25-33), en su investigación “Análisis de estabilidad del talud rocoso ubicado en el sector Lisboa-Quebrada El Ramo en el municipio de Betulia –

Santander, por medio de los métodos cinemático, geotécnico y geofísico”, el cual tuvo como objetivo, analizar la estabilidad de talud por medio de los métodos cinemáticos. Obteniendo una metodología analítica, realizando un trabajo de campo, teniendo como resultado la resistencia de la comprensión simple, para poder saber la calidad de la roca que presenta dicha empresa minera, por lo cual se obtuvo el RMR, EL RQD y el Q de Barton, ya que gracias a ello se puede calcular el factor de seguridad, todo esto mediante proyecciones hemisféricas, ya que para la estabilidad del talud se determinó la red de Wulff, el cual incorporó los planos de las discontinuidades. Llegando a la conclusión que el talud presenta una meteorización diferencial, ya que para ello se basó en una malla sobre la superficie del talud para que así el macizo rocoso tenga un comportamiento adecuado y su geomecánica sea eficaz, por otro lado, los bloques fueron retenidos, para lo cual se desarrolló con bastante énfasis.

Ramos (2017 págs. 15-28), con una investigación “Análisis de Estabilidad de taludes en rocas”, el cual tuvo como objetivo determinar la estabilidad de taludes de la mina cielo abierto con el programa LS–DYNA, donde obtuvo una metodología descriptiva, teniendo como resultado los factores de seguridad que presentaron,, ya que por otro lado el programa de LS–DYNA fue más confiable, el cual se puede construir en taludes verticales, por otro lado, se hizo comparaciones mediante el programa. Llegando a la conclusión que para la estabilidad lo más importante es estudiar o estimar los parámetros del macizo rocoso, a que gracias a esto dependió la calidad de los resultados que se han obtenido, ya que gracias a ellos se pudo conocer que mientras más refinado sea el mallado más próximo se puede dar los resultados.

Borja (2017 págs. 19-30), con una investigación “Diseño técnico de explotación de la Cantera El Churoi”, el cual tuvo como objetivo diseñar la explotación de la cantera El Churo, obteniendo una metodología descriptiva con un tipo transversal y con un carácter prospectivo, teniendo como resultado una superficie de 4 ha, con una cota superior de 2243.50 m.s.n.m., cota inferior de 2212.00 m.s.n.m., y una diferencia de nivel de 31 metros, para esto se tuvo que realizar una topografía para poder realizar un levantamiento de la cantera el cual permitió poder conocer las características del área proyectada. Teniendo como conclusión que el impacto que

se ha producido es bajo ya que se encuentra en un área intervenida, por otro lado, si es que no hay una planta de trituración los recursos humanos no serán aprovechados en la cantera, ya que esta se realiza en dos campos mineros, donde estos dos fueron perpendiculares entre sí.

En el ámbito nacional, se tuvieron presentes las investigaciones que guardan relación con el objeto de estudio.

Mamani y Pisco (2020 págs. 1-38), con una investigación “Caracterización geomecánica y diseño de estabilidad de taludes en el periodo 2010 – 2020”, el cual tuvo como objetivo determinar las características geomecánicas de los macizos rocosos para el diseño de la estabilidad de los taludes, obteniendo una metodología sistemática, teniendo como resultado un diagrama de flujo para la revisión sistemática mediante el estudio de geomecánica, el cual se logró observar la cantidad y el porcentaje de los estudios seleccionados, por otro lado, para la clasificación de la geomecánica se tuvo que usar el RQD, RMR CSMR, GSI, para que puedan influir el cálculo de la estabilidad del talud. Llegando a la conclusión de que es importante estudiar el macizo rocoso para poder obtener una buena estabilidad de los taludes, ya que en algunas ocasiones se tiende a utilizar unos sostenimientos para que haya una buena estabilidad, por lo cual se hizo el uso de software en lo geomecánico donde se contribuyó de una manera eficaz y directa, porque se logró contribuir la estabilidad.

Carrasco y Urbina (2020), con una investigación “Análisis geomecánico y geotécnico aplicando esfuerzos totales en los taludes del tramo km 6+00 A 6+ 350 Baños del Inca a Llacanora”, el cual tuvo como objetivo determinar la relación entre las propiedades geomecánicas y geotécnicas con la inestabilidad de los taludes, obteniendo una metodología aplicativa – descriptiva, teniendo como resultado la accesibilidad de los puntos de acceso, generalmente sus coordenadas, el cual se logró determinar las unidades geomorfológicas, los grupos Goyllarisquizga y sobre todo las características del macizo rocoso, por otro lado, se puede observar su grado de fracturación con el RQD, el grado de la resistencia en función al golpe de picota. Llegando a la conclusión que la inestabilidad radica en los tramos 1 y 2 el cual se disperse por el relleno de los espacios el cual tuvo un 81.9% de grava, donde el material fino fue de 6 a 4%.

Los autores Alvarado y Villanueva (2019 págs. 15-27), con una investigación “Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la Cantera Agocucho, Cajamarca 2018”, el cual tuvo el objetivo proponer el diseño de la estabilidad de los taludes en la Cantera Agocucho, obteniendo una metodología aplicada con un tipo de novel descriptivo con un diseño No Experimental, teniendo como resultado una carga puntual con una resistencia de 4.3MPa, con un valor de 12, por otro lado, la investigación se basó en trabajar la estratigrafía de la recta normal del plano, para poder facilitar las set estructurales, donde el software fue el encargado de proyectar los planos teniendo como base las orientaciones estructurales. Llegando a la conclusión que la geomecánica pudo determinar el macizo rocoso con una clase III a clase IV, ya que se analizó las zonas, donde fue inestable, por otro lado, se evaluó el GSI, ya que gracias a ello se puede determinar las clases que presenta, donde fue muy fracturada.

Paredes (2019 págs. 20-50), con una investigación “Evaluación Geomecánica y Análisis de la estabilidad del talud en la cantera el Arbolito – Juliaca”, el cual tuvo como objetivo realizar la evaluación de la geomecánica y así mismo analizar la estabilidad del talud en la cantera el Arbolito, obteniendo una metodología aplicada, con un diseño no experimental, con un nivel descriptivo, teniendo como resultado las características geológicas, el cual se basó en un mapeo superficial, ya que este puede controlar la estabilidad del talud y los mecanismos de la falla, ya que se utilizó el mapeo lineal para poder obtener más información del campo, por otro lado se detectaron fallas, estructuras mayores, estructuras menos, dentro de ella se encontró las discontinuidades, los micropliegues y toda la familia de discontinuidades, ya que también se determinó su resistencia a compresión simple el cual fue de 71.3 MPa con una densidad de 2.42 g/m³. Llegando a la conclusión la calidad de la roca se realizó gracias a la clasificación de la geomecánica el cual se pudo ver el RMR y el GSI para así poder clasificar las rocas que presenta dicha cantera, el cual se pudo observar su relleno, su apertura, la rugosidad, su persistencia y el espaciamiento.

Entre las teorías y orientaciones conceptuales que muestra la investigación, se tiene a la geomecánica, lo cual se basa en estudiar la deformación de las rocas y suelos, ya que en algunas ocasiones determina su falla, por otro lado, suele pasar

que las rocas pueden ser no consolidadas, y si pasa eso se puede comportar como un sólido, según lo mencionado por Vílchez, Cáceres y Castro (2021 págs. 1-8). La geomecánica es muy esencial para poder comprender las barrenas de perforación que mueve a la roca, ya que la estabilidad suele ser caracterizada (Osinermin, 2017 págs. 10-35).

Por otro lado, Ley, *et al.* (2019 págs. 1-8) indica que el macizo rocoso se considera como un medio anisótropo, discontinuo, heterogéneo conformado por unos bloques de la matriz rocosa, el cual, presenta diferentes tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, asimismo, el macizo rocoso se forma por los planos de discontinuidades que separan los bloques de la matriz rocosa. Adeoluwa, Noa y Quevedo (2017, págs. 464-476)

En ese aspecto, Pereira, *et al.* (2019 págs. 1-13) menciona que la estabilidad de taludes, se basa en la seguridad de una masa de tierra contra el movimiento o falla, para ello es primordial saber los criterios que presenta la estabilidad de los taludes. Por otro lado, Steluti y Lukiantchuki (2017 págs. 1-9) indican que el talud presenta varias inclinaciones, donde corresponden a distintas masas de material. Para ellos se muestra las consideraciones sobre la estabilidad de taludes, el cual se basa en todas las superficies que se inclina a lo horizonte que hayan de adoptar a las estructuras de la tierra, ya sea como una consecuencia en una forma natural. Los taludes se dividen en laderas y en artificiales, en la mayoría de casos el talud no puede realizarse en forma general, sino talud por talud, ya que las inestabilidades pueden ir junto con las discontinuidades, según lo mencionado por Camacho, *et al.* (2017 págs. 13-28).

Así mismo, Oliva, *et al.* (2019 págs. 1-11) indican que el deslizamiento de taludes, se produce o se asocia con mecanismos que responden a diversas condiciones de fallas, roturas, la inestabilidad de los cortes. Debido a esto, el análisis de estabilidad de taludes, según Marin, Mattos y Fernández (2022 págs. 1-18), se basa en estudiar o clasificar las propiedades mecánicas de las rocas que son muy necesarias para el modelo o método del RMR, para que la categoría del macizo sea de una categoría V, por otro lado, se puede diseñar un talud con una altura mayor, para así el talud vertical tenga una buena estabilidad, según lo mencionado por Hernández, *et al.* (2019 págs. 1-12).

Es por ello que, Mucuta, Cartaya y Cuni (2019 págs. 1-10), indican que la clasificación del macizo rocoso se puede clasificar en distintos parámetros como cuales son: la frecuencia y el tipo de las discontinuidades, la presencia de agua, el grado de meteorización o alteración y las propiedades que presenta la matriz rocosa. Por otro lado, las clasificaciones Geomecánicas, contienen parámetros para poder clasificar la geomecánica, como es el RQD, RMR, GSI.

En ese sentido, el parámetro que ha ido mejorando por el pasar de los años, permitiendo obtener el número que califica el comportamiento del macizo rocoso, el RQD (Rock Quality Designation), que se basa en la designación de la calidad de la roca, con el objetivo de proveer lo estimado de la calidad de masa rocosa, y se determina en medir el porcentaje de la recuperación de los testigos, generalmente se basa en medir el grado de fracturación del macizo rocoso, según lo mencionado por Cartaya, Ruiz y Otaño (2018 págs. 1-11).

$$RQD = \Sigma \frac{\text{Longitud de los pedazos de la muestra} > 10\text{cm}}{\text{Longitud total de la muestra}}$$

Para ello es necesario realizar el RMR (Rock Mass Rating) que fue clasificado por Bieniawski en 1976, donde aplicó esta propuesta para poder clasificar la roca el cual va a permitir relacionar la calidad del macizo rocoso, los sostenimientos de los taludes y las excavaciones, donde se basa en saber la calidad de la roca, de acuerdo con lo mencionado por Pérez, *et al.* (2018 págs. 1-12).

Asimismo, el GSI (Geological Strength Index), fue clasificado por Hoek en 1994 donde desarrolló el índice de la resistencia geológica, con el objetivo de poder subsanar los problemas que presenta el RMR, para poder evaluar la resistencia del macizo rocoso. Por otro lado, este índice de calidad se basa en poder definir la deformabilidad y la resistencia del macizo rocoso, de acuerdo con Sharifian, Kamrani y Dehgani (2017 págs. 1-11).

De esta manera, Gutiérrez (2019 págs. 1-11) indica que la explotación de cantera, generalmente presenta una explotación en contorno, el cual consiste en una excavación transversal, hasta poder alcanzar el límite económico, donde este

método se deja un talud de banco. Por otro lado, de acuerdo a Alevan, *et al.* (2020 págs. 5-20), el método de explotación por cantera, se basa en las rocas ornamentales e industriales, donde poseen dimensiones muy reducidas, ya que la explotación mayormente suele ser por banqueos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

En base a la finalidad del estudio será aplicada, porque busca dar soluciones a los problemas de una manera directa, este generalmente se basa en fundamentar los hallazgos de la investigación básica, Leonard, Piclín y Bayeux, (2021 págs. 1-8). Según el nivel de la investigación será explicativa porque se basará en explicar las causas que han dado origen a los problemas, Ramírez, González y Castañeda (2017 págs. 1-12).

Por otro lado, la investigación será Descriptiva transversal ya que se basará en poder manipular la variable independiente, para poder medir y observar la variable dependiente, en otras palabras, busca determinar la variable como una consecuencia para poder modificar la otra variable, Azuero (2019 págs. 1-12).

3.2. Variables y operacionalización

Variable dependiente: Estabilidad de taludes.

Definición Conceptual: El Talud se le denomina a una superficie inclinada de un suelo o macizo rocoso siendo clasificados en naturales y construidos, de acuerdo con Dallevedove y Soares (2017 págs. 1-6).

Según lo indicado por Santos, *et al.* (2017 págs. 1-15) esta estudia la posible estabilidad o inestabilidad del talud realizando proyectos que se lleva a cabo en obra estando relacionada directamente con la relación de la geología y la geotécnica.

Definición Operacional: Es el estudio de estabilidad o inestabilidad que puede ser ocasionada por diversas razones como el desnivel siendo estimado por métodos empíricos analíticos y numéricos.

Dimensiones:

- **Modo de explotación**

Indicador: tipo de explotación usada.

- **Cantidad de material obtenido**

Indicador: material obtenido.

Variable independiente: Modelamiento numérico.

De acuerdo con Hundelshausen, Florez y Zingano (2017 págs. 1-8), para el modelamiento numérico es aplicado sobre los métodos de elementos finitos las cuales son resoluciones de ecuaciones diferenciales las cuales permitan analizar un comportamiento de fenómenos físicos que a partir de la integración de muchos simples elementos de un fenómeno y donde cada elemento finito posee un nodo y se interpola entre ellos, logrando obtener la solución del sistema. Esto permite aproximarse a los resultados obtenidos dependiendo de manera básica la muestra del modelo matemático.

Dimensiones.

- **Modelamiento matemático.**

Indicador: Condiciones de frontera.

Indicador: Representación de esfuerzos.

Indicador: Deformaciones por excavaciones.

Indicador: Influencia de esfuerzos naturales.

Indicador: Influencia geométrica.

Indicador: Métodos de estabilidad.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población es el conjunto que se puede determinar los individuos, objetos, etc., el cual posee algunas características observables, ya sea en un momento o en un lugar determinado, según Díaz y Apaolaza (2020 págs. 1-15). Por lo cual, la población estará conformada por todo el territorio de la Cantera Tuna Blanca.

Muestra

La muestra es el subconjunto de la población, es la que se encarga de sacar las conclusiones de la población, según Rendón, *et al.* (2017 págs. 1-9). Por lo tanto, la muestra estará conformada por los puntos georreferenciados en la Cantera Tuna Blanca.

Muestreo

Se basa en poder seleccionar los componentes de la muestra total de la población, según Bravo, Hoyos y Reyes (2019 págs. 5-25). Por lo que, para esta investigación será un muestreo no probabilístico no aleatorio, ya que se realizará en cada espacio de la población de estudio, estas muestras se tomarán según las condiciones en la que se encuentre el terreno y los puntos a seleccionar.

Unidad de análisis

Los puntos georreferenciados en la cantera Tuna Blanca y que permitirá realizar el análisis geomecánica y su estabilidad de este.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas:

En esta investigación se utilizará la técnica de la **observación y el análisis documental**, los mismos que se encargarán de extraer los datos que sean necesarios para la investigación, información de los datos con respecto a la geomecánica para poder clasificar el macizo rocoso, de acuerdo a Schaffhauser (2017 págs. 5-20).

Instrumentos:

Se utilizará como instrumento la guía de observación de campo y el registro de información, donde se tuvo que recolectar y obtener los datos, ya que para ello se tuvo que ver geomecánicamente el macizo rocoso de la cantera Tuna Blanca. Por otro lado, consistió en poder dar y realizar una revisión objetiva y clara de los hechos, de acuerdo a Schaffhauser (2017 págs. 20-30).

3.5. Procedimientos

En la **etapa preliminar**, se buscará información para el desarrollo de la investigación, tales como: explotación de cantera, análisis geomecánico, estabilidad de taludes, software RockPlane, software LS-DYNA, entre otros, para poder recolectar información y formar estrategias de solución. Toda recolección será obtenida de tesis, artículos y bibliografía.

En la **etapa de campo**, se recolectará información para el análisis de la geomecánica de estabilidad de taludes, en base a fotografías, recorrido de campo en la cantera y los puntos georreferenciados de la cantera Tuna Blanca, asimismo,

esa información servirá para clasificar el macizo rocoso para poder efectuar el RMR, RQD, etc.

En la **etapa de gabinete**, los datos obtenidos en la etapa previa serán evaluados en el software RocPlane y LS-DYNA, con lo cual se efectuarán estrategias de solución.

3.6. Método de análisis de datos

El método analítico permitirá conocer y analizar el objeto de estudio de tal manera que se describan las causas, partes y su naturaleza para comprender su comportamiento y establecer soluciones. Por lo cual, la utilización de un método sintético, será fundamental ya que pretende utilizar las pequeñas partes del objeto de estudio para dar una solución general en la cantera Tuna Blanca.

3.7. Aspectos éticos

Entre los aspectos éticos tenemos la beneficencia, ya que este estudio fue beneficioso ya que, ayudará a conseguir la mejora de explotación en la cantera Tuna Blanca. No maleficencia, porque no habrá ningún daño en aplicar esta investigación, ya que no ocurrirá ningún riesgo a la hora de analizar la geomecánica de estabilidad de taludes mediante el software RocPlane, donde no se llegará ocasionar ningún mal en la cantera. Autonomía, porque se obtendrá información importante para esta investigación, ya que también se buscará posturas diferentes. Justicia, ya que abarcará la cantera Tuna Blanca, y la metodología puede ser replicada para ser base de otras investigaciones con fines de justos y proponiendo mejoras y bienestar a los que influyen.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de las características geotécnicas de la cantera Tuna Blanca.

Ubicación:

Se ubica a tres kilómetros de la provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca, la cual tiene ruta de acceso asfaltado y estando en buen estado, con señalizaciones. Esta cantera tiene su método de explotación es de tajo abierto y se extrae de manera artesanal con uso de herramientas manuales, pero se agencian también de maquinaria pesada para reducir el tamaño de la roca son cargadores frontales y chancadoras, la misma cantera tiene espacio para almacenamiento de lo extraído, este es vendido tanto para el sector público como para el privado.



Figura 1. *Ubicación de cantera Tuna Blanca.*

Nota: en la figura muestra la locación de la cantera tuna blanca.

La cantera Tuna Blanca está en las coordenadas UTM 9269636.68N 725744.48E y su área de concesión es de 100 498.57 metros cuadrados y un perímetro de 4 016.33 metros para poder determinar estas áreas se levantaron puntos topográficos en la localidad y mediante el uso del google earth se pudo determinar los

parámetros antes mencionados permitiendo tener una zonificación y así poder proceder con el estudio.

Tabla 1. *Ubicación de cantera Tuna Blanca.*

ITEM	Descripción
Ubicación	En el kilómetro 04+200 del tramo Santa Cruz – Chiclayo.
Acceso	Está a 20 metros del eje de la vía.
Material	Se conforma con gravo arenoso del tipo GP.
Área	48 267.60 m ²
Potencial bruto	169 006,60 m ³
Potencia neta	161 763,46 m ³
Potencial útil	121 322,60 m ³
Utilización	Material afirmado, base, T.S.B., sub base, piedra grande, mediana y chancada.
Método de explotación	Artesanal con barretas y palanas y también de manera industrial con el uso de tractor o cargador frontal y volquetes.
Tiempo de extracción	Todo el año.

Nota: En la presente tabla describe la ubicación y características de la cantera tuna blanca.

Fuente: elaboración propia.

Geología regional.

Las características geológicas de la región Cajamarca tiene relación con el origen tectónico y cronológico ya que presenta cubiertas de tipos de rocas sedimentarias del cretáceo, del paleógeno – neógeno y también sedimento del cuaternario y presencia de pequeñas rocas del precámbrico.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	Grosor (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. fluviales y aluviales Dep. lagunares y glaciares			Arenas, gravas. Limos, arcillas.	
		PLEISTOCENO	Formación Condebamba	150		Conglomerados, areniscas y arcillas rojas.	
		PLIOCENO	Formación Cajabamba	200		Lutitas, lodolitas, areniscas finas blanco amarillentas.	
	NEOGENO	MIOCENO	Sup.	Formación Bambamarca	300		Tobas dacíticas y traquiandesíticas blanquecinas. Disc. ang.
			Inf.	Grupo Callipuy Formación Porculla	2100		Tobas blanco amarillentas intercaladas con areniscas rojizas, aglomerados y piroclastos. Dacita
			Intercalación de derrames andesíticos, tobas blanquecinas, areniscas tobáceas y conglomerados lenticulares. Diorita				
			Tobas blanquecinas intercaladas con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas.				
	PALEOGENO	OLIGOCENO		Formación Llama	600		Derrames y brechas andesíticas.
		PALEOCENO		Formación Chota	500		Conglomerados con cantos de cuarcita. Disc. ang.
	MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Celendín	200		Conglomerados con cantos de calizas y areniscas rojizas
Formación Cajamarca				600-700		Calizas, margas y lutitas gris amarillentas.	
Grupo Quilquiñán				500		Calizas gris azuladas, macizas, con delgadas intercalaciones de lutitas y margas.	
Grupo Pullucana				700		Calizas nodulares macizas, margas y lutitas pardo-amarillentas fosilíferas.	
					Calizas gris parduscas, fosilíferas, margas y escasos niveles de lutitas.		
INFERIOR			Formación Pariatambo	150-200		Lutitas grises o negras, calizas bituminosas nodulares.	
			Formación Chúlec	200-250		Calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas.	
			Formación Inca	150		Areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas.	
			Grupo Goyllansquizga Formación Farrat	500		Cuarcitas y areniscas blancas.	
			Formación Carhuáz	500		Areniscas rojizas y cuarcitas blancas intercaladas con lutitas grises.	
JURASICO		SUPERIOR	Formación Santa	150-100		Lutitas grises y calizas margosas.	
			Formación Chimú	80-600		Areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, principalmente cuarcitas en la parte superior.	
		MEDIO	Formación Chicama	500		Lutitas negras, laminares y deleznales, con intercalaciones de areniscas grises y horizontes arcillosos. Disc. ang.	
TRIASICO		SUPERIOR	Formación Oyotún	500		Tobas, brechas y derrames andesíticos. Tonalita/granodiorita	
			Grupo Pucará	700-800		Calizas gris azuladas, macizas con nódulos silíceos.	
PALEOZOICO	SUP.	PERMIANO	Grupo Mitu	300		Areniscas, limolitas y conglomerados rojizos. Disc. ang.	
	INF.	ORDOVICIANO	Formación Salas	?		Filitas pelíticas y tobáceas de colores marrones y negruzcos con algunas cuarcitas hacia la parte superior. Disc. ang.	
PROTEROZOICO			Complejo Olmos	?		Esquistos gris verdosos y anfíbolitas. Disc. ang.	

Figura 2. Lito estratigrafía de la localidad.

Estratigrafía: En la localidad tiene secuencia fosilífera de caliza arenosa, margas y lutitas; las cuales adquieren un color crema amarillento donde la característica del suelo que lo distingue. A su vez aflora rocas volcánicas fracturadas y alteradas que tiene presencia de óxidos y venillas de yeso.

Deposito aluvial: este cuenta con espesor más apreciable y conforman terrazas desarrolladas y encontramos caliza, esta perteneciente a la roca sedimentada.

Características geomecánicas.

Para poder determinar las características geotécnicas en la cantera Tuna Blanca se ha utilizado la metodología RMR (Rock Mass Rating), el cual permitió determinar los parámetros de diseño y de sostenimiento. Es así que este sistema considera 05 parámetros que tiene relación al RQD que son la resistencia de la roca intacta, el grado de meteorización, el grado de fracturación y la condición de discontinuidad, los cuales se asignan una puntuación o un valor que son recomendados por el ISRM (international society of rock mechanics). Se tiene que estos puntajes son sumados para tener un valor que permita determinar la calidad del macizo rocoso y esto indica la calidad denominada RMR que tiene entre los valores de 0° a 100°.

RMR (Rock Mass Rating) Bienawski		
Clase Macizo Rocoso	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-21

Figura 3. Sistema RMR.

Continuando con la elaboración del objetivo se procede a obtener las estaciones de mapeo que se encuentre ubicados al largo de la cantera donde se consideraron 6 estaciones de mapeo donde se plantean para en mantenimiento intacto de dicha cantera.

Tabla 2. Mapeo geomecánico.

N°	Estación de Mapeo	Coordenada UTM WGS84	
		Norte	Este
1	EMP-2022-001	9,269,100.00	725,050.000
2	EMP-2022-002	9,269,050.00	725,100.000
3	EMP-2022-003	9,269,050.00	725,150.000
4	EMP-2022-004	9,269,050.00	725,050.000
5	EMP-2022-005	9,269,000.00	725,200.000
6	EMP-2022-006	9,269,000.00	725,250.000

Fuente: elaboración propia.

Los taludes están orientados al NO y con alturas de 9 metros y con ángulos que varían de 75° a 80° de manera aproximada y se tiene las siguientes características.

Tabla 3. Características geométricas de los laboreos.

Tipo	Ubicación	Dominio estructural	Dipdir
Talud natural	Sur-este	DE-01	75°
Talud natural	Norte	DE-02	78°
Talud natural	Oeste	DE-03	76°

Fuente: elaboración propia.

Se procede a realizar los criterios de falla de Hoek Y Brown quienes mediante ensayos obtuvieron cortes directos que se realizaron en campo y se obtiene las siguientes propiedades físicas y parámetros mecánicos que se detallan en la siguiente tabla la cual permitirá tener los criterios que se han utilizados y así posteriormente determinar los valores por estación de mapeo y así permitan clasificar geomecánicamente el objeto del estudio.

Tabla 4. *Parámetros mecánicos y propiedades físicas de la roca.*

N°	Propiedad	Parámetro		Criterio
1	Densidad	2.42	t/m ³	Propiedad física
2	RCU	106.7	MPa	Propiedad mecánica
3	Ángulo de fricción	23.07	°	Hoek Y Brown
4	Cohesión	0.105	MPa	Hoek y Brown
5	S	0.0113	-	Hoek y Brown
6	mi	15	-	Hoek y Brown
7	mb	4.15	-	Hoek y Brown

Fuente: elaboración propia.

La data recolectada se presenta en el anexo 03 el cual permitirá observar la información recolectada en campo y se tiene valores de 33 a 42 y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5. *Valores de estación por mapeo.*

N°	Estación de Mapeo	Coordenadas UTM WGS 84		Caracterización geotécnica		
		Norte	Este	RMR	GSI	Q
1	EMP-2019-001	9,269,100.00	725,050.000	38	33	0.295
2	EMP-2019-002	9,269,050.00	725,100.000	35	30	0.211
3	EMP-2019-003	9,269,050.00	725,150.000	38	33	0.295
4	EMP-2019-004	9,269,050.00	725,050.000	41	36	0.411
5	EMP-2019-005	9,269,000.00	725,200.000	39	34	0.329
6	EMP-2019-006	9,269,000.00	725,250.000	37	32	0.264

Fuente: elaboración propia.

4.2. Realización del análisis geomecánico de la roca mediante el software RocPlane.

Para el siguiente objetivo se procede a realizar el cálculo de la compresión uniaxial para las 6 estaciones donde los resultados obtenidos con ayuda del instrumento esclerómetro permite determinar la compresión uniaxial las cuales varían entre 100 – 250 y 50 – 100 MPa la cual está entre una compresión uniaxial entre buena a muy buena y se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 6. Resistencia a la compresión uniaxial.

Estación	Descripción	Resistencia	Valor (MPa)
E1	50 – 100	Dura	86
E2	100 – 250	Muy dura	110
E3	50 – 100	Dura	75
E4	50 – 100	Dura	84
E5	100 – 250	Muy Dura	115
E6	50 – 100	Dura	52

Nota: en la presente tabla se muestra resultados obtenidos de la resistencia de compresión uniaxial donde se obtienen valores.

Fuente: elaboración propia.

Realizando el cálculo de la fracturación o RQD se utiliza la siguiente expresión.

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

Reemplazando se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 7. Valores RQD.

Estación	Descripción	RQD	Valor (%)
E1	>90	Muy buena	93,84
E2	>90	Buena	90,98
E3	90 – 75	Muy buena	87,81
E4	>90	Muy buena	90,98
E5	>90	Muy buena	90,98
E6	90 – 75	Buena	87,81

Fuente: elaboración propia.

Al interpretar la siguiente roca y por los valores obtenido se puede proceder a indicar que la roca es de buena calidad.

Para la siguiente tabla se tiene el parámetro de espaciamiento la cual se obtiene valores moderados y se muestran.

Tabla 8. Espaciamiento.

Estación	Descripción	Espaciamiento	Valor (m)
E1	0,60 – 0, 20	Moderado	0,55
E2	0,60 – 0, 20	Moderado	0,50
E3	0,20 – 0,06	Junto	0,11
E4	0,20 – 0,06	Junto	0,15
E5	0,60 – 0, 20	Moderado	0,52
E6	0,20 – 0,06	Junto	0,08

Fuente: elaboración propia.

En el parámetro de persistencia se encontró entre baja y muy baja y se indica en la siguiente tabla.

Tabla 9. *Persistencia.*

Estación	Descripción	Espaciamiento	Valor (m)
E1	1 – 5	Abierto	2,50
E2	1 – 5	Abierto	2.00
E3	0,1 – 1	Parcialmente abierto	0,40
E4	0,1 – 1	Parcialmente abierto	0,65
E5	1 – 5	Abierto	1,90
E6	0,1 – 1	Parcialmente abierto	0,85

Fuente: elaboración propia.

Para el parámetro de rugosidad se pudo obtener que hay una ligera condición de rugosidad a lisa y se tiene en la siguiente tabla.

Tabla 10. *Rugosidad.*

Estación	Descripción
E1	Lisa
E2	Ligeramente rugoso
E3	Ligeramente rugoso
E4	Lisa
E5	Lisa
E6	Ligeramente rugoso

Fuente: elaboración propia.

Para el parámetro del relleno se pudo obtener las variables de entre blando y limpio o sin relleno y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11. Relleno.

Estación	Descripción	Relleno	Valor (mm)
E1	Sin relleno	Limpio	-
E2	Sin relleno	Limpio	-
E3	<5	Limpio	2,5
E4	<5	Blando	2,0
E5	<5	Blando	1,4
E6	<5	Blando	1,5

Fuente: elaboración propia.

Se procede a pegar lo obtenido por el software tras el análisis y se tiene lo siguiente:

Reporte del RocData.

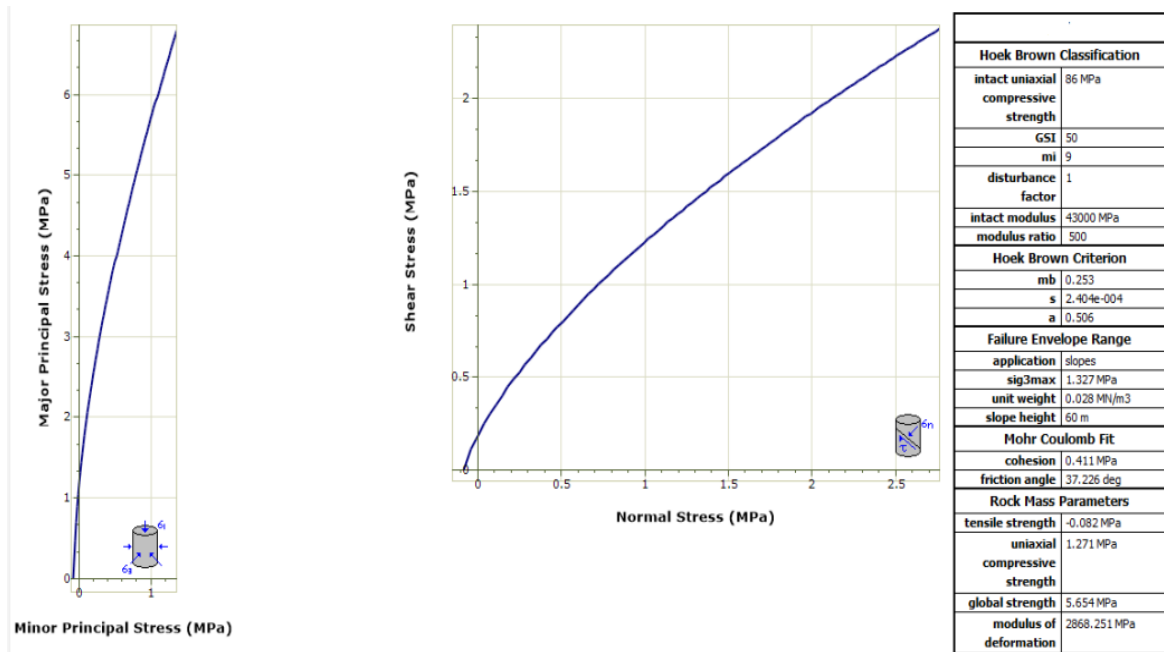


Figura 4. Reporte del software de la estación 1

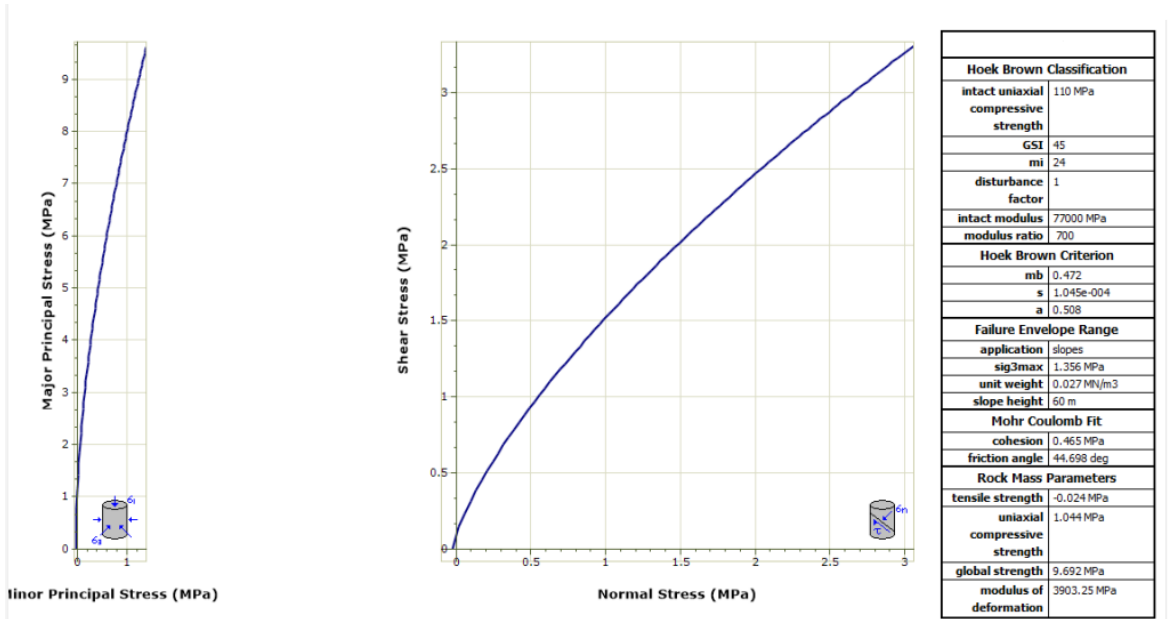


Figura 5. Reporte del software de la estación 2.

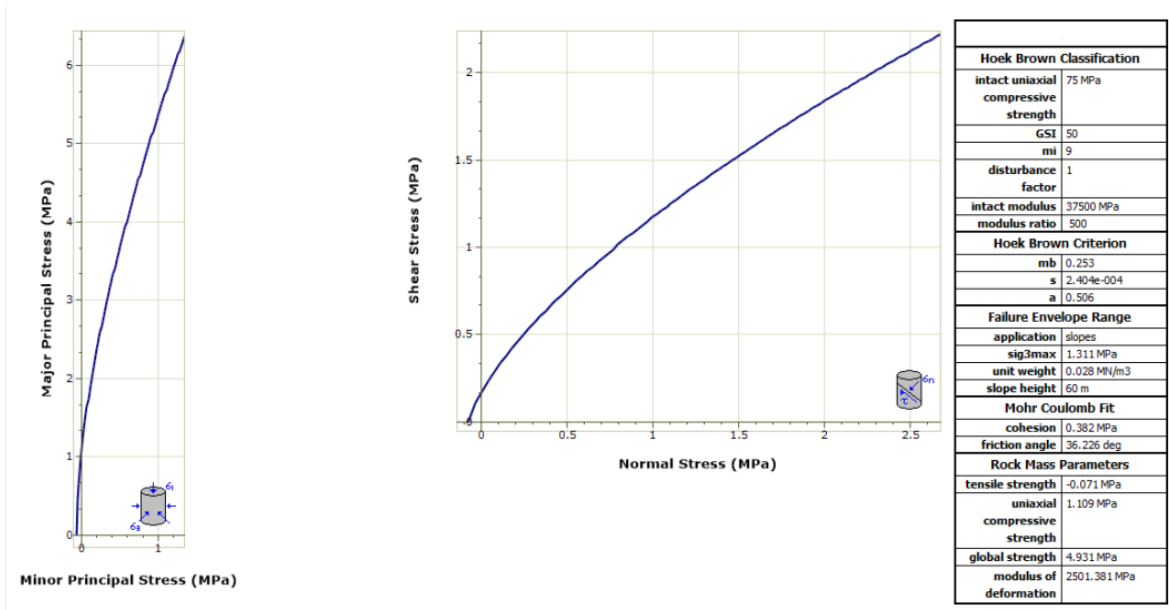


Figura 6. Reporte del software de la estación 3.

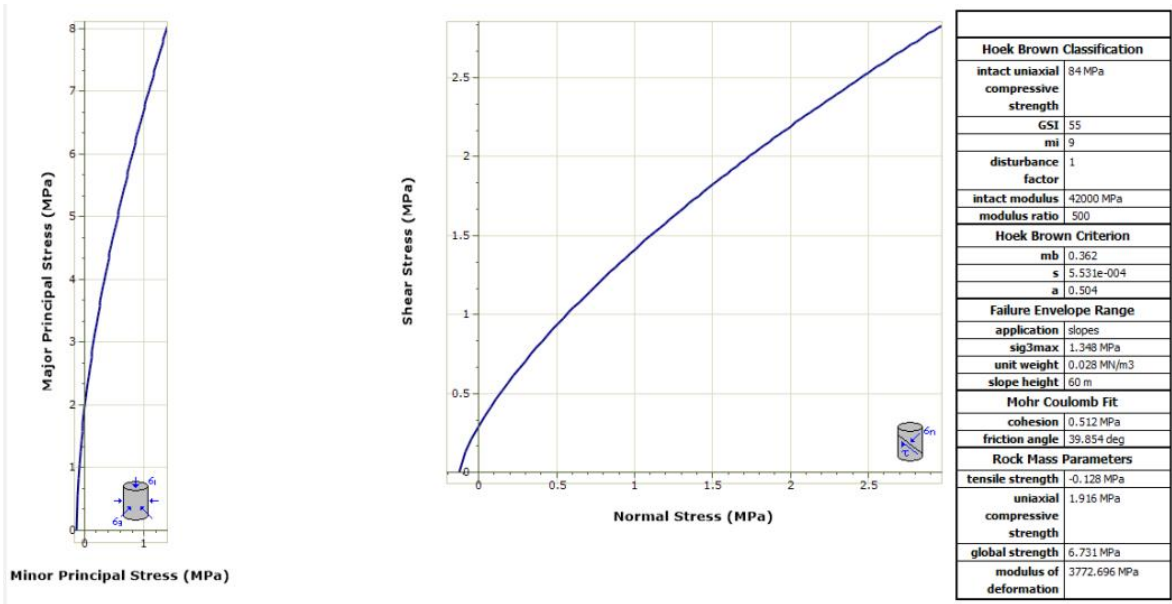


Figura 7. Reporte del software de la estación 4.

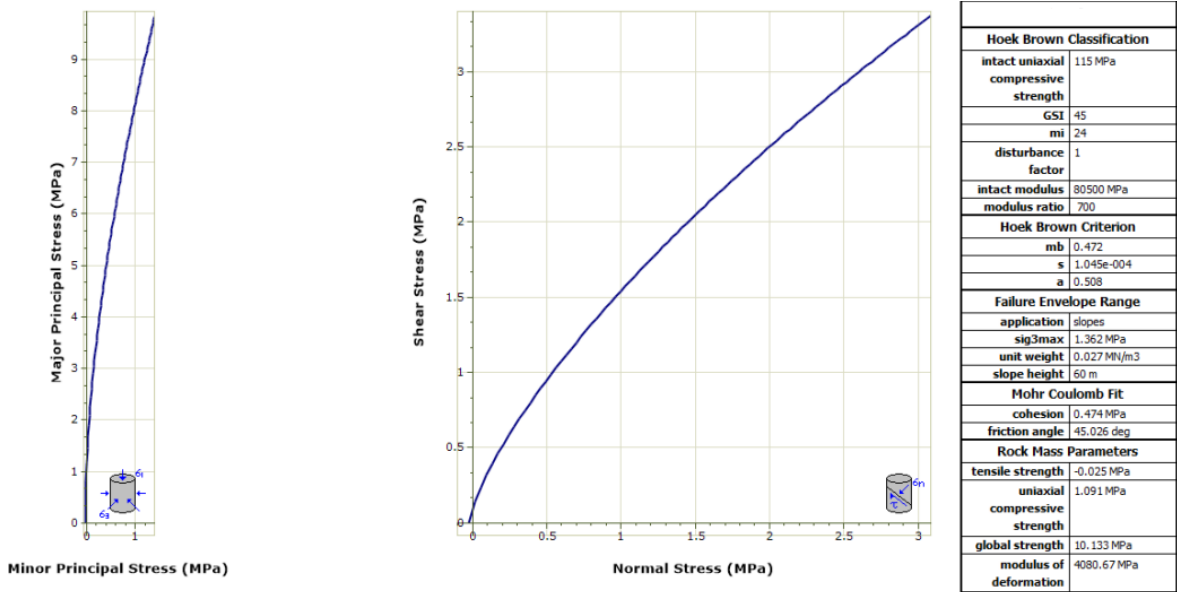


Figura 8. Reporte del software de la estación 5.

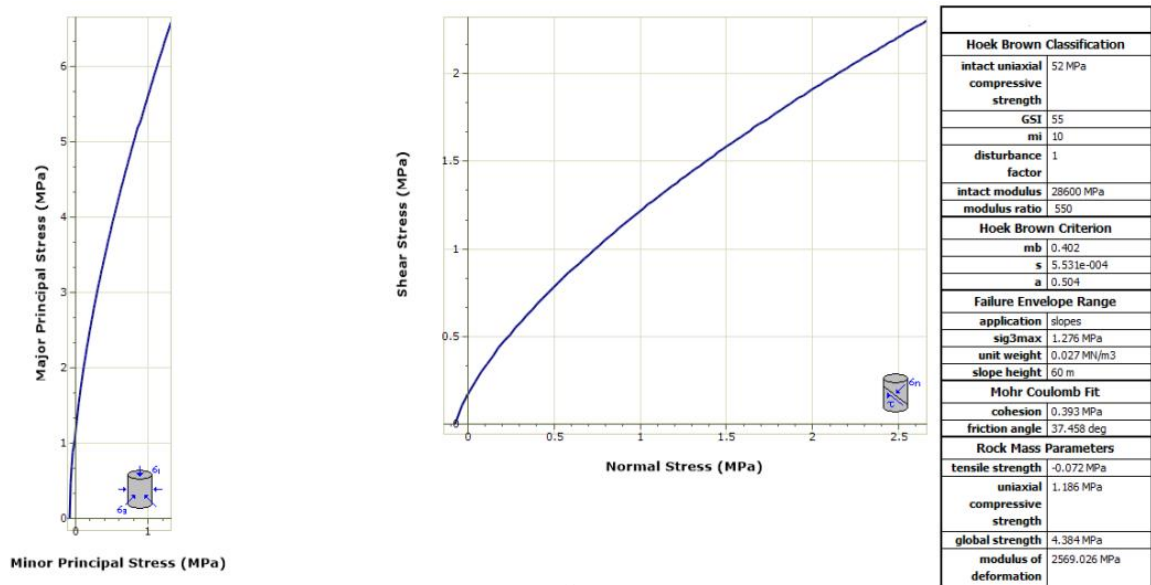


Figura 9. Reporte del software de la estación 6.

Tabla 12. Resumen del Rocdata.

Estació	Comprensión	RQD	Espaciament	Rellen	Modulo
E1	86	93,8	0,55	-	500
E2	110	90,9	0,50	-	700
E3	75	87,8	0,11	2,5	500
E4	84	90,9	0,15	2,0	500
E5	115	90,9	0,52	1,4	700
E6	52	87,8	0,08	1,5	700

Fuente: elaboración propia.

Este cuadro permite determinar los valores geomecánicos para poder posteriormente obtener en el rocplane el reporte de las estaciones donde indique la estabilidad o inestabilidad de los puntos tomados en cuenta bajo criterios que permitan determinar mediante el uso de software.

Reporte del RocPlane.

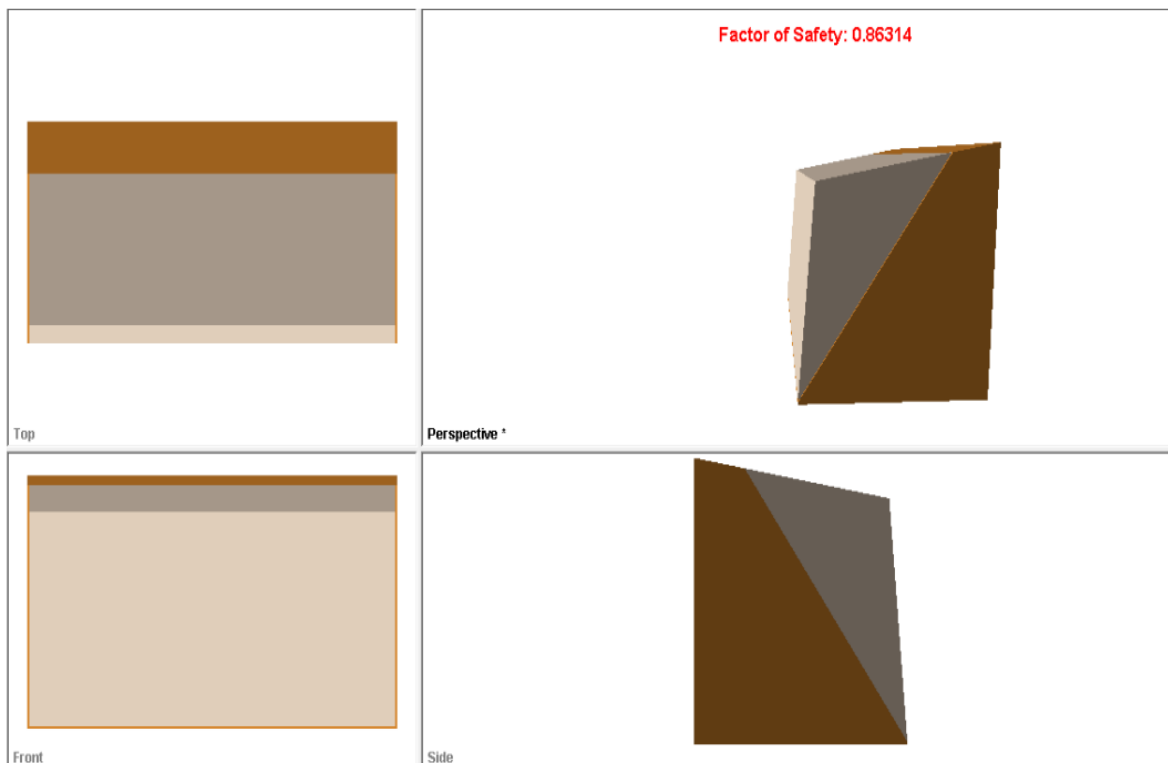


Figura 10. Reporte del software de la estación 1.

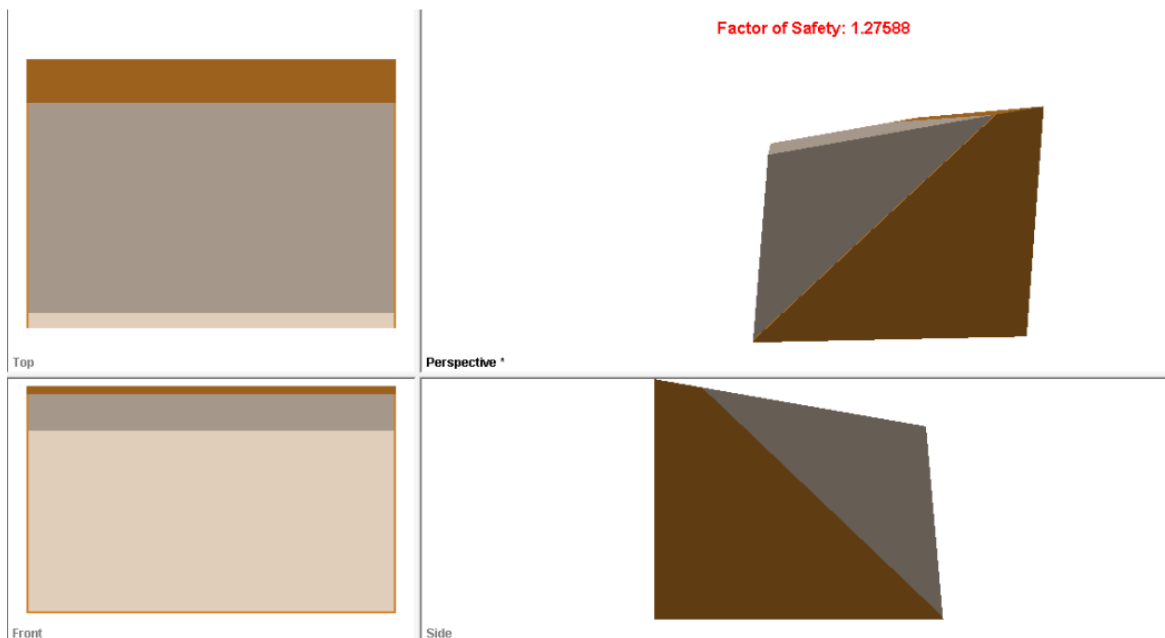


Figura 11. Reporte del software de la estación 2.

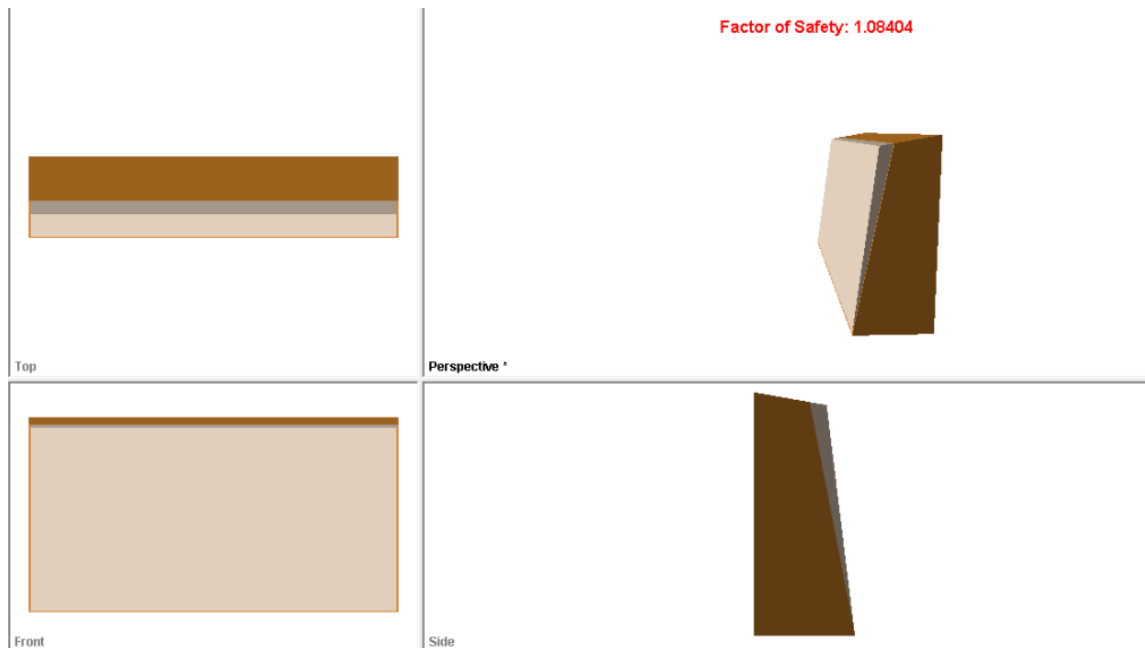


Figura 12. Reporte del software de la estación 3.

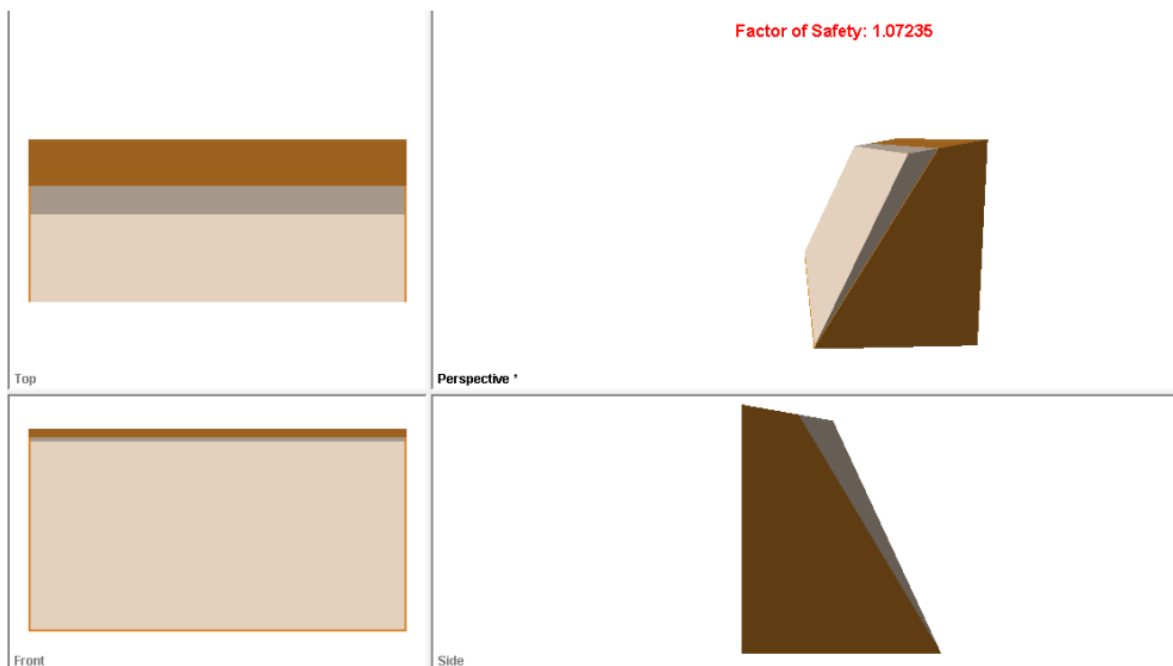


Figura 13. Reporte del software de la estación 4

Las figuras anteriormente mostradas muestran los valores de factor de seguridad el cual determina que valores inferiores a 1 es una zona inestable y mayores a 1 son estables.

Tabla 13. *Resumen del Rocdata.*

Estación	Factor de seguridad
E1	0,86
E2	1,28
E3	1,08
E4	1,07

Fuente: elaboración propia.

4.3. Realización del modelamiento numérico utilizando un software.

Para poder realizar el modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA se dan diferentes situaciones, para iniciar la simulación en el sector geotécnico más sencillo morfológicamente, siendo el modelo de prospecto y poder obtener resultado coherente con la hipótesis. Los datos de ingresos al software LS DYNA se introduce con el material característico y el control de deformación de la malla o hourglass entre los datos geomecánicos ya determinados.

Para reducción de tiempo se enmalla con cuadrados y triángulos según el orden indicado, teniendo en cuenta las distancias entre discontinuidades, este análisis a realizar se hace en una simulación de 2D, el pre proceso se realiza en LS – PrePost, siendo el procesador del software utilizado para la simulación.

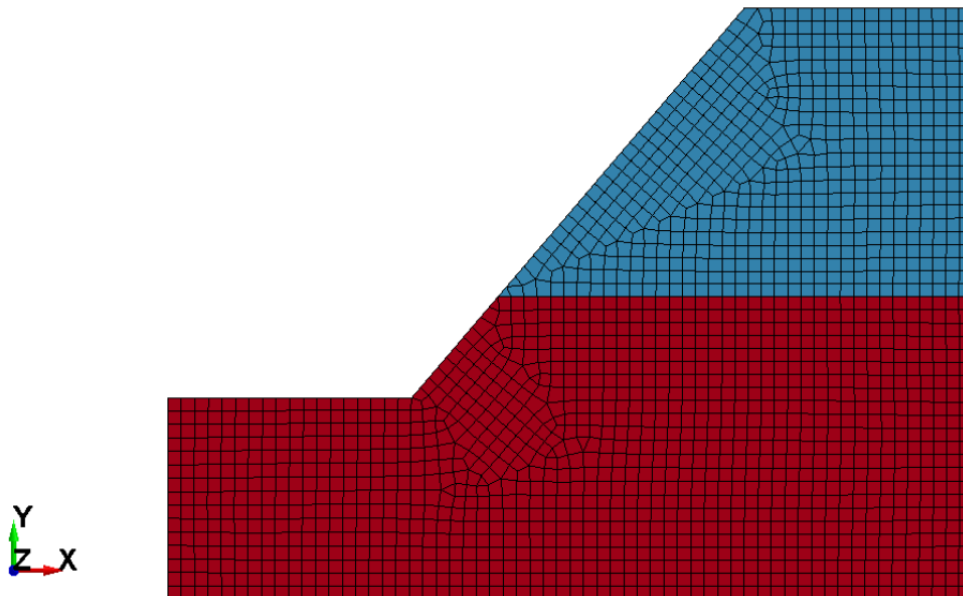


Figura 14. Representación de parte y geometría del sector seleccionado

Para poder construir la zona seleccionada se basó en el factor de seguridad el cual indica que presenta inestabilidad, su construcción se utiliza líneas y coordenadas en el menú *Curve*, después se procede a construir el mallado en el menú *Element and Mesh*, se utiliza la *N – LINE MESHER* y *N – SIDE SURF* para mallar según el tamaño del elemento.

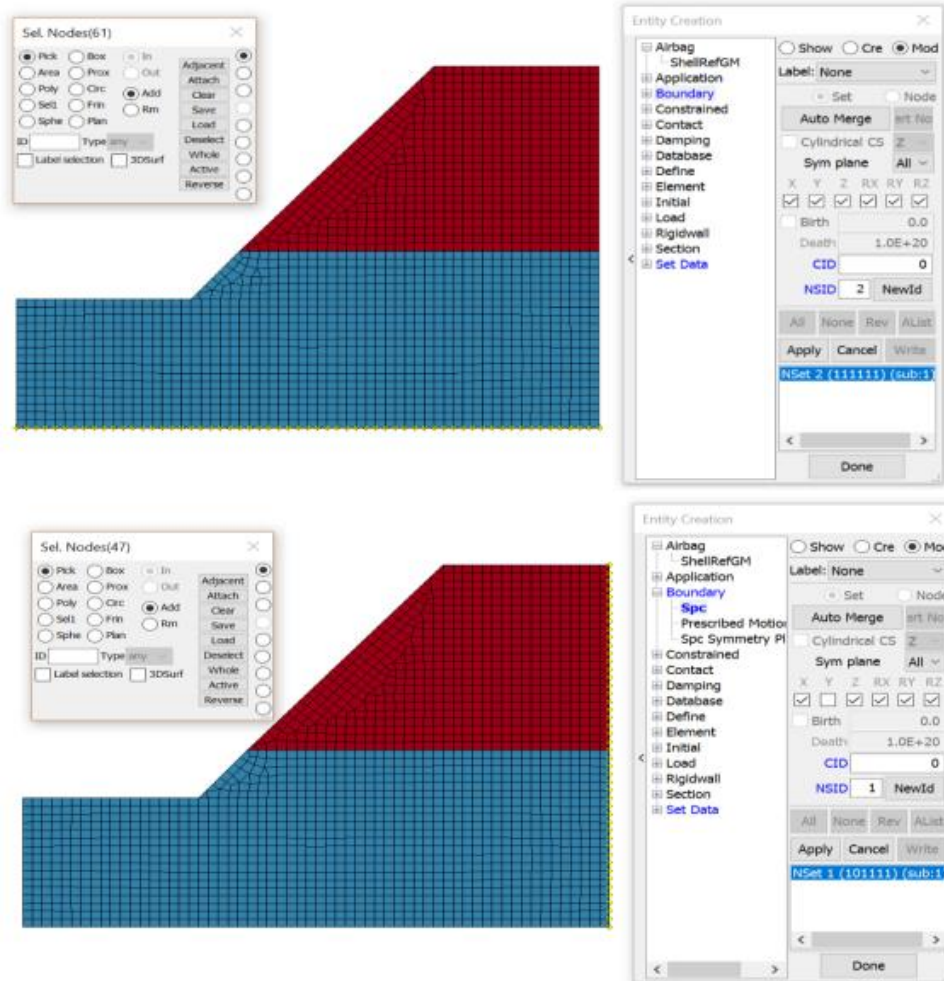


Figura 15. Condiciones del contorno numérico 2D.

Para la construcción del contorno numérico se aplica el criterio de Mohr – Coulomb para asignar el material y exponiéndose a cargas impulsivas, esfuerzos cortantes y bases de rodadura y los diferentes planos de debilidad en función a la data obtenida.

Para proceder con el modelamiento numérico se tiene que ingresar los datos como densidad de material, módulo de rigidez a cortante, el coeficiente de Poisson, el ángulo de fricción, la cohesión de dilatación, el espaciamiento, la fricción y la cohesión de junta.

Todos estos parámetros indicados se determinaron en el anterior objetivo los cuales son determinados por el anterior software.

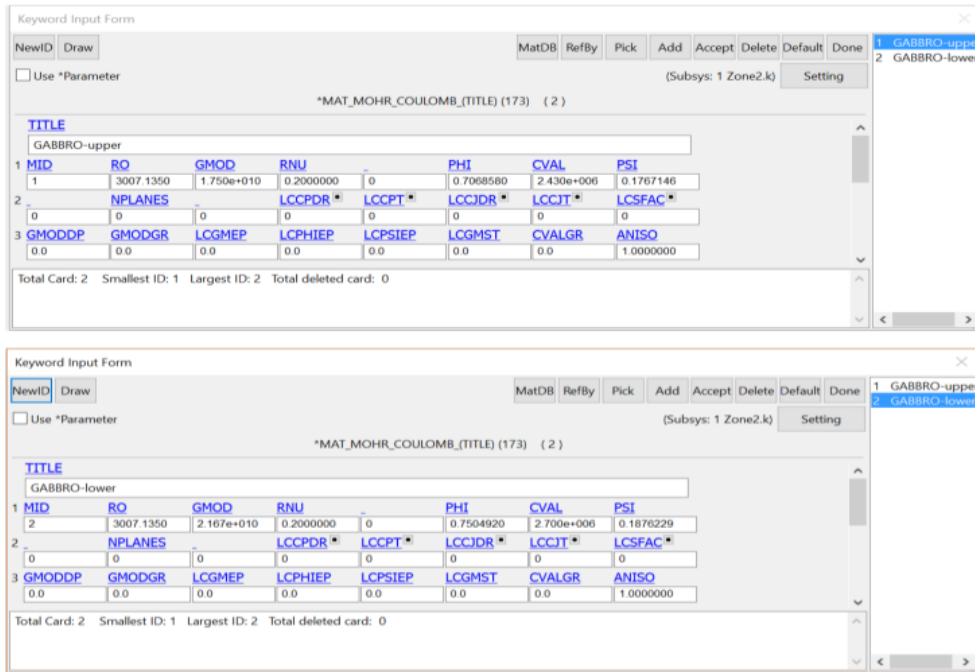


Figura 16. Grabo superior e inferior.

Estos parámetros ingresados en el software LS DYNA permite el modelamiento de numérico de la estación 1 ya que por factor de seguridad se determinar inestabilidad y procedemos a evaluarlo para posteriormente proponer una mejora para esta inestabilidad.

4.4. Análisis de la estabilidad de taludes mediante el software.

Para proceder a realiza el análisis de la estabilidad del talud de la cantera Tuna Blanca en el software LS DYNA se utilizan los parámetros por defectos antes ingresados esto muestra la deformación plástica las que no se consideran presiones de poros.

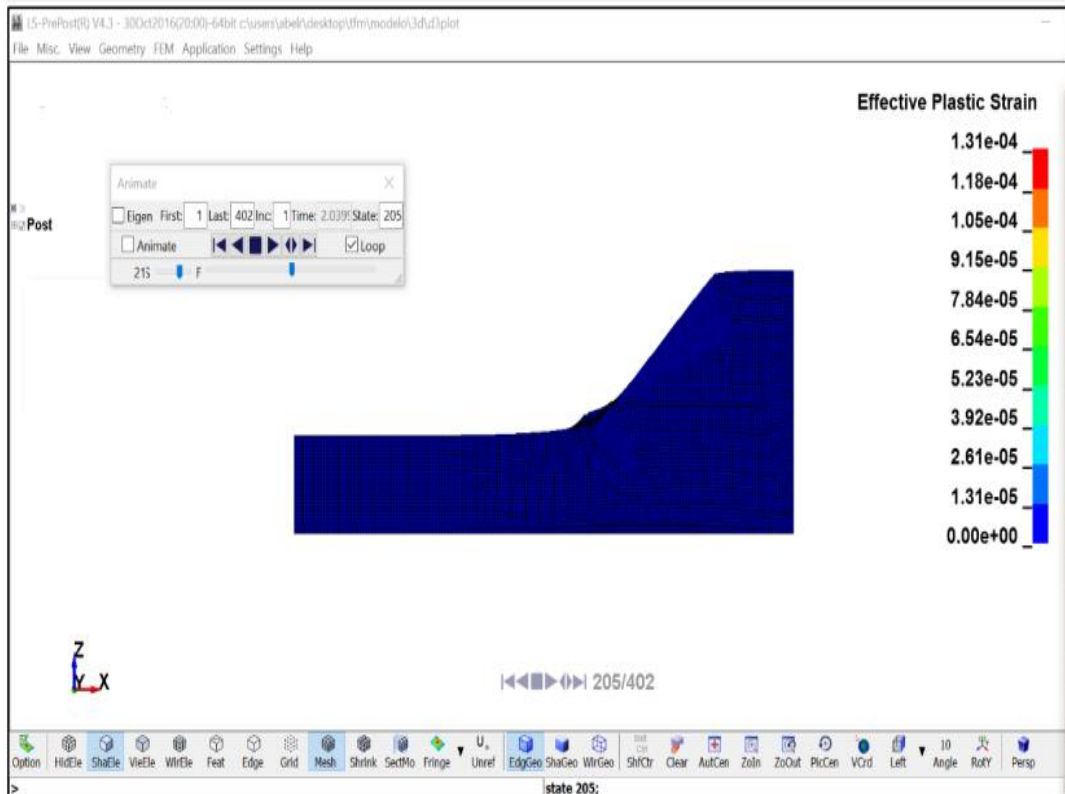


Figura 17. Esfuerzos plásticos efectivos.

Se muestra que las deformaciones plásticas son pequeñas, pero a falta de bibliografía disponible para un uso guiado del LS DYNA esto hace que el talud sea considerado como un solo material y siendo así los resultados anteriormente mostrados en la figura 17.

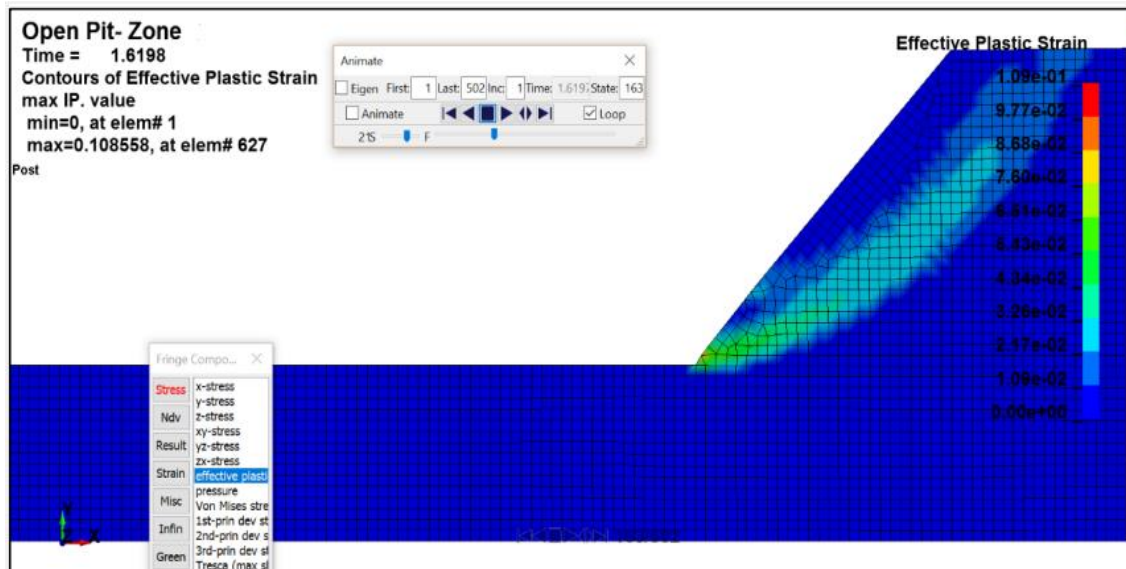


Figura 18. Deformaciones plásticas efectivas.

Según lo determinado y por la inclinación de la superficie del talud esta se puede aplicar una simulación para proponer la estabilidad del talud en la estación 1 y así poder incrementar su valor de factor de seguridad por encima del 1.

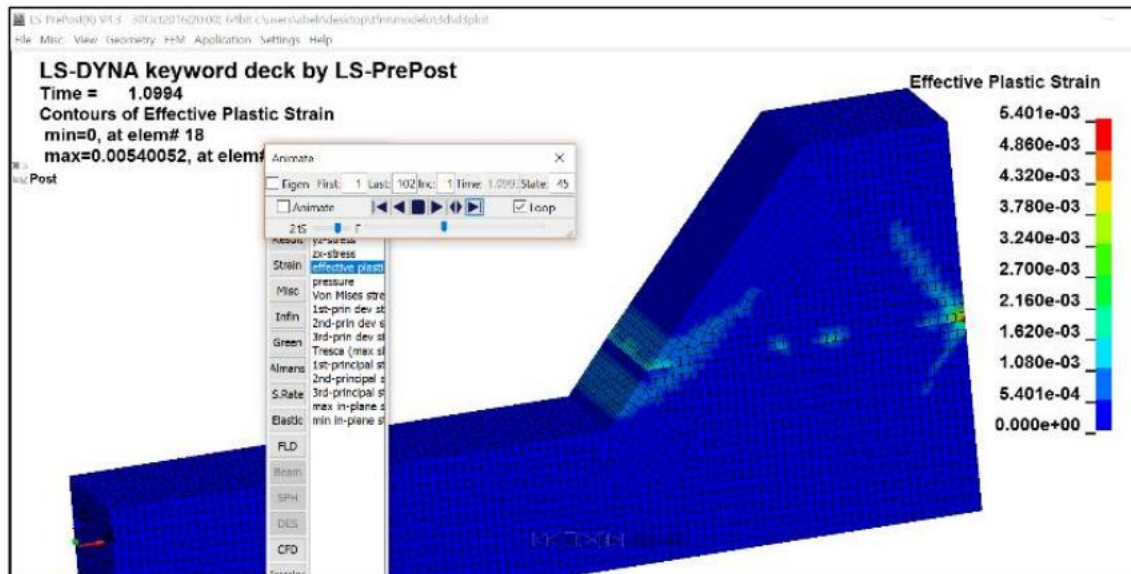


Figura 19. Resultados de las deformaciones.

4.5. Propuesta del control de la estabilidad del talud de la cantera.

Las zonas seleccionadas para el estudio solo la estación 1 presenta un factor de seguridad menor a 1 la cual conduce a una inestabilidad para poder controlar esta inestabilidad de la cantera en el mismo software LS DYNA simulamos las condiciones para poder darle estabilidad y mejorar su factor de seguridad y así poder controlar esta condición encontrada.

El sector geotécnico considerado se debe extender para que el ángulo de inclinación mejore y por ende se modifiquen los parámetros y así poder incrementar el factor de seguridad.

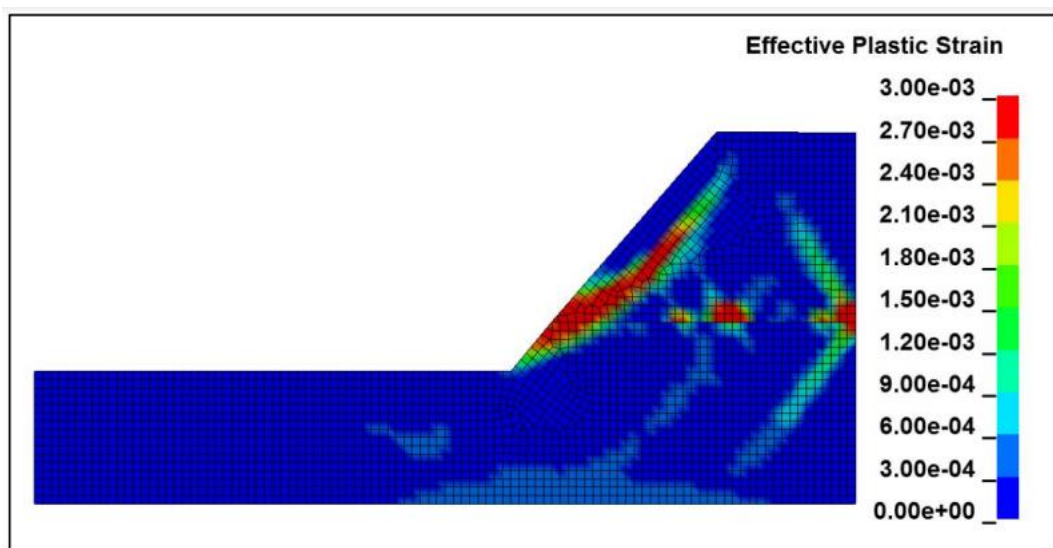


Figura 20. Resultado de modificación de la estación 1.

En el punto seleccionado se considera espesores y estimación de espaciamiento lo cual permita que el LS DYNA modifique sus parámetros específicos y mejora su resistencia a la uniaxialidad, permitiendo la mejora del factor de seguridad subiendo a un valor de 1,05 pudiendo tener estabilidad.

V. DISCUSIÓN

En la presente investigación al realizar la obtención de las características geomecánicas de la localidad investigada, mediante el uso de la metodología RMR, se determinó los parámetros geomecánicos de la cantera Tuna Blanca, las cuales se ubicaron 6 puntos de mapeo las cuales están en la tabla N°3 y en donde determinamos los ángulos que varían de 70° hasta los 75° y en donde se indican los parámetros mecánicos y las propiedades físicas en la tabla N°5 y en donde los valores de la estación como son el RMR, GSI y Q están en la tabla N°6, y es así que se logra la caracterización de la zona estando en concordancia con los autores Alvarado y Villanueva (2019) quienes utilizaron la misma metodología para la caracterización de la zona en estudio logrando también la determinación de los valores de los parámetros geomecánicos; el RMR, para determinar la clase de los macisos, los cuales fueron de clase media a mala y; el GSI, para determinar que son de clase Muy Fracturada, Perturbada, y según las condiciones de superficie es Regular y Pobre; sin embargo no utilizó la metodología Q, ya que el estudio no lo ameritaba, en su lugar utilizó la metodología SMR, donde encontró que las zonas analizadas se consideran Inestables; para así proceder a realizar los análisis pertinentes y poder obtener las facilidades en el desarrollo de la investigación.

A su vez concuerda también con el autor Martínez (2018), quien al realizar el trabajo de campo pudo obtener los resultados como es la comprensión simple y logrando también obtener los valores de los parámetros del RMR, RQD y el Q de Barton, donde concluye que el talud tiene presencia de meteorización diferencial y que se basó en una malla superficial del talud permitiendo que el macizo rocoso se comporte de una manera adecuada y tenga una mayor eficacia geomecánicamente, considerando también a los bloques retenidos para lograr el desarrollo con mayor énfasis. Mientras que, Mamani y Pisco (2020), determinaron las características geomecánicas de los macizos rocosos para el diseño de la estabilidad de los taludes mediante el uso de RQD, RMR CSMR, GSI; debido a los requerimientos de diseño necesarios para esta investigación; por lo que indica que es importante estudiar el macizo rocoso para poder determinar los requerimientos necesarios con la finalidad de obtener una buena estabilidad de los taludes

Los autores Manrique y Tigrero (2019) para lograr realizar su estudio los cuales requiriendo lograr que clase de macizo rocoso fue de clase II y esto debido a que mediante el RMR se obtuvieron los valores como también del Angulo de rozamiento que varía de 25° a 35° y donde se concluye también que para identificar las estructuras, la litología, lográndose obtener las características de la cobertura, también la rugosidad, la meteorización y el relleno, permitiendo producir el grado de descomposición de la roca.

El autor Borja (2017) quien al diseñar la explotación de la cantera El Churo también tuvo que realizar la obtención de los parámetros del macizo rocoso (proveniente de las avalanchas volcánicas de Imbabura) y basándose en la metodología RMR para así lograr obtener todos los datos, concluyendo que tiene las características para ser utilizado como base y sub-base en la construcción de carreteras con una vida útil de 4.6 años. Asimismo, Paredes (2019) en su investigación utilizó la metodología utilizada RMR y el GSI en 5 zonas, donde determinó la clase del macizo, la cual fue buena a media en condiciones húmedas; asimismo, detectó fallas, discontinuidades y una resistencia a compresión simple de 71.3 MPa con una densidad de 2.42 g/m³, donde se observó su relleno, su apertura, la rugosidad, su persistencia y el espaciamiento.

Siendo así los autores y la investigación siempre utilizan la misma metodología para obtener las características geomecánica del tipo de suelo que se va a realizar el estudio permitiendo así darle valides a los procedimientos utilizados y logrando estandarizar para disminución de los tiempos y avances como el uso de software para reducir tiempos y material.

Al realizar el análisis de parámetros geotécnicos de la zona en estudio fue apoyado en un software el cual permitió determinar los valores y clasificar las características del macizo rocoso como valores de fracturación del RQD, el grado de resistencia, valor de seguridad; es así que se tienen los valores de resistencia uniaxial presentes en la tabla N°7, luego a proceder a tener los valores de RQD en la tabla N°8, también obteniendo los valores de espaciamiento encontrados en la tabla N°9 y tabla N°10, también caracterizando la rugosidad de la roca está presente en la

tabla N°11 y determinando el tipo de relleno encontrado en los puntos de mapeo en la tabla N°12; posteriormente con el apoyo del software RocData reportamos los valores presentes que se resumen en la tabla N°13 y para finalizar el reporte con el uso del RocPlane la obtención de los factores de seguridad resumidos en la tabla N°14 y en donde se encuentra que la estación 1 presente un valor inferior a 1 siendo el valor de 0,86 pasando a la siguiente evaluación ya que indica inestabilidad del punto, es así que la concordancia con los autores Carrasco y Urbina (2020), quienes caracterizaron la zona de estudio de su trabajo y así poder lograr obtener los valores del factor de seguridad para determinar las zonas inestables para posteriormente iniciar acciones para su propuestas de medidas para lograr estabilizar la zona.

Es aquí que también el autor Monte (2020) quien realizó un estudio de estabilidad de talud usando el método de elementos finitos donde el talud estudiado tenía 9 metros de altura con inclinación de 55° teniendo densidad del talud de 2640 kg/m³ teniendo una porosidad del 11,7% y teniendo unos 15 MPa, donde la deformación del macizo rocoso de 500 MPa. Concluyendo que se encontró inestabilidad en el talud y se basó en relación con el riesgo quien presento la cuña la cual no está presente en anteriores estudios y en un segundo talud se obtuvieron fallas potenciales y esto debido que se tiene volcamiento no contemplados en el estudio. De la misma manera, Alvarado y Villanueva (2019 págs. 40-55) detallaron una carga puntual con una resistencia de 4.3MPa, con un valor de 12, concluyendo que el macizo rocoso con una clase III a clase IV fueron inestables; sin embargo, gracias al GIS, se pudo determinar las clases que presenta, donde fue muy fracturada.

Los autores Carrasco y Urbina (2020) quienes para obtener los valores geotécnicos del macizo rocoso realizaron la obtención de data en campo de la fracturación con el RQD, también obtuvieron el grado de resistencia en relación al golpe de la picota y donde obtuvieron que la inestabilidad de los taludes radicaba en los tramos 1 y 2 era por el relleno y el espaciamiento la cual se obtuvieron 81,9% de grava y 6% al 4% es de material fino.

Los autores Mamani y Pisco (2020) para lograr realizar el estudio estuvieron que seleccionar la clasificación geomecánica y en donde se utilizó el RQD, RMR, CSMR, GSI; siendo parámetros que influyen en los cálculos de la estabilidad de taludes y en donde se concluye que para estudiar el macizo rocoso y la estabilidad de este se necesita el uso de software donde contribuye de manera más eficaz y de manera directa contribuyendo, a su vez, a la estabilidad.

En este punto tanto los autores como la investigación hacen uso de las mismas metodologías para su obtención esto permitiendo la estandarización de la obtención de estos parámetros y procediendo al uso de software que permitan reducir tiempo y recursos, logrando una mayor eficacia, pasando al uso de las nuevas tecnologías. Realizando la estabilidad de taludes en la zona de estudio se apoyó en el software LS DYNA, permitiendo determinar la falla y poder darle una estabilidad según el factor de seguridad determinado; es así que se ingresa la zona donde el valor del factor de seguridad es inferior a 1 para poder lograr visualizar que es lo que se está fallando para determinar la medida de para lograr incrementar su valor del factor de seguridad y su estabilidad, estando de acuerdo con los autores Mamani y Pisco (2020) quienes tras obtener los valores de los parámetros geomecánicos y geotécnicos se procede a influir en la estabilidad de talud y a su vez utilizaron un software el cual contribuyo eficazmente y directamente en lograr la contribución de la estabilidad. Asimismo, los autores Alvarado y Villanueva (2019 págs. 56-70) utilizaron un software, el cual fue el encargado de proyectar los planos teniendo como base las orientaciones estructurales, luego de haber determinado las características geomecánicas y geotécnicas, basándose en trabajar la estratigrafía de la recta normal del plano para poder facilitar los sets estructurales.

El autor Ramos (2017 págs. 50-70) realizo el uso del software LS DYNA, cuya denominación del software es que se tiene mayor confiabilidad y en donde permite construir taludes verticales y que a su vez permite realizar comparaciones con otros programas de simulación; ya que, proporciona muchísima información como aceleraciones, deformaciones, entre otros; sin embargo, se limita en cuanto al cálculo del factor de estabilidad, determinándose a partir de los esfuerzos cortantes producidos por el peso propio y las presiones hidrostáticas. Es así que se concluyó

que para la estabilidad de un talud tiene importancia los parámetros del macizo rocoso que son obtenidos según la calidad de la información recolectada y esto es gracias a que mientras el mallado sea de mayor refinado se obtienen mejores resultados.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinaron las características geotécnicas la de cantera Tuna Blanca la cual se tiene en la se describe los siguientes valores lo cual se indica que se toman 6 puntos de mapeo para el estudio de la cantera y se tiene que la estación 1 y la 6 lo valores de RMR varían de 35 a 41 lo cual se concluye que la condición del macizo rocoso es de regular a malo.
2. Tras el análisis geomecánico se obtuvieron los valores de compresión uniaxial indican que están entre duras y muy duras; los valores de fracturación RQD están entre buenas y muy buenas; los valores de espaciamiento están entre juntos y moderador y a su vez entre abiertos y parcialmente abiertos; los valores de rugo esta entre lisa y ligeramente rugoso y con respecto a los valores de seguridad se tienen puntos estables y solo uno tiene presencia de inestabilidad la cual va ser objeto de estudio para su mejora.
3. En el modelamiento a través del software LS DYNA permitió mediante un mallado de cuadrados y triangulo verificar la zona a estudiar para su posterior simulación mediante el ingreso de los datos anteriormente calculados.
4. Para la estabilidad de taludes solo se tiene un punto inestable el cual se procede a cambiar parámetros y mejorar el factor de seguridad; donde se presente falla tipo cuña la cual mediante en el software la variación de la resistencia también mejora incrementando su factor de seguridad superior a uno siendo una zona estable.

VII. RECOMENDACIONES

1. Al realizar el modelamiento numérico en el software seleccionado se procedió a asumir valores estándares para el tipo de suelo, limitando el análisis con mayor profundidad y es por ello se recomienda el apoyo de especialistas en el dominio de software de simulación para acondicionar las condiciones de las diferentes tipologías de suelo y así apoyarse en ellas para que se haga un análisis más exacto y con mayor profundidad.
2. La difusión del uso de software de simulación para poder facilitar los estudios realizados en la presente investigación y se masifique y se aplique en toda la rama de la ingeniería minera.

REFERENCIAS

1. ADEOLUWA, Oluwaseyi; NOA, Rafael; QUEVEDO, Gilberto. Descanso, Caracterización estructural del macizo rocoso de la mina subterránea Oro. Minería y Geología [en línea]. Vol. 33 (4), 2017. [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2012]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223553249007>
ISSN: 1993-8012.
2. ALEVAN, Giovanna [et al.]. MPM and ALE simulations of large deformations geotechnics instability problems. DYNA [en línea]. Vol. 87 (212), 2020. [Fecha de consulta: 25 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49663642027/49663642027.pdf>
ISSN: 2346-2183
3. ALVARADO, Marvin y VILLANUEVA, Lázaro. Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabiliada de taludes de la Cantera Agocucho, Cajamarca 2018. Tesis (Ingeniero de Minas). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2019. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14988/Alvarado%20Marquez%20Marvin%20Ivan%20-%20Villanueva%20Huatay%20L%C3%A1zaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. AZUERO, Ángel. Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía [en línea]. Vol. 4 (8), 2019. [Fecha de consulta: 25 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5768/576861156005/576861156005.pdf>
ISSN: 2542-3088
5. BOBILLO, Federico. Estudio comparativo de zonas de aprovisionamiento y Cantera (ZAC) de Punta de la Peña (Antofagasta de la Sierra, Catamarca): análisis de las actividades de talla en una Cantera-Taller. InterSecciones en

Antropología [en línea]. Vol. 18 (1), 2017. [Fecha de consulta: 14 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1795/179552443006.pdf>
ISSN: 1666-2105

6. BORJA, Fernando. Diseño técnico de explotación de la Cantera El Churo, ubicada en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. Tesis (Ingeniero Civil). Quito: Universidad Central De Ecuador, 2017. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10737/1/T-UCE-0012-39.pdf>
7. BRAVO, Maricela, HOYOS, Luis y REYES, José. Methodology for ontology design and construction. Contaduría y Administración [en línea]. Vol. 64 (4), 2019. [Fecha de consulta: 23 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/395/39571719015/39571719015.pdf>
ISSN: 2448-8410
8. CAMACHO, Sebastián [et al.]. Quantitative analysis on the geomorphology influence in slope stability. Revista Ingenierías Universidad de Medellín [en línea]. Vol. 16 (30), 2017. [Fecha de consulta: 25 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/750/75054207002/75054207002.pdf>
ISSN: 1692-3324
9. CARRASCO, Gilmer y URBINA, Rodrigo. Análisis geomecánico y geotécnico aplicando esfuerzos totales en los taludes del Tramo KM 6+00 A 6+350 Baños del Inca a Llancanora. Tesis (Ingeniero de Minas). Cajamarca: Universidad Privada Del Norte, 2020. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24727/Carrasco%20Alva%2c%20Gilmer%20-%20Urbina%20Vilchez%2c%20Rodrigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. CARTAYA, Maday, RUIZ, Lázaro y OTAÑO, José. Caracterización geomecánica de las rocas ornamentales del yacimiento Bottichino I, provincia de Granma. Minería y Geología [en línea]. Vol. 34 (3), 2018. [Fecha de

consulta: 23 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/2235/223555432004/223555432004.pdf>
ISSN: 1993-8012.

11. CONSTRUVAL INGENIERÍA. 2020. Materiales de cantera: ¿Qué son los agregados y los pétreos? [en línea]. 25 de julio de 2020. Disponible en: <https://construvaling.com/materiales-de-cantera-que-son-los-agregados-y-los-petresos/>.
12. DALLEVEDOVE, Claudete y SOARES, Ángela. THE GULLY FORMATION PROCESSES OF THE BASINS AND THEIR IMPLICATIONS ON THE SLOPES STABILITY, A RELIEF EVOLUTION MODEL ON THE BRAZILIAN SAVANNA DOMAIN. *Sociedade & Natureza* [en línea]. Vol. 1 (1), 2017. [Fecha de consulta: 23 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3213/321328500027.pdf>
ISSN: 0103-1570
13. DAVIES, Chales [et al.]. Tendencias del flujo de materiales y productividad de recursos en América Latina. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [en línea]. Diciembre 2018. [Fecha de consulta 13 de febrero de 2022]. Disponible en [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Policy%20briefs%20-%20Material%20Flows/Espanol/Brief_minerales_construccion\(es_web\).pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Policy%20briefs%20-%20Material%20Flows/Espanol/Brief_minerales_construccion(es_web).pdf)
14. DÍAZ, Ibán y APAOLAZA, Ricardo. Una propuesta metodológica para identificar gentrificación a partir de los censos de población. *Estudios demográficos y urbanos* [en línea]. Vol. 35 (3), 2020. [Fecha de consulta: 24 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/jatsRepo/312/31264845003/31264845003.pdf>
ISSN: 0186-7210
15. GUTIÉRREZ, Kenning. Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S. A. A. *Industrial Data* [en línea]. Vol. 22 (2), 2019. [Fecha de

consulta: 23 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/816/81662532003/81662532003.pdf>
ISSN: 1560-9146

16. HERNÁNDEZ, Jazmín [et al.]. Evaluación de la estabilidad de taludes en cárcavas, Huasca de Ocampo, Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana* [en línea]. Vol. 37 (3), 2019. [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/573/57363013011/57363013011.pdf>
ISSN: 2395-8030

17. HUNDELSHAUSSEN, Ricardo, FLOREZ, Jorge y ZINGANO, André. Slope stability analysis at highway BR-153 using numerical models. *REM: Revista Escola de Minas* [en línea]. Vol. 69 (2), 2017. [Fecha de consulta: 23 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/564/56446388008.pdf>
ISSN: 0370-4467

18. LEONARD, Felisa, PICLÉN, Jesús y BAYEUX, Francisco. La sistematización de resultados científicos. *EduSol* [en línea]. Vol. 21 (75), 2021. [Fecha de consulta: 24 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/4757/475768571004/475768571004.pdf>
ISSN: 1729-8091

19. LEY, Victor [et al.]. Experimental studies on the mechanical behavior of Mayan archeological rocks. *DYNA* [en línea]. Vol. 86 (208), 2019. [Fecha de consulta: 22 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49660955028/49660955028.pdf>
ISSN: 0012-7353

20. MAMANI, Eliana y PISCO, Pamela. Caracterización geomecánica y Diseño de estabilidad de taludes en el periodo 2010-2020. Tesis (Bachiller en Ingeniería Geológica). Cajamarca: Universidad Privada Del Norte, 2020. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25352/Mamani%20Lei>

va%2c%20Eliana%20Lizbeth%20-
%20Pisco%20Salazar%2c%20Pamela%20Anal%3%AD.pdf?sequence=1&i
sAllowed=y

21. MANRIQUE, Vania y TIGRERO, Paola. Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso en Anconcito, Provincia de Santa Elena. Tesis (Ingenieras Civiles). La Libertad: Universidad Estatal Península De Santa Elena, 2019. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5028>
22. MARIN, Roberto, MATTOS, Álvaro y FERNÁNDEZ, Camilo. Understanding the sensitivity to the soil properties and rainfall conditions of two physically-based slope stability models. Boletín de Geología [en línea]. Vol. 44 (1), 2022. [Fecha de consulta: 26 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/3496/349671141004/349671141004.pdf>
ISSN: 0120-0283
23. MARTÍNEZ, Javier. Análisis de estabilidad del talud rocoso ubicado en el sector Lisboa-Quebrada El Ramo en el municipio de Betulia – Santander, por medio de los métodos cinemático, geotécnico y geofísico. Tesis (Ingeniero Civil). Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2018. Disponible en https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6335/digital_38383.pdf?sequence=1&isAllowed=y
24. MONTE, Ignacio. Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos. Tesis (Ingeniero de Civil de Minas). Santiago : Universidad De Concepción, Facultad de Ingeniería, 2020. Disponible en [http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/461/1/Tesis_Analisis_de_estabilida
d.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/461/1/Tesis_Analisis_de_estabilida_d.pdf)
25. MUCUTA, Helder, CARTAYA, Maday y CUNI, Julio. Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos. Minería y Geología [en línea]. Vol. 35 (4), 2019. [Fecha de

consulta: 22 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/2235/223560062005/223560062005.pdf>
ISSN: 1993-8012

26. OLIVA, Aldo [et al.]. Landslide risk assessment in slopes and hillsides. Methodology and application in a real case. DYNA [en línea]. Vol. 86 (208), 2019. [Fecha de consulta: 23 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49660955017/49660955017.pdf>.

ISSN: 0012-7353

27. OSINERGMIN. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. [en línea]. 1.^a ed. Lima: Osinergmin, 2017 [fecha de consulta: 20 de febrero de 2022]. Disponible en https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf

28. PAREDES, Grimaldo. Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad de taludes en la Cantera El Arbolito - Juliaca. Tesis (Ingeniero de Minas). Puno: Universidad Nacional De Altiplano, 2019. Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11799>

29. PEREIRA, Fernanda [et al.]. Three-dimensional stability analysis of an urban slope located in João Monlevade, Brazil. Research, Society and Development [en línea]. Vol 8 (11), 2019. [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662202016/560662202016.pdf>

30. PÉREZ, Manuel [et al.]. Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica en un depósito tipo Pórfido. Boletín de Ciencias de la Tierra [en línea]. (43), 2018. [Fecha de consulta: 23 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1695/169555640004/169555640004.pdf>
ISSN: 0120-3630

31. RAMOS, Abel. Análisis de estabilidad de taludes en rocas. Tesis (Máster en Ingeniería Geológica). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2017. Disponible en https://oa.upm.es/47326/1/TFM_ABEL_ANTONIO_RAMOS_VASQUEZ.pdf
32. RAMÍREZ, Lina, GONZÁLEZ, Jorge y CASTAÑEDA, Amaury. Evolución histórica de la dirección del trabajo científico-metodológico en las instituciones de la Educación Técnica y Profesional en Cuba. Luz [en línea]. Vol. 16 (4), 2017. [Fecha de consulta: 22 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/5891/589166505012.pdf>
ISSN: 1814-151X
33. RENDÓN, Mario y VILLASIS, Miguel. El protocolo de investigación V: el cálculo del tamaño de muestra. Revista Alergia México [en línea]. Vol. 64 (2), 2017. [Fecha de consulta: 24 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4867/486755083009/486755083009.pdf>
ISSN: 0002-5151
34. SANTOS, Tatiana [et al.]. Applicability of geomechanical classifications for estimation of strength properties in Brazilian rock masses. Anais da Academia Brasileira de Ciências [en línea]. Vol. 89 (2), 2017. [Fecha de consulta: 23 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/327/32751197007.pdf>
ISSN: 0001-3765
35. SCHAFFHAUSER, Philippe. La observación de la movilidad en México: dos problemas metodológicos en los estudios migratorios. Relaciones Estudio de Historia y Sociedad [en línea]. Vol. 38 (151), 2017. [Fecha de consulta: 22 de febrero]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/137/13753194008/13753194008.pdf>
ISSN: 0185-3929

36. SHARIFIAN, Sana, KAMRANI, Ehsan y DEHGHANI, Mohsen. Reproductive biology of *Sodhiana iranica* (Brachyura: Gecarcinucidae) from Southern Iran. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. Vol. 65 (1), 2017. [Fecha de consulta: 24 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/449/44950154029.pdf>
ISSN: 0034-7744
37. SOUSA, Rita [et al.]. Risk assessment on landslides focused on the role of the water: examples from model regions (Rio de Janeiro State and Hong Kong). *SN Applied Sciences* [en línea], vol. 3 (423), 2021. [Fecha de consulta: 13 de febrero de 2022]. Disponible en <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42452-021-04300-5.pdf>
38. STELUTI, Gabriel y LUKIANTCHUKI, Juliana. Evaluation of the stability of a highway slope through numerical modeling. *DYNA* [en línea]. Vol. 84 (200), 2017. [Fecha de consulta 23 de febrero 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650910015.pdf>
ISSN: 0012-7353
39. VILCHEZ, Mylena; CÁCERES, Shonel y CASTRO, Daniel. A stopwatch time study for an underground mining extraction. *DYNA* [en línea]. Vol. 88 (218), 2021. [Fecha de consulta 20 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49671325019/49671325019.pdf>
ISSN: 2346-2183
40. ZABALA, Luis [et al.]. Modification of Charpy machine for the acquisition of stress-strain curve in thermoplastics. *DYNA* [en línea]. Vol. 87 (213), 2020. [Fecha de consulta 14 de febrero de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49664596007/49664596007.pdf>
ISSN: 2346-2183

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición de frecuencia	Unidad de medición
<p>Variable independiente. Modelamiento numérico</p>	<p>Técnica basada en un cálculo numérico la cual abarca varios campos de estudios de los que destaca la ingeniería, ciencia, etc.</p>	<p>El modelamiento numérico permite realizar simulaciones de estructuras que no tiene una forma definida y permite realizar cálculos analíticos.</p> <p>Se tiene dos modelos numéricos de simulación: Modelos continuos.</p>	<p>Elementos finitos</p>	<p>Condiciones de frontera. Representación de esfuerzos. Deformaciones por excavaciones. Influencia de esfuerzos naturales. Influencia geométrica. Métodos de estabilidad.</p>	<p>Razón</p>	<p>Adimensional</p>
<p>Variable dependiente. Estabilidad de taludes</p>	<p>El Talud se le denomina a una superficie inclinada de un suelo o macizo</p>	<p>Es el estudio de estabilidad o inestabilidad que puede ser</p>	<p>Modo de explotación</p>	<p>Tipo de explotación usada</p>	<p>Nominal</p>	<p>Adimensional.</p>

rocoso siendo ocasionada por clasificados en diversas razones naturales y como el desnivel construidos. siendo estimado

Esta estudia la posible estabilidad o inestabilidad del talud realizando proyectos que se lleva a cabo en obra estando relacionada directamente con la relación de la geología y la geotécnica.
(Gutiérrez, (2019).

Reserva
estimada

Material en Banco

Nominal

Adimensional

Reserva
programada
para extracción

Material explotado

Razón.

Adimensional

Anexo 2: Matriz de consistencia

TÍTULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Objetivo General					
Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna Blanca.	¿Cómo se realizará el modelamiento numérico con el software LS DYNA para poder controlar la estabilidad de los taludes de la cantera Tuna Blanca?	Realizar el modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para controlar la estabilidad de taludes en la cantera Tuna Blanca.	El modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA permite controlar la estabilidad en los taludes en la cantera Tuna Blanca.	V.I. Modelamiento numérico	Cuantitativa.
		Objetivos Específicos			Diseño
		Determinar las características geotécnicas de la cantera Tuna Blanca. Realizar el análisis geomecánico de la roca mediante el software Rocplane.		V.D. Estabilidad de taludes.	Descriptiva explicativa.

Realizar el modelamiento numérico utilizando un software.

Analizar la estabilidad de taludes mediante el software.

Proponer el control de la estabilidad del talud de la cantera.

Anexo 4: Validación de instrumentos.

FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO)

1. DATOS GENERALES:

1.1 Título Del Trabajo De Investigación:

Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna Blanca

1.2 Investigador (a) (es): Ronald Durand Fernández, Wilson Fernando Rojas Gutiérrez

2. ASPECTOS A VALIDAR:

Indicadores	Criterios	Deficiente 0-20	Baja 21-40	Regular 41-60	Buena 61-80	Muy buena 81-100
Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				X	
Objetividad	Está expresado en conductas observables				X	
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				X	
Organización	Existe una organización lógica			X		
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad			X		
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la estrategias			X		
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos				X	
Coherencia	Existe coherencia entre los índices, dimensiones e indicadores				X	
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico			X		
Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación			X		

PROMEDIO DE VALORACIÓN

Buena

3. OPINION DE APLICABILIDAD:

4. Datos del Experto:

Nombre y apellidos: Juan José García Gonzáles DNI 45466133

Grado académico: Magister Centro de Trabajo: Consorcio Hospitalario San Juan

Fecha: 13/01/2022

Firma:



**FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS
JUICIO DE EXPERTOS**

I. DATOS GENERALES

- Apellidos y Nombres del experto: García Gonzáles Juan José
- Grado Académico: Magister
- Institución donde labora: Consorcio Hospitalario San Juan
- Dirección: Calle 08 de octubre N°288-Int 504, Urb. Santa Cruz-Miraflores.
- Teléfono: 976596313 Email: Juanjo.garciagonzales@gmail.com
- Autor (es) del Instrumento: Ronald Durand Fernández, Wilson Fernando Rojas Gutiérrez

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Nº	INDICADORES	Deficiente	Bajo	Regular	Bueno	Muy Bueno
		1	2	3	4	5
1	El instrumento considera la definición conceptual de la variable				x	
2	El instrumento considera la definición procedimental de la variable				x	
3	El instrumento tiene en cuenta la operacionalización de la variable				x	
4	Las dimensiones e indicadores corresponden a la variable			x		
5	Las preguntas o ítems derivan de las dimensiones e indicadores				x	
6	El instrumento persigue los fines del objetivo general				x	
7	El instrumento persigue los fines de los objetivos específicos				x	
8	Las preguntas o ítems miden realmente la variable			x		
9	Las preguntas o ítems están redactadas claramente				x	
10	Las preguntas siguen un orden lógico				x	
11	El Nº de ítems que cubre cada indicador es el correcto				x	
12	La estructura del instrumento es la correcta			x		
13	Los puntajes de calificación son adecuados				x	
14	La escala de medición del instrumento utilizado es la correcta				x	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Es aplicable

Fecha: 13/01/2022

IV. Promedio de Valoración: Bueno



Mg. Juan José García Gonzáles
DNI N°: 45466133

**FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO
(FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO)**

1. DATOS GENERALES:

1.1 Título Del Trabajo De Investigación:

Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna Blanca

1.2 Investigador (a) (es): Ronald Durand Fernández, Wilson Fernando Rojas Gutiérrez

2. ASPECTOS A VALIDAR:

Indicadores	Criterios	Deficiente 0-20	Baja 21-40	Regular 41-60	Buena 61-80	Muy buena 81-100
Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				x	
Objetividad	Está expresado en conductas observables				x	
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología			x		
Organización	Existe una organización lógica			x		
Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad			x		
Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de la estrategia			x		
Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos				x	
Coherencia	Existe coherencia entre los índices, dimensiones e indicadores			x		
Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico			x		
Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación			x		

PROMEDIO DE VALORACIÓN

41

3. OPINION DE APLICABILIDAD:

4. DATOS DEL EXPERTO

Nombre y apellidos: Ing.MBA. Jorge Omar Gonzales Torres DNI: 43703713

Grado académico: Magister Centro de Trabajo: Universidad nacional de Trujillo

Fecha: 13/01/2022

Firma:



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS
JUICIO DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

- Apellidos y Nombres del experto: Gonzales Torres Jorge Omar
- Grado Académico: Magister
- Institución donde labora: Universidad nacional de Trujillo
- Dirección: Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Trujillo Teléfono: 940176519 Email: -
- Autor (es) del Instrumento: Ronald Durand Fernández, Wilson Fernando Rojas Gutiérrez

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

Nº	INDICADORES	Deficiente	Bajo	Regular	Buena	Muy Buena
		1	2	3	4	5
1	El instrumento considera la definición conceptual de la variable			x		
2	El instrumento considera la definición procedimental de la variable			x		
3	El instrumento tiene en cuenta la operacionalización de la variable			x		
4	Las dimensiones e indicadores corresponden a la variable			x		
5	Las preguntas o ítems derivan de las dimensiones e indicadores			x		
6	El instrumento persigue los fines del objetivo general			x		
7	El instrumento persigue los fines de los objetivos específicos			x		
8	Las preguntas o ítems miden realmente la variable			x		
9	Las preguntas o ítems están redactadas claramente			x		
10	Las preguntas siguen un orden lógico			x		
11	El Nº de ítems que cubre cada indicador es el correcto			x		
12	La estructura del instrumento es la correcta			x		
13	Los puntajes de calificación son adecuados			x		
14	La escala de medición del instrumento utilizado es la correcta			x		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Es aplicable

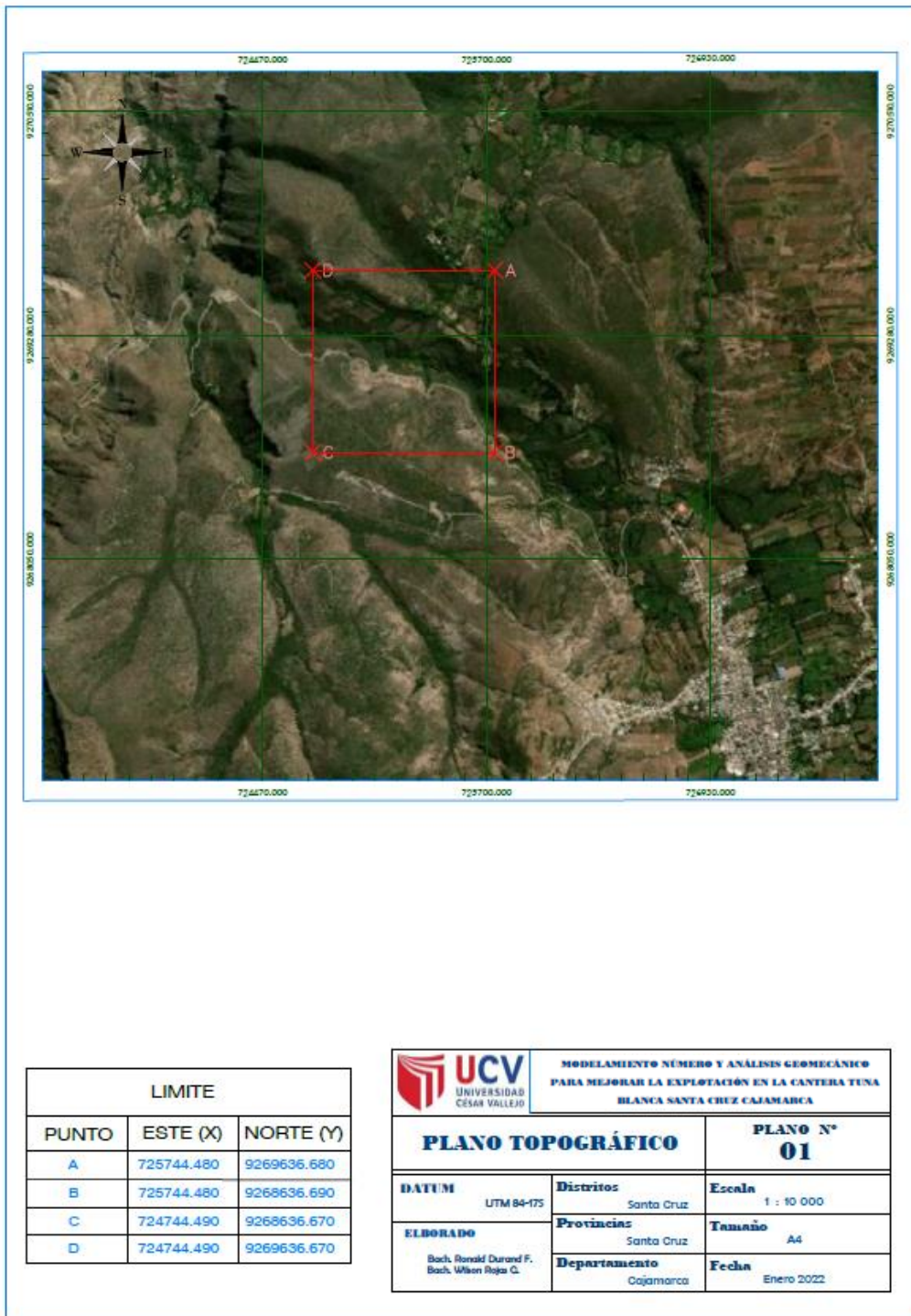
Fecha: 13/01/2022

IV. Promedio de Valoración: Regular

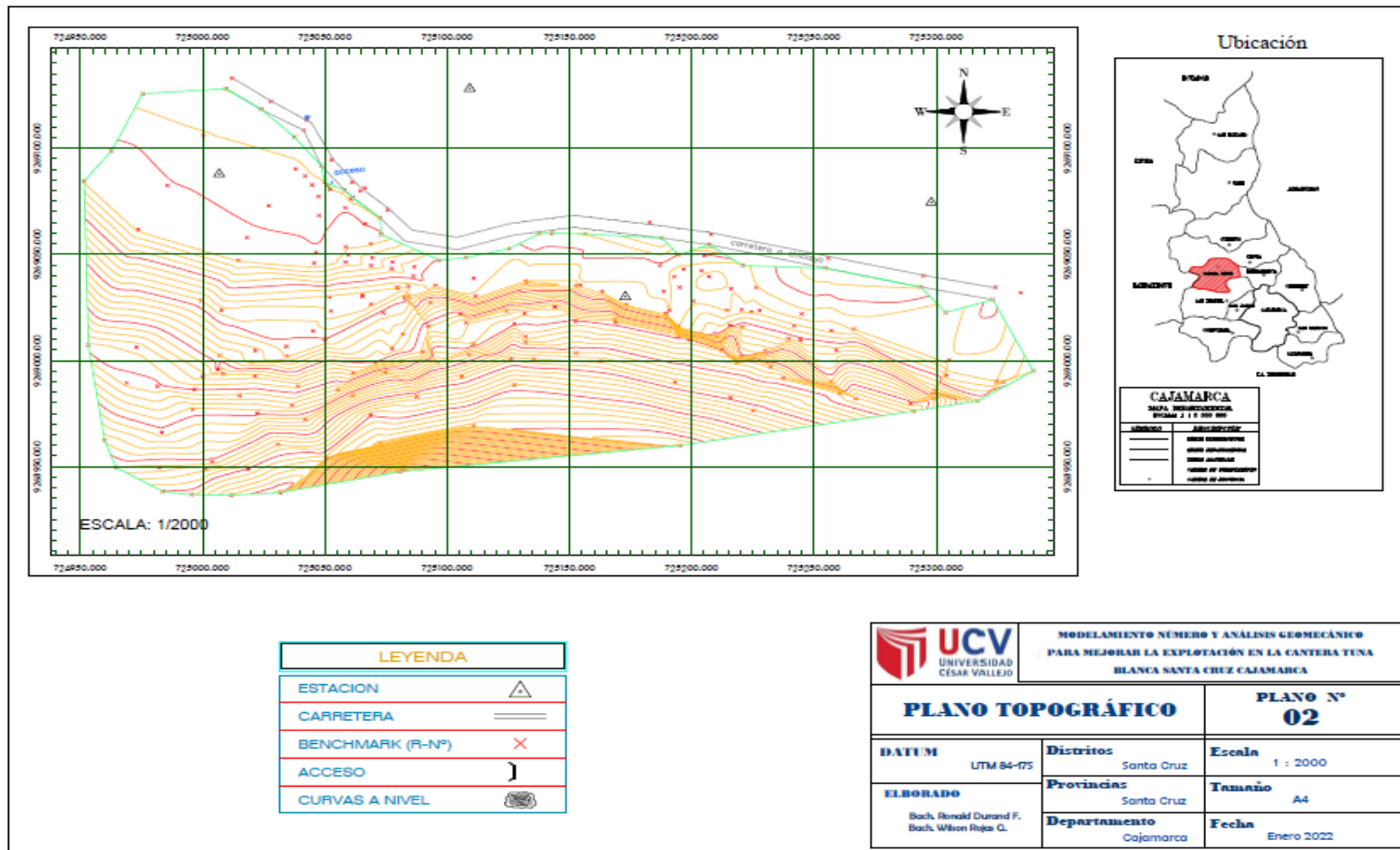


Mg. Jorge Omar Gonzales Torres
DNI N°: 43703713

Anexo 5: Plano de ubicación.



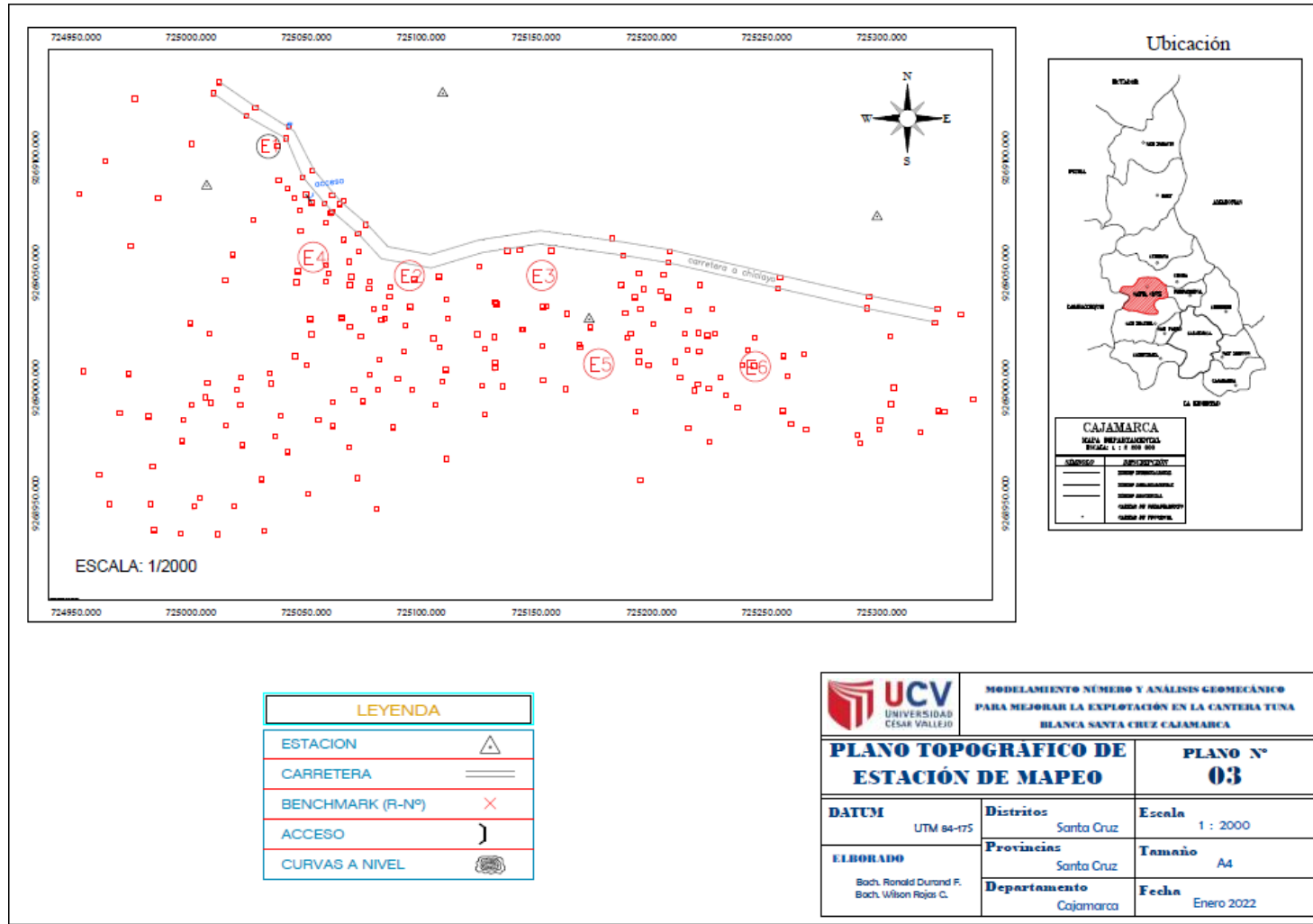
Anexo 6: Levantamiento topográfico.



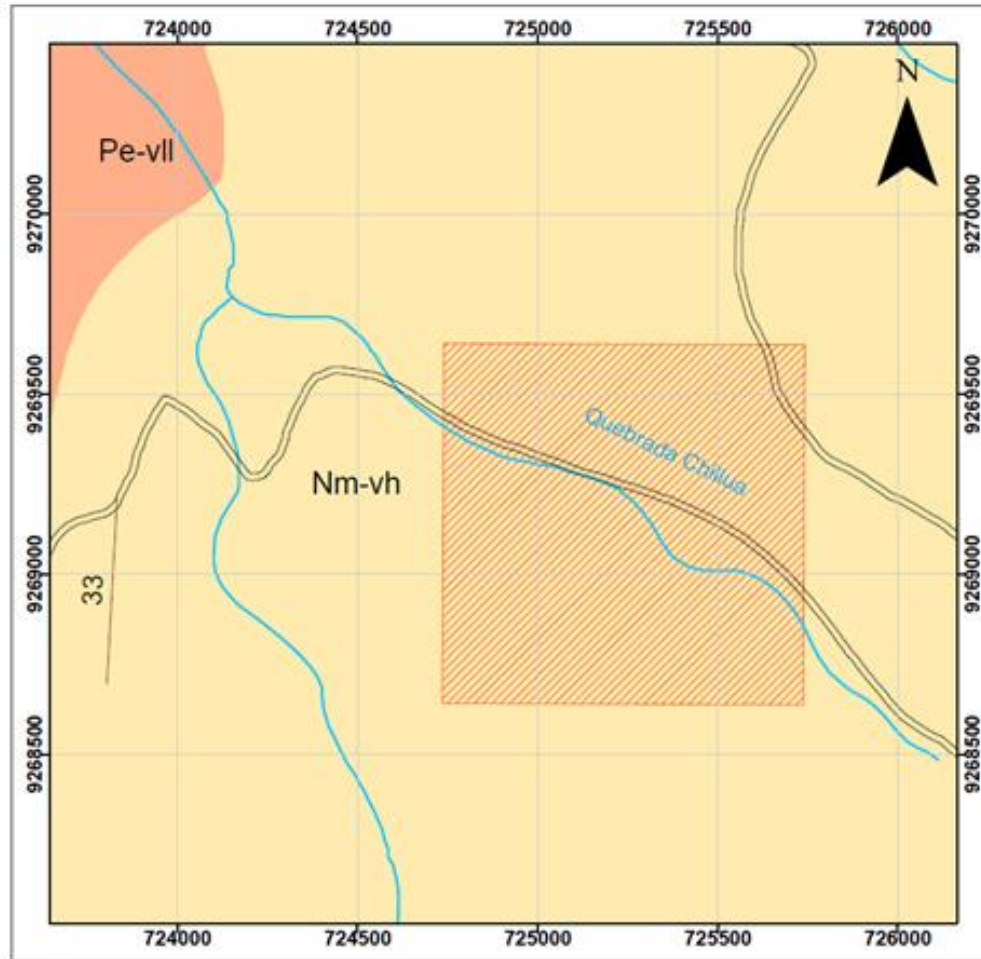
LEYENDA	
ESTACION	△
CARRETERA	==
BENCHMARK (B-Nº)	×
ACCESO]
CURVAS A NIVEL	⌒

 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO			MODELAMIENTO NÚMERO Y ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA MEJORAR LA EXPLOTACIÓN EN LA CANTERA TUNA BLANCA SANTA CRUZ CAJAMARCA		
PLANO TOPOGRÁFICO		PLANO N° 02			
DATUM	UTM 84-17S	Distritos	Santa Cruz	Escala	1 : 2000
ELBORADO	Bach. Ronald Durand F. Bach. Wilson Rojas G.	Provincias	Santa Cruz	Tamaño	A4
		Departamento	Cajamarca	Fecha	Enero 2022

Anexo 7: Levantamiento topográfico del mapeo de estaciones.



Anexo 8: Mapa geológico.

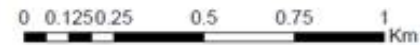


MAPA GEOLOGICO

UNIDAD	LITOLÓGÍA
Pe-VII	Andesita, tobas, areniscas, calizas
Nm-Vh	Volcánico Huambos

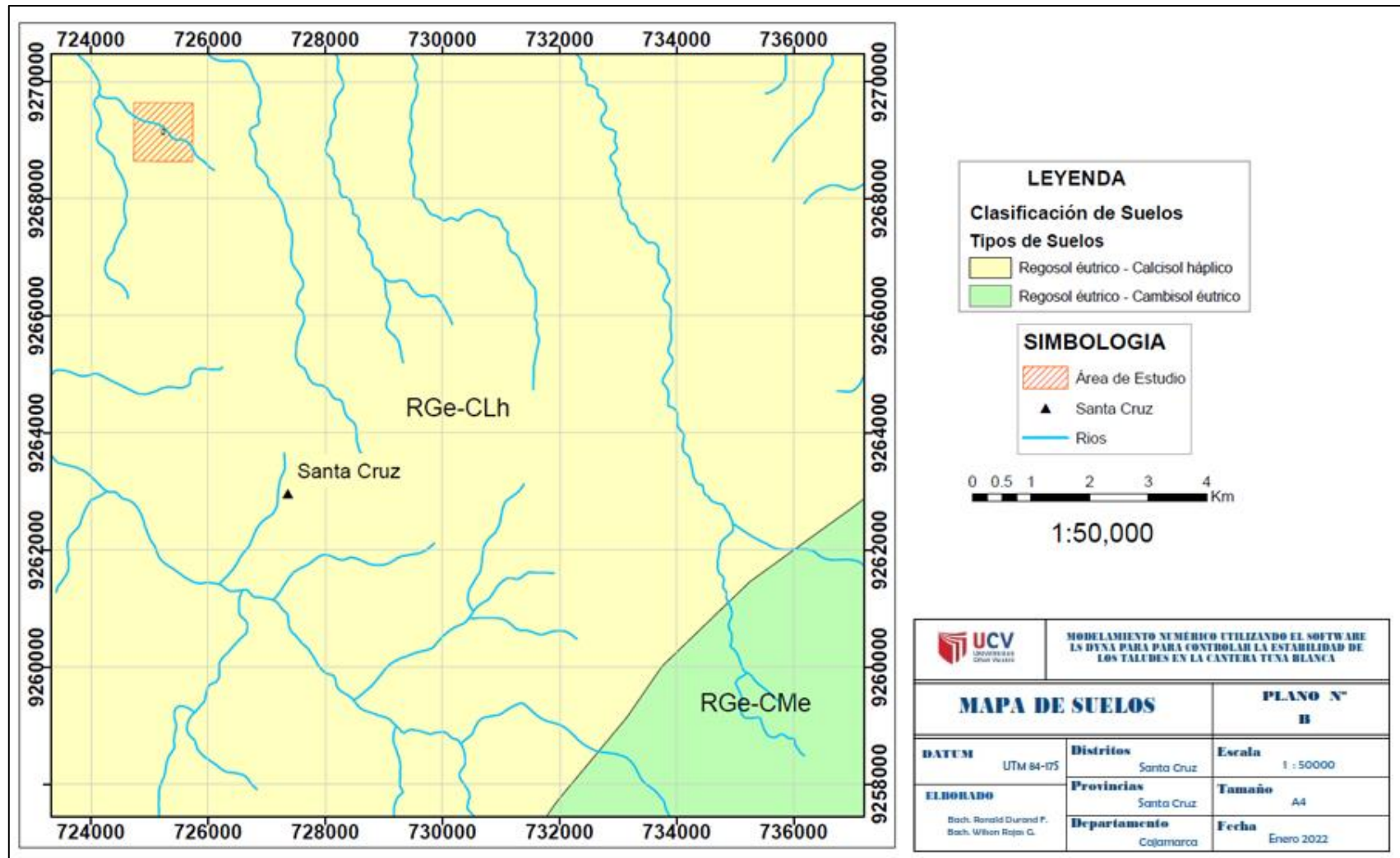
SIMBOLOGIA

	Vías
	Ríos
	Buzamiento
	Área de Estudio

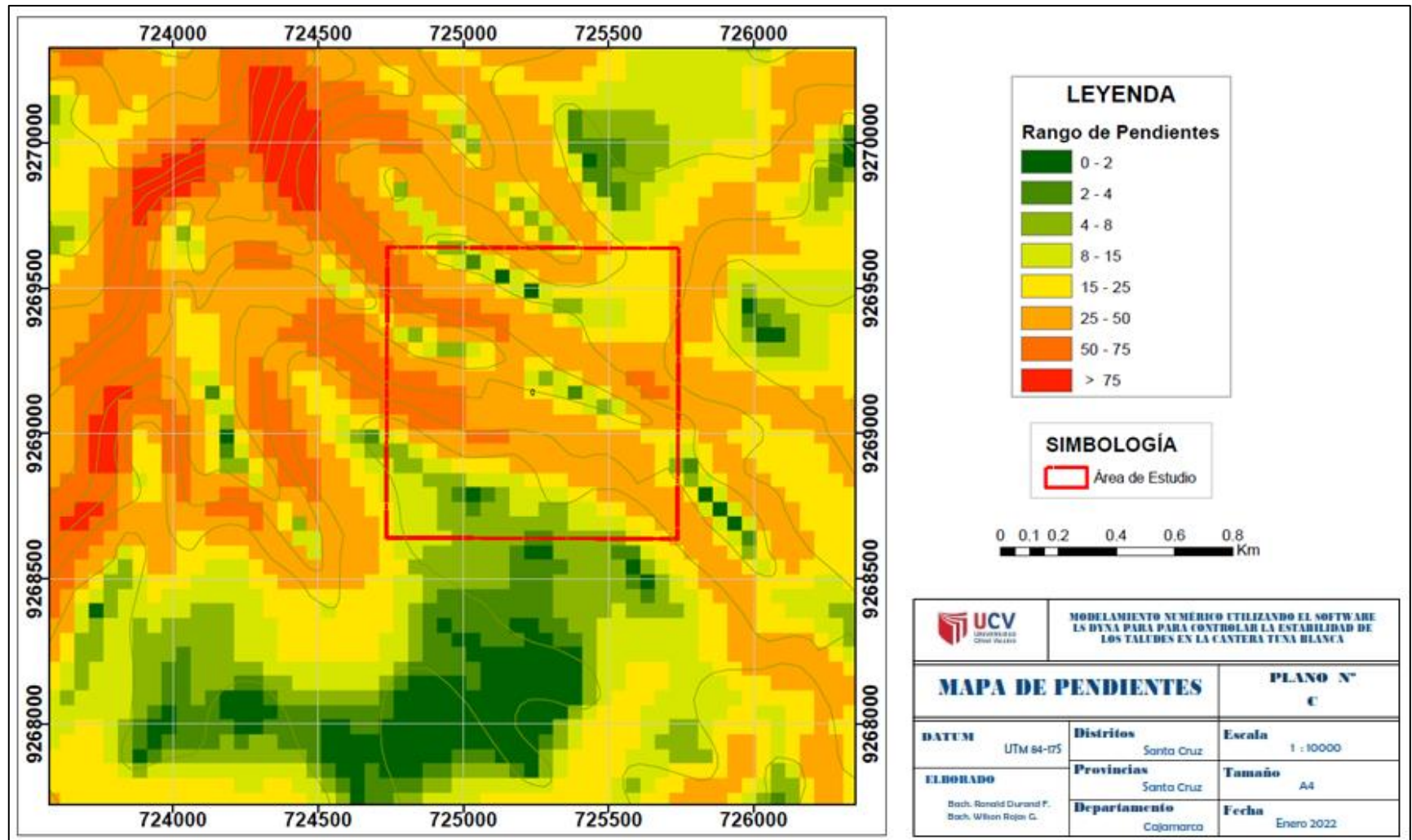


		MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO EL SOFTWARE LS DYN4 PARA PARA CONTROLAR LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA TUNA BLANCA	
MAPA GEOLOGICO		PLANO N° A	
DATUM UTM 84-175	Distritos Santa Cruz	Escala 1 : 10000	
ELBORADO Bach. Ronald Durand F. Bach. Wilson Rojas G.	Provincias Santa Cruz	Tamaño A4	
	Departamento Cajamarca	Fecha Enero 2022	

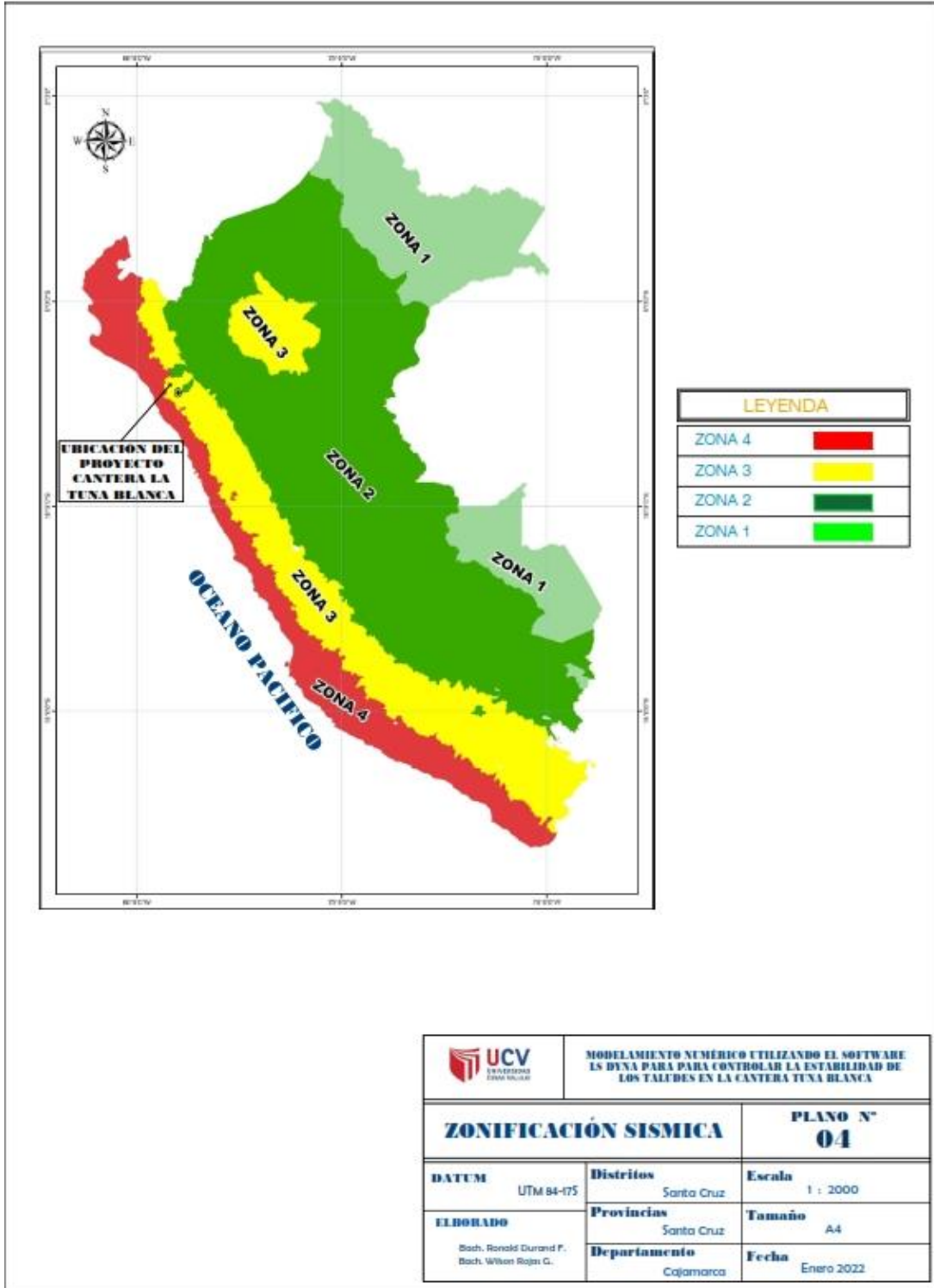
Anexo 9: Mapa de suelos.



Anexo 10: Mapa de pendientes.

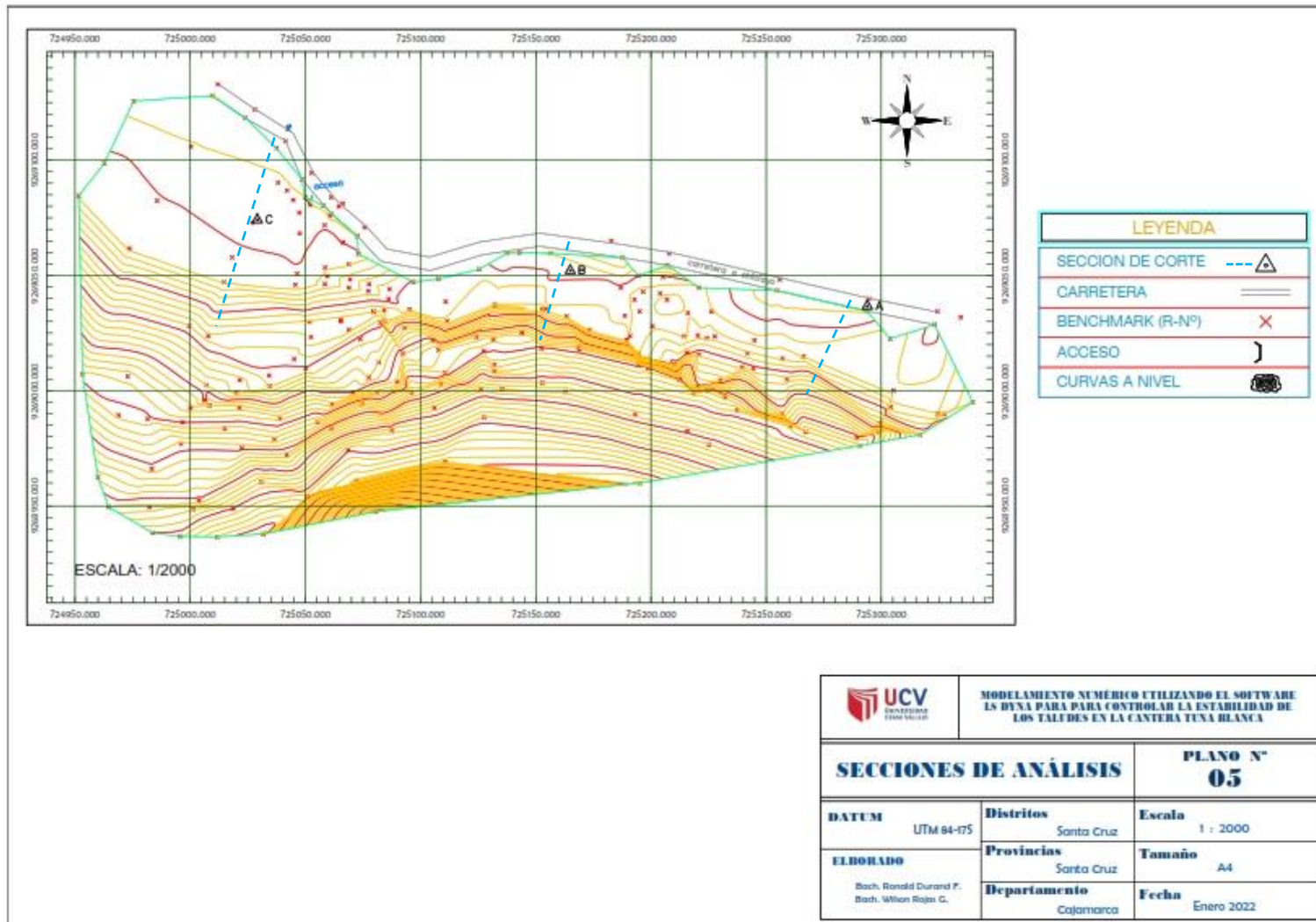


Anexo 11: Zonificación sísmica.



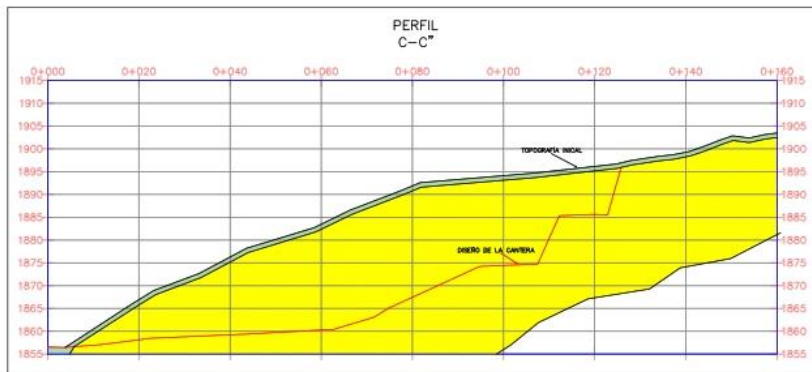
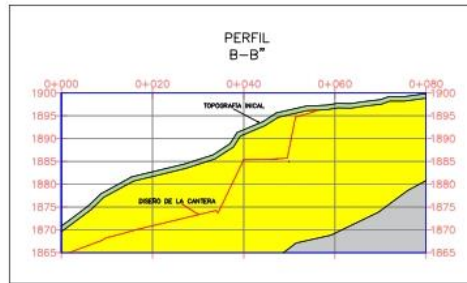
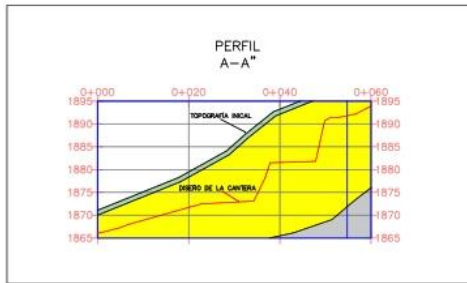
		MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO EL SOFTWARE LS DYNA PARA PARA CONTROLAR LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA TUNA BLANCA	
ZONIFICACIÓN SISMICA		PLANO N° 04	
DATUM UTM 84-175	Distritos Santa Cruz	Escala 1 : 2000	Tamaño A4
ELABORADO Bach. Ronald Durand P. Bach. Wilson Rojas G.	Provincias Santa Cruz	Fecha Enero 2022	
	Departamento Cajamarca		

Anexo 12: Sección de análisis de la cantera.



		MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO EL SOFTWARE LS DENA PARA PARA CONTROLAR LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA TUNA BLANCA	
SECCIONES DE ANÁLISIS		PLANO N° 05	
DATUM UTM 84-17S	Distritos Santa Cruz	Escala 1 : 2000	
ELABORADO Bach. Ronald Durand F. Bach. Wilson Rojas C.	Provincias Santa Cruz	Tamaño A4	
	Departamento Cajamarca	Fecha Enero 2022	

Anexo 13: Perfil Estratigráfico.

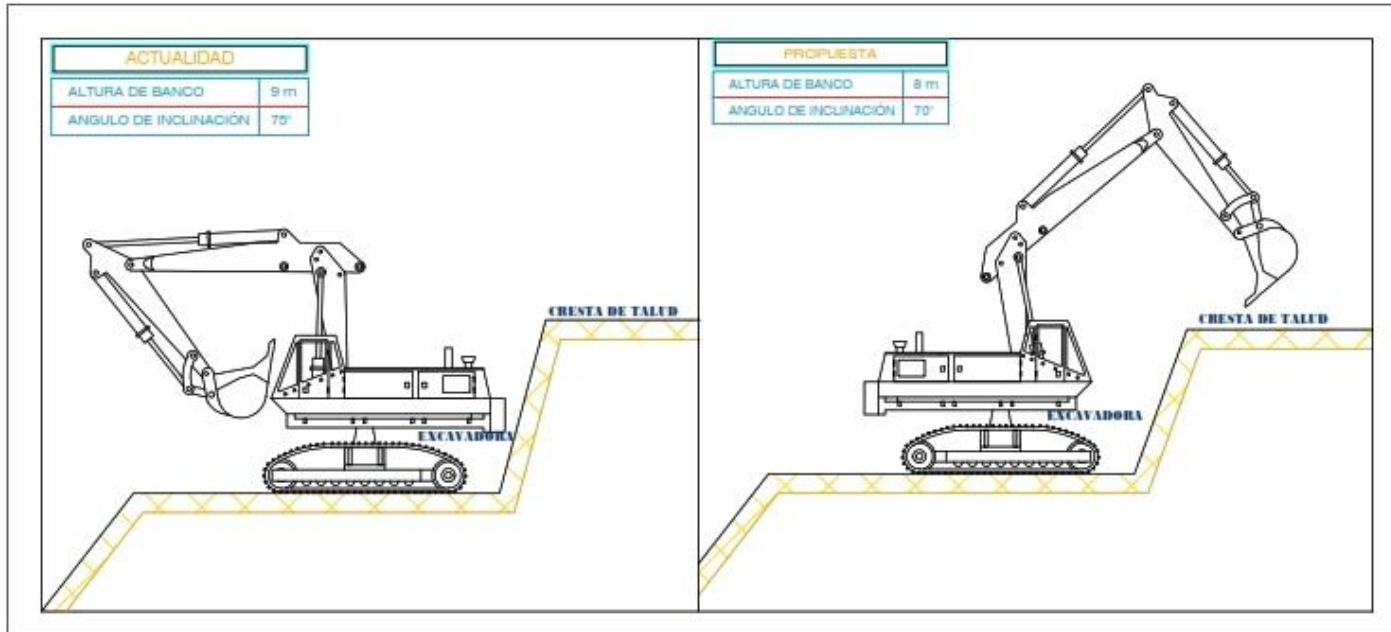


PARÁMETRO DE DISEÑO				
Parámetro	Sección A-A''	Sección B-B''	Sección C-C''	UNID. DE MEDIDA
Altura de Banco	9	9	9	9
Ancho de Berma	variable	variable	variable	°
Angulo de Talud	76	75	74	°
Cota Inicial	1866	1865	1856	msnm
Cota Final	1890	1895	1900	msnm

LEYENDA	
SUPERFICIE TOPOGRAFÍA	
GEOMETRIA DEL TALUD	
TOP SOIL	
REGOSOL EÚTRICO - CALCISOL HÁPLICO	

UCV <small>UNIVERSIDAD CAYMAHUAY</small>		MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO EL SOFTWARE LS DYNA PARA CONTROLAR LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA TUNA BLANCA	
PERFIL ESTRATIGRÁFICO		PLANO N° 06	
DATUM	UTM 84-175	Distritos	Santa Cruz
ELABORADO	Bach. Ronald Durand F. Bach. Wilson F. Rojas G.	Provincias	Santa Cruz
		Departamento	Cajamarca
		Escala	1 : 2000
		Tamaño	A4
		Fecha	Enero 2022

Anexo 14: Parámetros de operación.



 UCV <small>UNIVERSIDAD CAYMAHUASI</small>		MODELAMIENTO NUMÉRICO UTILIZANDO EL SOFTWARE LS DYNA PARA CONTROLAR LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA CANTERA TUNA BLANCA	
PARAMETROS OPERACIONALES		PLANO N° 07	
DATUM	UTM 84-175	Distritos	Santa Cruz
ELBORADO	Bach. Ronald Durand P. Bach. Wilson Rojas C.	Provincias	Santa Cruz
		Departamento	Cajamarca
		Escala	1 : 75
		Tamaño	A4
		Fecha	Enero 2022

Anexo 15: Registro fotográfico.



Figura 21. Inspección de canteras.



Figura 22. Inspección de canteras – 2.



Figura 23. Supervisión de cantera.



Figura 24. Modo de extracción del material.



Figura 25. Toma frontal de cantera.



Figura 26. Toma frontal 2 de la cantera.



Figura 27. Toma de pendiente de la cantera.



Figura 28. Toma del acceso a la cantera.

Anexo 15: Carta de Autorización

CONSORCIO
SUPERVISOR SANTA CRUZ



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CARTA DE AUTORIZACIÓN: USO DE DATOS DE EMPRESA CON FINES DE INVESTIGACIÓN

Yo, Paola Antonella Biondi Ríos, identificada con N° DNI 43024992, en calidad de representante legal del **CONSORCIO SUPERVISOR SANTA CRUZ**, autorizo utilizar la base de datos de la cantera **LA TUNA BLANCA**, que será explotada y empleada en la ejecución de la obra: MEJORAMIENTO CARRETERA CA -103EM.PE- 06B (SANTA CRUZ DE SUCCHUBAMBA)-ROMERO CIRCA-LA LAGUNA -TONGOD-CATILLUC-EMP.PE-06 C(EL EMPALME)-CAJAMARCA", para el desarrollo de la tesis titulada **"Modelamiento numérico utilizando el software LS DYNA para para controlar la estabilidad de los taludes en la cantera Tuna Blanca"**, de los investigadores Wilson Fernando Rojas Gutierrez, identificado con N° DNI 72680449 y Ronald Durand Fernández, identificado con N° DNI 73462319, para que hagan uso de la misma con fin de investigación atentamente,

Cajamarca, 04 de octubre de 2021

CONSORCIO
SUPERVISOR SANTA CRUZ



Paola Antonella Biondi Ríos
Representante Legal
CONSORCIO SUPERVISOR SANTA CRUZ
