

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR
PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA
CULEBRA - LA ENCAÑADA**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

AUTOR:

Bach. Calua Chilón Alcides

ASESOR:

Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Alcides Calua Chilón
DNI: 73359413
Escuela Profesional: INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA – LA ENCAÑADA.
- Fecha de evaluación:** febrero 22, 2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 19%
- Código Documento:** oid:3117:334209179
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 23 de febrero del 2024

	
<p>FIRMA DEL ASESOR</p> <hr/> <p>Nombres y Apellidos Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique DNI: 09224934</p>	<p>Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258801 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 12/03/2024 19:48:16-0500</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación, ha sido posible realizarlo con el apoyo de mis padres, mi Alma Mater, Universidad Nacional de Cajamarca, que me cobijó en sus aulas durante mi etapa de estudiante. También quiero agradecer a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y a todos mis docentes.

Un especial agradecimiento a mi asesor, el Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique, por la disposición de su tiempo, apoyo y asesoría para desarrollar la presente tesis profesional.

DEDICATORIA

A mi familia y hermanos, especialmente a mis padres Segundo Calua y Catalina Chilón por su apoyo incondicional y constante brindado durante mi formación académica, profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

CAPÍTULO I INTRODUCCION

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. Reservas Mineras.....	4
2.2.2. Estimación de Reservas	7
2.2.3. Caliza	10
2.2.4. Cal (CaO)	11
2.2.5. Diseño de Explotación en Canteras.....	15
2.2.6. Clasificaciones Geomecánicas	17
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	21

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	22
3.1.1. Ubicación Política	22
3.1.2. Ubicación Geográfica	22
3.2. ACCESIBILIDAD	23

	Pág.
3.3. CLIMA	25
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.4.1. Tipo, Nivel, Diseño y Método de la Investigación	26
3.4.2. Población de Estudio	26
3.4.3. Muestra.....	26
3.4.4. Unidad de Análisis	27
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	27
3.5.1. Etapa de Gabinete	27
3.5.2. Etapa de Campo	27
3.5.3. Etapa Final	28
3.5.4. Materiales e Instrumentos.....	28
3.6. GEOLOGÍA LOCAL	28
3.6.1. Grupo Pulluicana.....	29
3.6.2. Grupo Quilquiñán - Mujarrún	30
3.6.3. Formación Cajamarca	31
3.6.4. Deposito Lagunar	32
3.6.5. Depósitos Cuaternarios Coluvio – Aluvial (Qh-clal).....	33
3.7. GEOMORFOLOGÍA	34
3.7.1. Unidades por Proceso Denudativo	34
3.7.2. Unidades Formadas por Proceso Kárstico	37
3.8. CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS	37
3.8.1. Estación Geomecánica 1	38
3.8.2. Estación Geomecánica 2	42
3.8.3. Estación Geomecánica 3	47

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.1.1. Recolección de Muestras	53
4.1.2. Análisis Químico de Muestras	53
4.1.3. Determinación de Óxido de Calcio (CaO).....	55
4.2. CÁLCULO DE RESERVAS.....	56
4.2.1. Cantera N°1	56
4.2.2. Cantera N°2.....	60
4.2.3. Cantera N°3.....	64

	Pág.
4.2.4. Resultados de Reservas de las Canteras.....	68
4.2.5. Parámetros Geométricos de la Explotación.....	68
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	78

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	79
5.2. RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Clasificación Porcentual de Calizas	11
Tabla 02. Índice de Calidad de la Roca.....	17
Tabla 03. Clasificación RMR89 de Bieniawski	18
Tabla 04. Calidad de Macizos Rocosos en Relación al Índice RMR89.....	19
Tabla 05. Estimación del GSI en Base a Descripciones Geológicas del Macizo Rocosos	20
Tabla 06. Coordenadas UTM-WGS84 de los Vértices de la Zona de Investigación..	22
Tabla 07. Ruta de Acceso y Tiempo a la Zona de Investigación.	23
Tabla 08. Estimación de la RCU en Campo.....	38
Tabla 09. Índice De Calidad De La Roca - Estación Geomecánica 1	39
Tabla 10. RMR ₈₉ – Estación Geomecánica 1	40
Tabla 11. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 1	41
Tabla 12. Estimación de la RCU en Campo.....	43
Tabla 13. Índice de Calidad de la Roca – Estación Geomecánica 2.....	44
Tabla 14. RMR ₈₉ – Estación Geomecánica 2.....	45
Tabla 15. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 2	45
Tabla 16. Estimación de la RCU en Campo.....	48
Tabla 17. Índice de Calidad de la Roca – Estación Geomecánica 3.....	49
Tabla 18. RMR ₈₉ – Estación Geomecánica 3.....	50
Tabla 19. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 3	50
Tabla 20. Ubicación de las Muestras	53
Tabla 21. Porcentajes de Carbonato de Calcio de las Muestras	54
Tabla 22. Porcentajes de Carbonato de Calcio de las Muestras	56
Tabla 23. Área de la sección transversal (A - A') de la Cantera N.º 1	58
Tabla 24. Área total de la Cantera N.º 1	58
Tabla 25. Volumen Total de la Cantera N.º 1	59
Tabla 26. Área de la Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 2	61
Tabla 27. Área Total de la Cantera N.º 2	62
Tabla 28. Volumen Total de la Cantera N.º 2	63
Tabla 29. Área de la Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 3	65
Tabla 30. Área Total de la Cantera N.º 3	66
Tabla 31. Volumen Total de la Cantera N.º 3.....	67

	Pág.
Tabla 32. Reservas Estimadas de las Tres Canteras	68
Tabla 33. Cálculo de ROP y VOE de las Tres Canteras	68
Tabla 34. Clasificación de Rocas Según Protodyakonov	71
Tabla 35. Coeficiente de Seguridad Para Estabilidad en Función del Tiempo	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Relación General entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales	5
Figura 02. Secciones Transversales que Muestran el Yacimiento en (3D) Tercera Dimensión.....	8
Figura 03. Método Poligonal	9
Figura 04. Método Triangular.....	10
Figura 05. Proceso de Producción de la Cal	13
Figura 06. Resultado de la Reacción Mediante el Proceso de Calcinación	14
Figura 07. Elementos de una Cantera.....	16
Figura 08. Accesibilidad Cajamarca – Pampa de la Culebra	24
Figura 09. Normales Climatológicas Estándares y Medias Climáticas 1991 – 2022 de la Estación Meteorológica de la Encañada	25
Figura 10. Afloramientos del Cretáceo Superior en el Área de Estudio. Coordenadas UTM: 787735.56 E, 9210498.34 N.	29
Figura 11. Afloramientos de Calizas Nodulares Grisáceas Pertencientes al Grupo Pulluicana, Formación Yumagual. Coordenadas UTM: 788302.25 E, 921962.65 N.....	30
Figura 12. Afloramientos de Calizas Nodulares Grisáceas Pertencientes a la Formación Quilquiñán - Mujarrún. Coordenadas UTM: 787449.36 E, 9211036.28 N.....	31
Figura 13. Afloramientos de Calizas Grisáceas que Muestra una Topografía Kárstica en la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 788485.62 E, 9210436.02 N.	32
Figura 14. Depósito Lagunar en Discordancia con la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 788067.89 E, 9210330.63 N.....	33
Figura 15. Depósitos Cuaternarios Sobre el Grupo Quilquiñán – Mujarrún. Coordenadas UTM: 786758.15 E, 9210859.05 N.....	34
Figura 16. Vista de una Ladera de Denudación con Ángulo de Inclinación de 22° Aproximadamente. Coordenadas UTM: 787838.12 E, 9209934.93 N.....	35

	Pág.
Figura 17. Cárcava en los Depósitos Coluvio – Aluviales con Dimensiones de 4 m de Profundidad y 10 m de Ancho. Coordenadas UTM: 788591.07 E, 9210609.09 N.....	36
Figura 18. Cima Redondeada Desarrollada en la Formación Yumagual. Coordenadas UTM: 787779.17 E, 9210549.02 N.	36
Figura 19. Lenares en Rocas Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787768.06 E, 921576.25 N.	37
Figura 20. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG1.	42
Figura 21. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG2.	47
Figura 22. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG3.	52
Figura 23. Comportamiento del Porcentaje de Carbonato de Calcio de las Unidades del Cretácico Superior	55
Figura 24. Cantera N.º 1 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca Coordenadas UTM: 787712.95 E, 9210609.95 N.	57
Figura 25. Sección transversal (A - A') de la Cantera N.º 1.....	57
Figura 26. Cantera N.º 2 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787911.29 E, 9210578.66 N.	60
Figura 27. Sección Transversal (A - A) de la Cantera N.º 2.....	61
Figura 28. Cantera N.º 3 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787353.31 E, N= 9210116.72 N.	64
Figura 29. Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 3	65
Figura 30 Especificaciones Técnicas Excavadora Hidráulica CAT 320	73
Figura 31. Especificaciones Técnicas Volquete 2506 Ton	74
Figura 32. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 1.....	75
Figura 33. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 2.....	76
Figura 34. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 3.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global.
WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
RQD	:	Índice de Calidad de la Roca.
RMR	:	Valoración de la Masa Rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
UTM	:	Universal Transversal Mercator.
RCU	:	Resistencia a la Compresión Uniaxial.
MDE	:	Modelo Digital de Elevación.
Ton	:	Toneladas métricas.
msnm	:	Metros sobre el nivel de mar.
NE	:	Noreste.
NW	:	Noroeste.
SE	:	Sureste.
SW	:	Suroeste.
EG	:	Estación Geomecánica.
ROP	:	Ritmo Óptimo de Producción.
VOE	:	Vida Óptima de Explotación.

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el Centro Poblado Pampa de la Culebra, ubicado en el distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca. El propósito es evaluar las reservas de las calizas del Cretácico Superior con el fin de determinar su viabilidad para la extracción de óxido de calcio (CaO) y determinar los parámetros para su diseño de explotación. Se realizaron análisis químicos efectuado por INGEOCONSULT & LAB SRL a ocho muestras representativas de las formaciones geológicas del Cretácico Superior para determinar el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO₃), en los siguientes porcentajes: Formación Yumagual 70.55%, Grupo Quilquiñán - Mujarrún 72.88%, Formación Celendín 69.33% y la Formación Cajamarca con un promedio de 94.79%, lo que confirma su idoneidad para la explotación. Se estimó un considerable tonelaje en tres canteras específicas en la Formación Cajamarca: cantera N°1 (8.01 millones de toneladas), cantera N°2 (6.88 millones de toneladas) y cantera N°3 (11.44 millones de toneladas). El promedio del porcentaje de carbonato de calcio (CaO) en la Formación Cajamarca se calculó en un 84.62%, lo cual cumple con las demandas de las empresas mineras. Los resultados obtenidos respaldan la idoneidad de la Formación Cajamarca para la explotación de calizas de alta calidad. Como conclusiones se proponen parámetros específicos para el diseño de explotación, que incluyen bancos de 9 metros de altura, ancho de banco de 6 metros, ángulo de trabajo de 70° y ángulo de talud final de 44°.

Palabras claves: Cantera, Reservas, Caliza, Método de Explotación.

ABSTRACT

The research was carried out in the Centro Poblado Pampa de la Culebra, located in the district of La Encañada, province of Cajamarca. The purpose is to assess the reserves of Upper Cretaceous limestones in order to determine their viability for the extraction of calcium oxide (CaO) and to determine the parameters for their exploitation design. Chemical analyses were performed by INGEOCONSULT & LAB SRL on eight representative samples of Upper Cretaceous geological formations to determine the percentage of calcium carbonate (CaCO₃), with the following percentages: Yumagual Formation 70.55%, Quilquiñán - Mujarrún Group 72.88%, Celendín Formation 69.33%, and Cajamarca Formation with an average of 94.79%, confirming its suitability for exploitation. A considerable tonnage was estimated in three specific quarries in the Cajamarca Formation: quarry No. 1 (8.01 million tons), quarry No. 2 (6.88 million tons), and quarry No. 3 (11.44 million tons). The average percentage of calcium carbonate (CaO) in the Cajamarca Formation was calculated to be 84.62%, which meets the demands of mining companies. The results obtained support the suitability of the Cajamarca Formation for the exploitation of high-quality limestones. Specific parameters are proposed for the exploitation design, including bench heights of 9 meters, bench width of 6 meters, working angle of 70°, and final slope angle of 44°.

Keywords: Quarry, Reserves, Limestone, Exploitation Method.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La minería no metálica desempeña un papel significativo en el progreso económico e industrial de una nación. En la región de Cajamarca, se identifican diversas empresas que emplean óxido de calcio (CaO) en diversas aplicaciones, incluyendo la minería de metales y la agricultura. En la localidad de Pampa de la Culebra – La Encañada, se observan extensos afloramientos de calizas del Período Cretácico Superior que presentan condiciones propicias para su explotación con el fin de obtener óxido de calcio. Por lo tanto, es esencial llevar a cabo cálculos con el objetivo de determinar las reservas totales. Además, se requiere realizar análisis químicos para evaluar la composición química de estas calizas y determinar cuáles cumplen con los requisitos necesarios para la explotación del óxido de calcio. Es importante destacar que los ingenieros de minas tienen la responsabilidad de llevar a cabo la explotación y el uso de los recursos minerales de manera responsable, preservando el medio ambiente y siguiendo las prácticas de explotación que garanticen el éxito de la operación minera. Para abordar estos aspectos, esta tesis se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las reservas de las calizas del cretácico superior para obtención de óxido de calcio (CaO) Pampa de la Culebra- La Encañada? Teniendo como hipótesis: Las reservas de calizas en la localidad de Pampa de la Culebra – Cajamarca presentan el 60% de carbonato de calcio (CaCO₃) bueno para ser explotado óxido de calcio (CaO).

La justificación de este estudio radica en su propuesta de aprovechar las calizas con un contenido significativo de carbonato de calcio, así como en la evaluación de las reservas probables y probadas. Además, plantea la formulación de un método de explotación que esté en conformidad con los requisitos técnicos y legales pertinentes. Los alcances de la investigación son: Aplicada y nivel explicativo y descriptivo, Los objetivos delineados para esta investigación comprenden la evaluación de las reservas de calizas del cretácico superior destinadas a la obtención de óxido de calcio (CaO) en Pampa de la Culebra, ubicada en

Cajamarca, así como la determinación de los parámetros necesarios para llevar a cabo la explotación de estas calizas en la producción de óxido de calcio (CaO).

La descripción de los contenidos de esta investigación se compone de cinco capítulos:

El Capítulo I contiene el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, justificación, alcances y objetivos de la investigación. El segundo capítulo, el marco teórico, se dedica a la revisión de los antecedentes a nivel internacional, nacional y local. Asimismo, se presenta el fundamento teórico que servirá como base para la investigación, y se aclara la definición de los términos utilizados en el estudio, en el tercer capítulo, denominado Materiales y Métodos, se enfoca en el contexto de la investigación. Aquí se detallan los procedimientos seguidos, la metodología empleada, la identificación de variables relevantes, las técnicas utilizadas, y se describen los instrumentos y equipos empleados, en el cuarto capítulo, se lleva a cabo el análisis y la discusión de los resultados obtenidos, estos resultados deben relacionarse con el planteamiento del problema y las hipótesis planteadas, lo que permite llegar a las conclusiones correspondientes, en el último capítulo, el quinto, se dedica a las conclusiones, las cuales están alineadas con los objetivos establecidos. Además, se presentan las recomendaciones finales basadas en los hallazgos de la investigación. Por último, se incluyen las referencias bibliográficas utilizadas en la tesis y los anexos pertinentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Muñoz (2015), en su investigación titulada "Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena", concluye que el diseño de explotación es técnica, ambiental y económicamente viable, recomendando su aplicación en el Proyecto Minero Mary Elena. El plan minero abarca 5 años, con un enfoque a mediano plazo para las reservas de la cantera. Se propone un diseño de explotación con 4 niveles de 5 metros cada uno. Las Reservas Probadas varían según el software utilizado (AutoCAD civil 2015 y Vulcan 8.0), con estimaciones en el rango de 367,222.5 a 399,325 toneladas. Las Reservas Probables se sitúan en 1,321,851.66 toneladas, y las Reservas Posibles ascienden a 1,714,368.53 toneladas.

Herrera (2016), en su investigación titulada "Diseño del Sistema de Explotación de Materiales de Construcción en la Cantera Mina 2", ubicada en la Parroquia Cangahua, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha, concluye que las canteras albergan materiales ígneos volcánicos ideales para su uso en proyectos de construcción de carreteras. Se calculó un volumen total de 178,874 metros cúbicos en la Cantera "Mina 2" mediante métodos de análisis minero-geométrico respaldados por software como Vulcan y RecMin. Estos datos son valiosos para la planificación de la explotación de estos recursos en la región.

Ramírez (2008), en su tesis sobre la "Sostenibilidad de la Explotación de Materiales de Construcción en el Valle de Aburra," investigó la preocupación de que las actividades mineras se estaban llevando a cabo con parámetros inadecuados en la región. El estudio se enfocó en la sostenibilidad de la minería desde las

perspectivas ambientales, económicas y sociales. Las conclusiones destacan que se espera que las reservas de arena se agoten entre los años 2013 y 2027, mientras que los triturados y gravas se agotarán entre 2011 y 2019. Estas proyecciones son cruciales para la toma de decisiones en la gestión de recursos minerales en el Valle de Aburra y la planificación sostenible de actividades mineras en la región.

2.1.2. Nacionales

Condori (2016), en su trabajo de tesis denominado "Diseño de Explotación de Cantera para Agregados en el Distrito de Huayucachi" ha concluido lo siguiente. Los sedimentos encontrados en la cantera tienen un origen aluvial y están compuestos por gravas mal gradadas, además de contar con una capa de arcilla de 6 metros de espesor. El nivel freático presenta una inclinación de 5° en dirección aguas abajo del río Mantaro, lo que sugiere que, a medida que se profundice en la explotación de la cantera, podrían surgir problemas en el drenaje de aguas. Se ha identificado un grupo litológico que consiste en un depósito de cantos rodados, sin la presencia de estructuras geológicas como fallas o discordancias, entre otros.

Huamán y Benito (2018), en su investigación titulada "Optimización y Modernización en el Proceso de Obtención de Arena de Sílice para Aumentar la Producción en la Cantera Santa Rosa 94-i, C.C. Llocllapampa," llevaron a cabo la optimización del método de explotación de cantera mediante un enfoque de avance frontal y mejoraron los diversos procesos relacionados con la extracción de arena. Como resultado de estas implementaciones, se logró un notable aumento del 15% en la producción de la cantera en comparación con los niveles de producción previos. Estas mejoras son significativas para el rendimiento y la eficiencia de la operación de extracción de arena de sílice en la Cantera Santa Rosa 94-i.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Reservas Mineras

Las reservas minerales hacen referencia a la porción de un recurso mineral que ha sido categorizado como medido y/o indicado y que es económicamente factible

para su explotación. Esta reserva incluye consideraciones de dilución y pérdida que pueden ocurrir durante el proceso de extracción, y su definición se basa en evaluaciones realizadas en estudios de factibilidad o prefactibilidad. Estos estudios deben aplicar factores modificadores y demostrar que, al momento del informe, la extracción puede ser razonablemente justificada (JORC,2012).

Una reserva mineral se refiere a la porción de un depósito de minerales que se puede explotar de manera económicamente viable y legal en el momento de su determinación. Su estimación implica la realización de evaluaciones adecuadas que pueden comprender análisis de factibilidad que toman en consideración diversos factores, como los aspectos mineros, metalúrgicos, económicos, ambientales, de mercado, sociales y gubernamentales. La estimación de la reserva incluye únicamente el mineral que se puede recuperar y se presenta en términos de cantidad y contenido mineral (Mayta & Mesa,2010).

Para que un yacimiento pueda ser categorizado como reservas minerales, debe cumplir con ciertos criterios de clasificación que se basan en la certeza de la existencia del mineral. Se consideran como reservas minerales aquellas cuyas existencias están probadas y probables en términos de su contenido mineral, su viabilidad económica, y su accesibilidad, tanto actual como potencial (Mayta & Mesa, 2010).



Figura 01. Relación General entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales
Fuente: Geoxnet, (2016)

❖ **Clases de Reservas Minerales Según la Certeza**

– **Reserva Mineral Probado**

Una reserva de mena probada representa la fracción económicamente viable de un recurso mineral medido. En este caso, se sostiene un alto nivel de confianza en los factores modificadores (JORC, 2012).

Se consideran reservas probadas cuando contamos con datos directos provenientes de muestreos detallados realizados en trincheras, calicatas, labores y sondeos. En estas circunstancias, el tonelaje real debería mantenerse dentro de un margen de diferencia de aproximadamente un 20% en comparación con la estimación, y en algunas ocasiones, el margen de error no debería exceder el 5% (Oyarzun, 2011).

– **Reserva Mineral Probable**

Una reserva mineral probable se refiere a la porción de un recurso mineral indicado y, en ciertas situaciones, de un recurso mineral medido, que puede ser explotada económicamente. La confianza en la aplicación de factores modificadores a una reserva de mena probable es inferior a la aplicada a una reserva de mena probada (JORC, 2012).

Su estimación se fundamenta en la información recopilada a través de exploración, muestreo y análisis utilizando métodos adecuados en lugares como afloramientos, trincheras, excavaciones a cielo abierto y perforaciones. Los cálculos de tonelaje y concentración de minerales se derivan de datos de muestras que están menos densamente distribuidas que en el caso de las reservas probadas o que presentan brechas en la confirmación de la continuidad geológica y de concentración de minerales. No obstante, esta distancia entre las muestras es suficiente para suponer dicha continuidad (Mayta & Mesa, 2010).

2.2.2. Estimación de Reservas

El propósito de estimar los recursos o reservas de un yacimiento es identificar la cantidad, calidad y viabilidad de la explotación comercial de los minerales presentes en el yacimiento, ya sean de naturaleza metálica, no metálica, industrial, ornamental o combustible (Bustillo Revuelta & López Jimeno, 1997).

El cálculo de las reservas minerales implica una evaluación tanto cuantitativa como cualitativa de los minerales que pueden ser extraídos de manera rentable y de acuerdo con la normativa vigente de un yacimiento durante su explotación minera. Este proceso no se limita solo a determinar la cantidad de mineral presente en el depósito, sino que también involucra consideraciones técnicas y legales relacionadas con la explotación minera, el procesamiento del mineral y la comercialización del producto (Cuador, 2013)

De acuerdo a lo previamente mencionado, es evidente que la estimación de recursos es un factor crucial para asegurar el éxito de una inversión en el ámbito minero. En este sentido, resulta fundamental que los cálculos de la concentración de minerales y el volumen del depósito sean altamente confiables, basados en las muestras disponibles, la precisión de los análisis y la correcta definición de los controles geológicos relacionados con la mineralización.

❖ Métodos Clásicos o Geométricos

– Método de Secciones

El método que segmenta el yacimiento en secciones o cortes verticales y paralelos, como se ilustra en la figura 2, permite generar cortes transversales del yacimiento metálico o no metálico. A partir de estos cortes, es posible calcular el volumen y tonelaje del material estéril y la mena utilizando las fórmulas especificadas (López y Aduvire, 1993).

Este método se emplea en situaciones donde se encuentran cuerpos minerales con una forma no uniforme, y han sido investigados mediante sondeos distribuidos de

manera regular, lo que permite la creación de cortes o perfiles que sirven de base para el cálculo de las reservas (Luque, 2017).

para el cálculo de volumen (V) se emplea la ecuación:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} * L_1$$

Para el cálculo del tonelaje (T) se aplica la ecuación:

$$T = \frac{A_1 + A_2}{2} * L_1 * t$$

En este contexto, "t" representa la densidad promedio del mineral en toneladas por metro cúbico (ton/m³). Es fundamental resaltar que, al calcular las toneladas de material estéril, se deben considerar las áreas correspondientes al estéril de las secciones y su respectiva densidad. El mismo procedimiento se aplica para determinar el volumen y tonelaje de la mena.

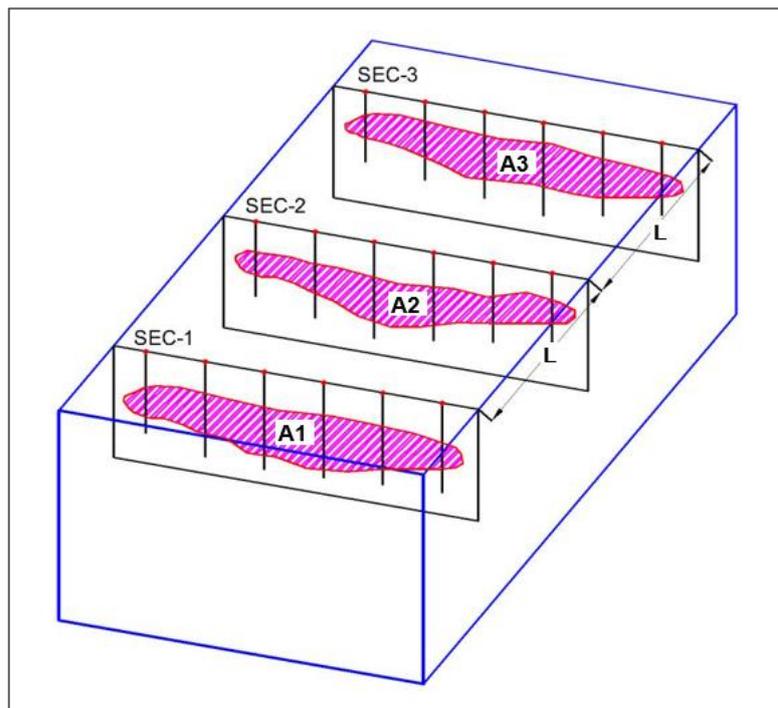


Figura 02. Secciones Transversales que Muestran el Yacimiento en Tercera Dimensión

Fuente: CWC TRAININGS, (2022)

El método de perfiles es ampliamente empleado en yacimientos de gran tamaño debido a su sencilla interpretación de los sondeos y su capacidad de subdividir el yacimiento en zonas con cálculos de volumen independientes. Este enfoque se destina principalmente a yacimientos con notables ángulos de buzamiento (López y Aduvire, 1993).

– Método Poligonal

El método se fundamenta en la noción del área de influencia. Para determinar el área de influencia, se establecen bloques poligonales alrededor de cada perforación, abarcando la mitad de la distancia entre dos perforaciones adyacentes. La concentración y el espesor promedio de la perforación que se encuentra dentro de cada polígono se aplican a todo el polígono, lo que permite calcular un volumen para estimar las reservas. La magnitud del volumen se obtiene al multiplicar el área de los polígonos por el espesor. A continuación, se multiplica el volumen resultante por la densidad del material para determinar el tonelaje. Sumando los valores de todos los polígonos se obtiene el tonelaje y el contenido de mineral total del depósito (López y Aduvire, 1993).

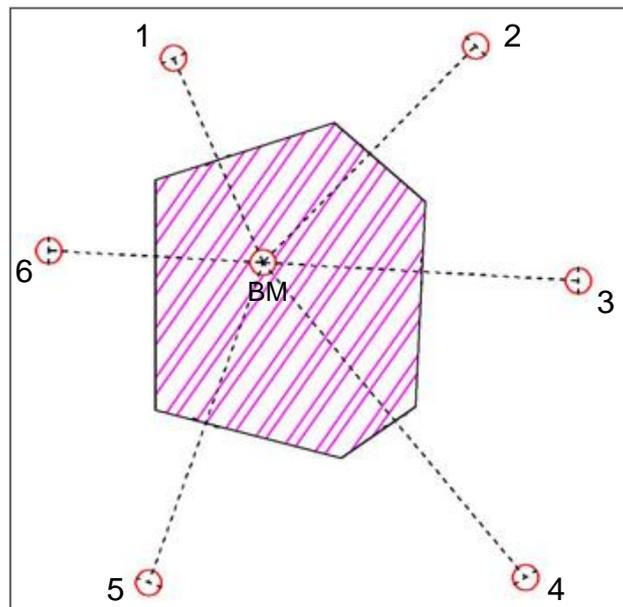


Figura 03. Método Poligonal

Fuente: CWC TRAININGS, (2022)

– Método Triangular

Este enfoque constituye una versión refinada del método poligonal. En esta técnica, se establecen conexiones entre perforaciones vecinas, lo que resulta en la subdivisión del depósito mineralizado en una serie de triángulos (T_1, T_2, \dots, T_n). Cada triángulo se sitúa en un plano bidimensional y representa la base de un prisma imaginario, cuyos bordes (t_1, t_2, t_3) coinciden con los espesores verticales de la mineralización interceptada. Para calcular el tonelaje, se utiliza el área del triángulo formado entre tres perforaciones adyacentes, junto con la ley promedio y el espesor de dichas perforaciones (López y Aduvire, 1993).

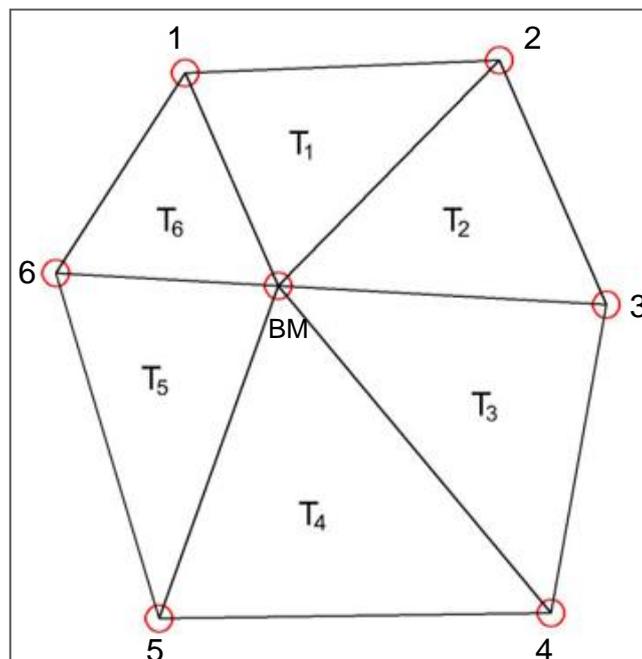


Figura 04. Método Triangular

Fuente: CWC TRAININGS, (2022)

2.2.3. Caliza

La caliza es una roca sedimentaria que se caracteriza por su composición principal de carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de minerales de calcita o aragonito. No obstante, se debe destacar que la composición de la caliza puede ser variable, y se pueden encontrar otras sustancias en cantidades menores que actúan como impurezas (Dávila, 2011).

La composición exacta de la caliza puede variar según su origen geológico y su ubicación geográfica. En general, se considera que la caliza está compuesta principalmente por carbonato de calcio, pero pueden existir variaciones significativas debido a la presencia de impurezas. Si estás trabajando con una muestra de caliza específica, es recomendable realizar un análisis químico detallado para determinar su composición exacta (Piérola, 2015).

Las aplicaciones de la caliza abarcan diversos sectores, incluyendo la construcción, fundición, industria química, agroquímicos y la fabricación de vidrio (Morales, 2014).

La utilización de las calizas está relacionada principalmente con el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), especialmente de grado químico, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 01. Clasificación Porcentual de Calizas

Categoría	CaCO_3 (%)
Muy Alta Pureza	>98,5
Alta Pureza	97,0 – 98,5
Media Pureza	93,5 – 97,0
Baja Pureza	85,0 – 93,5
Impura	<85,0

Fuente: Dávila, (2011)

2.2.4. Cal (CaO)

La cal viva, también conocida como óxido de calcio (CaO), se produce mediante el proceso de calcinación de una sustancia rica en carbonato de calcio, como la caliza o el mármol (Dávila, 2011).

La materia prima empleada en la producción de cal es la piedra caliza, una roca sedimentaria que consiste principalmente en carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. En ocasiones, puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, y otros (Coloma, 2008).

❖ Proceso de Producción de la Cal

La fabricación de cal implica un proceso de calcinación de materiales ricos en carbonato de calcio como la caliza. A continuación, se describen las etapas clave para obtener cal:

Extracción: En la primera etapa, se extrae el material crudo, que generalmente es caliza o mármol, de canteras o yacimientos naturales. Este material servirá como la materia prima para la producción de cal.

Trituración y Molienda: El material crudo se somete a procesos de trituración y molienda para reducir su tamaño y obtener partículas más finas. Este paso facilita la calcinación posterior y la liberación del dióxido de carbono (CO₂).

Calcinación: El material triturado se introduce en un horno o un horno rotatorio. Durante este proceso, se somete al material a temperaturas elevadas, generalmente por encima de 900°C. La calcinación induce la descomposición térmica del carbonato de calcio (CaCO₃) presente en el material crudo, lo que da como resultado la formación de óxido de calcio (CaO) y la liberación de dióxido de carbono como subproducto. La ecuación química que representa este proceso es:

$$\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$$

Enfriamiento: El óxido de calcio (cal viva) resultante se enfriará para evitar que reaccione con el dióxido de carbono atmosférico y vuelva a convertirse en carbonato de calcio. El enfriamiento puede realizarse de forma controlada en el mismo horno o mediante otro equipo de enfriamiento.

Almacenamiento: La cal viva enfriada se almacena en condiciones adecuadas para evitar su exposición al aire y la humedad, ya que la cal viva es altamente reactiva y puede absorber dióxido de carbono del entorno, lo que resultaría en la formación de carbonato de calcio.

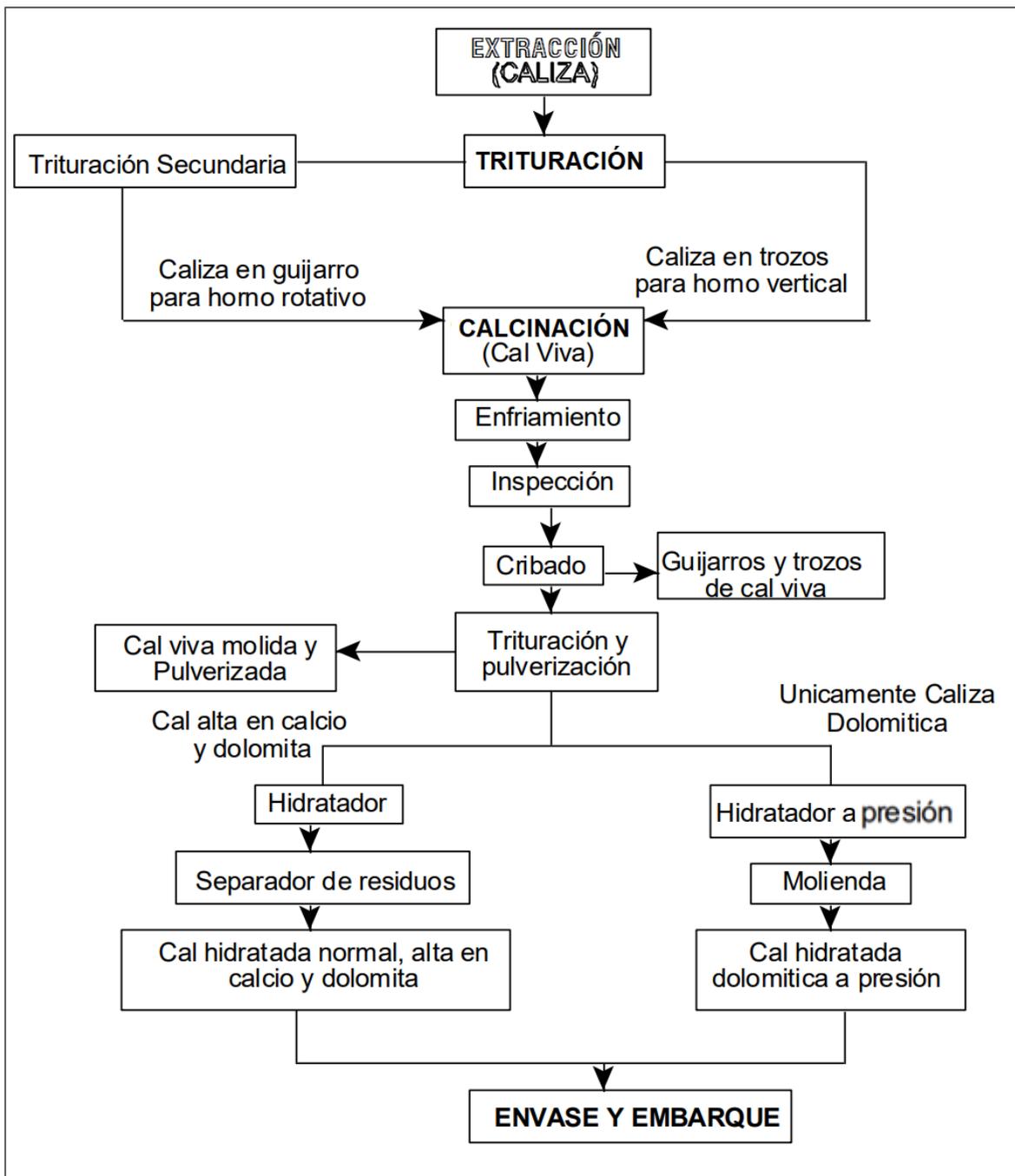


Figura 05. Proceso de Producción de la Cal

Fuente: Dirección General de Desarrollo Minero, (2013)

❖ Obtención de la Cal

La cal se obtiene mediante un proceso de calcinación, que implica calentar la caliza u otros materiales calcáreos a temperaturas elevadas (generalmente por encima de 900°C) en un horno. Este proceso induce la descomposición térmica del carbonato de calcio (CaCO_3) presente en la caliza, dando lugar a la formación de

óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO₂) como subproducto (Herrera, 2012).

La ecuación química que representa este proceso es:

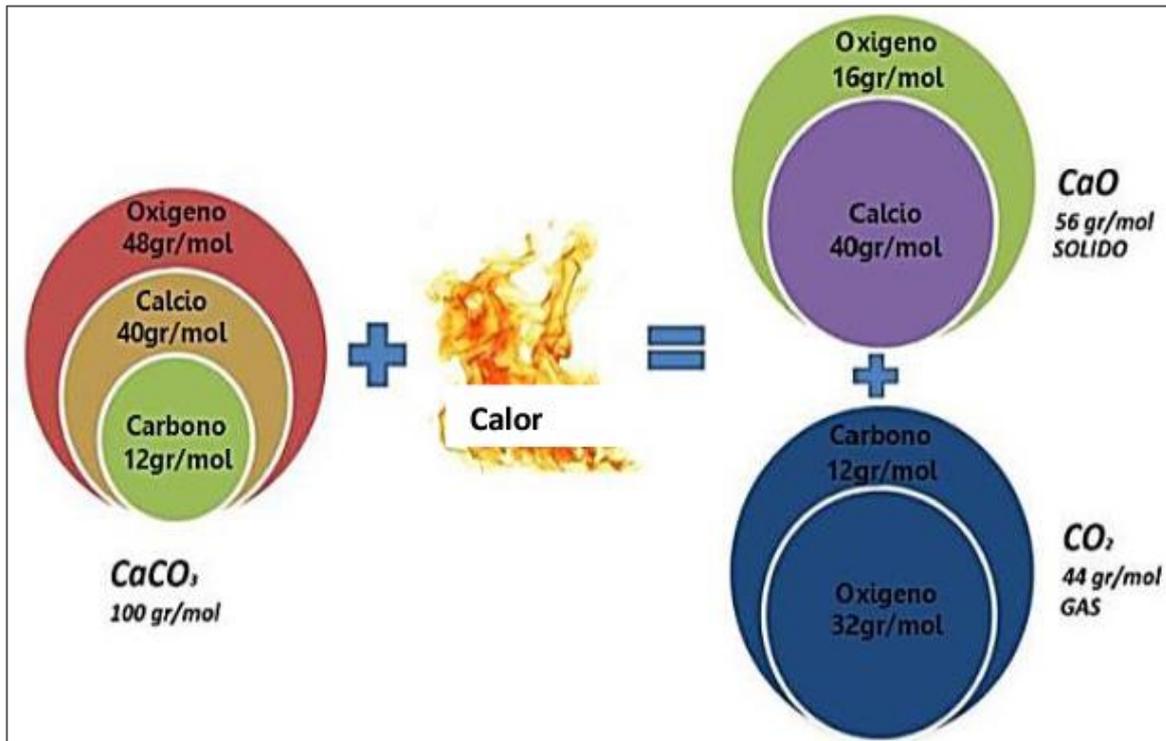


Figura 06. Resultado de la Reacción Mediante el Proceso de Calcinación

Fuente: Manual de Competencias de Calcinación, Grupo Calidra, (2012)

La cal obtenida, también conocida como cal viva, es altamente reactiva y se utiliza en diversas aplicaciones industriales, como la fabricación de cemento, la purificación de agua, la metalurgia y la corrección del pH del suelo (Hernández, Arenas, Cárcamo, Conejeros y Coloma, 1995).

2.2.4.1. Aplicaciones de la Cal

La cal (CaO) tiene una amplia gama de aplicaciones en diferentes industrias y sectores. Una de las aplicaciones más destacadas es su uso en la producción de cemento Portland, donde actúa como un componente clave en la mezcla de

cemento. Además, se utiliza en la purificación de agua y tratamiento de aguas residuales, donde su alcalinidad neutraliza sustancias ácidas y precipita impurezas. En la metalurgia, la cal se utiliza para la extracción y refinación de metales. También se emplea en la agricultura como enmienda del suelo para corregir su acidez y mejorar la calidad del suelo (Hernández, Arenas, Cárcamo, Conejeros y Coloma, 1995).

2.2.5. Diseño de Explotación en Canteras

Los métodos de extracción en canteras se refieren a los procedimientos utilizados para obtener materiales no metálicos, como la caliza, que tienen un valor económico. Estos métodos están estrechamente relacionados con la topografía y la morfología específica del yacimiento (López, 2003).

Una cantera se define como una operación minera principalmente a cielo abierto que se utiliza como fuente de suministro de rocas y suelos necesarios para aplicaciones de construcción (Herrera, 2007).

Para que una cantera sea viable, es necesario que cumpla con una serie de requisitos, que incluyen:

- Disponibilidad suficiente de material en cantidad adecuada.
- Evaluación de la calidad del material, incluyendo sus características y propiedades.
- Accesibilidad a la cantera, ya que esto influye significativamente en los costos asociados al proyecto.

❖ Parámetros de Diseño de una Cantera

De acuerdo a Piérola (2017) los parámetros geométricos principales que influyen en el diseño de explotación de canteras son:

Banco. Se refiere al escalón que existe entre dos niveles, representando la sección que será extraída, ya sea de material estéril o mineral, y su excavación se realiza

desde un punto inicial en el espacio hasta alcanzar una posición final predeterminada.

Altura de Banco: Se define como la medida vertical que separa dos niveles, es decir, desde la base del banco hasta su parte superior.

Talud de Banco: Es el ángulo formado por la línea de máxima pendiente de la cara del banco y la horizontal.

Talud de Trabajo: Es el ángulo formado por los pies de los bancos en los que se ubican las plataformas de trabajo o tajos.

Bermas: Son aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos o caídas de rocas.

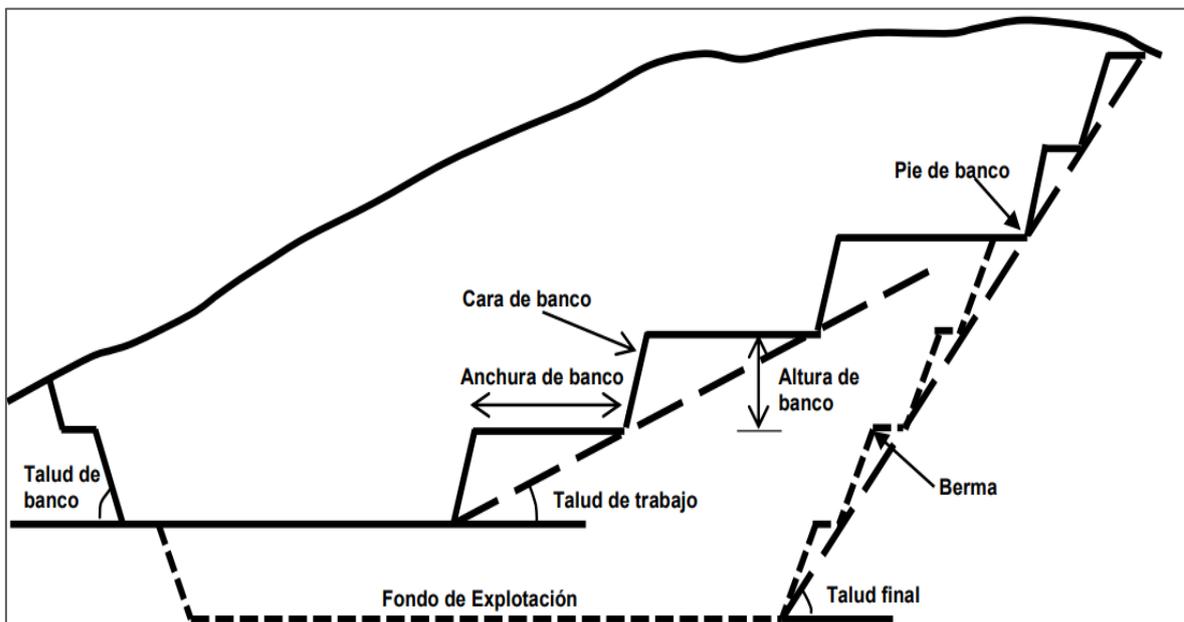


Figura 07. Elementos de una Cantera

Fuente: Piérola, (2017)

2.2.6. Clasificaciones Geomecánicas

Los factores que influyen sobre el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y que afectan a la estabilidad de las excavaciones mineras pueden ser divididos en tres grupos:

❖ Índice de Calidad de la Roca RQD

El método desarrollado por Deere et al. (1967) se utiliza para evaluar de manera cuantitativa la calidad del macizo rocoso. Este enfoque se basa en la medición de las discontinuidades o juntas expuestas en la superficie del macizo rocoso en relación con un metro lineal.

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

Donde: λ = Numero de discontinuidades / Longitud

En la tabla 02 se muestra los intervalos del RQD, y la calidad de la roca.

Tabla 02. Índice de Calidad de la Roca

RQD	Calidad de la Roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

Fuente: González de Vallejo, (2004)

❖ Clasificación de la Masa Rocosa Rock Mass Rating (RMR)

El RMR es una clasificación geomecánica de los macizos rocosos desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, permite la determinación de parámetros críticos como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso,

teniendo en cuenta una serie de factores geomecánicos específicos (Gonzales de vallejo, 2004).

- Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa.
- Índice de calidad de la roca RQD.
- Espaciado de discontinuidades.
- Estado de las discontinuidades, que incluye: Longitud de la discontinuidad. apertura, rugosidad, relleno, alteración.
- Flujo de agua freática.

Tabla 03. Clasificación RMR89 de Bieniawski

Parámetro			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta.	Resistencia a la compresión	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 Mpa	1 – 5 Mpa	< 1 Mpa
	Valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor		15	10	7	4	0		

Fuente: González de Vallejo, (2004)

Tabla 04. Calidad de Macizos Rocosos en Relación al Índice RMR89

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 0.4	> 45°
II	Buena	80 - 61	0.3 – 0.4	35° - 45°
III	Media	60 - 41	0.2 – 0.3	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	0.1 – 0.2	15° - 25°
V	Muy Mala	0 - 20	< 0.1	< 15°

Fuente: González de Vallejo, (2004)

❖ Índice Geológico de Resistencia GSI

El Sistema de Clasificación Geomecánica (GSI), desarrollado por Hoek Y Brown (1997), está basado en observaciones de campo considerando las condiciones geomecánicas de la matriz rocosa, la macroestructura y las condiciones de las discontinuidades.

El GSI se determina en función a las clasificaciones RMR de Bieniawski y Q de Barton. Es decir que para:

RMR89 > 23, se utiliza la clasificación RMR, tal que: $GSI = RMR89 - 5$

RMR89 < 23, se utiliza la valoración Q, por lo que: $GSI = 9 \cdot \ln Q + 44$

Tabla 05. Estimación del GSI en Base a Descripciones Geológicas del Macizo Rocosó

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.		MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).	BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.	REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.	MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes	MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES 				
	FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.	80	70			
	FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABAJADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.		60	50		
	FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.			40	30	
	DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.				20	10
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA 				

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Caliza: La caliza es una roca sedimentaria compuesta en su mayor parte por carbonato de calcio (CaCO_3), típicamente calcita, aunque en ocasiones presenta pequeñas cantidades de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. Asimismo, puede contener trazas de minerales como arcilla, hematita, siderita y cuarzo. Esta roca muestra una reacción efervescente al entrar en contacto con ácidos, como el ácido clorhídrico (Dávila, 2011).

Oxido de Calcio: Se trata de una sustancia química compuesta por calcio y oxígeno en forma iónica. Comúnmente, se le denomina "cal," un término que abarca diversos compuestos inorgánicos que incluyen carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio, así como otros metales como silicio, aluminio y hierro (Dávila, 2000).

Reservas de calizas: Los recursos minerales que se encuentran en yacimientos se consideran como reservas minerales (Morales, 2014)

Método de Explotación Minera: La elección del método de explotación depende del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales: Minería a cielo abierto o minería superficial, minería subterránea y minería por lavado y dragado. (Luque, 2017).

Cantera: Este se refiere a las operaciones dedicadas a la extracción de rocas utilizadas en la industria, en aplicaciones ornamentales y para la construcción (Trigueros, 2013).

Macizo Rocoso: Medio conformado por la matriz rocosa y discontinuidades, es discontinuo, heterogéneo y anisótropo (González de Vallejo, 2004).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Ubicación Política

El área de investigación abarca el Centro Poblado de Pampa de la Culebra, el cual forma parte del distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, como se visualiza en el anexo I (Imagen Satelital y Ubicación de la Investigación).

Departamento : Cajamarca
Provincia : Cajamarca
Distrito : La Encañada
Centro Poblado : Pampa de la Culebra

3.1.2. Ubicación Geográfica

Desde una perspectiva geográfica, la zona de estudio se localiza al norte del territorio peruano y en la dirección noreste de la ciudad de Cajamarca, la cual forma parte de la zona 17S. Las coordenadas UTM - WGS84 de los puntos de referencia se detallan en la tabla 06.

Tabla 06. Coordenadas UTM-WGS84 de los Vértices de la Zona de Investigación.

Vértice	Este	Norte
1	788951	9211094
2	788951	9209505
3	786405	9209505
4	786405	92110994

3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la zona se efectúa por vía terrestre, partiendo desde la Ciudad de Cajamarca y avanzando hasta el kilómetro 18.5 de la carretera asfaltada 8B, que conduce a la ciudad del Distrito de la Encañada. Estos detalles se presentan en la tabla 07.

Tabla 07. Ruta de Acceso y Tiempo a la Zona de Investigación.

Tramo	Tipo de Vía	Longitud	Tiempo (min)
Cajamarca – Pampa de la Culebra	Asfaltada	18.5 Km	32

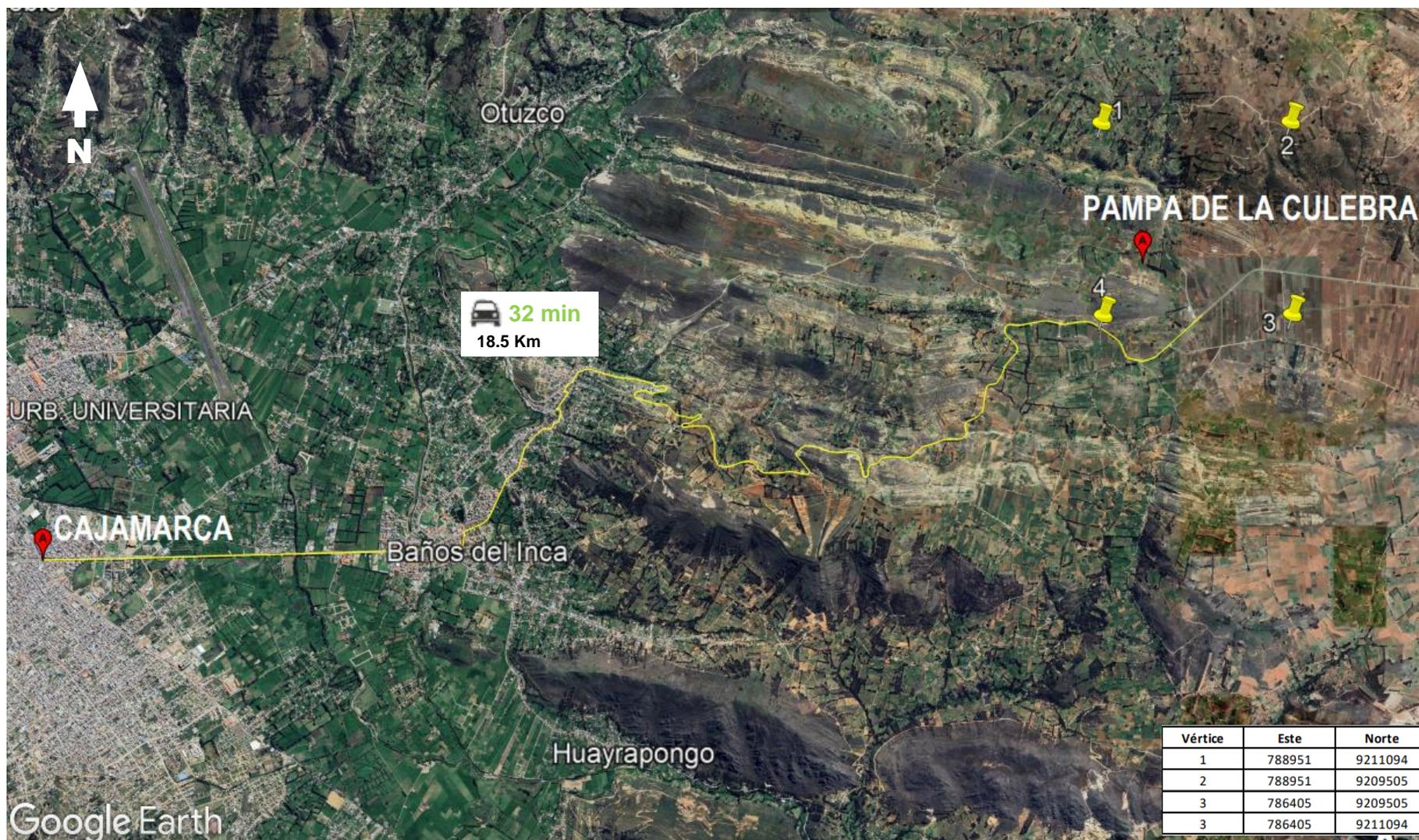


Figura 08. Accesibilidad Cajamarca – Pampa de la Culebra

Fuente: Google Earth Pro, (2022)

3.3. CLIMA

El clima en la Encañada se caracteriza por ser templado-frío, lo que se refleja en una temperatura promedio anual que se sitúa alrededor de los 15 °C. A lo largo del año, la temperatura máxima promedio alcanza los 20 °C, especialmente durante los meses más cálidos, mientras que la temperatura mínima promedio desciende a aproximadamente 10 °C en los meses más fríos. La humedad relativa promedio en Encañada es de aproximadamente el 75%, lo que contribuye a la sensación de fresca en la región. En lo que respecta a la precipitación, el promedio anual se ubica en aproximadamente 700 mm, lo que evidencia la presencia de condiciones climáticas variables. La temporada de lluvias se extiende desde noviembre hasta abril, siendo marzo el mes que registra la mayor cantidad de lluvia con un promedio de alrededor de 150 mm de precipitación (SENAMHI, 2023).

Estos datos climáticos presentados en la figura 9 son esenciales para comprender el entorno y las condiciones meteorológicas en el área de estudio. Concluyendo que las condiciones climáticas son muy variantes y afectan el proceso de extracción de la caliza y obtención de óxido de calcio.

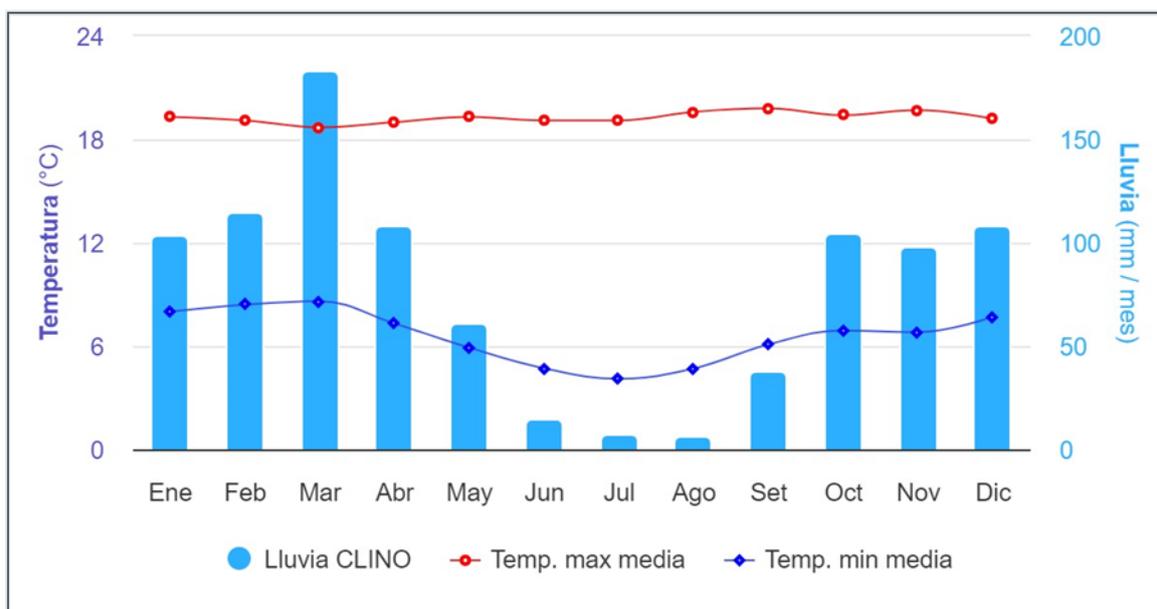


Figura 09. Normales Climatológicas Estándares y Medias Climáticas 1991 – 2022 de la Estación Meteorológica de la Encañada

Fuente: SENAMHI, (2023)

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo, Nivel, Diseño y Método de la Investigación

Tipo: El presente estudio es aplicada. En otras palabras, su objetivo principal consiste en proporcionar una descripción detallada de las reservas de calizas y simultáneamente explorar la viabilidad de su utilización en la obtención de óxido de calcio (CaO).

Nivel: La investigación tiene contexto explicativo, se busca brindar una evaluación minuciosa de las reservas de calizas en la zona de estudio y se orienta a determinar la factibilidad de aprovechar dichas reservas.

Diseño: El diseño de la investigación adoptado es no experimental. Esto significa que no se realizan ensayos o experimentos controlados, sino que se efectúa una observación detallada del entorno natural para recopilar información descriptiva.

Método: El método de investigación es deductivo – inductivo, se utiliza la recolección de datos con el propósito de evaluar las reservas de calizas y la revisión de datos químicos para comprender su composición química. Además, se aplicará el análisis de datos con el fin de contrastar la hipótesis.

3.4.2. Población de Estudio

La población de estudio se compone de los macizos calcáreos que pertenecen al Sistema Cretácico Superior de la localidad Pampa de la Culebra - Cajamarca.

3.4.3. Muestra

Rocas de caliza obtenidas de los afloramientos de la zona Pampa de la Culebra, Cajamarca. Se procederá a analizar un total de ocho muestras de caliza.

3.4.4. Unidad de Análisis

La unidad de análisis hace referencia a variables como: litología, estructuras geológicas, parámetros geomecánicos y análisis químico con el propósito de determinar si son apropiadas para la extracción de caliza y producción de óxido de calcio (CaO)%.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En este estudio, se emplean diversas técnicas y herramientas para recopilar datos y evaluar las características de las calizas en la zona de estudio. Estas técnicas incluyen la observación directa y el muestreo de campo, mientras que los instrumentos abarcan herramientas de muestreo, hojas de registro de observaciones. El propósito es determinar si las calizas cumplen con los estándares necesarios para la obtención de óxido de calcio (CaO).

3.5.1. Etapa de Gabinete

En esta etapa, se llevó a cabo una revisión bibliográfica que incluyó la exploración de libros, revistas y artículos científicos con el propósito de adquirir una comprensión más exhaustiva del estudio. También se realizaron análisis de imágenes satelitales y datos relevantes relacionados con el área de investigación, y se confeccionaron planos, tales como el satelital, topográfico y geológico.

3.5.2. Etapa de Campo

Durante esta etapa, se recolectaron muestras de caliza de la zona de estudio, y se realizaron análisis químicos, geológicos y geotécnicos. La información recopilada en el campo es de suma importancia para evaluar las propiedades de las calizas y determinar si son adecuadas para la obtención de óxido de calcio (CaO).

3.5.3. Etapa Final

En esta etapa final de la investigación, con toda la información obtenida en campo y etapas previas, se procedió a procesar y analizar la información utilizando software como ArcGIS, AutoCAD, Civil 3D, RocData y Excel.

3.5.4. Materiales e Instrumentos

Plano Satelital, Topográfico, Geológico. Importante en el cartografiado geológico.

Registro Geológico – Geotécnico de Rodríguez (2017). Análisis geológico – geotécnico de las estaciones.

Libreta de Campo. Toma de datos geológicos con sus características más representativas.

Picota de Geólogo. Usado en la extracción de muestras intactas de rocas.

Lupa de Geólogo 20x. Usado en la observación de la textura y mineralogía de las rocas.

Lápiz Rayador. Determinar dureza de las rocas.

Ácido Clorhídrico. Determinar la presencia de carbonato en las rocas.

Brújula Brunton. Medir orientación de estructuras geológicas o medir las pendientes de unidades geomorfológicas.

GPS Garmin. Tomar coordenadas UTM de los puntos de control o estaciones en campo con 3m de precisión.

Flexómetro. Sirvió para medir los estratos en los distintos afloramientos en campo

Cámara Fotográfica Digital 20 MP. Realizar fotografías de las estructuras en campo y recolectar evidencias del trabajo de campo.

Laptop ASUS. Usada en el desarrollo del procesamiento de datos en la etapa de gabinete y redacción final de la tesis.

3.6. GEOLOGÍA LOCAL

El área de investigación está compuesta por Formaciones de origen marino, específicamente las Formaciones Yumagual, Quilquiñán - Mujarrún y Cajamarca. Estas formaciones tienen su origen en el Sistema del Cretácico Superior. Además,

en la zona se identifican depósitos cuaternarios que se originaron en entornos lagunares y procesos de coluvio aluvial, tal como se ilustra en la Figura 10.



Figura 10. Afloramientos del Cretáceo Superior en el Área de Estudio. Coordenadas UTM: 787735.56 E, 9210498.34 N.

3.6.1. Grupo Pulluicana

Formación Yumagual (Ks - yu)

La Formación se compone principalmente de calizas de tonalidad gris-marrón, que muestran estructuras nodulares. Estas calizas se intercalan con capas de margas y limolitas, organizadas en estratos más gruesos en la base y reduciendo su espesor hacia la parte superior. Un atributo distintivo de esta formación es la presencia abundante de fragmentos de fósiles dispuestos de manera desordenada, lo que sugiere condiciones de alta energía durante el proceso de depósito. El espesor promedio de esta formación se estima en alrededor de 500 metros (Cruzado y Crisólogo, 2009).

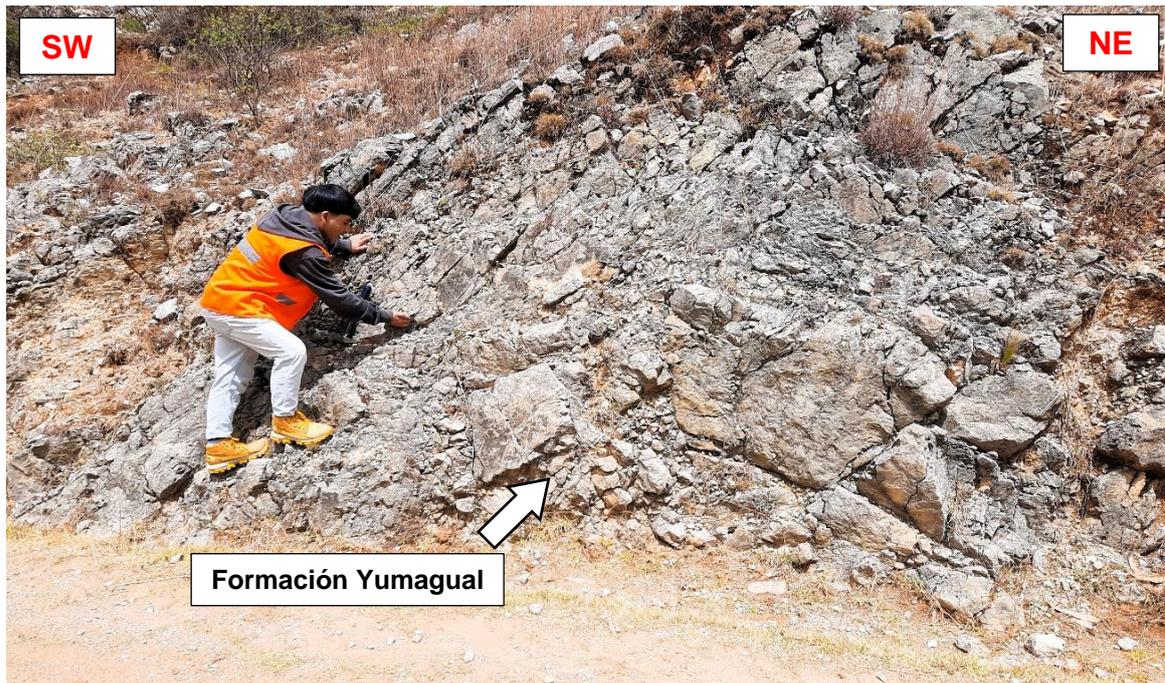


Figura 11. Afloramientos de Calizas Nodulares Grisáceas Pertenecientes al Grupo Pulluicana, Formación Yumagual. Coordenadas UTM: 788302.25 E, 921962.65 N.

3.6.2. Grupo Quilquiñán - Mujarrún

Formación Quilquiñán – Mujarrún (Ks – qm)

En la zona de estudio se observan secuencias de calizas nodulares densas, alternando con capas de margas y lutitas de color gris que contienen fósiles. Estas rocas se estratifican en capas gruesas que se intercalan con capas medianas. En el campo, se distingue por su coloración amarillo crema, similar a la Formación Chúlec. Su espesor promedio es de aproximadamente 300 metros (Cruzado y Crisólogo, 2009).



Figura 12. Afloramientos de Calizas Nodulares Grisáceas Pertenecientes a la Formación Quilquiñán - Mujarrún. Coordenadas UTM: 787449.36 E, 9211036.28 N.

3.6.3. Formación Cajamarca

Esta formación está compuesta por calizas sólidas de tonalidad gris oscuro, con estratos delgados de lutitas y margas de colores similares. Estas calizas exhiben una topografía kárstica distintiva, con presencia de lenares y cavidades kársticas originadas por la disolución de la roca caliza. En la región suroeste del área de estudio, se encuentra por debajo de depósitos lagunares. El espesor promedio de esta formación es de alrededor de 450 metros (Cruzado y Crisólogo, 2009).



Figura 13. Afloramientos de Calizas Grisáceas que Muestra una Topografía Kárstica en la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 788485.62 E, 9210436.02 N.

3.6.4. Depósito Lagunar

Se observan depósitos al SW de la zona de estudio sobre la Formación Cajamarca y al SE sobre el Grupo Quilquiñán – Mujarrún. Estos depósitos llenan una depresión que abarca el eje del sinclinal Otuzco y están compuestos por gruesas capas de arcillas, limos y arenas, con una tonalidad gris rojiza. Estos sedimentos poseen una alta fertilidad y los habitantes locales los utilizan para cultivar cebada, papa, maíz, alfalfa, entre otros.

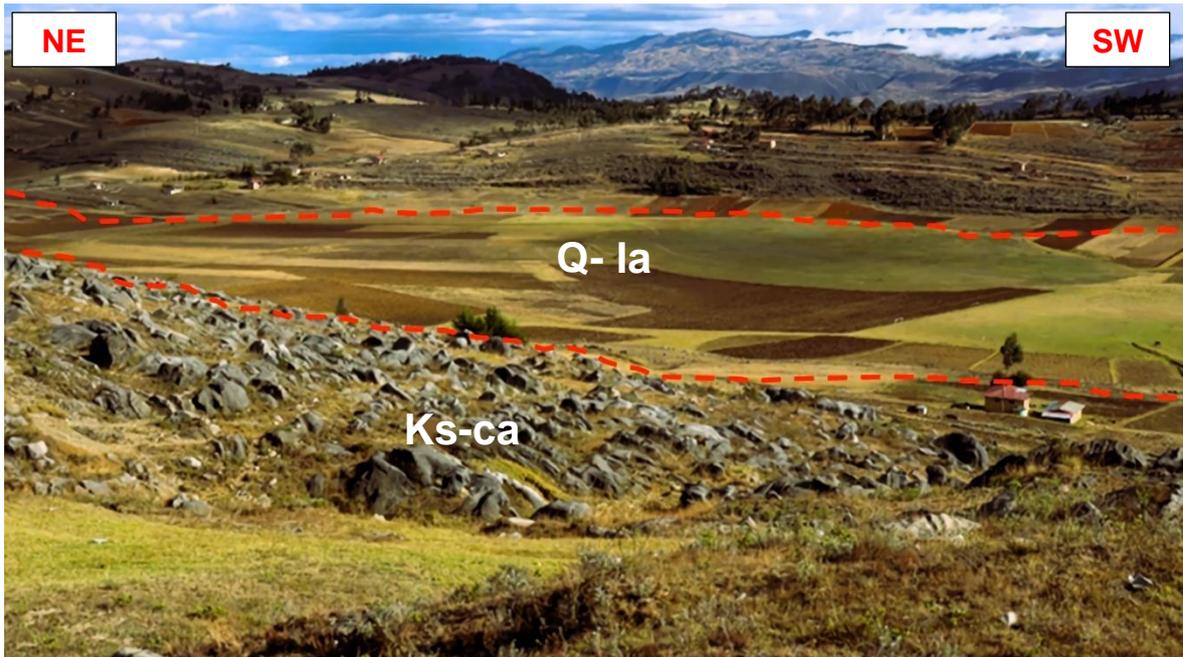


Figura 14. Depósito Lagunar en Discordancia con la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 788067.89 E, 9210330.63 N.

3.6.5. Depósitos Cuaternarios Coluvio – Aluvial (Qh-clal)

Estos depósitos se localizan en las áreas de menor altitud, en las laderas donde finalizan los procesos de erosión y en las áreas donde confluyen los cauces de pequeños arroyos con una capacidad limitada para transportar sedimentos. Estas áreas son de gran utilidad para los habitantes locales, ya que las aprovechan para cultivar diversos alimentos como cebada, trigo, papas y otros productos agrícolas.

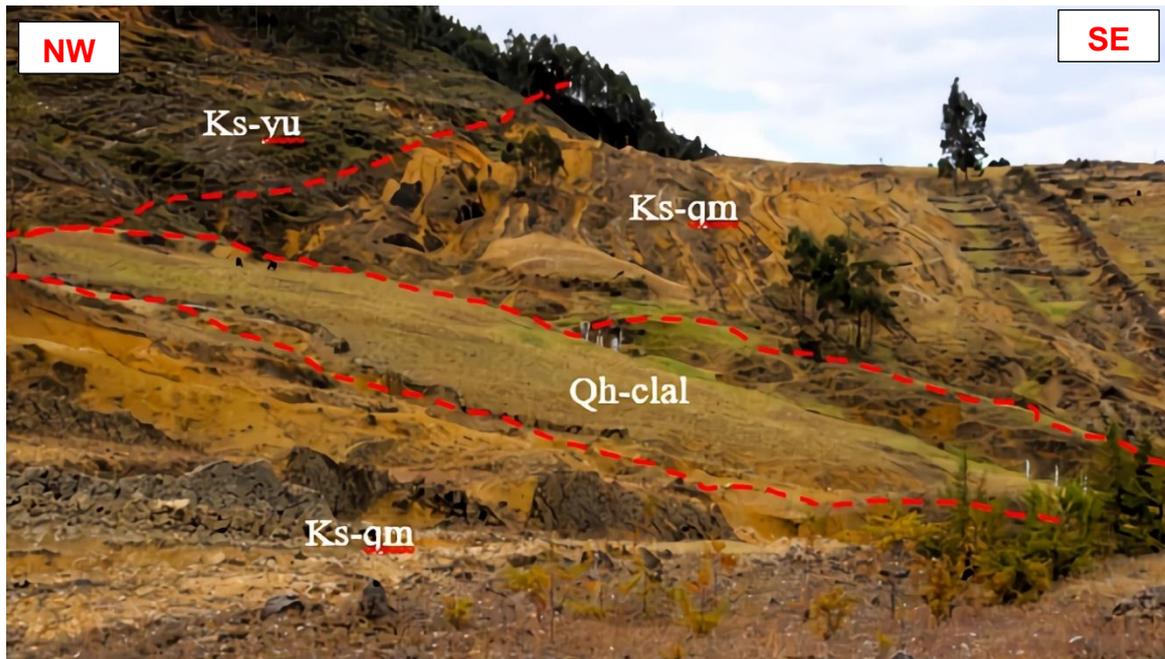


Figura 15. Depósitos Cuaternarios Sobre la Formación Quilquiñán – Mujarrún. Coordenadas UTM: 786758.15 E, 9210859.05 N.

3.7. GEOMORFOLOGÍA

3.7.1. Unidades por Proceso Denudativo

Laderas de Denudación

El área de estudio presenta pendientes con oscilaciones entre 20° - 40°, como resultado de la influencia de procesos exógenos. Se localizan al SW del área de estudio, en el Centro Poblado de Pampa de la Culebra, en el margen izquierdo de la carretera que conduce de la ciudad de Cajamarca a la ciudad de La Encañada (coordenadas UTM: 787838.12 E, 9209934.93 N). Esta característica topográfica es relevante dentro del contexto geográfico de la investigación debido a su influencia en el flujo de agua y la distribución de la vegetación circundante.



Figura 16. Vista de una Ladera de Denudación con Ángulo de Inclinación de 22° Aproximadamente.
Coordenadas UTM: 787838.12 E, 9209934.93 N.

Cárcavas

El área de estudio presenta procesos erosivos causados por la erosión hídrica. Se localizan dentro de la Formación Quilquiñán – Mujarrún, situada al NE del área de estudio en el Centro Poblado Pampa de la Culebra, aproximadamente a unos 200 metros al norte de la escuela El Capulí (coordenadas UTM: 788591.07 E, 9210609.09 N). Esta característica geomorfológica es significativa dentro del contexto de la investigación debido a su influencia en los procesos de erosión y sedimentación. Las dimensiones de estas incisiones son diversas, abarcando profundidades que oscilan entre menos de 1 metro y 8 metros, en relación con el ancho de la cárcava, que varía desde más de 1 metro hasta 15 metros.

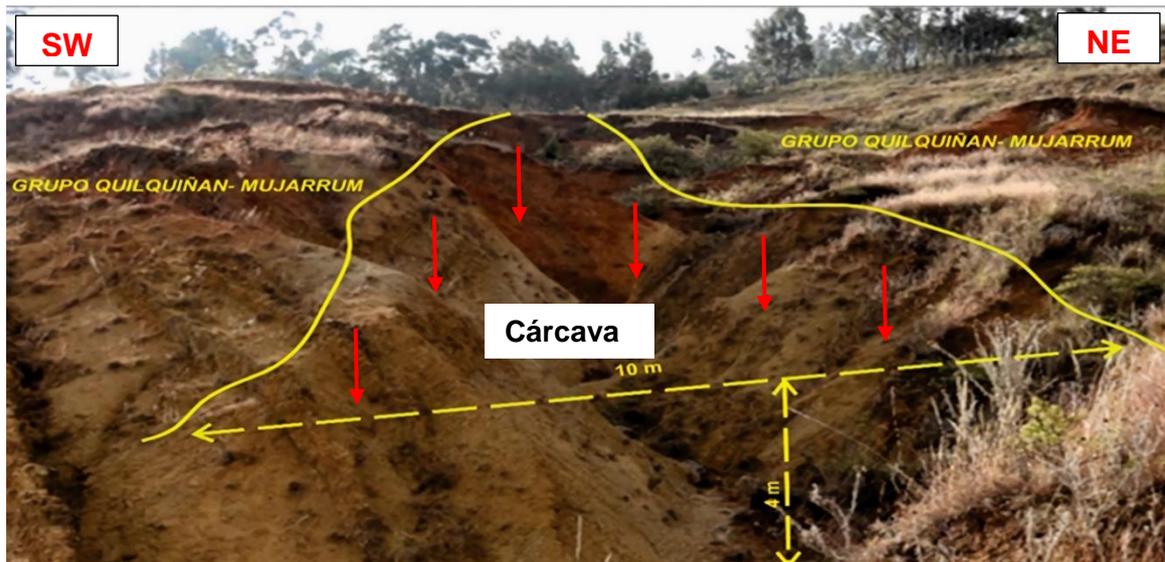


Figura 17. Cárcava en los Depósitos Coluvio – Aluviales con Dimensiones de 4 m de Profundidad y 10 m de Ancho. Coordenadas UTM: 788591.07 E, 9210609.09 N.

Cima Redondeada

La unidad geomorfológica descrita se distingue por su forma ovalada o ligeramente redondeada. Está ubicada al noreste del área de estudio, en el Centro Poblado de Pampa de la Culebra (Coordenadas UTM: 788591.07 E, 9210609.09 N), conocido como Cerro Mojarrón, específicamente al noroeste de la escuela El Capulí. Esta característica topográfica es relevante debido a su influencia en la morfología del terreno y su posible relación con procesos geológicos.



Figura 18. Cima Redondeada Desarrollada en la Formación Yumagual. Coordenadas UTM: 787779.17 E, 9210549.02 N.

3.7.2. Unidades Formadas por Proceso Kárstico

Carren o Lenar

Suelen manifestarse como un grupo de surcos estrechos y acanaladuras, a menudo separados por crestas puntiagudas. Estas formaciones son típicas de áreas libres de vegetación y son el resultado de la disolución de rocas calizas carbonatadas.

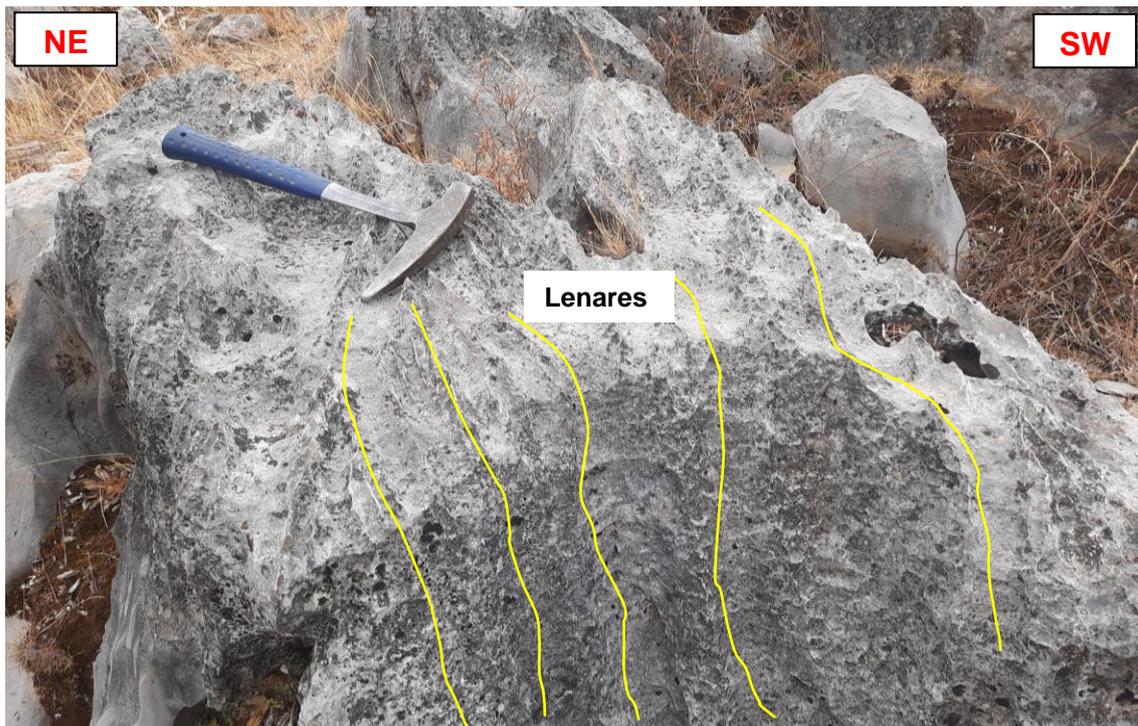


Figura 19. Lenares en Rocas Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787768.06 E, 921576.25 N.

3.8. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Para el análisis geomecánico, se consideraron 3 estaciones geomecánicas, evaluando: RQD, RMR89 y GSI con sus parámetros resistencia de la matriz rocosa, separación de diaclasas, condiciones de discontinuidades y presencia de agua procedente principalmente de las precipitaciones en la zona.

3.8.1. Estación Geomecánica 1

La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al cretáceo superior (Formación Cajamarca), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 90 MPa. La resistencia a la compresión uniaxial de la roca se determinó usando la tabla 08.

Tabla 08. Estimación de la RCU en Campo

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

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

El Índice de Calidad de la Roca RQD, se ha calculado según:

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

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{numero de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}}$$

$$\lambda = \frac{23}{2.5} = 9.2$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(9.2)} * (0.1(9.2) + 1)$$

$$RQD = 76.52$$

Tabla 09. Índice De Calidad De La Roca - Estación Geomecánica 1

RQD	Calidad de la Roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El índice RQD alcanza un valor de 76.52, lo que indica que la calidad de la Roca es Buena.

El macizo rocoso está caracterizado por la presencia de tres familias de discontinuidades, con espaciados que varían entre 0.6 y 2 metros y una persistencia de 1 a 3 metros. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas y se encuentra en un estado de ligera alteración.

De acuerdo con la Tabla 10, el índice RMR de la estación geomecánica 1 alcanza un valor de 68, clasificándola como "Clase II" y categorizándola como una roca de calidad "Buena" como se detalla en la Tabla 11.

Tabla 10. RMR₈₉ – Estación Geomecánica 1

Parámetro			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta.	Resistencia a la compresión	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 Mpa	1 – 5 Mpa	< 1 Mpa
	Valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor		15	10	7	4	0		
RMR									68

Fuente: González de Vallejo, (2004)

Tabla 11. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 1

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 0.4	> 45°
II	Buena	80 - 61	0.3 – 0.4	35° - 45°
III	Media	60 - 41	0.2 – 0.3	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	0.1 – 0.2	15° - 25°
V	Muy Mala	0 - 20	< 0.1	< 15°

El Índice Geológico de Resistencia se determinó en función a la clasificación RMR de Bieniawski: $RMR89 > 23$, $GSI = RMR89 - 5$

$$GSI = 68 - 5 = 63$$

De acuerdo con el análisis de datos de la estación geomecánica 1, se tiene: $RQD=76.52$ (Roca Buena), $RMR=68$ (Roca Buena) y $GSI=63$ (Roca Buena).

Análisis en RocData

En la Figura 20, se presenta el análisis efectuado en el software RocData para la Estación Geomecánica 1, en el cual se llevaron a cabo determinaciones de parámetros relacionados al comportamiento del macizo rocoso. Específicamente, se evaluaron la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso en respuesta a esfuerzos mayores en comparación con esfuerzos menores, así como ante esfuerzo normal y esfuerzo de corte. Los valores resultantes para los parámetros geomecánicos son de 1.79 MPa para la cohesión y de 53.08° para el ángulo de fricción. Es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

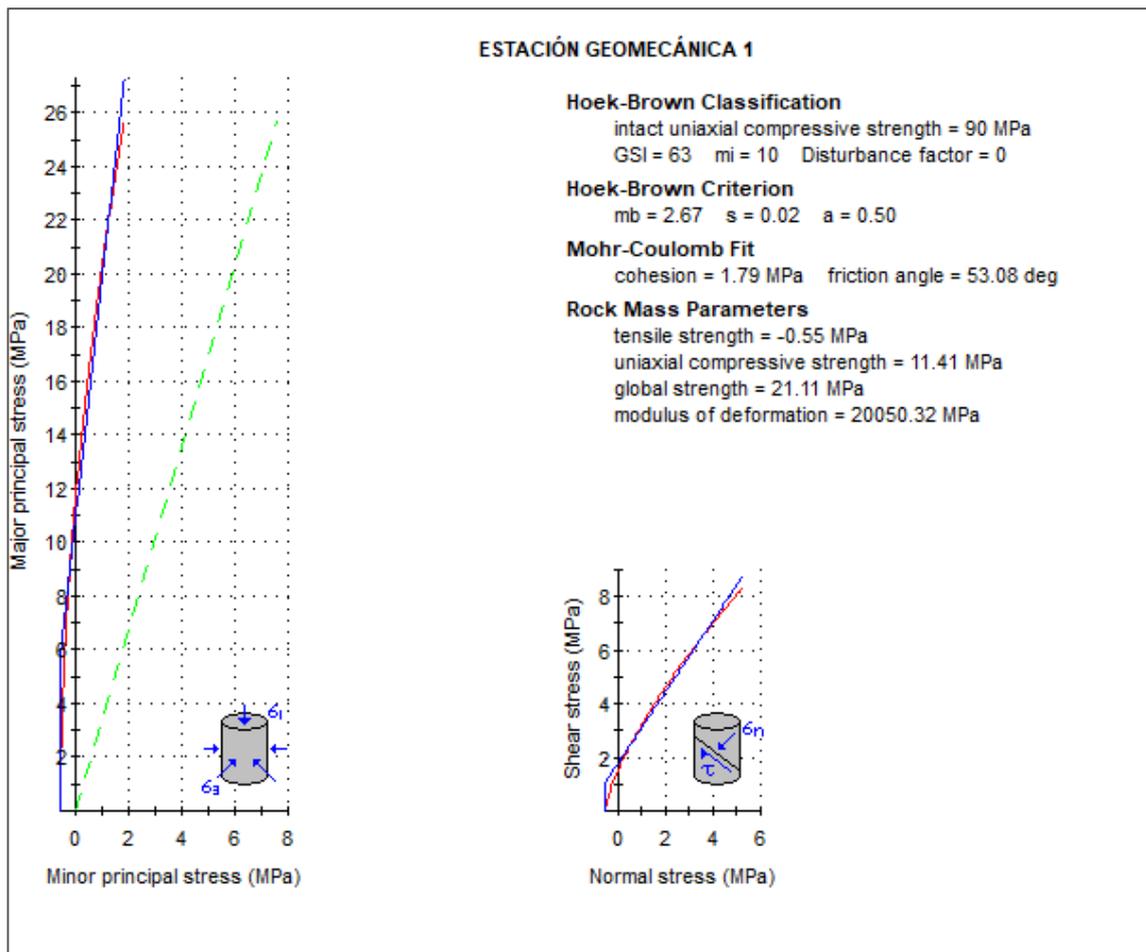


Figura 20. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG1.

3.8.2. Estación Geomecánica 2

La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al cretáceo superior (Formación Cajamarca), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 80 MPa. La resistencia a la compresión uniaxial de la roca se determinó usando la tabla 12.

Tabla 12. Estimación de la RCU en Campo

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

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

El Índice de Calidad de la Roca RQD, se ha calculado según:

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

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{numero de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}}$$

$$\lambda = \frac{27}{2.7} = 10$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(10)} * (0.1(10) + 1)$$

$$RQD = 73.57$$

Tabla 13. Índice de Calidad de la Roca – Estación Geomecánica 2

RQD	Calidad de la Roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El índice RQD alcanza un valor de 73.57, lo que indica que la calidad de la Roca es Media.

El macizo rocoso está caracterizado por la presencia de tres familias de discontinuidades, con espaciados que varían entre 0.6 y 2 metros y una persistencia de 1 a 3 metros. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas y se encuentra en un estado de ligera alteración.

De acuerdo con la Tabla 14, el índice RMR de la estación geomecánica 1 alcanza un valor de 68, clasificándola como "Clase II" y categorizándola como una roca de calidad "Buena como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 14. RMR₈₉ – Estación Geomecánica 2

Parámetro			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta.	Resistencia a la compresión	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 Mpa	1 – 5 Mpa	< 1 Mpa
	Valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor		15	10	7	4	0		
RMR									68

Fuente: González de Vallejo, (2004)

Tabla 15. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 2

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 0.4	> 45°
II	Buena	80 - 61	0.3 – 0.4	35° - 45°
III	Media	60 - 41	0.2 – 0.3	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	0.1 – 0.2	15° - 25°
V	Muy Mala	0 - 20	< 0.1	< 15°

El Índice Geológico de Resistencia se determinó en función a la clasificación RMR de Bieniawski: $RMR_{89} > 23$, $GSI = RMR_{89} - 5$

$$GSI = 68 - 5 = 63$$

De acuerdo con el análisis de datos de la estación geomecánica 1, se tiene: $RQD=73.57$ (Roca Media), $RMR=68$ (Roca Buena) y $GSI=63$ (Roca Buena).

Análisis en RocData

En la Figura 21, se presenta el análisis efectuado en el software RocData para la Estación Geomecánica 2, en el cual se llevaron a cabo determinaciones de parámetros relacionados al comportamiento del macizo rocoso. Específicamente, se evaluaron la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso en respuesta a esfuerzos mayores en comparación con esfuerzos menores, así como ante esfuerzo normal y esfuerzo de corte. Los valores resultantes para los parámetros geomecánicos son de 1.54 MPa para la cohesión y de 53.96° para el ángulo de fricción. Es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

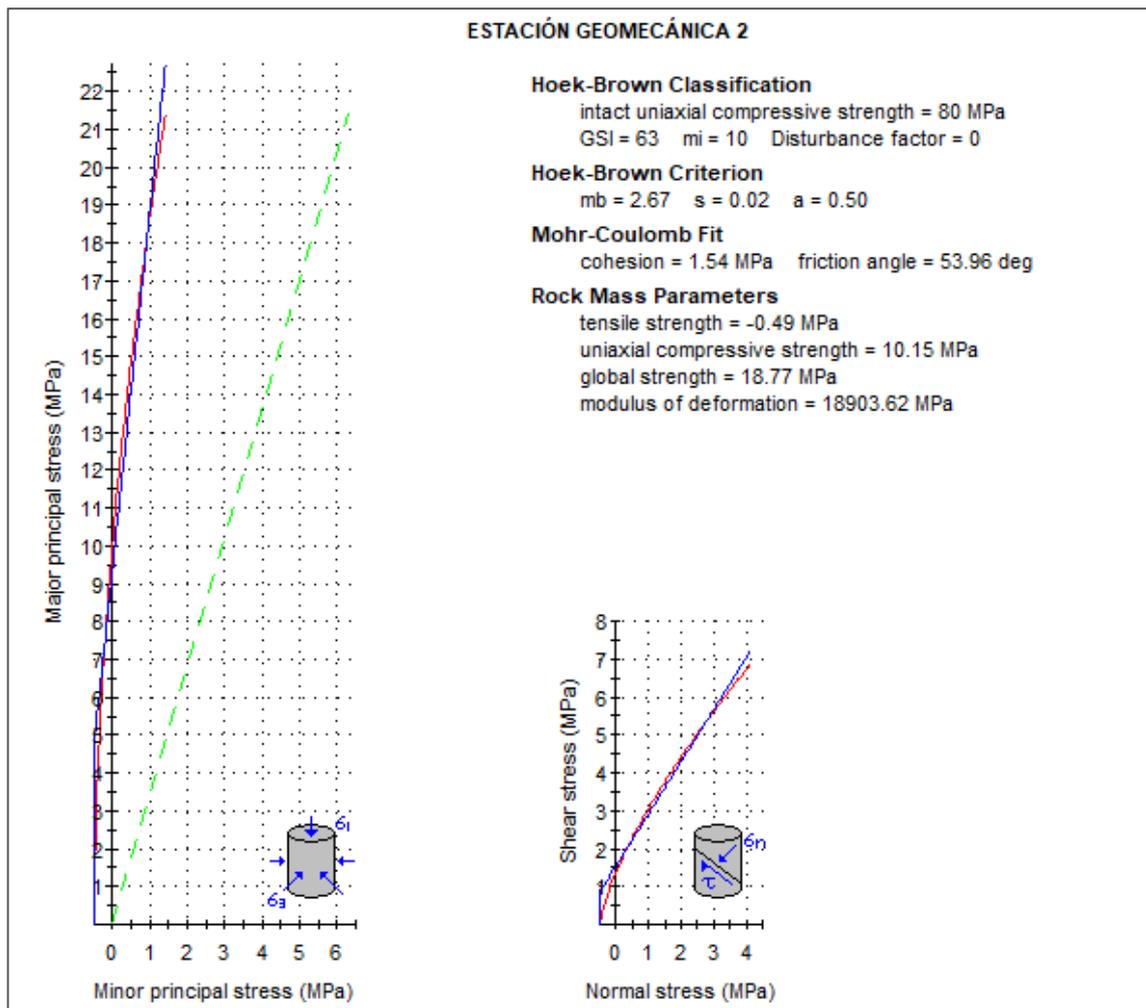


Figura 21. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG2.

3.8.3. Estación Geomecánica 3

La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al cretáceo superior (Formación Cajamarca), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 95 MPa. La resistencia a la compresión uniaxial de la roca se determinó usando la tabla 16.

Tabla 16. Estimación de la RCU en Campo

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

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

El Índice de Calidad de la Roca RQD, se ha calculado según:

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

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{numero de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}}$$

$$\lambda = \frac{16}{1.8} = 8.8$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(8.8)} * (0.1(8.8) + 1)$$

$$RQD = 77.65$$

Tabla 17. Índice de Calidad de la Roca – Estación Geomecánica 3

RQD	Calidad de la Roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El índice RQD alcanza un valor de 77.65, lo que indica que la calidad de la Roca es Buena.

El macizo rocoso está caracterizado por la presencia de tres familias de discontinuidades, con espaciados que varían entre 0.6 y 2 metros y una persistencia de 1 a 3 metros. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas y se encuentra en un estado de ligera alteración.

De acuerdo con la Tabla 18, el índice RMR de la estación geomecánica 1 alcanza un valor de 67, clasificándola como "Clase II" y categorizándola como una roca de calidad "Buena como se detalla en la Tabla 19.

Tabla 18. RMR₈₉ – Estación Geomecánica 3

Parámetro			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta.	Resistencia a la compresión	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 Mpa	1 – 5 Mpa	< 1 Mpa
	Valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor		15	10	7	4	0		
RMR									70

Fuente: González de Vallejo, (2004)

Tabla 19. Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 3

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 0.4	> 45°
II	Buena	80 - 61	0.3 – 0.4	35° - 45°
III	Media	60 - 41	0.2 – 0.3	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	0.1 – 0.2	15° - 25°
V	Muy Mala	0 - 20	< 0.1	< 15°

El Índice Geológico de Resistencia se determinó en función a la clasificación RMR de Bieniawski: $RMR_{89} > 23$, $GSI = RMR_{89} - 5$

$$GSI = 70 - 5 = 65$$

De acuerdo con el análisis de datos de la estación geomecánica 1, se tiene: $RQD=77.65$ (Roca Buena), $RMR=70$ (Roca Buena) y $GSI=70$ (Roca Buena).

Análisis en RocData

En la Figura 22, se presenta el análisis efectuado en el software RocData para la Estación Geomecánica 3, en el cual se llevaron a cabo determinaciones de parámetros relacionados al comportamiento del macizo rocoso. Específicamente, se evaluaron la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso en respuesta a esfuerzos mayores en comparación con esfuerzos menores, así como ante esfuerzo normal y esfuerzo de corte. Los valores resultantes para los parámetros geomecánicos son de 1.92 MPa para la cohesión y de 55.79° para el ángulo de fricción. Es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

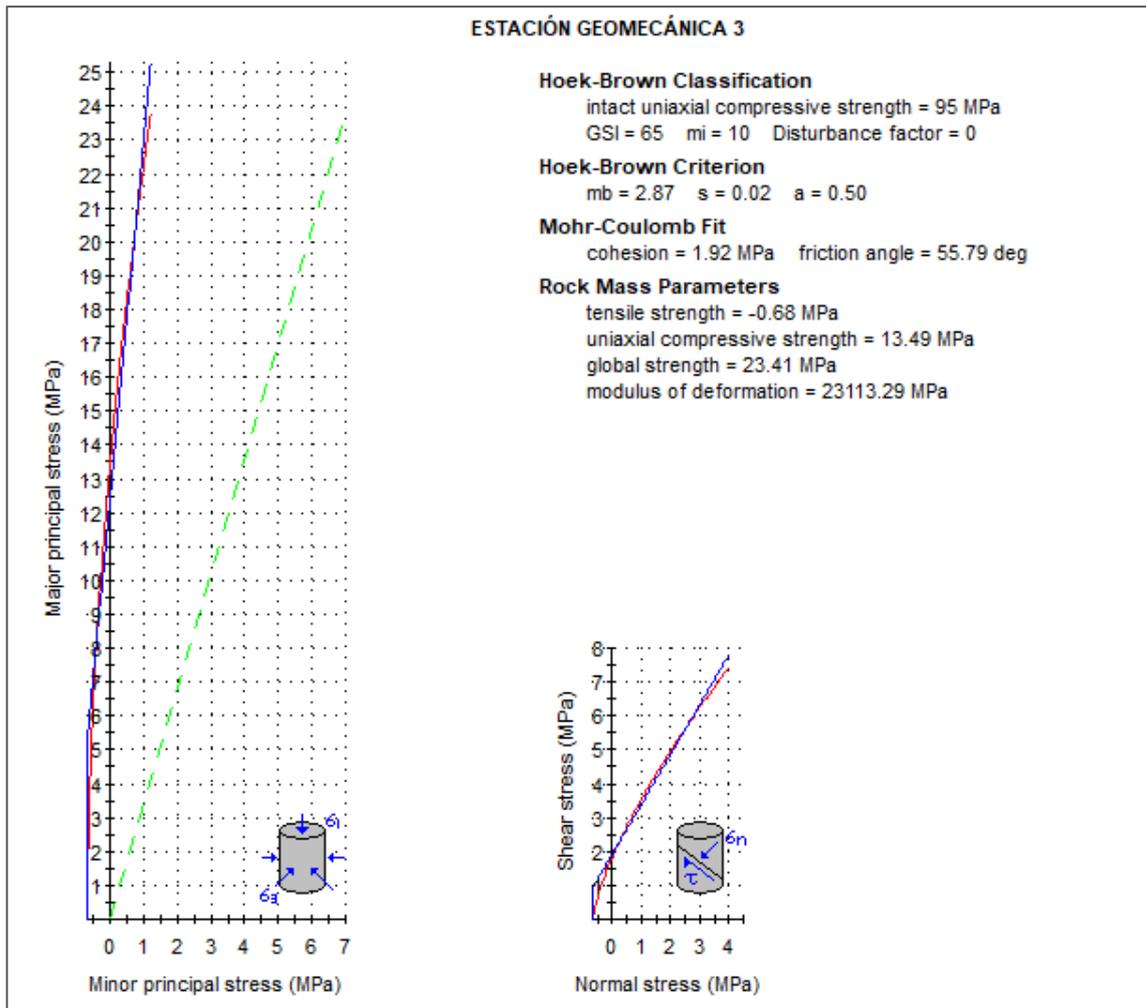


Figura 22. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (Derecha), EG3.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Recolección de Muestras

En la zona de investigación, se encuentran afloramientos de rocas calcáreas del Cretácico Superior que se formaron en ambientes marinos con diversas condiciones ambientales y profundidades. Como parte de la investigación, se recolectaron ocho muestras que representan las distintas unidades geológicas del Cretácico Superior. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio con el propósito de analizar y determinar el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) en ellas.

Tabla 20. Ubicación de las Muestras

Muestra	Coordenadas UTM		Formación Geológica
	E	N	
CALU-01	788613.91	9210470.98	Cajamarca
CALU-02	788058.22	9210577.99	Cajamarca
CALU-03	787677.37	9210632.41	Cajamarca
CALU-04	787435.69	9210605.81	Cajamarca
CALU-05	787258.24	9209992.92	Cajamarca
YU-01	788800.77	9211061.88	Yumagual
QM-01	788310.63	9210964.72	Quilquiñán - Mujarrún
CE-01	785766.43	9210353.57	Celendín

4.1.2. Análisis Químico de Muestras

El análisis químico de las ocho muestras se encomendó a INGEOCONSULT & LAB SRL con el propósito de cuantificar el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3)

y diferenciar aquellas muestras que no cumplen con el porcentaje necesario, que se encuentra por encima del 83%.

A continuación, se muestra la tabla comparativa que presenta los porcentajes de carbonato de calcio de las diversas formaciones geológicas determinados por el Laboratorio INGEOCONSULT LAB.

Tabla 21. Porcentajes de Carbonato de Calcio de las Muestras

Muestra	Formación Geológica	Porcentaje de CaCO ₃ (%)
CALU-01	Cajamarca	95.12
CALU-02	Cajamarca	94.32
CALU-03	Cajamarca	94.32
CALU-04	Cajamarca	94.88
CALU-05	Cajamarca	95.32
YU-01	Yumagual	70.55
QM-01	Quilquiñán - Mujarrún	72.88
CE-01	Celendín	69.33

Fuente: INGEOCONSULT & LAB SRL, (2023)

Calculamos el promedio de CaCO₃ en cada Formación Geológica:

Formación Cajamarca : 94.79%
 Formación Yumagual : 70.55%
 Formación Quilquiñán - Mujarrún: 72.88%
 Formación Celendín : 69.33%

Los resultados indicaron que las calizas de la Formación Cajamarca tienen aproximadamente un 95% de contenido de CaCO₃, lo que las hace adecuadas para su extracción, mientras que las calizas de la Formación Yumagual, Grupo Quilquiñán- Mujarrún y Formación Celendín, con alrededor del 70% de CaCO₃, se descartaron para la explotación.

La Formación Yumagual, en conjunto con el Grupo Quilquiñán - Mujarrún y la Formación Celendín, se formaron en un entorno marino poco profundo. Como resultado de estas condiciones, estas formaciones contienen una proporción significativa de material arcilloso, lo que resulta en una disminución en la concentración de carbonato de calcio. Por otro lado, la Formación Cajamarca se depositó en un ambiente marino más profundo y, por lo tanto, presenta un alto porcentaje de carbonato de calcio.

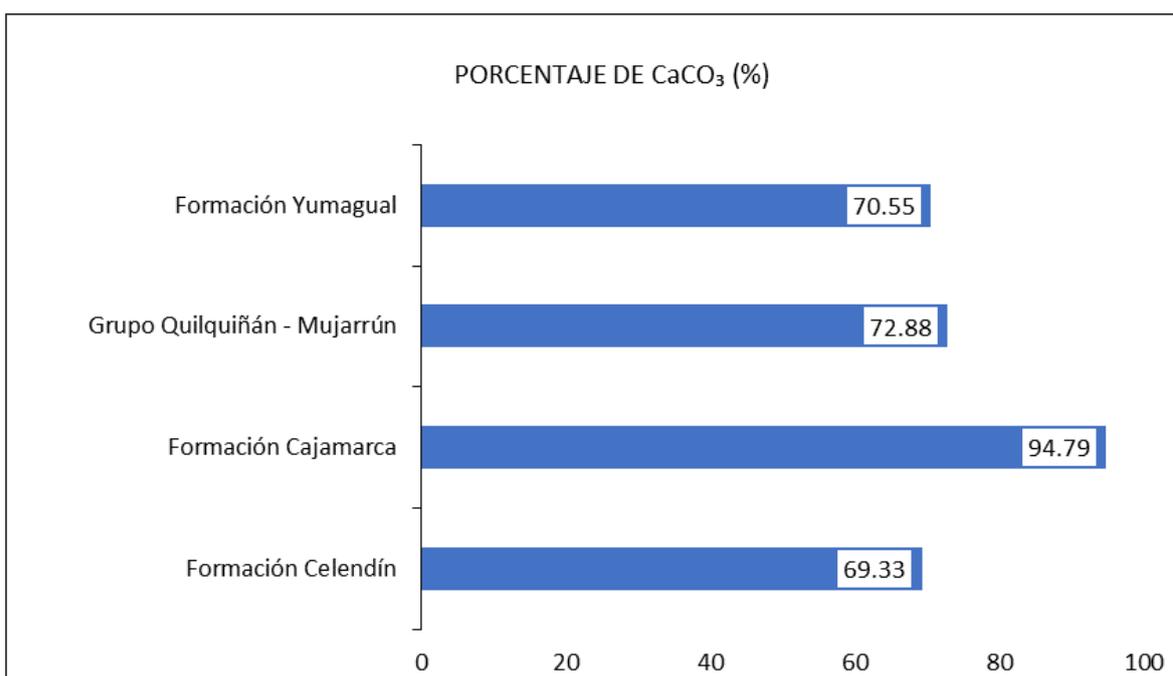


Figura 23. Comportamiento del Porcentaje de Carbonato de Calcio de las Unidades del Cretácico Superior

Fuente: INGEOCONSULT & LAB SRL, (2023)

Este análisis indica que las calizas óptimas para ser explotadas para la obtención de óxido de calcio, son las calizas de la Formación Cajamarca.

4.1.3. Determinación de Óxido de Calcio (CaO)

En el análisis químico de las cinco muestras de calizas procedentes de la Formación Cajamarca, los porcentajes promedio se sitúan alrededor del 84.6%, valores que se consideran favorables para su proceso de extracción, como se detalla en la tabla 22.

Tabla 22. Porcentajes de Carbonato de Calcio de las Muestras

Muestra de Roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por Ignición (PI) %	Cenizas %	Total %
CALU-01	84.58	0.33	0.26	0.45	0.12	12.15	2.11	100
CALU-02	84.87	0.22	0.22	0.42	0.11	12.03	2.13	100
CALU-03	84.52	0.19	0.22	0.33	0.09	12.13	2.52	100
CALU-04	84.37	0.37	0.23	0.36	0.12	11.89	2.66	100
CALU-05	84.76	0.21	0.21	0.41	0.11	12.09	2.21	100
Promedio	84.62	0.264	0.228	0.394	0.11	12.058	2.326	100

Fuente: INGEOCONSULT & LAB SRL (2023)

4.2. CÁLCULO DE RESERVAS

Para calcular las reservas de las calizas del Cretácico Superior en Pampa de la Culebra, se empleó la topografía generada mediante el software ArcGIS.

El cálculo de las reservas se basó en el método de secciones transversales, considerando la inclinación del terreno. Se identificaron tres áreas de cantera dentro de la Formación Cajamarca.

4.2.1. Cantera N°1

En el marco de este estudio, se empleó el software ArcGIS para delimitar la cantera y crear las secciones transversales que serán analizadas. El yacimiento se dividió en siete secciones transversales que se extienden en la dirección SW - NE, con intervalos de 50 metros, y un nivel de base a 3135 metros, como se muestra en el anexo IV (Secciones – Estimación de Reservas Cantera N°1).



Figura 24. Cantera N.º 1 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca Coordenadas UTM: 787712.95 E, 9210609.95 N.

❖ Cálculo de Áreas de las Secciones

El cálculo de las áreas de las secciones transversales se llevó a cabo dividiendo cada perfil transversal en segmentos.

Sección Transversal (A – A'):

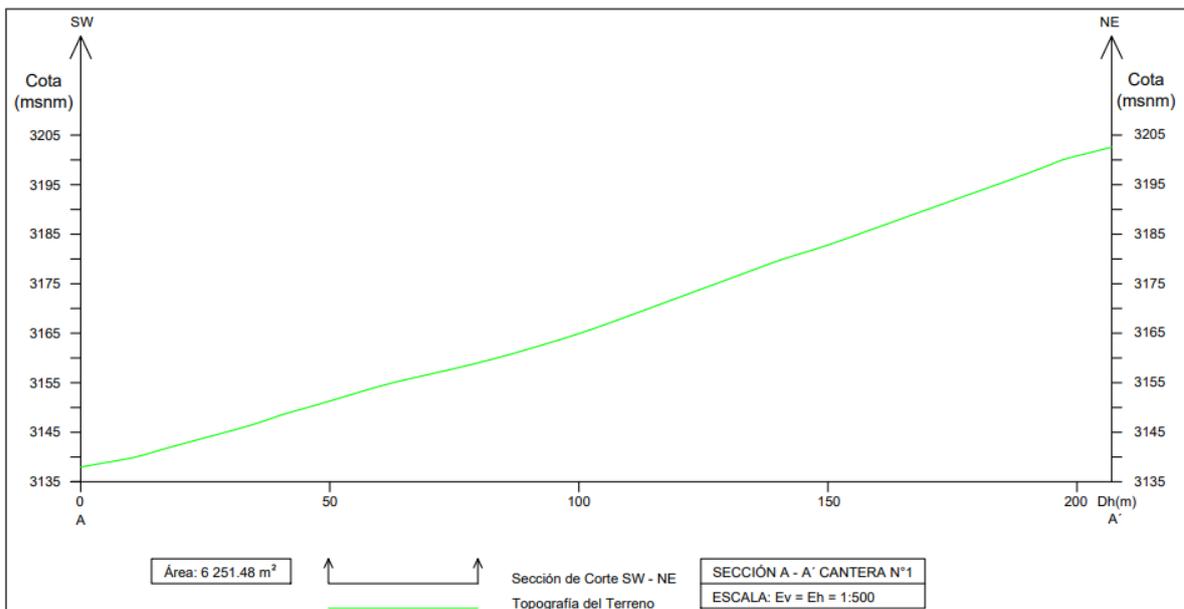


Figura 25. Sección transversal (A - A') de la Cantera N.º 1

Tabla 23. Área de la sección transversal (A - A') de la Cantera N.º 1

Sección	Distancia Horizontal (m)	Área (m ²)
A - A'	50.00	6,251.48

Empleamos el software AutoCAD y Excel para llevar a cabo los cálculos, y los resultados se detallan en los anexos. Es importante destacar que hemos seguido el mismo procedimiento para todos los perfiles.

A continuación, se muestra la tabla 24 que proporciona información detallada sobre las áreas de las secciones transversales y el área total de la cantera N.º 1.

Tabla 24. Área total de la Cantera N.º 1

Sección Transversal	Área (m ²)
A (A - A')	6,251.48
A (B - B')	13,172.66
A (C - C')	15,366.24
A (D - D')	13,978.53
A (E - E')	11,870.55
A (F - F')	7,142.02
A (G - G')	2,529.24
Total	70,310.72

❖ Cálculo de Volúmenes

Después de realizar los cálculos de las áreas, se procedió a determinar el volumen total de la cantera N.º 1 utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

$$V = \frac{A_{(A-A')} + A_{(B-B')}}{2} * D$$

Donde:

V = volumen

$A_{(A-A')}$ y $A_{(B-B')}$ = Área de perfiles

D = Distancia entre perfiles

A continuación, se muestra la Tabla 25 que proporciona información detallada sobre el volumen total de la Cantera N.º 1.

Tabla 25. Volumen Total de la Cantera N.º 1

Secciones	Distancia (m)	Volumen (m3)
A - A' y B - B'	50	485,603.50
B - B' y C - C'	50	713,472.50
C - C' y D - D'	50	733,619.25
D - D' y E - E'	50	646,227.00
E - E' y F - F'	50	475,314.25
F - F' y G - G'	50	241,781.50
Total		3,296,018.00

El volumen total obtenido es de 3,296,018.00 metros cúbicos, para esta investigación se consideró un grado de certeza del 90% en la estimación de reservas de caliza (10% de inexactitud en la generación de la topografía y secciones).

$$V = 3,296,018.00 \text{ m}^3 * 0.9 = 2,966,416.20 \text{ m}^3$$

❖ Cálculo del Tonelaje

El tonelaje se ha calculado aplicando la siguiente fórmula:

$$T = V * \rho$$

Donde:

T = Tonelaje en toneladas métricas

V = Volumen total en metros cúbicos

ρ = Densidad de la caliza = 2.7 Ton/m³

$$T = 2,966,416.20 \text{ m}^3 * 2.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} = 8,099,323.74 \text{ Ton}$$

4.2.2. Cantera N°2

En el marco de este estudio, se empleó el software ArcGIS para delimitar la cantera y crear las secciones transversales que serán analizadas. El yacimiento se dividió en 12 secciones transversales que se extienden en la dirección SW - NE, con intervalos de 50 metros, y un nivel de base a 3134 metros, como se muestra en el anexo IV (Secciones – Estimación de Reservas Cantera N°2).



Figura 26. Cantera N.º 2 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787911.29 E, 9210578.66 N.

❖ Cálculo de Áreas de las Secciones

El cálculo de las áreas de las secciones transversales se llevó a cabo dividiendo cada perfil transversal en segmentos.

Sección Transversal (A – A'):

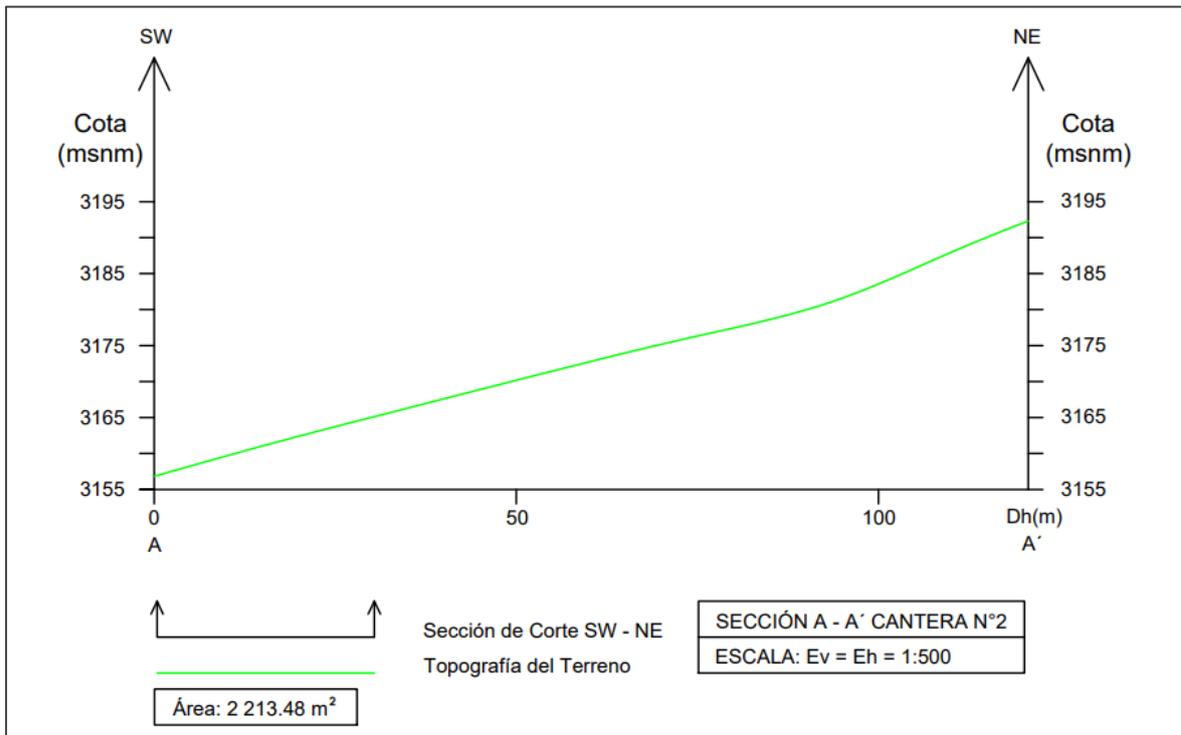


Figura 27. Sección Transversal (A - A) de la Cantera N.º 2

Tabla 26. Área de la Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 2

Sección	Distancia Horizontal (m)	Área (m ²)
A – A'	50.00	2,213.48

Empleamos el software AutoCAD y Excel para llevar a cabo los cálculos, y los resultados se detallan en los anexos. Es importante destacar que hemos seguido el mismo procedimiento para todos los perfiles.

A continuación, se muestra la tabla 27 que proporciona información detallada sobre las áreas de las secciones transversales y el área total de la cantera N.º 2.

Tabla 27. Área Total de la Cantera N.º 2

Sección Transversal	Área (m ²)
A (A - A')	2,213.48
A (B - B')	5,511.96
A (C - C')	7,177.88
A (D - D')	6,587.70
A (E - E')	4,964.15
A (F - F')	5,640.03
A (G - G')	5,884.11
A (H - H')	5,103.12
A (I - I')	5,248.94
A (J - J')	4,076.82
A (K - K')	3,914.58
A (L - L')	2,754.49
Total	59,077.26

❖ Cálculo de Volúmenes

Después de realizar los cálculos de las áreas, se procedió a determinar el volumen total de la cantera N.º 2 utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

$$V = \frac{A_{(A-A')} + A_{(B-B')}}{2} * D$$

Donde:

V = Volumen

$A_{(A-A')}$ y $A_{(B-B')}$ = Área de perfiles

D = Distancia entre perfiles

A continuación, se muestra la Tabla 28 que proporciona información detallada sobre el volumen total de la Cantera N.º 2.

Tabla 28. Volumen Total de la Cantera N.º 2

Secciones	Distancia (m)	Volumen (m3)
A - A' y B - B'	50	193,136.00
B - B' y C - C'	50	317,246.00
C - C' y D - D'	50	344,139.50
D - D' y E - E'	50	288,796.25
E - E' y F - F'	50	265,104.50
F - F' y G - G'	50	288,103.50
G - G' y H - H'	50	274,682.75
H - H' y I - I'	50	258,801.50
I - I' y J - J'	50	233,144.00
J - J' y K - K'	50	199,785.00
K - K' y L - L'	50	166,726.75
Total		2,829,663.75

El volumen total obtenido es de 2,829,663.75 metros cúbicos, para esta investigación se consideró un grado de certeza del 90% en la estimación de reservas de caliza (10% de inexactitud en la generación de la topografía y secciones).

$$V = 2,829,663.75 \text{ m}^3 * 0.9 = 2,546,697.38 \text{ m}^3$$

❖ Cálculo del Tonelaje

El tonelaje se ha calculado aplicando la siguiente formula:

$$T = V * \rho$$

Donde:

T = Tonelaje en toneladas métricas

V = Volumen total en metros cúbicos

ρ = densidad de la caliza = 2.7 Ton/m³

$$T = 2,546,697.38 \text{ m}^3 * 2.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} = 6,876,082.91 \text{ Ton}$$

4.2.3. Cantera N°3

En el marco de este estudio, se empleó el software ArcGIS para delimitar la cantera y crear las secciones transversales que serán analizadas. El yacimiento se dividió en doce secciones transversales que se extienden en la dirección SW - NE, con intervalos de 50 metros, y un nivel de base a 3156 metros, como se muestra en el anexo IV (Secciones – Estimación de Reservas Cantera N°3).



Figura 28. Cantera N.º 3 Ubicado Dentro de las Calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas UTM: 787353.31 E, N= 9210116.72 N.

❖ Cálculo de Áreas de las Secciones

El cálculo de las áreas de las secciones transversales se llevó a cabo dividiendo cada perfil transversal en segmentos.

Sección Transversal (A – A’):

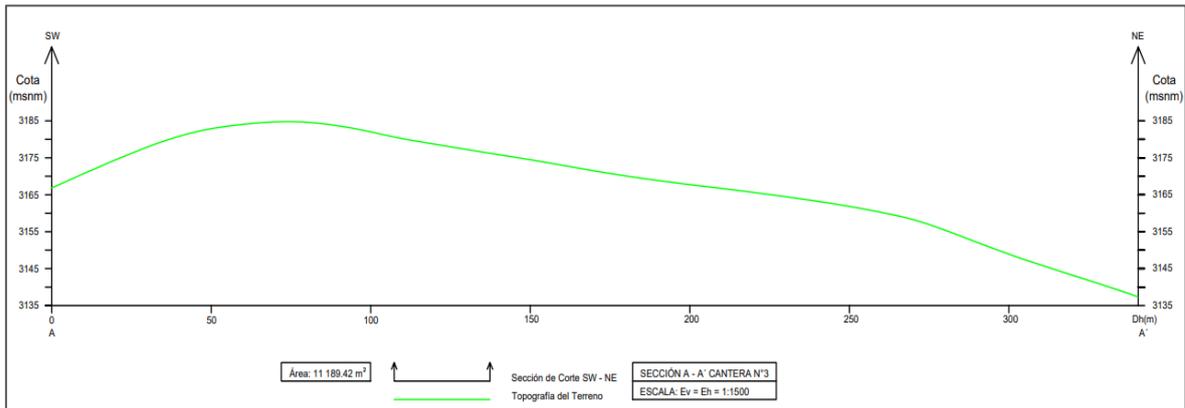


Figura 29. Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 3

Tabla 29. Área de la Sección Transversal (A - A') de la Cantera N.º 3

Sección	Distancia Horizontal (m)	Área (m2)
A – A'	50.00	11,189.42

Empleamos el software AutoCAD y Excel para llevar a cabo los cálculos, y los resultados se detallan en los anexos. Es importante destacar que hemos seguido el mismo procedimiento para todos los perfiles.

A continuación, se muestra la tabla 30 que proporciona información detallada sobre las áreas de las secciones transversales y el área total de la cantera 3.

Tabla 30. Área Total de la Cantera N.º 3

Sección Transversal	Área (m ²)
A (A - A´)	11,189.42
A (B - B´)	14,018.09
A (C - C´)	16,397.61
A (D - D´)	14,204.21
A (E - E´)	10,608.84
A (F - F´)	7,984.24
A (G - G´)	7,810.49
A (H - H´)	5,628.40
A (I - I´)	4,841.34
A (J - J´)	3,661.66
A (K - K´)	2,393.78
A (L - L´)	1,944.48
Total	100,682.56

❖ Cálculo de Volúmenes

Después de realizar los cálculos de las áreas, se procedió a determinar el volumen total de la cantera N.º 3 utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

$$V = \frac{A_{(A-A')} + A_{(B-B')}}{2} * D$$

Donde:

V = Volumen

$A_{(A-A')}$ y $A_{(B-B')}$ = Área de perfiles

D = Distancia entre perfiles

A continuación, se muestra la Tabla 31 que proporciona información detallada sobre el volumen total de la Cantera N.º 3.

Tabla 31. Volumen Total de la Cantera N.º 3

Secciones	Distancia (m)	Volumen (m3)
A - A' y B - B'	50.00	630,187.75
B - B' y C - C'	50.00	760,392.50
C - C' y D - D'	50.00	765,045.50
D - D' y E - E'	50.00	620,326.25
E - E' y F - F'	50.00	464,827.00
F - F' y G - G'	50.00	394,868.25
G - G' y H - H'	50.00	335,972.25
H - H' y I - I'	50.00	261,743.50
I - I' y J - J'	50.00	212,575.00
J - J' y K - K'	50.00	151,386.00
K - K' y L - L'	50.00	108,456.50
Total		4,705,780.50

El volumen total obtenido es de 4,705,780.50 metros cúbicos, para esta investigación se consideró un grado de certeza del 90% en la estimación de reservas de caliza (10% de inexactitud en la generación de la topografía y secciones).

$$V = 4,705,780.50 \text{ m}^3 * 0.9 = 4,235,202.45 \text{ m}^3$$

❖ Cálculo del Tonelaje

El tonelaje se ha calculado aplicando la siguiente formula:

$$T = V * \rho$$

Donde:

T = Tonelaje en (toneladas métricas)

V = Volumen total en metros cúbicos

ρ = Densidad de la caliza = 2.7 Ton/m³

$$T = 4,235,202.45 \text{ m}^3 * 2.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} = 11,435,046.62 \text{ Ton}$$

4.2.4. Resultados de Reservas de las Canteras

En la tabla 32 se presentan los resultados de las reservas estimadas de las tres canteras óptimas:

Tabla 32. Reservas Estimadas de las Tres Canteras

Cantera	Volumen (m ³)	Reservas (Toneladas Métricas)
Cantera N°1	2,966,416.20	8,009,323.74
Cantera N°2	2,546,697.38	6,876,082.913
Cantera N°3	4,235,202.45	11,435,046.62

❖ Cálculo del VOE y del ROP

Para realizar los cálculos del ROP (Ritmo Óptimo de Producción), y VOE (Vida Óptima de Explotación), se ha utilizado las siguientes fórmulas empíricas de Mackenzie en 1982.

$$\text{ROP (Ton/año)} = 5.63 * (\text{Reservas[Ton]})^{0.756} * (1 \pm 0.2)$$

$$\text{VOE (años)} = \frac{\text{Reservas}}{\text{ROP}}$$

Tabla 33. Cálculo de ROP y VOE de las Tres Canteras

Cantera	Reservas –(Ton)	ROP (Ton/año)	VOE (años)
Cantera N°1	8,009,323.74	1,118,943.36	7.16
Cantera N°2	6,876,082.913	997,055.92	6.90
Cantera N°3	11,435,046.62	1,464,594.92	7.81

4.2.5. Parámetros Geométricos de la Explotación

A continuación, se procedió a determinar los elementos del diseño del método de explotación de las canteras Pampa de la Culebra. Considerando que la caliza se encuentra expuesta en la superficie, el método de explotación idóneo corresponde a explotación de tajo abierto. Asimismo, de la evaluación geomecánica y la

topografía del área de investigación se utilizará el método de explotación por bancos.

– **Profundidad de la Cantera**

Para calcular la profundidad o altura de explotación de las canteras Pampa de la Culebra, se realizó una diferencia entre la cota superior y la cota inferior. Calculada con la siguiente formula:

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

H : Profundidad de la Cantera Pampa de la Culebra

H_s : Cota Superior (límite máximo de explotación)

H_i : Cota Inferior (límite mínimo - límite de corte)

Remplazando tenemos:

Profundidad de la Cantera N.º 1:

$$H = H_s - H_i = 3220 \text{ m} - 3139\text{m} = 81 \text{ m}$$

Profundidad de la Cantera N.º 2:

$$H = H_s - H_i = 3196 \text{ m} - 3134 = 62 \text{ m}$$

Profundidad de la Cantera N.º 3:

$$H = H_s - H_i = 3200 \text{ m} - 3156\text{m} = 44 \text{ m}$$

– **Altura de los Bancos**

La altura de los bancos para las tres canteras de calizas se determinó considerando los resultados del análisis de las 3 estaciones geomecánicas, que la caracterizan como roca buena, así como el análisis en RocData que determina que es una roca compacta. Llegando a la decisión de utilizar bancos de 9 metros.

– Angulo del Talud de los Bancos en Trabajo y Receso

El ángulo de los bancos se calculó para las tres canteras debido al mismo tipo de roca (calizas resistentes de la Formación Cajamarca). El ángulo está en función de la calidad de la roca y la altura. Es decir, mientras más resistencia tenga la roca y menos altura el banco, más vertical será el banco. Si la roca tiene menos resistencia y mayor altura el banco, mayor inclinación tendrá el talud. Utilizando la siguiente formula:

$$\alpha = \frac{\beta}{n}$$

Donde:

α = Ángulo de banco

β = Ángulo de resistencia interna

n = Coeficiente de estabilidad de bancos en trabajo y bancos en liquidación

Para la obtención del ángulo de resistencia se utilizó la tabla 34 de clasificación de rocas según Protodyakonov; al ser una tabla empírica se ha relacionado la clasificación con la categoría III a, la cual describe Calizas (resistentes). Granito no resistente. Areniscas resistentes. Mármoles resistentes, dolomita. Pirita. Con un coeficiente de resistencia igual a 8 y un ángulo de resistencia interna igual a $82^{\circ} 53'$.

Tabla 34. Clasificación de Rocas Según Protodyakonov

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEGÚN PROTODYAKONOV				
Categoría	Grado de resistencia de la roca	Rocas	Coefficiente de Resistencia "f"	Angulo de Resistencia Interna "B"
I	Rocas resistentes en alto grado	Cuarcitas y Basaltos resistentes, compactos y viscosos. De dureza exclusiva en relación con otras rocas.	20	87° 14'
II	Rocas muy resistentes	Rocas granitoides muy resistentes. Pórfido cuarcífero, esquistos silíceos. Cuarcitas menos resistentes. Las areniscas y calizas más resistentes.	15	86° 11'
III	Rocas resistentes	Granito (compacto y rocas graníticas). Areniscas y calizas muy resistentes. Filones de cuarzo mineral. Conglomerados resistentes. Minerales ferrosos muy resistentes	10	84° 28'
III a	Ídem	Calizas (resistentes). Granito no resistente. Areniscas resistentes. Mármoles resistentes, dolomita. Pirita.	8	82° 53'
IV	Rocas suficientemente resistentes	Arenisca común. Minerales de hierro.	6	80° 32'
IV a	Ídem	Esquistos arenosos, areniscas esquistosas.	5	78° 41'
V	Rocas de resistencia	Esquistos arcillosos resistentes. Areniscas y calizas no resistentes, conglomerados suaves.	4	75° 58'
V a	Ídem	Diferentes esquistos (no resistentes). Margas compactas.	3	71° 34'
VI	Rocas suficientemente suaves	Esquistos suaves. Calizas, cretas, sal gema, yeso muy suave. Suelos congelados, antracita. Margas corrientes. Areniscas desmenuzadas, quijos cementados, suelos pedregosos.	2	63° 26'

Fuente: Sosa y Kashpar, (1983)

$$\beta = \text{Ángulo de resistencia interna} = 82^\circ 53' = 82.88^\circ$$

Para la obtener el coeficiente de estabilidad para los bancos de trabajo y liquidación se va a hacer uso de la tabla 35.

Tabla 35. Coeficiente de Seguridad Para Estabilidad en Función del Tiempo

Tiempo de Servicio	Coeficiente de Seguridad
Durante Corto Tiempo (Hasta 1 Año)	1,1 – 1,2
Periodos Medianos (Hasta 20 Años)	1,1 – 1,5
Periodos Largos (Más de 20 Años)	1,5 – 2
Mayor o Igual a 100 Años	Mayor o Igual a 3

Fuente: Sosa y Kashpar (1983)

En los cálculos correspondientes utilizaremos el factor $\eta = 1.2$ para bancos en trabajo y $\eta = 1.9$ para bancos en liquidación. Debido al mismo grado de resistencia de las tres canteras se usa los mismos datos.

a. Para bancos de trabajo:

$$\alpha = \frac{\beta}{n} = \frac{82.88^\circ}{1.2} = 69.06$$

b. Para bancos de liquidación:

$$\alpha = \frac{\beta}{n} = \frac{82.88^\circ}{1.9} = 43.62^\circ$$

Para nuestro caso, se optará por un ángulo de trabajo de 70° el cual permitirá tener un fácil arranque del material, seguridad e integridad para los trabajadores y para los bancos de liquidación un ángulo de 44° .

– **Numero de Bancos**

El número de bancos se determina en función a la profundidad de la cantera y la altura de banco de acuerdo a la siguiente formula:

$$N^{\circ}b = \frac{H}{Hb}$$

Donde:

$N^{\circ}b$ = Numero de bancos

H = Profundidad de la cantera (m)

Hb = Altura del banco (m)

Numero de bancos Cantera N.º 1

$$Nb = \frac{81}{9} = 9$$

Numero de bancos Cantera N.º 2

$$Nb = \frac{62}{9} = 6.8$$

Numero de bancos Cantera N.º 3

$$Nb = \frac{44}{9} = 4.8$$

– Ancho de Banco

El ancho de banco es diseñado para que el personal y la maquinaria a utilizar se desplace correctamente, en este caso se ha considerado las especificaciones técnicas de la maquinaria.

- Excavadora Hidráulica CAT 320

DIMENSIONES		
Pluma	Alcance HD de 5,7 m (18'8")	
Brazo	Alcance HD de 2,9 m (9'6")	
Cucharón	1,19 m³ (1,56 yd³)	
Altura del embarque (parte superior de la cabina)	2960 mm	9'9"
Altura del pasamanos	2950 mm	9'9"
Longitud de embarque	9530 mm	31'3"
Radio de giro de la cola	2830 mm	9'4"
RANGOS Y FUERZAS DE TRABAJO		
Pluma	Alcance HD de 5,7 m (18'8")	
Brazo	Alcance HD de 2,9 m (9'6")	
Cucharón	1,19 m³ (1,56 yd³)	
Profundidad máxima de excavación	6720 mm	22'1"
Alcance máximo a nivel del suelo	9860 mm	32'4"
Altura máxima de corte	9370 mm	30'9"
Altura máxima de carga	6490 mm	21'4"
Altura mínima de carga	2170 mm	7'1"

Figura 30. Especificaciones Técnicas Excavadora Hidráulica CAT 320

Fuente: Manual de Excavadora CAT 320, (2022)

- Volquete 25.6 Ton
Modelo: HFC3252 430HP EV, Motor: CUMMINS ISGe5 – 430



Figura 31. Especificaciones Técnicas Volquete 2506 Ton

Fuente: JAC Camiones, (2022)

Por lo mencionado, se determinó un ancho de banco igual a 6m.

– **Diseño del Método de Explotación**

Considerando que la caliza de la zona de Pampa de la Culebra se encuentra expuesta en superficie, el método de explotación idóneo corresponde a explotación de Tajo Abierto, asimismo de la evaluación geomecánica y la topografía del área de investigación se utilizará el método de explotación por bancos.

El diseño se realizó considerando los parámetros geométricos:

- Profundidad de la Cantera
- Talud de Trabajo
- Talud Final
- Altura de Banco
- Ancho de Banco

Parámetros Geométricos Cantera N°1

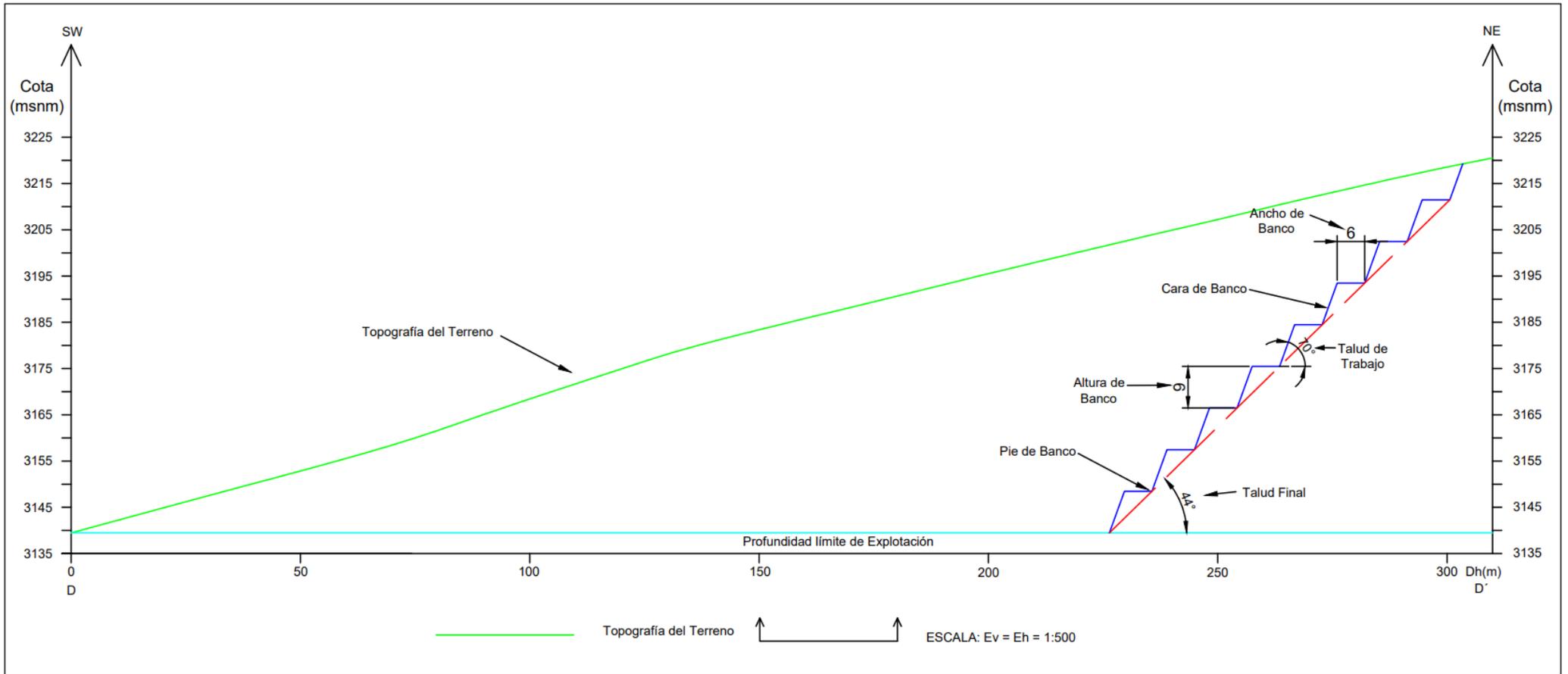


Figura 32. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 1.

Parámetros Geométricos Cantera N°2

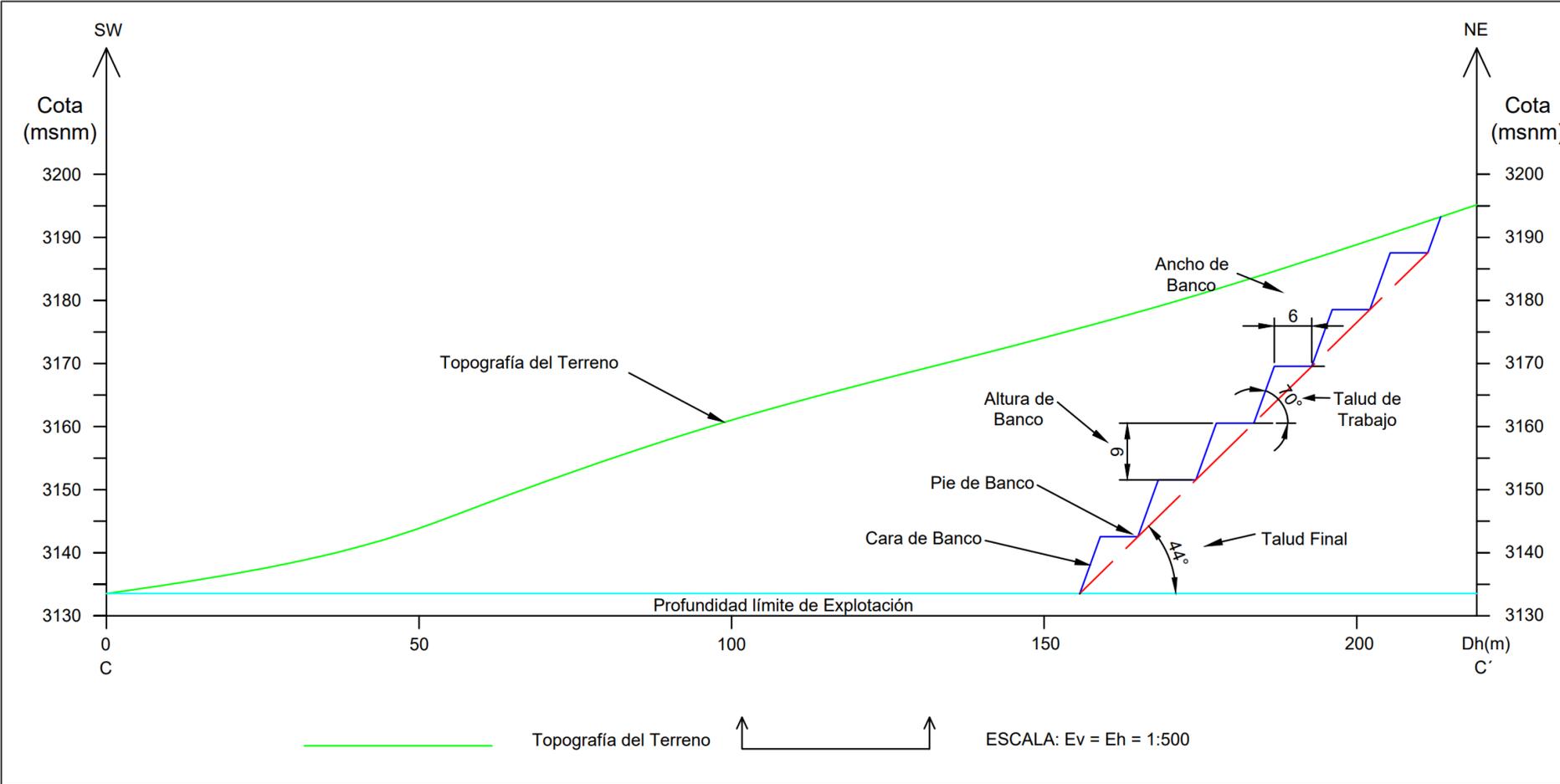


Figura 33. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 2.

Parámetros Geométricos Cantera N°3

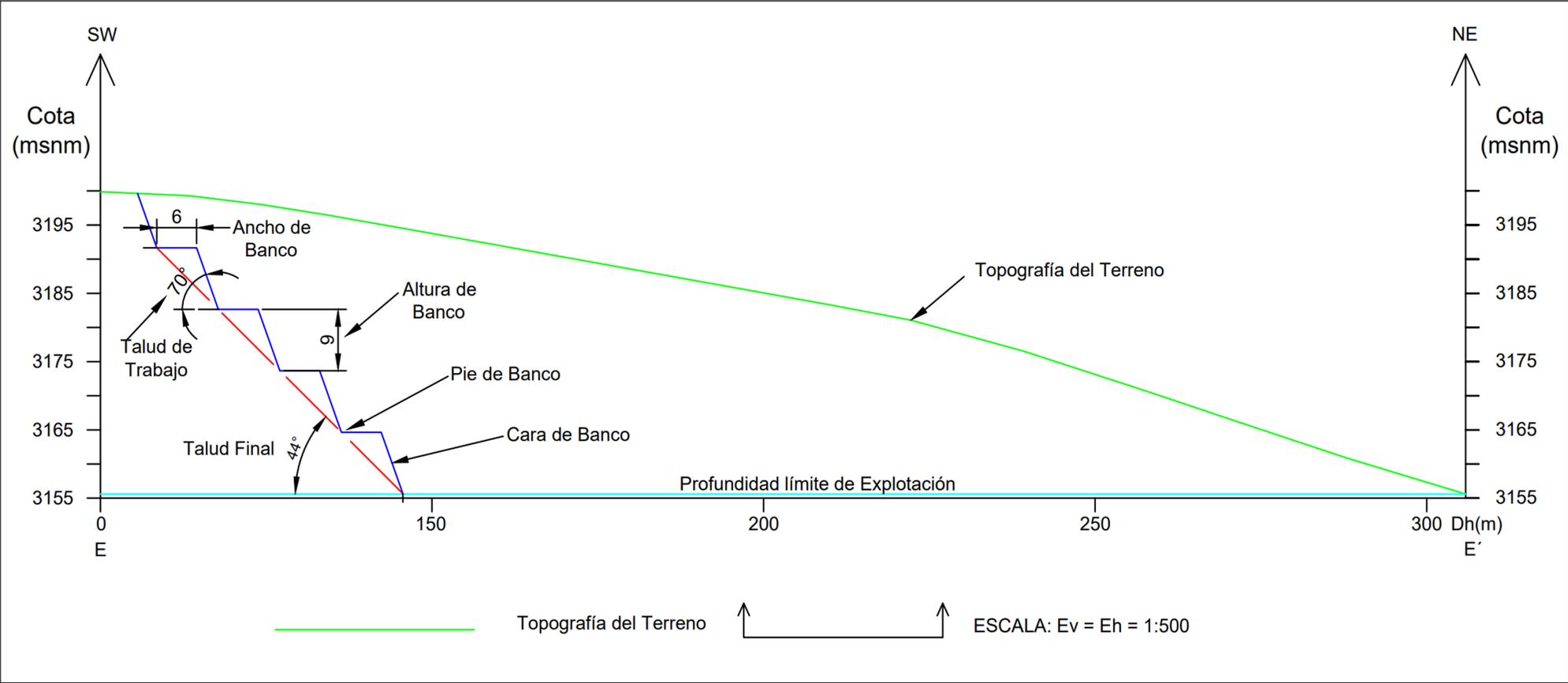


Figura 34. Diseño de Explotación de la Cantera N.º 3.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las reservas calcáreas del Cretácico Superior presentes en la zona de Pampa de la Culebra incluyen las Formaciones Yumagual, Cajamarca, Celendín y el Grupo Quilquiñán-Mujarrúm. Estas formaciones exhiben un contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) que supera el umbral del 60%, tal como se planteó en la hipótesis inicial. No obstante, es relevante destacar que la Formación Cajamarca sobresale con un promedio extraordinario de aproximadamente el 95% de (CaCO_3), lo que la convierte en un recurso particularmente adecuado para la obtención de óxido de calcio (CaO). Por lo tanto, se puede afirmar de manera concluyente que la hipótesis original ha sido corroborada con éxito.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se evaluó las reservas de caliza en tres (3) canteras situadas en la Formación Cajamarca de la zona Pampa de la Culebra, Indicando que la cantera N°1. genera 8.01 millones de toneladas, la Cantera N°2. 6.88 millones de toneladas, y la Cantera N°3. 11.44 millones de toneladas.

Se determinó los parámetros para el diseño de explotación de caliza a partir del comportamiento geomecánico del macizo rocoso de las calizas de la zona Pampa de la Culebra: Altura de banco de 9m, ancho de banco de 6m, ángulo de trabajo de 70° y ángulo de talud final de 44°.

Se constató los resultados del análisis químico de las muestras de caliza, encontrando que las reservas calcáreas de la Formación Cajamarca en la zona Pampa de la Culebra poseen un alto contenido de carbonato de calcio (CO_3Ca), con un promedio de 94.79%, lo cual tiene un alto potencial para la obtención de óxido de calcio.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda informar a los residentes del Centro de Poblado Pampa de la Culebra acerca de la abundancia de las reservas de calizas de la Formación Cajamarca, las cuales presentan un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). Es importante que se tenga en consideración que, en un futuro, estas reservas podrían ser explotadas para abastecer a empresas mineras.

Se sugiere a las autoridades del Centro Poblado de Pampa de la Culebra organizar charlas de capacitación con el propósito de informar sobre prácticas modernas de explotación de calizas. Estas charlas estarían dirigidas a empresarios interesados en llevar a cabo una explotación a gran escala de las reservas de caliza de la Formación Cajamarca.

Se insta a los empresarios interesados en la explotación de calizas que realicen las operaciones de manera tecnificada, con especial énfasis en la protección del medio ambiente. Es fundamental garantizar que las prácticas de extracción no tengan un impacto negativo en el entorno natural y se adhieran a normativas ambientales estrictas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustillo, M., & López, C. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*. Madrid, España.
- Caterpillar. (2022). *Manual de Excavadora CAT 320*. Perú: Ferreyros.
- Coloma, G. (2008). *La Cal: ¡Es un Reactivo Químico!* Antofagasta, Chile.
- Condori, B. (2016). *Diseño de Explotación de Canteras para Agregados*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Cuador, J. (2013). *Estudios de Estimación y Simulación Geoestadística para la Caracterización de Parámetros Geólogo-Industriales en el Yacimiento Laterítico Punta Gorda*. Tesis Doctoral, Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Dávila, B. (2011). *Diccionario Geológico*. Callao, Perú: INGEMMET.
- Gavilanes, H., & Andrade, B. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles*. Quito, Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- González de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. España, Madrid: Pearson.
- Hernández, V., Arenas, A., Cárcamo, H., Conejeros, V., & Coloma, G. (1995). *La Cal en la Metalurgia Extractiva*. Antofagasta, Chile: Universidad Católica del Norte.
- Herrera, C. (2016). *Diseño del sistema de explotación de materiales de construcción existentes en la cantera "mina 2", ubicada en la parroquia Cangahua, cantón Cayambe, provincia de Pichincha*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Herrera, D. (2012). *Manual de Competencias de Calcinación*. Grupo Calibra Química Natural. Riobamba, Ecuador.

- Herrera, J. (2007). *Diseño de Explotaciones de Cantera*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoek, E., & Brown, E. (1997). *Estimación de la Resistencia de Macizos Rocosos en la Práctica*. Chile: Primer Taller Geotécnico Interdivisional, División Chuquicamata de Codelco.
- Hoek, E., Carter, T., & Diederichs, M. (2013). *Cuantificación de la Tabla del Índice de Resistencia Geológica*. California, EE. UU: Preparado para su presentación en el 47º Simposio de Geomecánica y Mecánica de Rocas de EE. UU.
- Huamán, I., & Benito, O. (2014). *Optimización y Modernización en el Proceso de Obtención de Arena de Sílice para Incrementar la Producción en la Cantera Santa Rosa 94-i C.C. Llocllapampa*. Tesis para obtener el título en Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Jac camiones. (2022). *Manual Volquete 25.6 ton*. Perú: DERCO MAQ.
- JORC. (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code)*. Australia: The Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia.
- López, C. (2003). *Manual de Áridos: Prospección, Explotación y Aplicaciones*. España: E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid-LOEMCO.
- López, C., & Aduvire, Q. (1993). *Estudio de Viabilidad de Proyectos Mineros*. Madrid, España.
- Luque, J. (2017). *Estudio de Factibilidad en un Proyecto de Explotación de Rocas y Minerales Industriales en una Mina de Perlita*. Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

- Mayta, A., & Mesa, J. (2010). *Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Manual de Inventario de Minerales*. Lima, Perú.
- Morales, P. (2014). *Cocientes Metálicos y Cálculo de Reservas Minerales de la Veta Cinthia - Proyecto Minero Caracol S.A.C.-Barranca - Lima*. Tesis Profesional. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Muñoz, C. (2015). *Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del área Minera Mary Elena*. Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la Geología de Minas*. Madrid, España: Ediciones GEMM.
- Piérola, D. (2017). *Optimización del Plan de Minado de Cantera de Caliza La Unión, distrito de Baños del Inca – Cajamarca, 2015*. Tesis Profesional. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Ramírez, M. (2008). *Sostenibilidad de la Explotación de Materiales de Construcción en el Valle de Aburrá*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Reyes, L. (1980). *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Perú: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Sosa, G., & Kashpar, L. (1983). *Tecnología de Explotación de Minerales Útiles a Cielo Abierto*.
- Trigueros, E. (2013). *Parámetros de Viabilidad para la Explotación de Mármol y Calizas Marmóreas Mediante Métodos de Explotación Subterráneos*. Tesis profesional. España.

ANEXOS

- ANEXO I.** ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE CALIZA
- ANEXO II.** REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO
- ANEXO III.** SECCIONES DE LAS CANTERAS 1,2 Y 3
- ANEXO IV.** IMAGEN SATELITAL Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
- ANEXO V.** PLANO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN
- ANEXO VI.** MDE Y UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN
- ANEXO VII.** SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°1
- ANEXO VIII.** SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°2
- ANEXO IX.** SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°3

ANEXO I

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE CALIZA

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: FORMACIÓN CAJAMARCA
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: CALU- 01
FECHA	: 22/11/2022

1. Análisis químico

Muestra de roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por ignición (PI) %	Cenizas %	Total %
CALU-01	84.58	0.33	0.26	0.45	0.12	12.15	2.11	100

2. Análisis de % CO₃ Ca

Muestra	% CO ₃ Ca
CALU-01	95.12



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: FORMACION CAJAMARCA
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: CALU- 02
FECHA	: 22/11/2022

1. Análisis químico

Muestra de roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por ignición (PI) %	Cenizas	Total
CALU-02	84.87	0.22	0.22	0.42	0.11	12.03	2.13	100

2. Análisis de % CO₂ Ca

Muestra	% CO ₂ Ca
CALU-02	94.32



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

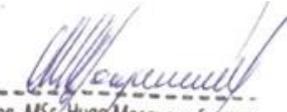
SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: FORMACION CAJAMARCA
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: CALU- 03
FECHA	: 22/11/2022

I. Análisis químico

Muestra de roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por ignición (PI) %	Cenizas %	Total %
CALU-03	84.52	0.19	0.22	0.33	0.09	12.13	2.52	100

II. Análisis de % CO₂ Ca

Muestra	% CO ₂ Ca
CALU-03	94.32


Ing. MSc. Hugo Mosqueira Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA : ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS : EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA : PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD : FORMACION CAJAMARCA
EDAD : CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA : CALU- 04
FECHA : 22/11/2022

1. Análisis químico

Muestra de roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por ignición (PI) %	Cenizas %	Total %
CALU-04	84.37	0.37	0.23	0.36	0.12	11.89	2.66	100

2. Análisis de % CO₂ Ca

Muestra	% CO ₂ Ca
CALU-04	94.88



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA : ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS : EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR
 PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA
 ENCAÑADA.
PROCEDENCIA : PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD : FORMACIÓN CAJAMARCA
MUESTRA : CALU- 05
FECHA : 22/11/2022

1. Análisis químico

Muestra de roca	CaO %	Fe ₂ O ₂ %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₂ %	Perdida por ignición (PI) %	Cenizas %	Total %
CALU-05	84.76	0.21	0.21	0.41	0.11	12.09	2.21	100

2. Análisis de % CO₃ Ca

Muestra	% CO ₃ Ca
CALU-05	95.32



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: FORMACIÓN YUMAGUAL
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: YU- 01
FECHA	: 22/11/2022

Análisis de % CO₂ Ca

Muestra	% CO ₂ Ca
YU- 01	70.55



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: GRUPO QUILQUIÑAN- MUJARRUM
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: QM- 01
FECHA	: 22/11/2022

Análisis de % CO₃ Ca

Muestra	% CO ₃ Ca
QM- 01	72.88



Ing. MSc. Hugo Mosqueira Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CALIZA

SOLICITA	: ALCIDES CALUA CHILÓN
TESIS	: EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA- LA ENCAÑADA.
PROCEDENCIA	: PAMPA DE LA CULEBRA
UNIDAD	: FORMACIÓN CELENDIN
EDAD	: CRETACICO SUPERIOR
MUESTRA	: CE- 01
FECHA	: 22/11/2022

Análisis de % CO₃ Ca

Muestra	% CO ₃ Ca
CE- 01	69.33



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANEXOS II

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO DE LAS ESTACIONES GEOMECÁNICAS

Registro Geológico Geotécnico - Estación Geomecánica 1.

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO				PROYECTO : EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA - LA ENCAÑADA										BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie																																		
UBICACIÓN : PAMPA LA CULEBRA - ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																																																
CODIGO	EG-1			TRAMO :	1	DE	00 m			A	5,0 m																																					
RESPONSABLE	ALCIDES CALUA CHILÓN			HOJA Nº :	1	DE	3																																									
SISTEMA	WGS		Zona 17 S	FECHA:	Agosto, 2022																																											
Nº	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																																								
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSi	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.																										
					1=Fresco	1=Alto	1=Blq-Regul	E-Estratíf.	σ_{ci}	ND: 23	DIRECCION.	1 => 2	1 =< 1	1=Nada	1=M uy Rug	0 = Ninguno 1= Arcilloso	1= Ninguna	1=Inalterada	1= Seco	1=Lec. Real																												
				2=Lev Met	2=Med	2=Blq-Irregul	D=Diaclase	$\lambda = 9.2$													L: 2.5	Z / R	DIP	DD	2 = 2-0,6	2 = +3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar															
				3=Mod	3=Bajo	3=Blqy Capas	Fi=F. Norm		Promgolpes	$\lambda_p =$																								5 =< 0,06	5 => 20	9= > 5	5=Suave	3 = Calcita	3=Duro<5mm.	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy						
				4=Alt Met		4=Fract-Intenso	Fi=F. Inversa	2-3 golpes													$\gamma_p =$																						6=Bx	7=Panizo	8=Veta	4 = Ondulad-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.
				5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	Fd=F. Direcc		C=Contacto																																							
							mi=Microfalla																																									
							SE=Sobrees.																																									
							C=Contacto																																									
1	787500	9210634	3148	calizas con espesores entre 30 a 60 cm, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizada. Fm Cajamarca (Ks-ca)	2	2	1B		E	90 MPa		76.52	239	30	329	2	2	3	3	3	2	2	2	1																								
						E	235	34	325																																							
						E	237	32	327																																							
						E	234	35	324																																							
						E	236	33	326																																							
						D-1	246	45	336																																							
						D-1	248	50	338																																							
						D-1	251	46	341																																							
						D-1	249	49	339																																							
						D-1	247	50	337																																							
						D-2	340	76	70																																							
						D-2	336	79	66																																							
						D-2	341	81	71																																							
						D-2	338	77	68																																							
						D-2	337	78	67																																							

Diseño Original: M.Sc. Víctor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez – 2017

Registro Geológico Geotécnico - Estación Geomecánica 2.

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO				PROYECTO : EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE OXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CUEBRA - LA ENCAÑADA										BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie															
				UBICACIÓN : PAMPA LA CUEBRA - ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																									
CODIGO	EG-2			TRAMO :	1	DE	00 m			A	5.0 m																		
RESPONSABLE	ALCIDES CALUA CHILÓN			HOJA Nº :	2	DE				3																			
SISTEMA	WGS		Zona 17 S	FECHA:	Agosto, 2022																								
Nº	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)		PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.						
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E-Estratíf.	σ_{ci}	ND: 27	DIRECCION.	1 => 2	1 =< 1	1=Nada	1=M uy Rug	0 = Ninguno 1= Arcilloso	1= Ninguna	1=Inalterada	1= Seco	1=Lec. Real	2=2-0,6	2 = +3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro-5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar
				1=Fresco	1=Alto	1=Blq-Regul	Fi=F. Norm	$\lambda = 10$																					
				2=Lev Met	2=Med	2=Blq-Irregul	Fi=F. Inversa		Promgolpes	2-3 golpes	$\gamma_p =$	5 =< 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Titur	5=Suave-5mm.	5=Descomp	5 = Flujo	6=Bx	7=Panizo	8=Veta							
				3=Mod	3=Bajo	3=Blqy Capas	Fd=F. Direcc	SE-Sobrees.	C-Contacto																				
				4=Alt Met		4=Fract-Intenso	mi-Microfalla																						
				5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE-Sobrees.																						
1	788426	9210438	3140	calizas con espesores entre 20 a 50 cm, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizada. Fm Cajamarca (Ks-ca)	2	2	1B	E	80 MPa	73.57	239	30	329	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
						E	235	34			325																		
						E	237	32			327																		
						E	234	35			324																		
						E	236	33			326																		
						D-1	246	45			336																		
						D-1	248	50			338																		
						D-1	251	46			341																		
						D-1	249	49			339																		
						D-1	247	50			337																		
						D-2	340	76			70																		
						D-2	336	79			66																		
						D-2	341	81			71																		
						D-2	338	77			68																		
						D-2	337	78			67																		

Diseño Original: M.Sc. Víctor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez – 2017

Registro Geológico Geotécnico - Estación Geomecánica 3.

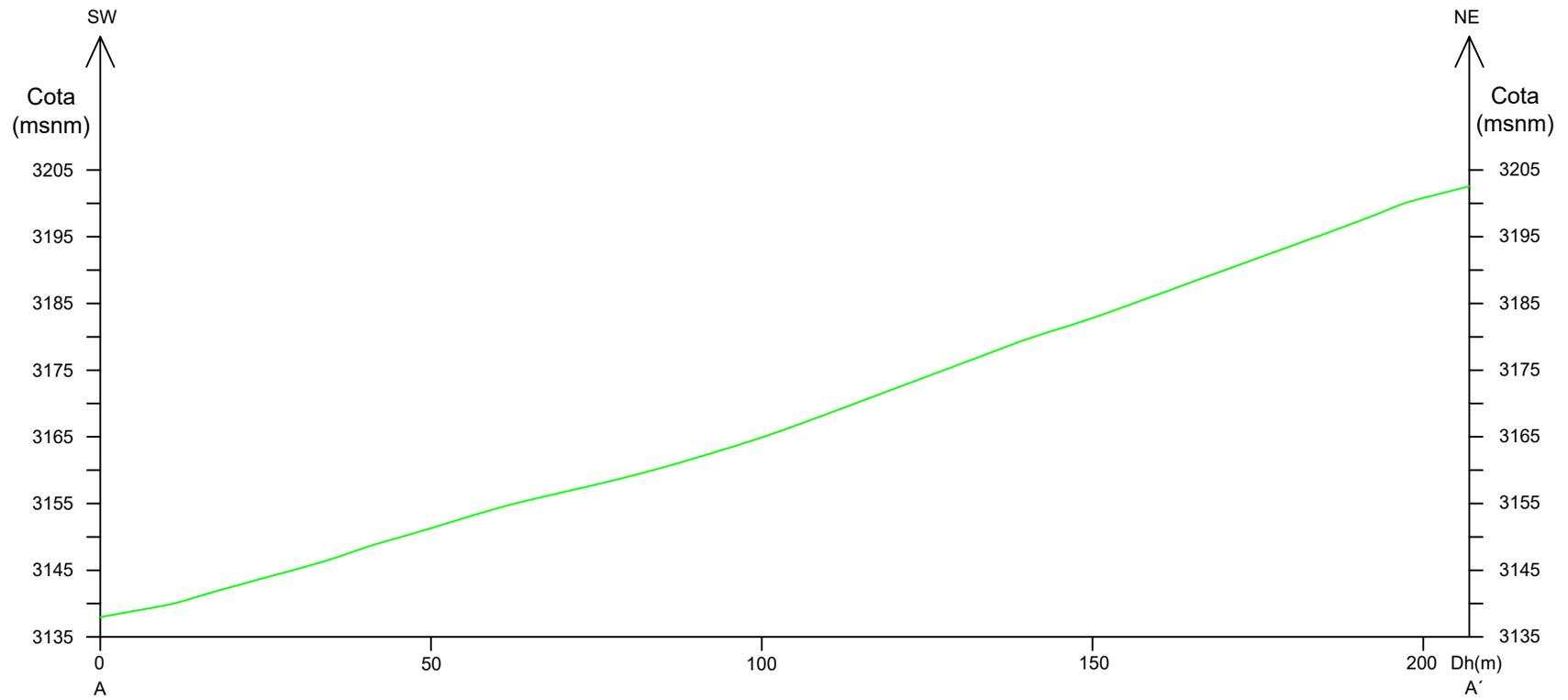
REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO				PROYECTO : EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA LA CULEBRA - LA ENCAÑADA										BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie									
UBICACIÓN : PAMPA LA CULEBRA - ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																							
CÓDIGO	EG-3			TRAMO :	1	DE	00 m			A	5.0 m												
RESPONSABLE	ALCIDES CALUA CHILÓN			HOJA Nº :	3	DE	3																
SISTEMA	WGS		Zona 17 S	FECHA:	Agosto, 2022																		
Nº	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)		PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E-Estratíf. D-Diáclasa F-F. Norm Fi-F. Inversa Fj-F. Direcc mi-Microfalla SE-Sobreces. C-Contacto	σ_{ci}	ND: 16 L: 18 $\lambda = 8.8$ $\gamma_p =$	DIRECCION.			Z / R	DIP	DD	1=>2 2=2-0,6 3=0,6-0,2 4=0,2-0,06 5=<0,06	1=<1 2=+3 3=3-10 4=10-20 5=>20	1=Nada 2=Rugosa 3=Lig. Rug 4=Ondulad-lisa 5=Suave	0=Ninguno 1=Arcilloso 2=Qz / Silic 3=Calcita 4=Oxidos 5=Roca Tritur	1=Ninguna 2=Duro-5mm 3=Duro-5mm 4=Suave-5mm 5=Suave-5mm	1=Interrada 2=Lig. Alt 3=Mod. Alt 4=Muy Alt 5=Descomp	1=Seco 2=Humedo 3=Mojado 4=Goteo 5=Flujo
1	787275	9209976	3154	calizas con espesores entre 20 a 50 cm, moderadamente nete fracturadas, color gris, moderadamente meteorizada. Fm Cajamarca (Ks-ca)	3	3	1B	E	95 MPa	77.65	239	30	329	2	2	2	3	3	2	2	2	2	1
					E	235	34	325															
					E	237	32	327															
					E	234	35	324															
					E	236	33	326															
					D-1	246	45	336															
					D-1	248	50	338															
					D-1	251	46	341															
					D-1	249	49	339															
					D-1	247	50	337															
					D-2	340	76	70															
					D-2	336	79	66															
					D-2	341	81	71															
					D-2	338	77	68															
					D-2	337	78	67															

Diseño Original: M.Sc. Víctor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez – 2017

ANEXOS III

SECCIONES DE LAS CANTERAS 1,2 Y 3

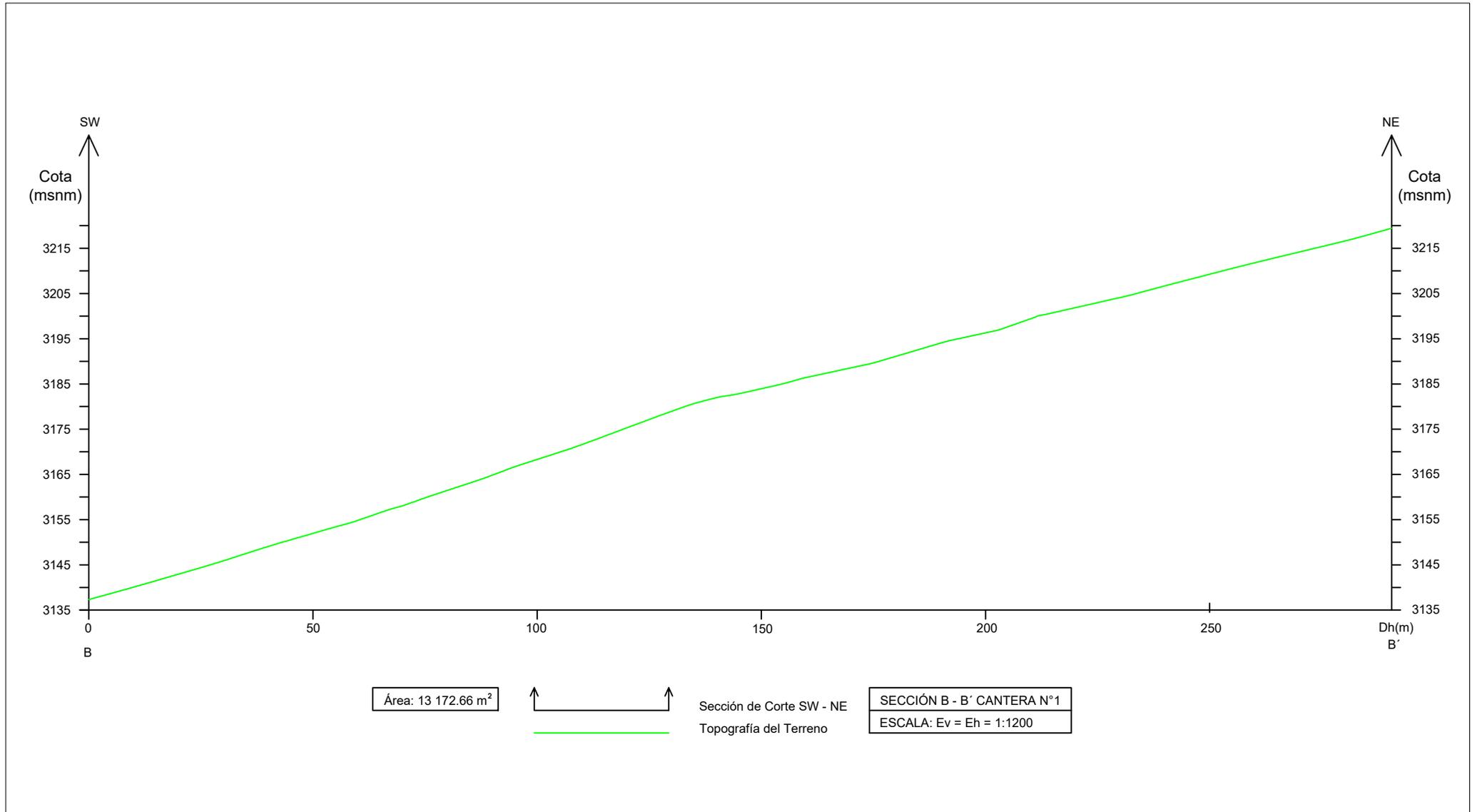


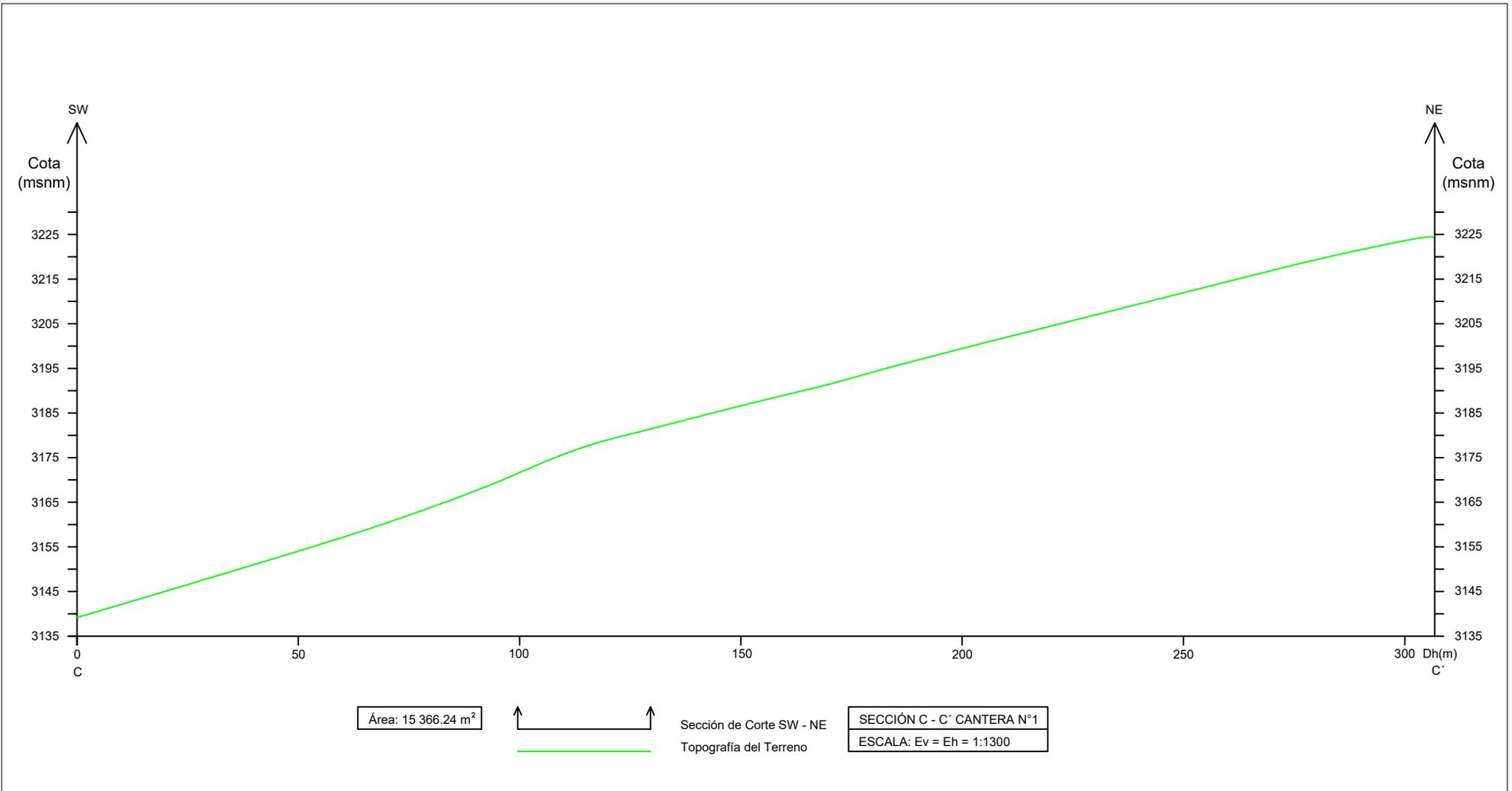
Área: 6 251.48 m²

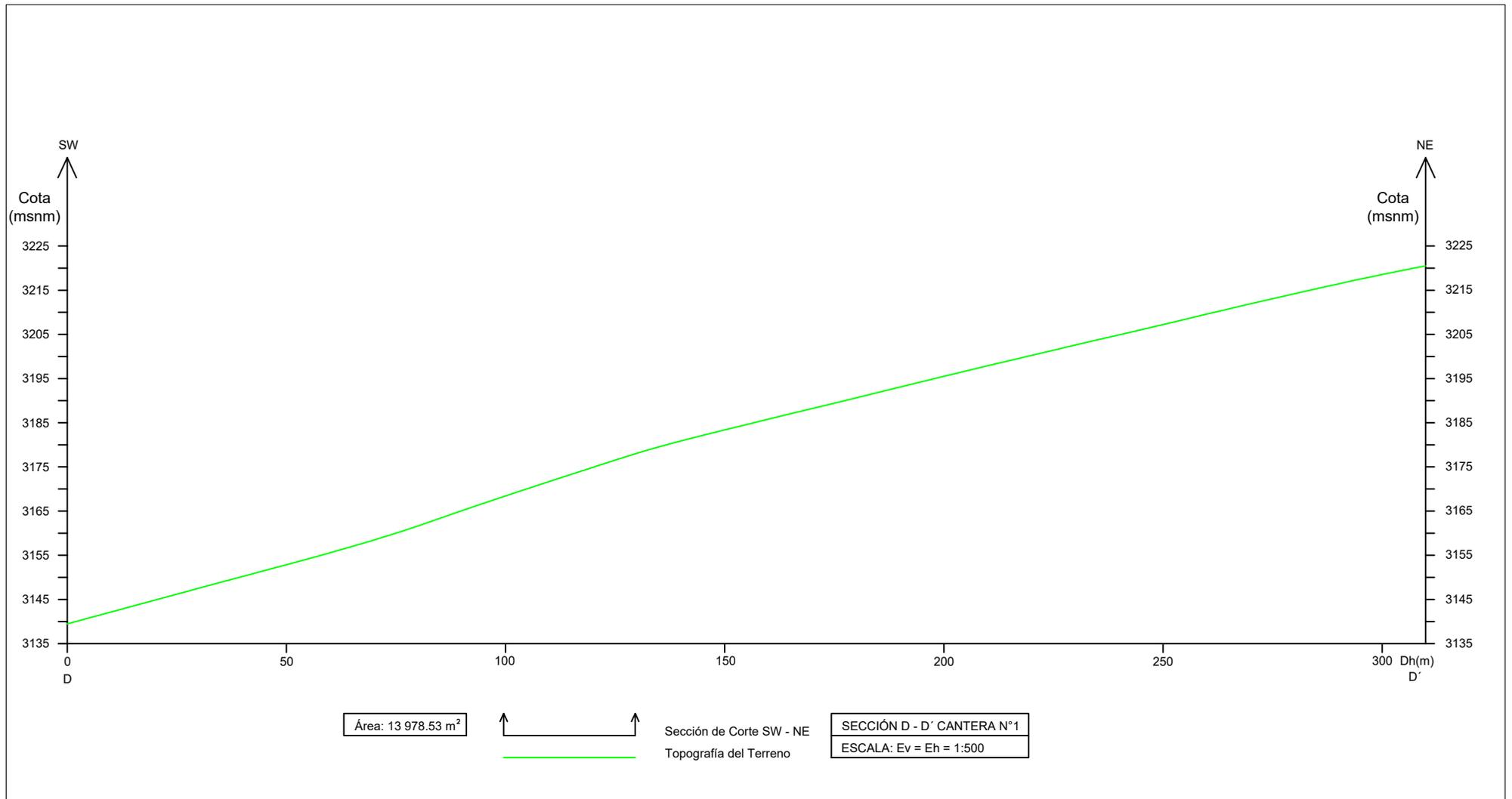


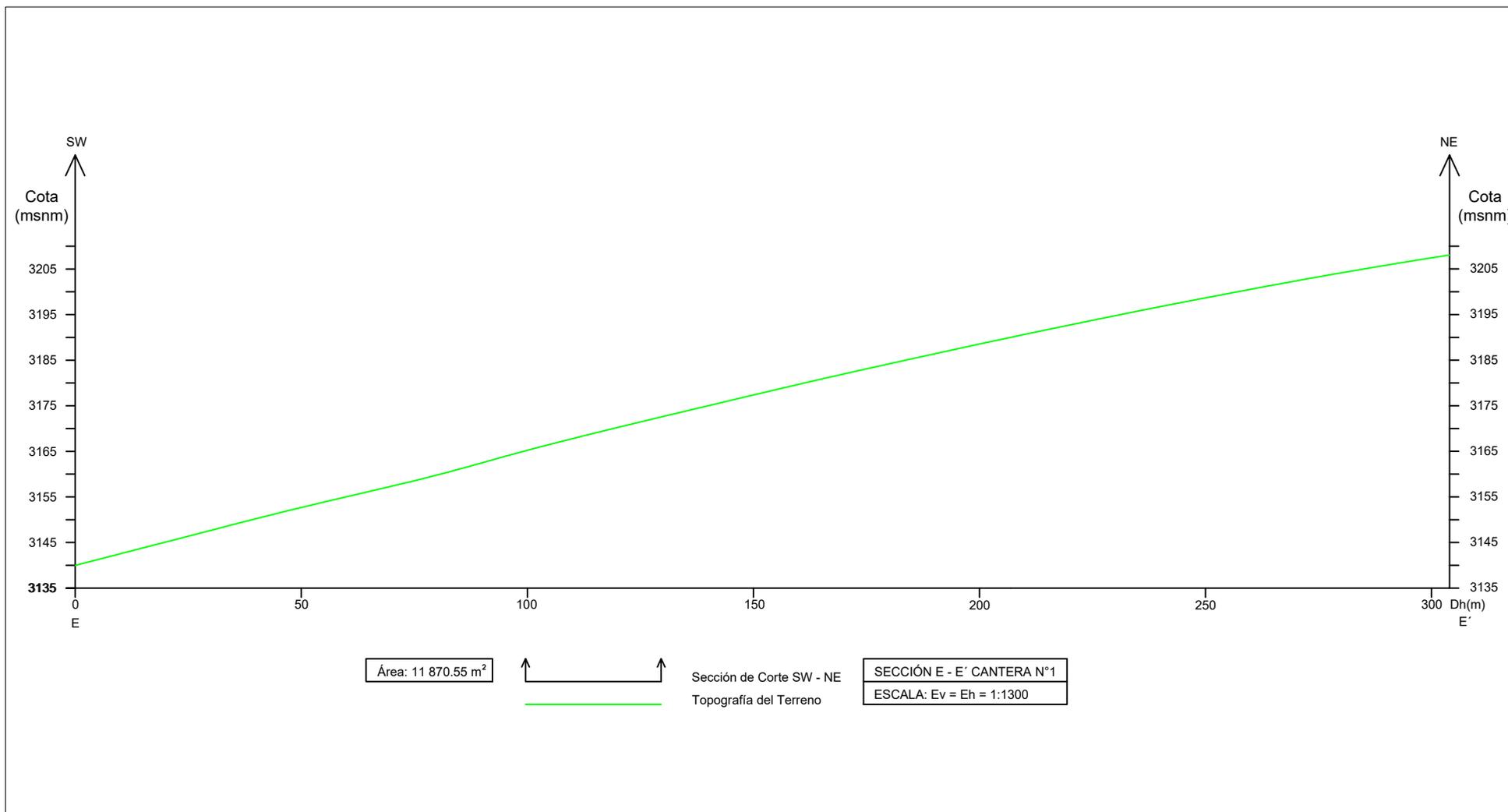
Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

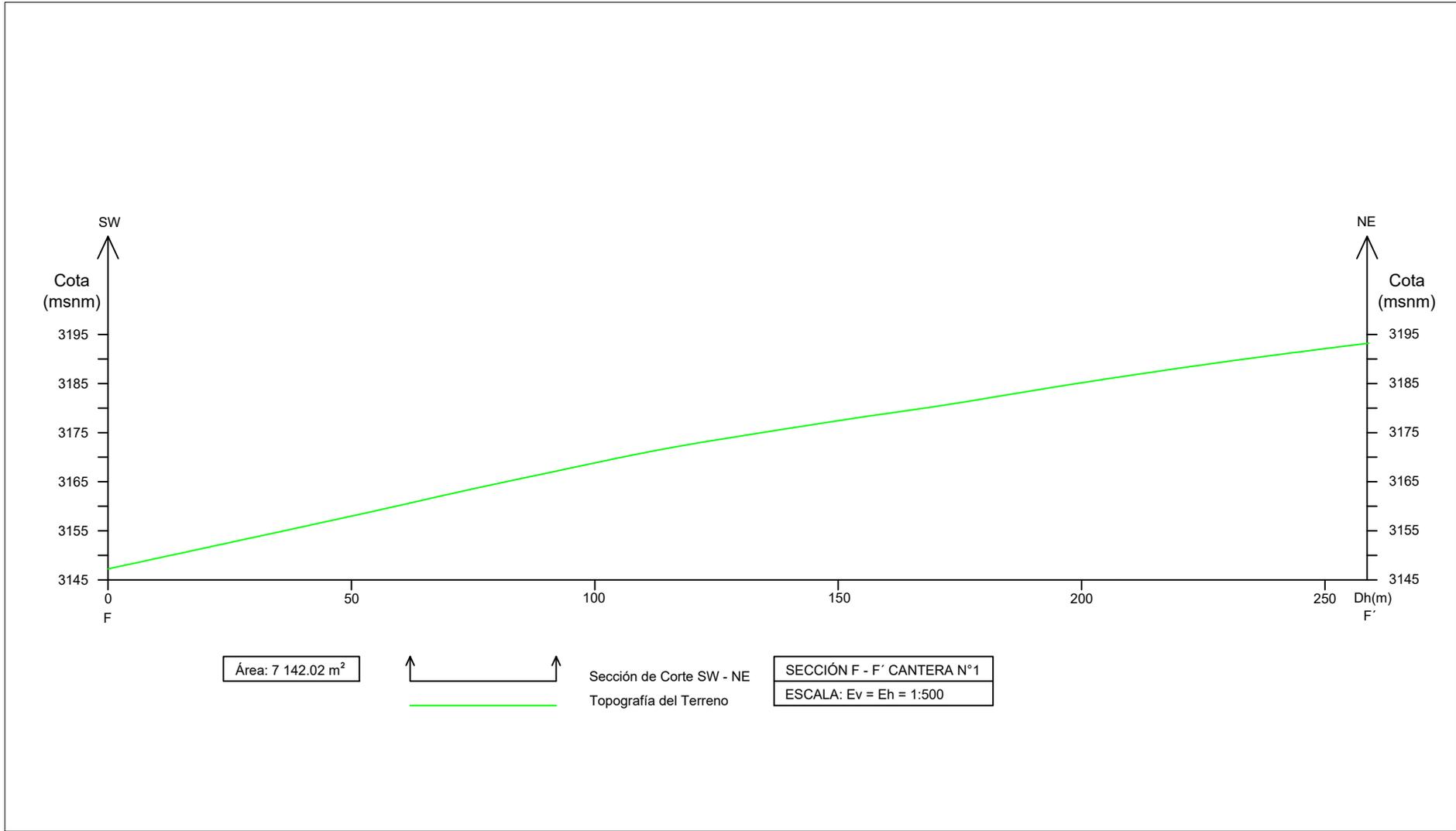
SECCIÓN A - A' CANTERA N°1
ESCALA: Ev = Eh = 1:500

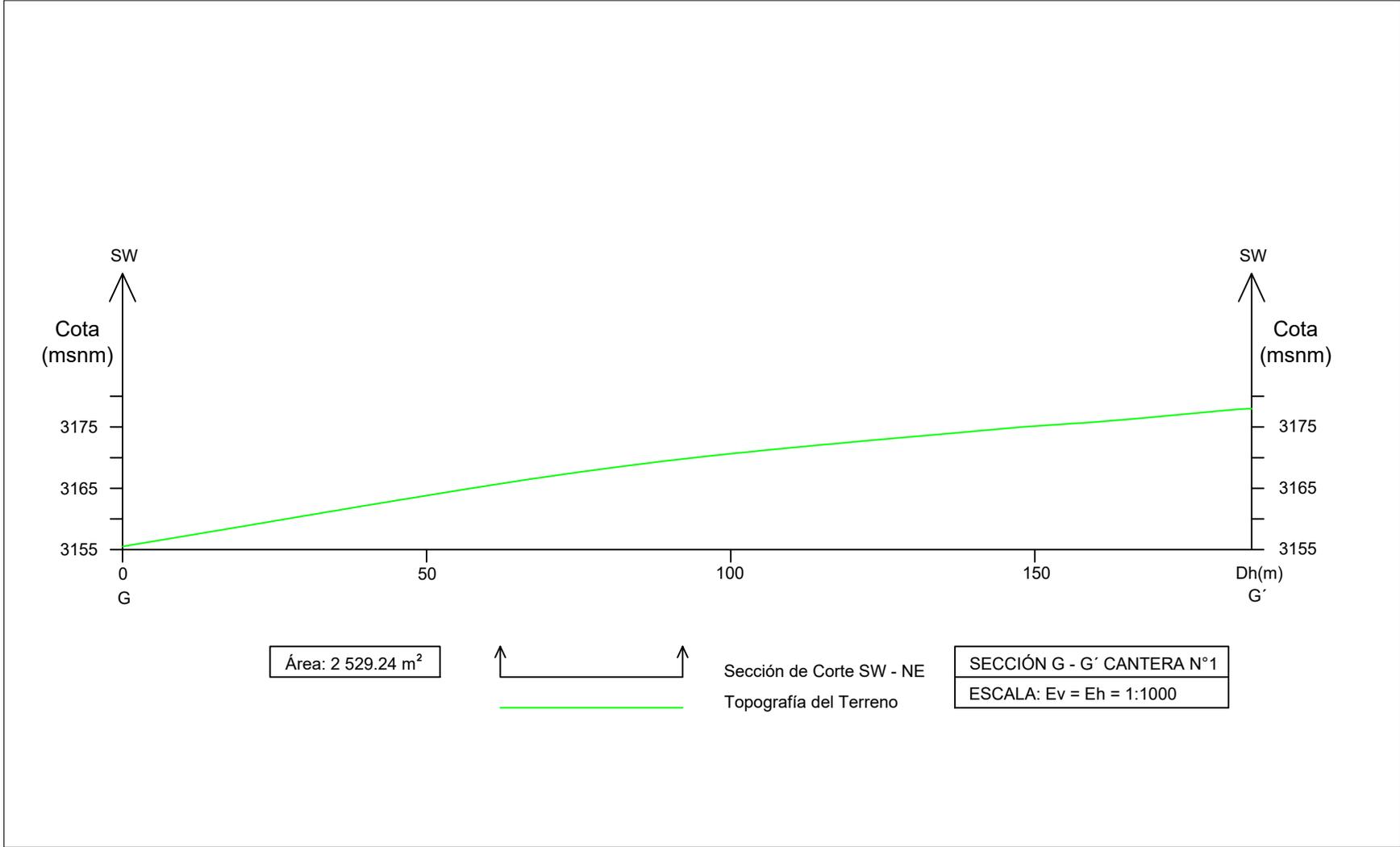


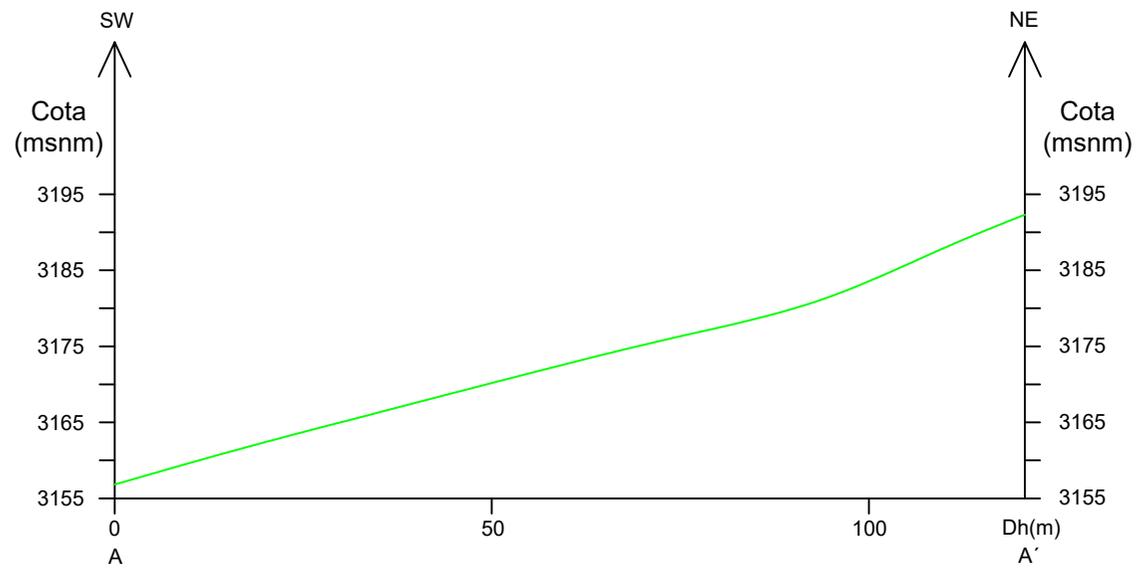










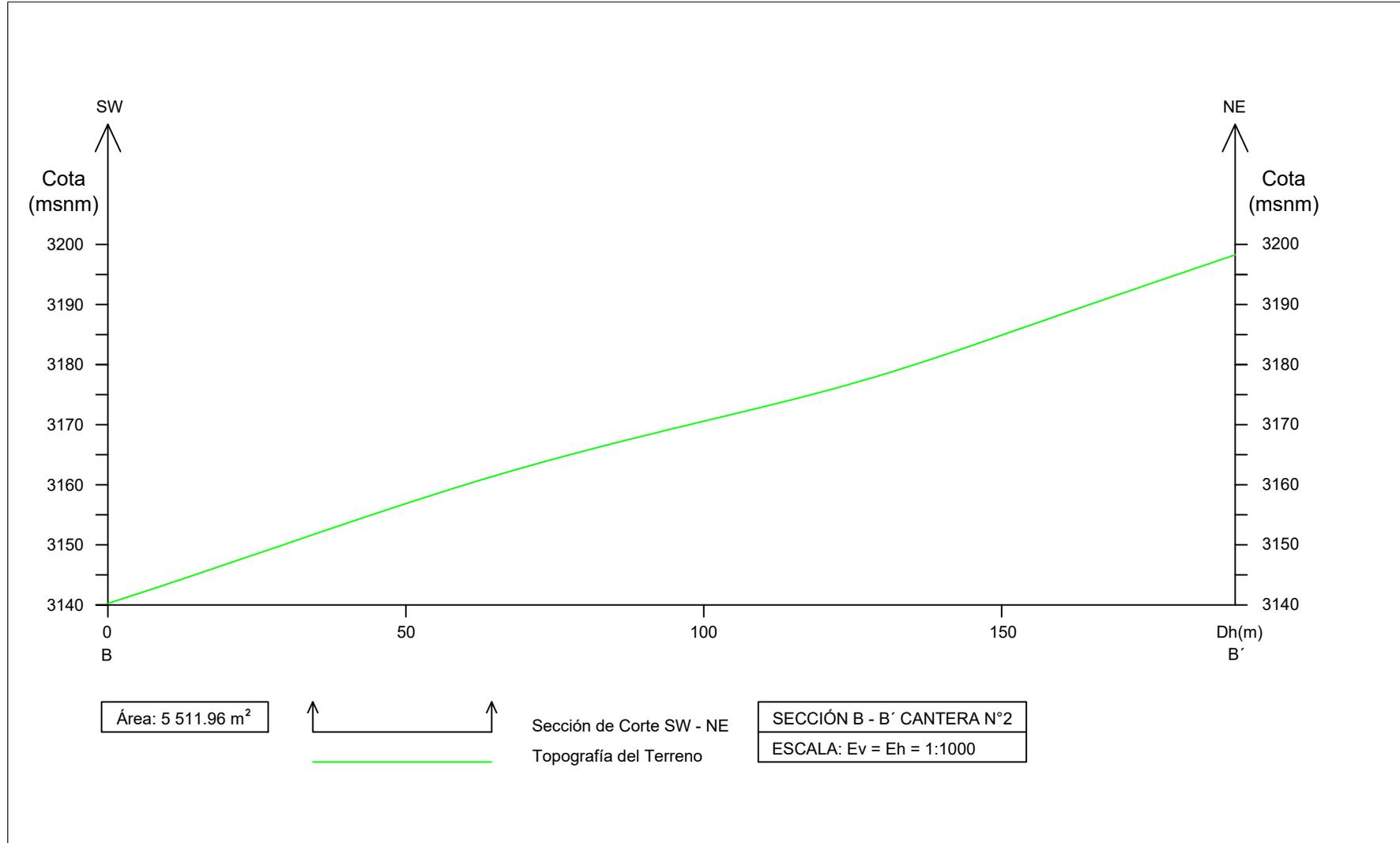


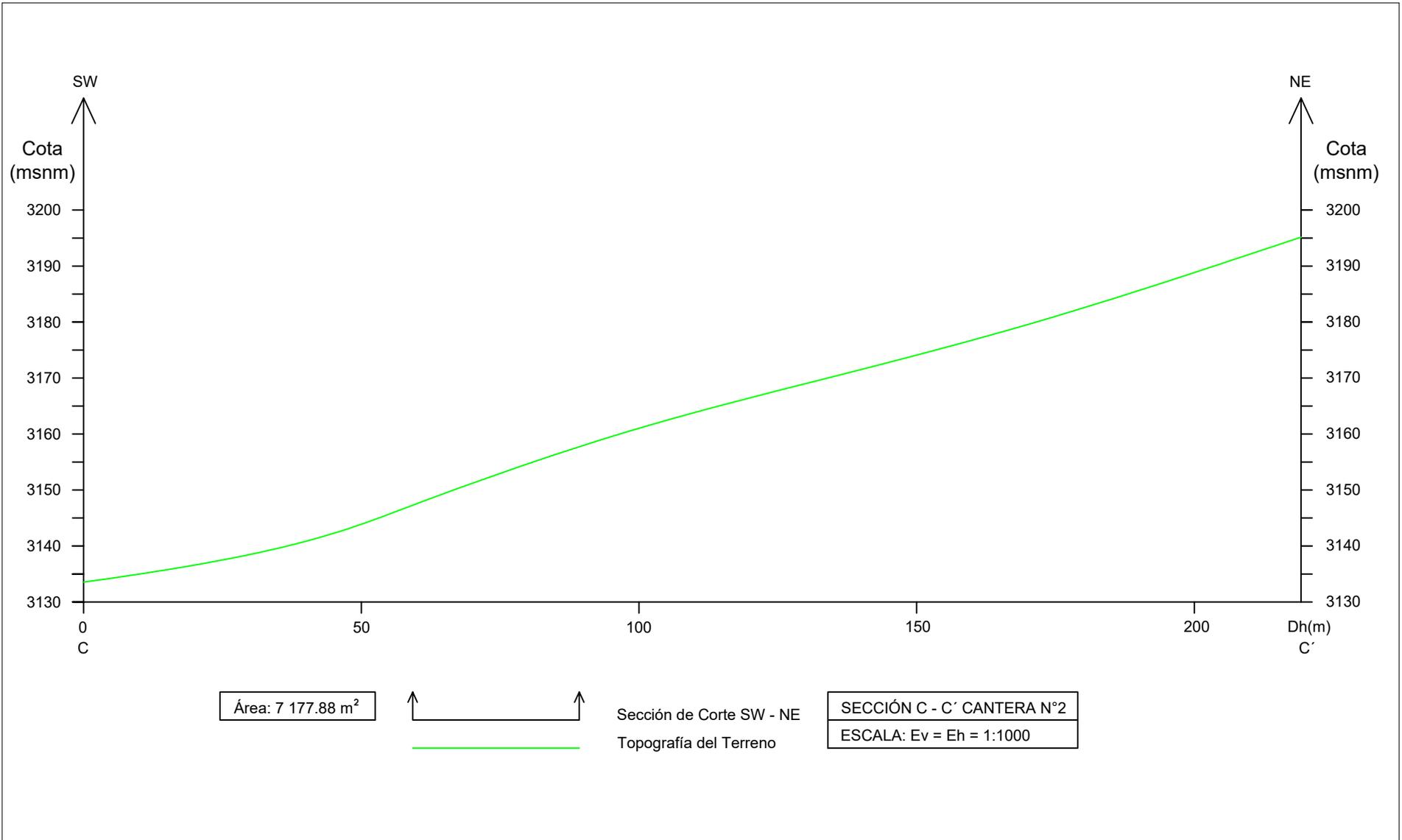
Sección de Corte SW - NE

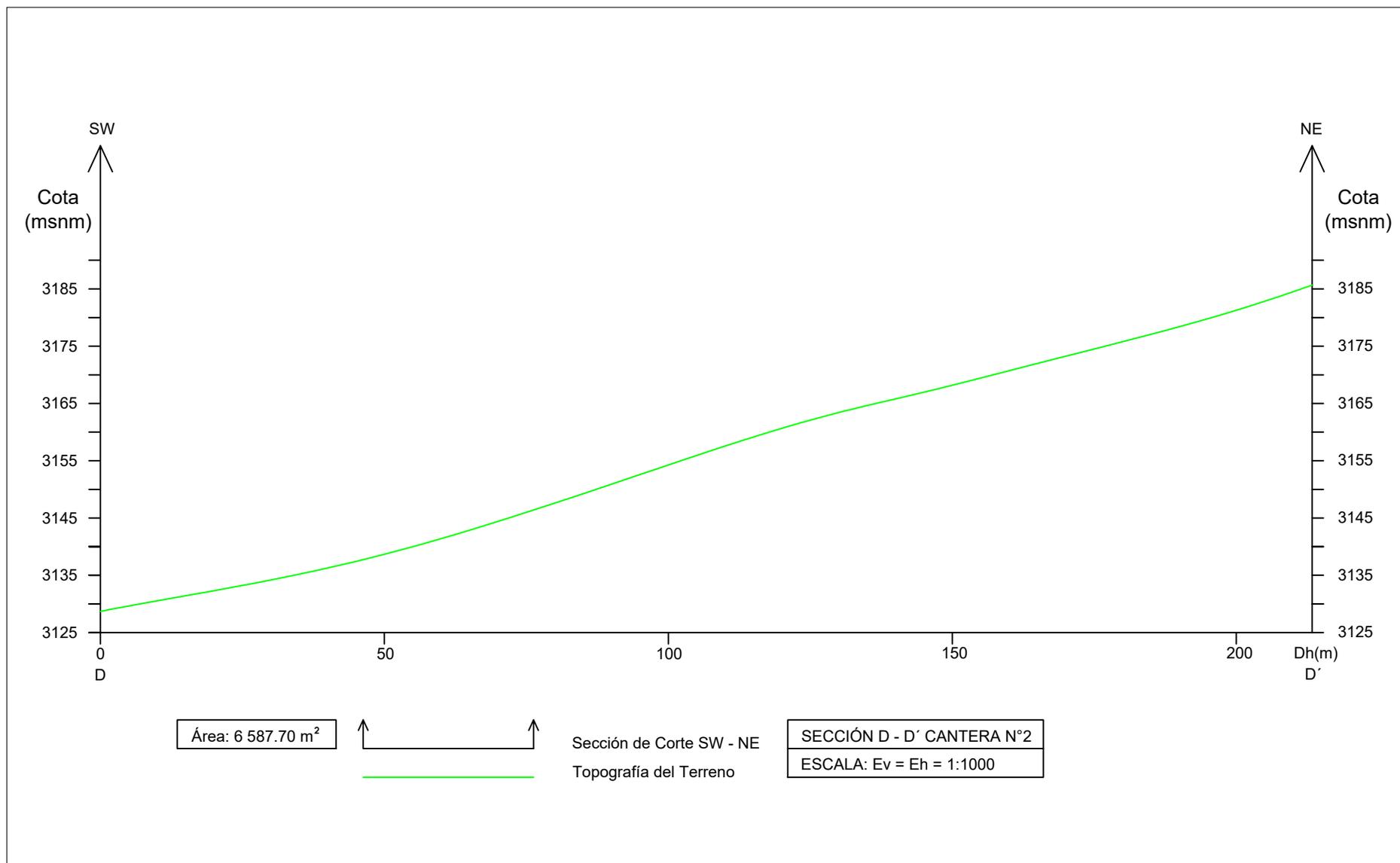
SECCIÓN A - A' CANTERA N°2
 ESCALA: Ev = Eh = 1:500

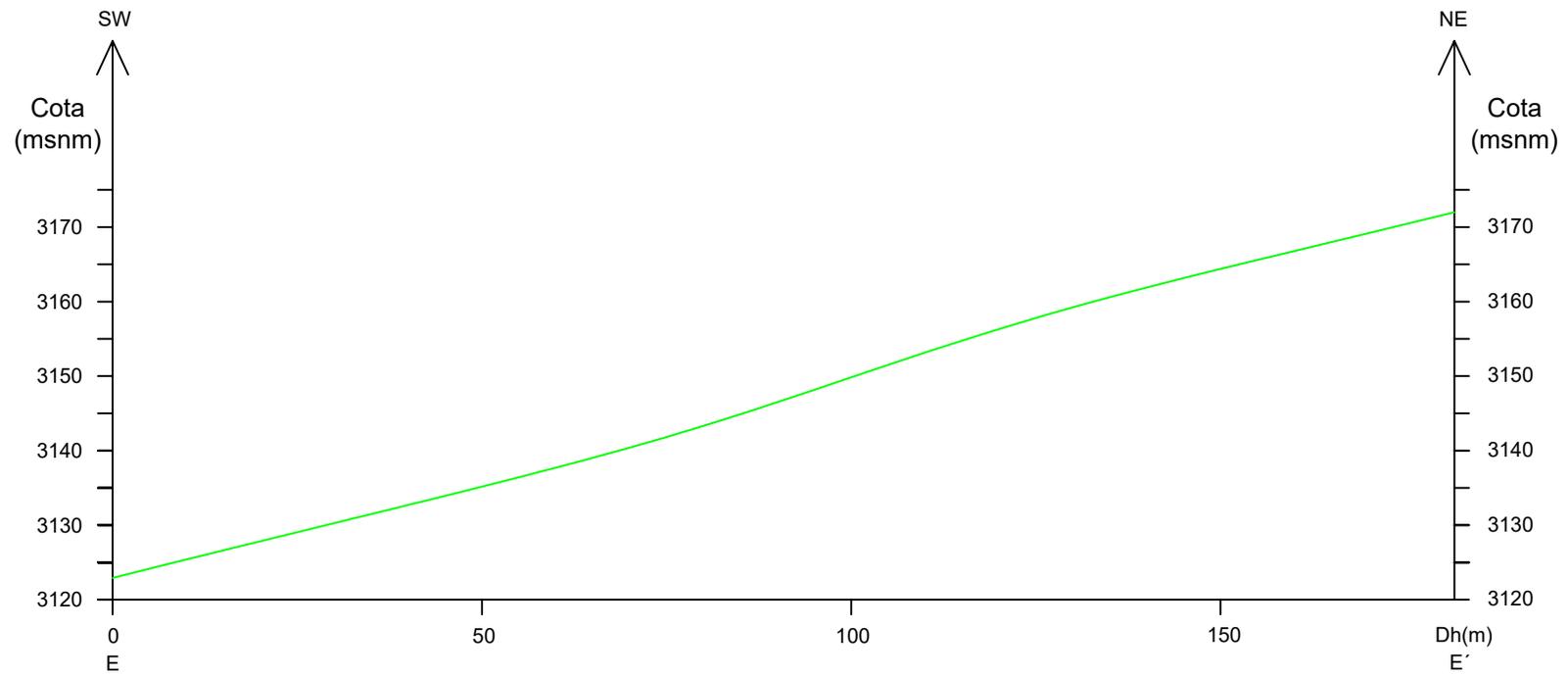
Área: 2 213.48 m²

Topografía del Terreno







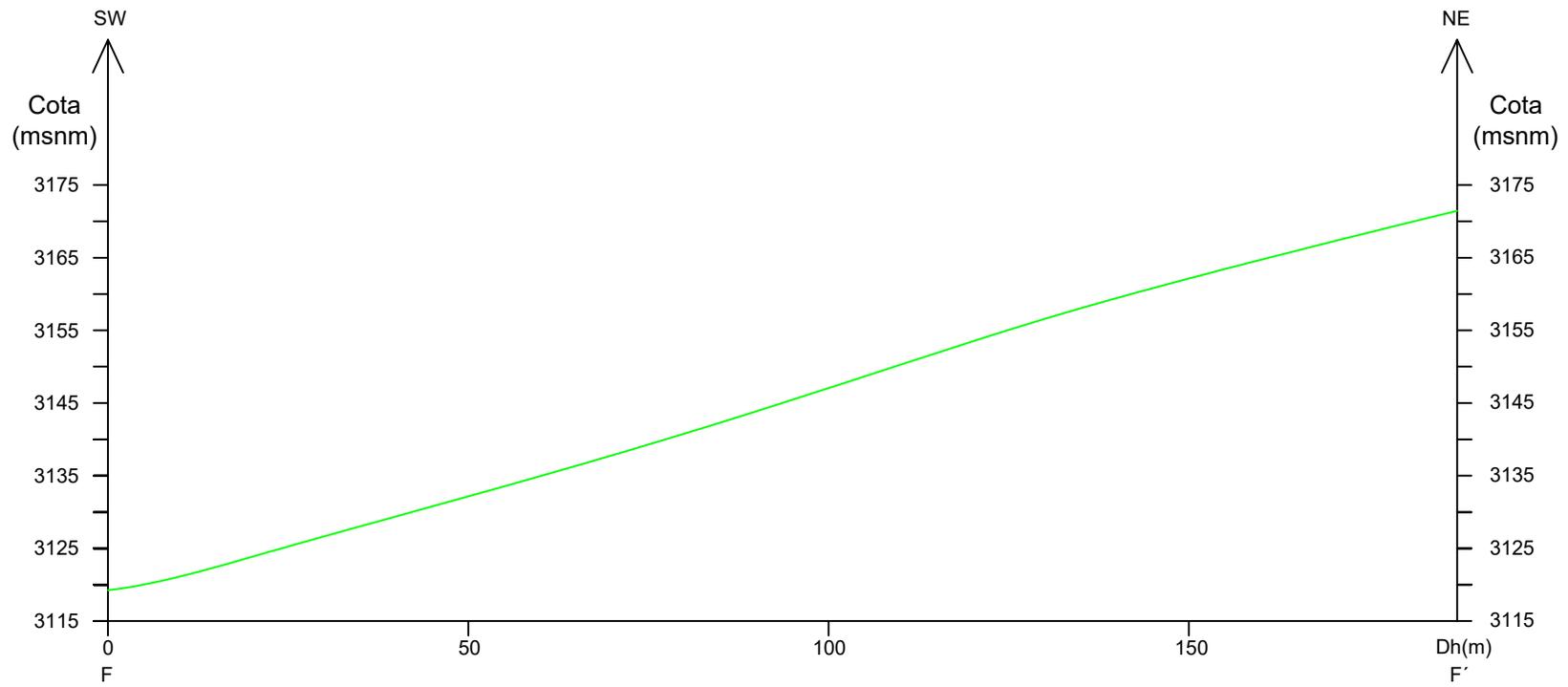


Área: 4 964.15 m²

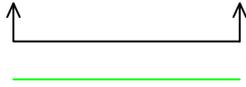


Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN E - E' CANTERA N°2
ESCALA: Ev = Eh = 1:500



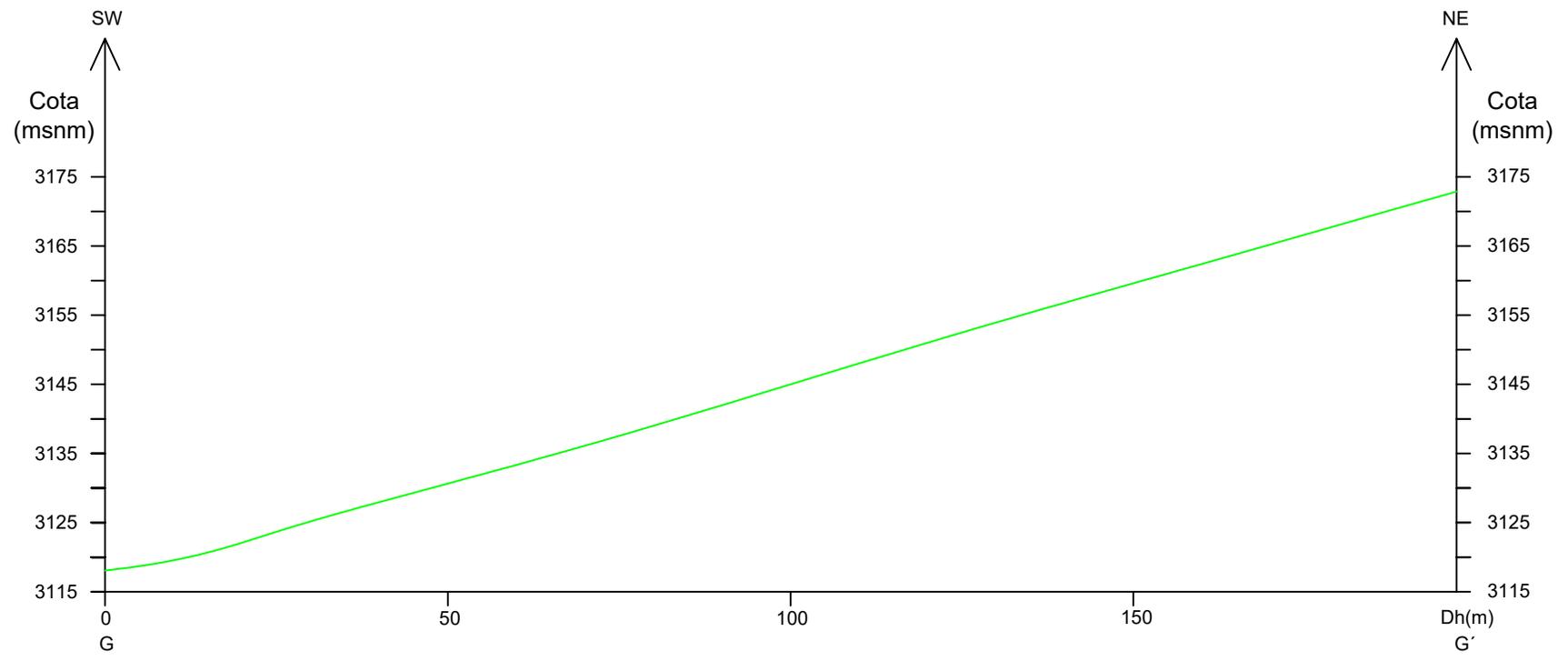
Área: 5 640.03 m²



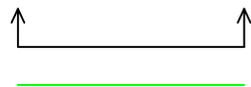
Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN F - F' CANTERA N°2

ESCALA: Ev = Eh = 1:1000

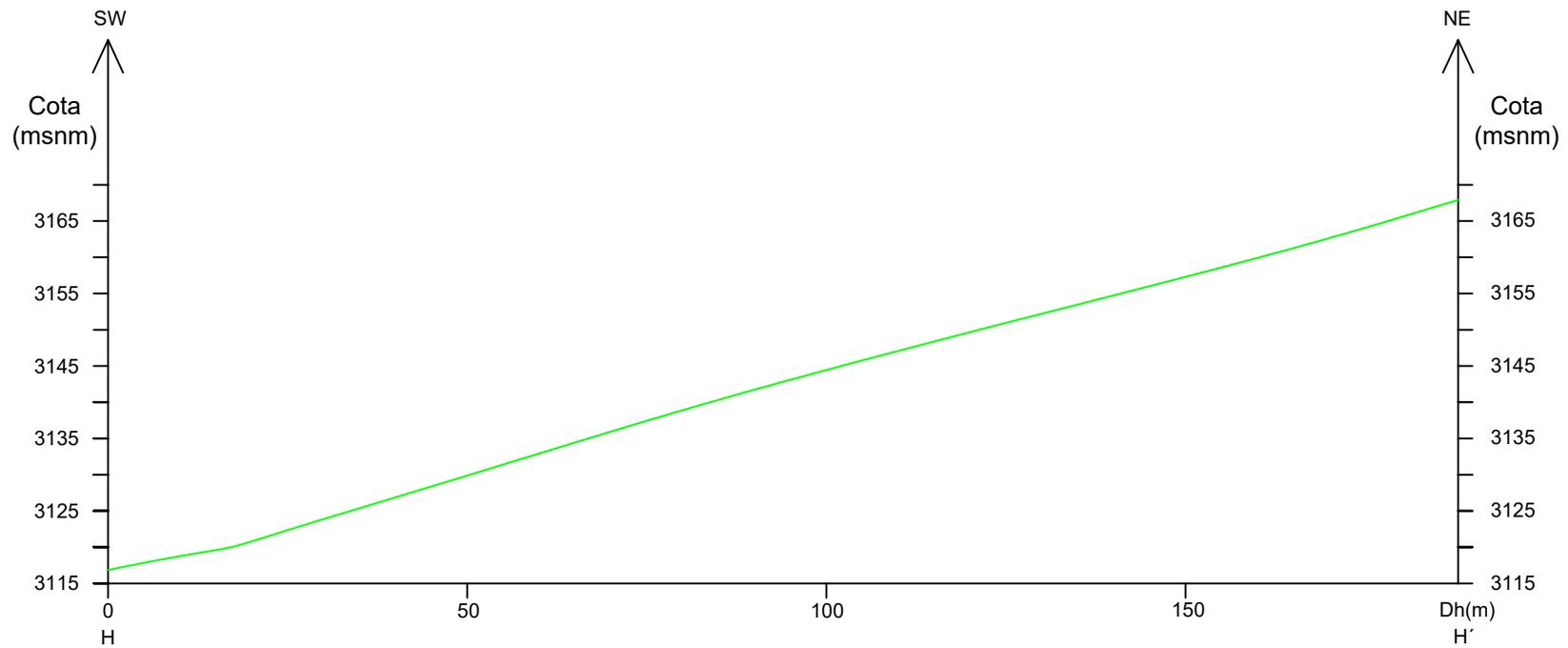


Área: 5 884.11 m²

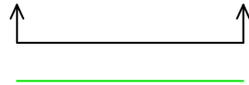


Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN G - G' CANTERA
Nº2
ESCALA: Ev = Eh = 1:1000

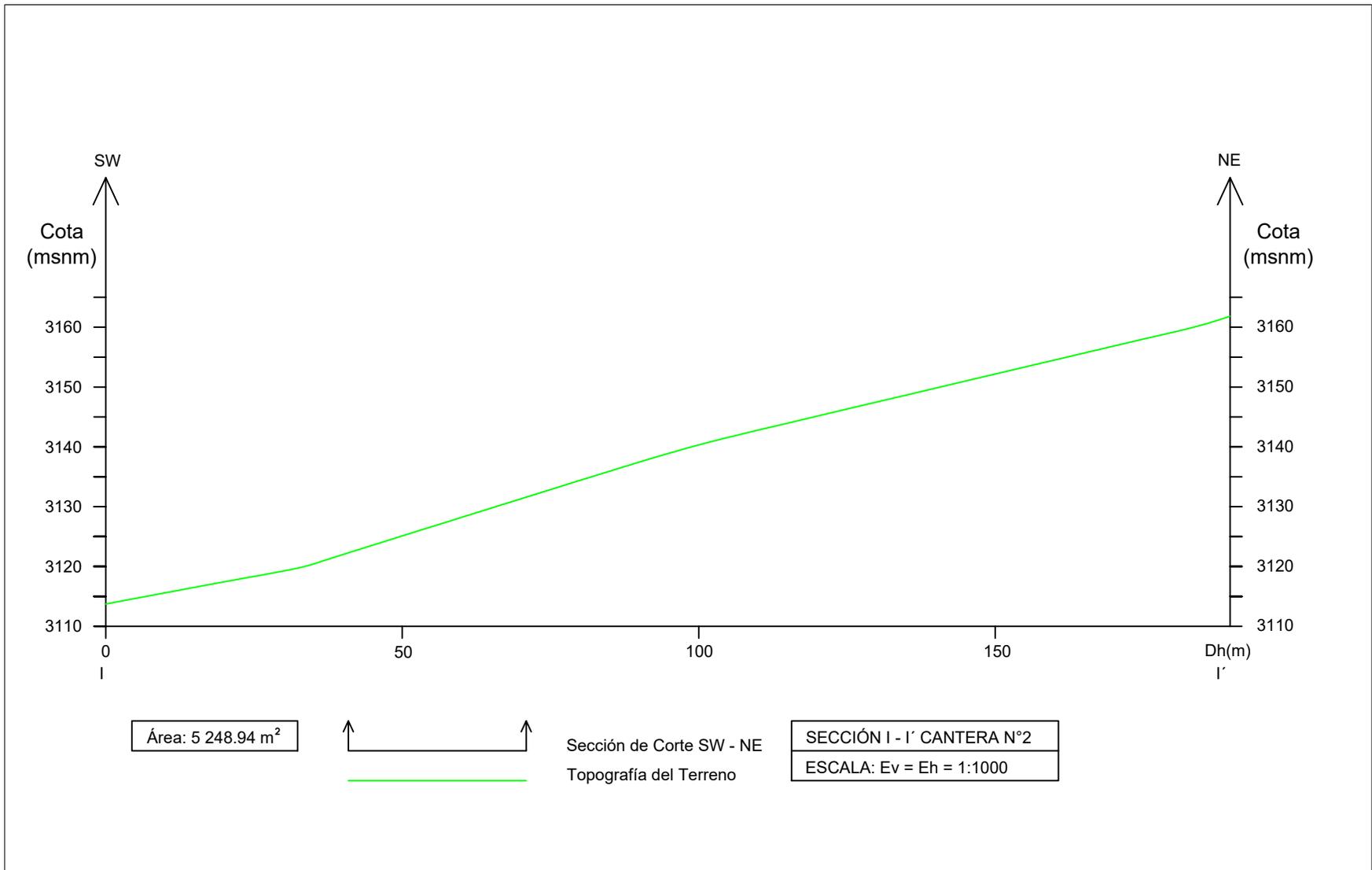


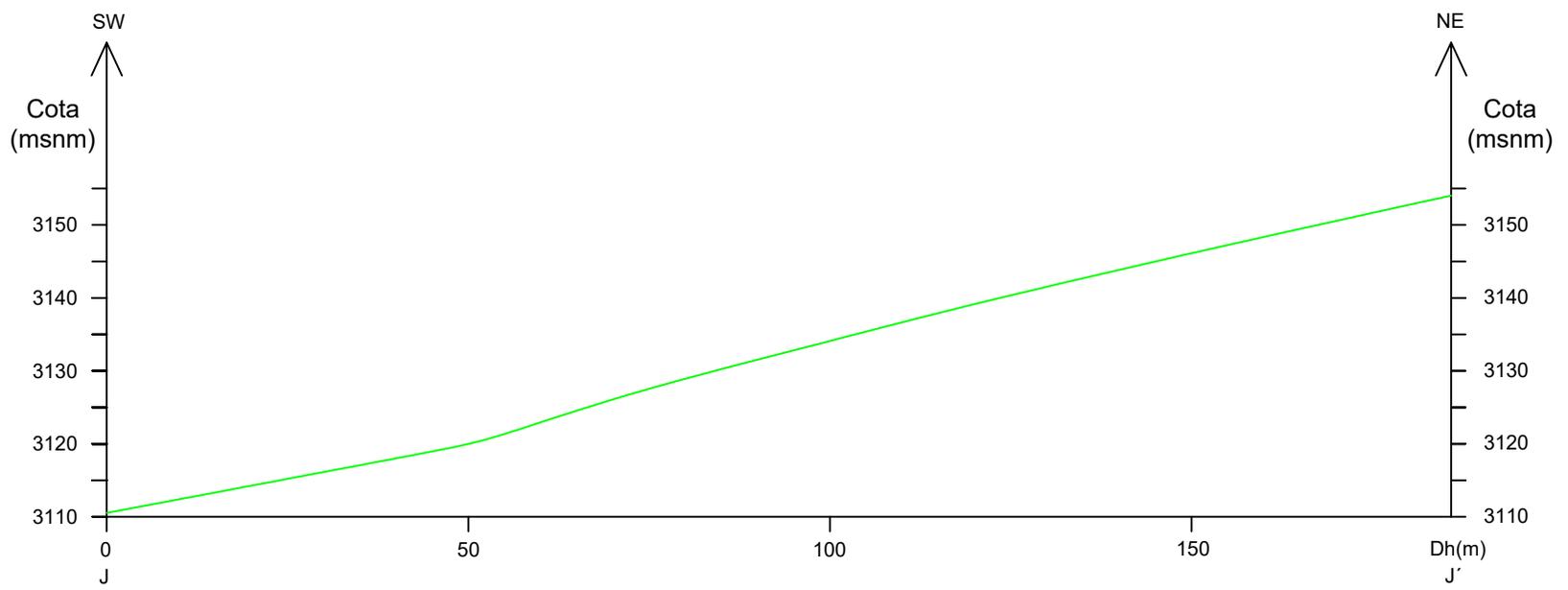
Área: 5 103.12 m²



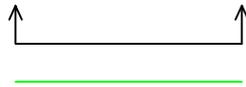
Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN H - H' CANTERA N°2
ESCALA: Ev = Eh = 1:1000



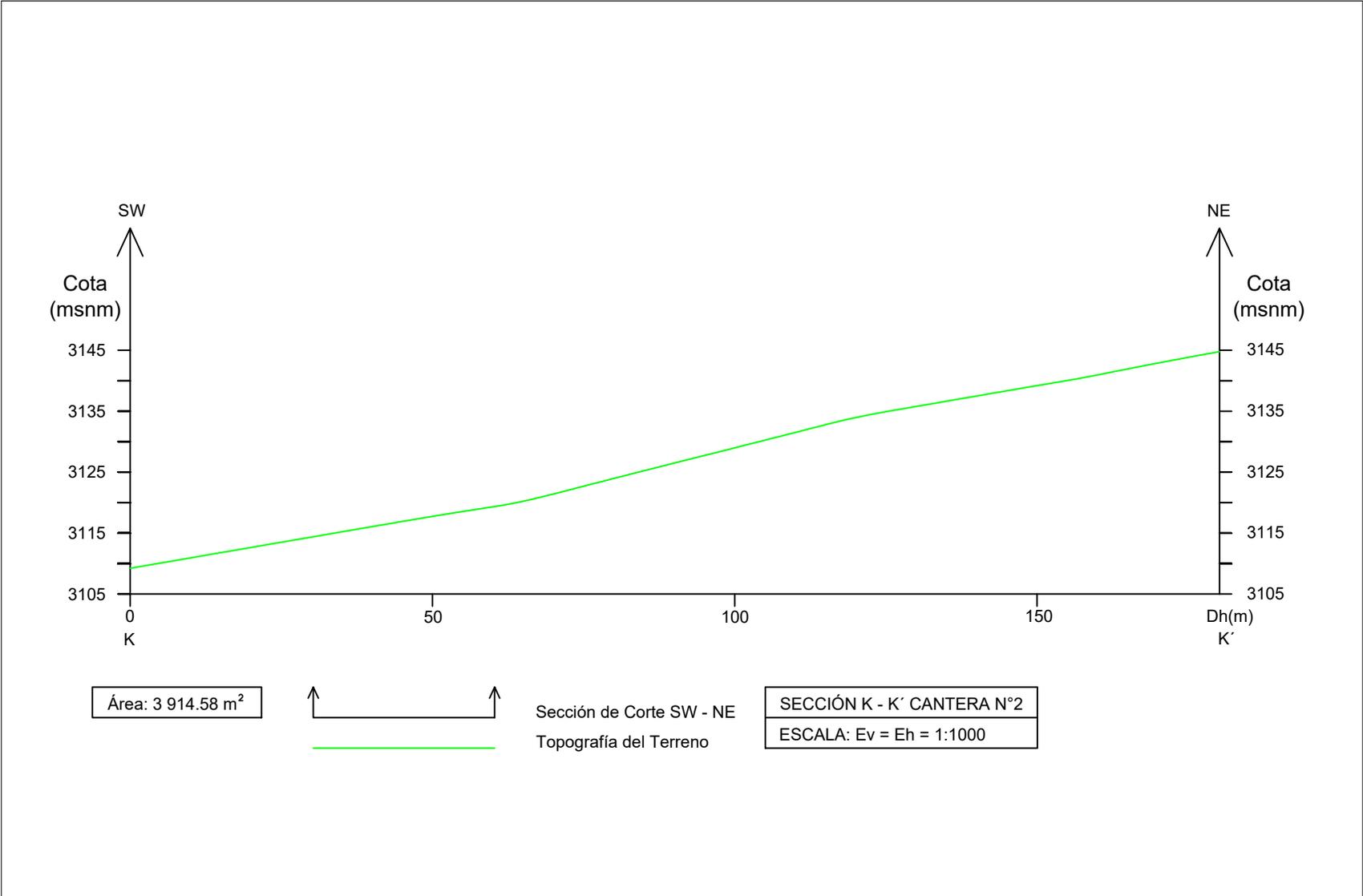


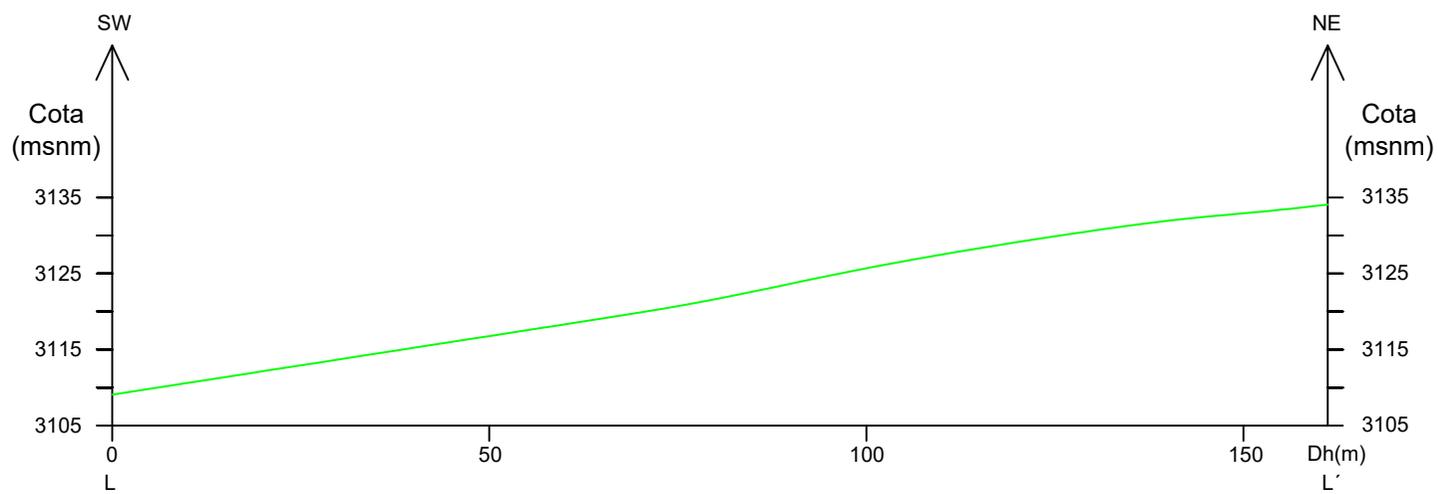
Área: 4 076.82 m²



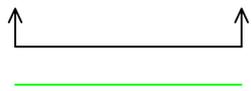
Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN J - J' CANTERA N°2
ESCALA: Ev = Eh = 1:1000



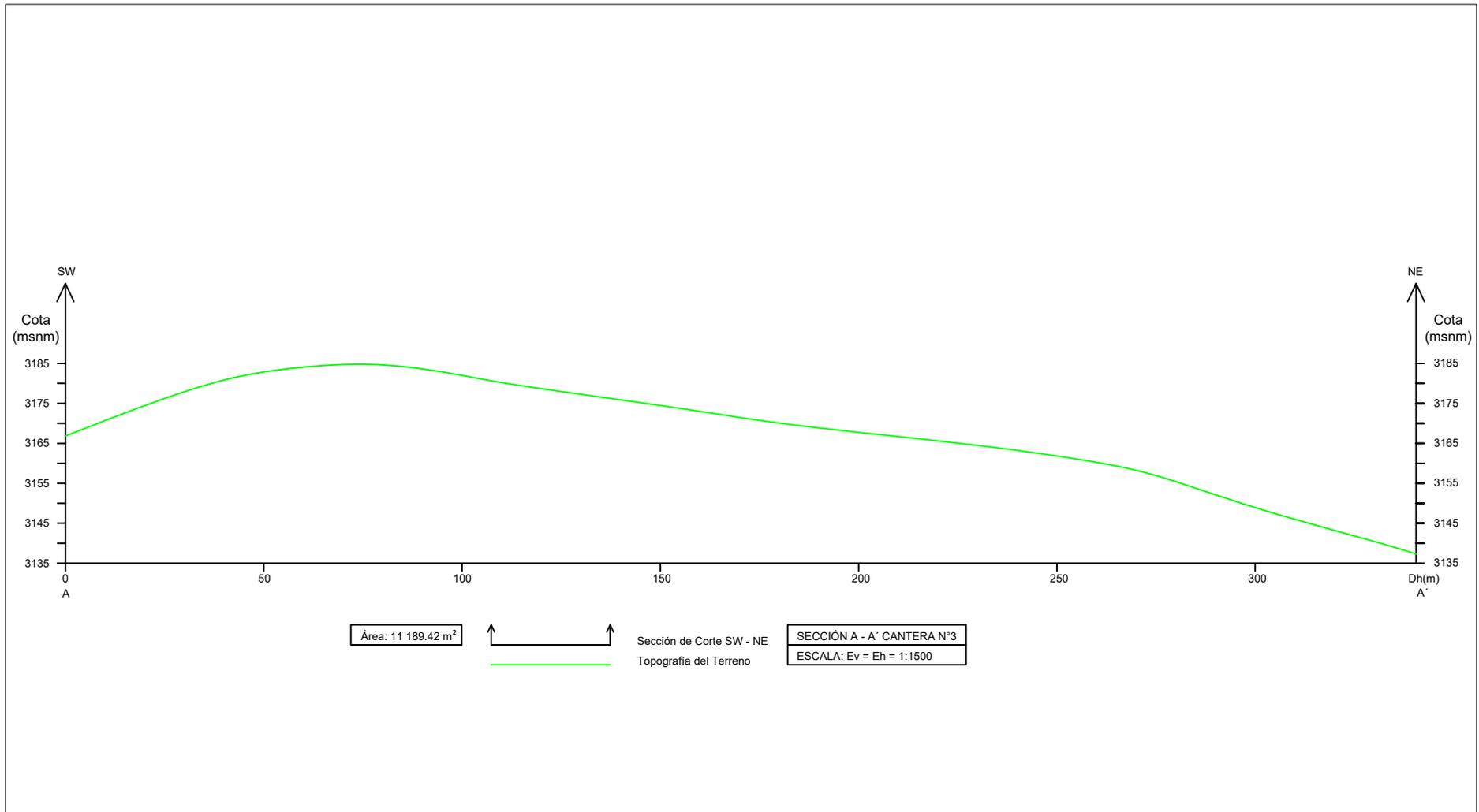


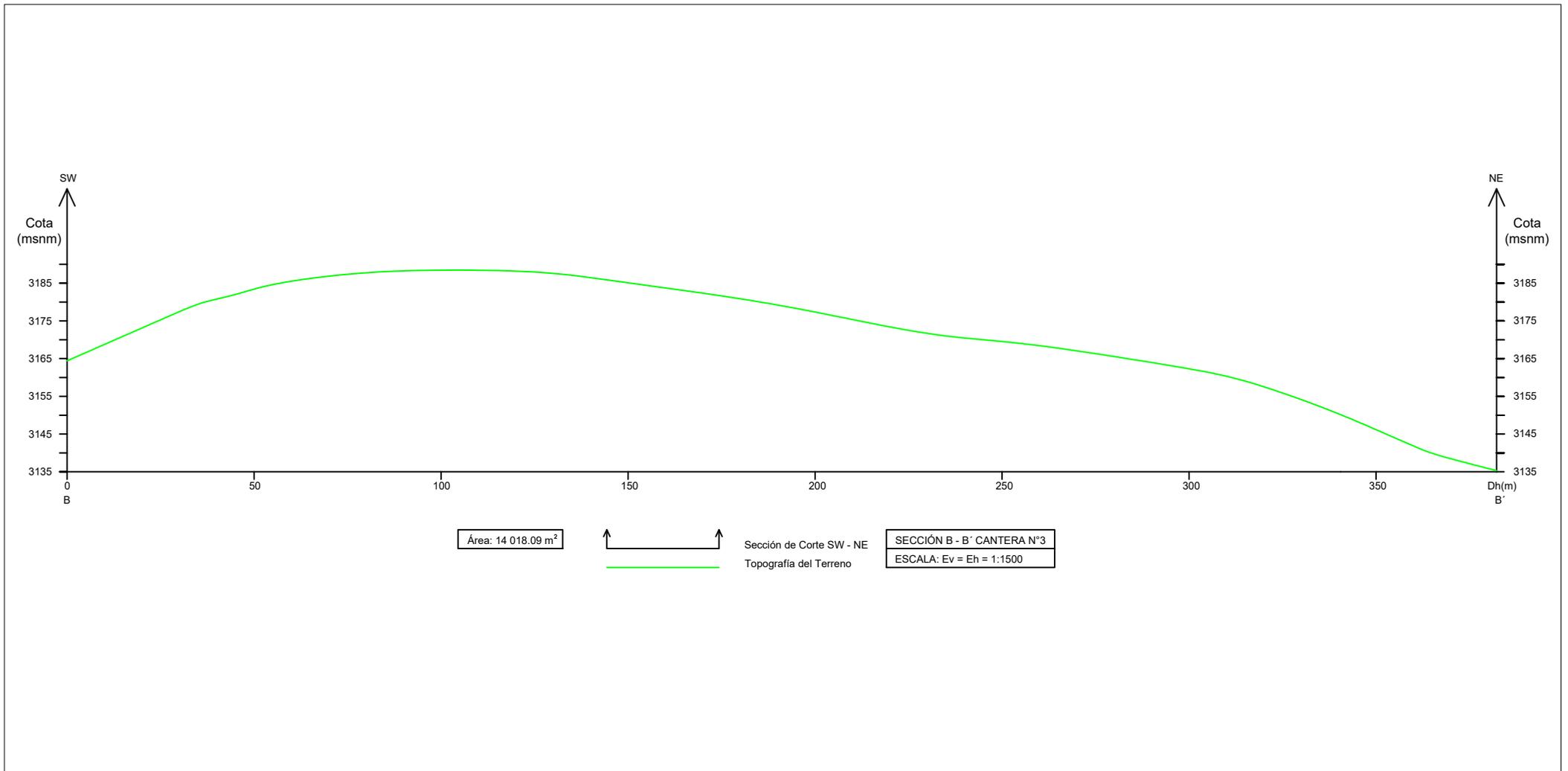
Área: 2 754.49 m²

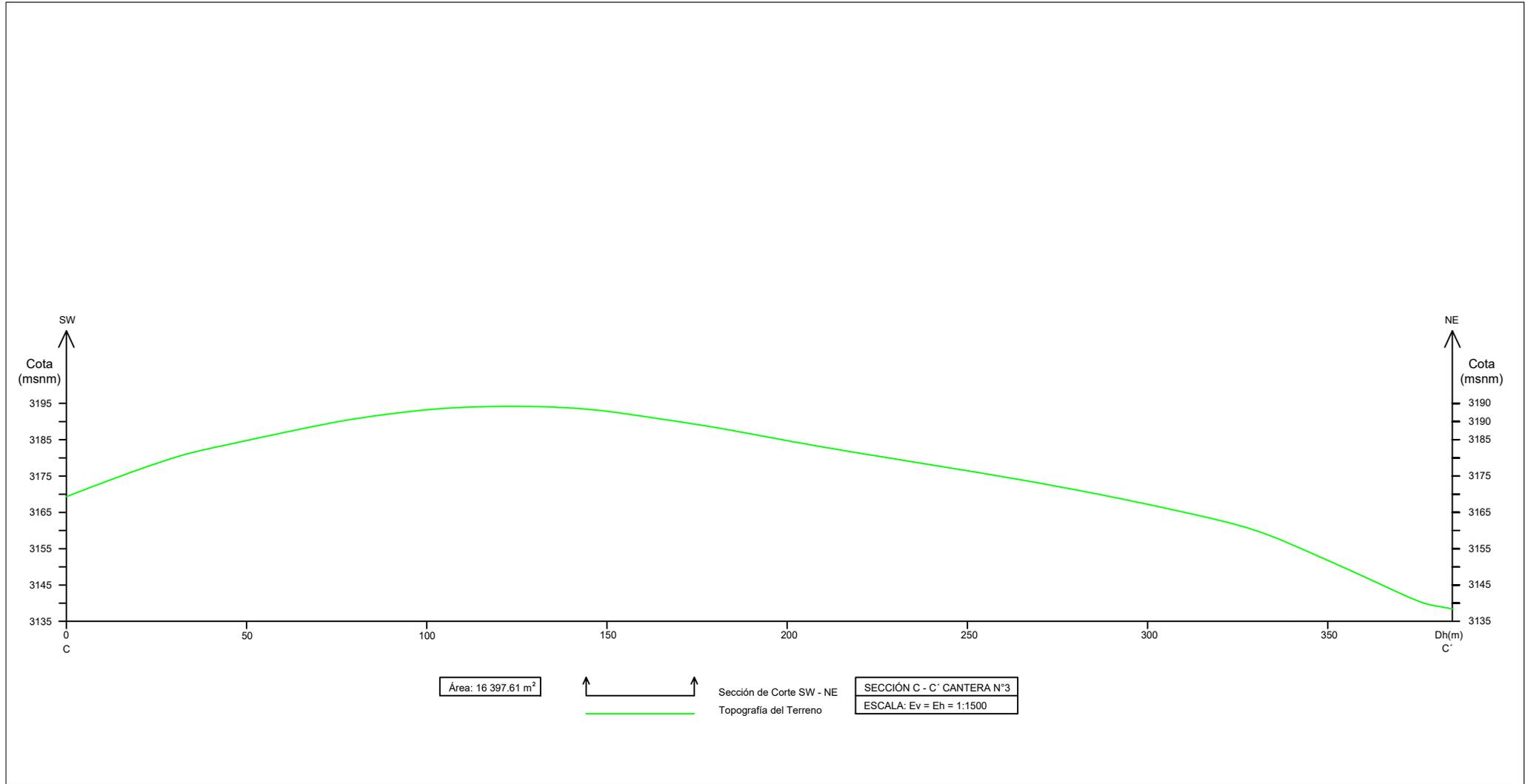


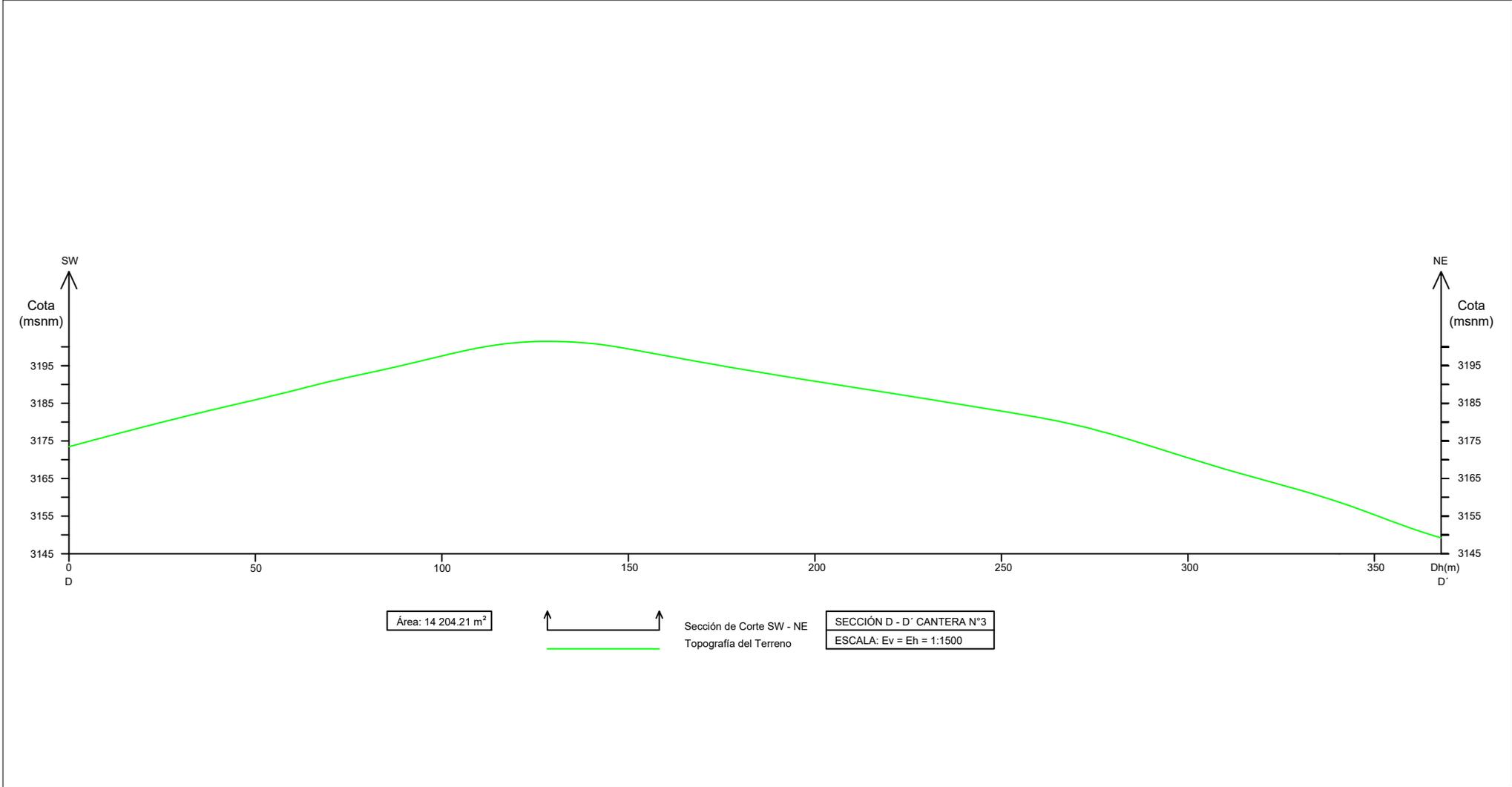
Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

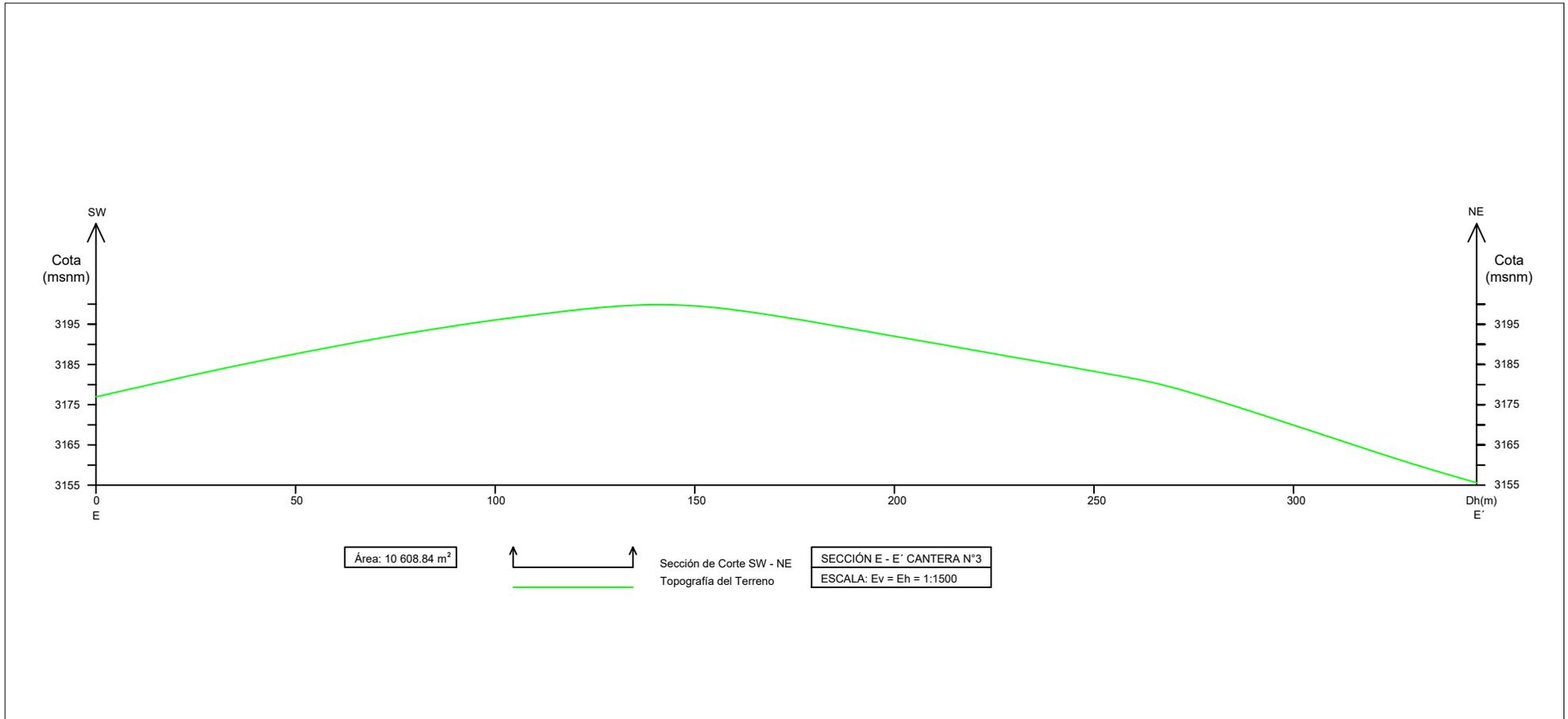
SECCIÓN L - L' CANTERA N°2
ESCALA: Ev = Eh = 1:1000

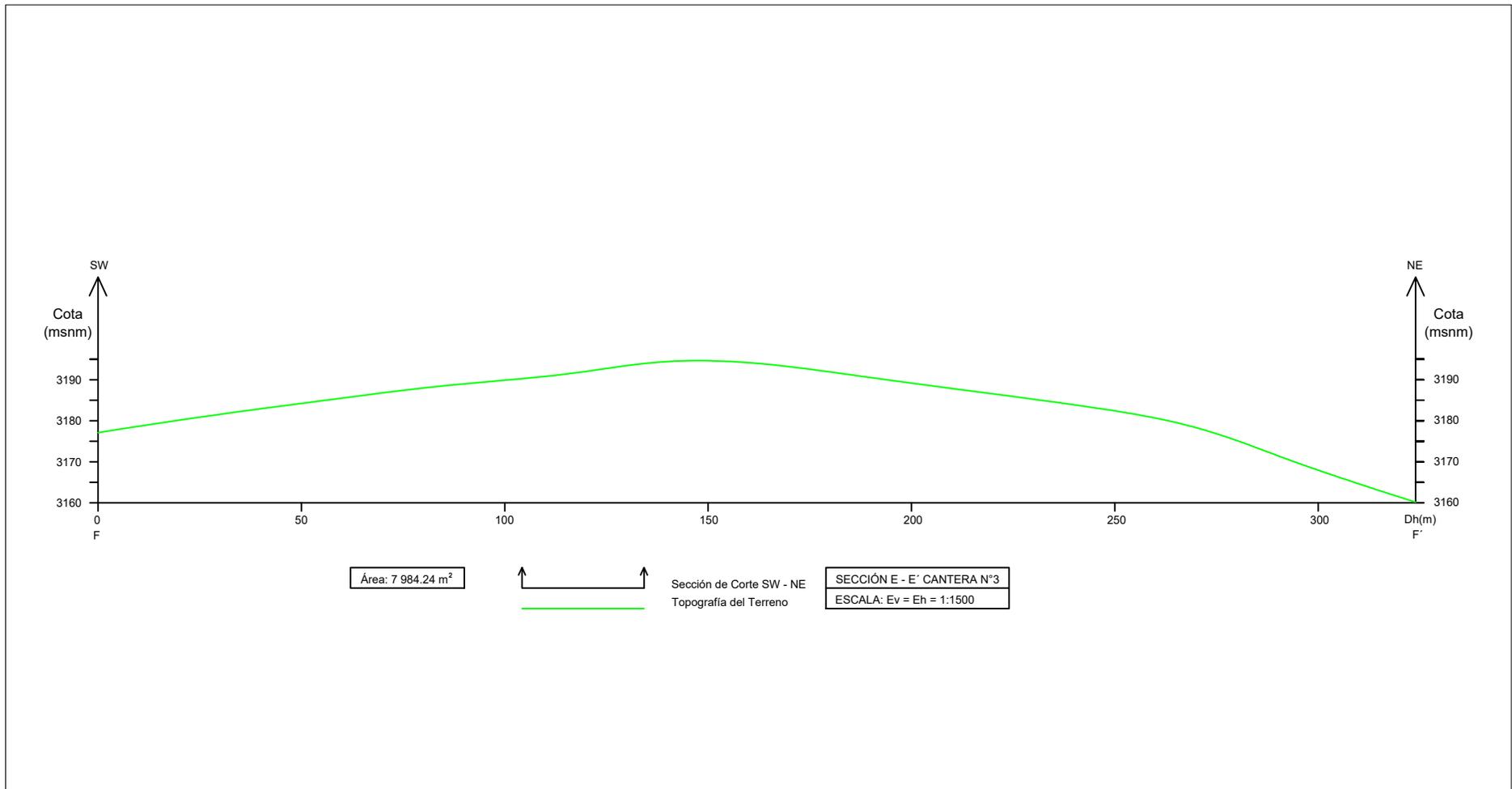


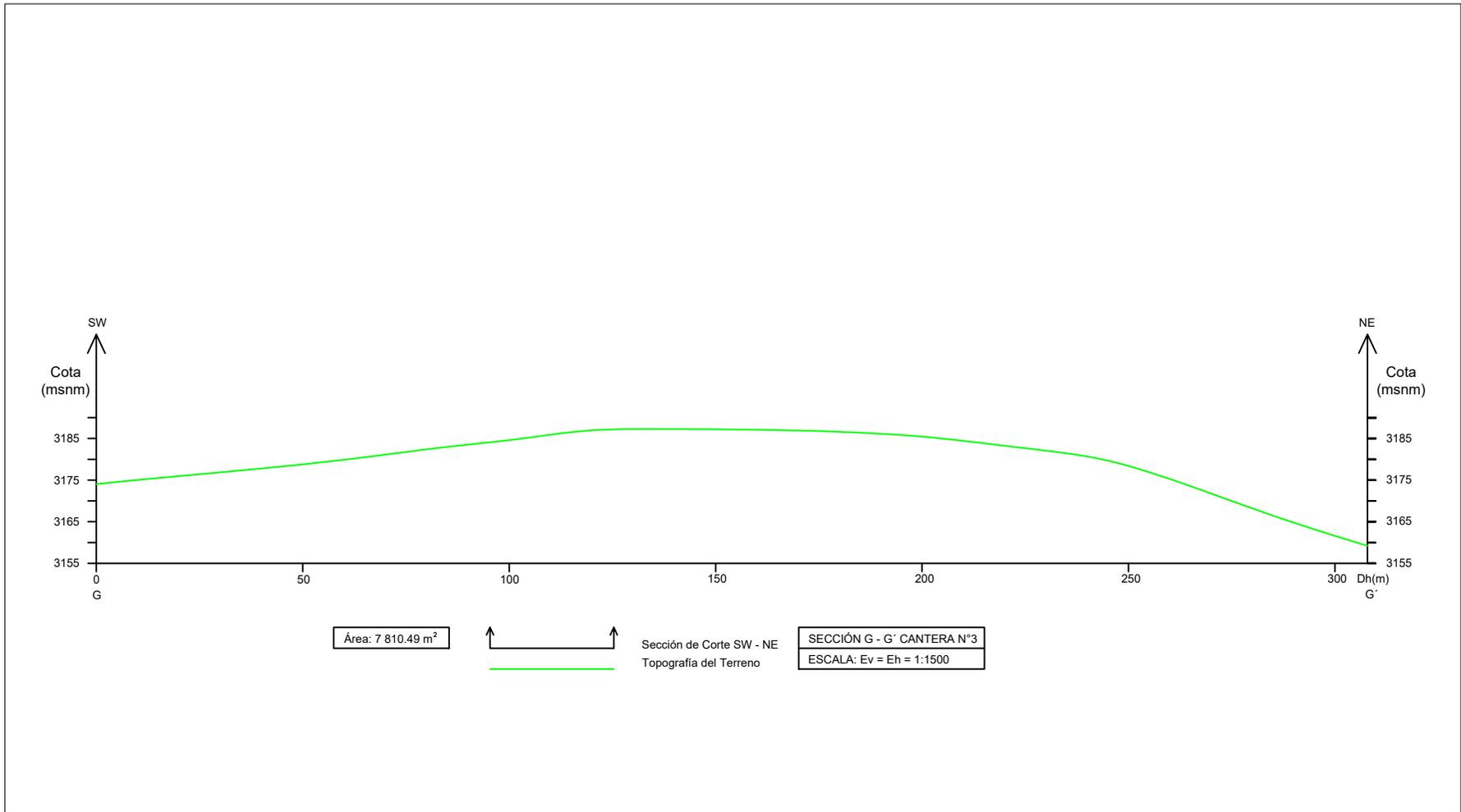


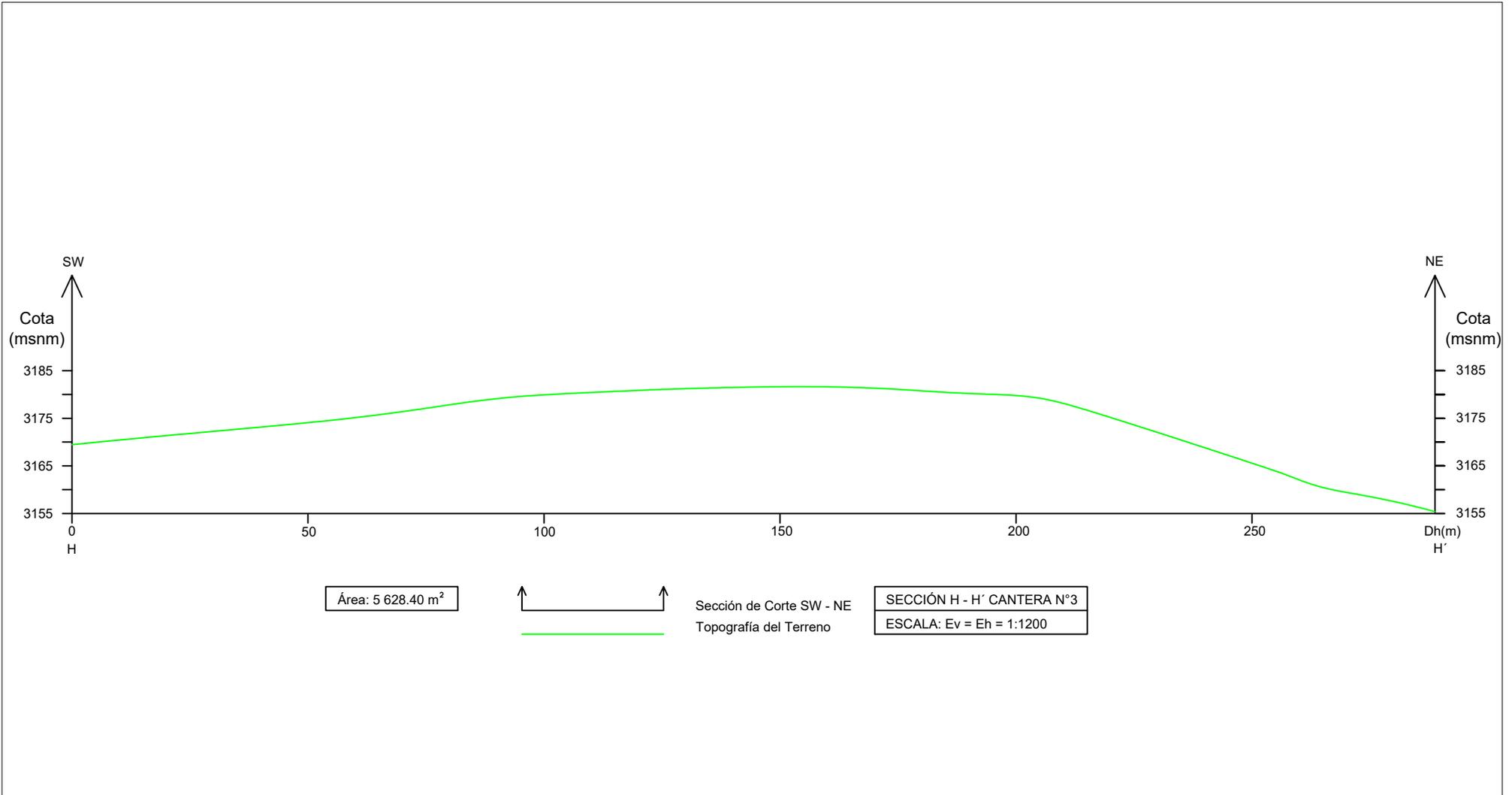


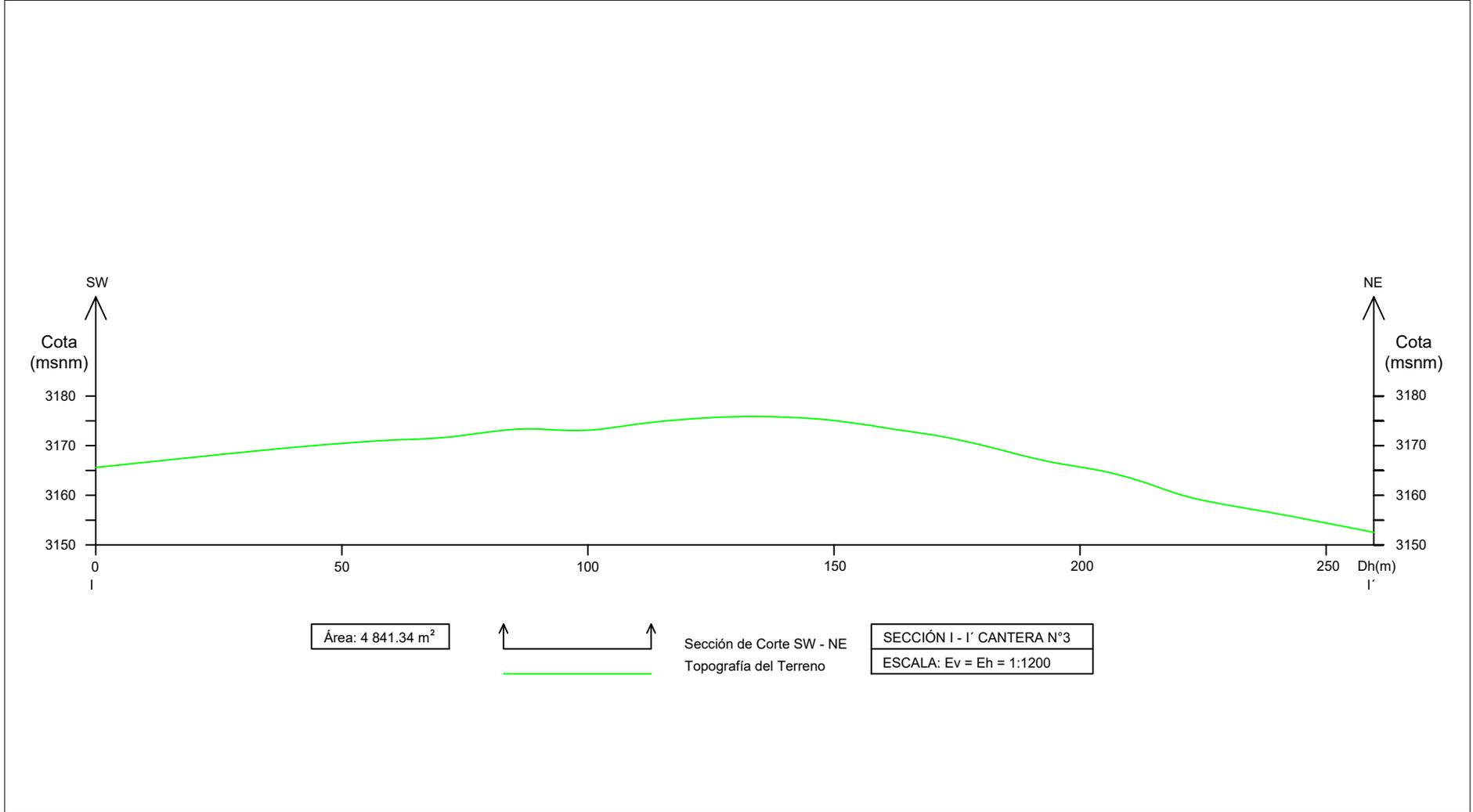


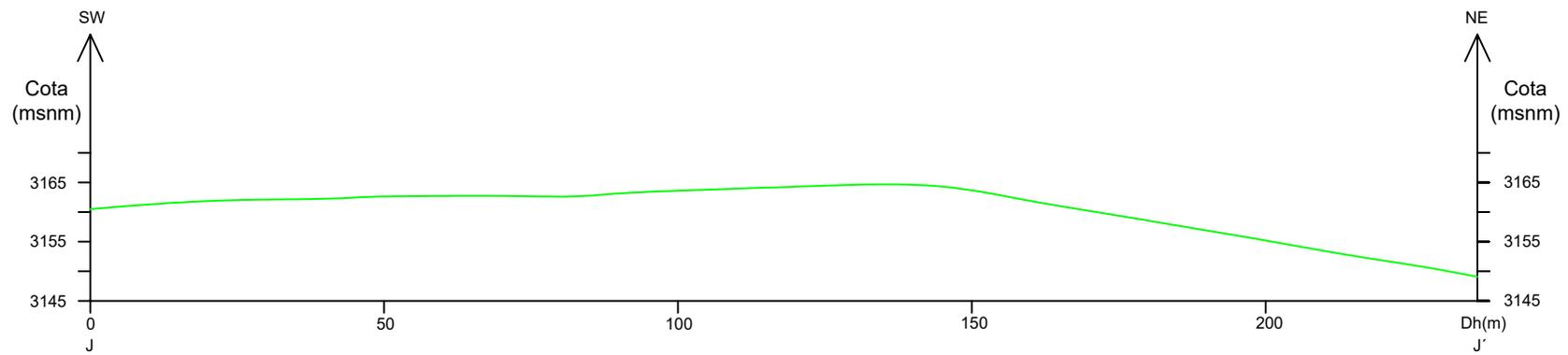




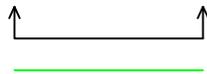






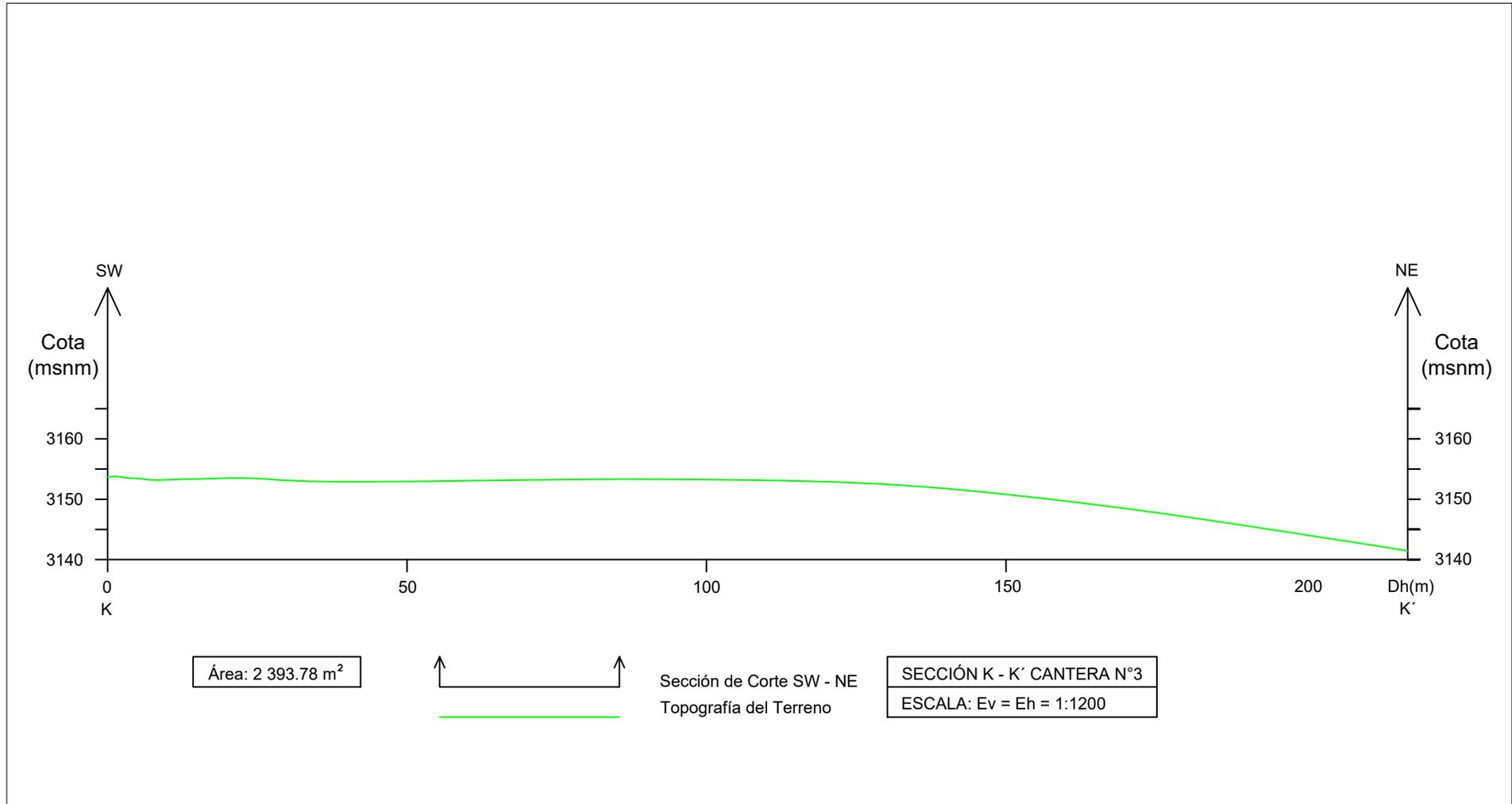


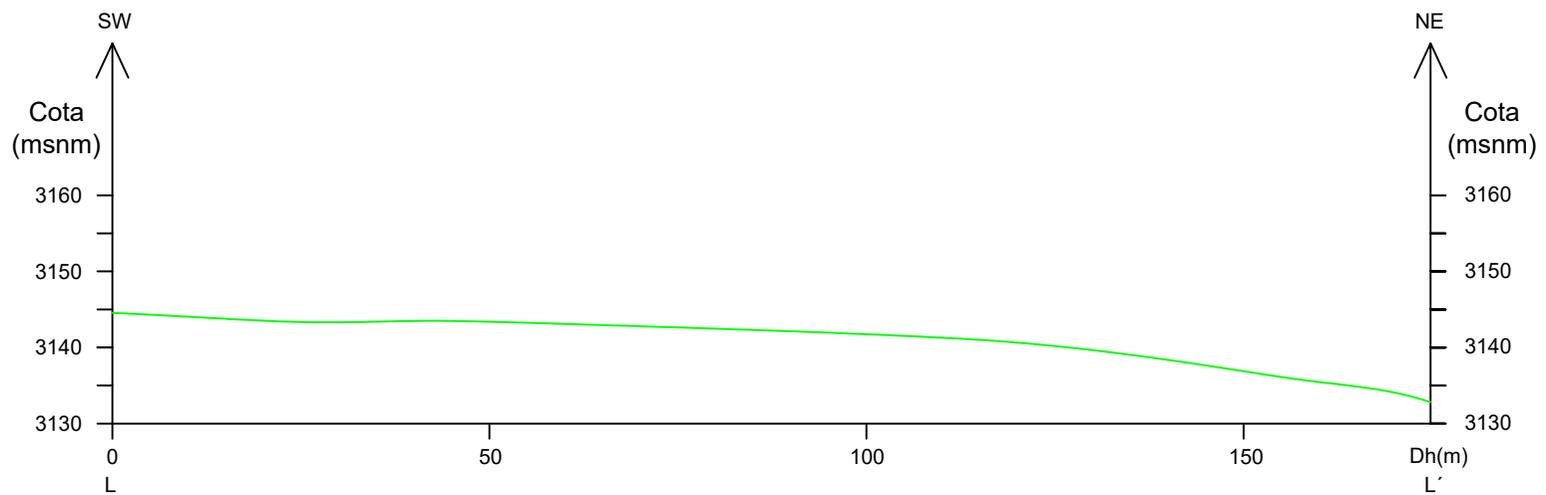
Área: 3 661.66 m²



Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN J - J' CANTERA N°3
ESCALA: Ev = Eh = 1:1200





Área: 1 944.48 m²



Sección de Corte SW - NE
Topografía del Terreno

SECCIÓN L - L' CANTERA N°3
ESCALA: Ev = Eh = 1:1000

ANEXO IV. IMAGEN SATELITAL Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

ANEXO V. PLANO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

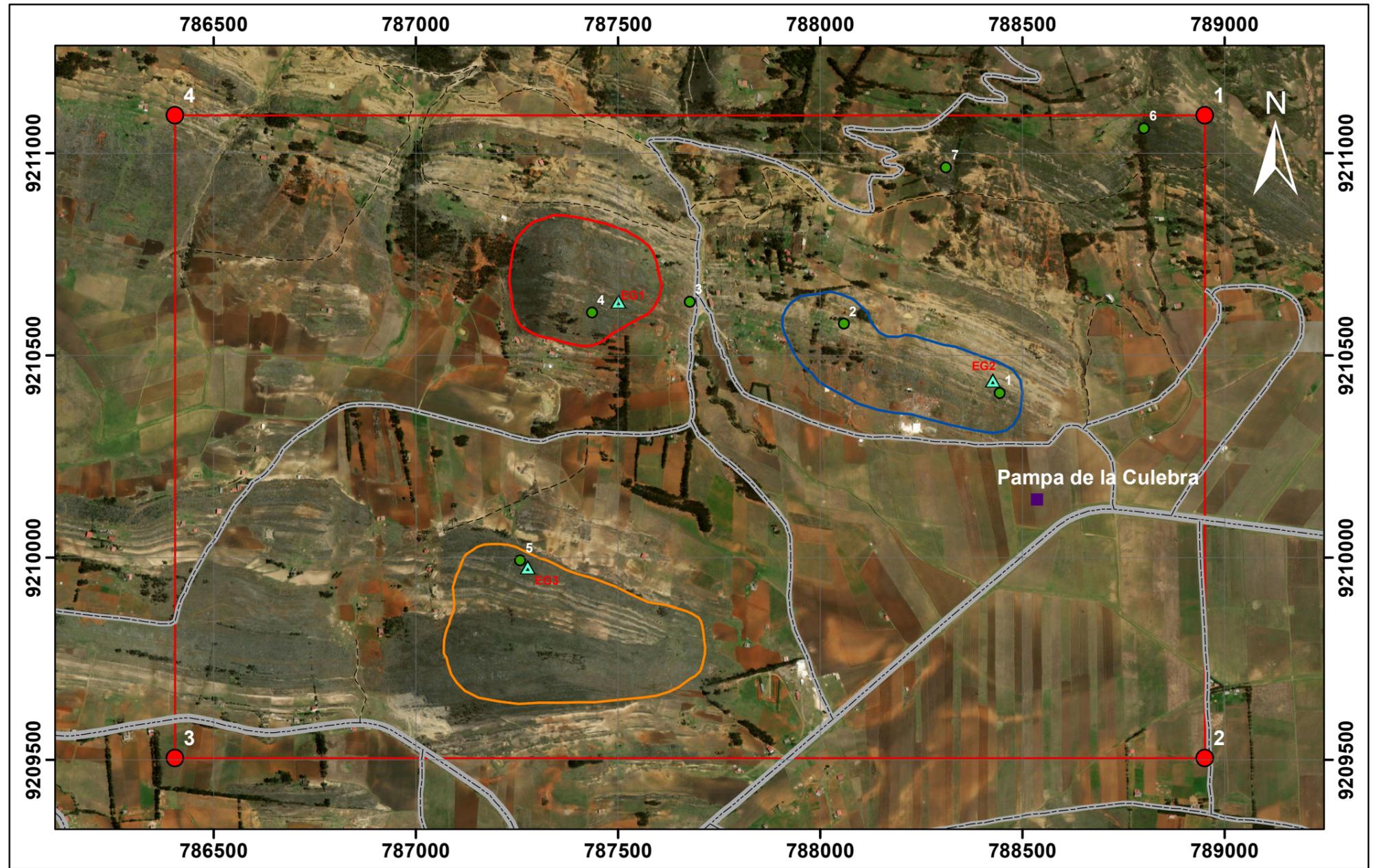
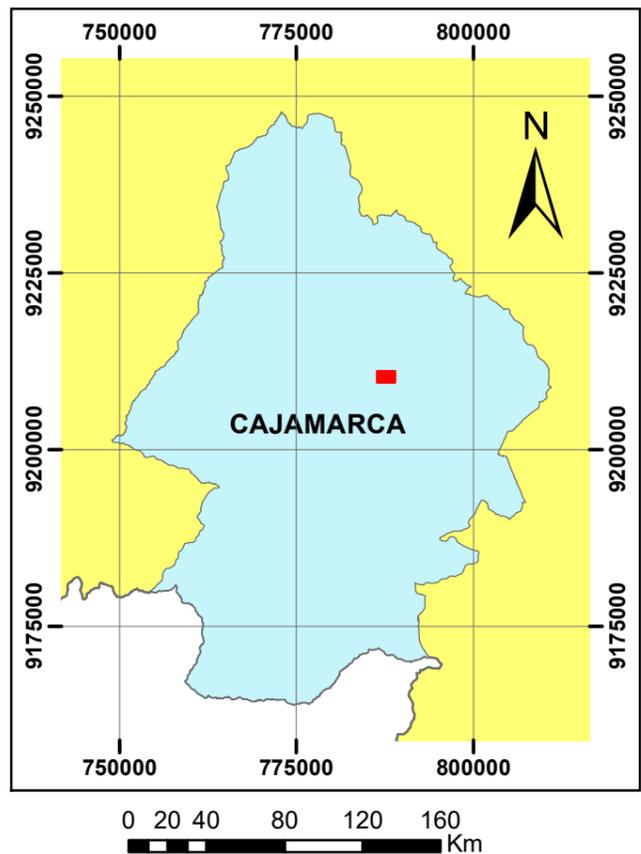
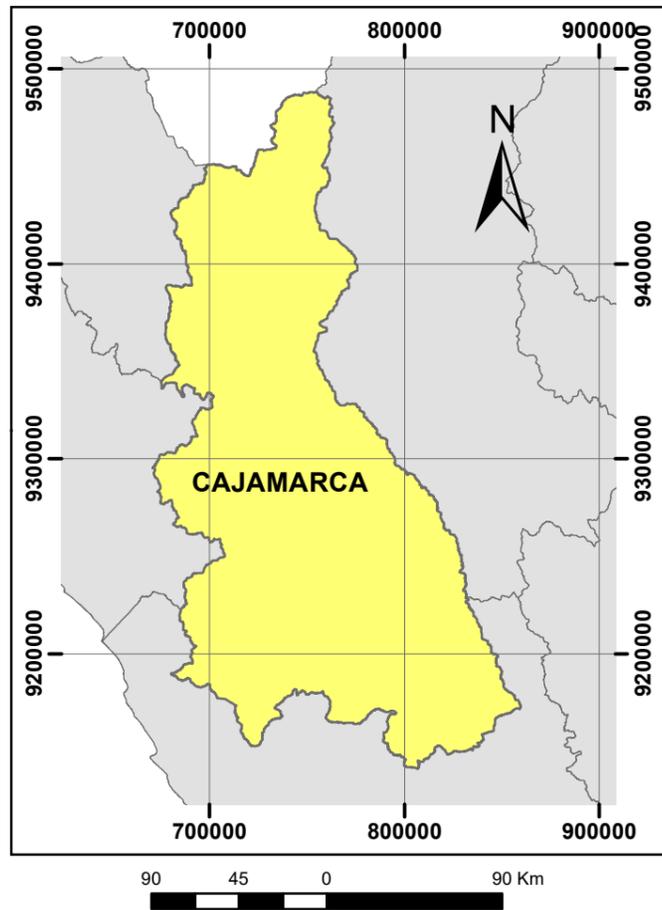
ANEXO VI. MDE Y UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

ANEXO VII. SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°1

ANEXO VIII. SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°2

ANEXO IX. SECCIONES – ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE CANTERA N°3

IMAGEN SATELITAL Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN



SIMBOLOGÍA

- Área de Investigación
- Vértice
- ▲ Estación Geomecánica
- Muestra
- Cantera N°1
- Cantera N°2
- Cantera N°3

SIMBOLOGÍA

- Camino de herradura
- Carretera afirmada
- Trocha

CC.PP

- Pampa de la Culebra

Vértice	Este	Norte
1	788951	9211094
2	788951	9209505
3	786405	9209505
3	786405	9211094



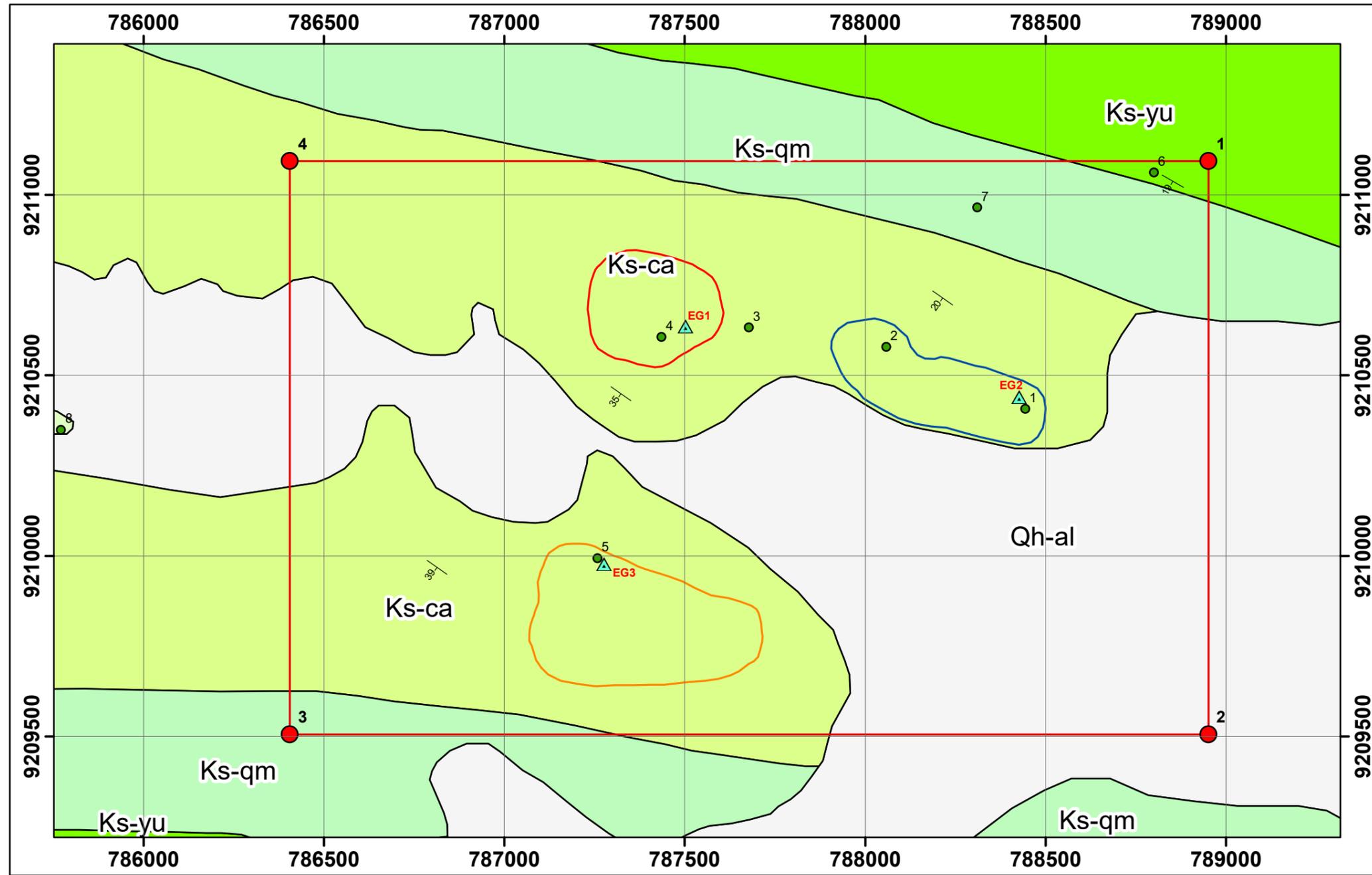
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO)
PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA

IMAGEN SATELITAL Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Agosto - 2022
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chión Alcides	Escala 1: 12 000

PLANO GEOLÓGICO



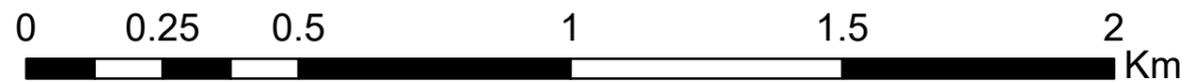
SIMBOLOGÍA

- Área de Investigación
- Vértice
- Muestra
- | Rb/Bz
- ▲ Estación Geomecánica
- Cantera N°1
- Cantera N°2
- Cantera N°3

LEYENDA

GEOLOGÍA

- Ks-yu
- Ks-qm
- Ks-ca
- Ks-ce
- Qh-al



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -81.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Vértice	Este	Norte
1	788951	9211094
2	788951	9209505
3	786405	9209505
3	786405	9211094

Estación Geomecánica	Coordenadas UTM		Clasificaciones Geomecánicas		
	ESTE	NORTE	RQD	RMR	GSI
EG1	787500	9210634	76.52	68	63
EG2	788426	9210438	73.57	68	63
EG3	787275	9209976	77.65	70	65

FUENTE: INGEMMET (2023)



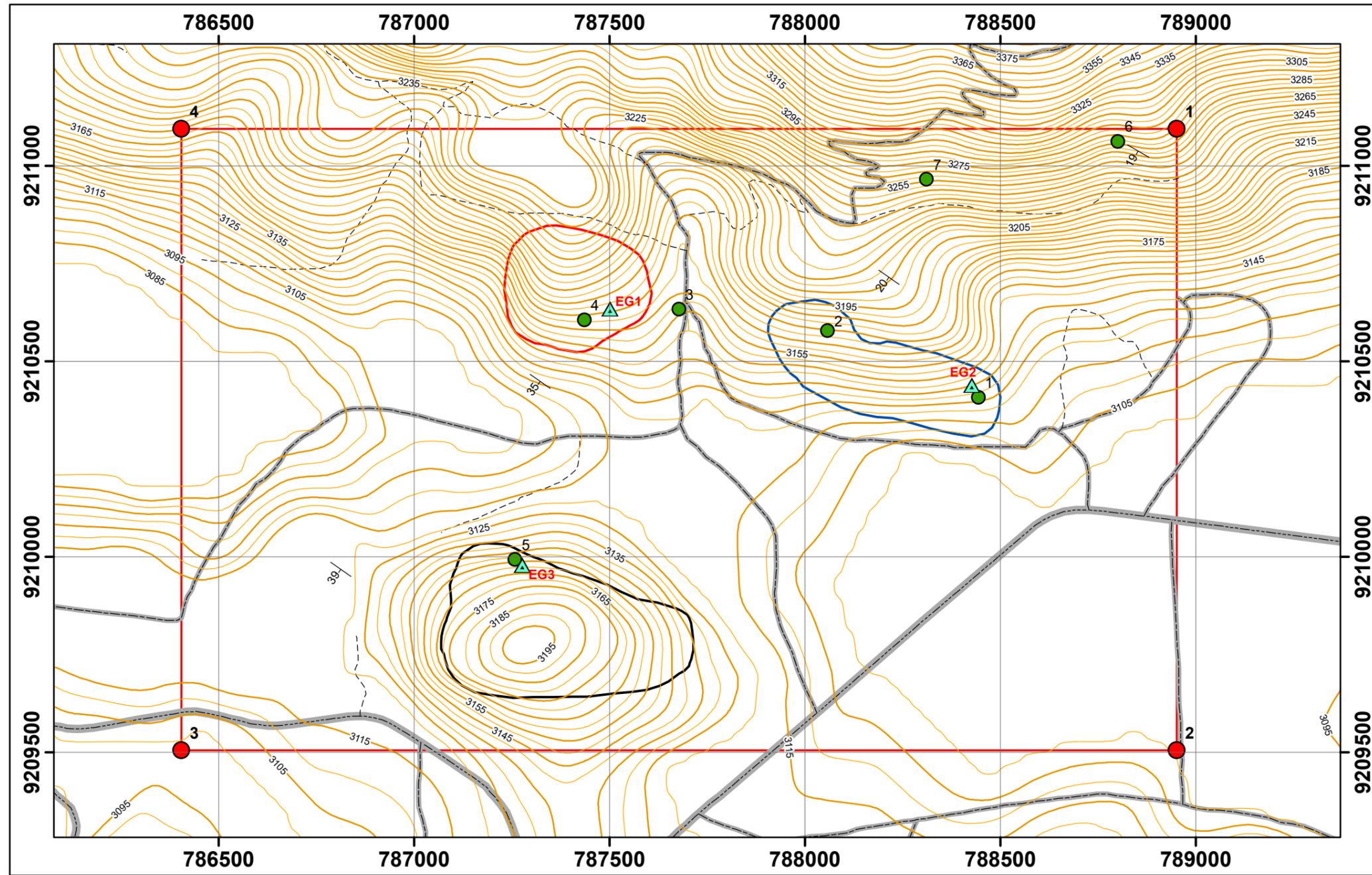
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA

PLANO GEOLÓGICO

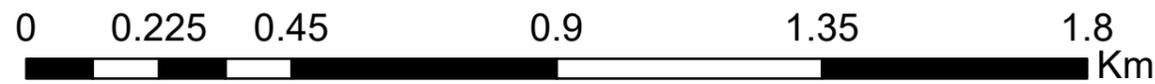
Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Aosto - 2022
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chión Alcides	Escala 1: 13 000

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



SIMBOLOGÍA

- Área de Investigación
- Vértice
- | Rb/Bz
- ▲ Estación Geomecánica
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Carretera Afirmada
- Trocha
- Camino de Herradura
- Cantera N°1
- Cantera N°2
- Cantera N°3



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -81.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Vértice	Este	Norte
1	788951	9211094
2	788951	9209505
3	786405	9209505
3	786405	9211094

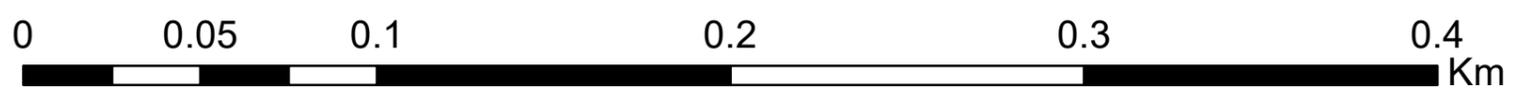
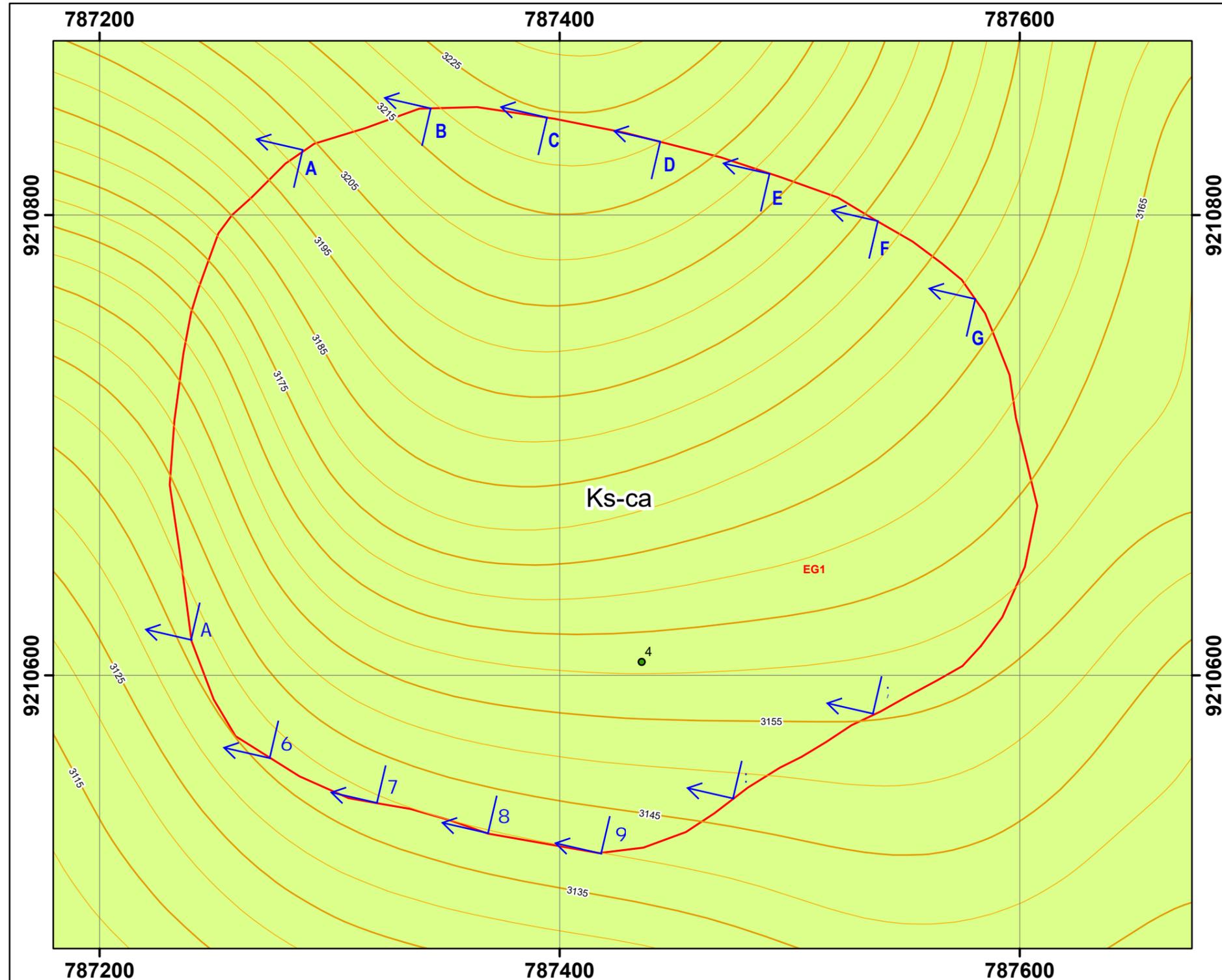
Vértice	Muestra	Coordenadas UTM		Formación Geológica
		ESTE	NORTE	
1	CALU-01	788613.91	9210470.98	Ks-ca
2	CALU-02	788058.22	9210577.99	Ks-ca
3	CALU-03	787677.37	9210632.41	Ks-ca
4	CALU-04	787435.69	9210605.81	Ks-ca
5	CALU-05	787258.24	9209992.92	Ks-ca
6	YU-01	788800.77	9211061.88	Ks-yu
7	QM-01	788310.63	9210964.72	Ks-qm
8	CE-01	785766.43	9210353.57	Ks-ce

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA

PLANO M DE (M ODELO DIGITAL DE ELEVACIONES)

Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Agosto - 2022
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chión Alcides	Escala 1: 12 000



CANTERA N°1



SIMBOLOGÍA

- Cantera N°1
- Rb/Bz
- Muestra
- Estación Geomecánica
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Secciones C1

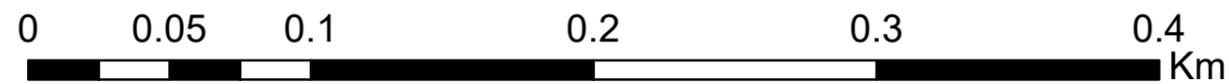
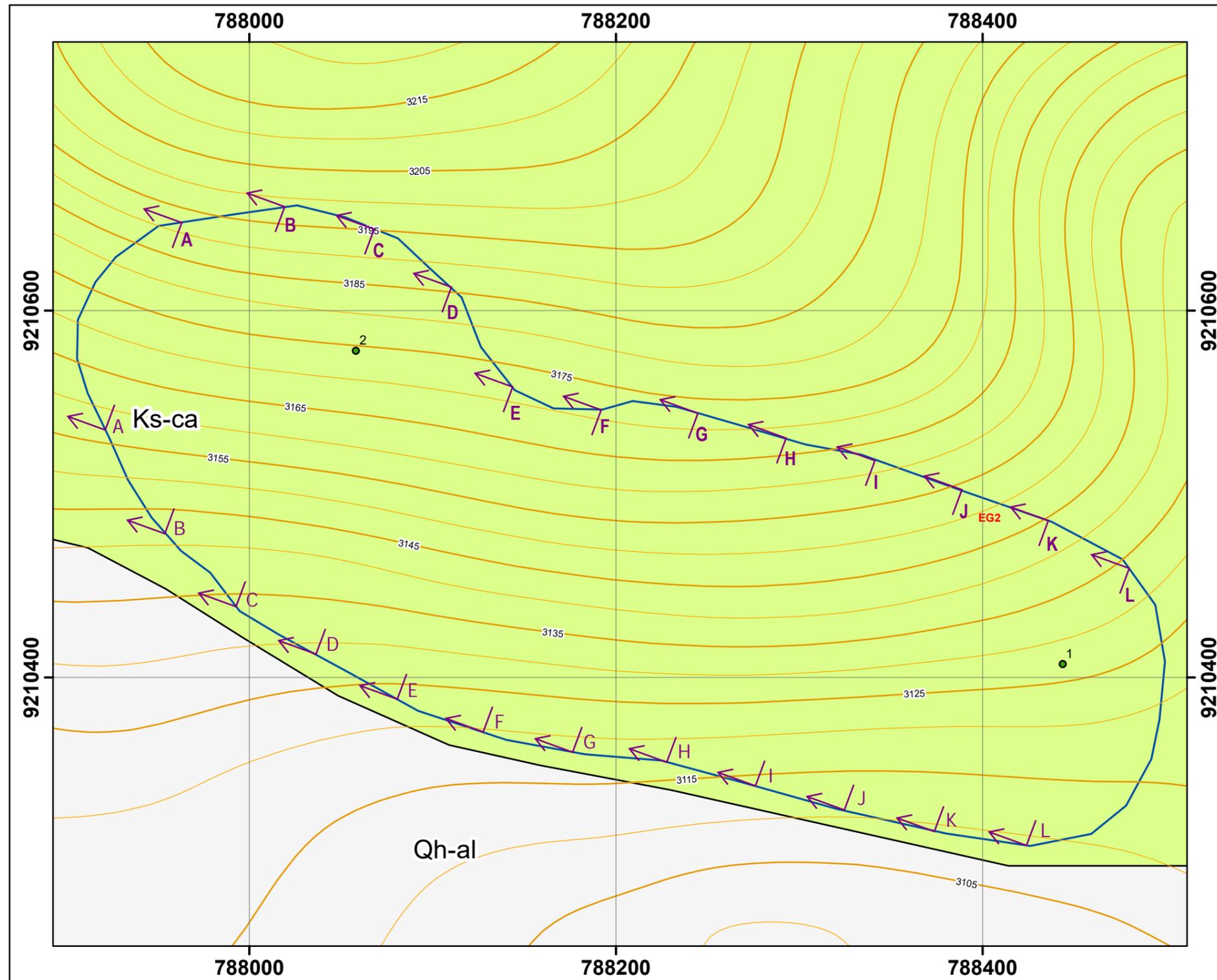
GEOLOGÍA

- Ks-ca

Reserva Estimada	
Volumen (m3)	Toneladas Ton (Métricas)
2,966,416.20	8,009,323.74

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -81.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
	EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA	
	SECCIONES-ESTIMACIÓN DE RESERVAS CANTERA N°1	
Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Febrero - 2023
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chilón Alcides	Escala 1:2 000



CANTERA N°2



SIMBOLOGÍA

-  Cantera N°2
-  Rb/Bz
-  Muestra
-  Estación Geomecánica
-  Curvas Mayores
-  Curvas Menores
-  Secciones C2

GEOLOGÍA

-  Ks-ca
-  Qh-al

Reserva Estimada

Volumen (m ³)	Toneladas Ton (Métricas)
2,546,697.38	6,876,082.91

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -81.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

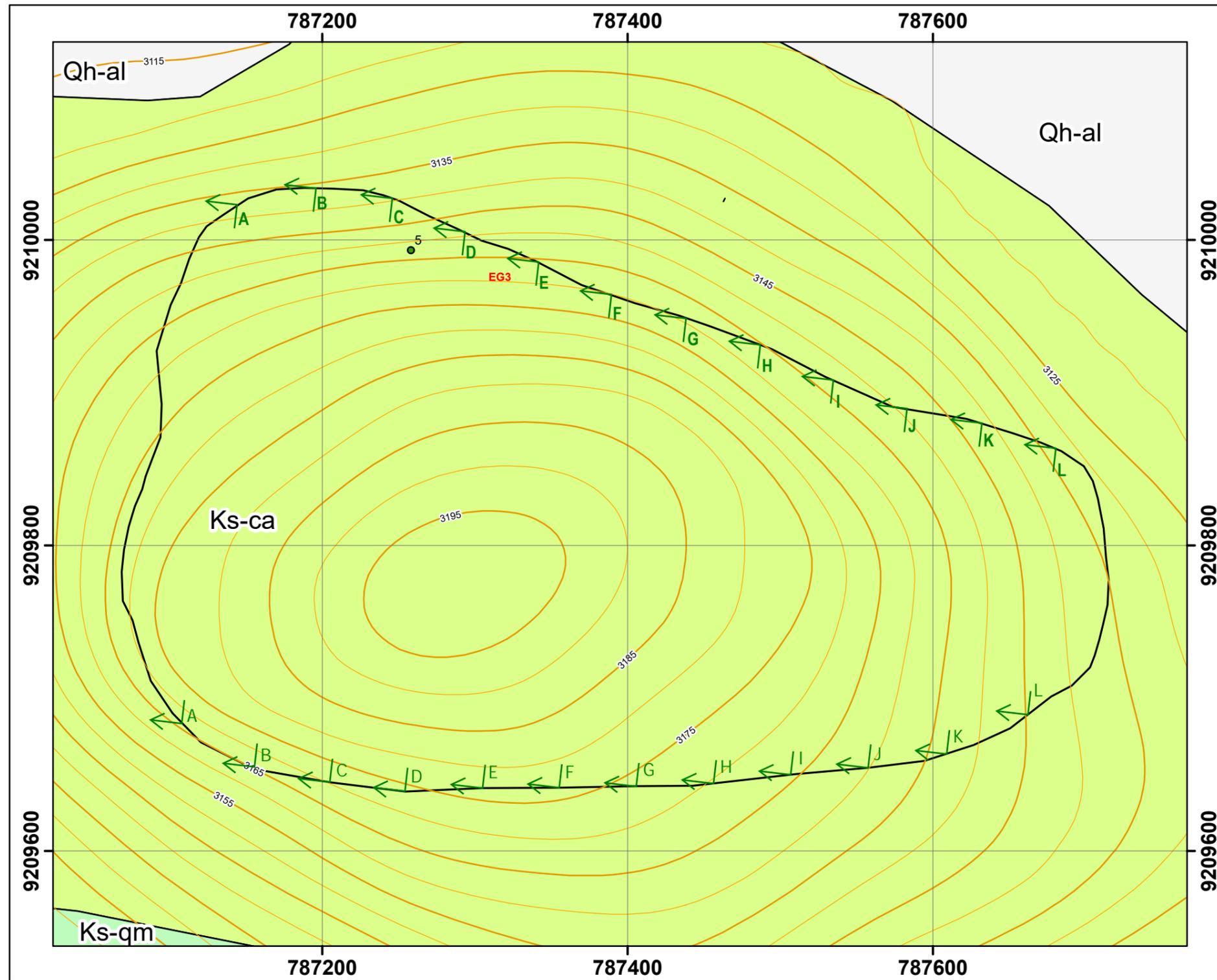


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA

SECCIONES-ESTIMACIÓN DE RESERVAS CANTERA N°2

Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Febrero - 2023
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chión Alcides	Escala 1:2 500



CANTERA N°3



SIMBOLOGÍA

- Cantera N°3
- Rb/Bz
- Muestra
- Estación Geomecánica
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Secciones C3

GEOLOGÍA

- Ks-ca
- Qh-al

Reserva Estimada	
Volumen (m3)	Toneladas Ton (Métricas)
4,235,202.45	11,435,046.60

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -81.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
	EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CALIZAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO (CaO) PAMPA DE LA CULEBRA - LA ENCAÑADA	
	SECCIONES-ESTIMACIÓN DE RESERVAS CANTERA N°3	
Revisado por:	ASESOR: Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio	Febrero - 2023
Elaborado por:	TESISTA: Bach. Calua Chión Alcides	Escala 1:3 000