



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CONCESIÓN**  
**MINERA CRISTO REY, CANTÓN LIMÓN INDANZA MORONA**  
**SANTIAGO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MINAS**

**AUTORA:**

**VERÓNICA MARIELA ASTUDILLO FERNÁNDEZ**

Macas - Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CONCESIÓN**  
**MINERA CRISTO REY, CANTÓN LIMÓN INDANZA MORONA**  
**SANTIAGO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MINAS**

**AUTORA:** VERÓNICA MARIELA ASTUDILLO FERNÁNDEZ

**DIRECTOR:** Ing. CHRISTIAN ORLANDO CAMACHO LÓPEZ Mgs.

Macas - Ecuador

2022

**© 2021, Verónica Mariela Astudillo Fernández**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, VERÓNICA MARIELA ASTUDILLO FERNÁNDEZ, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 26 de enero de 2022

**Verónica Mariela Astudillo Fernández**

**140084951-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA CONCESIÓN MINERA CRISTO REY, CANTÓN LIMÓN INDANZA MORONA SANTIAGO**, realizado por la señorita: **VERÓNICA MARIELA ASTUDILLO FERNÁNDEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Christian Adrián Ordoñez Guaycha Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-01-26
Ing. Christian Orlando Camacho López Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-01-26
Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-01-26

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo de titulación a Dios, quien me ha dado la fuerza y paciencia para lograr esta meta muy importante para mí, de igual forma a mi novio José Rodrigo Cuji, quien ha estado conmigo a lo largo de todo este trayecto brindándome su apoyo incondicional para que no desmaye y logre alcanzar uno de mis anhelados objetivos; y, por último, a mi querida hermana Lisseth Astudillo, a quien quiero mostrar que con esfuerzo y dedicación se puede lograr las metas que nos planteemos.

**Verónica**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar un sincero agradecimiento a todos aquellos docentes que estuvieron a lo largo de estos años, impartiendo su tiempo y conocimientos en la formación profesional de cada uno de sus estudiantes. Al Ing. Christian Camacho, Ing. Marco Mejía e Ing. Juan Pablo Lozano, por su apoyo en el desarrollo y ejecución de este trabajo de titulación. Al Señor William Punín, por abrirme las puertas de su empresa y de esta manera lograr realizar el presente trabajo. A la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Sede Morona Santiago, por haberme permitido lograr esta meta tan importante en mi vida.

**Verónica**

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	3
1.1.	<b>Antecedentes.....</b>	3
1.2.	<b>Planteamiento del problema .....</b>	7
1.3.	<b>Justificación.....</b>	8
1.4.	<b>Objetivos.....</b>	9

### CAPÍTULO II

2.	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	10
2.1.	<b>Minería .....</b>	10
2.2.	<b>Tipos de minería .....</b>	10
2.2.1.	<i>Minería subterránea.....</i>	10
2.2.2.	<i>Minería submarina o dragado .....</i>	10
2.2.3.	<i>Minería por pozos de perforación.....</i>	11
2.2.4.	<i>Minería superficial .....</i>	11
2.3.	<b>Fases de la minería .....</b>	11
2.3.1.	<i>Prospección .....</i>	12
2.3.2.	<i>Exploración .....</i>	12
2.3.3.	<i>Explotación.....</i>	12
2.3.4.	<i>Beneficio .....</i>	12
2.3.5.	<i>Fundición .....</i>	12
2.3.6.	<i>Refinación .....</i>	13

2.3.7.	<i>Comercialización</i> .....	13
2.3.8.	<i>Cierre de minas</i> .....	13
2.4.	<b>Yacimientos</b> .....	13
2.4.1.	<i>Clasificación</i> .....	14
2.4.2.	<i>Propiedades técnicas</i> .....	15
2.4.2.1.	<i>Propiedades físicas</i> .....	15
2.4.2.2.	<i>Propiedad mecánica</i> .....	15
2.5.	<b>Diseño de mina</b> .....	15
2.5.1.	<i>Cálculo de reservas</i> .....	16
2.5.1.1	<i>Métodos para el cálculo de reservas</i> .....	16
2.5.2.	<i>Sistemas de explotación</i> .....	17
2.5.2.1.	<i>Canteras en terrenos horizontales</i> .....	17
2.5.2.2.	<i>Canteras en ladera</i> .....	17
2.5.2.3.	<i>Supercanteras</i> .....	18
2.5.2.4.	<i>Canteras subterráneas</i> .....	18
2.5.3.	<b>Parámetros de diseño</b> .....	19
2.5.3.1.	<i>Relación sobrecarga-mineral</i> .....	19
2.5.3.2.	<i>Profundidad de la cantera</i> .....	19
2.5.3.3.	<i>Altura de banco</i> .....	19
2.5.3.4.	<i>Ancho de tajo</i> .....	19
2.5.3.5.	<i>Ángulo de la cara del banco</i> .....	20
2.5.3.6.	<i>Bermas</i> .....	20
2.5.3.7.	<i>Pistas y accesos (rampas)</i> .....	20
2.5.3.8.	<i>Ritmo de extracción</i> .....	20
2.5.3.9.	<i>Tiempo de vida</i> .....	21

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	22
3.1.	<b>Zona de estudio</b> .....	22
3.1.1	<i>Geología regional</i> .....	23
3.1.1.1.	<i>Formación Napo</i> .....	23
3.1.1.2.	<i>Formación Misahuallí</i> .....	23
3.1.1.3.	<i>Formación Hollín</i> .....	24
3.1.1.4.	<i>Unidad Chapiza</i> .....	24
3.1.2.	<b>Geología local</b> .....	24
3.1.2.1	<i>Geomorfología</i> .....	25

3.1.2.2.	<i>Piedemonte Andino</i> .....	25
3.1.2.3.	<i>Vertiente andina alta</i> .....	26
3.1.2.4.	<i>Vertiente andina o zona subandina</i> .....	27
3.1.3.	<b><i>Aspectos generales</i></b> .....	29
3.1.3.1.	<i>Límites</i> .....	30
3.1.3.2.	<i>División política</i> .....	30
3.1.3.3.	<i>Relieve</i> .....	30
3.1.3.4.	<i>Suelos</i> .....	32
3.1.3.5.	<i>Clima</i> .....	33
3.1.3.6.	<i>Recursos no renovables existentes de valor económico, energético y ambiental</i> .....	33
3.1.3.7.	<i>Concesiones mineras</i> .....	34
3.1.3.8.	<i>Accesibilidad</i> .....	34
3.2.	<b>Marco metodológico</b> .....	36
3.2.1.	<b><i>Tipo de investigación</i></b> .....	36
3.2.2.	<b><i>Metodología</i></b> .....	36
3.2.2.1.	<i>Trabajo de gabinete</i> .....	36
3.2.2.2.	<i>Área de análisis</i> .....	36
3.2.2.3.	<i>Levantamiento topográfico</i> .....	37
3.2.2.4.	<i>Toma de muestras</i> .....	37
3.2.2.5.	<i>Análisis de muestras</i> .....	37
3.2.2.6.	<i>Forma del yacimiento</i> .....	38
3.2.2.7.	<i>Cálculo de reservas</i> .....	39
3.2.2.8.	<i>Diseño de explotación</i> .....	39
3.2.2.9.	<i>Factibilidad técnica</i> .....	43

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	44
4.1.	<b>Zona de interés</b> .....	44
4.2.	<b>Levantamiento topográfico</b> .....	44
4.3.	<b>Registro geológico</b> .....	45
4.4.	<b>Propiedades físicas, químicas y mecánica</b> .....	51
4.5.	<b>Forma del yacimiento</b> .....	52
4.6.	<b>Cálculo de reservas</b> .....	52
4.6.1.	<b><i>Cálculo de volumen</i></b> .....	52
4.6.2.	<b><i>Cálculo de reservas</i></b> .....	53
4.7.	<b>Diseño del sistema de explotación</b> .....	53

4.7.1.	<i>Sistema de explotación</i> .....	53
4.7.2.	<i>Método de explotación</i> .....	54
4.7.3.	<i>Parámetros operativos</i> .....	54
4.7.3.1.	<i>Ratio</i> .....	54
4.7.3.2.	<i>Producción diaria</i> .....	55
4.7.3.3.	<i>Vida útil</i> .....	55
4.7.3.4.	<i>Ritmo de extracción</i> .....	55
4.7.3.5.	<i>Profundidad de la cantera</i> .....	56
4.7.3.6.	<i>Ancho del tajo</i> .....	56
4.7.3.7.	<i>Ángulo de cara del banco</i> .....	57
4.7.3.8.	<i>Bermas</i> .....	58
4.7.3.9.	<i>Altura de banco</i> .....	58
4.7.3.10.	<i>Ancho de vía</i> .....	59
4.8.	<b>Factibilidad técnica</b> .....	60
4.8.1.	<i>Aspecto económico</i> .....	60
4.8.2.	<i>Ingeniería del proyecto</i> .....	61
4.8.3.	<i>Proceso de tratamiento</i> .....	62
4.8.4.	<i>Maquinaria a emplear</i> .....	62
4.8.5.	<i>Diagrama de flujo del proceso</i> .....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....		65
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		67
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Producción principales productos.....	4
<b>Tabla 1-2:</b>	Formaciones geológicas .....	18
<b>Tabla 1-3:</b>	Formaciones geológicas .....	23
<b>Tabla 2-3:</b>	Unidades geomorfológicas .....	32
<b>Tabla 3-3:</b>	Taxonomía de los suelos .....	32
<b>Tabla 4-3:</b>	Recursos no renovables existentes en el cantón .....	34
<b>Tabla 5-3:</b>	Número de concesiones mineras .....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Distancia en km. hacia el cantón Limón Indanza .....	35
<b>Tabla 7-3:</b>	Análisis de muestras realizadas en laboratorio .....	38
<b>Tabla 8-3:</b>	Clasificación genética de los yacimientos minerales.....	38
<b>Tabla 9-3:</b>	Sistemas de explotación .....	39
<b>Tabla 10-3:</b>	Ángulos de talud para bancos en trabajo y receso.....	42
<b>Tabla 1-4:</b>	Registro geológico del pozo exploratorio A.....	46
<b>Tabla 2-4:</b>	Registro geológico del pozo exploratorio B .....	47
<b>Tabla 3-4:</b>	Registro geológico del pozo exploratorio C .....	48
<b>Tabla 4-4:</b>	Registro geológico del pozo exploratorio D.....	49
<b>Tabla 5-4:</b>	Registro geológico del pozo exploratorio E .....	50
<b>Tabla 6-4:</b>	Resultados de los ensayos realizados en laboratorio .....	51
<b>Tabla 7-4:</b>	Personal necesario para laborar en la mina .....	55
<b>Tabla 8-4:</b>	Cálculo del VAN y TIR.....	60
<b>Tabla 9-4:</b>	Maquinaria a usarse.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Distribución de las concesiones mineras en el Ecuador.....	3
<b>Figura 2-1:</b>	Concesiones mineras en la provincia de Morona Santiago.....	5
<b>Figura 3-1:</b>	Concesiones mineras en el cantón Limón Indanza .....	6
<b>Figura 4-1:</b>	Empleos generados en proyectos mineros estratégicos .....	8
<b>Figura 1-3:</b>	Geología local .....	25
<b>Figura 2-3:</b>	Mapa geológico del cantón Limón Indanza .....	29
<b>Figura 3-3:</b>	Mapa del cantón Limón Indanza .....	30
<b>Figura 4-3:</b>	Mapa de relieve del cantón Limón Indanza .....	31
<b>Figura 5-3:</b>	Ubicación de la concesión minera "Cristo Rey" .....	35
<b>Figura 1-4:</b>	Delimitación del área de interés .....	44
<b>Figura 2-4:</b>	Topografía del área de interés .....	45
<b>Figura 3-4:</b>	Depósito mineral .....	52
<b>Figura 4-4:</b>	Método de explotación por bancos descendentes .....	54
<b>Figura 5-4:</b>	Altura de la canteras.....	56
<b>Figura 6-4:</b>	Ancho del tajo .....	57
<b>Figura 7-4:</b>	Ángulo de talud del tajo .....	59
<b>Figura 8-4:</b>	Ancho mínimo de la berma.....	60
<b>Figura 9-4:</b>	Altura del banco .....	61
<b>Figura 10-4:</b>	Ancho de la vía .....	61

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Cálculo de reservas probadas y probables .....	55
<b>Gráfico 2-4:</b>	Proyección del costo vs vida útil .....	60
<b>Gráfico 3-4:</b>	Proyección del volumen de explotación.....	61
<b>Gráfico 4-4:</b>	Proceso de tratamiento .....	61
<b>Gráfico 5-4:</b>	Diagrama de flujo del proceso.....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3:</b>	Relación carga- mineral.....	40
<b>Ecuación 2-3:</b>	Vida útil .....	40
<b>Ecuación 3-3:</b>	Producción diaria .....	40
<b>Ecuación 4-3:</b>	Profundidad de la cantera .....	41
<b>Ecuación 5-3:</b>	Ancho del tajo.....	41
<b>Ecuación 6-3:</b>	Ancho mínimo de berma .....	42
<b>Ecuación 7-3:</b>	Altura del banco.....	42
<b>Ecuación 8-3:</b>	Ancho de vía.....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** EQUIPO FOTOGRÁFICO
- ANEXO B:** REGISTRO GEOLÓGICO DE LOS POZOS EXPLORATORIOS
- ANEXO C:** ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO
- ANEXO D:** ENSAYO QUÍMICO
- ANEXO E:** ENSAYO FÍSICO
- ANEXO F:** ENSAYO DE COMPACTACIÓN
- ANEXO G:** ENSAYO DE CORTE DIRECTO
- ANEXO H:** ESFUERZO DE CORTE VS ESFUERZO NORMAL
- ANEXO I:** ESFUERZO DE CORTE VS DEFORMACIÓN LATERAL
- ANEXO J:** MODELAMIENTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO EN RECMIN
- ANEXO K:** CORTES GEOLÓGICOS
- ANEXO L:** MAPA DE UBICACIÓN DE LOS POZOS EXPLORATORIOS
- ANEXO M:** CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL YACIMIENTO
- ANEXO N:** CÁLCULO DEL VAN Y TIR
- ANEXO O:** PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CANTERA

## RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema de explotación de la concesión minera Cristo Rey, en el cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago, mediante el levantamiento topográfico de la zona y la identificación de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mineral para la evaluación de las reservas. El enfoque de investigación fue cuali-cuantitativo porque se realizaron análisis sobre características y sobre datos numéricos. Se delimitó la zona de interés mediante un GPS; se usó un dron para la identificación del relieve del terreno; se seleccionó la malla de muestreo; se utilizó maquinaria pesada para excavar cinco pozos exploratorios; se elaboraron los registros geológicos con las coordenadas, dimensiones, altura y descripción de los pozos; se tomaron muestras de sílice y se enviaron al laboratorio para conocer las propiedades del mineral; se realizó el cálculo de las reservas mediante el uso del *software* RECMIN, para la identificación de reservas probadas y probables. El método de explotación fue por bancos descendentes, que consiste en el avance unidireccional de un bloque con un solo banco, arrancando el material estéril y colocando en una escombrera, mientras el material útil se llevó a la planta de tratamiento. Los resultados de las muestras analizadas, fueron: un 99,844% de SiO<sub>2</sub>, un 0,007% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, un 0,006% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, un 0,028% de CaO y un 0,012% de Na<sub>2</sub>O. El yacimiento posee reservas probadas del mineral de sílice con un total de 403.752,254 toneladas, dentro de un área de interés de 3,6 ha. Las reservas probables fueron de 185713,4016 toneladas. Se concluye que es factible la explotación, porque la superficie de 3,6 ha cuenta con reservas probadas de 403.752,254 toneladas, que es un material con el que se puede trabajar siete años. Se recomienda desarrollar más pozos exploratorios para obtener información sobre las reservas del depósito de sílice.

**PALABRAS CLAVES:** <DISEÑO DE EXPLOTACIÓN>, <ARENISCA>, <CALIZA>, <GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO>, RESERVA MINERAL>

Inés  
Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata  
DN: cn=Inés Zapata, o=Inés Zapata, c=ES Spain, e=ESPOCH, ou=DBRA  
e=Inés.Zapata@esPOCH.edu.ec  
Motivo: Aprobado este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022-01-18 11:28:05:00



0066-DBRA-UPT-2021

## ABSTRACT

The objective of the current research work was to design an exploitation system for “Cristo Rey” mining concession located in Limón Indanza County-Morona Santiago Province, through the topographical survey of the area and the identification of the physical-mechanical and chemical properties of the mineral in order to assess mineral reserves. It carried out the research approach that was qualitative and quantitative based on the characteristics and numerical data. On the other hand, the area of interest was defined using a GPS, besides the use of a drone to identify the terrain relief, as well as the selection of the sampling mesh, heavy machinery to drill five exploratory wells, and made geological records that were prepared with the coordinates, dimensions, height and description of the wells; then silica samples were taken and sent to the laboratory to learn the properties about mineral. After that, the reserves were calculated using the RECMIN software to identify proven and probable reserves. The exploitation method was made through berms, which consists of the unidirectional advance of a block with a single berm uprooting the sterile material and placing it in a dump, while the useful material was taken to the treatment plant. The results of the analyzed samples were:  $\text{SiO}_2$  99.844%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.007%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.006%,  $\text{CaO}$  0.028%, and  $\text{Na}_2\text{O}$  0.012%. The field has proven reserves of silica with a total of 403,752.254 tons, within an area of interest of 3.6 ha, taking into account the probable reserves with 185713.4016 tons. It concludes that exploitation is feasible, because the surface of 3.6 ha has proven reserves of 403,752.254 tons, which is a material that can be worked for seven years. Finally, it recommends developing more exploratory wells to obtain information on the reserves about silica deposit.

**KEY WORDS:** EXPLOITATION DESIGN, SANDSTONE, LIMESTONE, DEPOSIT GEOLOGY, MINERAL RESERVES

LEONARDO  
MAURICIO  
MARTINEZ  
PAREDES

Firmado digitalmente por  
LEONARDO MAURICIO  
MARTINEZ PAREDES  
Fecha: 2023.03.01 08:58:17  
+0500

## INTRODUCCIÓN

La minería empieza junto con el ser humano, permitiendo el desarrollo de las civilizaciones a través de la extracción de minerales, siendo una actividad importante para el desarrollo económico y social de un país. En el Ecuador la minería registra sus primeras actividades en épocas antiguas, desde la época prehispánica donde nuestros ancestros se dedicaban a la explotación de obsidiana la misma que se utilizaba para elaborar herramientas y ornamentos.

Durante la llegada de los españoles, se sufrió un cambio significativo, en el cual quedo a un lado la explotación de obsidiana y se centró en la explotación de otros minerales como oro, plata y cobre entre los principales (Chang, 2013, pp. 2-5).

Para la explotación de los minerales preciosos se utilizaba mano de obra indígena con conocimiento empírico y métodos rudimentarios, que trataban de aprovechar las riquezas del subsuelo de una manera abrupta, todo ello debido a la falta de avances científicos que ayuden para la extracción de dichos minerales (Gutiérrez, 2019, pp. 1-3).

A mediados de los siglos XVII las actividades dedicadas a la explotación del oro fueron tomando fuerza, se descubrieron nuevos yacimientos, como los de Zaruma, Portovelo, Quijos, Santa Barbara y Logroño, pero lo que no avanzaba eran los métodos para su extracción, pues carecían de una adecuada técnica (Gordillo, 2014, pp. 5-6).

Actualmente, la minería técnica busca la aplicación de métodos de explotación que garantizan un correcto aprovechamiento del recurso mineral con alta productividad y por ende una reducción en los costos de explotación. Así por ejemplo la industria minera a pequeña y mediana escala en nuestro país, ha ido en constante crecimiento, innovando en nuevas tecnologías con el fin de obtener una producción mayor a menores costos y gastos operacionales, en los diferentes procesos que se realizan entre ellos perforación, voladura, carga y transporte del mineral.

En la actualidad Ecuador vive una nueva ola de explotación de sus recursos a raíz de una institucionalización minera, en la provincia de Morona Santiago el principal lugar dedicado a la extracción de minerales no metálicos se ha centrado en el cantón Limón Indanza, donde se extrae sílice, caolín y feldespato desde los años 1990. Todos ellos de manera desordenada, aprovechando únicamente lo que esta visible de quien extrae el mineral de su interés y tratando de disminuir los costos y tiempos para su aprovechamiento (Moreno y Salime, 2020, p. 5).

La concesión Minera Cristo Rey, fue adjudicada en el 06 de septiembre del 2017 mediante Resolución Nro. MM-SZM-CS-2076-0397-RM, por parte del Ministerio de minería, para la explotación de sílice, pero debido a su ubicación geográfica y la carencia de permisos solicitados por las autoridades de control no se ha iniciado la extracción del mineral.

Debido a ello la presente investigación permite diseñar de forma adecuada su explotación, extracción, transporte, almacenamiento, trituración-secado y finalmente comercialización los

mismos que satisfagan las necesidades del operador y cumplan con los requerimientos del Estado, para que sea un referente en el sector, la provincia y el país.

La presente investigación se divide en los siguientes apartados: El Capítulo I describe los antecedentes del tema de estudio, justificando el proyecto y la ejecución del mismo en el contexto actual, el Capítulo II identifica las fuentes primarias y secundarias sobre las cuales se sustenta la investigación y el diseño de estudio, el Capítulo III identifica los aspectos generales como la ubicación y accesibilidad de la zona de estudio, se analiza la geología regional y local, así como la geomorfología tectónica del lugar de estudio, el Capítulo IV describe las actividades realizadas durante el estudio como trabajo de gabinete, levantamiento topográfico, toma y análisis de muestras, perfil geológico, cálculo de reservas y diseño de explotación.

Finalmente, en el Capítulo V se analiza los resultados obtenidos en la investigación como el levantamiento topográfico, propiedades geomecánicas, químicas y mineralógicas, cálculo de reservas y perfiles geológicos, cálculo de reservas, diseño del sistema de explotación, factibilidad técnica y finalizando con las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

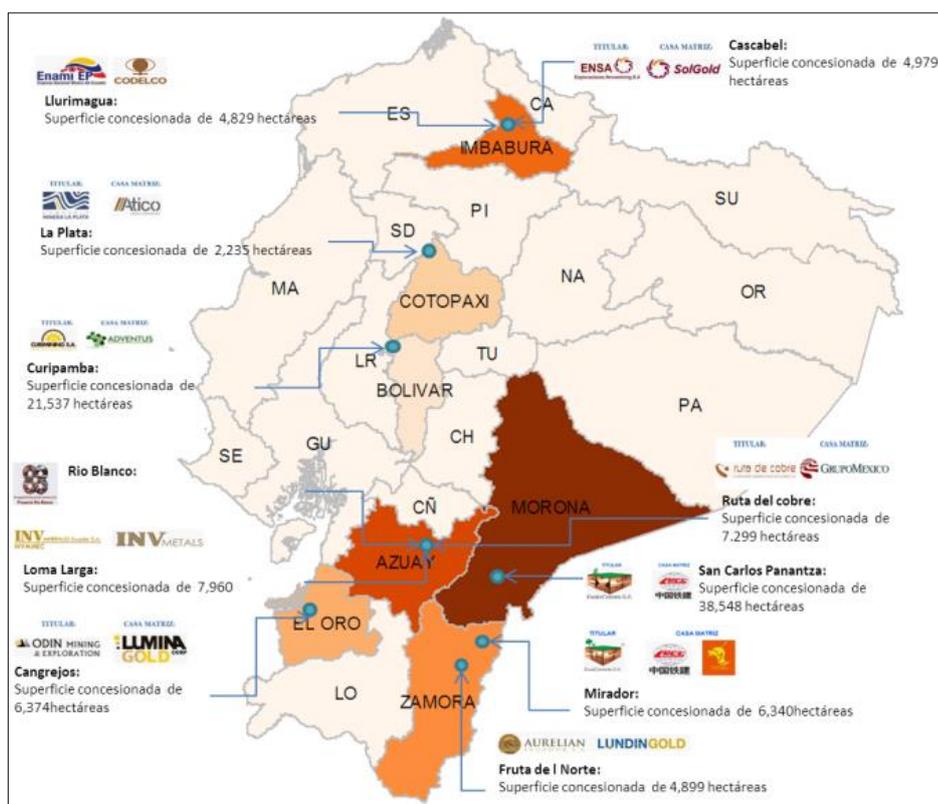
# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Ecuador es un país minero, que tiene muchas reservas de oro, plata y cobre, así mismo posee una variada oferta de productos mineros. La Ley de Minería de la nación ordena la minería en cuatro clases: la artesanal o de subsistencia, la pequeña minería, la mediana minería y la minería a gran escala. Orden que se ofrece por los niveles de creación día a día que puede tener una mina. Además, descubre que el Estado ejecuta sus ejercicios mineros a través de la Compañía Nacional de Minería y puede constituir organizaciones de economía mixta (Banco Central del Ecuador, 2016, p. 2).

En el país existe una superficie concesionada a las minas y proyectos mineros de 105.000 ha, distribuidas en siete provincias como se observa en la figura 1-1, la mayor parte se encuentra localizada en la provincia de Morona Santiago, cuyo proyecto minero de mayor relevancia es San Carlos Panantza con 38,548 hectáreas (Banco Central del Ecuador, 2016, p. 4).



**Figura 1-1:** Distribución de las concesiones mineras en el Ecuador

Fuente: Banco Central del Ecuador, 2021.

La producción de minerales no metálicos en el país, entre los años 2005 a 2015 ha aumentado paulatinamente la producción de sílice como se observa en la Tabla 1-1, llegando en el año 2012 a producirse 136.806 toneladas. Para los siguientes años se observa una reducción en la producción hasta alcanzar las 80.869 toneladas en 2014 y de nuevo subir hasta 84.473 toneladas en 2015 (Banco Central del Ecuador, 2016, p. 14).

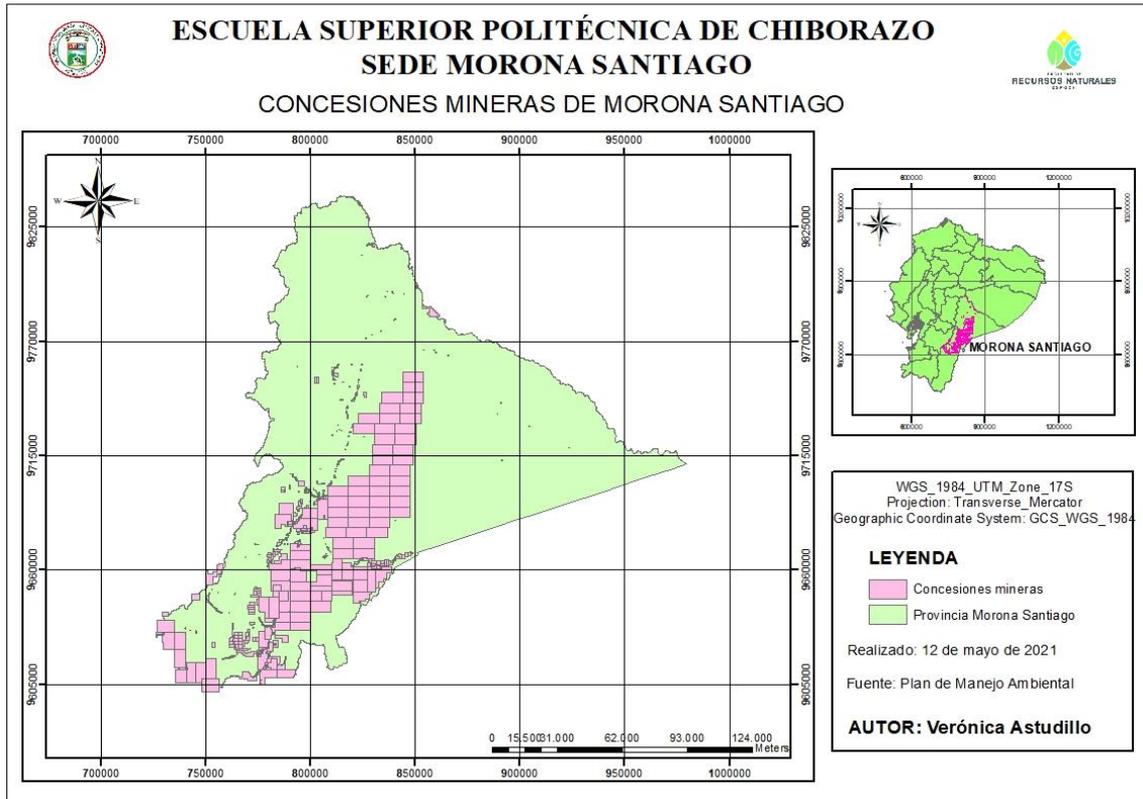
**Tabla 1-1:** Producción principales productos

Años	ARCILLA	CALIZA	CAOLÍN	FELDESPATO	SÍLICE	PÓMEX
	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2005	1,318,356	4,854,958	25,078	38,250	37,790	636,778
2006	1,309,343	5,456,546	11,504	67,844	36,208	707,864
2007	1,413,419	6,326,616	18,618	63,557	33,907	941,653
2008	1,577,933	5,366,498	42,614	86,889	24,799	1,024,896
2009	1,276,529	4,956,672	28,775	111,985	73,921	924,527
2010	1,414,853	3,862,308	41,089	156,888	60,019	718,908
2011	2,016,027	5,309,485	95,062	103,498	83,275	802,397
2012	1,949,509	3,809,822	42,564	152,590	136,81	951,356
2013	1,412,990	6,838,391	100,195	210,142	90,565	1,735,449
2014	776,308	6,319,428	40,236	183,259	80,869	1,728,949
2015	479,622	3,809,822	63,829	247,253	84,473	1,008,212

Fuente: ARCOM, 2015.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

En 2006 se concesionaron 435.000 hectáreas dentro del área de Morona Santiago y en los primeros tres meses de 2007 se han concedido 35.000 hectáreas más. Una parte de las principales organizaciones receptoras son Corrientes Resources Inc. (Canadá) y Lowell Mineral Exploration (EE. UU.), con más de 60.000 hectáreas en las vertientes occidentales de la Cordillera del Cóndor en los cantones Limón Indanza, San Juan Bosco y Gualaquiza. De las cifras anteriores se tiende a encontrar que el 20% de la región de Morona Santiago está concesionada a organizaciones mineras, lo cual se puede encontrar en la figura 2-1 (Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, 2007, párr. 3).

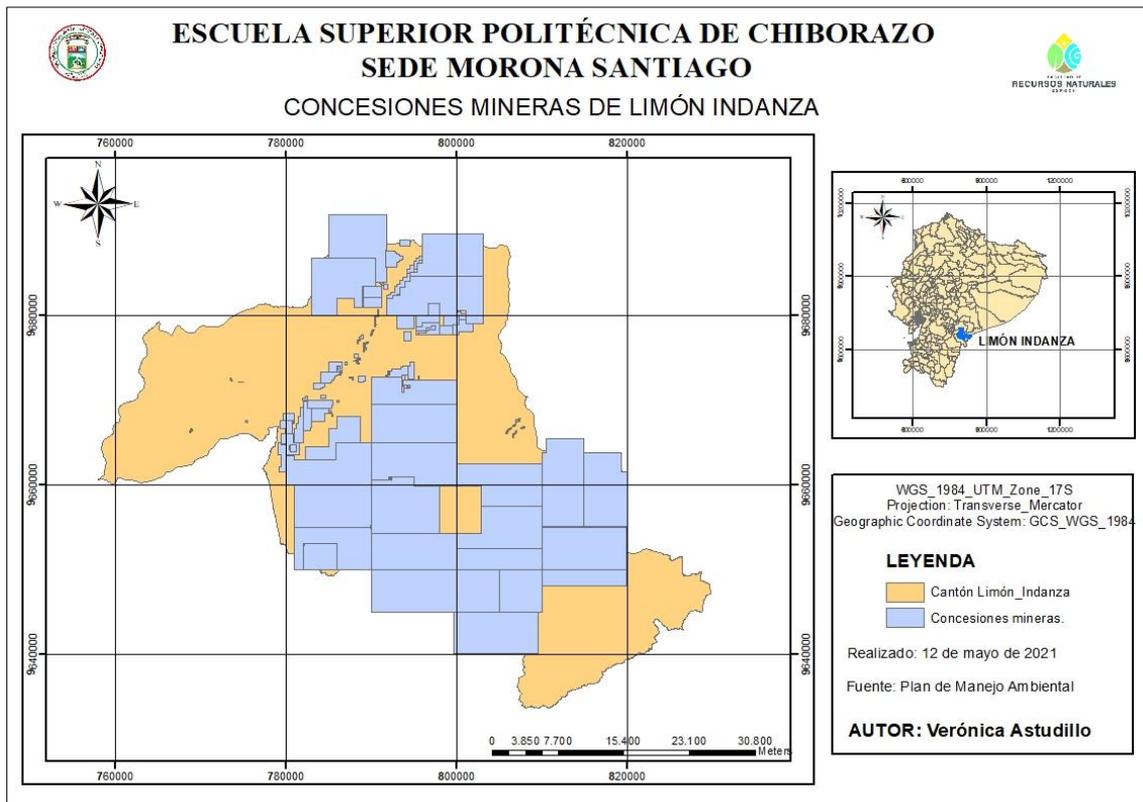


**Figura 2-1:** Concesiones mineras en la provincia de Morona Santiago

**Fuente:** ARCOM, 2015.

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

En la provincia de Morona Santiago se puede observar que la mayoría de concesiones mineras están ubicadas en la zona montañosa de la cordillera del Transcutucu y en la zona sur de la provincia, mientras que en el cantón de Limón Indanza las concesiones mineras están ubicadas por toda la geografía del cantón a excepción del Bosque y Vegetación Protegida en el área denominada "Tinajillas rio Gualaceño", ubicado en el sector Tinajillas, parroquias Limón y Gualaceo lo que se observa en la figura 3-1.



**Figura 3-1:** Concesiones mineras en el cantón Limón Indanza

**Fuente:** Plan de manejo ambiental de la Concesión Cristo Rey.

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

La Minería controlada en la zona reconoce un total de 83 concesiones de las cuales 49 corresponden a la Minería metálica, 20 a las no metálicas y por último 14 concesiones corresponden a la explotación de materiales de construcción (Agencia de Regulación y Control Minero, 2013, párr. 5).

Dentro de la provincia de Morona Santiago los cantones que tienen mayor actividad minera son: Santiago de Méndez, Limón Indanza y Gualaquiza. La mayoría de estas concesiones mineras se localizan en una etapa de exploración, entre todos estos el proyecto más importante es el de Panantza –San Carlos. En la zona, la ARCOM realiza un continuo seguimiento, control y eliminación de la minería ilegal, para lo cual realiza actividades de socialización de la reforma a la nueva Ley de Minería, donde se han permitido la inscripción de 174 permisos de minería artesanal en la provincia (Agencia de Regulación y Control Minero, 2013, párr. 3).

La explotación a gran escala de caolín en Limón Indanza ha generado la pérdida de las fuentes de agua para los campesinos, causando grandes perjuicios al agro; lo que ha servido para despertar un sentimiento anti minero en la población. Ante la presencia de empresas mineras en zonas de alta sensibilidad ecológica y social, las comunidades campesinas e indígenas que habitan esas áreas y sus organizaciones se convierten en el principal actor social de resistencia al avance de la

minería a gran escala y a otras actividades extractivas (Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, 2007, párr. 1).

Algunas de las investigaciones sobre diseño de sistemas de explotación de concesiones mineras efectuadas en el país y la provincia son las siguientes:

Ortega (2012) realizó el diseño para la explotación de la cantera de arcilla, barrio Cera- cantón Loja, mediante el análisis de resultados se determinó que el sistema de explotación idóneo es el Método de Cantera.

Dávila (2017) efectuó un diseño de explotación del mineral existente en el bloque “Cascada”, del área minera “El corazón”, ubicada en la parroquia García Moreno, Cantón Cotacachi, Provincia De Imbabura. El diseño se basa en el cálculo de las dimensiones de las galerías de preparación, corte y arranque, además de la cantidad de sustancia explosiva y su diagrama de perforación y voladura para cada caso.

Pino (2016) realizó el diseño de explotación a cielo abierto de las calizas de Chuwitayo en la provincia de Pastaza mediante un pedido de la comunidad del sector para tener un mejor aprovechamiento mineral. El diseño de explotación que se propone en el proyecto resultó ser técnicamente viable.

Finalmente, en la provincia de Morona Santiago, cantón Limón Indanza, parroquia Santa Susana De Chiviaza, sector La Orquídea, Prado (2013) presentó el diseño de explotación de un yacimiento de arcilla, donde se realizó el estudio de factibilidad para comprobar que el proyecto sea rentable. En consecuencia, se determinó un sistema de explotación mediante cantera para este yacimiento mineral.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Todas las acciones mineras que se realizan a cielo abierto y sin ningún control o planificación, producen variaciones en el suelo, agua y a otros recursos debido a que se debe deforestar, cavar, extraer y trasladar materiales, cambiando los contextos naturales del paisaje, perturbando ecosistemas, provocando la pérdida sustancial del suelo y aumentando el riesgo de la presencia de la erosión en el suelo.

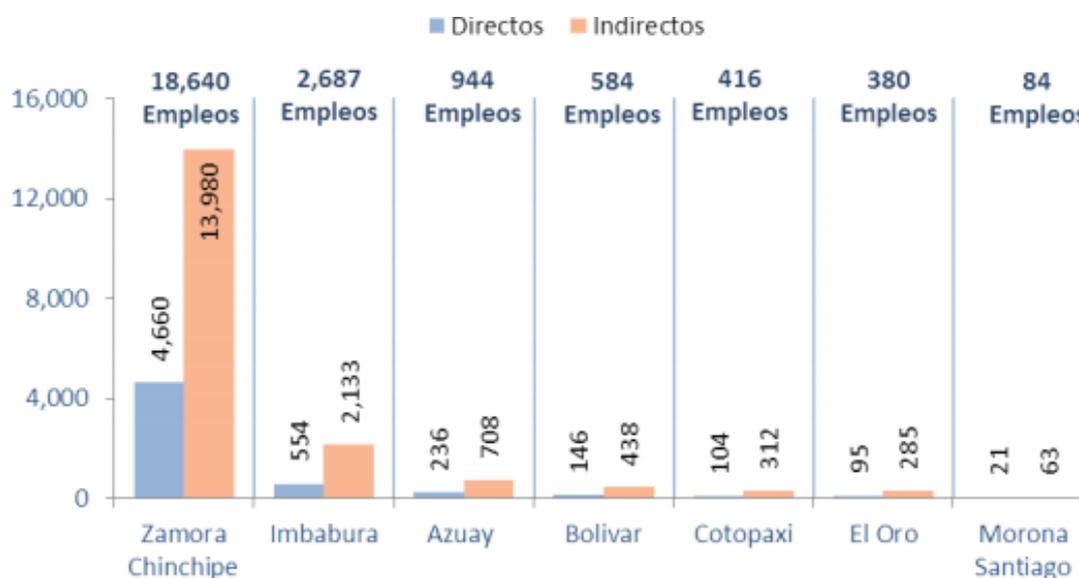
Ante esto en el sector de Cerro Negro, el Sr. Willam Alfredo Punin Vega posee una concesión minera denominada Cristo Rey, que no cuenta con un diseño de explotación acorde a las características del terreno y propiedades físico-químicas del mineral, para su adecuada explotación, cumpliendo los parámetros de seguridad tanto para obreros y maquinaria.

Dada esta situación concesión minera denominada Cristo Rey requiere de un diseño de explotación que plantee un conjunto de operaciones para efectuar durante el desarrollo del proyecto minero, de esta forma poder mitigar, prevenir, compensar y corregir los efectos dañinos causados sobre el medio ambiente; y poder dar cumplimiento a lo que la ley exige.

### 1.3. Justificación

En nuestro país la explotación minera a cielo abierto es de mucha importancia por el hecho de que los materiales extraídos son usados en la construcción de vías, caminos, edificios, residencias y viaductos; generando de esta manera una gran cantidad de empleos de forma directa e indirecta; convirtiéndose de esta manera en una de las principales fuentes de empleo razón por la cual resulta ser de trascendental importancia para la economía nacional y local.

Así, por ejemplo, de enero a septiembre de 2020, las minas; y, proyectos mineros estratégicos y de segunda generación crearon un total de 23,735 empleos de los cuales 5,816 corresponden a empleos directos y 17,919 a indirectos como se observa en la figura 4-1 (Banco Central del Ecuador, 2021, p. 6).



**Figura 4-1:** Empleos generados en proyectos mineros estratégicos y de segunda generación

Fuente: Banco Central del Ecuador, 2021.

En la provincia de Morona Santiago se tiene que por ingresos de pago de impuestos de las empresas mineras esta provincia amazónica se ha beneficiado en el 2015 con 24,5 millones de dólares. De los cuales se recaudó 7,4 millones de dólares por patentes de conservación; 9,3 millones de dólares en regalías mineras; 3,3 millones a causa de autogestión y por último en utilidades se recaudó 4,4 millones de dólares. Todos estos recursos ingresan al fisco y son devueltos para la realización de varias obras para las zonas de influencia como establece la Ley de Minería en su artículo 93 (Agencia de Regulación y Control Minero, 2015, párr. 2).

En el cantón Limón Indanza se han realizado operativos interinstitucionales para erradicar la minería ilegal sobre todo en el Bosque Protector Tinajillas Gualaceño, decomisando material explosivo utilizado en labores mineras por no contar con los permisos respectivos, puesto que los

trabajos se realizaban sin un plan de explotación minera, ficha ambiental y permiso de la Secretaría Nacional del Agua (Agencia de Regulación y Control Minero, 2013, párr. 5).

La concesión minera denominada Cristo Rey es una de las canteras que no tiene un diseño de explotación, ante esto e interesados en responder y contribuir con la preservación del medio ambiente además de evitar cualquier problema con los permisos de funcionamiento se busca realizar un diseño de explotación para que las todas actividades de explotación que se vayan a realizar en el sector se desarrollen de una forma técnica y que resulte armónica con el medio ambiente; de esta manera sea una herramienta fundamental para que se desarrollen las actividades propias del proyecto minero permitiendo una armonía en la consecución de las actividades mineras y la conservación de los recursos naturales.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***Objetivo general***

Diseñar el sistema de explotación de la concesión minera Cristo Rey, ubicado en el cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago.

##### ***Objetivos específicos***

- Desarrollar el levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- Identificar las propiedades físico-mecánicas y químicas del mineral.
- Evaluar las reservas de la concesión minera Cristo Rey.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Minería

La minería es una actividad primordial debido a la extracción de minerales que se han acumulado en la tierra y la tierra como depósitos. Asimismo, se considera minería la disposición de personas que se ocupan de este movimiento o la disposición de minas de un país o zona (Kovalenko et al, 2020, p. 1034).

#### 2.2. Tipos de minería

La minería se puede dividir en cuatro tipos: la minería de superficie (explotaciones a cielo abierto u otras excavaciones abiertas, se incluyen las canteras), la minería subterránea (galería o túneles), la minería submarina o dragado, y la minería por pozos de perforación principalmente para la obtención de los combustibles (Zeas, 2008, p. 18).

Una clasificación de métodos de minado que ayudará en principio al análisis de estabilidad en macizos rocosos sería la siguiente:

##### *2.2.1. Minería subterránea*

Explotación de recursos mineros que se crea debajo de la capa exterior de la tierra. Para la elección de este tipo de minería, se deben considerar algunas variables, por ejemplo, la obstrucción del mineral y la roca de revestimiento; tamaño, forma, profundidad, punto de inmersión y posición del depósito; congruencia de mineralización, etc. (Cuadros, 2018, p. 40).

##### *2.2.2. Minería submarina o dragado*

Este tipo de método por dragado de aguas poco profundas resulta ser uno de los más baratos en extracción de minerales. Aguas poco profundas se denominan a aguas de hasta 65 m de profundidad. En esas circunstancias pueden recuperarse sedimentos poco compactos utilizando máquinas con cabezales de corte situados en el extremo de tubos de succión, o mediante una cadena sinfín provista de recipientes y montada sobre una estructura metálica de excavación que gira alrededor de un brazo (Marino y et, 2020, p. 25).

### ***2.2.3. Minería por pozos de perforación***

Se refiere a cualquier perforación del suelo diseñada con el objetivo de hallar y extraer fluido combustible, ya sea petróleo o hidrocarburos gaseosos, tales como el gas y el petróleo (Alonso, Gómez y Herbert, 2013, p. 252).

### ***2.2.4. Minería superficial***

Excavación a cielo abierto empleada para la extracción de minerales metálicos y no metálicos de cuerpos minerales localizados a profundidades menores de 160m (500 pies aprox.) (Aburto, 2003). Se divide en los siguientes métodos:

*Minado de placeres:* concentración de minerales pesados a partir de materiales detríticos, utilizando las siguientes técnicas de bateas y canalones, minado hidráulico y dragado (Tlalolini, 2017, p. 6).

*Glory Hole:* excavación a cielo abierto a partir del cual el mineral es removido por gravedad a través de uno o más contrapozos a niveles de acarreo subterráneo (Tlalolini, 2017, p. 7).

*Minado a Tajo abierto (cielo abierto):* La minería a cielo abierto se caracteriza por grandes volúmenes de materiales que deben moverse. El curso de acción del suministro y el recubrimiento e intercalaciones de material limpio deciden la proporción estéril / mineral con la que se debe obtener el último (Herbert, 2006, p. 2).

Cualquier tipo de depósito de minerales en una piedra, situado en la capa exterior del suelo o cerca de él. Es muy posible que se obtenga utilizando los métodos siguientes según Vázquez. (2011):

- Banco individual
- Bancos múltiples
- Descapote de mantos
- Explotación de canteras

## **2.3. Fases de la minería**

El artículo 27 de la Ley de Minería indica que las fases de la actividad minera son: prospección, exploración, explotación, beneficio, fundición, refinación, comercialización y cierre de minas;

### **2.3.1. Prospección**

La prospección es la etapa donde se buscan minerales utilizables en una región determinada, a la luz de investigaciones geográficas y diferentes procedimientos como geofísica, geoquímica, traducción de imágenes satelitales y otros territoriales, que sirven para decidir los blancos primarios inminentes donde trabajará la investigación (Buitelaar, 2001, p. 23).

### **2.3.2. Exploración**

La exploración minera es la etapa inicial de la actividad minera, consiste en identificar las zonas donde se ubican los yacimientos de minerales que luego, dependiendo de su dimensión y composición serán explotados en un proyecto minero. En base a los resultados de la prospección, se elige el área para un estudio más detallado, que permita comprobar la existencia de minerales (Pusquin y Rodríguez, 2017, p. 9).

### **2.3.3. Explotación**

La explotación minera, es el conjunto de las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo para obtener recursos minerales de una mina. Las explotaciones mineras pueden dividirse en dos grandes tipos: minas a cielo abierto y subterráneas. En las minas a cielo abierto, la extracción se realiza con grandes máquinas sobre la superficie del terreno. En las minas subterráneas, en cambio, las labores se llevan a cabo debajo de la superficie, principalmente con trabajo manual ya que las grandes máquinas no pueden ingresar en los túneles (Lavandaio, 2014, p. 35).

### **2.3.4. Beneficio**

Consiste en todo el proceso de separación, trituración, molienda, purificación, concentración y otras operaciones al que es sometido el mineral extraído para su uso posterior o transformación (SAC, 2000, p. 49).

### **2.3.5. Fundición**

El sistema de fundición incluye calentar y disminuir el metal mineral para adquirir un metal no adulterado y aislarlo de la ganga y otros componentes. En su mayor parte, una fuente de carbono, como coque, carbón o carbón vegetal, se utiliza como un especialista en disminución, por lo tanto, el monóxido de carbono elimina el oxígeno del óxido metálico, dejando el metal en su estructura natural (Do Campo y Valenzuela, 2017, p. 225).

### **2.3.6. Refinación**

Son todos los procedimientos técnicos destinados a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza, trata de la obtención de los metales en un estado de pureza tal, para que estén aptos para su transformación industrial (SAC, 2000, p. 51).

### **2.3.7. Comercialización**

La comercialización de minerales permite definir la oferta y demanda de los productos mineros en un horizonte de tiempo, en función de cálculo de tipo y cantidades de productos minerales que producirán y consumirán en el futuro los diferentes actores de la industria.

La comercialización de minerales abarca una visión general sobre los mercados de producción y consumo, tanto de minerales como metales. Los productos metálicos de mayor demanda y volumen de producción son estaño, zinc, plata y oro (Sotomayor, 2018, p. 115).

### **2.3.8. Cierre de minas**

Según Parravicini (2015), para este proceso se tiene varios pasos a seguir que pueden ser ejecutados eficientemente con el planeamiento a largo plazo:

- Cierre de la operación: una vez que se detiene las operaciones, un grupo de trabajadores permanece cerca para cerrar para siempre las actividades mineras.
- Desmantelamiento: Se desmontan las oficinas y el equipo de manejo de la minería, se drenan todas las tuberías, se limpian y venden partes utilizables de los equipos, se redistribuyen o destruyen las estructuras, se recuperan los materiales del almacén y se desecha el desperdicio.
- Recuperación y restauración: la tierra y los arroyos se recuperan a un grado satisfactorio de uso útil (el terreno y los diseños están asentados, los cursos de agua tienen buena calidad). La recuperación comúnmente incluye eliminar materiales peligrosos, remodelar el perfil del paisaje, restablecer la tierra y plantar pastos, árboles o vegetación locales.
- Etapa posterior a la conclusión: Se observa la rehabilitación para evaluar el logro del ciclo, así como para reconocer cualquier problema que deba ser remediado. Algunas minas pueden requerir cuidados y apoyo a largo plazo después del cierre de actividades.

## **2.4. Yacimientos**

Los yacimientos minerales técnicamente hablando son un sector de la corteza terrestre en el cual, a raíz de procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, cuyo provecho económico es industrialmente factible debido a su cantidad, calidad y condiciones. Son por tanto

el origen de la actividad minera que los pondrá en valor. No se entiende el uno sin el otro, ya que la mera presencia de un yacimiento mineral no indica nada más allá que la existencia de o de los recursos mineros que previsiblemente pueden ser objeto de una actividad extractiva.

Un yacimiento contiene dos partes, mena que es el mineral cuya explotación presenta interés y ganga que incorpora los minerales que acompañan a la mena, pero que no tiene ingresos mineros al momento de la explotación. Debe notarse que los minerales que se consideran ganga en ocasiones específicas se han transformado en metales cuando se conoce otra aplicación para ellos (Miquel, 2013, p. 60).

#### ***2.4.1. Clasificación***

Según Herbert (2006), los yacimientos explotables por Minería a Cielo Abierto pueden clasificarse atendiendo a los siguientes criterios:

- Por su forma
- Por su cercanía a la superficie
- Por su complejidad
- Por el relieve del terreno
- Por su inclinación
- Por el tipo de roca dominante
- Por la distribución de la calidad del mineral

La clasificación por su forma de los yacimientos a cielo abierto es:

- Estratificados
- Isométricos
- Columnares o cilíndricos
- Intermedios o mixto.

La morfología de los yacimientos marca acusadamente:

- El método minero más adecuado
- La secuencia de extracción y
- La geometría final de las explotaciones,

También se clasifican por el relieve del terreno original de los yacimientos a cielo abierto

- Montañosos
- Horizontales o planos
- Submarinos y subacuáticos
- En ladera

### **2.4.2. Propiedades técnicas**

Las características físico mecánicas de las rocas resultan de la composición química y mineralógica, así como de su textura y estructura, conjunto que permite definir la resistencia de las rocas a la acción de los agentes de deterioro (Dávila, 2017, p. 24).

#### **2.4.2.1. Propiedades físicas**

*Peso específico:* es la relación del peso de las partículas del agregado en igual volumen de agua libre de aire. Es un indicador de calidad, a valores altos corresponde un material de buen comportamiento, mientras que valores bajos corresponden a agregados absorbentes y débiles (Chapoñan, 2017, p. 87).

*Porcentaje de absorción:* es la capacidad de admitir o sostener agua en los espacios vacíos dentro de los poros de las partículas. El procedimiento es saturar los agregados durante 24 horas y ponerlo a secar extendiéndolo, el agregado fino se verificará por medio de un cono de tronco especial y un pezón, se hace medidas cada cierto tiempo pudiendo presentarse en tres casos: muy húmedo, saturado superficialmente seco y seco (Chapoñan, 2017, p. 88).

*Peso volumétrico de la arena:* el peso volumétrico (PV) tiene como objetivo calcular la cantidad de arena en kilogramos que se puede obtener en un metro cúbico en un recipiente de volumen ya determinado sin darle un acomodo a las partículas (Dávila, 2017, p. 22).

#### **2.4.2.2. Propiedad mecánica**

*Resistencia a la compresividad:* máxima presión que puede soportar un material bajo una carga fuerte. La resistencia a la compresión de un material que no se rompe se puede caracterizar dentro de puntos de corte genuinamente restringidos como una propiedad autónoma. En cualquier caso, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en presión debe caracterizarse como la medida de deformación necesaria para mutilar el material por una suma discrecional. La resistencia a la compresión se determina separando la carga más extrema por el primer espacio de sección transversal de una prueba en una prueba de presión (Orozco, 2018, p. 34).

### **2.5. Diseño de mina**

La configuración de un plan de mina incluye tres componentes clave: el yacimiento, el plan de mina y la infraestructura. El diseño comienza desde adentro y se planifica hacia afuera: el yacimiento (dado de forma natural y descifrado por los geólogos) es la premisa de la disposición de la mina (técnica de extracción, agrupación de recuperación y límite útil). La disposición de la

mina está respaldada por el marco de excavación para su actividad (metal, ventilación, eléctricos / mecánicos, etc.) Estos componentes clave deben abordarse en el diseño para que la mina sea eficaz, competente y productiva (Molina, 2011, p. 45).

### ***2.5.1. Cálculo de reservas***

La razón para evaluar las reservas es decidir la cantidad, la calidad y la probabilidad de una explotación del mineral que lo forma, independientemente de si es metalífero, no metálico, mecánico o combustible. La medición se realiza sobre toda la existencia útil de una mina a través de una medida de demostración de depósito. Para realizar la evaluación debemos producir un modelo de la oferta que lo aborde de la manera más ideal. El cálculo consta de dos etapas: una primera, que incorpora retratar la morfología (estimación, estado) de las mineralizaciones y el material de cada una de ellas, y una posterior donde la estimación de las reservas recuperables y su presente y futuro (Benavides, 2014, p. 60).

#### ***2.5.1.1 Métodos para el cálculo de reservas***

*La media aritmética:* es la técnica de cálculo menos difícil. Para esta situación, el estado del cuerpo mineral es reemplazado por una placa o lámina de volumen comparable cuyo espesor se relaciona con la forma normal del cuerpo. Las formas se dibujan en planos verticales o proyecciones. El delimitado se lo hace planimétricamente o mediante otra estrategia de cálculo (Reina y García, 2012, p. 5).

*Método de los bloques de explotación:* Esta técnica también es una variación de la estrategia matemática media y se usan en el cálculo de las reservas Philonean, que se dividen en bloques. Como lo indica este método explícito a la minería subterránea, los cálculos de las reservas están determinadas por la agregación de las reservas incompletas adquiridas en bloques individuales de explotación (Reina y García, 2012, p. 6).

*Método de los polígonos:* este tipo de modelado depende de la producción de polígonos de impacto alrededor de cada pozo o prueba. Cada polígono de impacto se caracteriza por las bisectrices dibujadas en las secciones que unen el cierre por sondeos o datos próximos. Tanto el espesor como la ley del mineral se consideran constantes dentro de cada polígono y equivalentes a la fuerza y la ley media de sondeo del pozo correspondiente. Un polígono del modelo se compara con cada sondeo (Acevedo, 2019, p. 11).

*Método de los Triángulos:* depende de unir los sondeos o la información a través de líneas rectas que enmarcan una red de tres lados. Cada triángulo es la base de un prisma fantasioso con una fuerza específica. La ley de cada prisma se determina como la media matemática de las leyes

medias en los tres sondeos de los vértices del triángulo 10, o como la ley normal ponderada por las fuerzas en cada uno (Acevedo, 2019, p. 12).

*Modelación por secciones:* es común utilizar este método en yacimientos mantiformes. Se establecen secciones perpendiculares al eje principal del yacimiento en las cuales se efectúan los sondeos. Dos secciones contiguas definen un bloque y la integración de éstos determinan el modelo del prospecto. El criterio a emplear en la extensión de la información depende del evaluador (Acevedo, 2019, p. 12).

*Método pentaédrico:* método propio del RecMin, se representa en 3D para calcular recursos y reservas de cuerpos tabulares a partir de diferentes sondeos y capas realizadas. Calcula de forma automática el espesor real del cuerpo geológico tabular y su extensión (Acevedo, 2019, p. 12).

## ***2.5.2. Sistemas de explotación***

### *2.5.2.1. Canteras en terrenos horizontales*

El trabajo se inicia en un canal, hasta llegar a la profundidad del nivel principal, luego, en ese punto agrandando el hueco realizado y uniendo este desarrollo paralelo con el extendido (Herrera, 2017, p. 50).

Como beneficios de este tipo de canteras están:

- Posibilidad de trasladar las oficinas de la cantera al interior del pozo una vez alcanzadas las medidas adecuadas, logrando menor efecto y menor control del terreno.
- Mejor control ecológico del yacimiento y un efecto visual mucho menor.
- Posibilidad de proyectar la trayectoria general de transporte en un lugar que no se cambie en bastante tiempo.
- Permiten el establecimiento de un marco de líneas de transporte.

Como desventajas, incluyen:

- La necesidad de hacer el transporte vertical de materiales y, de esta forma, contra la inclinación.
- Mayor gasto de medición de estructuras de filtración y sifón.

### *2.5.2.2. Canteras en ladera*

Según Herbert (2017), la dirección en la que se realicen los trabajos de excavación, puede distinguirse las siguientes alternativas:

**Tabla 1-2: Formaciones geológicas**

Alternativas	Descripción
Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El frente de trabajo está siempre activo.</li> <li>• El frente es progresivamente más alto, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.</li> <li>• Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicial hasta la planta de tratamiento.</li> </ul>
Excavación descendente y abandono del talud final en bancos altos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren una definición previa del talud final</li> <li>• Exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio.</li> <li>• Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota.</li> </ul>
Avance lateral y abandono del talud final:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial</li> <li>• Permite mantener de forma constante la distancia de transporte</li> <li>• Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido, profundizándose poco en la ladera, pero con un avance lateral amplio.</li> </ul>

Fuente: Herbert, 2017.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 2.5.2.3. Supercanteras

Se trata de explotaciones que trabajan en campos extensos con condiciones de menor calidad ecológica y con ritmos de producción en el rango de 5 y 20 Mt / año, explotando los impactos de las economías de escala en los gastos de producción, del método de “corta”, con arranque por perforación y voladura en algún lugar en el rango de 10 y 18 m para conseguir una competencia más destacable, rompiendo el interior de corte similar con equipo versátil y semiportátil y extracción por línea de transporte a través de pasajes a la planta. Se logran altas eficiencias de trabajo y rendimientos (Herrera, 2006, p. 12).

### 2.5.2.4. Canteras subterráneas

Este tipo de explotaciones son excelentes alternativas cuando aparecen restricciones de tipo geológico, económico y/o ambiental. El proyecto de una cantera subterránea según Herrera (2006), deberá prestar atención a los siguientes apartados:

- Ventilación

- Métodos de explotación
- Accesos a la cantera
- Técnica de sostenimiento

### ***2.5.3. Parámetros de diseño***

#### ***2.5.3.1. Relación sobrecarga-mineral***

Es la relación máxima de estéril a mineral útil hasta la que puede extraerse una tonelada o metro cubico de este, manteniéndose un beneficio mínimo previamente fijado. Esto implica que cada unidad de mineral arrancado produce un beneficio igual o mayor al beneficio mínimo aceptable (Bustillo y López, 1997, p. 65).

#### ***2.5.3.2. Profundidad de la cantera***

La profundidad de la cantera, es un parámetro muy importante a tomar en cuenta, pues nos indica hasta donde debemos avanzar en profundidad al momento de la explotación del material. El nivel inferior es considerado para el cálculo de las reservas a ser extraídas. Para establecer la profundidad de explotación, se deber establecer la cota superior (Hs) que constituye el límite superior de la explotación, y la cota inferior (Hi) (Cuenca, 2015, p. 32).

#### ***2.5.3.3. Altura de banco***

Para el cálculo de la altura de banco se establece a partir de las mediciones que tengan los equipos de excavación y de carga, las particularidades del suelo y de los requerimientos de selectividad de la explotación minera. En términos generales, lo que condiciona para establecer la altura de banco es el equipo de carga y la altura máxima que alcanzará el cucharón de la maquinaria (Velásquez, 2019, p. 45).

#### ***2.5.3.4. Ancho de tajo***

El ancho de la base del banco de trabajo es la cantidad de espacios esenciales para el desarrollo del aparato que trabaja en él todo el tiempo, de modo que sea lo suficientemente ancho para permitir que los camiones de relleno sanitario y las herramientas de excavación se muevan de manera efectiva sin desplazarse superfluamente hacia el frente. del motor de arranque. Además, mantenga una separación de seguridad de la base de cinco metros (5 m) desde el borde del asiento en el curso normal del trabajo. Los tres ciclos esenciales que ocurren dentro de una cantera son

aburrido, apilado y transporte, que pueden completarse todo el tiempo en un asiento similar (Sierra, 2017, p. 50).

#### *2.5.3.5. Ángulo de la cara del banco*

Es el ángulo de operación en el arranque, que se forma entre la línea de máxima pendiente del banco y un plano horizontal. Este parámetro es el principal para el diseño de la explotación ya que este nos determina la estabilidad del talud final de explotación (Sierra, 2017, p. 51).

#### *2.5.3.6. Bermas*

Las bermas se manejan como plataformas de acceso en la pendiente de una excavación y también como áreas de protección al detener materiales que pueden desprenderse de los frentes en los bancos superiores, hacia las vías o áreas de trabajo inferiores. En consecuencia, las características y dimensiones de las bermas definitivas deben justificarse mediante cálculo, para lo cual se debe conocer la inclinación de las superficies de rotura de los bancos y el ángulo de reposo del material fragmentado (Sierra, 2017, p. 51).

#### *2.5.3.7. Pistas y accesos (rampas)*

Constituyen posiblemente el elemento de cimentación más complicado de caracterizar, ya que deben garantizar la disponibilidad con total seguridad a todos los lugares de la cantera. Son las vías por las que circulan los vehículos dentro de la explotación y, en particular, las unidades de acarreo. Las cualidades de diseño de las pistas y de lo que se ha llamado explícitamente "acceso" son diferentes, porque mientras en las pistas la circulación es habitual y continua en los dos y a marcha rápida, en los llamados "accesos", que se usan de forma eventual y únicamente para el acceso a sus tajos de las máquinas que efectúan el arranque u operaciones auxiliares, la circulación es mínima y a velocidad más lenta (Sierra, 2017, p. 52).

#### *2.5.3.8. Ritmo de extracción*

Para determinar el ritmo de extracción en la explotación se debe hacer un análisis de los factores que intervienen, fundamentalmente la demanda planificada de material que se requiera y la maquinaria con la cual se va a realizar la actividad minera.

También se puede calcular por medio de la observación, donde el conteo simple se puede usar para encontrar información importante. Por ejemplo, puede contar las bolsas de mena que pasan cada hora por el molino, el número de mineros en cada cantera a cielo abierto, y el número de

procesadores en cada sistema de procesamiento. Este conteo puede usarse para estimar el ritmo diario de producción, los mineros dedicados a la extracción y los mineros dedicados a procesamiento, respectivamente (Sierra, 2017, p. 53).

#### *2.5.3.9. Tiempo de vida*

La vida útil del proyecto minero corresponderá al cálculo que se efectúa en función de los recursos minerales medidos, indicados e inferidos, certificados por una persona competente en recursos y reservas mineras, conforme al estudio de diagnóstico. Cualquiera de estos factores, o una combinación de ellos, puede dar origen a una modificación sustancial del proyecto, en cualquier momento de su desarrollo, con implicancias que pueden afectar la vida útil (Sierra, 2017, p. 60).

En general, los factores modificantes técnicos y económicos son los mayormente analizados cuando se prepara un proyecto minero, y con varios de ellos se hacen análisis de sensibilidad, de manera que se puede evaluar el impacto que tienen en la viabilidad del proyecto y eventualmente en la vida útil (ritmos de explotación, recuperaciones metalúrgicas, precios de productos, costos, etc.).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Zona de estudio

Territorialmente el cantón Limón Indanza tiene 1.806 km<sup>2</sup> aproximadamente. Está situado principalmente en la región Amazonía, aunque incluye una pequeña porción de región Sierra, del orden del 19%. Presenta alturas sobre el nivel del mar que varían desde 280 metros hasta un máximo de 3.800 metros. En el cantón Limón Indanza se pueden diferenciar cinco dominios fisiográficos, los tres primeros enmarcados en la región Sierra y el resto en la región Amazonía. El cantón Limón Indanza muestra la geomorfología típica de la transición de las zonas de Cimas frías de las Cordilleras Real, situadas en las zonas altas al noroeste del cantón, hacia la Zona Subandina, que aparece desde la zona central del cantón hacia el extremo sureste del mismo. Este cambio en el paisaje, empieza por el extremo noroccidental del cantón en los Paisajes glaciares y los Paisajes de páramo caracterizados por geformas de origen glaciar y periglacial.

Hacia el centro del cantón, conforme el relieve va perdiendo altura, se encuentran los Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, donde siguen las vertientes como geforma predominante en el relieve, aunque empiezan a aparecer relieves generados por procesos tectónico-erosivos. En la zona centro-occidental del cantón, pero ya en la región Amazonía, se localiza el Corredor Limón-Gualaquiza, destacando como paisaje transicional de entrada a la Zona Subandina. Este paisaje, al igual que el anterior, está dominado por vertientes y en segundo lugar por relieves de carácter tectónico-erosivo, ha sido intervenido por la acción de los ríos Yungantza e Indanza.

En resto del cantón, del centro hasta el extremo oriental, está dominado por el paisaje de la Cordillera del Cutucú, formado principalmente por vertientes también con fuertes pendientes y sus depósitos asociados con menor inclinación, así como relieves predominantemente montañosos con desniveles generalmente altos. Este paisaje está fuertemente erosionado por la red de drenaje, en la cual se muestran multitud de barrancos, siendo la geforma más representativa de la génesis fluvial y se encuentran depósitos coluvio-aluviales ocupando una gran cantidad de cauces y quebradas. En el sector centro-oriental se encuentran geformas de génesis estructural, sobre todo cuevas y sus geformas asociadas, son concretamente tres zonas residuales del contexto Cordillera del Cóndor.

### 3.1.1. Geología regional

A continuación, en la tabla 1-3 se hará referencia a las formaciones geológicas del cantón y su litología:

**Tabla 1-3:** Formaciones geológicas

FORMACIÓN	ÁREA (ha)	%
Sin Información	3548.53	1.94%
F. HOLLIN	32379.05	17.77%
F. MERA	202.13	0.11%
F. MISAHUALLI	861.04	0.47%
F. NAPO	11695.40	6.42%
F. SANTIAGO	47825.15	26.25%
G. LIMON	9357.40	5.13%
ROCAS METAMORFICAS INDIFERENCIADAS	37080.32	20.35%
U. CHAPIZA	39186.85	21.51%
<b>TOTAL</b>	<b>182135.87</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Limón Indanza, 2014.

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

#### 3.1.1.1. Formación Napo

Hecho fundamentalmente de materiales sedimentarios, es uno de los arreglos más comunes en el este de Ecuador, está compuesto de piedra caliza oscura, profundamente desfigurada por el impacto de la tectónica que elevó y distorsionó la cordillera de los Andes. No es inesperado descubrir en este desarrollo una enorme cantidad de restos fósiles, por ejemplo, amonitas, moluscos y peces. (Watson y Sinclair, 1927).

Se ha dividido en 3 litologías: Napo Inferior, Napo medio y Napo Superior. Por la rica fauna de foraminíferos y ostrácodos ha sido factible decidir una edad que va del Albiano al Santoniano. La presencia de calizas provoca la disposición de suelos más solubles, y su sombreado es más claro en contraste con los espacios donde se encuentran las lutitas. El ajuste fugaz de estos materiales crea suelos muy arcillosos.

#### 3.1.1.2. Formación Misahuallí

Considerada una disposición de tipo sedimentario de origen volcánico, se describe por la presencia de magmas solubles (tonalidad tenue) y piroclastos, el desarrollo de suelos de estos materiales le confieren una causticidad específica y un matiz caramelo.

Los atributos topográficos son muy inestables o de reposo excepcionalmente alto, lo que podría producir avalanchas y derrames masivos.

### *3.1.1.3. Formación Hollín*

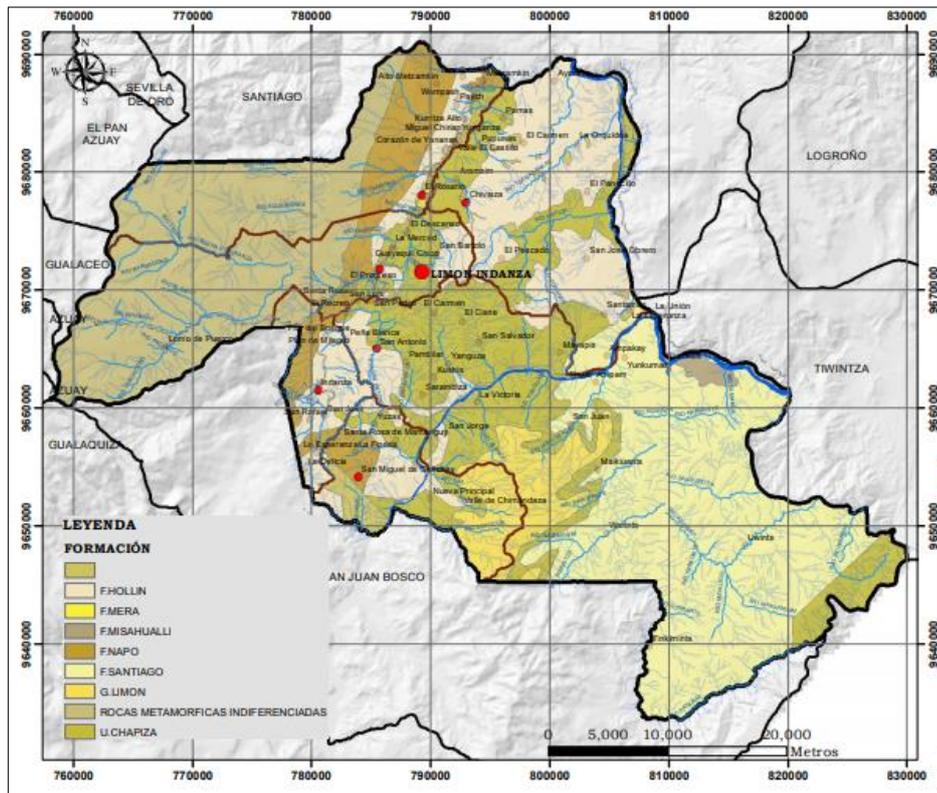
Aflora a lo largo del río Hollín que desemboca en el Misahuallí, a 8 km al E de Tena. Es una arenisca de grano medio a grueso, fuerte o delineada en cruz, con exiguas intercalaciones de lutitas arenosas, localmente micáceas o carbonatadas. Las impregnaciones de punta negra son moderadamente normales. Es esencial para los principales depósitos de petróleo de Oriente. Él en su mayor parte va con el Fm Napo suprayacente.

### *3.1.1.4. Unidad Chapiza*

Se caracteriza por la presencia de rocas piroclásticas, lavas de composición básica, así como de sedimentos de diferente composición de edad jurásica. En esta formación geológica también se puede establecer la presencia de una toba cuarzo feldespática, meteorizada, deleznable de textura porfídica, de composición volcánica con pocos componentes sedimentarios y algunos minerales arcillosos, caracterizado por la presencia básicamente de plagioclasa (cristales de Albita), cuarzo con texturas cristalinas, filosilicatos (micas) principalmente de biotita conjuntamente con piroxenos y óxidos de hierro.

### *3.1.2. Geología local*

Se constituyen básicamente por esquistos, esquistos verdes, grafitosos, cuarcitas, gneises, metaandesitas y filitas con cuarzo de edad paleozoica-mesozoica. Relacionados con este complejo, se puede destacar la presencia de afloramientos de esquistos. Estos esquistos son de carácter foliado, color verde, textura lepidogranoblastica, fuertemente deformados, con presencia de sericita y clorita. Su composición básicamente está caracterizada por la presencia de microcristales de albita en lugares con características de oligoclasas (25-25%), cristales anhedrales de cuarzo (10-15%), recristalizados, en concentraciones microcristalinas con presencia de microcizallamientos, micas de sericita y muscovita (25-30%), asociadas a cloritas, presentando foliación orientada característica de la roca, como se puede evidenciar en la figura 1-3.



**Figura 1-3:** Geología local

Fuente: PDOT Limón Indanza, 2014.

### 3.1.2.1. Geomorfología

Es la rama de la geografía general que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo. En el cantón Limón Indanza se han encontrado tres tipos de vertientes: Piedemonte Andino, Vertiente Andina Alta y Vertiente Andina o Zona Subandina, cada una con sus respectivas características del relieve, según la Zonificación Ecológica y Económica de Morona Santiago 2001.

### 3.1.2.2. Piedemonte Andino

#### *Relieves colinados de las partes bajas de las vertientes y flancos coluviales*

Los valles del sur son generalmente estrechos, se insertan en paisajes vigorosamente disectados o accidentados que comportan, a veces, rocas sensibles a la meteorización y susceptibles de deslizamientos en las pendientes; y a veces., cornisas de areniscas que se derrumban por fallas. Los sistemas de terrazas fluviales, tales como las que se observan al norte y al centro de la Amazonía, no encuentran su lugar aquí, así como tampoco los grandes glaciares detríticos. Sin

embargo, sus partes bajas están tapizadas por numerosos conos detríticos pequeños, alineados al pie de los relieves.

Estos relieves se localizan en la parte sur de la provincia y cubren un área de 52442 Ha, que constituye el 2.2% de la superficie total provincial.

#### *Relieves derivados de terrazas antiguas en forma de niveles indiferenciados excavados*

Los valles del sur son generalmente estrechos. Se insertan en paisajes vigorosamente disectados o accidentados que comportan, a veces, rocas sensibles a la meteorización y susceptibles de deslizamientos en las pendientes; y a veces, cornisas de areniscas que se derrumban por faldas. Los sistemas de terrazas fluviales, tales como las que se observan al norte y al centro de la Amazonía, no encuentran su lugar aquí, así como tampoco los grandes glaciares detríticos. Sin embargo, sus partes bajas están tapizadas por numerosos conos detríticos pequeños, alineados al pie de los relieves.

La alta terraza disectada de Chipana, cerca de Méndez, cubre una superficie de 19346 Ha, que representan el 0.8% del total de la provincia. Resulta interesante como testigo de un antiguo nivel, cubierto por suelos rojos sobre un material coluvial, muy rico en guijarros y bloques detríticos graníticos o gneísticos; ésta contrasta con la terraza sobre guijarros andesíticos de Patuca, que está frente a ella y que se reúne con el piedemonte.

#### *3.1.2.3. Vertiente andina alta*

#### *Relieves de disección aguda desarrollados sobre rocas metamórficas, semimetamórficas y sedimentarias*

Estas altas vertientes se distinguen por la presencia de un manto de proyecciones de cenizas volcánicas. Por su altitud, escalonada entre 3.500 y 1.200 m, escaparon a la fase glaciaria y son modeladas únicamente por la erosión lineal. Se encuentran en el lado occidental de la provincia y ocupan una superficie de 400204 Ha, que significa el 16.8% del total provincial. Este paisaje se desarrolla exclusivamente sobre formaciones metamórficas que fueron subdivididas geológicamente en cuatro grupos: Cofanes y Ambuquí en el Norte, Llanganates en el centro y Zamora en el Sur. Se escalonan del Precámbrico al Paleozoico inferior.

#### *Relieves rocosos agudo con modelado glaciario o nival*

La Cordillera Oriental comprende una zona montañosa que toma el rumbo de las direcciones estructurales generales de los Andes, es decir, Noreste-Suroeste, enmarcando el pivote cristalino de la Cordillera. Se sitúa en el extremo occidental de la región y posee una superficie de 88090 Ha, frente al 3,7% del espacio total del territorio. Las elevaciones más notables fluctúan en el rango de 4.000 y 5.400 m. con pendientes exteriores extremadamente inesperadas que caen rápidamente hacia el Amazonas. Este tipo de escena se aborda mucho, sobre todo en el punto más alto de la pendiente del Amazonas, en la prolongación de los relieves helados, en los interfluvios

hacia el inicio de las enormes inclinaciones exteriores. Es un territorio excepcionalmente accidentado, muy lejos de todas las entradas. Básicamente está hecho de afloramientos ásperos como bordes, bordes y agujas, con cimas generalmente desarraigadas que dominan las caras empinadas de piedra y las pendientes pronunciadas, frecuentemente cubiertas con escombros y pilas de rocas. En estas escenas faltan estructuras frías promedio, la mayoría de las cuales están expuestas a medidas periglaciales. Cada uno de los ejemplos notados de inicio primario, volcánico, estructural o erosivo, pasó, por gelificación, un rediseño total.

#### *3.1.2.4. Vertiente andina o zona subandina*

Se encuentra asentada entre la Cordillera de los Andes y las sierras de Cutucú y Cóndor, se relaciona hacia el borde occidental de la estructura anticlinal de Santiago, es decir, la tierra "Racimo de Limón". Se sitúa en la pieza focal occidental de la región y ocupa un espacio de 198614 Ha, lo que supone el 8,3% del espacio completo del territorio. La inventiva de la escena que se encuentra en la desembocadura de los Andes, en el Plan de Milagro, sobre Indanza y Limón, legitima la individualización de esta unidad.

No obstante, es una escena compuesta. Sin duda, el grupo de Limón solo aborda la relación indiferenciada de tres desarrollos sedimentarios del Cretácico subandino. Por lo tanto, incorpora areniscas, cuarcitas, pelitas, margas y calizas, rocas con las que normalmente se comparan ejemplos específicos.

Con seguridad, la escena recuerda aristas apartadas por el estado de inclinaciones o porciones de azúcar, formas repentinas e inclinaciones firmemente analizadas que se comparan con las rocas más monstruosas o más duras, particularmente las areniscas de cuarzo. Sin embargo, en su mayor parte se trata de pendientes debidamente analizadas y seriamente reconstruidas que se relacionan con las rocas más suaves y mejor separadas de la facies del flysch. No impide la presencia de estructuras kársticas. A lo largo de la vía rápida Gualaquiza-Indanza-Limón, se pueden observar varios afloramientos de facies de flysch. Estos presentan delimitaciones decimétricas de rocas de superficie fina y esquisto, arenisca o pelítica, silíceas, margosas o calcáreas, con cortes amarillos u oscuros, que se sustituyen por bancos más grandes de calizas fosilíferas oscuras.

#### *Relieves de disección aguda desarrollados sobre rocas intrusivas*

Las dos vertientes andinas, occidental y oriental, están verdaderamente "agujeradas" por intrusiones granitoides numerosas y extensas. Las más importantes se encuentran en la vertiente occidental y sobre la vertiente oriental entre La Bonita y Mera o en las cercanías de Zumba; aunque muchas otras pequeñas intrusiones están diseminadas a lo largo de estas dos vertientes. Regularmente se trata de rocas de grano medio a grande con cuarzo, feldespato, hornblenda, con composiciones de granito, granodiorita o tonalita. Las facies de grano fino están poco representadas.

*Relieves disimétricos y a menudo agudos desarrollados sobre rocas sedimentarias duras*

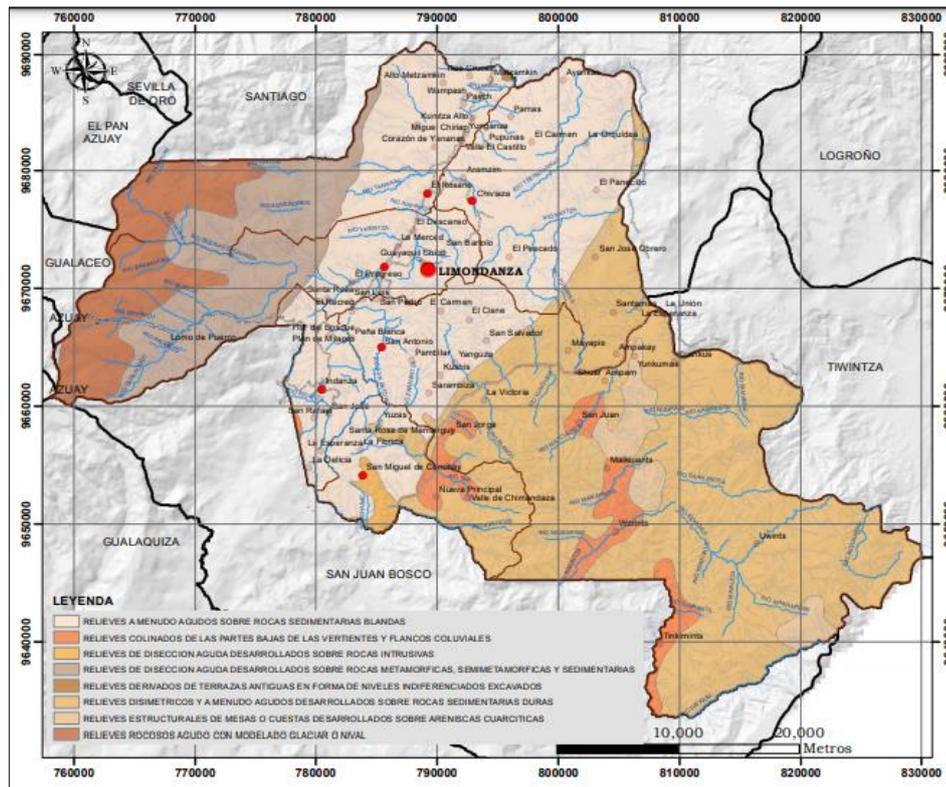
La estructura del Santiago es más abultada, más profunda y más accidentada que la de su contraparte norte. Da lugar a las sierras de Cutucú y Cóndor, en ambos tramos del río Santiago que las atraviesa en la quebrada. En Morona Santiago ocupa una superficie de 513175 Ha, lo que representa el 21,5% del total de la superficie provincial. Paralelos a la Cordillera de los Andes, en realidad constituyen una tercera cordillera, con una orientación submarina similar, ubicada en la orilla oriental, en una posición subandina.

*Relieves estructurales de mesa o taludes desarrollados sobre areniscas de cuarzo.*

La construcción del Santiago está más agrandada, tanto más profundamente excavada y más intensamente dura que la de su contraparte del norte. Proviene las sierras Cutucú y Cóndor, sobre los dos trozos del río Santiago que las atraviesa en el cañón. En Morona Santiago involucra un espacio de 513175 Ha, que atiende el 21,5% de la región común absoluta. Correspondientes a la Cordillera de los Andes, realmente establecen una tercera cordillera, con una dirección sumergida comparativa, situada en la orilla oriental, en una posición subandina.

*Relieves primarios de meseta o inclinados realizados sobre areniscas de cuarzo.*

La unidad es un escenario regular de la Cordillera del Cóndor, que presenta 18,720 Ha de inclusión espacial, que corresponden al 0,8% de la región común total. Las capas del frente discordante de areniscas del Cretácico estructuran maravillosos planos primarios asentados sobre los relieves rocosos básicos, que se pueden distinguir sin esfuerzo tanto en el territorio como en informes etéreos y espaciales. Son tablas de subnivel o, con la mayor frecuencia posible, planos noclinales con una ligera tendencia hacia el oeste. La unidad recuerda las primeras superficies para una posición de pico, desglosadas en pequeños pináculos ajustados curvos subiguales y restos de superficies determinadas, más bajas y con un análisis más desarrollado en pendientes más establecidas, ver figura 2-3.



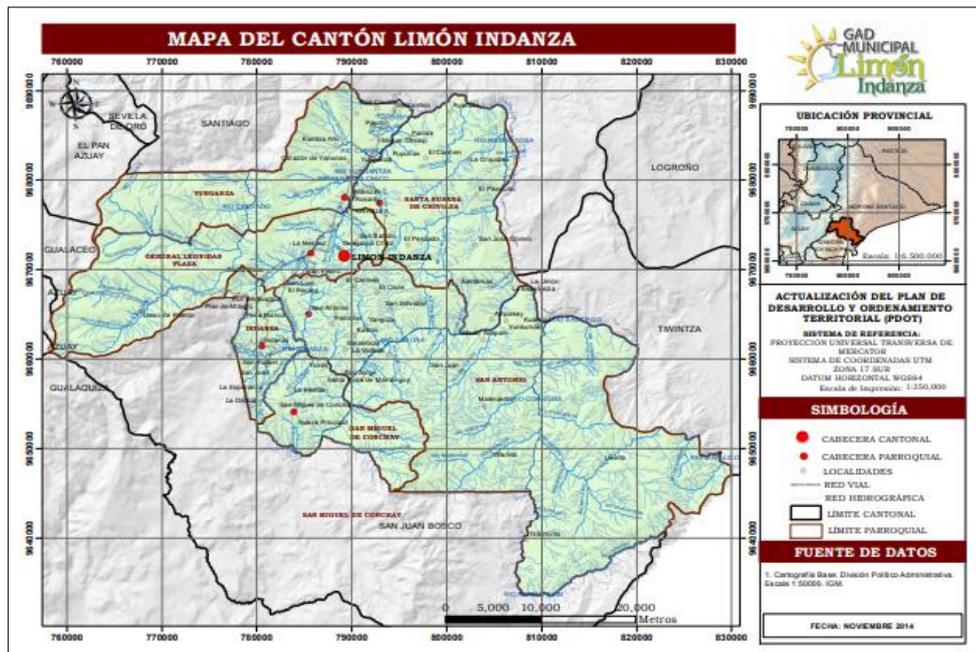
**Figura 2-3:** Mapa geológico del cantón Limón Indanza

Fuente: PDOT, 2014.

### 3.1.3. Aspectos generales

La ubicación de la concesión minera Cristo Rey es en el cantón Limón Indanza, Provincia de Morona Santiago en la región de la amazonia del Ecuador. Se encuentra en las coordenadas Latitud: -2.965455 y Longitud: -78.430409, como se indica en la figura 3-3.

El cantón Limón Indanza cuenta con importante número de yacimientos minerales metálicos y no metálicos, destacándose las minas de sílice, materia prima que existen en gran cantidad y que de manera muy limitada se explota para la industria de fabricación de botellas y vidrio.



**Figura 3-3:** Mapa del cantón Limón Indanza

Fuente: PDOT, 2014.

### 3.1.3.1. Límites

El cantón Limón Indanza se encuentra limitado al Norte con el Cantón Santiago, al Sur con el Cantón San Juan Bosco, al Este el Cantón Santiago y El Perú y al Oeste la Provincia del Azuay.

### 3.1.3.2. División política

Parroquias urbanas

- General Leónidas Plaza Gutiérrez (cabecera cantonal)

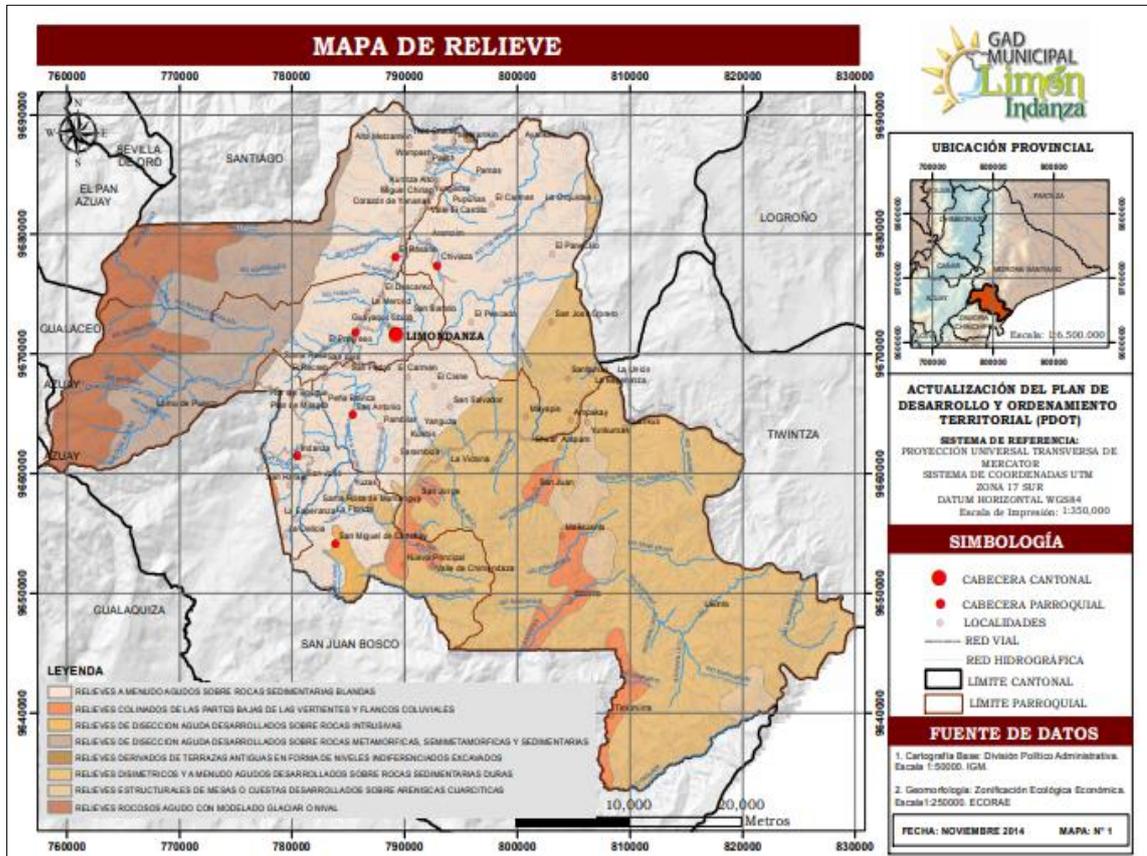
Parroquias rurales

- Indanza
- San Miguel de Conchay
- San Antonio
- Santa Susana de Chiviaza
- Yunganza.

### 3.1.3.3. Relieve

El cantón Limón Indanza está determinado por su formación cretácica de la era Mesozoica o Secundaria. Se encuentra formado con terrenos de gran diversidad morfoestructural, con relieves abruptos altamente colinados hacia la zona oeste y centro sur de la vertiente Andina de la

cordillera Oriental, hacia la zona este, se encuentran vastos espacios semicolinados, ondulados y hasta planos entre las riberas de la cuenca del Río Zamora, como se puede evidenciar en la figura 4-3.



**Figura 4-3:** Mapa de relieve del cantón Limón Indanza

Fuente: PDOT, 2014.

En el cantón Limón Indanza se han encontrado tres tipos de vertientes: Piedemonte Andino, Vertiente Andina Alta y Vertiente Andina o Zona Subandina, cada una con sus respectivas características del relieve, según la Zonificación Ecológica y Económica de Morona Santiago 2001, como se puede observar en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Unidades geomorfológicas

TIPO DE RELIEVE	Área (Ha)	%
<b>PIEDEMONTE ANDINO</b>		
Relieves Colinados De Las Partes Bajas De Las Vertientes Y Flancos Coluviales	7042.97	3.86%
Relieves Derivados De Terrazas Antiguas En Forma De Niveles Indiferenciados Excavados	46.52	0.02%
<b>VERTIENTE ANDINA ALTA</b>		
Relieves De Disección Aguda Desarrollados Sobre Rocas Metamórficas, Semimetamórficas Y Sedimentarias	19356.19	10.62%
Relieves Rocosos Agudo Con Modelado Glaciar O Nival	13194.88	7.24%
<b>VERTIENTE ANDINA O ZONA SUBANDINA</b>		
Relieves A Menudo Agudos Sobre Rocas Sedimentarias Blandas	65671.67	36.05%
Relieves De Disección Aguda Desarrollados Sobre Rocas Intrusivas	1086.75	0.59%
Relieves Disimétricos Y A Menudo Agudos Desarrollados Sobre Rocas Sedimentarias Duras	70054.01	38.46%
Relieves Estructurales De Mesas O Cuestas Desarrollados Sobre Areniscas Cuarzíticas	4765.26	2.62%
(En Blanco)	917.57	0.5%
<b>TOTAL</b>	<b>182135.87</b>	<b>100%</b>

Fuente: Smimov, 1976.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 3.1.3.4. Suelos

Para el presente estudio se ha considerado el sistema de clasificación de la Soil Taxonomy USDA (7ma aproximación), el cual clasifica al suelo por: Orden, Suborden, Grandes Grupos, Subgrupo, Familia y Series. Considerando solo la clasificación por Orden, como se observa en la tabla 3-3, según MAG\_PRONAREG, 1978\_1984, en el cantón Limón Indanza encontramos los siguientes:

**Tabla 3-3:** Taxonomía de los suelos

TIPOS DE SUELO	ÁREA (HA)	%
ENTISOL	3,329.4	2.08%
HISTOSOL	8,777.27	5.07%
INCEPTISOL	168,664.94	92.85%
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>182,135.87</b>	<b>100%</b>

Fuente: PDOT Limón Indanza, 2014.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### *3.1.3.5. Clima*

Cuenta con un clima agradable y una temperatura de 18 a 24 grados centígrados.

La localización y las características topográficas del cantón Limón-Indanza han determinado la presencia de tres tipos de climas:

- Clima de Páramo: corresponde a las partes altas de la vertiente Andina y cordillera oriental, con precipitación que van entre los 1000 mm. a 1500 mm. y con temperaturas entre los 14° y 17°C.
- Templado Permanente Húmedo: tipo de clima presentes en las partes medias de la vertiente andina y cordillera del Cóndor, con precipitaciones que oscilan entre los 1500 mm. y 3000 mm. Y temperaturas sobre los 20 ° C.
- Tropical Lluvioso: zona climática presente en las partes bajas de las cordilleras y en los valles, con temperaturas desde los 23 °C en adelante y precipitaciones medias anuales que fluctúan entre 2000 mm y 3000 mm.

### *3.1.3.6. Recursos no renovables existentes de valor económico, energético y ambiental*

La tabla 4-3 indica, que el cantón posee reservas de minerales metálicos y no metálicos, como: Sílice, Oro, Cobre, caolín y arcilla. La agencia de Regulación y Control Minero mantiene consolidada y actualizada la base de datos en el Catastro Nacional Minero el cual permite a las entidades determinadas en la Ley, la supervisión y control de esta información, con cimiento en dicho catastro, se formularán los informes técnicos respecto de la ubicación y límites de los derechos mineros.

En el catastro minero constan: Concesiones Mineras, Libres Aprovechamientos y Permisos Artesanales; solicitudes que ingresan a Agencia de Regulación y Control Minero, donde grafican las coordenadas e identifican dentro del catastro minero, mismas que si cumplen con los requisitos tanto de la Ley y Reglamento general de la Ley de Minería, pueden archivar o seguir el trámite hasta la obtención de la concesión.

**Tabla 4-3:** Recursos no renovables existentes en el cantón

RECURSO	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE CONCESIONES	SUPERFICIE OCUPADA (ha)	OBSERVACIONES
No metálico	Arcilla, Caliza, Arena Silíceo, Sílice	18	1499	Existe una deficiente gestión institucional de las actividades extractivas
Metálico	Oro y cobre	28	36623	Se han registrado concesiones en territorios destinados para la conservación debido a la deficiente gestión interinstitucional.

Fuente: PDOT Limón Indanza, 2014.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 3.1.3.7. Concesiones mineras

La concesión minera confiere a su titular el derecho real y exclusivo a prospectar, explorar, explotar, beneficiar, fundir, refinar y comercializar todas las sustancias minerales que puedan existir y obtenerse en el área, sin otras limitaciones que las señaladas en la presente ley (áreas que tiene que pasar o aprobar los Estudios de Impacto Ambiental).

Las concesiones mineras se encuentran repartidas principalmente en la parte Noroeste (Área de Bosque y Vegetación Protectora Tinajillas\_Río Gualaceño) y Sur del cantón, ocupando un área total de 38.023 has; que representa el 21% del territorio cantonal, tal como lo señala la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Número de concesiones mineras

Nº CONCESIONES	TIPO DE MINERAL	MINERAL DE INTERÉS	SUPERFICIE (HA)	FASE MINERA	
				EXPLORACIÓN	EXPLOTACIÓN
6	No metálico	Arcilla	850	2	4
4	No metálico	Arena silíceo	408	0	4
3	No metálico	Caliza	219	1	2
8	Metálico	Cobre	26.538	8	-
6	Metálico	Oro	10.002	6	-
1	No metálico	Roca para construcción	6		1

Fuente: PDOT Limón Indanza, 2014.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 3.1.3.8. Accesibilidad

El cantón General Plaza se comunica con las demás parroquias por vías de segundo orden. El cantón se comunica con el resto del país mediante las siguientes vías: General Plaza – Macas –

Puyo, Gualaceo – Cuenca, San-Juan Bosco – Gualaquiza – Zamora- Loja, Macas-Riobamba, Patuca – Tiwintza – Puerto Morona y Méndez- Guarumales- Cuenca.

El cantón de Limón Indanza se localiza a 446 Km de la capital Quito, 542 Km de la ciudad portuaria Guayaquil y a 110 Km de Cuenca la tercera ciudad más grande del país.

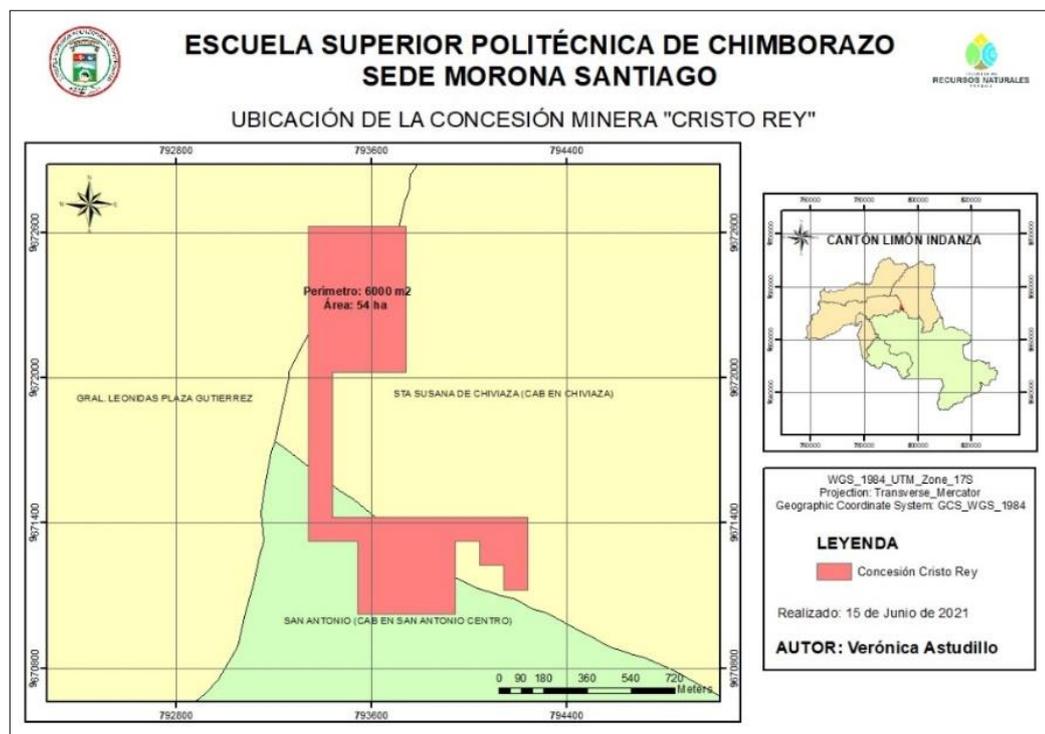
La cabecera cantonal se distancia de los demás cantones de Morona Santiago como se indica a continuación en la tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Distancia en km. hacia el cantón Limón Indanza

Nº	DESDE	HASTA	DISTANCIA (KM)
1	Cuenca	Limón Indanza	118
2	Gualaceo	Limón Indanza	92
3	Sigsig	Limón Indanza	110
4	Paute	Limón Indanza	106

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

Para ingresar a la concesión se recorre 15 km desde General Plaza hasta una entrada a un camino de tierra vía al Sector El Pescado durante 318 metros hasta llegar a la concesión minera en el Sector Cerro Negro, como se puede apreciar en la figura 5-3.



**Figura 5-3:** Ubicación de la concesión minera "Cristo Rey"

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

## **3.2. Marco metodológico**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

Para lograr los objetivos del presente trabajo, se empleó la investigación descriptiva y prospectiva, incluido estudios documentales y de campo:

- Se considera descriptivo ya que analiza la geología de la zona de estudio, propiedades geomecánicas, método y sistema de explotación, reservas minerales, factibilidad del proyecto, las mismas que han sido consideradas en esta investigación.
- Es prospectivo porque analiza las distintas áreas y los resultados obtenidos serán aplicados en el futuro.

En la investigación de campo, se estudió a toda la concesión donde se realizó distintas actividades como: observación de afloramientos, determinación de la zona de interés, levantamiento topográfico, excavación de pozos exploratorios y toma de muestras para analizarlos en laboratorio.

Mediante la investigación documental se realizó consultas en diversas fuentes bibliográficas con el objetivo de ampliar los conocimientos y aplicarlos en la presente investigación.

### **3.2.2. Metodología**

#### **3.2.2.1. Trabajo de gabinete**

Recopilación bibliográfica de la zona de estudio referente a Geología, Geomorfología, Topografía, relieves, geología estructural entre otras. Esta información se solicitó de manera previa a los Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Morona Santiago, Gad Municipal de Limón Indanza, entre otras.

#### **3.2.2.2. Área de análisis**

Para delimitar el sector de interés se realizó un recorrido por toda la zona concesionada, observando las zonas que presentan indicios del mineral de interés. La zona de interés fue delimitada, obteniendo sus coordenadas geográficas mediante un GPS.

### *3.2.2.3. Levantamiento topográfico*

Se realizó un levantamiento planímetro mediante el uso de un drone Phantom 4 Pro V2.0 con una altura de 74 metros, generando curvas de nivel cada 1 m para tener una mayor apreciación del relieve de la zona de interés delimitada en el apartado 3.2.2.2.

Los datos fueron procesados utilizando el software Agisoft PhotoScan que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales.

### *3.2.2.4. Toma de muestras*

#### *Selección de malla de muestreo*

Se realizó un muestreo selectivo cuya distancia entre punto de muestreo fue de 100m aproximadamente. La técnica del muestreo a aplicar dependió, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad a la zona en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras.

#### *Ejecución de la malla de muestreo*

Después de seleccionar el método se ubicó los puntos donde se realizó el muestreo esto con la ayuda de un GPS, seguido de eso se realizó las calicatas con el uso de una retroexcavadora con dimensiones de 1,50 m de largo, 1 m de ancho y 6 m de profundidad. Una vez concluida esta actividad, se generó el registro de cada uno de los pozos exploratorios.

Se obtuvo las muestras de las 5 calicatas de muestreo, recolectando 10 kg por calicata, las que fueron posteriormente colocadas sobre un plástico extendido fuera del pozo para cuartear dicho material y reducirlo a 25 kg el mismo que será colocado en una funda plástica evitando la contaminación de la misma y finalmente se envió la muestra para que estas sean analizadas en laboratorio.

#### *Registro geológico de los pozos*

Se realizó un registro geológico de los pozos exploratorios ubicados en la zona de interés, en donde se colocó su ubicación, coordenadas, dimensiones y la descripción respectiva sobre los perfiles de cada calicata utilizando el Anexo B.

### *3.2.2.5. Análisis de muestras*

Los análisis físicos y mecánicos de la muestra se realizaron por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y los análisis químicos de la muestra se realizaron por el Laboratorio de Análisis Químico

Instrumental (LAQUINS) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), tal como lo señala la tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Análisis de muestras realizadas en laboratorio

PARÁMETROS	MÉTODO	METODOLOGÍA
Gravedad específica y absorción	ASTM C128-15	Este método de prueba es usado para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y provee un valor promedio representando la muestra
Peso unitario, densidad y humedad	ASTM D698	Consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima a determinada energía de compactación.
Ángulo de fricción interna y cohesión	ASTM D 3080-11	Consiste en la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura o corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella.
Pureza y granulometría	ASTME 247	Consiste en una prueba estándar para la determinación de sílice en minerales de manganeso, minerales de hierro y materiales relacionados por gravimetría. A "Recetario microondas digestión SK-10 Rotor de alta presión" y B "Libro de cocina Espectrometría de absorción termoatómica (FASS)"

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

### 3.2.2.6. Forma del yacimiento

El yacimiento se analizó basado en la clasificación genética de los yacimientos minerales según (Smirnov, 1976), la misma que determinó su origen a través de un entorno litológico y estructural. Donde los depósitos minerales relacionados con procesos ígneos se consideran endógenos o magmáticos, los procesos sedimentarios se consideran exógenos o sedimentogénicos y los procesos metamórficos se consideran metamorfogénicos, como se observa en la tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Clasificación genética de los yacimientos minerales

SERIE	GRUPO	CLASE
Endógena	Mágmatícos (polimetálicos)	Licuación
		Mágmatícos tempranos
		Mágmatícos tardíos
	Pegmatícos (gemas, Li, Sn, tierras raras, W, F, cuarzo, feldespato, micas)	Pegmatitas simples
		Pegmatitas recristalizadas
		Pegmatitas metasomáticas
	Carbonatitas	Mágmatícas
		Metasomáticas
		Combinadas
	Skarn (scheelita, casiterita, fluorita, calcopirita, blenda, galena, magnetita, hematita)	Calcáreos
		Magnesianos
	Albita-Greisen	Albita
		Greisen (casiterita, wolframita)
	Hidrotermales (barita, fluorita, piritita, calcopirita, blenda, galena, cobres grises, argentita, platas rojas, cinabrio, plata, oro, etc.)	Plutonogénicos
		Vulcanogénicos
Amagmatogénicos (teletermales o estratiformes)		
Sulfuros masivos Vulcanogénicos marinos (Pb-Zn-Cu)	Metasomáticos	
	Vulcano-sedimentarios	
	Combinados	
Exógena	Intemperismo	In situ

	Placer (oro, plata, platino, diamante, rubí, zafiro, casiterita, ilmenita, rutilo, monacita, granate entre otros)	Infiltrados
		Eluviales
		Deluviales
		Proluviales
		Aluviales
		Laterales
	Glaciares	
	Sedimentarios	Mecánicos
		Químicos (sales, yeso)
		Bioquímicos (carbón, fosforitas)
Vulcanogénicos		
Metamorfogénica	Metamorfizados (grafito, asbesto)	Metamorfizados regionales
		Metamorfizados de contacto
	Metamórficos (granate, corindón)	

Fuente: Smimov, 1976.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 3.2.2.7. Cálculo de reservas

El método que se usó para calcular el volumen y reservas del depósito fue el software RecMin, para ello se necesitó toda la información tomada en campo para desarrollar una tabla con información relevante como coordenadas, desviaciones y litologías de las calicatas, con esto se generó el modelamiento geológico.

### 3.2.2.8. Diseño de explotación

#### Sistema de explotación

Se consideró la clasificación de acuerdo al profesor E.F Sheshko, el mismo que divide en tres grupos fundamentales y uno complementario a los sistemas de explotación:

**Tabla 9-3:** Sistemas de explotación

GRUPOS DE SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN	SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN	DESIGNACIÓN CONVENCIONAL DEL SISTEMA	
Con trasbordo del estéril a la escombrera por medio de excavadora o escombro transbordadores (desplazamiento transversal) o sin transporte.	Con trasbordo directo del estéril.	<b>A-1</b>	
	Con trasbordo múltiple del estéril por excavadoras.	<b>A-2</b>	
	Con trasbordo del estéril por medio de escombro transbordadores.	<b>A-3</b>	
Con acarreo del estéril a la escombrera con ayuda de medio de transporte (desplazamiento longitudinal) o con transporte.	Con acarreo del estéril: a la escombrera interior, a la escombrera exterior, a la escombrera interior y exterior.	<b>B-4</b> <b>B-5</b> <b>B-6</b>	
	Con acarreo y trasbordo del estéril a la escombrera (desplazamiento transversal y longitudinal) o combinado.	Con acarreo parcial del estéril a las escombreras interiores o exteriores.	<b>C-7</b>
		Con trasbordo parcial del estéril a las escombreras interiores.	<b>C-8</b>
Con pequeño volumen de trabajos de destape, cuando el desplazamiento del estéril a la escombrera no tiene significado esencial.		<b>A-0</b>	

Fuente: Sheshko, 1976.

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### *Elección del método de explotación*

En la elección del método de explotación se debe considerar aspectos de tipo geomecánicos, ambientales y económicos.

Para determinar este parámetro se consideró la topografía, propiedades físicas, químicas y mecánicas, perfiles geológicos, forma y extensión del yacimiento, reservas, y las condiciones favorables de los aspectos técnicos del depósito.

### *Parámetros operativos del diseño de explotación*

Para esta etapa consideramos la geología, la geometría, la ubicación de nuestra zona de interés y grado de pureza del mineral. Para calcular los parámetros de diseño, se tomó en cuenta:

#### **Ecuación 1-3: Relación carga- mineral**

$$RI = VI (m^3) TI (t)$$

Dónde:

RI = Ratio limite económico.

VI = Volumen de estéril.

TI = Tonelaje de mineral.

#### **Ecuación 2-3: Vida útil**

$$T = V / P$$

Donde:

T = tiempo vida útil de la cantera; (años)

V = volumen del material extraíble; ( $m^3$ )

P = extracción diaria de material.

Para calcular este parámetro se considera la producción diaria, la misma que esta expresada:

#### **Ecuación 3-3: Producción diaria**

$$Pd = N * C * V$$

Donde:

Pd = Producción diaria

N = Numero de Volquetas disponibles

C = Capacidad de las Volquetas

V= Viajes realizados en un día

### *Ritmo de extracción*

Se determina el número de volquetas y excavadoras que contará la concesión esto dependerá de la disponibilidad para adquirirlas por parte del titular minero, para realizar el presente proyecto, incluyendo las capacidades de carga de las volquetas, horas laborables y número de acarreos, de esta forma establecer el ritmo de extracción en la cantera.

#### **Ecuación 4-3:** Profundidad de la cantera

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

H = Profundidad de la cantera (m)

H<sub>s</sub> = Cota superior

H<sub>i</sub> = Cota inferior

#### **Ecuación 5-3:** Ancho del tajo

$$\text{Ancho} = (C * 1,5) + T + S$$

Donde:

C = Ancho de la excavadora

T = Ancho del volquete

S = Berma de seguridad

La maquinaria que realice la carga, su anchura desde el frente del tajo a la zona de seguridad debe ser, por lo menos, 1,5 veces la longitud de la cargadora.

### *Ángulo de cara del banco*

Está en función del tipo del material y la altura del banco. Cuanto más resistente es la roca y más bajo sea el banco, más vertical puede ser el ángulo de talud. Para ello tomaremos en cuenta la siguiente tabla:

**Tabla 10-3:** Ángulos de talud para bancos en trabajo y receso

ROCAS	ÁNGULO DE TALUD PARA BANCOS DE TRABAJO CON ALTURA DE:		ÁNGULO DE TALUD PARA BANCOS EN RECESO CON ALTURA DE:	
	5-12 (m)	15-25 (m)	5-12 (m)	15-25 (m)
Arcillas aceitosas, limoarcillas, grava, loes, suelo vegetal.	40-50	32-45	30-40	25-35
Arcilla pesada, limoarcilla pesada, arcilla esquistosa, limoarcilla, grava gruesa; explotable sin perforación y voladura.	45-65	45-60		40-50
Ídem; explotable con perforación y voladura.	55-65	58-60	40-55	40-50
Areniscas comunes, esquistos arcillosos, calizas resistentes, margas compactas, minerales de hierro, conglomerados finos.	65-75	60-70	60-65	55-60
Rocas graníticas y granitos altamente resistentes, areniscas y calizas, filones minerales de cuarzo, piritas, mármoles y dolomitas resistentes.	75-80	75-80	70-75	70-75
Cuarcitas, basaltos, granitos rocas cuarcíferas, areniscas resistentes y calizas.	Hasta 90	Hasta 90	80-85	80-85

**Fuente:** Sosa, Kashpar & Dolgushin, 2015.

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

### *Bermas*

Las bermas se utilizan como áreas de protección para detener los materiales que puedan desprenderse de los frentes de los bancos superiores, normalmente se recomienda del 30 al 40% de la altura del banco.

#### **Ecuación 6-3:** Ancho mínimo de berma

$$\text{Ancho mínimo de berma} = 4,5 \text{ m} + 0,2 * H \text{ (altura de banco)}$$

### *Altura de banco*

Fundamentalmente es el equipo de carga, y la altura máxima del cucharón, el condicionante para establecer la altura del banco.

#### **Ecuación 7-3:** Altura del banco

$$H_b = 0.9 * H_{\text{exc máx}}$$

Dónde:

Hb = altura del banco

H exc máx = máxima altura que alcanza el cucharón

**Ecuación 8-3:** Ancho de vía

$$A = a (0,5 + 1,5 n)$$

Dónde:

A = ancho de la vía

a = ancho del vehículo (m)

n = número de carriles.

*3.2.2.9. Factibilidad técnica*

*Aspecto económico*

Para analizar el aspecto económico de la producción de sílice se realizó una gráfica que indica la proyección anual de la mina basado en el costo actual del mineral de interés.

*Ingeniería del proyecto*

Se determinó algunos aspectos necesarios para el desarrollo ingenieril del proyecto como:

- Trabajos básicos: etapa de descapote, limpieza de sobrecarga, arranque, carga, transporte y trituración.
- Volumen de explotación: se realizó la proyección del volumen a explotar considerando las exigencias del mercado, reservas, método de explotación y capacidad de la planta de procesamiento.

*Proceso de tratamiento*

Se analizó los componentes necesarios para llevar a cabo la planificación y la incorporación de la planta de procesamiento de sílice en la zona.

*Especificaciones de la maquinaria utilizar*

Se identificó la maquinaria a utilizar en el proyecto de acuerdo a varios parámetros necesarios para su desarrollo como requerimiento del material en el mercado, reservas, método y diseño de explotación, entre otras.

*Diagrama de flujo del proceso de explotación del mineral*

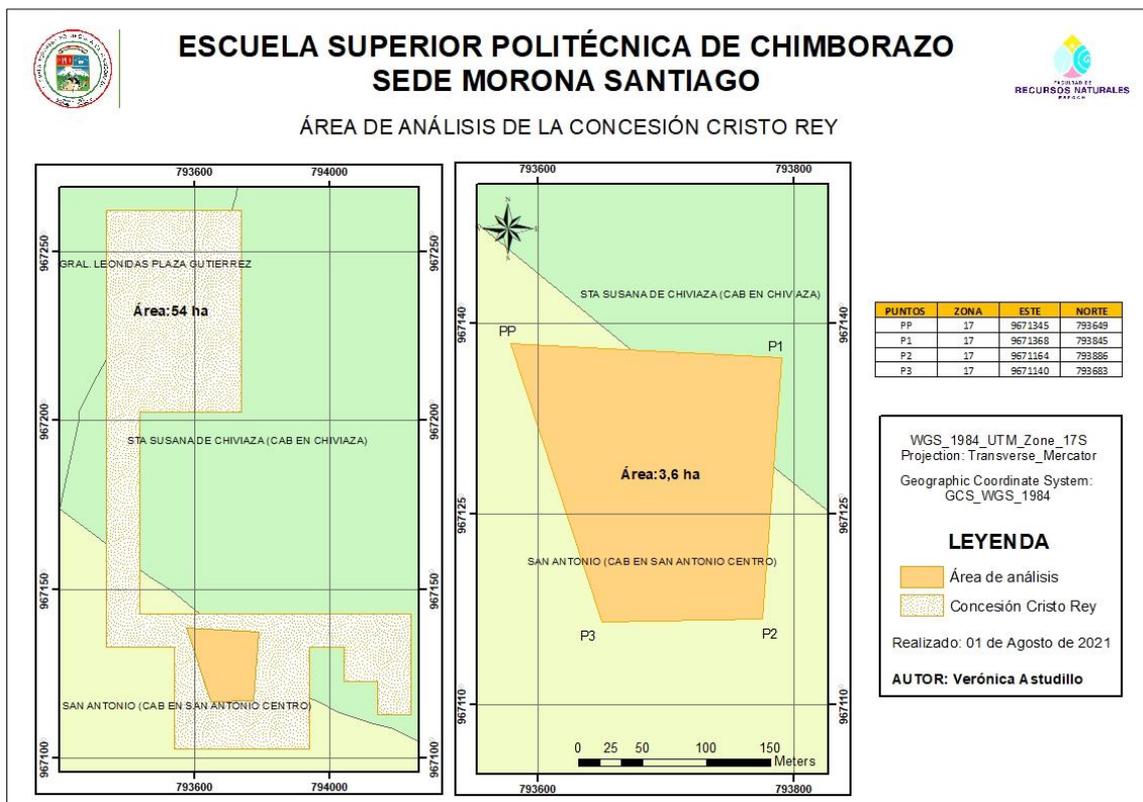
Se desarrolló un diagrama de flujo para agrupar todas las labores necesarias para ejecutar las actividades de explotación del yacimiento de sílice.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Zona de interés

Se delimitó el área de estudio basado en los afloramientos de la Unidad Chapiza y Formación Hollín, ocupando un área de 3,6 ha, como se observa en la figura 1-4.

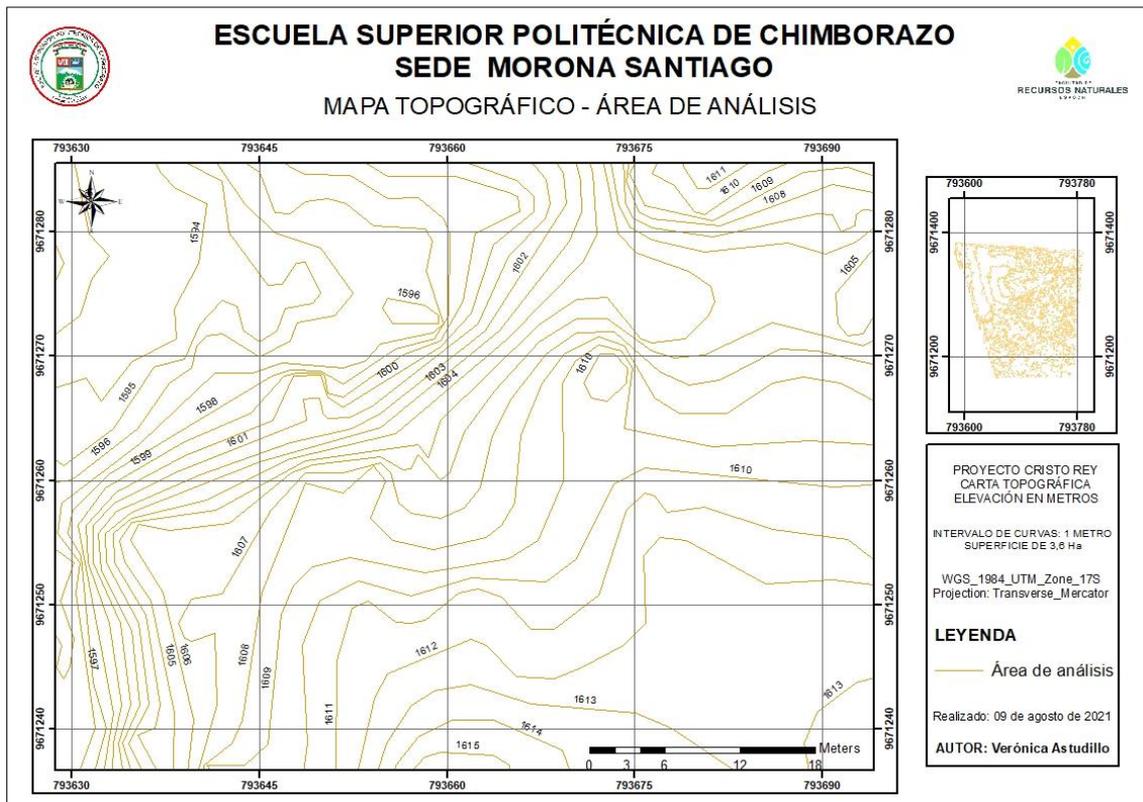


**Figura 1-4:** Delimitación del área de interés

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.2. Levantamiento topográfico

La Figura 2-4 muestra una topografía regular, con alturas oscilan entre los 1585 y 1625 msnm. Posee dos colinas pequeñas que conforman un área de 3,6 hectáreas. Estas colinas se caracterizan por tener una topografía ondulada con pendientes suaves que van del 12% al 15 % y una diferencia de altura de 20 metros, entre las colinas se puede evidenciar que existen pequeñas quebradas. La mayor cantidad de curvas de nivel se puede evidenciar en la parte central del mapa, lo cual demuestra que existe una mayor pendiente en esta zona.



**Figura 2-4:** Topografía del área de interés

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

### 4.3. Registro geológico

Se realizó el registro geológico de cada uno de los perfiles correspondientes a las calicatas que se desarrollaron en la zona de interés, para lograr identificar las diferentes unidades litológicas presentes, dando como resultado el siguiente detalle:

**Tabla 1-4:** Registro geológico del pozo exploratorio A

REALIZADO	Astudillo Verónica	COORDENADAS	
FECHA	27-06-2021	ESTE	NORTE
UBICACIÓN	Limón Indanza	793627.00	9671354.00
ÁREA	Cerro Negro	ALTURA	
CÓDIGO	A	1582	
DIMENSIONES	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)
	1,50	1,00	6,95
PERFIL DEL POZO		DESCRIPCIÓN	
		<p><b>Capa 1</b></p> <p>Presencia de arenisca fragmentada de color blanquesino a gris con una granulometría fina de 0,125 mm y con una leve presencia de intrusiones de arenisca de grano grueso con un diámetro de 1mm con una coloración grisácea, con una potencia de 6,25 metros.</p>	
		<p><b>Capa 2</b></p> <p>Arenisca maciza de grano grueso con presencia de óxidos con un diámetro de 0,5 mm la misma que se encuentra compacta y posee una coloración anaranjada a rojiza, con una potencia de 0,70 m.</p>	

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

**Tabla 2-4:** Registro geológico del pozo exploratorio B

<b>REALIZADO POR</b>	Astudillo Verónica	<b>COORDENADAS</b>	
<b>FECHA</b>	27-06-2021	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Limón Indanza	793735.00	9671355.00
<b>ÁREA</b>	Cerro Negro	<b>ALTURA</b>	
<b>CÓDIGO</b>	B	1587	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>LARGO (m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
	1,50	1,00	5,11
<b>PERFIL DEL POZO</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>	
<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #f4a460; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Arenisca - grano grueso</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #d3d3d3; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Areniscas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Capa vegetal</li> </ul>		<p><b>Capa 1</b></p> <p>Material orgánico con una coloración que va de café oscuro a negro, con presencia de regolitos que varían de 2 a 3 cm, con una potencia de 0,70 m.</p>	
		<p><b>Capa 2</b></p> <p>Arenisca silíceas de color gris a blanco con pequeñas intrusiones de roca de color rojiza, con una potencia de 3,16 m.</p>	
		<p><b>Capa 3</b></p> <p>Arenisca maciza de grano grueso con un diámetro de 0,72 mm con una presencia de óxidos y una coloración anaranjada a café claro con una potencia de 1,25 m.</p>	

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

**Tabla 3-4:** Registro geológico del pozo exploratorio C

REALIZADO POR	Astudillo Verónica	COORDENADAS	
FECHA	27-06-2021	ESTE	NORTE
UBICACIÓN	Limón Indanza	793758.00	9671176.00
ÁREA	Cerro Negro	ALTURA	
CÓDIGO	C	1599	
DIMENSIONES	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)
	1,50	1,00	4,77
PERFIL DEL POZO		DESCRIPCIÓN	
<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #f0f0f0; border-radius: 50%;"></span> Arenisca - grano medio a grueso</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #e0e0e0;"></span> Arenisca silícea</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #804020;"></span> Material orgánico</li> </ul>		<p><b>Capa 1</b> Materia orgánica de coloración café obscura con presencia de fragmentos de roca semi redondas de 1 a 3 cm, con una potencia de 0,60 m.</p>	
		<p><b>Capa 2</b> Presencia de arenisca silícea con una coloración gris a blanquesina la cual se encuentra de forma suelta y fragmentada de grano fino con un diámetro de 0,06 mm y una potencia de 3,12 m.</p>	
		<p><b>Capa 3</b> Esta capa presenta arenisca de grano medio a grueso con un diámetro que varía de 3 a 4 mm, la misma que presenta diaclasamientos y una coloración amarilla a anaranjada, con potencia de 1,05 m.</p>	

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

**Tabla 4-4:** Registro geológico del pozo exploratorio D

<b>REALIZADO POR</b>	Astudillo Verónica	<b>COORDENADAS</b>	
<b>FECHA</b>	27-06-2021	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Limón Indanza	793662.00	9671176.00
<b>ÁREA</b>	Cerro Negro	<b>ALTURA</b>	
<b>CÓDIGO</b>	D	1590	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>LARGO (m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
	1,50	1,00	5,06
<b>PERFIL DEL POZO</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>	
		<p><b>Capa 1</b> Esta capa presenta material orgánico con presencia de hojarasca es decir hojas secas de árboles y plantas, de igual forma se encuentran residuos de ramas en descomposición, con una potencia de 0,40m.</p>	
		<p><b>Capa 2</b> Presenta esta capa arenisca de grano grueso con un diámetro de 0,4mm con intrusiones de una arenisca de grano fino con diámetro de 0,1 mm con una coloración anaranjada y grisácea, posee una potencia de 3,86 m.</p>	
		<p><b>Capa 3</b> Esta capa presenta arenisca de grano medio a grueso con un diámetro que varía de 0,65 a 0,70 mm, de igual manera presenta óxidos con una coloración anaranjada, con una potencia de 0,80 m.</p>	

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

**Tabla 5-4:** Registro geológico del pozo exploratorio E

<b>REALIZADO POR</b>	Astudillo Verónica	<b>COORDENADAS</b>	
<b>FECHA</b>	27-06-2021	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Limón Indanza	793701.00	9671268.00
<b>ÁREA</b>	Cerro Negro	<b>ALTURA</b>	
<b>CÓDIGO</b>	E	1591	
<b>DIMENSIONES</b>	<b>LARGO (m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
	1,50	1,00	6,48
<b>PERFIL DEL POZO</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>	
<p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Arenisca - grano grueso</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: lightgray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Arenisca silícea</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed red; margin-right: 5px;"></span> Material orgánico</li> </ul>		<p><b>Capa 1</b> Presencia de material orgánico entre hojas secas, ramas que se encuentran en descomposición con una coloración café obscura, así mismo esta capa posee una potencia de 0,50 m.</p>	
		<p><b>Capa 2</b> Presenta arenisca silícea con una coloración grisácea y fragmentos de grano grueso y fino con un diámetro que varía entre 0,5 a 3,5 mm y una potencia de 4,86 m.</p>	
		<p><b>Capa 3</b> Presencia de arenisca de grano grueso con un diámetro de 0,75 mm con una coloración anaranjada, con una potencia de 1,12 m.</p>	

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

En consecuencia, se puede observar que el depósito se divide en tres capas principales, la primera capa presenta material orgánico con una potencia máxima de 0,70 m, la segunda capa posee una potencia de 6,25 m de arenisca silícea con una coloración gris a blanquesina y con fragmentos de grano que van de 0,1 a 3,5 mm y por último la capa tres que tiene una coloración anaranjada debido a la presencia de óxidos, un diámetro en los granos que van de 0,7 a 4 mm y con una potencia de 1 m.

#### 4.4. Propiedades físicas, químicas y mecánica

**Tabla 6-4:** Resultados de los ensayos realizados en laboratorio

<b>ENSAYOS FÍSICOS</b>	<b>Astudillo, 2021</b>	<b>López y Narváez, 2016</b>
Diámetro efectivo	0,15 mm	0,12 mm
Gravedad específica	2,61 kg/cm <sup>3</sup>	2,62 kg/cm <sup>3</sup>
<b>ENSAYOS QUÍMICOS</b>	<b>Astudillo, 2021</b>	<b>López y Narváez, 2016</b>
SiO <sub>2</sub> (Cuarzo)	99,844%	92,27%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de hierro)	0,007%	0,88%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de aluminio)	0,006%	4,12%
CaO (Óxido de calcio)	0,028%	0,17%
Na <sub>2</sub> O (Óxido de sodio)	0,012%	
<b>ENSAYO MECÁNICO</b>	<b>Astudillo, 2021</b>	<b>López y Narváez, 2016</b>
Ángulo de fricción interna	29,68°	SIN DATOS
Cohesión	17,65 KPa	

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

Los resultados obtenidos en la presente investigación han sido comparados con investigaciones similares como se observa en la tabla 6-4, como el análisis técnico del depósito de sílice en la zona de SAIP del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago realizado por López y Narváez en el 2016.

En contraste a los resultados del presente proyecto podemos observar que el ensayo físico mantiene un valor similar, el mismo que es óptimo para la fabricación de vidrio, pues se encuentra en el rango de 0,1 a 0,6 mm, caso contrario a lo que ocurre con los ensayos químicos donde existe muy poca variación en los valores, pero el más relevante es el contenido de SiO<sub>2</sub> pues para que este sea aceptable industrialmente tiene que poseer un valor mayor al 99%, siendo muy favorable el resultado obtenido en el presente proyecto, en cuanto a los ensayos mecánicos se puede determinar que la cohesión y ángulo de fricción son valores bajos con datos obtenidos de 29,68° y 17,65 KPa respectivamente.

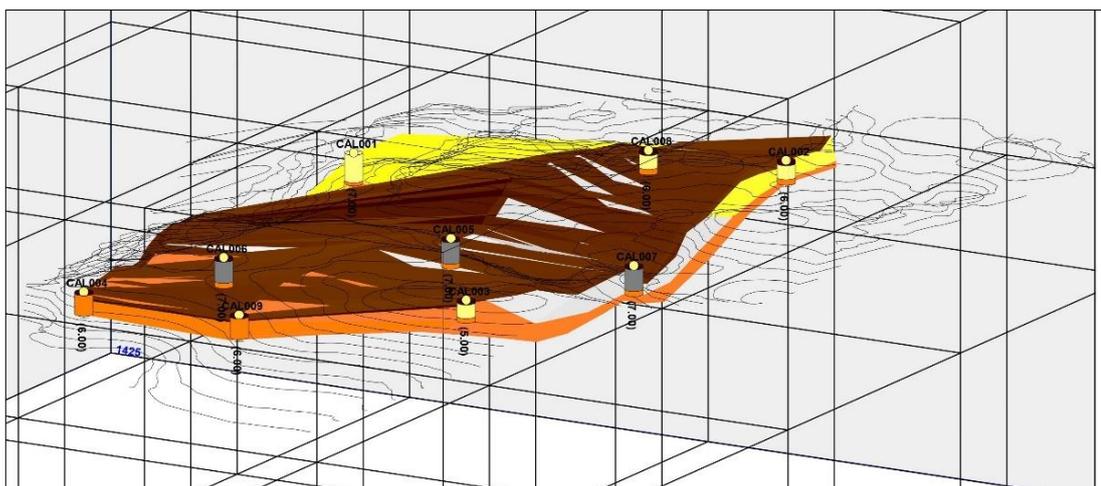
#### 4.5. Forma del yacimiento

Según Smirnov (1976), los yacimientos minerales se clasifican según su genética mediante un entorno litológico y estructural, en la zona de interés al tener un depósito de sílice se determinó que tiene un proceso de tipo exógeno o superficial (serie), mediante la sedimentación (grupo) de las arenas, por procesos mecánicos (clase) producidos por erosión, transporte y sedimentación. La depositación de las arenas de cuarzo son de manera horizontal formando estratos sucesivos, dando lugar a un depósito de tipo masivo.

#### 4.6. Cálculo de reservas

##### 4.6.1. Cálculo de volumen

Para el cálculo del volumen, se dividió en varias capas al depósito para obtener un valor más exacto, en la figura 3-4 se puede observar que, la primera capa de color café hace referencia a la sobrecarga existente en el depósito dando un valor de 31.187,85 m<sup>3</sup>, la capa color gris con un valor de 54.927,69 m<sup>3</sup>, la capa blanquesina con un valor de 33.846,32 m<sup>3</sup>, la capa anarajada posee un valor de 65.920,34 m<sup>3</sup>, dando como resultado un volumen de mineral de 154.694,35 m<sup>3</sup>, un volumen de mineral probable de 71.154,56 m<sup>3</sup> y un volumen total del depósito de 185.882,17 m<sup>3</sup>. Valores que se pueden observar de forma detallada en el Anexo M.

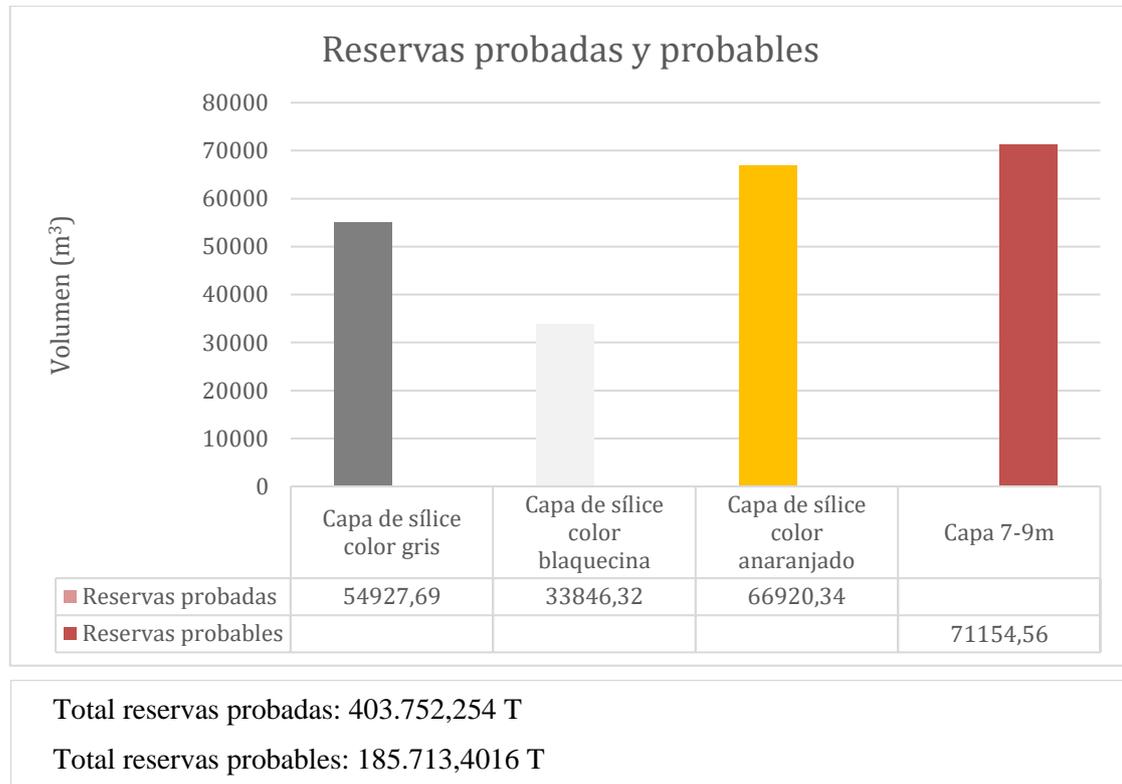


**Figura 3-4:** Depósito mineral

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.6.2. Cálculo de reservas

Se usaron los volúmenes del mineral cuyos valores corresponden a 154.694,35 y 71.154,56 m<sup>3</sup>, conjuntamente con el valor de la densidad de 2.61 Kg/m<sup>3</sup> la misma que fue obtenida en ensayos de laboratorio, estos valores permitieron calcular las reservas probables y probadas tal como lo indica el gráfico 1-4.



**Gráfico 1-4:** Cálculo de reservas probadas y probables

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.7. Diseño del sistema de explotación

##### 4.7.1. Sistema de explotación

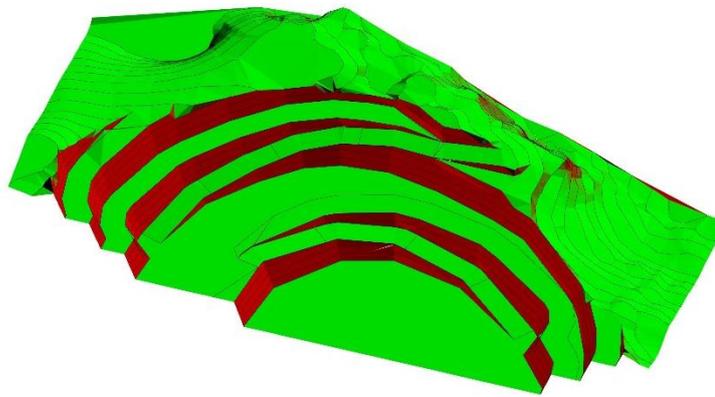
La elección del sistema de explotación está en relación directa con las condiciones geológicas-mineras y la potencia del yacimiento.

Para el depósito mineral se utilizó el sistema A-0, cuyo sistema se utiliza en trabajos de destape con pequeño volumen, cuando el desplazamiento del estéril no tiene un significado esencial, es decir, se emplea solamente al descubrimiento del material útil en combinación con un método de extracción mecánica, en este caso por medio del uso de maquinaria pesada como excavadoras.

#### 4.7.2. Método de explotación

La primera fase de la explotación de la cantera se planificó a 7 años, teniendo en cuenta el mercado, la maquinaria, la inversión y otros factores que podrían tener efectos adversos de difícil reparación a largo plazo.

Dada la geología, las características topográficas de la mina, el volumen de la mina y las condiciones técnicamente favorables de la mina, se determinó que el sistema de minería a cielo abierto adecuado para este tipo de mina es por bancos descendentes, este método consiste en un avance unidireccional de un módulo con un solo banco en donde se realiza un arranque del estéril que luego es depositado en escombreras, todo el material orgánico puede ser aprovechado al final de la extracción.



**Figura 4-4:** Método de explotación por bancos descendentes

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.7.3. Parámetros operativos

Se analizó cada uno de los parámetros operativos necesarios para el diseño de explotación:

##### 4.7.3.1. Ratio

$$RI = (31187,85 \text{ m}^3) / (403752,254 \text{ T})$$

$$RI = 0,077 \text{ m}^3/\text{T}$$

Dónde:

Volumen de estéril (VI) = 31187,85 m<sup>3</sup>

Tonelaje de mineral (TI) = 403752,254 T

La relación puntual máxima de estéril a mineral a la que puede explotarse una unidad de mineral es de  $0,077 \text{ m}^3/\text{T}$ , es decir que por cada  $100 \text{ m}^3$  de material explotado se necesitarán remover  $7,7 \text{ m}^3$  de estéril.

#### 4.7.3.2. Producción diaria

$$Pd = 1 * 12 * 5$$

$$Pd = 60 \text{ m}^3$$

Donde:

Numero de Volquetas disponibles (N) = 1

Capacidad de las Volquetas (C) =  $12 \text{ m}^3$

Viajes realizados en un día (V) = 5

#### 4.7.3.3. Vida útil

$$T = 154.694,35 \text{ m}^3/60\text{m}^3$$

$$T = 2.578,24 \text{ días}$$

Donde:

Volumen del material extraíble (V) =  $154.694,35 \text{ m}^3$

Extracción diaria de material (P) =  $60 \text{ m}^3$

En base al recurso minero explotable y producción determinada, la vida útil del depósito es de 7 años, en contraste con Muñoz Carlos que en su proyecto de diseño de explotación del área minera María Elena se consideró un estimado de 5 años debido a que contaba con una reserva de  $146889 \text{ m}^3$ , valor inferior al presente estudio.

#### 4.7.3.4. Ritmo de extracción

Las actividades que se realizaron para alcanzar el volumen necesario por el periodo de un año:

- Explotación del yacimiento: diez meses.
- Reparación, mantenimiento y programación de labores: un mes.
- Vacaciones de los trabajadores dentro de la mina: un mes.

El personal que se requirió para llevar a cabo las tareas de explotación de la mina es:

**Tabla 7-4:** Personal necesario para laborar en la mina

CARGO	NÚMERO DE PERSONAL
Jefe de mina	1
Operador de excavadora	1
Operador de retroexcavadora	1
Chofer de volqueta	1
Obreros de mina	3
Mecánico	1
Personal de limpieza	1
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

4.7.3.5. Profundidad de la cantera

$$H = 1625 \text{ m} - 1585 \text{ m}$$

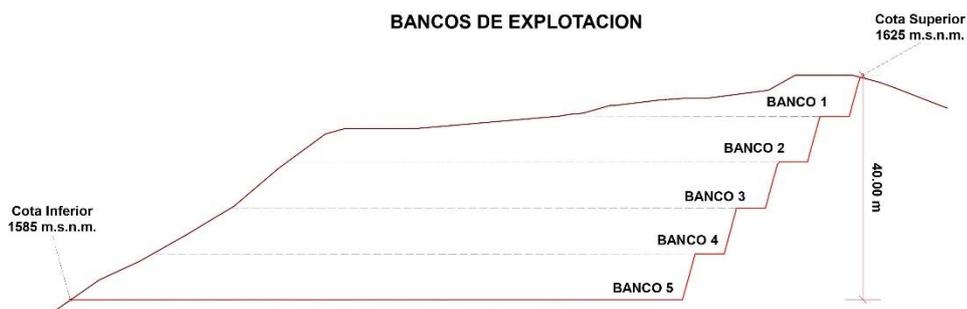
$$H = 40 \text{ m}$$

Donde:

Cota superior (Hs) = 1625 m

Cota inferior (Hi) = 1585 m

La zona de interés posee un depósito de mineral con una altura de 40 metros, valor considerado representativo debido a que los trabajos de explotación tendrán una mayor duración, pues los estudios y cálculos realizados llegan a una altura de 7 m aproximadamente.



**Figura 5-4:** Altura de la cantera

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

4.7.3.6. Ancho del tajo

$$\text{Ancho} = (2,98\text{m} * 1,5) + 3\text{m} + 5\text{m}$$

$$\text{Ancho} = 12,47 \text{ m}$$

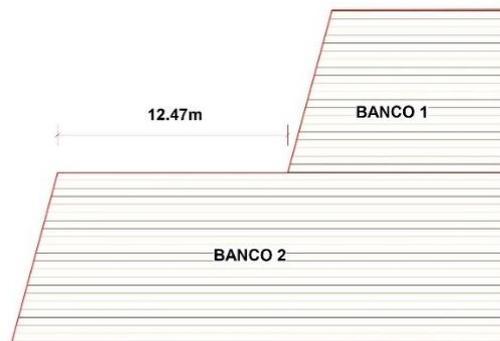
Donde:

Ancho de la excavadora (C) = 2,98 m

Ancho del volquete (T) = 3m

Berma de seguridad (S) = 5 m

El ancho del tajo recomendado es de 12 m, anchura necesaria para lograr realizar los trabajos en el banco, en dicho espacio se logrará de manera eficaz y simultánea los procesos básicos de extracción, carga y transporte del material, esto de acuerdo a las dimensiones especificadas en el catálogo de cada uno de los equipos.

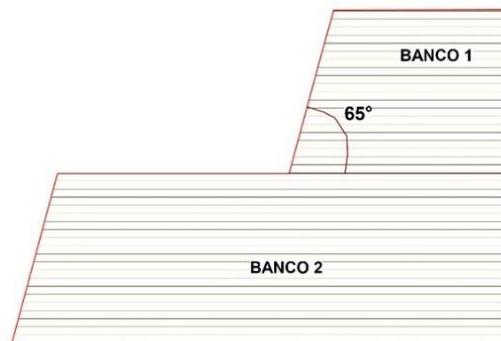


**Figura 6-4:** Ancho del tajo

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.7.3.7. Ángulo de cara del banco

El ángulo de la cara del banco que se consideró para el presente estudio fue de  $65^\circ$ , según se puede apreciar en la tabla 10-3, donde se tienen en cuenta la altura del banco que en este caso es 8m y el tipo de material presente en el depósito como es arenisca, en cuanto al factor de seguridad se recomienda 4 debido a que se trata de una roca sedimentaria poco resistente, según lo mencionada Sosa Galo.



**Figura 7-4:** Ángulo de talud del banco

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.7.3.8. Bermas

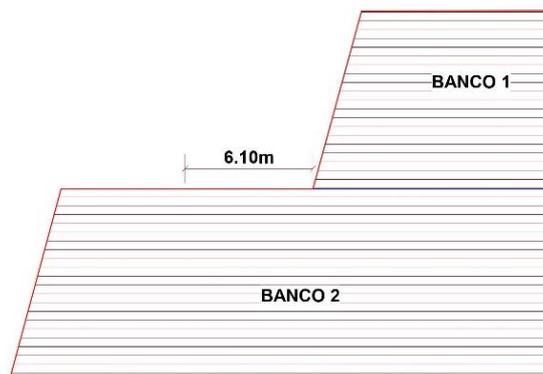
$$\text{Ancho mínimo de berma} = 4,5 \text{ m} + (0,2 * 8 \text{ m})$$

$$\text{Ancho mínimo de berma} = 6,1 \text{ m}$$

Dónde:

$$\text{Altura de banco (H)} = 8,1 \text{ m}$$

En el presente estudio la altura del banco es de 8m con un ancho mínimo de berma de 6m, según nos indica Bustillo y López el ancho mínimo de la berma aumentará mientras más alto sea el banco, como mencionan los autores para una altura del banco de 15m la berma tendrá un ancho de 7,5m. Como se puede observar en este caso el resultado es menor pues tanto la altura del banco como el ancho de la berma está por debajo del ejemplo señalado anteriormente.



**Figura 8-4:** Ancho mínimo de la berma

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.7.3.9. Altura de banco

$$H_b = 0,9 * 9 \text{ m}$$

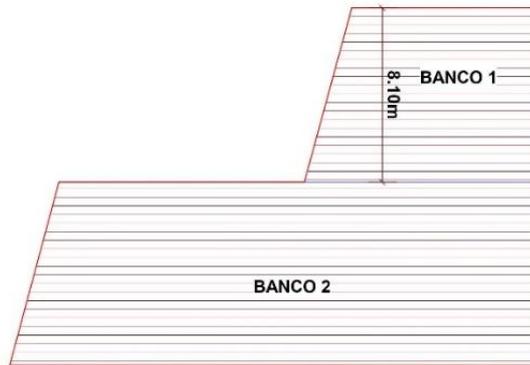
$$H_b = 8,1 \text{ m}$$

Dónde:

$$\text{Máxima altura que alcanza el cucharón (H}_{\text{exc máx}}) = 9 \text{ m}$$

La altura máxima del cucharón es el condicionante para establecer la altura del banco que en este caso es de 8 m, de acuerdo a Bustillo y López los bancos pequeños poseen ciertas ventajas como una mayor seguridad para el personal y maquinaria pues el alcance de las máquinas de carga

permite un mejor saneo y limpieza de los frentes cuando es necesario, mayor rapidez de ejecución de rampas de acceso y mejores condiciones para la restauración y tratamiento de los taludes finales.



**Figura 9-4:** Altura del banco

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

4.7.3.10. Ancho de vía

$$A = 2,98 \text{ m } (0,5 + 1,5) * 1$$

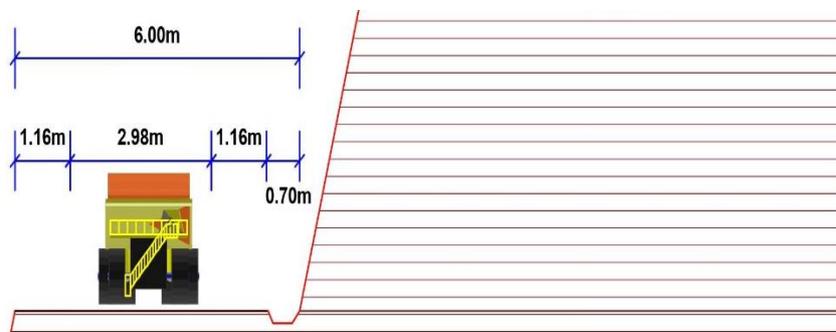
$$A = 5,96 \text{ m}$$

Dónde:

Ancho del vehículo (a) = 2,98 m

Número de carriles (n) = 1

Para el ancho de la vía se consideró 6 m, espacio necesario para el normal desenvolvimiento de las actividades de carguío y transporte de mineral extraído en la fase de producción así lo indica Bustillo y López, de esta manera se puede operar de manera continua y en condiciones de seguridad.



**Figura 10-4:** Ancho de la vía

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

## 4.8. Factibilidad técnica

### 4.8.1. Aspecto económico



**Gráfico 2-4:** Proyección del costo vs vida útil

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

El costo actual del mineral de sílice es de \$ 60 la tonelada, se estima que el precio presentará una tendencia al alza producto de la mayor demanda proveniente de las industrias del país, debido a que el 14% de empresas se dedican a fabricar envases, de este valor el 40% se dedica a envases de cerveza, 30% en bebidas, 15% en licores, 15% en alimentos y 15% en productos farmacéuticos (Quimbita Naranjo, 2016, p. 18).

**Tabla 8-4:** Cálculo del VAN y TIR

INDICADORES ECONÓMICOS DEL NEGOCIO:		
<b>VAN</b>	\$ 2.813.357,23	<b>ACEPTABLE</b>
<b>TIR</b>	66%	<b>ACEPTABLE</b>

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

Para determinar la viabilidad de un proyecto es necesario evaluar a través de dos importantes indicadores como son el Valor Actual Neto (VAN) y el Tasa Interna de Retorno (TIR), estos dos conceptos hacen referencia a la estimación de los distintos flujos de caja que tenga la empresa como son los ingresos menos gastos netos (costos de inversión, costos de producción, gastos administrativos y activos diferidos) para ello se requiere que estos indicadores sean mayores a cero para que la inversión sea considerada como viable.

Para el presente cálculo se requirió de una matriz la cual se puede observar de una manera detallada en el anexo N, donde se muestra una proyección a 5 años dando un saldo negativo en el

año 0 debido a que en esta etapa no existen ingresos sino una inversión inicial para empezar con la explotación, desde el año 1 se puede evidenciar valores positivos con ingresos netos de \$ 956.736,96, año 2 un ingreso de \$ 876.696,64, año 3 un ingreso de \$ 800487,65, año 4 con un ingreso de \$ 729.924,28 y finalmente en el año 5 con un ingreso neto de \$ 665.781,69.

Concluyendo de esta manera que el proyecto es económicamente rentable debido a que la inversión inicial es recuperable en el primer año de explotación, de igual forma se puede evidenciar en la tabla 8-5 donde nos indican valores superiores a cero tanto en el VAN y TIR lo que indica que el proyecto es viable.

#### 4.8.2. Ingeniería del proyecto

*Trabajos básicos:* se iniciará con la etapa de destape o descapote que comprende toda la sobrecarga presente en la zona de interés, usando maquinaria pesada como excavadora y retroexcavadora, dicho material se apilará en una escombrera temporal al contorno del bloque a minarse. Así mismo se iniciará con la construcción de la vía de acceso a la planta de tratamiento, las escombreras y el frente de explotación todo ello a partir de la cota 1586. Se desarrolló un sistema de drenaje el que se ubica al costado de la vía, con el objetivo de dirigir el agua hacia una piscina de sedimentación.

*Volumen de explotación:* se consideró el volumen de explotación de acuerdo a una proyección de 7 años, que corresponde a la vida útil de la mina.



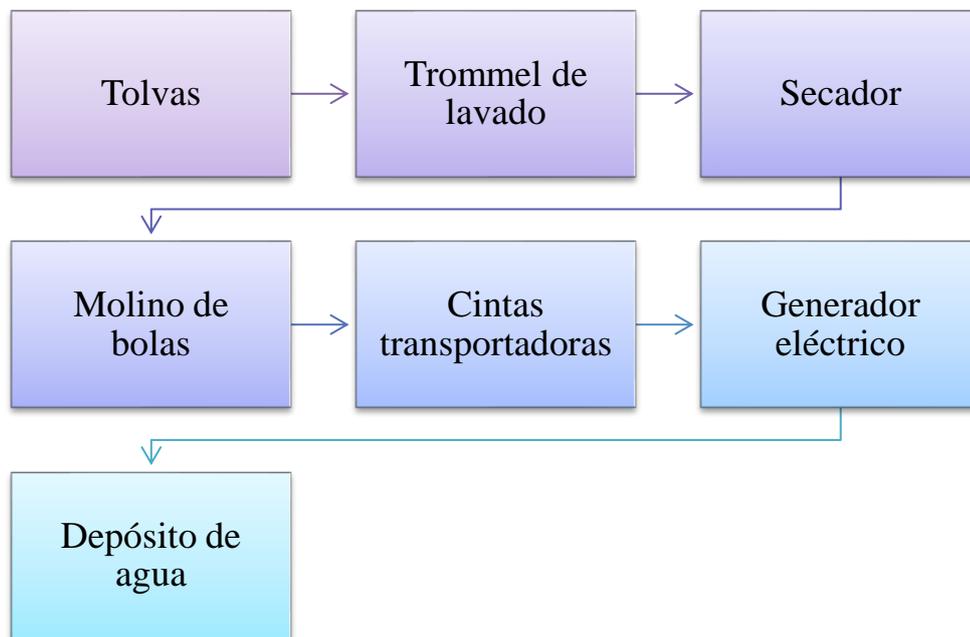
**Gráfico 3-4:** Proyección del volumen de explotación

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

El volumen de explotación para el primer año será de 32.364,00 T, entre los años 2023 a 2025 existirá un aumento considerable del 25%, decreciendo notablemente para el año 2026 y con tendencia a disminuir en los últimos años debido al agotamiento del mineral de interés pues la mina está proyectada para 7 años de vida útil.

#### 4.8.3. Proceso de tratamiento

Para el procesamiento del mineral se requirió implementar una planta de lavado, seguido de una clasificación granulométrica del mineral, el material clasificado pasa al molino de bolas para que sea triturado y finalmente secado. Se considera instalar dicha planta cerca de un afluente de agua, debido a que se requiere una gran cantidad de agua, para llevar la actividad de lavado, los elementos necesarios para efectuar esta actividad son los siguientes:



**Gráfico 4-4:** Proceso de tratamiento

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.8.4. Maquinaria a emplear

La maquinaria que se debe utilizar para el presente proyecto será:

**Tabla 9-4:** Maquinarias a emplearse en el proyecto

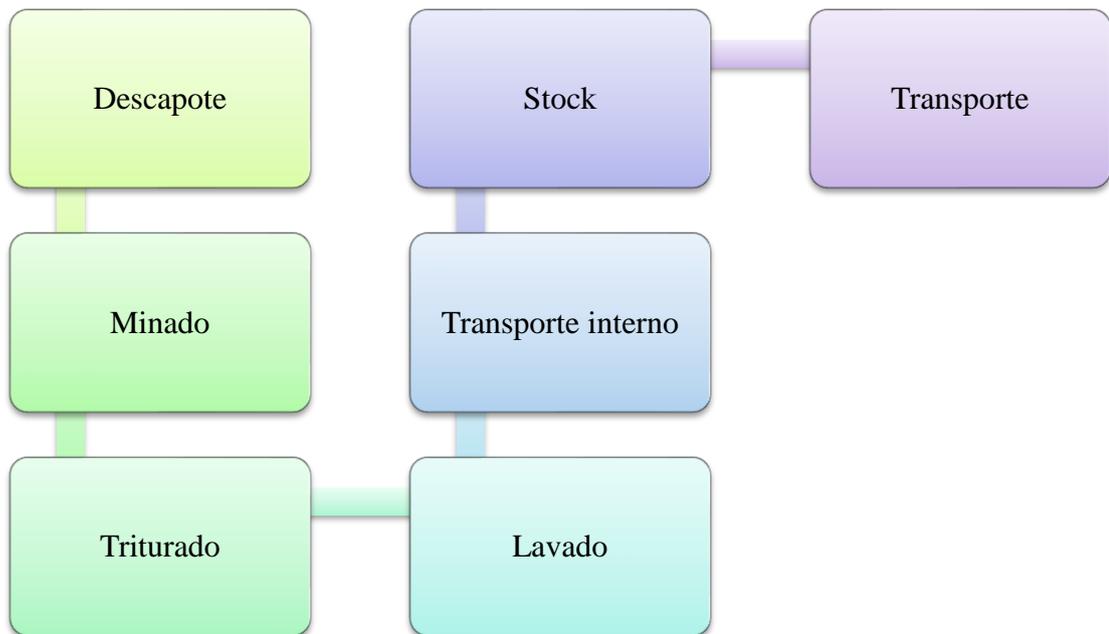
Maquinaria	Dimensiones	
Retroexcavadora JCB 3cx	Altura del transporte	3,58 m
	Longitud del transporte	7,34 m
	Eje de ruedas	2,20 m
	Ancho de transporte	2,44 m
	Ancho de pala	2,26 m
	Profundidad de excavación	4,95 m
	Altura de cargas	3,96 m
	Radio de giro	4,20 m
Excavadora PC-220 Komatsu	Anchura transporte	2,98 m
	Anchura orugas	600 mm
	Máximo alcance lateral	10,02 m
	Longitud de transporte	9,885 m
	Altura de transporte	3,015 m
	Altura del cucharón	9 m
	Ancho cuchara	1,505 m
	Cilindrada	5,88 l
	N° de cilindros	6
Volquete Man TGA 6x4	Peso	14,635 kg
	Capacidad de carga	12 m <sup>3</sup>
	Longitud	5,13 m
	Anchura	2,36 m
	Altura	1,47 m
	Altura chasis	1,2 m
	Distancia entre ejes	8,38 m
Trommel de lavado Hengcheng	Largo	5,96 m
	Ancho	1,90 m
	Alto	3,08 m
	Producción	50-600 tn
	Peso	2200 -7500 kg
Secador G204	Capacidad	30 tn
	Potencia del motor	37 Kw
	Humedad inicial	15%
	Humedad final	4%
	Temperatura del material	66-75 °C
Molino de bolas modelo Φ2600×13000	Velocidad	19,8 r/min
	Peso	39
	Producción	27-30 tn/h
	Potencia	1000 kW

Realizado por: Astudillo, Verónica, 2021.

#### 4.8.5. Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo indica de una manera resumida el proceso por el cual se extraerá el mineral para ello se requiere de un conjunto de labores necesarias para explotar el yacimiento el mismo que inicia con el desbroce hasta culminar con el transporte del mineral para su venta. El esquema propuesto se ha dado en relación directa a las necesidades de la mina y a

una secuencia ordenada que se requiere para llevar a cabo las distintas operaciones para la obtención del sílice.



**Gráfico 5-4:** Diagrama de flujo del proceso

**Realizado por:** Astudillo, Verónica, 2021.

## CONCLUSIONES

Se diseñó el sistema de explotación de la concesión minera Cristo Rey, ubicado en el cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago, con el levantamiento de información topográfica y geológica de la zona de interés, donde se pudo evaluar que el yacimiento es de tipo masivo con una sobrecarga de aproximadamente 3 metros.

Lo que permite desarrollar una explotación a cielo abierto mediante bancos descendentes y con los siguientes parámetros: una profundidad del depósito de 40 m, por lo que altura de los bancos deben tener 8 m, con un ancho de tajo de 14 m, ángulo de cara del banco de  $65^\circ$ , bermas de 7,29 m y un ancho de vía de 5,96 m.

Se desarrolló el levantamiento topográfico de la zona de estudio, donde se delimitó la zona de interés, para posteriormente realizar la topografía con curvas de nivel cada 1 metro de distancia donde se observó la presencia de colinas pequeñas con una topografía ondulada, así mismo, la existencia de pequeñas quebradas.

Se identificó las propiedades físico-mecánicas y químicas del mineral mediante un muestreo de laboreos geológicos con una distancia de aproximadamente 100 metros, de los que se obtuvieron 5 calicatas las que tienen presencia de arenisca en roca, suelta y con presencia de óxidos. Las muestras obtenidas de las calicatas fueron llevadas al Laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional para que realicen ensayos físicos como gravedad específica y absorción, peso unitario, densidad y humedad, de los que se obtuvo obtener los siguientes resultados: un diámetro efectivo de 0,15, una gravedad específica de 2,61 g/cm<sup>3</sup>, un porcentaje de absorción de agua de 0.63% y un peso unitario seco máximo de 16,32 KN/m<sup>3</sup>.

En cuanto al ensayo mecánico se obtuvo como resultado un ángulo de fricción interna de  $29,68^\circ$  y una cohesión de 17,65 KPa. Los ensayos químicos se enviaron al laboratorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral obteniendo los siguientes resultados: un 99,844% de SiO<sub>2</sub> (Cuarzo), un 0,007% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de hierro), un 0,006% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de aluminio), un 0,028% de CaO (óxido de calcio), un 0,028% de Na<sub>2</sub>O (óxido de sodio).

Se consiguió evaluar las reservas de la concesión minera Cristo Rey dando como resultado que el yacimiento posee reservas probadas del mineral de sílice con un total de 403.752,254 toneladas, dentro de un área de interés de 3,6 ha, de igual manera se calculó las reservas probables dando un valor de 185.713,4016 toneladas, mediante el uso del software minero RecMin el mismo que cuenta con un método de cálculo denominado por secciones.

Finalmente, se determina que el proyecto es factible debido a que: posee una zona de interés con una superficie de 3,6 ha, además de contar con reservas probadas de 403.752,254 toneladas material con el que se puede trabajar 7 años, 185.713,4016 toneladas de reservas probables que podrán dar continuidad a la explotación; así mismo posee una granulometría buena de 0,15 mm,

una concentración de sílice de 99,78% lo que indica que el mineral posee una alta pureza, el depósito tiene una potencia de 40 metros, con una sobrecarga de aproximadamente 3 metros.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones se recomienda realizar más pozos exploratorios con el fin de obtener una mayor información de las reservas existentes en el depósito.

Se recomienda instalar la planta de tratamiento cerca de un afluente de agua, debido a que se requiere una gran cantidad de agua para llevar la actividad de lavado.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABURTO, Víctor Manuel López.** *Fundamentos para la explotación de minas.* [En línea]. 2003. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/35635557/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_AUT%C3%93NOMA\\_DE\\_M%C3%89XICO\\_FUNDAMENTOS\\_PARA\\_LA\\_EXPLORACION\\_DE\\_MINAS](https://www.academia.edu/35635557/UNIVERSIDAD_NACIONAL_AUT%C3%93NOMA_DE_M%C3%89XICO_FUNDAMENTOS_PARA_LA_EXPLORACION_DE_MINAS)

**ACEVEDO SÁEZ, Felipe Alberto.** *Análisis de incertidumbre e impacto de distintas fuentes de entrada en el proceso de grade control de Cerro Colorado.* [En línea]. 2019. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170507>

**ALONSO, José Bernaola; et al.** *Perforación y voladura de rocas en minería.* España: Universidad Politécnica de Madrid, [En línea]. 2013. [Consulta: 7 Agosto 2021]. Disponible en: [https://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](https://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)

**ALVARADO, Edwin Fernando Flores.** *Facultad De Ciencias Químicas.* [En línea]. 2014. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis Doctoral. Universidad de Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20326>

**BENAVIDES, Juan.** *Insumos para el desarrollo del Plan Nacional de Ordenamiento Minero.* Universidad de los Andes, [En línea]. 2014. [Consulta: 05 Agosto 2021]. Disponible en: [https://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/Insumos\\_DesarrolloPNOM.pdf](https://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/Insumos_DesarrolloPNOM.pdf)

**BUITELAAR, Rudolf (ed.).** *Aglomeraciones mineras y desarrollo local en América Latina.* IDRC, [En línea]. 2001. [Consulta: 07 Agosto 2021]. Disponible en: <https://www.idrc.ca/sites/default/files/openbooks/985-2/index.html>

**BUSTAMANTE FAJARDO; et al.** *Análisis de la granulometría fina y su relación con la resistencia a la compresión simple en rocas.* [En línea]. 2020. [Consulta: 14 Julio 2021]. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10414>

**CANO, Santiago.** “Contaminación con mercurio por la actividad minera”. *Biomédica*, vol. 32 n°3. (2012). (Colombia). pp. 309-311.

**CASTILLO CERQUIN, Franco Miguel Alberto.** Explotación minera por subniveles: una revisión de la literatura científica. [En línea]. 2020. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26372>

**CÓRDOVA DIAZ, Karen Inés.** “Elaboración de metodología de análisis de riesgo aplicado a la minería artesanal de oro”. *ALICIA*. vol. 10. n°4. (2008). (Perú). pp. 15-40.

**CÓRDOVA ROJAS, Néstor David.** “Geomecánica en el minado subterráneo: caso Mina Condestable”. *ALICIA*. vol. 11. n°5. (2008). (Perú). pp. 10-35.

**CUADROS SALCEDO, Marco Antonio.** Estudio técnico económico de la profundización mediante el pique inclinado 370 niveles 4370 al 4270 Veta Juanita–Mina Casapalca. [En línea]. 2018. [Consulta: 02 Agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7149>

**DO CAMPO, Margarita; et al.** “Dispersión de contaminantes a partir de residuos mineros de una antigua planta de fundición (Ingenio Muschaca) ubicada en el Distrito Choya (Andalgalá, Catamarca)”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 77, no 2, (2020). Perú pp. 220-229.

**FALLA VELÁSQUEZ, Nicolás Ricardo.** Riesgos laborales en minería a gran escala en etapas de prospección-exploración de metales y minerales en la región sur este del Ecuador y propuesta del Modelo de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional para empresas mineras en la provincia de Zamora Chinchipe. [En línea]. 2012. [Consulta: 02 Agosto 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/861>

**FERRE, Esperança Tauler; & SABATÉ, Angels Canals.** Mineralogía óptica. Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias, [En línea]. 1965. [Consulta: 08 Agosto 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Casamitjana2/publication/293755649\\_Manual\\_de\\_micromorfologia\\_de\\_suelos\\_y\\_tecnicas\\_complementarias/data/5acd08860f7e9b189654cd31/manual-micromorfologia-2015.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Casamitjana2/publication/293755649_Manual_de_micromorfologia_de_suelos_y_tecnicas_complementarias/data/5acd08860f7e9b189654cd31/manual-micromorfologia-2015.pdf)

**GARCÍA MARTÍN, Antonio, et al.** Topografía y cartografía mineras. [En línea]. 2017. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5889>

**GARCÍA, Dante Alfredo Alcántara.** *Topografía y sus aplicaciones*. Grupo Editorial Patria, 1 ed. Mexico DF-Mexico: EDITORIAL CONTINENTAL. pp30-35.

**GORDILLO JARRÍN, Pedro José.** Impacto económico del proyecto Minero a gran escala Mirador en Ecuador. [En línea]. 2014. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6892>

**GUTIÉRREZ BONIFAZ, María de las Mercedes.** La producción minera y exportación de oro en el Ecuador, una aproximación empírica para el período 2000-2016. [En línea]. 2019. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis de Licenciatura. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30520>

**HERBERT, Juan Herrera.** Diseño de explotaciones de cantera. [En línea]. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://oa.upm.es/21839/>

**HERRERA HERBERT, Juan; & PLA ORTIZ DE URBINA, Fernando.** Métodos de minería a cielo abierto. [En línea]. 2006. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://oa.upm.es/10675/>

**KOVALENKO, Igor; et al.** *Impacto económico de la inversión extranjera de China en el sector minero ecuatoriano*. *Journal of Alternative Perspectives in the Social Sciences*, Southwest Texas Junior College. [En línea]. 2020. [Consulta: 15 Agosto 2021]. Disponible en: [https://library.swtjc.edu/eds?search=y&query=%22ECONOMIC+change%22&type=DE&ff\[\]=Language:spanish&searchfield=SU](https://library.swtjc.edu/eds?search=y&query=%22ECONOMIC+change%22&type=DE&ff[]=Language:spanish&searchfield=SU)

**LAVANDAIO, Eddy Omar Luis.** *Conozcamos más sobre minería*. 1 ed. Buenos Aires-Argentina. 2014. pp.40-45.

**LOPEZ ABURTO, Victor Manuel.** *Métodos de explotación para minas subterráneas*. 3 ed. 2015. Buenos Aires-Argentina. 2015. 10-12.

**LÓPEZ CAPA, Raúl Alexander; & NARVÁEZ PESANTEZ, Jhofre Reimundo.** Análisis técnico del depósito de sílice en la zona de Saip del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago. [En línea]. 2016. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5123>

**MARINO, Egidio, et al.** Llega la era de la minería submarina. [En línea]. 2017. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2017/05/llega-la-era-de-la-mineria-submarina/>

**MIQUEL, Canet, et al.** *Yacimientos minerales: los tesoros de la Tierra*. México DF- México. Fondo de Cultura Económica, 2013. pp.30-33.

**MORENO RAMÓN, Héctor; & IBAÑEZ ASENSIO, Sara.** La Escala de Mohs: Dureza de los Minerales. [En línea]. 2018. [Consulta: 20 Agosto 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/105177?show=full>

**MORENO, Jalil; & SALIME, Joyce.** Territorios hidrosociales en disputa en el proyecto estratégico de minería a cielo abierto Panantza–San Carlos, Morona Santiago. [En línea]. 2020. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis de Maestría. Quito: UCE. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23379>

**MURCIEGO MURCIEGO, Ascensión, et al.** Manual básico de reconocimiento macroscópico de algunos minerales y rocas. [En línea]. 2016. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://gredos.usal.es/handle/10366/130196>

**MURILLO BARBOSA, Jader Jhancarlo, et al.** Aproximación a la medición contable de recursos de minería a partir de métodos matemáticos. Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá. [En línea]. [Consulta: 16 Agosto 2021]. Disponible en: [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8041/1/2018\\_Murillo\\_Aproximaci%C3%B3n\\_a\\_la\\_Medici%C3%B3n\\_Contable\\_de\\_Recursos\\_de\\_Miner%C3%ADa.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8041/1/2018_Murillo_Aproximaci%C3%B3n_a_la_Medici%C3%B3n_Contable_de_Recursos_de_Miner%C3%ADa.pdf)

**PARRAVICINI, Diego.** Apuntes sobre el cierre de minas. Panorama minero: enfoques, [En línea]. 2015. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: [https://www.palermo.edu/Archivos\\_content/2015/derecho/2015diciembre/parravicini\\_4/parravicini\\_cierre\\_de\\_minas.pdf](https://www.palermo.edu/Archivos_content/2015/derecho/2015diciembre/parravicini_4/parravicini_cierre_de_minas.pdf)

**PUSQUÍN OSPINA, Tatiana; & RODRÍGUEZ BUITRAGO, Pablo** Andrés. Aplicación de herramientas SIG en la caracterización de unidades de producción minera en el Tolima. [En línea]. 2017. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2884>

**REINA, Josehp; & GARCÍA, Yarulsi.** “Optimizacion del proceso de utilizacion del sistema de monitoreo y control de equipos mineros" Wenco System" en las minas san isidro, los barrancos y las pailas”. *CVG Ferrominera Orinoco*, vol. 40, no 57-58, (2012), (Venezuela). Geominas, pp. 3-9.

**SAC, ESTUDIOS MINEROS DEL PERU.** Manual de minería. [En línea]. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: [https://issuu.com/isemvirtual/docs/\\_3\\_\\_manual\\_de\\_miner\\_\\_a\\_\\_estudios\\_mi](https://issuu.com/isemvirtual/docs/_3__manual_de_miner__a__estudios_mi)

**SALINAS GONZÁLEZ, Daniel Alejandro.** Trabajos topográficos en la ejecución de túneles para carreteras y ferrocarriles. [En línea]. 2017. [Consulta: 06 Agosto 2021]. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/88364>

**SÁNCHEZ, Oswaldo Ortiz; et al.** Minería in situ. Su aplicación en un yacimiento de cobre oxidado. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, [En línea]. 2010. [Consulta: 02 Agosto 2021], vol. 13, no 25, p. 31-42. Disponible en: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v13\\_n25/pdf/a05v13n25.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a05v13n25.pdf)

**SANTAMARÍA PEÑA, Jacinto; & SANZ MÉNDEZ, Teófilo.** Manual de prácticas de topografía y cartografía. [En línea]. 2005. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/topografia.pdf>

**SERRA, Miquel Estruch; & GÓMEZ, Ana Tapia.** Topografía subterránea para minería y obras. Univ. Politèc. de Catalunya, [En línea]. 2003. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36635/9788476539637.pdf>

**SILVERA, Snaider Paul.** Diseño de un sistema de aspersión autónomo para las vías de tránsito de maquinaria pesada en mina. [En línea]. 2020. [Consulta: 05 Agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11829>

**SOTOMAYOR, Aristides.** Tecnologías limpias: medio ambiente y comercialización de minerales. Fondo editorial Universidad de Lima, [En línea]. 2018. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10163>

**TLALOLINI, Miguel Alam Rosas.** Nombre del trabajo: Jet Grouting. [En línea]. 2017. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Disponible en:  
[https://www.academia.edu/39909108/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_AUTONOMA\\_DE\\_M%C3%89XICO\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIERIA\\_MAESTR%C3%8DA\\_EN\\_INGENIERIA\\_CIVIL\\_EXPERIENCIA\\_EDUCATIVA\\_SEMINARIO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_ILJET\\_GROUTING](https://www.academia.edu/39909108/UNIVERSIDAD_NACIONAL_AUTONOMA_DE_M%C3%89XICO_FACULTAD_DE_INGENIERIA_MAESTR%C3%8DA_EN_INGENIERIA_CIVIL_EXPERIENCIA_EDUCATIVA_SEMINARIO_DE_INVESTIGACION_ILJET_GROUTING)

**URIBE, Rafael Alonso.** Investigaciones de materias primas minerales no metálicas en el Ecuador. Revista Politécnica, [En línea]. 2015. [Consulta: 04 Agosto 2021], vol. 36, no 3, p. 34-34. Disponible en:  
[http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/607](http://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/607)

**VÁZQUEZ, Ramón Guillermo Pérez.** Procesos de Formación de los Depósitos de Minerales Sólidos. [En línea]. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/336616667\\_Procesos\\_de\\_Formacion\\_de\\_los\\_Depositos\\_de\\_Minerales\\_Solidos](https://www.researchgate.net/publication/336616667_Procesos_de_Formacion_de_los_Depositos_de_Minerales_Solidos)

**ZEAS SIGUENZA, María Antonia.** Actividad minera: marco normativo ambiental. El caso del Cantón Cuenca. [En línea]. 2008. [Consulta: 04 Agosto 2021]. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/817?mode=full>

## ANEXOS

### ANEXO A: EQUIPO FOTOGRÁFICO



**ANEXO B: REGISTRO GEOLÓGICO DE LOS POZOS EXPLORATORIOS**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**



**SEDE MORONA SANTIAGO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**INGENIERÍA EN MINAS**

**“ANÁLISIS TÉCNICO DEL DEPÓSITO DE SÍLICE EN LA ZONA CERRO NEGRO  
DEL CANTÓN LIMÓN INDANZA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”**

**REGISTRO GEOLÓGICO DE POZOS EXPLORATORIOS**

<b>REALIZADO</b>		<b>COORDENADAS</b>	
<b>FECHA</b>		<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
<b>UBICACIÓN</b>			
<b>ÁREA</b>		<b>ALTURA</b>	
<b>CÓDIGO</b>			
<b>DIMENSIONES</b>	<b>LARGO (m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
<b>PERFIL DEL POZO</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>	
		Capa	
		Capa	

## ANEXO C: ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

### ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN



### ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR



### ENSAYO CORTE DIRECTO EN SUELOS



## ANEXO D: ENSAYO QUÍMICO



Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas  
Laboratorio de Análisis Químico Instrumental  
LAQUINS – ESPOL

### INFORME DE ANÁLISIS

Informe de Análisis N°: 076-2021  
Cliente: William Punín  
Dirección: Tnte. Ortiz y Oriente  
Solicitado por: William Punín  
Fecha de recepción de muestra: 04-08-2021  
Fecha de realización y finalización de ensayo: 05-08-2021 / 11-08-2021  
Analizado por: Ing. Julio Cedeño E.  
Fecha de emisión del informe: 13 de agosto de 2021

Parámetro	Unidad	Resultado	U k=2±	Límite máximo permisible	Método de Análisis
SiO <sub>2</sub>	%	99.844	N/A	N/A	ASTM E247
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.007	N/A	N/A	EPA 3050B
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.006	N/A	N/A	EPA 3050B
CaO	%	0.028	N/A	N/A	EPA 3050B
K <sub>2</sub> O	%	0.004	N/A	N/A	EPA 3050B
Na <sub>2</sub> O	%	0.012	N/A	N/A	EPA 3050B

GRANULOMETRÍA			
Malla	Unidad	Retenido parcial	Retenido Acum.
18	%	0.00	0.00
20	%	0.02	0.02
30	%	4.60	4.62
100	%	86.99	91.61
Fondo	%	8.39	100

Los ensayos marcados con (\*) están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
Los datos proporcionados por el cliente se encuentran subrayados y no son responsabilidad del Laboratorio.  
Si es aplicable, la declaración de conformidad se basa en la guía ILAC G8:09/2019 y/o en las normas o reglamentos que correspondan y que se indican.

Observaciones: Muestra entregada e ingresada por el cliente como: "Arena sílice"  
**ASTME247:** Método de prueba estándar para la determinación de sílice en minerales de manganeso, minerales de hierro y materiales relacionados por gravimetría.  
**EPA3050B:** acid digestion of sediments, sludges, and soils  
Condiciones en que se recibe la muestra: Sólida en envase plástico 500 g aproximadamente.

Código de la muestra: 076-2021-01 Tipo o matriz de la muestra: Arena sílice  
Temperatura ambiente promedio: 21.7 °C Humedad relativa promedio: 52 % HR

JOAN RAMON VERA  
VILLALOBOS  
He revisado este documento  
LAQUINS  
2021-08-13 18:59-05:00

**Director de Laboratorio**

**Notas:** El informe original impreso o digital es válido solo con la firma digital del Director de Laboratorio o su delegado y no debe ser reproducido de forma parcial o total, excepto por su emisor como copia autorizada.  
La información completa relativa a los ensayos y de las incertidumbres calculadas están a disposición del cliente.  
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada. Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales. Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Ecuador - Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903  
Teléfono: 2269559, correo electrónico: labquimica@espol.edu.ec

## ANEXO E: ENSAYO FÍSICO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 21 - 0165  
Hoja 01 de 01

Quito, 13 de agosto de 2021

#### DATOS DEL CLIENTE

**Razón Social:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Dirección:** SOR MARÍA TRONCATI Y CAPITÁN FRANCISCO FLORES (MACAS - MORONA SANTIAGO)  
**Teléfono:** 0961029749

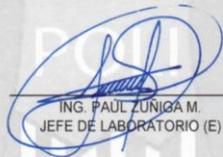
#### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** CONCESIÓN CRISTO REY  
**Contratante:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Contratista:** WILLIAM PUNÍN  
**Fiscalizador:** ING. JUAN PABLO LOZANO  
**PROCEDENCIA:** CERRO NEGRO (X: 793597 Y: 9671402)  
**TIPO DE MUESTRA:** ARENA  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-08-11  
**NORMA:** ASTM C128-15

#### RESULTADOS DEL ENSAYO

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
75-1	ARENA	2.61	2.62	2.65	0.63

**OBSERVACIÓN:** La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionados por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

  
ING. PAUL ZÚÑIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO (E)



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

# ANEXO F: ENSAYO DE COMPACTACIÓN



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## COMPACTACIÓN PROCTOR

INF. No. 21-0177  
Hoja 01 de 01

Quito, 13 de agosto de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Dirección:** SOR MARÍA TRONCATI Y CAPITÁN FRANCISCO FLORES (MACAS - MORONA SANTIAGO)  
**Teléfono:** 0961029749

**DATOS DEL PROYECTO**  
**Proyecto:** CONCESIÓN CRISTO REY  
**Contratante:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Contratista:** WILLIAM PUNIN  
**Fiscalizador:** ING. JUAN PABLO LOZANO  
**Muestra:** CERRO NEGRO (X:793597 Y: 9671402)  
**Tipo de compactación:** ESTÁNDAR  
**NORMA:** ASTM D698

### GRANULOMETRÍA

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje Pansante (%)
3/4"	19.00	0	0	0	100
3/8"	9.50	0	0	0	100
4	4.75	0	0	0	100
Bandeja	-	16000	100	100	0
<b>Total</b>		<b>16000</b>			

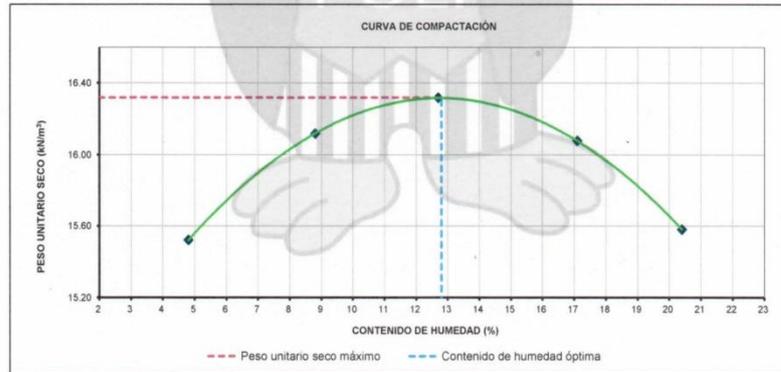
CONDICIONES DE ENSAYO	Método	A	Via de preparación	Seco	Fracción gruesa	0 %
	No. De capas	3			Fracción de ensayo	100 %
	No. De golpes	25	Tipo de martillo	Manual	Masa (kg)	2.5033
	Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	939.4	Altura de caída (mm)	305		

### COMPACTACIÓN

Sub espécimen	1	2	3	4	5
Contenido de humedad (%)	4.8	8.8	12.7	17.1	20.4
Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	1583	1643	1665	1640	1589
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	15.52	16.12	16.32	16.08	15.58

Peso unitario seco máximo, $\gamma_{max}$	16.32 kN/m <sup>3</sup>
Densidad seca máxima, $\rho_{dmax}$	1664 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad óptimo, $w_{opt}$	12.8 %

### CURVA DE COMPACTACIÓN



**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. PAUL ZUÑIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO (E)



F-T-6-19  
Versión 00

Archivo : C-PS21-001.xlsm.xls

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO G: ENSAYO DE CORTE DIRECTO



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## CORTE DIRECTO

INF. No. 21-0166

Hoja 01 de 03

Quito, 17 de agosto de 2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón social:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Dirección:** SOR MARÍA TRONCATI Y CAPITÁN FRANCISCO FLORES (MACAS - MORONA SANTIAGO)  
**Teléfono:** 0981029749

### DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto:** CONCESIÓN CRISTO REY  
**Contratante:** VERÓNICA ASTUDILLO  
**Contratista:** WILLIAM PUNIN  
**Fiscalizador:** ING. JUAN PABLO LOZANO  
**Muestra:** CERRO NEGRO (X.793597 Y. 9671402)  
**FECHA DE ENSAYO:** 2021-08-16  
**NORMA:** ASTM D3080-11

ENSAYO	1		2		3	
AREA (cm <sup>2</sup> )	44.18		44.18		44.18	
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79		1.80		1.81	
HUMEDAD NAT (%)	12.31		12.16		12.22	
ESF. NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50		1.00		2.00	
DEFORMACION HORIZONTAL (mmx10-2)	FUERZA TANGENCIAL (KN)	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FUERZA TANGENCIAL (KN)	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FUERZA TANGENCIAL (KN)	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.024	0.055	0.023	0.053	0.068	0.157
10	0.032	0.074	0.052	0.120	0.104	0.240
15	0.043	0.099	0.067	0.155	0.124	0.286
20	0.048	0.111	0.083	0.192	0.139	0.321
25	0.062	0.143	0.094	0.217	0.156	0.360
30	0.065	0.150	0.102	0.235	0.170	0.392
40	0.074	0.171	0.119	0.275	0.197	0.455
50	0.083	0.192	0.130	0.300	0.225	0.519
60	0.100	0.231	0.142	0.328	0.252	0.582
70	0.110	0.254	0.161	0.349	0.272	0.628
80	0.121	0.279	0.169	0.390	0.295	0.681
90	0.134	0.309	0.186	0.429	0.312	0.720
100	0.141	0.326	0.203	0.469	0.342	0.790
125	0.156	0.380	0.234	0.540	0.405	0.935
150	0.169	0.390	0.258	0.596	0.442	1.020
175	0.184	0.425	0.278	0.642	0.467	1.078
200	0.198	0.457	0.289	0.667	0.492	1.136
250	0.208	0.480	0.308	0.711	0.542	1.251
300	0.210	0.485	0.310	0.716	0.567	1.309
350	0.201	0.464	0.306	0.706	0.580	1.339
400	0.184	0.425	0.308	0.711	0.581	1.341
450	0.175	0.404	0.305	0.704	0.574	1.325
500	0.168	0.388	0.304	0.702	0.553	1.277

ING. PAUL ZÚÑIGA M.  
JEFE DE LABORATORIO (E)



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

# ANEXO H: ESFUERZO DE CORTE VS ESFUERZO NORMAL

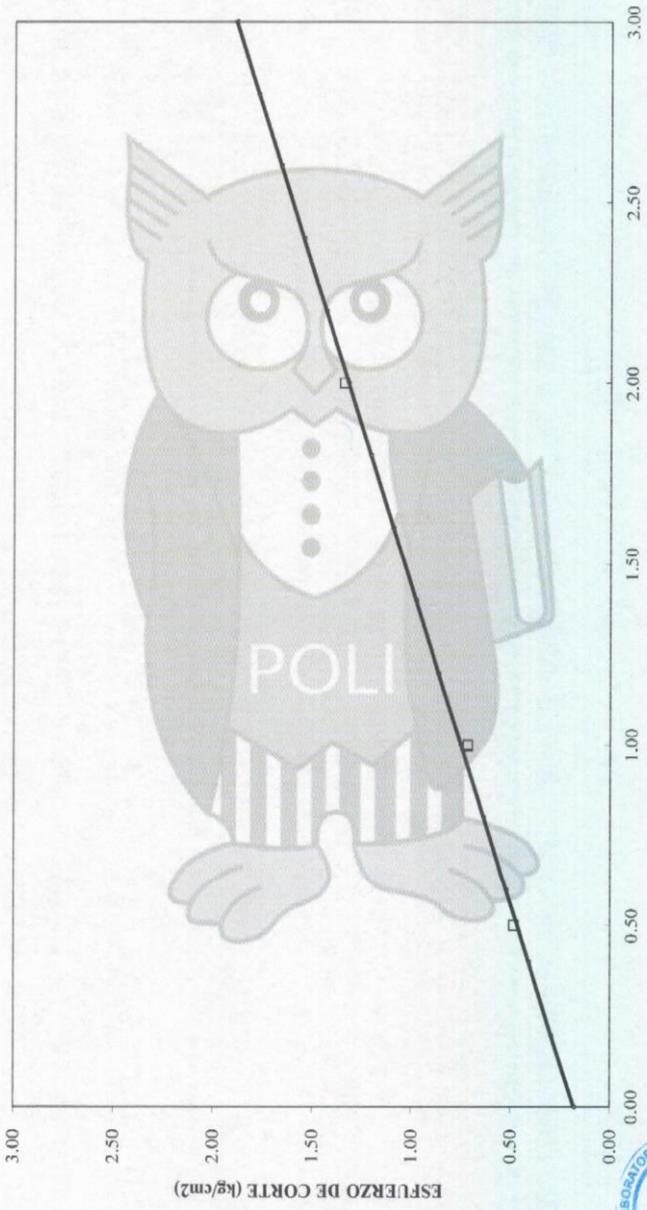


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**CORTE DIRECTO**  
PROYECTO: CONCESIÓN CRISTO REY  
MUESTRA: CERRO NEGRO (X: 793597 Y: 9671402)

INF. N° 021-0166  
Hoja 02 DE 03



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

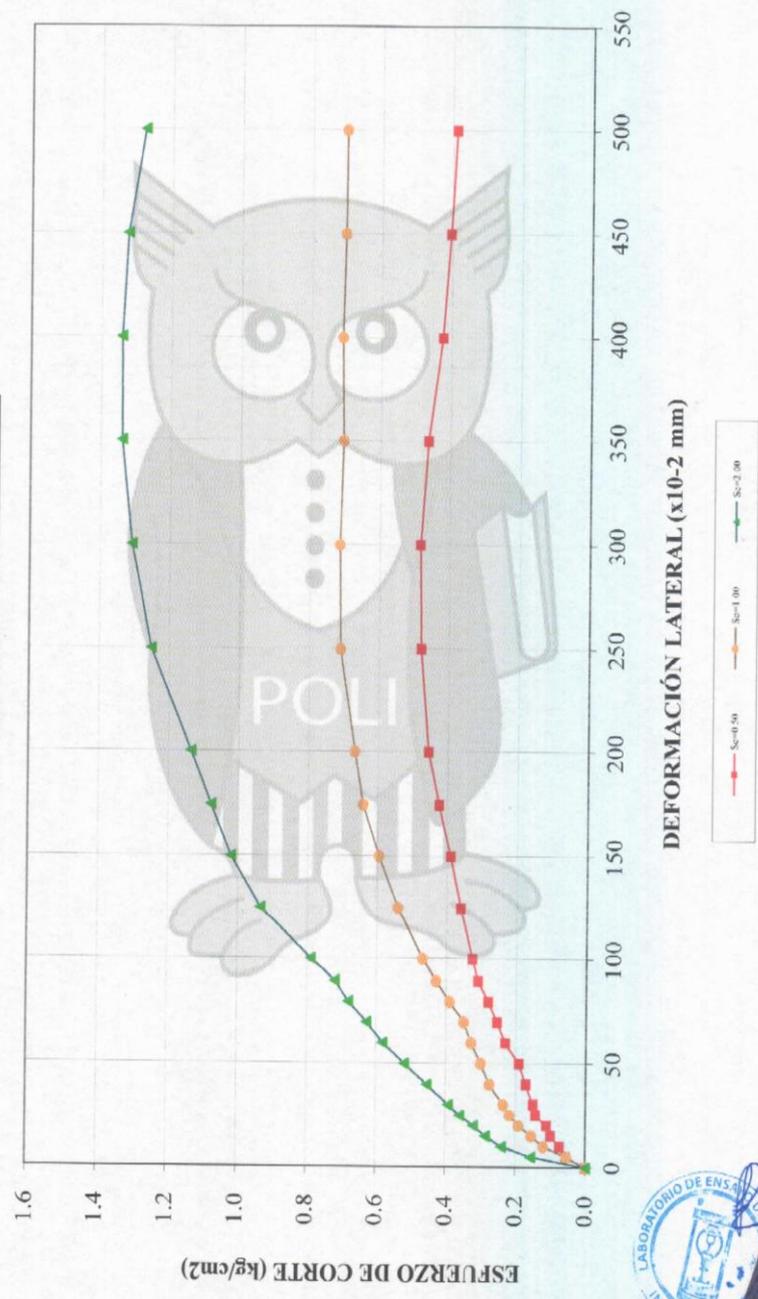
**ANEXO I: ESFUERZO DE CORTE VS DEFORMACIÓN LATERAL**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**CORTE DIRECTO**  
 PROYECTO: CONCESIÓN CRISTO REY  
 MUESTRA: CERRO NEGRO (X: 793597 Y: 9671402)



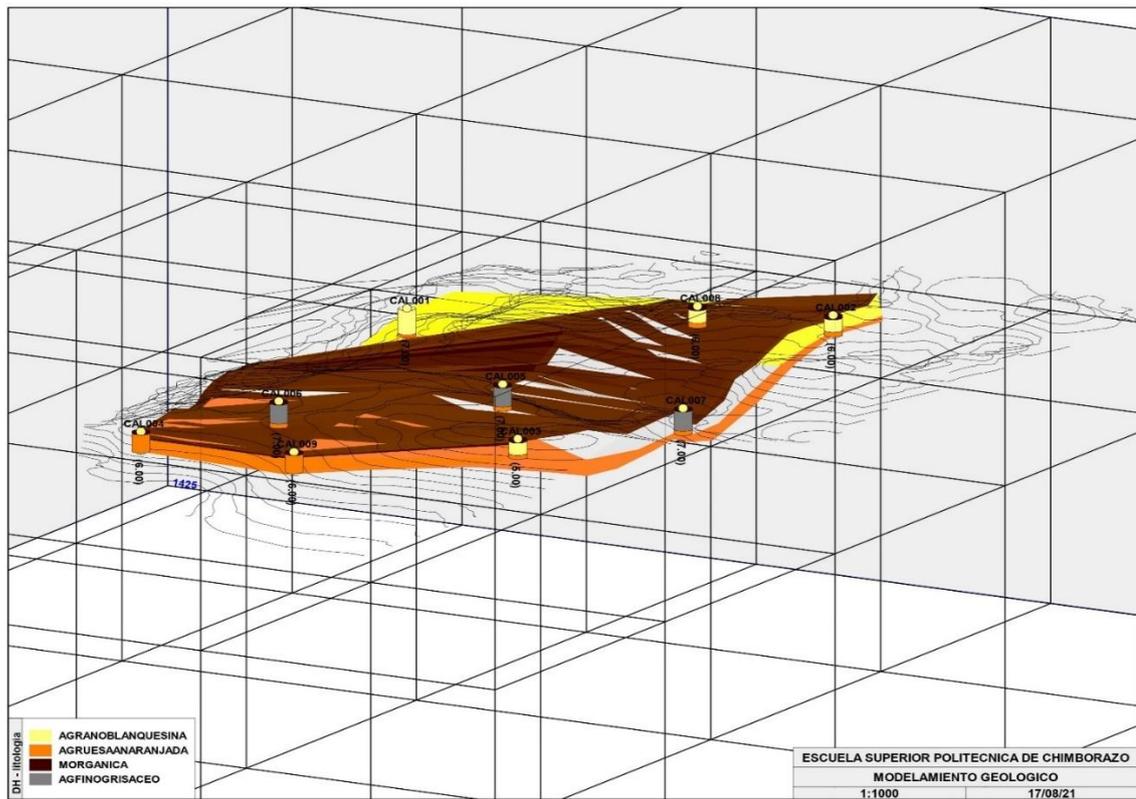
INF. N° 021-0166  
 Hoja 03 DE 03



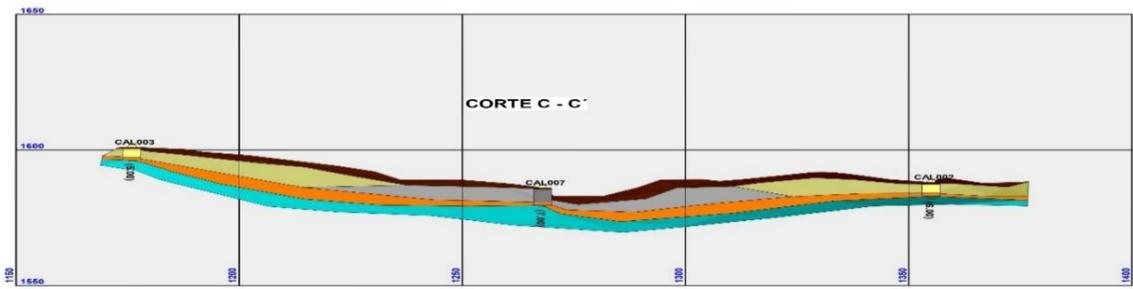
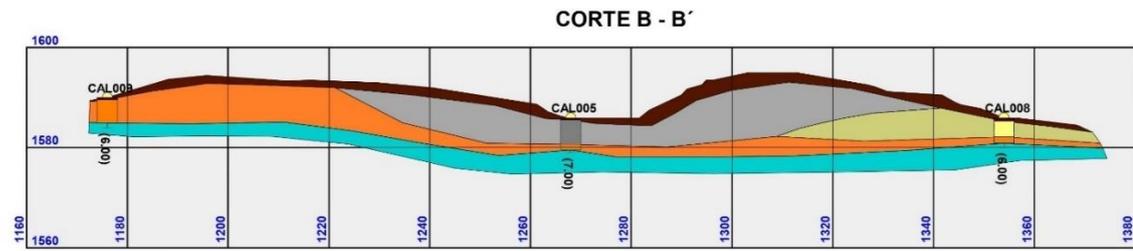
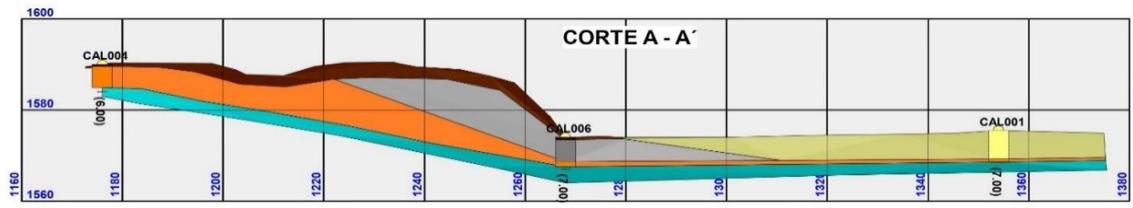
CD021-001.xls

Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609

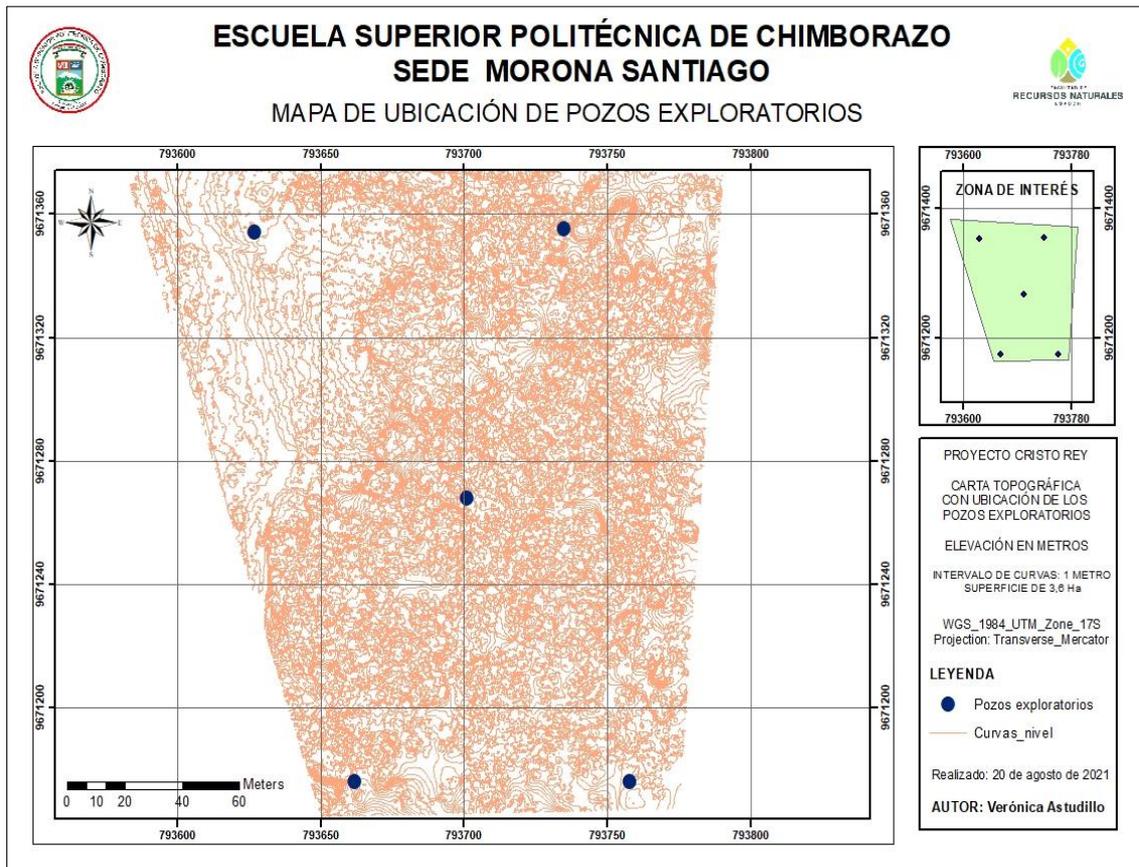
## ANEXO J: MODELAMIENTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO EN RECMIN



# ANEXO K: CORTES GEOLÓGICOS



# ANEXO L: MAPA DE UBICACIÓN DE LOS POZOS EXPLORATORIOS



**ANEXO M: CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL YACIMIENTO**

<b>VOLUMEN DE SOBRECARGA</b>				
Sección	Área	Distancia	Parcial	Total (m <sup>3</sup> )
791.172,00	0			
791.177,00	54,95	5	137,38	137,38
791.182,00	70,52	5	313,67	451,05
791.187,00	147,99	5	546,28	997,33
791.192,00	129,25	5	693,1	1.690,43
791.197,00	160,9	5	725,37	2.415,80
791.202,00	180,74	5	854,1	3.269,90
791.207,00	182,78	5	908,8	4.178,70
791.212,00	188,46	5	928,1	5.106,80
791.217,00	176,28	5	911,85	6.018,65
791.222,00	224,93	5	1.003,02	7.021,67
791.227,00	252,66	5	1.193,97	8.215,64
791.232,00	217,15	5	1.174,52	9.390,16
791.237,00	230,09	5	1.118,10	10.508,26
791.242,00	238,98	5	1.172,67	11.680,93
791.247,00	235,32	5	1.185,75	12.866,68
791.252,00	214,13	5	1.123,63	13.990,31
791.257,00	206,22	5	1.050,88	15.041,19
791.262,00	207,23	5	1.033,62	16.074,81
791.267,00	159,67	5	917,25	16.992,06
791.272,00	198,42	5	895,22	17.887,28
791.277,00	226,12	5	1.061,35	18.948,63
791.282,00	220,84	5	1.117,40	20.066,03
791.287,00	269,44	5	1.225,70	21.291,73
791.292,00	267,18	5	1.341,55	22.633,28
791.297,00	211,63	5	1.197,02	23.830,30
791.302,00	186,47	5	995,25	24.825,55
791.307,00	157,44	5	859,78	25.685,33
791.312,00	125,41	5	707,13	26.392,46
791.317,00	130,57	5	639,95	27.032,41
791.322,00	113,61	5	610,45	27.642,86
791.327,00	88,96	5	506,42	28.149,28
791.332,00	86,83	5	439,48	28.588,76
791.337,00	95,16	5	454,98	29.043,74
791.342,00	93,39	5	471,38	29.515,12
791.347,00	67,57	5	402,4	29.917,52
791.352,00	57,2	5	311,93	30.229,45
791.357,00	53,26	5	276,15	30.505,60
791.362,00	39,18	5	231,1	30.736,70
791.367,00	30,1	5	173,2	30.909,90
791.372,00	40,54	5	176,6	31.086,50
791.377,00	0	5	101,35	31.187,85
791.377,00	0	0	0	<b>31.187,85</b>

VOLUMEN DE SÍLICE CAPA GRIS				
Sección	Área	Distancia	Parcial	Total (m3)
791.214,00	0			
791.219,00	28,22	5	70,55	70,55
791.224,00	168,79	5	492,52	563,07
791.229,00	331,22	5	1.250,02	1.813,09
791.234,00	441,35	5	1.931,43	3.744,52
791.239,00	521,9	5	2.408,13	6.152,65
791.244,00	595,61	5	2.793,78	8.946,43
791.249,00	647,68	5	3.108,22	12.054,65
791.254,00	645,77	5	3.233,63	15.288,28
791.259,00	648,94	5	3.236,78	18.525,06
791.264,00	663,31	5	3.280,62	21.805,68
791.269,00	645,13	5	3.271,10	25.076,78
791.274,00	526,39	5	2.928,80	28.005,58
791.279,00	502,91	5	2.573,25	30.578,83
791.284,00	574,47	5	2.693,45	33.272,28
791.289,00	645,76	5	3.050,57	36.322,85
791.294,00	654,96	5	3.251,80	39.574,65
791.299,00	650,73	5	3.264,23	42.838,88
791.304,00	606,27	5	3.142,50	45.981,38
791.309,00	518,63	5	2.812,25	48.793,63
791.314,00	397,11	5	2.289,35	51.082,98
791.319,00	283,13	5	1.700,60	52.783,59
791.324,00	171,08	5	1.135,53	53.919,12
791.329,00	83,92	5	637,5	54.556,62
791.334,00	30	5	284,8	54.841,42
791.339,00	3,22	5	83,05	54.924,47
791.341,00	0	2	3,22	<b>54.927,69</b>

VOLUMEN DE SÍLICE CAPA BLANQUESINA				
Sección	Área	Distancia	Parcial	Total (m3)
9.673.627,00	122,01			
9.673.632,00	253,41	5	938,55	938,55
9.673.637,00	369,89	5	1.558,25	2.496,80
9.673.642,00	417,37	5	1.968,15	4.464,95
9.673.647,00	409,29	5	2.066,65	6.531,60
9.673.652,00	394,32	5	2.009,03	8.540,63
9.673.657,00	379,57	5	1.934,73	10.475,36
9.673.662,00	364,75	5	1.860,80	12.336,16
9.673.667,00	349,1	5	1.784,63	14.120,79
9.673.672,00	334,16	5	1.708,15	15.828,94
9.673.677,00	319,25	5	1.633,53	17.462,47
9.673.682,00	304,33	5	1.558,95	19.021,42
9.673.687,00	289,54	5	1.484,67	20.506,09
9.673.692,00	274,89	5	1.411,08	21.917,17
9.673.697,00	259,6	5	1.336,23	23.253,40
9.673.702,00	249,43	5	1.272,57	24.525,97
9.673.707,00	255,52	5	1.262,37	25.788,34
9.673.712,00	261,16	5	1.291,70	27.080,04
9.673.717,00	266,56	5	1.319,30	28.399,34
9.673.722,00	271,5	5	1.345,15	29.744,49
9.673.727,00	275,91	5	1.368,53	31.113,02
9.673.732,00	279,75	5	1.389,15	32.502,17
9.673.737,00	140,32	5	1.050,18	33.552,35
9.673.741,19	0	4,19	293,97	<b>33.846,32</b>

**VOLUMEN DE SÍLICE CAPA ANARANJADA**

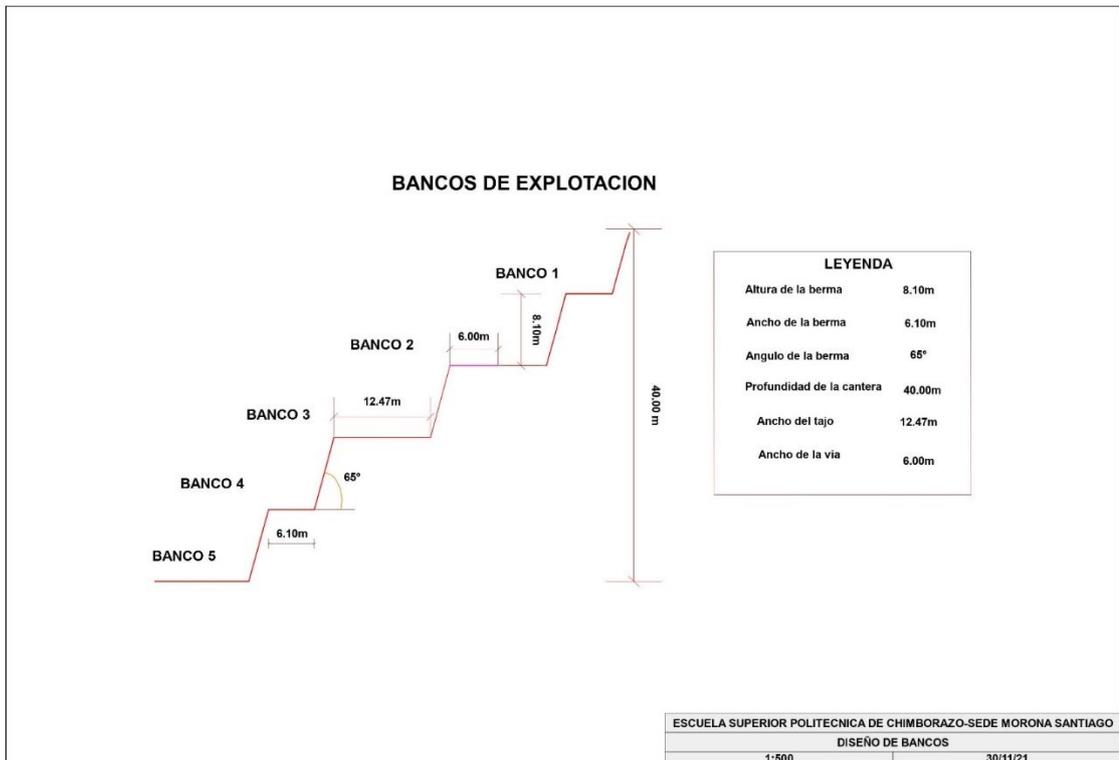
Sección	Área	Distancia	Parcial	Total (m3)
791.169,00	0			
791.174,00	221,8	5	554,5	554,5
791.179,00	440,86	5	1.656,65	2.211,15
791.184,00	556,48	5	2.493,35	4.704,50
791.189,00	603,57	5	2.900,12	7.604,62
791.194,00	684,34	5	3.219,78	10.824,40
791.199,00	638,11	5	3.306,13	14.130,53
791.204,00	595,95	5	3.085,15	17.215,68
791.209,00	574,88	5	2.927,08	20.142,76
791.214,00	651,48	5	3.065,90	23.208,66
791.219,00	701,52	5	3.382,50	26.591,16
791.224,00	624,94	5	3.316,15	29.907,31
791.229,00	531,08	5	2.890,05	32.797,36
791.234,00	482,43	5	2.533,78	35.331,14
791.239,00	431,48	5	2.284,78	37.615,92
791.244,00	350,14	5	1.954,05	39.569,97
791.249,00	287,81	5	1.594,88	41.164,85
791.254,00	252,59	5	1.351,00	42.515,85
791.259,00	202,52	5	1.137,78	43.653,63
791.264,00	153,51	5	890,07	44.543,70
791.269,00	134,27	5	719,45	45.263,15
791.274,00	176,33	5	776,5	46.039,65
791.279,00	215,14	5	978,68	47.018,33
791.284,00	226,72	5	1.104,65	48.122,98
791.289,00	229,57	5	1.140,73	49.263,71
791.294,00	268,18	5	1.244,38	50.508,09
791.299,00	288,18	5	1.390,90	51.898,99
791.304,00	299,79	5	1.469,93	53.368,92
791.309,00	315,51	5	1.538,25	54.907,17
791.314,00	290,76	5	1.515,68	56.422,85
791.319,00	245	5	1.339,40	57.762,25
791.324,00	203,4	5	1.121,00	58.883,25
791.329,00	190,21	5	984,03	59.867,28
791.334,00	186,12	5	940,83	60.808,11
791.339,00	172,85	5	897,43	61.705,54
791.344,00	155,53	5	820,95	62.526,48
791.349,00	135,74	5	728,18	63.254,66
791.354,00	113,73	5	623,68	63.878,34
791.359,00	108,27	5	555	64.433,34
791.364,00	103,85	5	530,3	64.963,64
791.369,00	99,58	5	508,58	65.472,22
791.374,00	49,79	5	373,43	65.845,66
791.377,00	0	3	74,69	<b>65.920,34</b>

VOLUMEN PROBABLE				
Sección	Área	Paso	Parcial	Total (m3)
791.169,00	0,41			
791.174,00	154,04	5	386,12	386,12
791.179,00	273,9	5	1.069,85	1.455,97
791.184,00	280,57	5	1.386,18	2.842,15
791.189,00	281,34	5	1.404,78	4.246,93
791.194,00	257,29	5	1.346,58	5.593,51
791.199,00	347,51	5	1.512,00	7.105,51
791.204,00	379,13	5	1.816,60	8.922,11
791.209,00	345,14	5	1.810,68	10.732,79
791.214,00	310,39	5	1.638,83	12.371,62
791.219,00	303,29	5	1.534,20	13.905,82
791.224,00	300,37	5	1.509,15	15.414,97
791.229,00	313,79	5	1.535,40	16.950,37
791.234,00	303,51	5	1.543,25	18.493,62
791.239,00	320,23	5	1.559,35	20.052,97
791.244,00	369,43	5	1.724,15	21.777,12
791.249,00	411,88	5	1.953,27	23.730,39
791.254,00	445,79	5	2.144,18	25.874,57
791.259,00	474,14	5	2.299,83	28.174,40
791.264,00	475,28	5	2.373,55	30.547,95
791.269,00	454,6	5	2.324,70	32.872,65
791.274,00	396,44	5	2.127,60	35.000,25
791.279,00	373,36	5	1.924,50	36.924,75
791.284,00	362,93	5	1.840,72	38.765,47
791.289,00	364,74	5	1.819,17	40.584,64
791.294,00	359,54	5	1.810,70	42.395,34
791.299,00	348,56	5	1.770,25	44.165,59
791.304,00	346,62	5	1.737,95	45.903,54
791.309,00	357,34	5	1.759,90	47.663,44
791.314,00	378,55	5	1.839,72	49.503,16
791.319,00	404,05	5	1.956,50	51.459,66
791.324,00	410,11	5	2.035,40	53.495,05
791.329,00	399,8	5	2.024,77	55.519,82
791.334,00	390,36	5	1.975,40	57.495,22
791.339,00	384,88	5	1.938,10	59.433,32
791.344,00	384,47	5	1.923,38	61.356,70
791.349,00	381,17	5	1.914,10	63.270,80
791.354,00	378,56	5	1.899,33	65.170,13
791.359,00	313,8	5	1.730,90	66.901,03
791.364,00	272,91	5	1.466,77	68.367,80
791.369,00	244,72	5	1.294,08	69.661,88
791.374,00	220,22	5	1.162,35	70.824,23
791.377,00	0	3	330,33	<b>71.154,56</b>

**ANEXO N: CÁLCULO DEL VAN Y TIR**

<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD</b>						
<b>CONCESIÓN "CRISTO REY"</b>						
<b>LIMÓN INDANZA - MORONA SANTIAGO</b>						
<b>RUBRO</b>	<b>AÑOS</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>INGRESOS</b>						
Total de ventas proyectadas	0,00	2873100,00	3016755,00	3167592,75	3325972,39	3492271,01
<b>Total ventas</b>	<b>0,00</b>	<b>2873100,00</b>	<b>3016755,00</b>	<b>3167592,75</b>	<b>3325972,39</b>	<b>3492271,01</b>
<b>EGRESOS:</b>						
Costos de inversión (activos fijos)	845250,00	862155,00	879060,00	896303,10	913884,30	931810,36
Costos de producción (capital trabajo)	235100,00	239802,00	244504,00	249300,04	254190,12	259176,12
Gastos Administrativos	62920,00	64178,40	65436,80	66720,37	68029,10	69363,51
Activos diferidos	73000,00	74460,00	75920,00	77409,20	78927,60	80475,78
<b>Total egresos</b>	<b>1216270,00</b>	<b>1240595,40</b>	<b>1264920,80</b>	<b>1289732,71</b>	<b>1315031,12</b>	<b>1340825,78</b>
Depreciación		169050,00	169050,00	169050,00	169050,00	169050,00
Utilidad neta	-	1071545,40	1095870,80	1120682,71	1145981,12	1171775,78
Tasa de actualización (12%)	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Valor de actualización		1,12	1,25	1,40	1,57	1,76
Ingresos netos actualizados 12 %	1216270,00	956736,96	876696,64	800487,65	729924,28	665781,69
	-259533,04	697203,93				
		<b>INDICADORES ECONÓMICOS DEL NEGOCIO:</b>				
<b>VAN</b>		\$ 2.813.357,23				<b>ACEPTABLE</b>
<b>TIR</b>		66%				<b>ACEPTABLE</b>

## ANEXO O: PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CANTERA





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS**  
**PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**FECHA DE ENTREGA:** 10/02/2022

**INFORMACIÓN DEL AUTOR**

**NOMBRES – APELLIDOS:** VERÓNICA MARIELA ASTUDILLO FERNÁNDEZ

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**FACULTAD:** RECURSOS NATURALES

**CARRERA:** MINAS

**TÍTULO A OPTAR:** INGENIERA EN MINAS

**F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:**

Lcda. INÉS ZAPATA ZUMÁRRAGA Mgtr.

Inés  
Zapata

Es un modo digitalizado, generado a partir de un archivo PDF. Se recomienda utilizar un lector de PDF compatible con el formato PDF/A-1b para garantizar la máxima calidad de impresión y la preservación del documento.



10-02-2022  
0066-DBRA-UTP-2022