



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**“Modelamiento geológico utilizando software minero en las  
concesiones Plan 1 y Plan 2 cantón Santiago, provincia de Morona  
Santiago”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
**Magister en Minas con mención en Planeamiento Minero**

**Autor:**

GUIDO MISAEAL SALAZAR PIEDRA

**Director:**

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

**CUENCA, ECUADOR**

**2024**

Guido Misael Salazar Piedra

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Septiembre, 2024

**“Modelamiento geológico utilizando software minero en las concesiones Plan  
1 y Plan 2 cantón Santiago, provincia de Morona Santiago”**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de graduación especialmente a Dios y a todos mis seres queridos por apoyarme en este tiempo de superación personal y familiar.

A la persona más luchadora y fuerte que puedo conocer: “yo”.

A mis padres Guido y Fanny por su amor infinito, por esa confianza, porque ellos me enseñaron que en la vida no hay que saber rendirse, sino saber levantarse frente a cada obstáculo, gracias por ser los mejores maestros y padres que la vida me pudo dar.

A Katty, mi amada esposa, por no soltar mi mano y darme su apoyo en todo este camino, y a mis hijos para que cada una de mis metas alcanzadas les quede como ejemplo y espejo que en todo momento hay que seguir preparándose a ser mejores en todo sentido y espacio.

**Guido Misael Salazar Piedra**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor, Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela, Mgs, por su dedicación y paciencia. Sin sus precisas palabras y correcciones, no habría alcanzado este anhelado momento. Gracias por su guía y sus consejos, que llevaré siempre en mi memoria a lo largo de mi carrera profesional.

A mi esposa e hijos, les agradezco infinitamente por su apoyo, comprensión, tolerancia y paciencia. Gracias por cederme su tiempo para que "Papá estudie" y permitirme llevar adelante un proyecto que trascendió de una meta personal a un emprendimiento familiar. A ellos, mi eterno amor y gratitud.

A mis padres, mis guías de vida, dedico este logro como una meta más conquistada. Estoy orgulloso de haberlos elegido como mis padres y de tenerlos a mi lado en este importante momento. Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de trabajo que, con su granito de arena, contribuyeron a este proyecto. En especial a Carlos Medina, cuyo valioso conocimiento y aporte fueron fundamentales para la realización de este trabajo de titulación.

**Guido Misael Salazar Piedra**

**RESUMEN:**

El presente trabajo se desarrolla en las concesiones Plan 1 y Plan 2, el objetivo principal fue: "Construir el modelo geológico en 3D del proyecto Los Planes, usando software minero RECMIN", considerando muestreo en superficie, perforaciones, y se generó un modelo con el uso de bloques en tamaño de 10 X 10 X 10 regenerados y cortados acorde al modelo litológico analizado de testigos de perforación y muestras de afloramientos.

Los resultados obtenidos se estima un solo cuerpo grande de caliza, interpretando zonas no perforadas usando el software de modelamiento geológico. Por ello, se produce un aumento del volumen de caliza y una disminución del porcentaje de calidad de la caliza.

Tenemos valores promediados con rango (70), es decir, del 70 al 80 % de CaCO<sub>3</sub>, con un volumen de 22 704 014,36 toneladas con un 74,74 % de CaCO<sub>3</sub>.

**Palabras clave:** Modelo geológico, caliza, software minero, testigos de perforación, explotación.



---

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

**Director del trabajo de titulación**


**ABSTRACT:**

The present work is developed in the concessions Plan 1 and Plan 2, the main objective was: 'To build the 3D geological model of the Los Planes project, using RECMIN mining software', considering surface sampling, drilling, and a model was generated with the use of blocks in size of 10 X 10 X 10 regenerated and cut according to the lithological model analysed from drill core and outcrop samples.

The results obtained estimate a single large limestone body, interpreting undrilled zones using geological modelling software. As a result, there is an increase in the volume of limestone and a decrease in the percentage of limestone quality.

We have averaged values with range (70), i.e. 70 to 80 % CaCO<sub>3</sub>, with a volume of 22 704 014.36 tonnes with 74.74 % CaCO<sub>3</sub>.

**Keywords:** Geological model, limestone, mining software, drill core, exploitation.



---

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

**Thesis Director**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN: .....	v
ABSTRACT: .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1 .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.5. Planteamiento de la hipótesis .....	3
1.6. Marco teórico.....	3
1.6.1 <i>Tipo de Yacimientos Minerales (Metálicos y No Metálicos)</i> .....	3
1.6.2 Depósitos No Metálicos.....	4
1.6.3 Calizas .....	6
1.6.3.1 <i>Definición</i> .....	6
1.6.3.2 <i>Propiedades</i> .....	9
1.6.3.3 <i>Clasificación</i> .....	10
1.6.3.4 <i>Uso Industrial</i> .....	11
1.6.3.5 <i>Factores determinantes de calidad</i> .....	14
1.6.4 Métodos de explotación.....	14
1.6.4.1 <i>Caracterización del material</i> .....	15
1.6.5 Softwares Mineros.....	16
1.6.5.1 <i>Beneficios de un Software de minería</i> .....	17
1.6.5.2 <i>Características principales</i> .....	18
1.6.6 Estado de Arte.....	18
CAPÍTULO 2 .....	21
2.1 Definición de área referencial.....	21
2.2 Geología Local.....	22
2.3 Recopilación de Información de Campo.....	23

<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1 RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>41</b>
Conclusiones.....	41
Recomendaciones.....	42
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>43</b>
Anexos .....	45



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	21
<b>Figura 2</b> Ubicación de calicatas Plan 1 .....	24
<b>Figura 3</b> Calicata Arenisca (1) .....	25
<b>Figura 4</b> Arcilla, Lutita (2) .....	25
<b>Figura 5</b> Calicata con lutita en la parte inicial y detritos de caliza; al fondo se topa con caliza (3).....	26
<b>Figura 6</b> Intercalación de arcillas con lutita negra y al fondo caliza (4). .....	26
<b>Figura 7</b> Lutita negra deleznable (5).....	27
<b>Figura 8</b> Litología de Plan2.....	28
<b>Figura 9</b> Rodados de rocas cuarcíferas.....	29
<b>Figura 10</b> Arenisca cuarcita (blanquecinas a café claras). .....	30
<b>Figura 11</b> Afloramiento de Diorita.....	30
<b>Figura 12</b> Afloramiento de intrusivo granodiorítico de grano medio. ....	31
<b>Figura 13</b> Gabro de grano fino a medio.....	31
<b>Figura 14</b> Volcanosedimento de tonalidad verdosa.....	32
<b>Figura 15</b> Zona de cizalla de lutita gris oscura .....	32
<b>Figura 16</b> Rodados de caliza. Izquierda: Vetillas de caliza; derecha: caliza fosilífera. ....	33
<b>Figura 17</b> Afloramiento de caliza. ....	34
<b>Figura 18</b> Afloramiento de caliza. ....	34
<b>Figura 19</b> Afloramiento de lutita intercalada con caliza. ....	35
<b>Figura 20</b> Ubicación de los puntos de perforación Concesión Plan 1 Cod. 90000335 .....	37
<b>Figura 21</b> Taladro de perforación y coordenadas de pozos Plan 1 Cod.90000335.....	37
<b>Figura 22</b> Modelo de bloques Plan 1 Cod. 90000335 de %CaCO <sub>3</sub> .....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Coordenadas Plan 1 y Coordenadas Plan 2. ....	22
<b>Tabla 2</b>	Detalle de reservas considerando el modelo geológico.....	39
<b>Tabla 3</b>	Resumen de recursos medidos, indicados e inferidos en modelo consolidado.....	40

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo 1** Mapa topográfico de la zona de estudio Plan 1 y Plan 2.....45  
**Anexo 2** Mapa geológico de Plan1 y Plan 2.....46  
**Anexo 3** Modelo consolidado de caliza con rangos de concentración de CaCO<sub>3</sub>.....46

## **Introducción**

Con la evolución e incremento de la minería a nivel mundial por la necesidad de uso de minerales del subsuelo, su extracción se ha enfrentado a muchas dificultades para el desarrollo de las diferentes etapas o actividades, siendo la principal la inexistencia de información técnica elaborada en función del desarrollo de herramientas informáticas, lo que mejoraría tanto la calidad de la información como los productos a obtener.

Esta carencia y la disponibilidad de este tipo de información técnicamente levantada, realizada e interpretada conlleva muchas de las ocasiones a tener modelos imprecisos o no representativos de la situación geológica – estructural de una zona de interés, no solo para actividades mineras sino incluso para el uso de estos materiales en otras industrias como la construcción y otras más.

El presente proyecto tiene como finalidad realizar el modelo geológico – estructural de la zona de interés del proyecto para conocer las posibles zonas explotables, y si dicho modelo es tomado en cuenta más adelante en otros proyectos, se pueda elaborar el diseño y método de explotación más conveniente en el sector.

La elaboración del modelo geológico de la zona de interés será con el uso del software minero RECMIN, el mismo que es de licencias abiertas y ofrece una gama de herramientas que permiten analizar, ordenar, discriminar y modelar los datos tanto levantados en campo como los recabados en la perforación subterránea.

## CAPÍTULO 1

### 1.1. Antecedentes

La industria minera, al igual que muchas otras, ha experimentado cambios significativos en su planificación y desarrollo, principalmente debido al avance tecnológico. La innovación, impulsada por la creación de software especializado, ha permitido revertir procesos poco eficientes. Estos programas permiten ingresar datos obtenidos de las minas, comenzando con los datos exploratorios, que son el punto de partida de toda actividad minera.

La toma de datos en recorridos de campo en los cuales se toman muestras y posterior inicios de sondajes de perforación son importantes tenerlos detallados y más aún si es una base de datos la cual integre a todos ellos y nos empiece a dar los primeros indicios del posible emplazamiento de un mineral en volumen importante el mismo que puede ser explotable con la construcción de modelos geológicos.

Los principales aportes de estos modelos incluyen un mayor conocimiento de la vida útil de los yacimientos, con una posible extensión de la vida del proyecto en particular. Además, permiten un mejor planeamiento de los suministros para la explotación, lo que conlleva a una disminución de costos, y mejoran la calidad del mineral extraído, reduciendo su variabilidad.

### 1.2. Planteamiento del problema

En las concesiones Plan 1 y Plan 2 se ha observado la necesidad de realizar un modelo geológico que pueda integrar la información que se ha levantado en campo con las diferentes actividades que se realizan, este modelo ayudará a tomar las mejores decisiones en la planeación y posibles usos del mineral existente en la misma como es la caliza, que acorde a las diferentes actividades se puede usar en muchas industrias, incluso en la misma minería se la usa como regulador de pH para neutralizar suelos ácidos y aguas contaminadas.

Dentro de todo esto la modernización no solo debe ser en los procesos que se usan en las etapas de explotación, al contrario, se debe tener las opciones de procesar la información de manera más tecnificada en la que se involucre los avances tecnológicos y el uso de software.

### 1.3. Justificación

Las concesiones mineras «Plan 1 y Plan 2» cubren una zona extensa de mineral de caliza y tanto su ubicación como su disposición son idóneas para, en su caso, iniciar una actividad de extracción minera.

El creciente interés en este mineral, impulsado por la expansión de la industria minera en el país, nos motiva a desarrollar un modelo geológico que responda a la demanda y permita una planificación óptima de los recursos disponibles, tanto en calidad y cantidad.

El modelamiento geológico nos dará una información técnica y a más detalle a los interesados como son el concesionario y los posibles inversores en la extracción de la disposición de recursos existentes en la zona y que sean las más óptimas en calidad y cantidad para su uso.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Construir el modelo geológico en 3D del proyecto Los Planes – sector Méndez usando el software minero RECMIN.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar la información disponible obtenida en campo a través de los diferentes levantamientos y trabajos realizados en la zona.
- Caracterización geológica de materiales involucrados.
- Revisar las alternativas de uso de software minero para integrar los datos obtenidos en campo.

#### **1.5. Planteamiento de la hipótesis**

¿El modelamiento geológico utilizando software minero en las concesiones Plan 1 y Plan 2, permitirá tener una mejor idea del yacimiento de mineral caliza y realizar una buena planificación para el uso de dicho material?

#### **1.6. Marco teórico**

##### **1.6.1 Tipo de Yacimientos Minerales (Metálicos y No Metálicos).**

Para poder tener una referencia clara de los tipos de yacimientos existentes se debe tomar en cuenta la formación de las rocas, su composición mineralógica, disposición y cantidad presente en cierto lugar, luego de este análisis se realiza los estudios económicos para conocer si dicho depósito puede ser aprovechable y es interesante para su extracción debido al uso que se le vaya a dar ya que incluso su costo – beneficio depende del método a usar para su aprovechamiento.

Es así que el Servicio Geológico Mexicano (2017) nos ilustra con el desarrollo de este tema y dice:

Una definición de Depósito de minerales o Yacimiento Mineral sería: parte de la corteza terrestre, en la cual, debido a procesos geológicos, ha habido una acumulación de materia prima mineral, la cual por sus características de cantidad, calidad y condiciones de depósito es redituable su explotación. Entendiendo por materias primas minerales a las sustancias

que se extraen de la corteza terrestre para aprovechar sus propiedades físicas o químicas. Esta definición comprende todos los minerales y rocas utilizados por el hombre y los elementos y compuestos que se extraen de ellos. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Clasificando a las materias primas tomando en cuenta como único criterio el de sus aplicaciones, se agrupan en tres grandes categorías:

1. **Combustibles o energéticas.** Incluye a los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas e hidrocarburos naturales), y los minerales de torio y uranio que se emplean como fuente combustible para los reactores nucleares. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

2. **No metálicas o industriales.** Incluyen a las rocas y minerales en las que el propio mineral o roca o un compuesto derivado de él tiene una utilidad o una aplicación industrial (áridos, rocas ornamentales, minerales refractarios, abrasivos, absorbentes, lubricantes, entre muchos otros). (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

3. **Metálicas.** Incluye todos los minerales de los que se extraen metales. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

#### 1.6.2 Depósitos No Metálicos.

Este tipo de depósitos son como su nombre lo dice los que se encuentran constituidos por los minerales no metálicos y que son los depósitos más abundantes en toda la tierra, en Ecuador no hacen la diferencia teniendo este tipo de depósitos a lo largo de la región Costa, Sierra y Oriente, minerales que son usados en la industria de la construcción y como materia prima para la elaboración de otros agregados.

Las rocas y minerales Industriales (RMI) constituidos por todos los No Metalíferos, son materias primas minerales muy difundidas en la naturaleza, sea como minerales o como rocas, generalmente cubren grandes superficies de la corteza terrestre. A diferencia de los metalíferos, las propiedades físicas del material de los minerales industriales no se modifican hasta su etapa final. Minerales como mica, asbestos, diatomitas, caolín persisten con las mismas propiedades desde la cantera hasta su aplicación final. (Cornejo, 2017).

Los minerales industriales se definen como toda roca, mineral, u otra sustancia natural, que tenga valor económico, excluyendo las menas metálicas, el petróleo y las gemas. (Cornejo, 2017).

Una característica fundamental es su demanda, en la actualidad (2004) la producción de arena y grava en algunos países desarrollados como Estados Unidos y Japón es similar a la de oro y supera a la de cobre. De igual manera la producción de arcillas en casi todos los países tanto desarrollados, como en vías de desarrollo supera a la de hierro. (Cornejo, 2017).

**Distribución de RMI:** El Ecuador dispone de variados recursos de RMI o minerales no metalíferos, siendo los más importantes la caliza, mármol, arcillas, yeso, piedra pómez, baritina y la bentonita. (Cornejo, 2017).

La explotación de caliza y puzolana para la industria del cemento constituye el rubro más importante de la producción minera no metálica (Proaño y Jarrín, 2000).

La versión actualizada del Mapa de Minerales No Metálicos e Hidrocarburos del Ecuador a escala 1:1 000 000 (Paladines A., Rosero G., 2000), presenta cerca de 300 indicaciones entre yacimientos, depósitos, prospectos e indicios de minerales no metalíferos o RMI y campos de yacimientos de hidrocarburos. (Cornejo, 2017).

La distribución de los principales yacimientos de RMI por su volumen e importancia se concentra principalmente en las regiones Costanera y Austral, en tanto que la región Interandina cuenta con recursos de aguas minerales, termales y naturales de montaña. (Cornejo, 2017).

**YACIMIENTOS DE RMI:** Las RMI en la actualidad tienen aplicación en todas las ramas de la industria; y cada día se descubren nuevos usos en campos como la electrónica, la industria aeroespacial y las comunicaciones; sin embargo, su mayor uso está ligado a la industria de la construcción, vialidad y al sector agropecuario. (Cornejo, 2017).

Al realizar la evaluación de un yacimiento de RMI es necesario investigar la calidad del mineral o roca en base a un sinnúmero de propiedades físico-mecánicas y químicas, como: dureza, color, tamaño de los cristales, plasticidad, brillo, porosidad, permeabilidad, etc. (Cornejo, 2017).

Las RMI de diferentes orígenes con frecuencia se reemplazan mutuamente, por ejemplo: la baritina, caolín, talco y la pirofilita pueden en parte reemplazarse en calidad de agregados, lo mismo ocurre con los materiales cerámicos, materiales de construcción y otros. (Cornejo, 2017).

Para todo geólogo, quien se dedica al estudio de las RMI, no es suficiente conocer los métodos geológicos de investigación de estos yacimientos; debe además conocer la tecnología de su tratamiento, las posibilidades de su utilización y rendimiento económico, así como las propiedades y composición de la materia prima. (Cornejo, 2017).

Desde el punto de vista práctico los RMI pueden dividirse en tres grupos:

a) Minerales industriales empleados en la industria: diamante, grafito, micas, feldespatos, etc. (Cornejo, 2017).

b) Minerales industriales empleados en la industria química: apatito, fosforitas, azufre, sales de sodio, potasio y magnesio, etc. (Cornejo, 2017).

c) Rocas industriales o de aplicación tipo materiales de construcción y la materia prima para su producción: arcillas, caolines, rocas carbonatadas, arenas, grabas, etc. (Cornejo, 2017).

**ROCAS CARBONATADAS Y MÁRMOL:** En el territorio ecuatoriano existen 112 ocurrencias de rocas carbonatadas: calizas, mármoles y travertinos. (Cornejo, 2017).

Las calizas y travertinos son explotados a gran escala para la producción de cemento y cerámica, así como artesanal para producir cal y carbonato para alimento balanceado; los mármoles y travertinos se explotan a pequeña escala y en forma artesanal y se emplean



como roca ornamental en la industria de la construcción, o simplemente para elaborar pequeñas piezas de adorno. (Cornejo, 2017).

En el año 2004 la producción de caliza alcanzó 4 699 987,59 toneladas.

Por su ubicación y accesibilidad tres son las zonas del país, en donde prioritariamente se debe proceder a la exploración y explotación de calizas con fines industriales: a lo largo del levantamiento Napo en la Zona Subandina Oriental, afloran las calizas de la Formación Napo en cantidades prácticamente inagotables. (Cornejo, 2017).

En la localidad de Misahuallí, la Cemento Chimborazo C.A., realizó la evaluación del "Proyecto Amazonas", determinando la existencia de 300 millones de toneladas de reservas probadas de caliza, con un promedio de 85% de  $\text{CaCO}_3$ , cantidad que justifica una producción de 3000 toneladas diarias de cemento durante 150 años. (Cornejo, 2017).

Otra zona de interés se ubica a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Occidental, en donde a lo largo de una franja, de norte a sur existen un sinnúmero de yacimientos de caliza de origen biogénico de edad Eocénica; estas calizas se utilizan como materia prima para elaborar cemento en Selva Alegre, así como para la explotación de mármol en Gualchán. Sin embargo, el área más importante se localiza en la Provincia de Cotopaxi; en esta área en el sitio de Unacota, han sido evaluadas 300 millones de toneladas de reservas probadas de caliza de excelente calidad, cantidad que justifica una producción de 4000 toneladas diarias durante 100 años, además muy cerca de esta área, alrededor de la ciudad de Latacunga, existen enormes depósitos de piedra pómez, los cuales forman verdaderas colinas de este material. (Cornejo, 2017).

Los yacimientos más importantes desde el punto de vista industrial están relacionados a la Formación San Eduardo; se trata de calizas de origen sedimentario marino, ubicadas en la Cuenca Progreso a escasos 13 km de Guayaquil, en donde se localiza la fábrica de cementos Rocafuerte, misma que produce 6000 toneladas de cemento al día, o sea aproximadamente el 70% de la producción nacional. (Cornejo, 2017).

En relación al mármol, en el año 2004, la producción fue del orden de 1 431,49 toneladas, que se explotaron en minas localizadas en las provincias de Azuay (área minera Santa Rosa), Chimborazo (área minera Nueva Carolina) y Loja (área minera Machay). (Cornejo, 2016, p.2-4-14).

### **1.6.3 Calizas**

#### **1.6.3.1 Definición.**

La caliza es una de las tantas rocas sedimentarias presentes en la naturaleza, su formación y características están ligadas estrictamente a la cantidad de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la presencia de otros minerales como arcillas, siderita, cuarzo, hematita, magnetita y otros, la presencia de estos minerales puede cambiar color, pureza de la caliza.

Es así que Guerrero Cirilo (2021) en su ensayo nos dice que: Las calizas son rocas sedimentarias de origen fundamentalmente químico u organógeno, formadas al menos por un 50% de carbonato cálcico. Las de origen bioquímico se forman por la acción de los seres

vivos. Estos fijan el calcio disuelto en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, siempre el aragonito es inestable y se transforma en calcita, también se depositan calizas en los fondos marinos como consecuencia indirecta del metabolismo de los seres vivos. Así las algas al realizar la fotosíntesis consumen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); este consumo de dióxido de carbono varía las características del medio con la consiguiente precipitación del carbonato cálcico. La caliza tiene gran interés económico ya que constituye la materia prima del cemento; se utiliza parte en la construcción y como fundente en la industria siderúrgica. (Guerrero, 2021). Las rocas calizas a pesar de que frecuentemente están recristalizadas o han sufrido reemplazo en grado variable, son designadas con nombres basados siempre en las texturas tanto de superficie frescas como en superficies ligeramente atacadas por intemperismo (Guerrero, 2021, p. 3)

En Ecuador la existencia de caliza se ha dado a lo largo de su territorio en diferentes formaciones que se ha evidenciado a través de los estudios que se han realizado durante décadas con la finalidad de poder tener información detallada que sirva para conocer las zonas en la que se pudiera tener este mineral y que uso o aprovechamiento pudiera tener acorde a sus características, a continuación, se detalla en que formaciones se ha podido encontrar la presencia de caliza en nuestro país: (Cornejo, 2016).

**Formación Macuma (Carbonífero Superior):** Calizas, lutitas no metamorfizadas: y metamorfizadas con metavolcánicas. (1200 – 1600 m). Aflora en el Cerro Macuma, provincia de Napo a unos 40 km al noreste de Macas. (Cornejo, 2016).

Macuma Inferior: Consta de calizas silíceas, de 150 a 200 m de espesor, alternando con pizarras y esquistos arcillosos negros. (Cornejo, 2016).

Macuma Superior: Secuencia potente (1250 m) de calizas de color gris oscuro, delgadas hasta gruesas, con intercalaciones de arcilla pizarrosa. En su parte inferior se observa un horizonte de caliza blanca muy pura. (Cornejo, 2016).

**Formación Santiago (Jurásico Inferior):** Calizas, lutitas, areniscas. (1500 – 2700 m). Aflora ampliamente en la parte Occidental de la Sierra de Cutucú. En la parte este de la Formación consiste de una secuencia monótona de calizas silíceas en capas delgadas (1 – 50 cm) de color gris oscuro hasta negro, en igual proporción con areniscas calcáreas, finas a gruesas de color gris con intercalaciones de lutitas negras. Las calizas contienen capas y nódulos de chert negro. Este conjunto representa casi la tercera parte de la Formación, pues al Oeste, las facies se vuelven volcánicas que pasan lateralmente a tobas arenosas y lutitas bentoníticas, intruída por rocas ígneas ácidas y básicas. (Cornejo, 2016).

**Formación Cazaderos (Cretáceo Aptiano-Campaniano):** (1200 m). La mayor parte de la Formación está formada por lutitas negras calcáreas que contienen concreciones grandes y capas masivas de caliza cristalina fosilífera de 1 a 3 m de espesor. (Cornejo, 2016).

**Formación Napo (Cretáceo Albiano-Santoniano):** Lutitas, Red Beds, Calizas. (200 – 650 m). Aflora a lo largo del Oriente Ecuatoriano. Consiste de una serie variable de calizas fosilíferas, grises a negras, entremezcladas con areniscas calcáreas y abundantes lutitas negras y azules. Muchos componentes son bituminosos. (Cornejo, 2016).

**Formación Yunguilla (Cretáceo Superior Maastrichtiano):** Lutitas, calizas, volcanoclastos. (3000 m). Incluyen areniscas, lutitas silíceas y grafiticas, limolitas volcánicas, calizas y rocas volcanoclásticas. En los afloramientos de la provincia de Chimborazo consta de conglomerados, calizas, cherts, grauvacas y lutitas. Las calizas son cristalinas de grano grueso a fino. (Cornejo, 2016).

**Formación Unacota (Eoceno Inferior):** Calizas, lutitas, volcanoclastos. (200 – 500 m). Aflora en forma de pequeños cuerpos calcáreos, que contienen abundantes algas y foraminíferos. Se presenta en forma masiva y las estructuras que se observan a simple vista, son rugosidades, acanalamientos verticales y granulosis superficiales. (Cornejo, 2016).

Las calizas Selva Alegre, correlacionadas con la Formación Unacota, se encuentran situadas en el contacto de la Fm. Macuchi con el Batolito Apuela-Nanegal, que parece haber sido responsable de un intenso metamorfismo térmico, con la presencia de mármol que presenta turmalinas, granates y minerales “tipo skarn”. Predominan mármoles de varios colores, debido a las impurezas que contiene. (Cornejo, 2016).

**Formación San Eduardo (Eoceno Medio):** Calizas, lutitas. (30 – 100 m). Aflora en la provincia de Guayas, Manabí y Esmeraldas. Consiste de caliza bien estratificada de color gris claro a habano y comúnmente llena de radiolarios, foraminíferos y fragmentos de algas, todos excepcionalmente bien preservados. Olistolitos calcáreos individuales, conocidos como la Fm. San Antonio, a 70 km al Suroeste de Guayaquil, son correlacionados con la Fm. San Eduardo. Afloramientos de calizas en las provincias de Manabí y Esmeraldas, conocidos como “Calizas La Delicia” y “Caliza Ostiones”, se correlacionan a la Fm. San Eduardo, pues sus faunas fósiles son idénticas. (Cornejo, 2016).

Adicionalmente, existen varias formaciones geológicas, que contienen niveles calcáreos, en una menor proporción con otras rocas, pudiendo constituir reservas para

futuras explotaciones (Formaciones Punta Blanca, Borbón, Puyango, etc.). Isimanchi (Cornejo, 2016, p.25 y 26).

### 1.6.3.2 Propiedades

La caliza tiene muchas propiedades que dependen del proceso de formación y cambios que ha tenido, estas propiedades son las determinantes para los diversos usos que se le pueda dar, a continuación, describiremos alguna de ellas, según Guerrero, 2001:

➤ La coloración de las calizas ricas en calcio y las calizas dolomíticas son blancas cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen; el óxido férrico da a la caliza color amarillento, rojo, pardo; los sulfuros tales como la piritita, la marcasita y la siderita alteran el color superficial de la roca al oxidarse bajo la influencia de los agentes atmosféricos, dando un color rojizo. Para la construcción de monumentos o la edificación, el color de la caliza es una propiedad importante. La cal comercial tiene color blanco o débilmente gris. (Guerrero, 2001).

➤ La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresión, al aplastamiento que oscila entre 98.4 y 583.5 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a la tracción no es tan importante y es más difícil de determinar, su variación es de 26 a 63 kg/cm<sup>2</sup>. (Guerrero, 2001).

➤ La densidad bruta de la caliza, es el peso de un decímetro cúbico, que varía según el contenido de humedad, la textura y la porosidad de la roca. La caliza comercial secada al aire en las condiciones ordinarias tiene una densidad de 1.922 kg/dm<sup>3</sup>. (Guerrero, 2001).

➤ En condiciones de humedad, la densidad bruta puede ser de 2,242 kg/dm<sup>3</sup>. (Guerrero, 2001).

➤ La densidad real prescindiendo de los poros llenos de aire, oscila entre 2.2 y 2.9 kg/dm<sup>3</sup>. La caliza rica en calcio tiene una densidad de 2.65 a 2.75 kg/dm<sup>3</sup>; y las calizas dolomíticas de 2.8 a 2.9 kg/dm<sup>3</sup>. (Guerrero, 2001).

➤ El análisis espectral con rayos "X" ha revelado que todas las rocas calizas tienen textura cristalina. La textura uniforme suele especificarse para la roca de edificación y la monumental; para los usos industriales la textura no tiene importancia. La textura y la dureza de los minerales que acompañan a la caliza afectan a la dureza de la roca. (Guerrero, 2001).

➤ La dureza de la caliza es de 2 a 3 en la escala relativa de dureza de Friedrich Mohs (1773- 1839), esta es una propiedad importante en la roca de cantera, por lo general, las calizas se trabajan con bastante facilidad si no contienen minerales silíceos. (Guerrero, 2001).

La composición química y las propiedades de la cal y la caliza dependen de la naturaleza y cantidad de las impurezas de la roca original. Las materias contaminadas se depositan simultáneamente con la caliza o entraron durante alguna fase posterior. La alúmina en combinación con la sílice está en la caliza principalmente en forma de arcilla, aunque pueden encontrarse otros silicatos de aluminio en forma de feldespato y mica.

Cuando está en cantidades apreciables, la arcilla convierte una caliza rica en calcio en marga o en una arcillosa, que por calcinación dan cales hidráulicas. En contraste con las calizas que contienen de 5 a 10 por ciento de materiales arcillosos dan cales hidráulicas débiles; y las que contienen del 15 al 30 por ciento producen cales altamente hidráulicas. La materia silícea contenida en las arcillas puede presentarse en estado libre, como arena, fragmentos de cuarzo y pedernal y en estado combinado como feldespato, mica, talco y serpentina; esta impureza está en proporciones variables, aunque por lo general pequeño. Para la mayoría de las aplicaciones pueden desprejarse las cantidades pequeñas; sin embargo, el 5 por ciento o más de materia silícea en una caliza puede ser nociva para el rendimiento en la fabricación de la cal y para la calidad de la misma. (Guerrero, 2001).

A las temperaturas propias de la calcinación, la mayor parte de la sílice, en especial la que se halla en forma de partículas minúsculas (las partículas de sílice grandes como granos gruesos de arena suelen permanecer inertes), reacciona con el óxido de calcio y produce silicatos fundidos; estos productos vítreos se reúnen en el horno y obstruyen el paso del material, fenómeno que en los hornos relativos forma un anillo de silicato que se va ensanchando durante la rotación del horno. (Guerrero, 2001, p.8 y 9).

### 1.6.3.3 Clasificación.

La clasificación de la caliza va a depender mucho de su origen o formación y composición o elementos que tenga presente está, así están detalladas a continuación: (Guerrero, 2001).

En la naturaleza existe una gran variedad de tipos de rocas calizas: tales como **Biohémicas** que son formadas por la acumulación de esqueletos de organismos acuáticos formadores de arrecifes; las **Biostrómicas** son parecidas a las anteriores (tienen el mismo origen) pero ocupan áreas más amplias y aparecen en estratos de espesor variable separados por capas de arcilla; las **Bituminosas** son calizas de color negro ricos en compuestos orgánicos tales como el queroseno y asfaltos que por destilación, se pueden extraer y utilizar como combustible; los de **Crinoides** son calizas con dolomitas aunque la cantidad de calcita representa siempre más del 50% del total (si no sería una dolomía); **calizas fétidas** que contienen un cierto porcentaje de azufre reducido de tal forma que al golpearlas despiden un desagradable olor a huevos podridos; **litográficas** rocas de grano fino y colores claros, formadas a partir de restos de organismos marinos microscópicos llamados foraminíferos y ciertas algas, por lo que también se denominan calizas pelágicas. (Guerrero, 2001).

El nombre de litográficas hace referencia a que, debido a la finura del grano, se puede utilizar y se utilizaron para escribir sobre ellas por la misma razón son un excelente material fosilífero que permite la conservación de los organismos más delicados. (Guerrero, 2001).

En una de estas calizas se encontró el ave más primitiva que se conoce (Archaeopteryx) que señala el paso de los reptiles a las aves actuales; calizas Nummulíticas formadas en el terciario a partir de los caparzones de protozoos del género Nummulites que a pesar de ser unicelulares, son visibles a simple vista; las Oolíticas son calizas que

contienen nódulos esféricos (oolitos), producida por la aglutinación de fango calcáreo alrededor de un núcleo (Guerrero, 2001); las **Pisolíticas** formadas a partir de restos de algas dispuestas en masas esféricas de pequeño tamaño. Las rocas clasificadas como calizas comerciales contienen cantidades variables de carbonatos de magnesio; cuando éste se halla en cantidad inferior a 5%, se dice que la caliza es magnesiana. Una caliza que contenga entre 30% y 45% de carbonato de magnesio se clasifica como dolomítica. (Guerrero, 2001).

La verdadera caliza dolomítica está compuesta por mineral dolomita, que es un carbonato doble de magnesio y calcio ( $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ), y que contiene un 46% de carbonato de magnesio, estas cales se llaman cal rica en calcio, cal magnesiana y cal dolomítica. (Guerrero, 2001). Los tipos de rocas carbonatadas se dividen en: **Físico-químicas** formado por: marga, travertino, tobas calizas y caliche; las **Bioquímicas** formadas por calizas de bacterias y algas; **Organógenas** compuestas por calizas lumaquelas conchíferas, eucrinitas, biohérmicas, biostrómicas, creta y nummulíticas; **Metasomáticas** constituidas por dolomías y calizas dolomíticas. (Guerrero, 2001). Su composición fundamental está integrada por carbonato cálcico, calcita y dolomita. (Guerrero, 2001). El mecanismo de formación de estos tipos consiste en la unión de concreciones calcáreas, oolitos y pisolitos, consolidación de barros calcáreos y calcáreos arcillosos; se precipitan en regiones cársticas, alrededor de plantas en regiones calcáreas, en suelos por capilaridad, por metabolismo vegetal, por la unión de conchas de moluscos, equinodermos, crinoides, arrecifes de corales, de briosos, por erosión del arrecife, por acumulo de caparazones de foraminíferos y nummulites y por metasomatismo de calizas o precipitaciones directa de dolomita o sílice coloidal (Guerrero, 2001). El ambiente de formación es variado desde marino de aguas cálidas, nerítico, tropical, pelágico, litoral; continental superficial o subterráneo; fluvial y lacustre hasta continental árido. (Guerrero, 2001, p.6 y 7).

#### 1.6.3.4 Uso Industrial.

A lo largo de la historia de la humanidad y su desarrollo industrial junto con el vertiginoso crecimiento que ha tenido, el uso de los diferentes minerales presente en la corteza terrestre también ha aumentado y en el caso particular de la caliza no ha sido diferente, el uso de este mineral en las diferentes industrias es importante ya que sea como materia prima o como agregado para la fabricación de otros materiales (ejemplo: el cemento), no deja de ser un aporte el hallazgo de nuevos yacimientos que se encuentren en el tonelaje de lo que se va necesitando, es así que los usos que se le da son:

Directa o indirectamente, es probable que la roca caliza y la cal se empleen en más industrias que ninguna otra sustancia natural; ambos materiales se usan mucho en la agricultura, en la edificación y en las industrias químicas. (Guerrero, 2001).

Se mencionan otros usos tales como para la refinación del azúcar y el petróleo, en la fabricación del papel, hidróxido de sodio, vidrio, insecticidas, carburo de calcio, polvos de blanqueo, artículos de piel, barnices, magnesio. (Guerrero, 2001).

### **Fertilizante**

Las fábricas productoras de fertilizantes mixtos están usando cantidades crecientes de caliza pulverizada como relleno en sus productos. (Guerrero, 2001). Este uso es completamente lógico, siendo que la caliza aplicada de esta manera satisface algunas de las necesidades de encalado de los agricultores, como relleno para fertilizantes se prefiere la caliza rica en calcio, ya que esta por su elevado contenido de calcio tiende a convertir el ácido fosfórico asimilable en la forma insoluble en citrato amónico. (Guerrero, 2001). Las calidades ordinarias de fertilizantes se preparan de modo tal que no forman acidez. (Guerrero, 2001).

### **Encalado de suelos.**

El uso más importante de la caliza en la agricultura es el tratamiento de las tierras para neutralizar los ácidos del suelo y añadir los nutrientes calcio y magnesio, esenciales para las plantas; la pureza de la caliza agrícola es poco importante, ya que pueden usarse con éxito cualquier material calcáreo, incluso las impuras, para enmendar los suelos, siempre que se utilice cantidad suficiente que se compra tomando como base su equivalente en óxido de calcio, ya que el contenido de CaO (óxido de calcio) y MgO (óxido de magnesio), determinan la potencia neutralizante de la caliza. (Guerrero, 2001).

Generalmente se prefieren las formas de caliza más finamente pulverizadas, porque reaccionan más rápidamente que las fracciones más gruesas; tanto las calizas ricas en calcio como las calizas dolomíticas se usan extensamente en el encalado de suelos. (Guerrero, 2001).

### **Piensos, alimento seco para animales.**

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente al uso más intenso de suplemento minerales para enriquecer y fortalecer los numerosos tipos de alimentos orgánicos para animales. (Guerrero, 2001). El calcio es necesario a los animales en cantidades mayores que ningún otro mineral; la roca caliza rica en calcio pulverizada proporciona calcio fácilmente asimilable de una manera muy económica y es el portador ideal para los otros elementos, entre ellos los oligoelementos, que constituyen un suplemento mineral; en las industrias, las especificaciones exigen caliza finamente molida que pase de 100 mallas en proporción de por lo menos 95 por ciento y tiene que ser también lo bastante pura, además de contener poca sílice y poca alúmina, el contenido de flúor y arsénico tiene que ser sumamente bajo. (Guerrero, 2001).

**Construcción.**

Los usos que tiene la caliza con fines de construcción son: los agregados para hormigón y como componentes del concreto, la mayor parte del cual se hace con cemento, como los balastros para ferrocarriles, los fragmentos de caliza irregulares de tamaños que varían entre 15 y 30 centímetros, son utilizados en la construcción de los vertederos de las presas, en la construcción de muelles y para rellenar los puntos bajos en terrenos o carreteras. (Guerrero, 2001).

**Fabricación de azúcar.**

Las etapas del proceso para la fabricación del azúcar. Específicamente de los jugos cuyo proceso consta de la preparación de la caña para la molienda, extracción del jugo, purificación del guarapo, evaporación, centrifugación, empaquetamiento y almacenamiento; en la extracción del jugo, la caña se tritura y desmenuza mediante molido por dos rodillos, la cual pasa a otra serie de tres rodillos, llamados trapiche, por debajo de cada molino hay un recolector del guarapo, en el cual fluye el jugo exprimido, durante la purificación del guarapo que sale del trapiche siendo un líquido ácido, opaco y de color verdoso y que contiene impurezas solubles e insolubles, tales como tierra, proteínas, ceras, goma y materia colorante. (Guerrero, 2001).

**Ablandamiento de aguas.**

En las plantas de aplicación de colorantes, lavanderías y las instalaciones textiles, el agua de proceso debe ser blanda. Si sólo se dispone de agua dura, tendrá que tratarse para eliminar las sales de calcio o magnesio disueltas, siendo el sistema de ablandamiento más antiguo la adición de cal para precipitar. El uso combinado de cal y carbonato de sodio se conoce con el nombre común de ablandamiento con cal-carbonato. (Guerrero, 2001).

**Tratamiento de agua de calderas.**

El funcionamiento económico de una caldera requiere un tratamiento de cal-carbonato en caliente para el agua que se le alimenta. En la utilización de calderas de baja presión, el proceso de tratamiento cal-carbonato en caliente, más un tratamiento interno, suele ser suficiente. (Guerrero, 2001). La química del procedimiento cal-carbonato en caliente es la misma que el del proceso en frío. Sin embargo, las reacciones son más rápidas y puesto que las solubilidades en puntos cercanos al de ebullición son más bajas, el proceso en caliente puede reducir la dureza hasta 20 ppm. (Guerrero, 2001). El tratamiento interno en las calderas puede reducir la dureza a "cero", por medio de fosfatos que precipitan a los materiales formadores de incrustaciones en forma de lodos de fosfato insolubles, que se eliminan durante el purgado. (Guerrero, 2001, p.9 - 13).



### **1.6.3.5 Factores determinantes de calidad.**

Los factores que determinan la calidad de este mineral dependen de las propiedades que este tenga y el uso que se le vaya a dar ya que en algunas industrias no importa mucho por ejemplo la pureza, haremos un análisis de algunos factores, (Guerrero, 2001):

La evaluación físico - química apropiada de las calizas además de servir de base en el diseño de obras mineras, contribuye de manera eficaz en la optimización del método de explotación permitiendo el análisis; tomando en consideración el método aplicado y periodo de tiempo. (Guerrero, 2001).

Recordemos entonces que la roca caliza está formada de una serie de compuestos químicos, en el que la presencia de los carbonatos de calcio y de magnesio son más significativas, refiriéndose a estos como los principales componentes de la caliza. (Valdiviezo & Ramírez, 2009).

Para (Lhoist, 2019), si hablamos de la industria en construcción incluyendo componentes básicos como el material de construcción, ornamentación y mano de obra, la calidad de la roca referida y encontrada en un yacimiento nos ayudará a determinar el nivel de influencia efectiva dependiendo principalmente del estado en el que sea encontrada, es decir; su proceso de evolución a lo largo del tiempo así como el ambiente de formación y los procesos geológicos que influyeron a su almacenamiento, solo así esto ayudara a determinar la cantidad de material carbonatado y se detectará el nivel de impureza asociados a la roca caliza.

La calidad de roca caliza en un yacimiento dependerá principalmente de cómo esta haya evolucionado a lo largo del tiempo y su ambiente de formación presente, esto determinaría la cantidad de materiales carbonatados adjuntos como impurezas a la roca principal tales como arcillas, cuarzo, arena, entre otras (Lhoist, 2020).

Bajo estas premisas podemos decir que la roca caliza tiene varios factores que influyen en su calidad que son, la dureza de la roca, las impurezas presentes y la variación de la calidad de la roca en diferentes zonas del yacimiento. (Orihuela, 2021, p 9 - 11).

### **1.6.4 Métodos de explotación.**

Los métodos de explotación que se han venido desarrollando a lo largo de la minería han variado y es acorde a la información que se ha podido levantar en los diferentes yacimientos en cuanto a la disposición del mineral de interés, sin dejar de lado el tema de las ganancias a nivel económico.

La información que se levante del yacimiento depende la fase en la que nos encontremos como la prospección, la exploración (inicial y avanzada) aquí se puede tener perforaciones a profundidad a fin de ampliar las reservas del yacimiento mineral de interés.

Los métodos de explotación que tenemos dependiendo de la disposición del yacimiento y sabiendo que el método de extracción es propio de cada mina pudiendo estar alternados entre sí, son:

**Minería Subterránea**, es la que desarrolla su actividad de explotación en el interior de la tierra a través de túneles, ya sean verticales u horizontales. En las minas, se trabaja desde una chimenea de acceso y se establecen niveles a intervalos regulares, por lo general con una separación de 50 metros o más; así como también, a partir de varios túneles de acceso con diferente altura, o de rampas de acceso que unen diferentes niveles. (Herrera, 2020).

**Minería de superficie**, es la que se desarrolla sobre la superficie de la tierra, de manera progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitados. Este tipo de minería se aplica en sitios donde los minerales están a poca profundidad. (Herrera, 2020).

**Minería aluvial**, comprenden actividades y operaciones mineras realizadas en riberas o cauces de los ríos; también se emplean métodos de minería aluvial para la extracción de minerales y materiales en terrazas aluviales, que constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río. (Herrera, 2020).

**Minería por paredones**, es un método de explotación de carbón en fajas delgadas verticales, que son cortadas por medios mecánicos a lo largo de caras o paredes rectas. (Herrera, 2020).

**Minería de 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. Minería submarina o dragado, permite obtener materiales situados bajo el océano o ríos, extrayendo los materiales mediante una draga en una barca especialmente preparada para remover el lecho del mar o del río. (Banco Central Ecuador, p 2).

#### **1.6.4.1 Caracterización del material.**

Una vez comprobada y verificada la viabilidad económica del proyecto, se deben seleccionar los métodos de extracción más adecuados de acuerdo con las condiciones naturales, geológicas, geométricas y las características espaciales del depósito mineral. Las consideraciones incluyen, (Herrera, 2020):

1. Características espaciales / geométricas del depósito en cuestión: forma, tamaño, espesor, inclinación, buzamiento y profundidad. (Herrera, 2020).
2. Resistencia de la roca a techo, muro y del cuerpo mineralizado. (Herrera, 2020).
3. Valor económico de la distribución de mineral, ley y distribución de la misma dentro del depósito. (Herrera, 2020).

Por lo tanto, la elección inicial de los métodos de explotación que pueden ser aplicables a la mina en cuestión de entre los que se puede elegir, debe basarse en un análisis pormenorizado y objetivo de, (Herrera, 2020):

- Costes operativos y de capital estimados.
- Tasas de producción.
- Disponibilidad de trabajos.
- Disponibilidad de materiales/equipos.
- Consideraciones ambientales.

A partir del análisis de estos factores, se elige el método que ofrece la combinación más razonable y optimizada desde el punto de vista de la seguridad, economía, eficiencia y recuperación minera. (Herrera, 2020).

Entre los factores determinantes en la elección del método de explotación, cabe destacar:

- Geometría del yacimiento:  
Forma (masiva, tabular, filoniana, etc.).  
Potencia y buzamiento.  
Tamaño.  
Regularidad.
- Aspectos geotécnicos:  
Resistencia (de la mena, techo y muro, bloque).  
Fracturación (intensidad y tipo de fracturación).  
Campo tensional in-situ (profundidad).  
Comportamiento tenso-deformacional.
- Aspectos económicos:  
Leyes del mineral.  
Valor unitario del mineral.  
Productividad y ritmo de explotación.
- Seguridad y medio ambiente:  
Aspectos de seguridad.  
Impacto ambiental (paisaje, subsidencia, aguas etc.).  
Impacto social. (Herrera, 2020, p 9 y 10)

#### **1.6.5 Softwares Mineros.**

La minería como otras industrias no se ha podido quedar atrás en ir con la innovación y crecimiento tecnológico que hoy en día se cuenta, es así que también se han desarrollado software que permiten realizar modelamiento de los posibles yacimientos acorde a la información que se vaya levantando en campo y los resultados que se obtienen de los laboratorios certificados.

El software de minería es una herramienta digital que se utiliza para agilizar los distintos procesos de la explotación minera, como la exploración de canteras, la extracción

de minerales a cielo abierto o en minas subterráneas, el tratamiento de minerales en bruto u otros materiales extraídos, e incluso el cierre de la mina. Con la ayuda de funciones altamente especializadas como el modelado geológico, la optimización de perforaciones y voladuras y los estudios de impacto ambiental, por citar algunas, las empresas pueden tomar decisiones basadas en datos, optimizar recursos, mejorar la productividad, garantizar la seguridad y equilibrar productividad y sostenibilidad.

#### **1.6.5.1 Beneficios de un Software de minería.**

La minería es una de las empresas más difíciles por la complejidad de los procesos, los riesgos para la seguridad y su enorme impacto medioambiental. La aplicación de las mejores prácticas del sector y el cumplimiento de la normativa son posibles con la ayuda de soluciones de software para minería. He aquí algunos detalles:

**Optimiza la asignación de recursos** – Las empresas mineras tienen una extensa lista de materias primas, maquinaria y empleados a los que hacer un seguimiento. El software gestiona estos activos y recursos, optimizando su uso y reduciendo el despilfarro en el proceso.

**Mejora de la seguridad** – Aunque el sector ha mejorado sus operaciones, reduciendo considerablemente las catástrofes, muertes y lesiones a lo largo de los años, aún queda mucho por hacer para salvaguardar vidas. Funciones de software como la identificación de riesgos y la elaboración automática de informes pueden ayudar a las empresas a alcanzar el objetivo de cero accidentes mortales.

**Garantiza la sostenibilidad** – La minería desempeña un papel vital en el suministro de recursos esenciales para diversas industrias. Pero no cabe duda de que tiene consecuencias negativas para el medio ambiente. Con este programa, las empresas pueden aplicar mejor prácticas mineras responsables para minimizar su impacto.

**Mejora la analítica** – Los mineros no se limitan a excavar tierra y rocas. También realizan trabajos de oficina y laboratorio que requieren tasar minerales, visualizar bancos, calcular reservas y cotejar certificaciones para los organismos reguladores. Todo ello puede analizarse utilizando la plataforma.

**Mejora la eficiencia global de la minería:** gracias a funcionalidades técnicas como el análisis de datos de perforación, la supervisión de vibraciones de voladuras y las integraciones con dispositivos IoT especializados en minería, los trabajadores mineros pueden realizar sus tareas de forma eficiente, incluso a distancia, y lograr resultados óptimos.

### 1.6.5.2 Características principales.

Las soluciones de software para la industria minera tienen una de las listas de funciones más amplias. Además de agilizar las tareas administrativas, la plataforma también implica funcionalidades específicas del sector, que pueden depender del tipo de minería que se lleve a cabo (por ejemplo, de superficie, subterránea, aluvial, in situ, etc.) Aunque sería todo un reto elegir la que mejor se adapte a sus necesidades, he aquí algunos elementos esenciales que debe tener la plataforma:

- Repositorio de plantillas mineras.
- Planificación de recursos y reservas.
- Gestión de existencias.
- Mantenimiento de equipos y emplazamientos.
- Gestión de incidentes.
- Geoetiquetado.
- Modelización geológica.
- Optimización de la perforación y voladura.
- Control de la producción.
- Gestión medioambiental.
- Garantía de seguridad.
- Documentación.
- Análisis.
- Formación y educación.
- Integración de IoT.
- Herramientas de colaboración.
- Accesibilidad móvil y funciones offline.

#### **Tipos de Software Mineros.**

- Software de aplicación.
- Software de gestión.
- Software de programación.
- Software de sistema.
- Software de modelamiento.

### 1.6.6 Estado de Arte.

Al realizar la investigación del uso de software minero en diferentes proyectos, y los resultados que estos han tenido en la planificación en las diferentes etapas de la industria minera encontramos que su implementación ha disminuido los riesgos en la producción e inversión siempre que se tenga la base de datos adecuada para cada uno de los software, estos son especialmente lo referente a la geología que se haya levantado a detalle y se

complemente con perforaciones a diamantina con recuperación de testigos que nos de información a profundidad, lo que nos permitirá tener una idea mejor de cómo interpretar con el criterio del geólogo los depósitos y así determinar cuál sería el mejor método para su explotación, esto junto con el análisis económico determinará la factibilidad y las utilidades que se obtendría por los recursos que se tengan y las reservas en sus dimensiones de probadas, probables y posibles, a continuación expondré algunos de los estudios que se han basado en los análisis hecho con el uso de software minero.

LETELIER, Isabel 2012 en su trabajo "IMPACTO DE LA INCERTIDUMBRE DEL MODELO GEOLÓGICO EN UN PROYECTO MINERO" nos explica que: "Blasor es un software desarrollado exclusivamente para BHP Billiton y se utiliza para la optimización de la planificación". En el paper "Blasor – A Generalized Strategic Mine Planning Optimization Tool" (Menabde, 2007), "se explica la metodología utilizada por el software. Lo que hace es, muy resumidamente, calcular y valorizar el panel óptimo de secuencia de extracción, dado el modelo de bloques, restricciones, parámetros de entrada, etc.",

El modelo es construido con Vulcan, a partir del modelamiento de sólidos con el software Leapfrog, para las variables tipo de mineral, litología y alteración. Es decir, este modelo tiene 3 juegos de sólidos asociados. Es importante recalcar que este modelo es una interpretación del geólogo, por lo cual se encuentra "suavizado". (Letelier,2012).

En cambio CHARAJA, Harold 2014 en su trabajo PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO Y OPERACIONAL CON EL USO DE SOFTWARE DATAMINE EN MINA SUBTERRÁNEA CONDESTABLE, manifiesta que: " Ante la necesidad de estar a la vanguardia de los últimos cambios en tecnología y automatización que afronta la minería y ante la necesidad de la misma de sobrevivir ante los cambios repentinos, y cada vez más drásticos en minería surge la propuesta del presente trabajo de investigación que es la de automatizar y optimizar el planeamiento de las operaciones mineras en Compañía Minera Condestable unidad Raúl Niveles del -175 al -350 haciendo uso del software minero Datamine. En un inicio se comienza con la recolección de datos de una base de datos de taladros diamantinos, Insustituible para la aplicación en el software minero. Con la base de datos se procede a la importación y visualización en 3D de los sondajes en el software minero, con los mismos se contornea la parte que representa la estructura mineralizada, y se crea el modelo geológico. Con la información de topografía se procede a la creación de modelos en 3 dimensiones de las diferentes labores niveles y también se hace el diseño de las nuevas labores. Con la información de taladros se procede a compositar a un ancho fijo de explotación, con esta información se procede a la creación del modelo de bloques que es el inicio del planeamiento, el cálculo de la ley media se hace por el método del inverso a la distancia el metal representativo es el Cu. Con esta información y con la herramienta de planeamiento del software minero Datamine se procede hacer el programa de producción anual mensual y semanal".

En el trabajo de Sepúlveda (et al) 2011, MODELO DE BLOQUES PARA UN YACIMIENTO DE SULFUROS MASIVOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MINESIGHT®

“desarrolla un modelamiento general para un yacimiento hipotético de sulfuros masivos en el cual el mineral de interés es el Cobre (Cu), donde se desarrolla una serie de procesos como: datos digitalizados, ensayos de sondajes, modelo de la mina, diseños de pits, visualizar en 3-D, interpolar y ejecutar proyecciones a largo y corto plazo y la planificación para la valoración económica del proyecto, también un modelo de bloque 3-D donde el yacimiento es dividido verticalmente en bancos, para cada bloque en el modelo, se pueden almacenar una variedad de ítems. Típicamente, un bloque para un modelo 3-D contendrá los ítems de ley, los códigos geológicos y un porcentaje topográfico. Los datos de calidad se ingresan mediante una técnica de interpolación por lo regular, tal como el Kriging o la ponderación del inverso a la distancia. Una vez construido el modelo, éste puede ser actualizado, resumido estadísticamente, ploteado en plan o sección y contornado en plan o sección. El modelo es un requisito necesario en cualquier diseño de pit o proceso de evaluación de pit.

Se puede utilizar el software MineSight® para tomar datos crudos de origen estándar (sondajes, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, información topográfica, entre otros), la estimación de reservas y crear un programa a largo plazo para el análisis financiero de un proyecto”.

TOLENTINO, Fernando 2019 en su trabajo de titulación denominado: ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS CON EL USO DE SOFTWARE MINERO PARA LA EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO MINERO – DON JAVIER, “nos ilustra con el uso de la herramienta que se describe a continuación y que ha generado buenos resultados como es: “Minesight: Es un software que proporciona todas las herramientas interactivas necesarias para determinar con confianza las reservas explotables, diseños de cortes sencillos y amplias opciones de diseño de Drill Holes que permiten la manipulación de la superficie total, Herramientas para el patrón al finalizar cada periodo, pit final definido, programación de las fases, construcciones mineras de superficie, etc. Este software entrega a los usuarios herramientas completas para la explotación a cielo abierto y subterráneo. (Giovani Franco S., 2011)”.

Sepúlveda (et al) 2011, en su trabajo MODELAMIENTO DE UN YACIMIENTO HIPOTETICO DE CARBÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE MINESIGHT®; “Este artículo presenta una compilación de términos generales relacionados con la generación de un proyecto geológico minero usando herramientas ejecutables proporcionadas por Minesight®, que es una de las herramientas para el modelamiento y la planificación minera más utilizadas a nivel mundial, tomando como punto de partida el suministro de datos de campo hasta la finalización con el planeamiento minero, relacionando los diferentes tipos de datos en simulaciones posibles y aplicables a los depósitos de carbón. Adicional a esto, se presenta un caso de estudio aplicado en un depósito hipotético de carbón el cual fue modelado teniendo en cuenta el tipo de depósito sedimentario y la calidad de sus carbones, logrando un diseño óptimo para el proyecto utilizando Minesight® e integrando las etapas mineras en un solo software de planificación”.





**Tabla1** *Coordenadas Plan 1 y Coordenadas Plan 2.*

<b>Ptos. Plan 1 COD:</b>		<b>Ptos. Plan 1 COD:</b>	
<b>90000335</b>		<b>90000336</b>	
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
794600	9690 800	795000	9693100
794600	9691000	794100	9693100
794400	9691000	794100	9691400
794400	9691400	794400	9691400
794100	9691400	794400	9691000
794100	9691100	794600	9691000
793900	9691100	794600	9690800
793900	9690900	795600	9690800
793600	9690900	795600	9691600
793600	9690700	795800	9691600
793400	9690700	795800	9691700
793400	9690400	795900	9691700
793200	9690400	795900	9692000
793200	9689200	795800	9692000
794400	9689200	795800	9692400
794400	9689300	795000	9692400
794500	9689300	795000	9693100
794500	9689400	795000	9693100
794600	9689400		
794600	9689900		
794800	9689900		
794800	9690000		
795300	9690000		
795300	9690800		
794600	9690800		
794600	9690800		

## 2.2 Geología Local.

Geológicamente se observa que discordantemente sobreyacen rocas sedimentarias y volcánicas de las formaciones Chapiza (capas rojas de turbiditas, volcánicos, lutitas) y Misahuallí (lavas y piroclastos), seguidos de una depositación de las formaciones Hollín (cuarcitas blancas) y Napo, Serie variable de calizas fosilíferas, grises a negras, entremezcladas con areniscas calcáreas y lutitas negras de edad cretácica (léxico estratigráfico, 2000), estas Formaciones constituyen las rocas que 3 predominan la zona de estudio de la geología local de Méndez. Asociándole a la formación Napo se describiría

como una caliza con textura que va desde mudstone a wackestone a packstone. El color va de crema a gris y marrones claros y en algunas partes crema con manchas de color gris o marrón claro u oscuro (ARCH,2016).

El frente Subandino está compuesto por estructuras de cabalgamiento que colocan al metamórfico jurásico sobre los sedimentos cretácicos, que se extienden paralelamente a la cordillera. (TESIS ESPOCH 2016).

Las estructuras y fallamiento de la zona de estudio son parte de los acontecimientos de deformación y esfuerzos transpresivos presentes a partir del final del Cretáceo, los que provocan la subida de la Cordillera Real y las deformaciones que se observa en la cuenca Subandina, siendo la estructura principal y dominante la transformación de las fallas normales del ríff triásico en fallas inversas al iniciarse el tectonismo compresivo por efectos del movimiento de las placas. (Rivadeneira 2004).

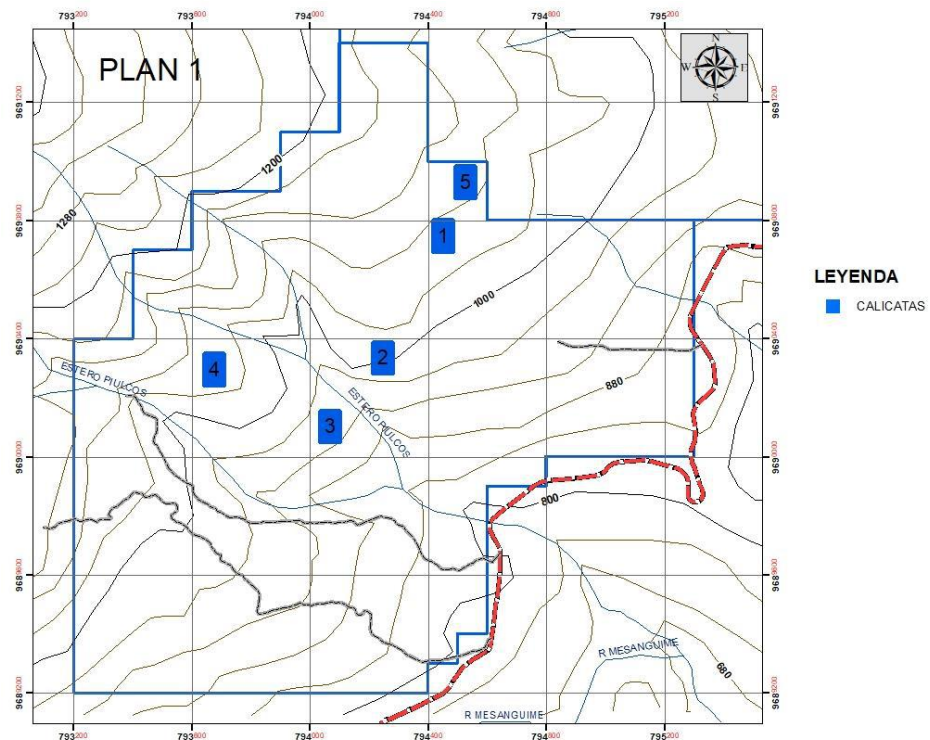
Las fallas dominantes en el sector tienen un rumbo N50E y corresponde a una falla inversa de empuje de NW hacia SE. (Zurita & Andrade, 2007) En base al estudio realizado con mapeo de campo y sondajes se considera que la base de la secuencia sedimentaria estaría más relacionada a las características de la formación Napo por su similitud litológica estratigráfica, con espesores de 200 a 700 mts (Baldock, geología del Ecuador p 20) de edad del Albiano medio al Maastrichtiano medio (Wilkinson, 1982) con la presencia de un cuerpo intrusivo como basamento y algunos pulsos jóvenes aflorando en algunas quebradas de la quebrada Piuleos.

### **2.3 Recopilación de Información de Campo.**

Para el desarrollo de la presente investigación se dispone de los datos de sondeos realizados en la campaña de exploración, los datos se muestran en anexos (mapa de sondeos), los sondeos se realizaron con recuperación de testigos, estos sondeos fueron ubicados en la Concesión Plan1, además en las zonas de estudio tanto Plan 1 y Plan 2 se trabajó con calicatas.

Para realizar el modelo geológico se ha usado toda la información obtenida previamente con los recorridos y levantamientos geológicos a detalle sumado a los testigos de perforación recuperados, que nos dan a profundidad la geología de las zonas en cuanto a las potencias de la caliza principalmente, en el RECMIN se carga la información a detalle que se tiene y se procede a realizar una aplicación de digitalización de secciones para formar cuerpos sólidos conocidos en el RECMIN como T3.

**Figura 2** Ubicación de calicatas Plan 1



**Fuente:** Elaboración propia.

Como parte del estudio en el Área Plan 1 se estimó conveniente realizar calicatas, que consisten en una excavación en un área de 1 mt a 2 mt cuadrados con una profundidad de 1 a 2 mts dependiendo del tipo de suelo o litología existente, la idea de este trabajo es la estudiar zona donde la cobertura vegetal se halla cubriendo la litología, y de esta manera realizar un análisis de la geología local y una mejor interpretación de la distribución espacial de los estratos sedimentarios en la zona.

Como resultado de este trabajo se determinó una zona sobre la cota 1058 msnm, en la parte Norte de la concesión Plan 1 una litología de areniscas que se constituirían en el techo de las secuencias de caliza y lutita observadas.

**Figura 3** Calicata Arenisca (1)



**Fuente:** Elaboración propia.

**794453; 9690746; 1058 Calicata Arenisca (1)**

Cerca de la unión del estero o quebrada Piuleos en las coordenadas que se describen en la imagen inferior se obtuvo en la calicata lutita negra deleznable, previo a 1 mt de arcilla con alto contenido de humedad, esta litología está presente en la quebrada Piuleos y en ocasiones tiene alternancias con la caliza gris.

**Figura 4** Arcilla, Lutita (2)



**Fuente:** Elaboración propia.

**794248; 9690334; 997 Arcilla, lutita (2)**

Esta imagen muestra una calicata de 1.6 mts de profundidad en donde se pudo hallar caliza gris con vetillas de calcita dando una idea general que la zona presenta buena tendencia a conservar este paquete de calizas, este punto sirvió para ubicar un punto de perforación próximo denominado Pozo Nro. 3.

**Figura 5** Calicata con lutita en la parte inicial y detritos de caliza; al fondo se topa con caliza (3).



*Fuente:* Elaboración propia.

**794069; 9690102; 977 calicata 1.6 metros inicia con lutita y detritos de caliza; y al fondo se topa con caliza (3).**

En la siguiente calicata con profundidad de 1.5 mts se halló arcillas en el primer metro con presencia de lutita negra no calcárea y a profundidad de 1.5 mt un bloque de caliza pequeño por la observación en campo se estimó conveniente ubicar el Pozo Nro. 4 para perforación y determinación del estrato calcáreo.

**Figura 6** Intercalación de arcillas con lutita negra y al fondo caliza (4).



*Fuente:* Elaboración propia.

**793676; 9690294; 1081 calicata a 80 cm caliza, inicia con arcillas cremas (4)**

Al extremo norte de la concesión se obtuvo en una calicata con profundidad de 1.8 mts lutita negra deleznable, corroborando la litología de lutita encontrada en uno de los afluentes cercanos a este sector.

**Figura 7** Lutita negra deleznable (5).



**Fuente:** Elaboración propia.

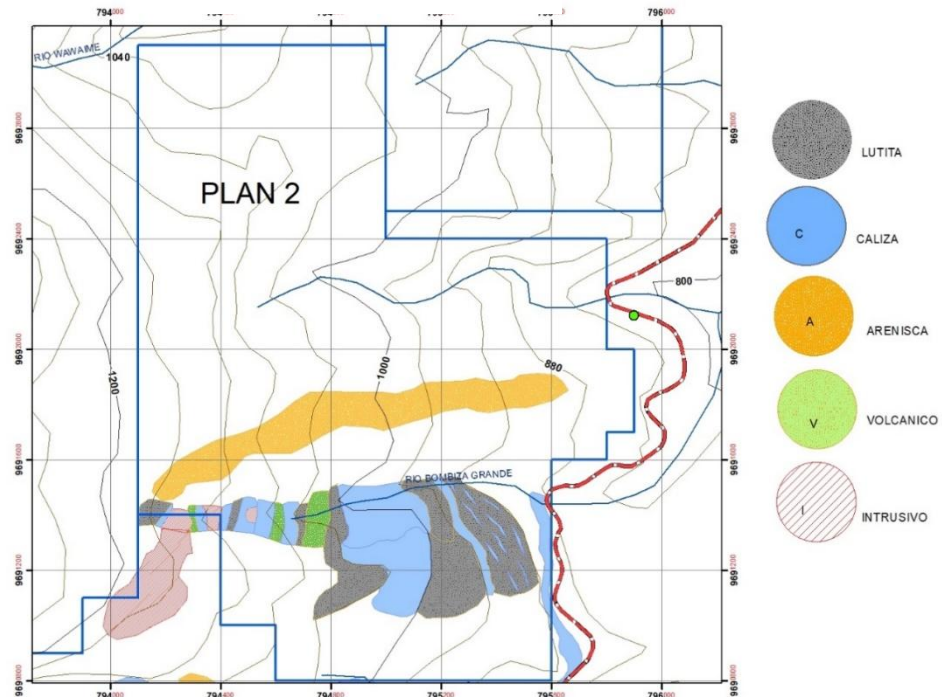
**794562; 9690861; 1149 calicata de 1.8 mt (5)**

Con el desarrollo de las calicatas mencionadas en el presente documento se ha podido coordinar acciones técnicas encaminadas a correlacionar la litología mapeada, respecto a zonas donde la cobertura vegetal nos impide obtener una información clara, dicha relación de la información, alimenta una base de datos que da como resultado un mapa litológico capaz de mostrar zonas de interés o targets respecto de las rocas calcáreas existentes en el área Plan 1.

## PLAN 2

En el UTM 794617; 9691396;1046 se tiene una andesita de tonalidad verdosa de grano fino masiva consolidada y se observa cubriendo la secuencia sedimentaria, se interpretaría que en las cotas más altas estaría la zona de origen y serie un evento volcánico joven, esto es corroborado en la parte baja de los afluentes cuya interacción volcánica es nula y se aprecia una secuencia sedimentaria conservada.

**Figura 8 Litología de Plan2**



**Fuente:** Elaboración propia.

El rio Bombiza Grande tiene una orientación Este a Oeste y pasa en el extremo Sur de la concesión minera Plan 2 desde la parte baja se aprecia una secuencia variable sedimentaria con intercalaciones de lutita, caliza siendo la lutita la de mayor predominio, corresponde a una zona baja sobre la cota 900 msnm, siguiendo hacia la zona media sobre la cota 950 a 1000 se tiene una secuencia de caliza que va en contra pendiente y marca una secuencia importante que podría ser considerada para un estudio a detalle, a techo aguas arriba y donde la pendiente se ve afectada por un intrusivo diverso que va desde una diorita de grano medio, a dioritas y meta sedimentos de tonalidad verdosa intruidas dentro de la secuencia sedimentaria.

El orden de la secuencia sedimentaria sería una arenisca a techo, seguido de una lutita gris oscura deleznable sin consolidación un paquete conservado de caliza de aproximadamente 30 mts, hasta llegar a una zona baja con intercalaciones de lutita caliza, con mayor predominio de lutita.

Al tomar en cuenta que la desembocadura de este afluente está en cotas más bajas (fuera de la concesión) donde no se ha establecido ningún tipo de estudio y que el límite de la concesión esta cercano a la vía principal que conduce a Méndez de acuerdo a lo

observado tendríamos una secuencia de caliza aun no definida cercana y quizá debajo de la vía principal.

El intrusivo ha provocado un levantamiento de las capas sedimentarias que al ser intruidas estuvieron expuestas a la erosión con mayor facilidad al igual que al rompimiento, fracturamiento o cizallamiento, lo que limita la potencia de la secuencia sedimentaria y no sería rentable para los fines exploratorios a los que se encamina el proyecto, esto solamente hablando de lo que tiene una relación directa con los cuerpos intrusivos.

### **ARENISCA**

Los rodados observados sobre el terreno del Sr. Manuel Sarmiento corresponden a rocas cuarcíferas de varios metros y dispuestas en varios puntos de este terreno lo que se interpretaría como una secuencia de esta litología que correspondería al techo de la secuencia sedimentaria.

**Figura 9** Rodados de rocas cuarcíferas.



**Fuente:** Elaboración propia.

En el UTM 795507; 9691805; 895 en una pequeña quebrada se observa arenisca cuarcita de tonalidades blanquecinas a café claras asumiendo una capa de arenisca que cubre las secuencias de lutita y caliza.



**Figura 10** Arenisca cuarcita (blanquecinas a café claras).



**Fuente:** Elaboración propia.

### ROCAS INTRUSIVAS

En el UTM 794290; 9691381;1109 se observa una Diorita gris oscura, máficos bien conservados se interpretaría como un pulso posterior a una granodiorita de grano grueso meteorizada encontrada en la margen derecha de la quebrada Piuleos, sobre esta cota aparece la caliza y la secuencias o intervalos lutita-caliza.

En el UTM 794279; 9691379;1104 aflora una diorita fresca apareciendo en intervalos que han levantado la secuencia sedimentaria por tanto las potencias estimadas de la caliza es pocos metros, y se incluye el aparecimiento de diques microdioríticos (UTM 794249; 9691393; 1116) cuyo levantamiento ha ocasionado un cizallamiento de las lutitas en la parte alta de esta quebrada.

**Figura 11** Afloramiento de Diorita



**Fuente:** Elaboración propia.

En el UTM 794508;9691405;1071 se halla un intrusivo granodiorítico de grano medio meteorizado podría corresponder a semejarse al basamento ígneo de la zona, la tonalidad es blanquecina con plagioclasas en descomposición, en afloramiento la roca presenta una consolidación media, no presenta ningún tipo de mineralización asociada.

**Figura 12** Afloramiento de intrusivo granodiorítico de grano medio.



**Fuente:** Elaboración propia.

### **ROCAS VOLCANICAS**

En el UTM 794279; 9691379; 1104 se encontró una roca de manera puntual tipo gabro de estructura masiva, una roca fresca lo que nos indicaría una afectación ígnea joven con eventos recientes que afectaron a la conservación de la caliza.

**Figura 13** Gabro de grano fino a medio.



**Fuente:** Elaboración propia.

UTM 794617; 9691396; 1046 volcanosedimento de tonalidad verdosa de grano fino con apariencia a una andesita de menor consolidación cubriendo una litología de caliza con una orientación medida del contacto de 170/218/32.

**Figura 14** Volcanosedimento de tonalidad verdosa.



**Fuente:** Elaboración propia.

### **LUTITA**

En el UTM 794692; 9691408; 1042 se observa una lutita gris oscura en una zona cizallada la orientación estructural principal corresponde a un rumbo de 172 con azimut de 261 e inclinación de 42, la lutita es frágil deleznable, se halla a techo respecto de la caliza, aunque en la parte baja se halla con intercalaciones de caliza de pocos centímetros.

**Figura 15** Zona de cizalla de lutita gris oscura



**Fuente:** Elaboración propia.

**CALIZA**

**Figura 16** Rodados de caliza. Izquierda: Vetillas de caliza; derecha: caliza fosilífera.



**Fuente:** Elaboración propia.

En rodados de la quebrada en la zona media sobre la cota 900 y la mil se observó 2 tipos de caliza micríticas con la diferencia de que la foto de la izquierda presentaba vetillas de calcita en su composición mientras que en la derecha se observó una caliza fosilífera con restos de conchas, pero distribuidas en una roca fresca.

La zona importante de caliza tiene una extensión a lo largo de la quebrada y entre las cotas 900 y 1000 msnm de aproximadamente 200 mts con algunas medidas estructurales tomadas

La foto siguiente UTM 794854; 9691466; 1016 muestra un afloramiento de caliza de gran magnitud nótese la persona que esta referenciada como escala, la inclinación de los estratos 330/220/40 este contrapendiente, esto puede ser explicado a un basamento levantado o a fallamientos normales extensivos.

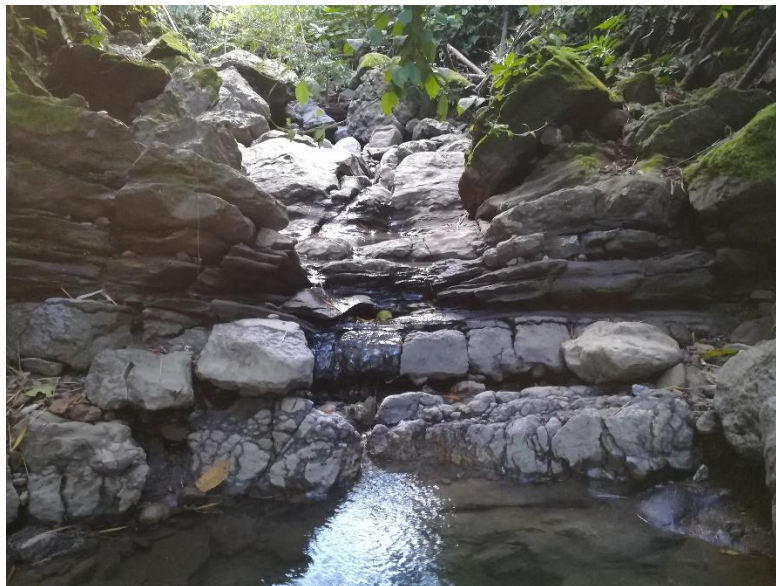
**Figura 17** Afloramiento de caliza.



**Fuente:** Elaboración propia.

Otros afloramientos importantes presentan similitud en la inclinación de los estratos por ejemplo UTM 795002; 9691489; 1005 con medidas de 330/250/30 variando el ángulo de inclinación.

**Figura 18** Afloramiento de caliza.



**Fuente:** Elaboración propia.

En el UTM 795056; 9691503;963 ya se comienza a observar intervalos de lutita con orientación medida de 340/220/35 en la secuencia de caliza situación que en la parte baja termina con predominio de la lutita sobre la caliza.

**Figura 19** Afloramiento de lutita intercalada con caliza.



**Fuente:** Elaboración propia.

A nivel más local entre las concesiones de Plan 1 y Plan 2 existen una tendencia en sentido NE con una curvatura promedio siguiendo la curva de nivel entre 1150 a 950 mts promedio, con paquetes de caliza cuya orientación estructural o de estratificación va direccionado en contrapendiente o quebrada, la zona que esta sin información donde marca la curvatura de la línea azul desde el límite del Plan 1 en sentido norte hacia el Plan 2 en el Rio Bombiza se ve afectada por una cobertura vegetal y quizá un paquete litológico de arcillas, lutitas, teniendo una sobrecarga por estimarse con trabajos más a detalle e incluso a aumentar el número de perforaciones en las zonas de interés.

Luego de los análisis de la información levantada en los diferentes recorridos en las zonas, se procede a plantear los puntos más óptimos para realizar perforaciones y con ello levantar más información con el logueo de los testigos de perforación que se pueda recuperar y analizar.

El logueo de los testigos nos dará más información acorde a como se encuentra a profundidad la caliza y sus posibles potencias que serán aprovechadas más adelante de manera industrial en las diferentes aplicaciones de caliza como materia prima para el uso respectivo, el resultado de recuperación de muestras y el análisis hecho en campo se detalla a continuación diferentes tablas que contienen información como: Ubicación de los pozos, Litología, muestreo y desviaciones.

### **MODELO TOPOGRÁFICO.**

En vista de la importancia de los estudios a realizar, se ha utilizado equipo electrónico de alta precisión, como la estación total. En esta estación se almacena información codificada, la cual se convierte en datos que se integran en programas de cómputo como ARCMAP para la elaboración de planos sectorizados en formatos CAD y shapefile.

El trabajo con la estación total se llevó a cabo mediante visadas, utilizando lecturas de comprobación hacia el punto anterior con lecturas realizadas a través del prisma y consecutivas lecturas de rayos láser. Además, se realizaron ajustes por temperatura y se siguió la siguiente metodología:

Se ejecutó una poligonal con medición directa, utilizando la estación total TOPCON ES 105, que cuenta con programas básicos como: Medición de distancia entre dos puntos (MLM), Elevación remota (REM), Cálculo de coordenadas en 3D, Cálculo automático de azimut, Resección a partir de dos puntos, Replanteo de puntos en 3D y Cálculo de Área.

Estos trazos, que generan los planos, han sido procesados en dibujos sectorizados en ARCMAP. Los archivos están en unidades métricas; los puntos están incluidos como bloques y controlados con tres tipos de información básica: número de punto, este, norte, elevación y descripción (PENZD).

El levantamiento topográfico se refiere al establecimiento de puntos de control horizontal y vertical. Para el desarrollo del proyecto, se requieren tanto puntos de control vertical como horizontal, mismos que han sido transportados desde la vía que conduce hacia Méndez, levantando en paralelo la zona baja.

Posteriormente, se inició un nuevo proyecto para levantar parte de la zona intermedia a alta, donde están ubicadas espacialmente las paredes de caliza. Se implantaron estaciones para la alineación, sin exceder una distancia promedio de 300 metros, asegurando su intervisibilidad. Se caracterizaron todos los puntos bajos y altos, tomados a partir de la lectura de puntos intermedios entre las plantillas.

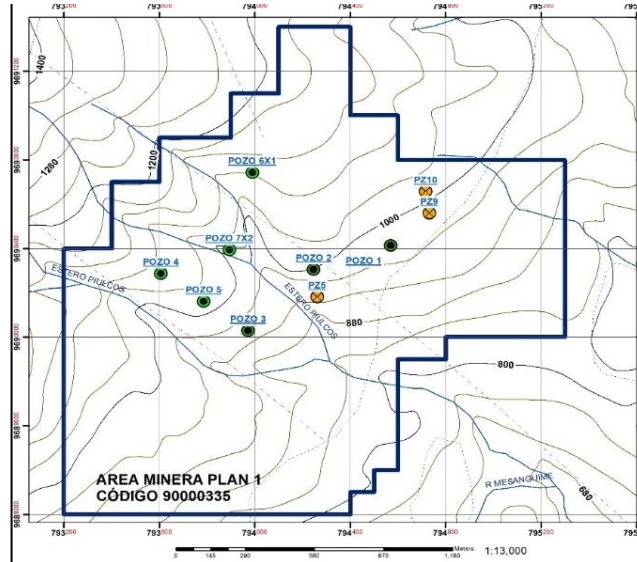
Toda la información obtenida se procesó empleando programas de cálculo en el caso de la estación total (indicando el software utilizado en el equipo). Esta información se procesó con el módulo básico, permitiendo obtener un archivo de radiaciones sin errores de cálculo, con su respectiva codificación de acuerdo a la ubicación de puntos. Luego de realizada esta codificación se procede a guardar el archivo de topografía en extensión .DXF que es reconocida por el software RECMIN para posterior importar esos datos y que por defecto y posterior uso en el programa se guarda una superficie que son extensiones .\*sup, de esta manera se obtendrá el mapa topográfico de la zona de estudio. (Ver Anexo. 1)

**CAPÍTULO 3**

**3.1 RESULTADOS.**


Se realizaron 10 sondeos en el Área Plan 1 código 90000335.

**Figura 20** Ubicación de los puntos de perforación Concesión Plan 1 Cod. 90000335



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 21** Taladro de perforación y coordenadas de pozos Plan 1 Cod.90000335.

	Taladro de perforación				
	X	Y	Z	NRO SONDAJE	LONGITUD PERFORADA
	794571	9690415	952	POZO 1	35 metros
	794247	9690305	992	POZO 2	34 metros
	793973	9690030	977	POZO 3	45 metros
	793607	9690287	1076	POZO 4	23 metros
	793787	9690162	1021	POZO 5	13 metros
	793991	9690743	1071	POZO 6X1	35 metros
	793895	9690394	1029	POZO 7X2	30 metros
	794263	9690181	931	PZ5	22 metros
	794733	9690560	965	PZ9	34 metros
	794718	9690657	1008	PZ10	36 metros

*Fuente:* Elaboración propia.

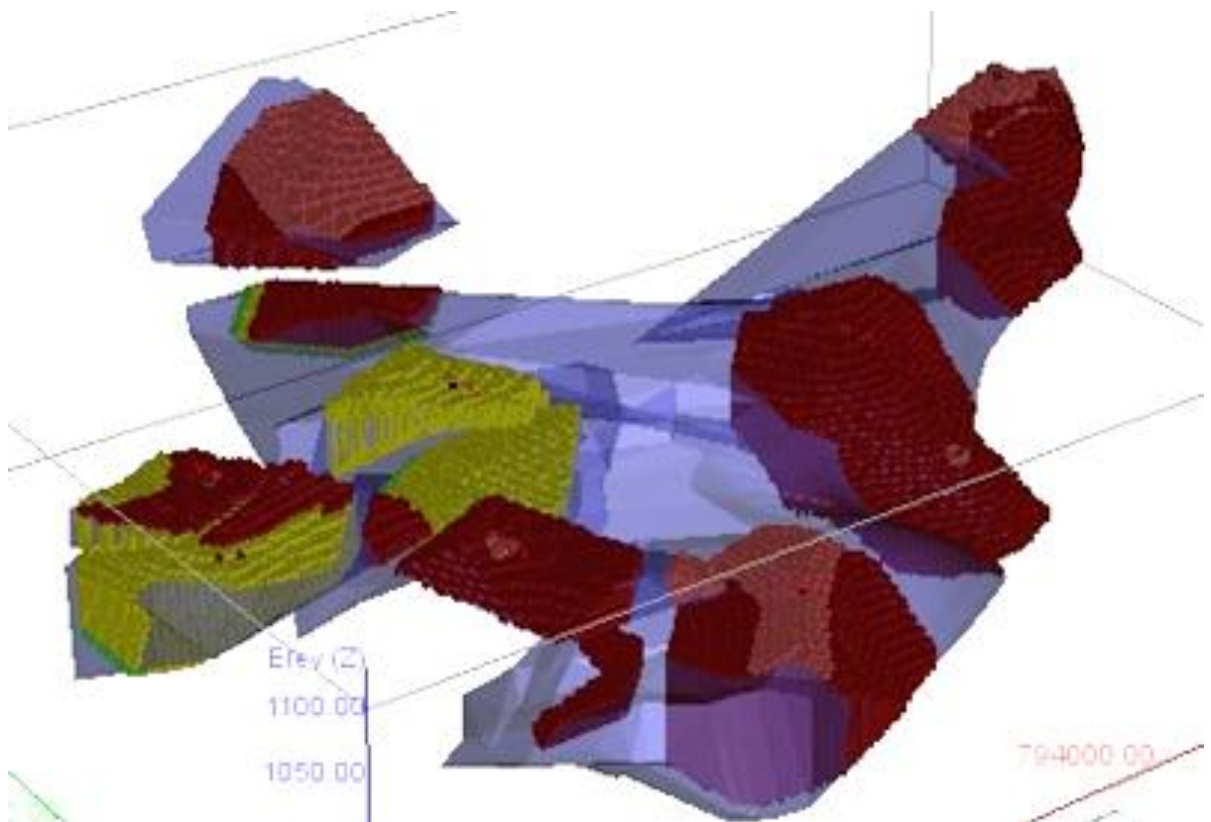


### MODELO INTERPOLADO DE 1 SOLO CUERPO GENERALIZADO DE CALIZA.

La estimación se la realizó en el programa RECMIN considerando topografía, geología, muestras, perforaciones o sondajes, datos de inclinación y dirección de pozos, resultados certificados de laboratorio y se estableció una relación consolidada de la información para obtener resultados de volumen en toneladas de caliza y calidad de la misma. A continuación, se muestra los modelos de estimación 3D generados. (Ver Anexo 2.)

### MODELO POR SEPARACIÓN DE BLOQUES DE CALIZA.

**Figura 22** Modelo de bloques Plan 1 Cod. 90000335 de %CaCO<sub>3</sub>



**Fuente:** Elaboración propia.

Considera cuerpos individuales de caliza separados en bloques para combinar la profundidad de las perforaciones con la calidad de la caliza obtenida en los resultados de laboratorio, delimita bloques y calcula su volumen y calidad de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de las muestras en porcentaje de pureza.

En el modelo de bloques discriminado en los que se encuentran entrelazados con la litología presente de la zona nos da una mayor visión de cómo se estaría comportando el cuerpo mineralizado a profundidad y dándole prioridad a la pureza de la caliza para fines industriales. Se ha obtenido los siguientes resultados. (Ver Anexo 3. Modelo consolidado).

**Tabla 2** Detalle de reservas considerando el modelo geológico.

RECURSOS MEDIDOS				
CUT-OFF	Volumen	Densidad	Tonelaje	CaCO <sub>3</sub>
%CaCO <sub>3</sub>	m <sup>3</sup>	t*m <sup>3</sup>	t	Grade
50	744,350.85	2.50	1,860,877.13	72.37
60	679,206.51	2.50	1,698,016.27	74.01
<b>70</b>	<b>508,401.05</b>	<b>2.50</b>	<b>1,271,002.63</b>	<b>76.56</b>
80	102,679.54	2.50	256,689.85	82.54
RECURSOS INDICADOS				
CUT-OFF	Volumen	Densidad	Tonelaje	CaCO <sub>3</sub>
%CaCO <sub>3</sub>	m <sup>3</sup>	t*m <sup>3</sup>	t	Grade
50	2,835,043.62	2.50	7,087,609.06	72.32
60	2,687,100.70	2.50	6,717,751.76	73.23
<b>70</b>	<b>2,082,672.30</b>	<b>2.50</b>	<b>5,206,680.74</b>	<b>75.16</b>
80	197,581.41	2.50	493,953.53	82.81
RECURSOS INFERIDOS				
CUT-OFF	Volumen	Densidad	Tonelaje	CaCO <sub>3</sub>
%CaCO <sub>3</sub>	m <sup>3</sup>	t*m <sup>3</sup>	t	Grade
50	9,672,455.00	2.50	24,181,137.49	71.63
60	9,345,334.06	2.50	23,363,335.16	72.29
<b>70</b>	<b>6,490,532.39</b>	<b>2.50</b>	<b>16,226,330.98</b>	<b>74.47</b>
80	414,722.96	2.50	1,036,932.41	82.67

**Fuente:** Elaboración propia.

### Resumen de recursos medidos, indicados e inferidos

Las reservas presentadas en el presente trabajo son las concentraciones o anomalías presentes en la zona de estudio que se identifican y estiman tanto con exploraciones, reconocimiento y muestreo a lo largo y ancho de las concesiones. Cuando estos presentan un interés económico y están sustentados por un plan minero, se denominan recursos minerales.

Cuando estas reservas se vuelven de un interés económico importante acorde al uso que el recurso va a obtener se denominan recursos minerales.

Los resultados obtenidos se estiman como un solo cuerpo grande de caliza interpretando zonas no conocidas o no perforadas por medio del software de modelamiento geológico por ello se da un aumento de volumen de caliza y una baja en el valor porcentual de la calidad de la caliza.

En la siguiente tabla se observa valores promediados de las tablas anteriores en el rango (70) es decir del 70 al 80% de CaCO<sub>3</sub>, con un volumen de 22,704,014.36 toneladas con 74.74% de CaCO<sub>3</sub>.

**Tabla 3** Resumen de recursos medidos, indicados e inferidos en modelo consolidado.

RECURSOS TOTALES CONSIDERANDO EL CUT-OFF 70% CaCO <sub>3</sub>			
Categoría	CUT-OFF	Toneladas	Grade
	%CaCO <sub>3</sub>	t	%CaCO <sub>3</sub>
Medidos	70	1,271,002.63	76.56
Indicados	70	5,206,680.74	75.16
Inferidos	70	16,226,330.98	74.47
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>22,704,014.36</b>	<b>74.74</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones

Se ha realizado el modelamiento geológico de las concesiones mineras Plan 1 y Plan 2 con el uso del software minero RECMIN y los datos obtenidos en el yacimiento de caliza presente en la zona.

Luego de realizar un análisis minucioso y detallado de toda la información que fue recuperada en campo con las diferentes campañas llevadas a cabo, el uso del software minero RECMIN nos ayuda a delimitar la extensión y distribución del bloque de caliza existente en la zona.

El software minero junto con la información detallada que se tiene nos presta facilidades para poder hacer una identificación de las zonas de mineral más ricas en caliza, así como su geometría.

En base a la aplicación de software y sus diferentes herramientas se puede obtener la cantidad de reservas del mineral de interés (caliza), para de esta manera poder estimar tiempo de vida útil de la zona y que mezclas debemos realizar a fin de obtener una pureza adecuada para el uso que se requiera dar al material.

El modelamiento geológico realizado en el software es una gran ayuda para la planificación minera de manera que este es la base para ir tomando decisiones del posible método de explotación que se de en la zona.

La elaboración del modelo en 3D nos da una mejor perspectiva visual del tipo de depósito de caliza que se tiene y esto conllevará a tener una mejor toma de decisiones al momento de querer realizar un aprovechamiento del mismo.

El desarrollo de un buen levantamiento de información de campo y posterior ingreso de estos en RECMIN ayuda a realizar una mejor precisión en la estimación de reservas y colabora a optimizar en la gestión eficiente de la planificación que se pudiera llevar a cabo para la extracción.

El modelo de bloques obtenido acorde a los diferentes porcentajes de pureza nos ayuda a poder tener un buen composite para el máximo aprovechamiento del recurso mineral presente en la zona acorde a los diferentes usos que puede tener la caliza en la industria en general.

**Recomendaciones.**

Si bien es cierto que, con los recorridos en las zonas, con la elaboración de calicatas y la campaña de perforación se tiene información para realizar evaluaciones del mineral, se debería planificar una campaña más extensa en área y en profundidad de perforación para conocer de mejor manera el comportamiento del yacimiento y su naturaleza.

Mantener una información bien detallada y ordenada al momento de realizar los diferentes trabajos con los softwares ya que estos al tener interfases y guardar bases de datos nos dan errores si no están bien direccionados.

Asegurarse de que el levantamiento de información en campo se realice con técnicas actualizadas y precisas, así como que el personal tanto técnico como ayudantes tengan la formación correspondiente para la toma de muestras y no contaminar la muestra o tener errores de lectura de datos de muestreo.

Verificar que los datos recopilados e ingresados a las hojas de cálculo sean correctos para evitar así que al momento de verificar la información en el software nos de errores lo que puede conllevar a no tener resultados cercanos a la realidad.

Realizar análisis de sensibilidad para entender cómo los cambios en los parámetros de entrada afectan las estimaciones de reservas y planificación de la explotación. Esto es esencial para la toma de decisiones informadas.

Fomenta la capacitación continua del personal en el uso de RECMIN y en las mejores prácticas de modelamiento geológico. Esto garantizará que el equipo esté siempre actualizado y sea más eficiente.

Establecer un enfoque colaborativo entre geólogos, ingenieros de minas y otros especialistas para integrar diferentes perspectivas en el modelamiento y la planificación de posibles zonas de mayor interés.

Se debería hacer que los resultados del modelamiento y las decisiones tomadas sean comunicados claramente a todas las partes interesadas, incluidos los inversores, el equipo operativo y las comunidades locales.

Actualizar la base de datos ingresada cada vez que se realice un nuevo muestreo o se extienda las zonas de análisis en las concesiones mineras Plan 1 y Plan 2.

Utilizar las capacidades del software RECMIN para simular diferentes escenarios de explotación. Esto nos permitirá evaluar cómo varían las reservas y la pureza de caliza en función de diferentes métodos de extracción y mezclas.

Tener auditorías periódicas de los datos ingresados en la base de datos a fin de mantener la integridad y precisión del modelo geológico.

## BIBLIOGRAFÍA

ARCH, *Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (2016) Plan de Desarrollo del Bloque Puma Calizas M-1 y M-2*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Francia: Editores Científicos.

Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador: Boletín Explicativo*. Quito: Min. Rec. Nat. Energía. Quito.

Banco Central del Ecuador. (s/f). *La minería ecuatoriana. Sector Minero*. Recuperado el 8 de julio de 2024, de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>

Charaja Larico, H. E. (2014). *Planeamiento estratégico y operacional con uso del Software Datamine en Mina subterránea Condestable*.

Cornejo, Paul. (2017). *Depósitos minerales no metálicos del Ecuador*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/317613312\\_DEPOSITOS\\_MINERALES\\_NO\\_METALICOS\\_DEL\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/317613312_DEPOSITOS_MINERALES_NO_METALICOS_DEL_ECUADOR)

Duque, P (2000). *Breve Léxico estratigráfico del Ecuador. Sistemas de información geológica (SIM)*. Proyecto PRODEMINCA, pp. 50.

Guerrero, Cirilo. (2001). *Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña*. [Ensayo, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. Repositorio institucional <https://www.utm.mx/~temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>

Herrera, Herbert. (2020). *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior*. Universidad Politécnica de Madrid., IV. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62726>.

Higueras, Pablo. (s/f). *Yacimientos minerales*. Blog Universidad de Castilla La Mancha. <https://blog.uclm.es/pablohigueras/yacimientos-minerales/>

Ingeniería de minas. (s/f). *Software Minero que Debe Dominar el Ingeniero de Minas de Hoy*. Ingenieriademinas.info <https://ingenieriademinas.info/software-minero/#:~:text=El%20software%20minero%20incluye%20aquellos,hace%2015%20o%2020%20a%C3%B1os>

Letelier Maturana, I. B. (2012). *Impacto de la incertidumbre del modelo geológico en un proyecto minero*.

Orihuela, Rafael. (2021). *Influencia de la calidad de la roca caliza en el diseño del método de explotación en minera no metálica de Cajamarca*. [Tesis pregrado, Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27545/Orihuela%20Verano%20Rafael\\_Total.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27545/Orihuela%20Verano%20Rafael_Total.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Palacios J, (2016) *Tesis Estudios Geológicos Para Determinar Las Causas De Los Deslizamientos Junto A La Tubería De Conducción En El "Proyecto Hidroeléctrico San Bartolo", P 12.*

Roldan, Américo. (2022). *Software Minero*. Slideshare.net.  
<https://es.slideshare.net/slideshow/clase-ii-software-mineropptx-254805724/254805724>

SafetyCulture (s/f). *Los 7 mejores softwares de minería de 2024*. Safetyculture.com  
<https://safetyculture.com/es/aplicacion/software-de-mineria/>

Sepúlveda, G. F., & Gómez, C. C. H. (2011). *Modelamiento de un yacimiento hipotético de carbón utilizando el software Minesight®*. Boletín de Ciencias de la Tierra, (30), 15-22.

Sepúlveda, G., & Gallo Sierra, A. F. (2011). *Modelo de bloques para un yacimiento de sulfuros masivos utilizando el software minesight®*. Boletín de Ciencias de la Tierra, (30), 5-14.

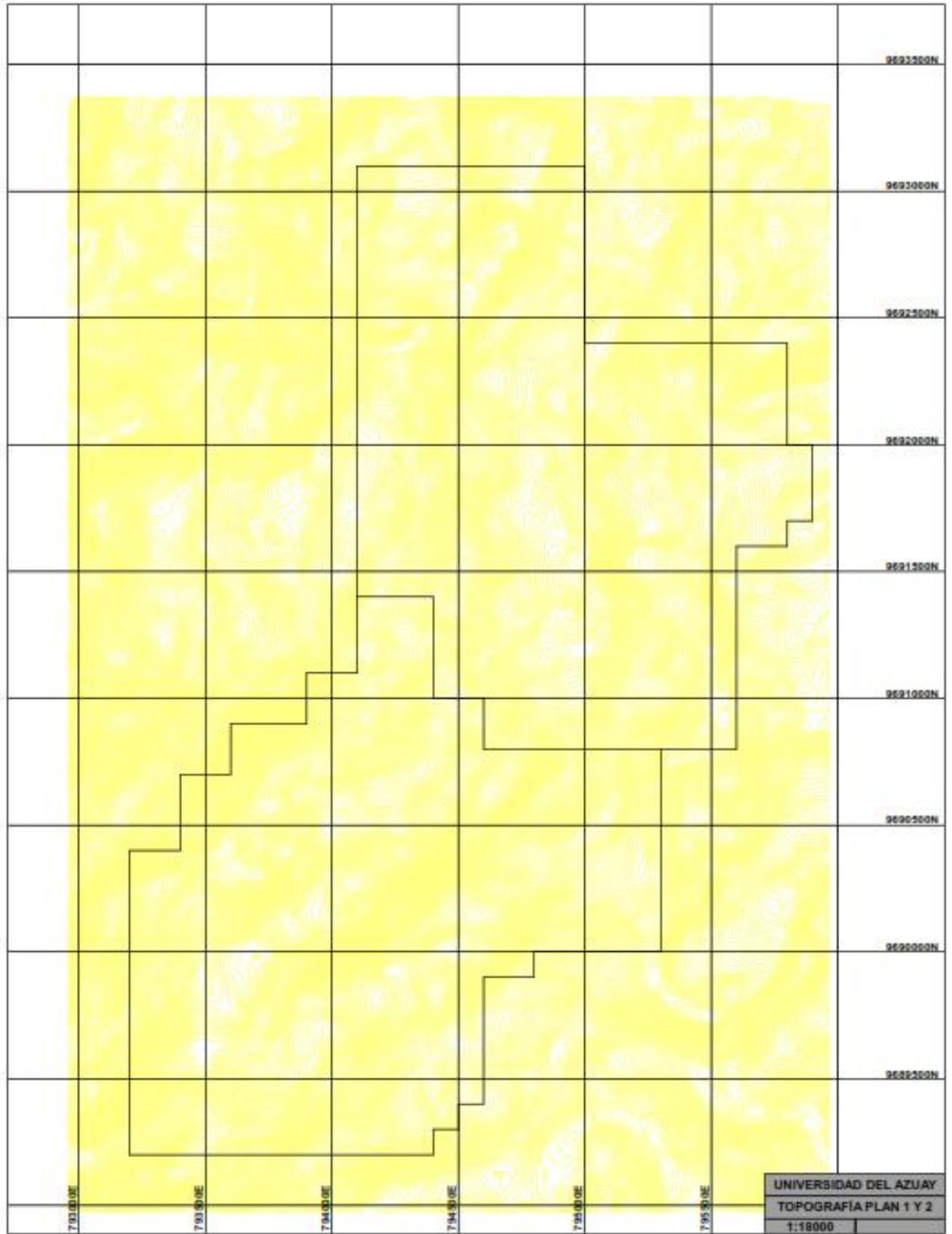
Servicios Geológico Mexicano. (7 de junio 2017) *Yacimientos Minerales*. Recuperado 7 de junio 2024, de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Yacimientos-minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html)

Tolentino Barrios, F. A. (2019). *Estimación de recursos y reservas con el uso de software minero para la explotación del proyecto minero-Don Javier*.

Zurita, J., & Andrade, E. (2007). *Informe Técnico Gretha Piedad*. Guapán.

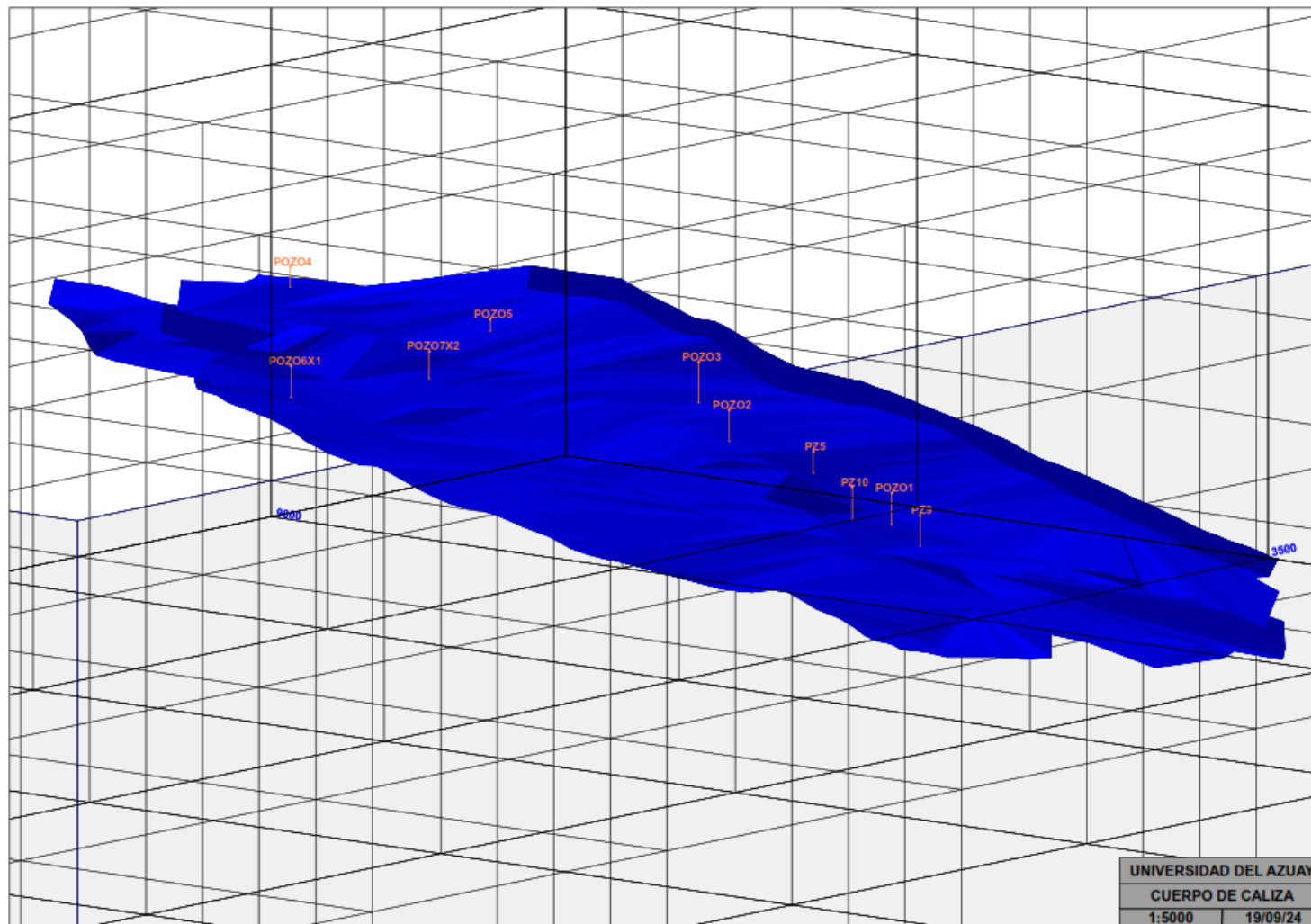
Anexos

*Anexo 1 Mapa topográfico de la zona de estudio Plan 1 y Plan 2*





*Anexo 4 Mapa geológico de Plan1 y Plan 2*



*Anexo 7 Modelo consolidado de caliza con rangos de concentración de CaCO<sub>3</sub>*

