

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA  
VETA LUCERITO – MINA NUEVA ESPERANZA NIVEL 2 – ALGAMARCA –  
CAJABAMBA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**AUTOR:**

Bach. CUEVA BUSTAMANTE EBERT LUIS

**ASESOR:**

M.Cs. Ing. ARAPA VILCA VÍCTOR AUSBERTO

**Cajamarca – Perú**

**2023**

## **Agradecimiento**

Agradecer de una manera infinita a Dios por ser si guía y protector siempre.

A mi Alma Mater: Universidad Nacional de Cajamarca por acogerme en sus aulas y brindarme la educación.

Mi sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por su apoyo en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, quien con su conocimiento y experiencia supo dirigir este trabajo de investigación.

A la empresa HNS CONSORCIO, quien es titular minero de Mina Nueva Esperanza Nivel 2, por darme las facilidades y apoyo para la elaboración de esa tesis.

A mis amigos y familiares que han formado parte de mi vida profesional a las que agradezco su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

## **Dedicatoria**

Con todo mi amor a mi querido papá Artidoro por su abnegado sacrificio como padre y amigo, por sus sabios consejos y motivación constante en mi camino profesional y porque sigue guiando mis pasos desde el cielo.

A mi madre, Bremilda por los ejemplos de perseverancia, constancia y superación que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor que cada día me demuestra.

A mi abuela Margarita, por apoyo incondicional durante mi formación.

## CONTENIDO

	Pág.
Agradecimiento .....	i
Dedicatoria .....	ii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
CAPITULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES.....	3
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	3
2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	4
2.2 BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. RECURSOS MINERALES.....	5
2.2.2. FACTORES QUE CONTROLAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS MINERALES .....	5
2.2.2.1. Factores Geológicos.....	6
2.2.2.2. Factores Ingenieriles y Económicos .....	6
2.2.2.3. Factores Ambientales .....	6
2.2.3. RESERVAS MINERALES .....	7
2.2.4. CUBICACIÓN Y CÁLCULOS DE RESERVAS .....	7
2.2.4.1. Métodos para la cubicación de recursos y reservas .....	7
2.2.4.2. Elementos de la cubicación de reservas.....	9
2.2.5. INVENTARIO DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES.....	10
2.2.5.1. Definición .....	10
2.2.5.2. Finalidad.....	10
2.2.5.3. Importancia.....	10
2.2.5.4. Criterios .....	11
2.2.5.5. El código JORC .....	11
2.2.6. ESTIMACIÓN E INVENTARIO DE RECURSOS Y RESERVAS DE LA MINA FIDAMI.....	13
2.2.6.1. Reservas minerales.....	14

2.2.6.2. Recursos minerales.....	21
2.2.6.3. Otros minerales (No reservas ni recursos) .....	27
2.2.6.4. Bloqueo de mineral.....	30
2.2.7. MODELAMIENTO GEOLÓGICO .....	32
2.2.7.1. Objetivos del modelamiento geológico .....	32
2.2.8. DEPÓSITOS EPITERMALES.....	33
2.2.8.1. Depósitos Epitermales de alta sulfuración (HS).....	33
2.2.8.2. Depósitos Epitermales de sulfuración intermedia (IS).....	34
2.2.8.3. Alteraciones Hidrotermales.....	35
A. Definición .....	35
2.2.8.4. Ensamblajes de Alteración .....	37
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	41
CAPÍTULO III .....	43
MATERIALES Y MÉTODOS .....	43
3.1 UBICACIÓN .....	43
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	43
3.1.2 UBICACIÓN POLÍTICA .....	43
3.1.3. ACCESIBILIDAD .....	43
3.2 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	44
3.3 PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACION DE DATOS .....	45
3.3.1 Metodología: .....	45
3.3.1.1. Etapa Preliminar – Revisión Bibliográfica .....	45
3.3.1.2. Etapa de Campo – Mina .....	45
3.3.1.3. Etapa de Gabinete.....	45
3.3.2 Definición de variables .....	45
3.3.2.1 Variable independiente:.....	45
3.3.2.2 Variable dependiente:.....	45
3.3.2.3 Población de estudio. ....	45
3.3.2.4 Muestra. ....	45
3.3.2.5 Unidad de análisis. ....	46
3.3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	46
3.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	46
3.5. CONTROL Y CALIDAD DE DATOS .....	46
5.6. GEOLOGÍA LOCAL.....	47
5.6.1. FORMACIÓN CHIMÚ .....	47
5.6.2. FORMACIÓN SANTA .....	48

5.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	49
4.7.1. PLIEGUES .....	49
4.7.1.1. ANTICLINAL DE ALGAMARCA.....	49
4.7.2. FALLAS.....	51
5.8. CONTROL LITOLÓGICO DE LA VETA LUCERITO .....	51
5.9. CONTROL ESTRUCTURAL DE LA VETA LUCERITO .....	52
5.10. CONTROL MINERALOGICO .....	52
5.10.1. Veta Lucerito. ....	52
5.10.1.1. ZONA DE OXIDACIÓN.....	53
5.10.1.2. ZONA SUPERGENA (Enriquecimiento Secundario).....	53
5.10.1.3. ZONA HIPÓGENA (Enriquecimiento Primario) .....	54
5.11. GEOMORFOLOGÍA .....	55
5.11.1. CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA.....	55
5.11.1.1. Planicie (0° a 8°).....	55
5.11.1.2. Lomadas (8° a 20°).....	55
5.11.1.3. Laderas (20° a 50°) .....	55
5.11.1.4. Escarpas >50° .....	56
CAPÍTULO IV.....	57
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	57
4.1. MODELAMIENTO GEOLÓGICO.....	57
4.1.1. Modelamiento Litológico .....	57
4.1.2. Modelamiento Mineralógico .....	59
4.2. CÁLCULO DE RESERVAS .....	62
4.2.1. Proceso de cálculo .....	62
4.4. DISCUSIÓN .....	71
4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	72
CAPÍTULO V.....	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1. CONCLUSIONES.....	73
5.2. RECOMENDACIONES .....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
ANEXOS .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Accesibilidad a la zona de investigación.....	43
Tabla 2. Cálculo de las áreas de los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 de la veta Lucerito. ....	63
Tabla 3. Cálculo de volúmenes veta Lucerito .....	65
Tabla 4. Códigos de las muestras con valores de potencia, ley media de Au, Ag y Cu media aritmética de la potencia .....	66
Tabla 5. Determinación de las reservas mineral medido de los bloques delimitados de la veta Lucerito. ....	68
Tabla 6. Cálculo de reservas de la veta Lucerito. ....	71
Tabla 7. Metal fino aprovechable de la veta Lucerito.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Métodos geoestadísticos (Castillo, 2018) .....	9
Figura 2. Elementos de cubicación de reservas (Oyarzun, 2011).....	10
Figura 3. Principios del código JORC (Código de JORC. “The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia JORC”) .....	13
Figura 4. Bloques probados para 1 labor (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018) .....	16
Figura 5. Bloques probados para 2 o más labores (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018) ....	18
Figura 6. Bloques probables (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018).....	19
Figura 7. Estimación de recursos y reservas (E.M.F.S.A.) .....	25
Figura 8. Modelo conceptual, mostrando la génesis de la formación de yacimientos minerales de alta sulfuración e intermedia sulfuración. (Sillitoe, 1977) .....	35
Figura 9. Modelo conceptual generalizado de los patrones de alteración y mineralización en un sistema tipo pórfido con sobre impresión de un sistema epitermal (Sillitoe, 2010).....	40
Figura 10. Acceso terrestre para llegar a la zona de investigación, desde la ciudad de Cajamarca.....	44
Figura 11. Estratos de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (Anticlinal de Algamarca).....	47
Figura 12. Roca arenisca cuarzosa de la formación Chimú.....	48
Figura 13. Vista del flanco oeste del anticlinal de Algamarca, donde podemos delimitar la Formación Santa y la Formación Chimú, de igual manera la veta Lucerito. ....	49
Figura 14. Lutitas margosas de la formación Santa, foto tomada en la Galería principal.....	49
Figura 15. Anticlinal de Algamarca, hospedante de la veta Lucerito.....	50
Figura 16. Se aprecia el anticlinal de Algamarca con la falla Santo Cristo que corta el eje de este anticlinal, y en el flanco Este la veta Lucerito. ....	51
Figura 17. Contacto litológico (izquierda: Formación Santa y derecha Formación Chimú). ....	52
Figura 18. Falla Dominga, controladora de la mineralización de la Veta Lucerito. ....	52

Figura 19. Veta Lucerito, zona de óxidos como Jarosita, Goethita y Hematita (foto tomada en Galería Principal).....	53
Figura 20. Zona de mixtos (sulfuros y óxidos). .....	54
Figura 21. Zona de Sulfuros primarios de la Veta Lucerito. ....	55
Figura 22. Modelo 3D de la formación Chimú y formación Santa, vista desde el Sur del Anticlinal de Algamarca.....	57
Figura 23. Modelo 3D de la formación Chimú y formación Santa, vista desde el del norte Anticlinal de Algamarca. ....	58
Figura 24. Modelo 3D de la formación Chimú y formación Santa y veta Lucerito, vista desde el Sur del Anticlinal de Algamarca. ....	59
Figura 25. Modelo 3D de la formación Chimú y formación Santa, vista desde el Este del Anticlinal de Algamarca. ....	60
Figura 26. Delimitación de la veta Lucerito, teniendo como roca caja las areniscas cuarzosas de la formación Chimú y como sello las rocas Lutitas carbonatadas de la formación Santa. El área de la veta Lucerito es 157705.50 m <sup>2</sup> .....	61
Figura 27. Zonificación de veta Lucerito de acuerdo a su tipo de mineralización, zona de Óxidos, zona de Mixtos y zona de Sulfuros. ....	62
Figura 28. Áreas del yacimiento. ....	63
Figura 29. Bloques de la veta Lucerito. ....	68

## RESUMEN

La veta Lucerito se ubica en el flanco SW del Anticlinal de Algamarca, en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba. Actualmente la empresa HNS CONSORCIO, es el titular minero de la Mina Nueva Esperanza Nivel 2, viene realizando trabajos de exploración y preparación en esta estructura mineralizada. Teniendo la problemática de no saber que cantidad de recursos minerales se tiene, que tiempo de yacimiento tenemos, que tipo de alteraciones tiene la roca caja y que vectores geoestructurales fueron los que mineralizaron la veta, se realizó este estudio. Primero que se realizó fue la búsqueda de información relacionado al tema, para luego tomar datos en mina como azimut, buzamiento de la veta Lucerito, contacto litológico y la falla Dominga, así también potencia de veta, muestreos. De esta manera realizar el modelamiento geológico y el cálculo de reservas minerales de la Veta Lucerito. Se concluyó que la veta Lucerito tiene reservas probadas: 72104.33 toneladas, reservas probables: 27274.52 toneladas y recursos inferidos: 315071.13 toneladas, además se calculó los recursos minerales del componente aprovechable (metal fino), en la zona de óxidos se obtendrá 2760366.71 gramos de oro y 4521167.64 onzas de plata. La zona de mixtos se tendrá 93645.5 gramos de oro, 153380.72 onzas de plata y 1257737.21 libras de cobre. En la zona de sulfuros se obtendrá 3578251.77 gramos de oro, 5860770.63 onzas de plata y 48033612.2 libras de cobre.

**Palabras claves:** Reservas minerales, recursos minerales, vectores geoestructurales, contacto litológico, modelamiento geológico, reservas probadas, reservas probables, recursos inferidos.

## **ABSTRACT**

The Lucerito vein is located on the SW edge of the Algamarca Anticline, in the Cachachi district, Cajabamba province. Currently, the company HNS CONSORCIO, is the mining owner of the Nueva Esperanza Level 2 Mine, and has been carrying out exploration and preparation work on this mineralized structure. Having the problem of not knowing how much mineral resources there are, how long the deposit is, what type of alterations the host rock has and what geostructural vectors were the ones that mineralized the vein, this study was carried out. The first thing that was done was the search for information related to the subject, to then take data in the mine such as azimuth, dip of the Lucerito vein, lithological contact and the Dominga fault, as well as vein power, sampling. In this way, carry out the geological modeling and the calculation of mineral reserves of the Lucerito Vein. It was concluded that the Lucerito vein has proven reserves: 72104.33 tons, probable reserves: 27274.52 tons and inferred resources: 315071.13 tons, in addition the mineral resources of the exploitable component (fine metal) were calculated, in the oxide zone 2760366.71 grams of gold will be obtained and 4521167.64 ounces of silver. The mixed zone will have 93645.5 grams of gold, 153380.72 ounces of silver and 1257737.21 pounds of copper. In the sulphide zone you will obtain 3578251.77 grams of gold, 5860770.63 ounces of silver and 48033612.2 pounds of copper.

**Keywords:** Mineral reserves, mineral resources, geostructural vectors, lithological contact, geological modeling, proven reserves, probable reserves, inferred resources.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El planteamiento del problema de la investigación es el siguiente: En el centro poblado de Algamarca, provincia de Cajabamba en Cajamarca, existe pequeñas empresas que realizan minería subterránea, explotando vetas hidrotermales en zonas de mineralización de óxidos y sulfuros, realizando el modelamiento geológico calcularemos las reservas de la veta Lucerito en la Mina Nueva Esperanza.

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de interés económico intrínseco dentro y fuera de la corteza terrestre en forma y cantidad tal como para demostrar que hay perspectiva razonable para una eventual extracción económica. (Alfaro, 2007).

Para hacer el modelamiento geológico y el cálculo de reservas de la veta Lucerito, se realizará el cartografiado geológico, muestreo sistemático, toma de datos en campo y aplicar la geoestadística y el procesamiento de la data. Todo esto con el fin de tener un mejor planeamiento para la explotación de mina. Para el procesamiento de la data utilizaremos los softwares AutoCAD 2018 y Leapfrog Geo 4.0.

La pregunta principal para la investigación es:

¿Cuál es el modelamiento geológico y reservas de la veta Lucerito de la Mina Nueva Esperanza Nivel 2?

Como hipótesis general tenemos: El modelamiento geológico va a contribuir en el cálculo de reservas de la veta Lucerito, que influirán en el incremento de la producción y beneficios económicos en la mina Nueva Esperanza NV 2 – Algamarca – Cajabamba.

Los objetivos que se planea realizar son: Realizar el modelamiento geológico y cálculo de reservas minerales de la veta Lucerito – mina Nueva Esperanza NV 2 – Algamarca – Cajabamba. Establecer el tipo de yacimiento mineral en base a las características geológicas. Determinar cuáles son los ensambles de alteración y zonamiento de la

mineralización. Definir los vectores mineralizantes geoestructurales en correlación con la alteración hidrotermal.

La descripción de los contenidos de los capítulos son los siguientes:

Capítulo I: Introducción, se presenta el contexto del problema a resolver conjuntamente con sus objetivos e hipótesis; además se sustenta la justificación e importancia de la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico, en este capítulo describe los antecedentes locales, nacionales e internacionales, además asienta las bases teóricas para la investigación y por último define los términos básicos. En el capítulo III, nos menciona de los materiales y métodos donde se detalla los pasos seguidos para desarrollar la investigación, describe la ubicación, unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, mineralización, alteraciones, así como todos los materiales utilizados en la investigación. En el Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados, tendremos el modelo geológico de la veta Lucerito, así como también el cálculo de reservas y en el Capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones, así mismo se presenta referencias bibliográficas y anexos de la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES.**

SÁNCHEZ (2012). Determinación de los Vectores de Mineralización y Zonamiento de Alteraciones Hidrotermales del Proyecto Shahuindo – Perú. En este estudio determina los principales ensambles de alteración hidrotermal, su zonamiento y el fuerte control estructural por los vectores mineralizantes geoestructurales que constituyen los ejes de anticlinales, principalmente el anticlinal san José.

MAZA (2017). Estimación de Reservas Minerales de Oro y Plata en la Veta Karina - Los pircos, Santa cruz – Cajamarca. Quien estima que la veta Karina tiene 2720 Ton de oro y plata.

##### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.**

CASTILLO (2018). Estimación de Recursos y Reservas del Yacimiento Aurífero Fidami, Sancos – Lucanas - Ayacucho”. Estima recurso mineral medido entre mena, un total de 43,858 TM con una ley promedio de 17.90.

MORALES (2014). Cocientes Metálicos y Calculo de Reservas Minerales de la Veta Cinthia -Proyecto Minero Caracol S.A.C.-Barranca-Lima. Observa la existencia hasta de tres núcleos principales: uno ubicado hacia el SE entre los niveles NV-583 y Nv-695 con un máximo valor de 0.239, el segundo núcleo ubicado en la parte central de la sección entre los niveles 511 y 546 con un valor de 0.349, va disminuyendo hasta 0.079, el tercero ubicado al NW de la sección con un máximo valor de 0.251, presentan una inclinación de 45° hacia el NW.

VALENZUELA & BUENDÍA (2020). Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma 2007 en

Huancayo. En esta investigación concluye que la evaluación geológica del prospecto minero Chaupiloma 2007 afloran rocas ígneas intrusivas como el granito y la diorita, que pertenecen a la familia de los granitos de Sucllamachay, que data del Cretáceo Superior a Terciario Inferior. Este intrusivo sobreyace en rocas metamórficas como pizarras, esquistos, cuarcitas con venillas de cuarzo, que corresponden a la formación geológica del Grupo Mitu y el cálculo de reservas probadas es de 50102.94 TM y reservas probables 56410.20 TM.

### **2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.**

VEGA (2013). Vega (2013), Cálculo de reservas de la Veta Paraíso –Mina Paraíso- Distrito Ponce Enríquez, Guayaquil- Ecuador, tesis desarrollada con el objetivo de calcular las reservas de la veta Paraíso e incrementar el conocimiento geológico y su potencial minero. Con la información existente de muestreo en el departamento geológico y el tratamiento geométrico y geoestadístico en el transcurso de la elaboración de la tesis la veta Paraíso tiene 23817.15 TM de recurso mineral con una ley media de 10.7 grAu/tn.

ALBUJA (2017). En su tesis Caracterización geológica y cálculo de reservas de la veta Jane, en la Mina “Golden Comunitaria” de la Parroquia Huertas, Cantón Zaruma – Ecuador, dentro de la caracterización geológica hace un análisis mineralógico determinando que la paragénesis de la Veta Jane, está dada por los siguientes minerales: cuarzo, pirita, calcopirita, magnetita, blenda o esfalerita, oro; en menor proporción existen minerales como: argentita, hematite, especularita, calcita, adularia, clorita, biotita y epidota y así también concluye en la determinar los recursos medidos del bloque de la sección sur son de 25398 toneladas métricas, los recursos minerales aprovechables son: 145784,52 g de Au y de 255757 g de Ag.

## **2.2 BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. RECURSOS MINERALES**

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de interés económico intrínseco dentro y fuera de la corteza terrestre en forma y cantidad tal como para demostrar que hay perspectiva razonable para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad de un recurso mineral se conocen, estiman o interpretan desde una evidencia y conocimientos geológicos específicos. Los Recursos Minerales se subdividen, según confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos. (Alfaro, 2007).

La estimación de recursos mineros se puede dividir en dos partes:

**a. Estimación global:** Interesa estimar la ley media y el tonelaje de todo el yacimiento.

**b. Estimación Local:** Interesa estimar la ley media de unidades o bloques dentro de una zona, con el fin de localizar las zonas ricas y pobres dentro de ésta.

La estimación global y local están relacionadas porque se pueden obtener valores globales al componer los valores locales de los bloques.

Los Recursos Minerales son aquellos volúmenes de mineral con su respectiva ley o contenido metálico que han sido estimados por medio de procesos de muestreo superficial o subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones que pueden representar geoestadísticamente a un cuerpo mineralizado. (Ruiz, 2010)

### **2.2.2. FACTORES QUE CONTROLAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS MINERALES**

Existe la errónea idea que, para poner una mina en funcionamiento, se necesita un depósito de mineral.

Sin embargo, la situación es compleja, y en esta interviene factores geológicos, ingenieriles, ambientales, económicos y políticos. (Oyarzun, 2011)

### 2.2.2.1. Factores Geológicos

El depósito del mineral es considerado como la acumulación del mismo; solo aquellos que pueden ser extraídos con una determinada ganancia económica, pueden ser adscritos a la categoría de depósito.

A efectos de estos apuntes, se denominará yacimiento mineral a la suma de mineral de depósito más la mena del depósito. (Oyarzun, 2011)

Los yacimientos minerales pueden ser adscritos a cuatro categorías:

- **Recursos esenciales:** Se encuentran los suelos y aguas.
- **Recursos energéticos:** Se encuentra el petróleo, gas natural, carbón, pizarras bituminosas, uranio y energía geotérmica.
- **Recursos metalíferos:** Normalmente metales de transición (hierro, cobre, molibdeno, plomo y zinc).
- **Recursos de minerales industriales:** Abarcan más de 30 productos, incluyendo las sales, asbestos, arcillas, arenas.

### 2.2.2.2. Factores Ingenieriles y Económicos

Los factores ingenieriles y económicos inciden de dos formas, a través de las limitantes técnicas y las económicas. (Oyarzun, 2011)

- **Limitantes técnicas:** Son aquellas que aparecen cuando no es importante el interés económico. (ej., extraer metales a unos 10Km de profundidad).
- **Limitantes económicas:** Se pretende construir el equipo necesario para desarrollar actividades mineras en Marte, pero los costes serán tan altos que excederán los beneficios.

### 2.2.2.3. Factores Ambientales

Las preocupaciones ambientales se centran en dos problemas principales:

- Extracción y procesamiento.
- Residuos.

En general, estos dos factores están interrelacionados. Actualmente, existen medidas encargadas de atender estos temas; Por ejemplo, los rellenos sanitarios se pueden restaurar utilizando diversas técnicas, o los problemas de drenaje ácido se pueden resolver mediante la neutralización química, la remediación y la regeneración del suelo y la vegetación. (Oyarzun, 2011)

### **2.2.3. RESERVAS MINERALES**

Es una parte económicamente explotable de un recurso mineral que se puede medir o indicar. Este es el resultado de aplicar "modificadores" apropiados, que consisten principalmente en materiales de dilución y pérdidas permitidas durante el desarrollo, todos los cuales son relevantes para los escenarios de producción, la tecnología y el desarrollo sostenible. Otras definiciones: Las reservas son todos los materiales minerales que se consideran recuperables en las condiciones existentes, incluido el costo, el precio, la tecnología y las condiciones locales. (Alfaro, 2007)

### **2.2.4. CUBICACIÓN Y CÁLCULOS DE RESERVAS**

Una vez extraído y analizado las muestras tomadas con sus respectivas leyes medias correspondientes, se procede a la dedicada fase de estimación de las reservas del yacimiento (cubicación). Esta consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral existente en el yacimiento.

Las reservas que se estiman en esta fase inicial son las geológicas o in situ, posteriormente se tienen en cuenta las condiciones como son los factores de diseño de explotación, método de explotación, recuperación, dilución, elementos traza, etc. (Alfaro, 2007)

#### **2.2.4.1. Métodos para la cubicación de recursos y reservas**

Existen dos métodos de estimación de recursos y reservas, su uso depende de las características del yacimiento, los cuales son:

##### **A. Métodos clásicos o geométricos.**

Se utilizan tradicionalmente y se basan esencialmente en el principio de interpretar variables entre dos puntos de muestreo consecutivos, definiendo la construcción de bloques geométricos que especifican el rango medio para la estimación de recursos. La característica principal de estos métodos es su simplicidad, se basan en criterios geométricos más comunes que los métodos modernos y son muy variables.

Los principios para interpretar este método son las siguientes:

- El principio de los cambios graduales presupone que los valores de una variable (ancho, ley, etc.) varían gradual y continuamente a lo largo de la línea recta que une dos puntos de muestreo contiguos.

- El principio de muestras vecinas más cercanas admite que el valor de la variable de interés en un punto no muestreado es igual al valor de la variable en el punto más próximo.
- El último de los principios permite la extrapolación de los valores conocidos en los puntos de muestreo a puntos o zonas alejadas sobre la base del conocimiento geológico o por analogía con yacimientos similares.

Todos estos de interpretación se utilizan para subdividir el yacimiento en bloques o sectores que se evalúan individualmente y luego se combinan para determinar el recurso total del yacimiento.

Los tipos de métodos clásicos o geométricos que se utilizan para la estimación de recursos y reservas son:

- Media aritmética.
- Bloque geológico.
- Bloques de explotación.
- Perfiles.
- Polígonos.
- Triángulos.

### **B. Métodos modernos o geoestadísticos.**

Los métodos modernos o geoestadísticos son más precisos y brindan información más completa que los métodos clásicos. Sin embargo, se requiere formación académica especializada y software adecuado para estimar en bloques más pequeños, procedimientos matemáticos basados en interpolación local y utilizando datos de sondeos y trincheras experimentales.

Las características del método moderno son las siguientes:

- Se han desarrollado ampliamente en los últimos años.
- Están dirigidos a informatizar los métodos clásicos.
- Con el uso de la geoestadística, los métodos son más potentes.
- Realizar estimaciones en bloques más pequeños.
- Procedimientos matemáticos de interpolación local.

La secuencia del uso de este método se debe adecuarse a los siguientes pasos:

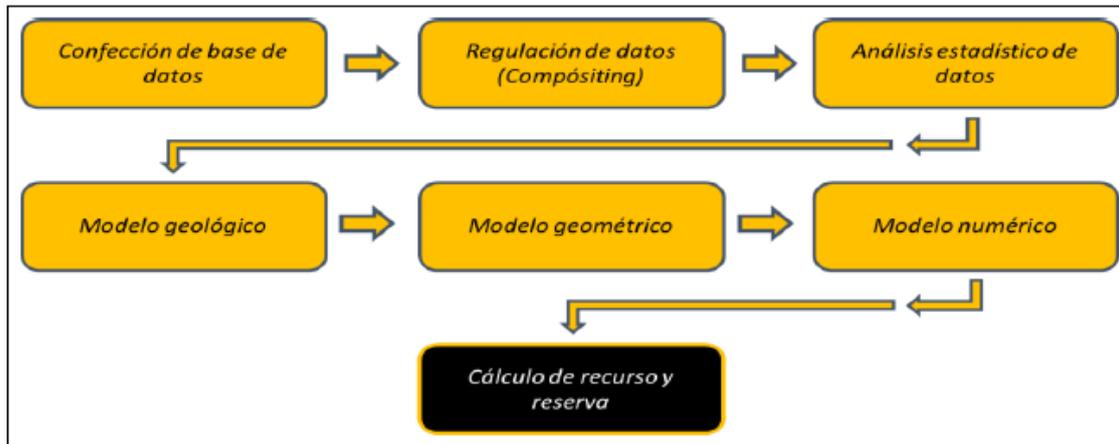


Figura 1. Métodos geoestadísticos (Castillo, 2018)

#### 2.2.4.2. Elementos de la cubicación de reservas

Es el conjunto de consideraciones que permiten aproximar la cantidad de mineral susceptible de explotación económica. (Evans, 1993).

##### A. Contacto geológico.

Define los límites litológicos y/o estructurales de una determinada zona de mineralización.

##### B. Contacto mineralógico.

Se define por la extensión de la masa mineral, entendida como recurso “geológico” que en algunos casos no coincide con contactos geológicos o económicos al incluir puntos donde las leyes pueden ser subeconómicas.

##### C. Contacto económico.

Define los límites del material a partir del cual se pueden obtener ganancias (cut off grade).

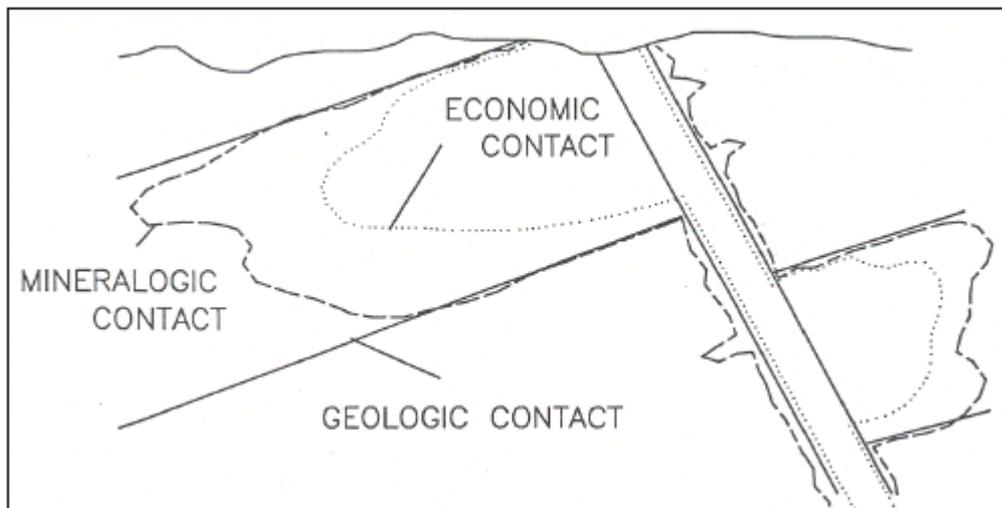


Figura 2. Elementos de cubicación de reservas (Oyarzun, 2011).

## 2.2.5. INVENTARIO DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES

### 2.2.5.1. Definición

El inventario de minerales es la estimación cuantitativa de los tonelajes y leyes de un yacimiento de acuerdo a su valor, certeza y accesibilidad que incluye a los minerales de interés económico, como las reservas de minerales y recursos minerales, así como a otros que no lo tienen en el momento de la estimación. (Olórtegui, 2010)

### 2.2.5.2. Finalidad

Tiene por objeto determinar las reservas, recursos y demás minerales de un yacimiento y su distribución con el fin de planificar la explotación de los recursos minerales o aumentar la escala de la producción en un tiempo determinado. La estimación de los recursos minerales es importante porque gracias a un estudio de factibilidad, estos pueden convertirse en reservas y así ser explotados. A medida que aumentan los precios y el uso de nuevas tecnologías que pueden convertirlos en reservas, es necesario estimar otros minerales que se desarrollarán o ampliarán ya que no tienen valor económico.

### 2.2.5.3. Importancia

Es importante que las reservas minerales y los recursos minerales, además de asegurar una vida útil, brinden mayores recursos financieros para poder ampliar u optimizar las operaciones invirtiendo en la compra de equipos de mina o planta.

#### **2.2.5.4. Criterios**

Para desarrollar y evaluar los activos mineros es necesario una plataforma común de conceptos claros y nomenclatura estándar de acuerdo con los criterios y prácticas que respalden los procesos de exploración y explotación de yacimientos minerales.

Los términos, recursos y reservas minerales son a menudo confundidos, pero desde un punto de vista geológico se entiende por recursos a un material que se sabe que existe en la corteza terrestre o que de inferencia geológica bien documentada se considera probable que exista.

Las reservas se definen como un material minero que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales.

Tradicionalmente se han clasificado las reservas siguiendo unas veces criterios geométricos y otras, criterios que tienen en cuenta las relaciones espaciales; aspectos geológicos tales como hábito, tipo y mineralogía del yacimiento; fuente de los datos, grado de conocimiento geológico y finalmente el tipo de razonamiento inductivo o deductivo que ha sido utilizado en el análisis de los datos.

Para evitar la propagación de reportes geológicos sin sustento técnico, la comunidad especializada ha creado reglas de juego precisas para hacer la estimación de recurso y reservas mineras de manera aceptable para el mercado internacional principalmente bursátil con la aplicación denominada, El Código, el cual viene a ser el código JORC como también el uso de servicios de profesionales calificados para la elaboración de dichos reportes. (Olórtegui, 2010)

#### **2.2.5.5. El código JORC**

El código australiano JORC establece los estándares mínimos, recomendaciones y normas para la información pública de resultados de exploraciones en Australia. Ha sido redactado por el Comité Conjunto de Reservas de Mena, constituido en 1971 y ha publicado varios informes haciendo recomendaciones sobre la clasificación e información pública de Reservas de Mena antes de la primera publicación del Código JORC en 1989. (Olórtegui, 2010)

El código ha sido adoptado por la bolsa de valores de Lima en méritos a la delegación de facultades conferidas por la Comisión Nacional Supervisora de Empresas y Valores (CONASEV) e incorporado en su lista de normas.

## **A. Principios del código.**

Los principios del código JORC son los siguientes:

### **1. Transparencia.**

Exige que se le proporcione al lector un informe de dominio público con suficiente información, cuya presentación sea clara y no ambigua, para que el interesado pueda comprender el informe y no sea inducido a error.

### **2. Relevancia**

Exige que un informe de dominio público contenga toda la información relevante, tal que los inversionistas y sus asesores profesionales pudieran requerir, y que esperarían encontrar en el informe un juicio razonado y balanceado acerca de la mineralización.

### **3. Competencia**

Exige que un informe de dominio público se base en un trabajo que es responsabilidad de una persona debidamente calificada y experimentada sujeta a un código de ética profesional.

El código debe aplicarse a todos los minerales de uso comercial, incluyendo piedras preciosas y carbón, para lo cual la Bolsa de Valores de Lima requiere la presentación de informes de dominio público con los resultados de exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales.

## **B. Resultados de exploración.**

Contiene información sobre tonelaje/ley, información relevante como intervalos de muestreo y métodos, ubicación de muestras, datos de ensayos, análisis de laboratorio, etc.

## **C. Lista de verificación.**

Se considera la situación de la pertenencia minera y propiedad del terreno, exploración realizada por otras partes, geológicas, relación entre los anchos y longitudes de minerales, informe equilibrado, datos sustentados de exploración.

## **D. Reporte de reservas minerales.**

### **1. Nivel de confianza.**

Incluyen los materiales de dilución y tolerancias que puedan producirse por pérdidas en la explotación del material.

### 1.1. Reserva mineral probable.

Parte económica explotable de un recurso mineral indicado y en algunas circunstancias recurso mineral medido.

### 1.2. Reserva mineral probado.

Parte económica explotable de un recurso mineral medido. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen consideración y modificación por factores de minería, metalurgia, económicos, mercados, ambientales, sociales y gubernamentales.

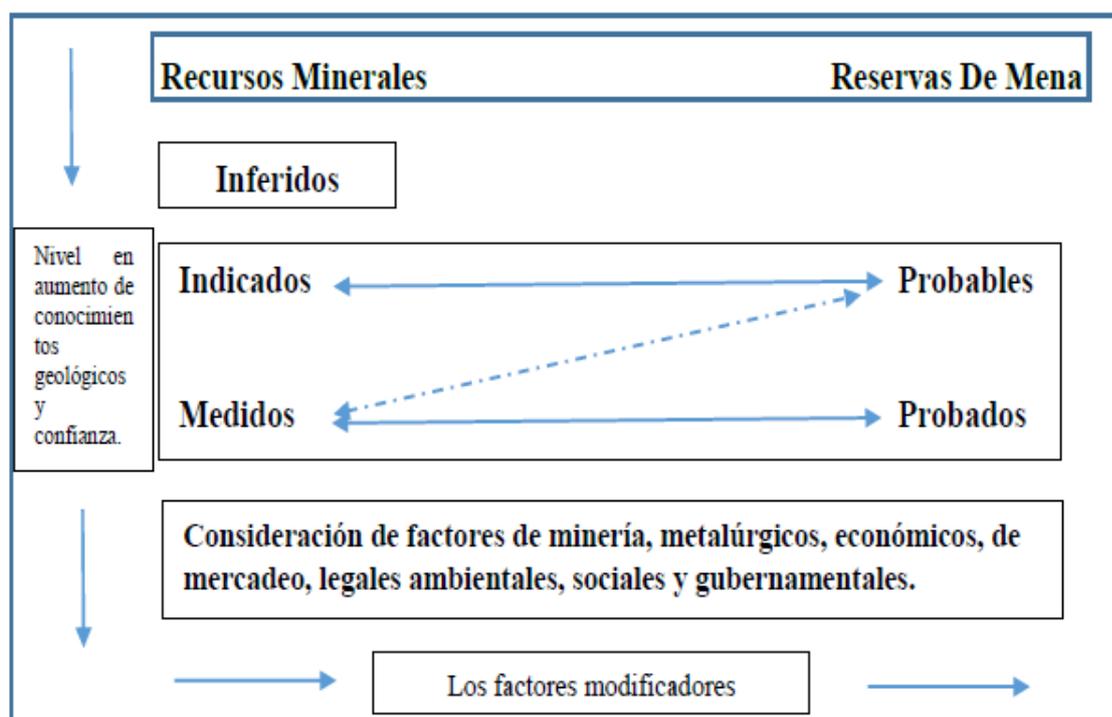


Figura 3. Principios del código JORC (Código de JORC. “The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia JORC”)

### 2.2.6. ESTIMACIÓN E INVENTARIO DE RECURSOS Y RESERVAS DE LA MINA FIDAMI

La estimación e inventario de recursos del yacimiento aurífero Mina FIDAMI, Sancos –Lucanas-Ayacucho, está compuesto de:

- Reservas minerales.
- Recursos minerales.
- Otros minerales.

En la operación o producción el inventario comúnmente contiene los tres componentes arriba mencionados.

En proyectos de exploración avanzados y en los de desarrollo, en los que no se tiene estudio de factibilidad técnico-económico, pero con pruebas metalúrgicas, contiene recursos minerales de un proyecto pueden convertirse en reservas minerales parcial o totalmente. (Castillo, 2018).

#### **2.2.6.1. Reservas minerales**

Es la parte de un yacimiento mineral, cuya explotación es posible o razonablemente justificable desde el punto de vista económico y legal al momento de su determinación. Para su estimación se considera haberse llevado a cabo evaluaciones apropiadas que podrían incluir estudios de factibilidad en los cuales se tiene en cuenta factores mineros, metalúrgicos, económicos, ambientales, de mercado, sociales y gubernamentales. En la estimación se incluye solamente mineral recuperable y diluido, expresado en tonelaje y leyes.

El término “económicamente minable” implica que la extracción de las Reservas Minerales ha sido demostrada ser viable bajo razonables asunciones de inversión. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018.).

Por lo general se expresa en términos de Mineral cuando se trata de mineral metálico. Normalmente, para la estimación de Reservas Minerales es necesario determinar una Ley Mínima Explotable (Cut Off), cuyo cálculo está directamente relacionado al Costo Total, Resultados Metalúrgicos, Condiciones de Comercialización y Precio de los Metales. Una vez determinado el Cut-Off, el yacimiento ya explorado y desarrollado se separa en Bloques de Mineral de acuerdo a su Valor, Certeza y accesibilidad, con lo que se definirán que bloques de una o varias estructuras mineralizadas constituyen las Reservas Minerales.

Acorde con lo mencionado, en FIDAMI se considera como Reservas Minerales a aquellos que tienen certeza de Probado y Probable, tengan Valor de Mena y Marginal, y sean Accesibles y Eventualmente Accesibles (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018.)

##### **a) Clases de reservas minerales según certeza.**

De acuerdo a la certeza las reservas se clasifican como sigue:

## **1. Reserva Mineral Probado.**

Es aquella Reserva cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un Alto Nivel de Confianza. Su estimación se basa en una detallada y confiable información de exploración, muestreo y exámenes obtenida mediante técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, tajos, labores subterráneas y sondajes. Los tonelajes y leyes son estimados en base a los resultados de un detallado muestreo en los cuales las muestras y mediciones están estrecha y sistemáticamente espaciadas, y en donde los caracteres geológicos están tan bien definidos de modo que el tamaño, forma y contenido de las Reservas están bien determinados. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

En estas Reservas no existe virtualmente riesgo de discontinuidad de la mineralización.

La categoría de Reserva Mineral Probado implica el más alto grado de confianza y certeza en la estimación, con las expectativas consiguientes que se puedan formar los lectores del informe.

En caso de estructuras tabulares y cuerpos mineralizados elongados, cuando el yacimiento ha sido desarrollado mediante labores subterráneas, para la Estimación de Reservas, se separa en Bloques de Mineral. Puede haber bloques de uno (incluye afloramiento) o más caras muestreadas, el cual depende de la cantidad de labores con que se dimensiona cada bloque.

Cuando el mineral ha sido desarrollado con una sola labor (incluye afloramiento), la altura del bloque variará de acuerdo a la longitud mineralizada de esa labor o afloramiento. Así para longitudes entre 10m y 25m, la altura será de 5m (Figura 4); para longitudes entre 25m y 100m, la altura será el 20% de esa longitud (Figura 4); y para longitudes mayores a 100m, la altura será de 20m. (Figura 5). Cuando hay 2 o más bloques contiguos con valores de Mena o de Marginal, pero de diferente ley (uno con más leyes que el otro), para definir la altura, se tendrá en cuenta la suma de las longitudes correspondientes.

Estas medidas son aplicables si no se tienen sondajes complementarios ni interpretación geológica (estructural, mineralógica y curva de isovalores), ni definición de rangos verticales de la mineralización, ni estudios geoestadísticos, etc. Por ejemplo, si el fracturamiento pre-mineral a lo largo del cual se emplazó la

mineralización, tuvo movimiento horizontal o vertical o ambos, el rango vertical de mineralización estaría relacionado a este aspecto, por lo que las alturas de los bloques de una sola labor estarían supeditado a la interpretación respectiva. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

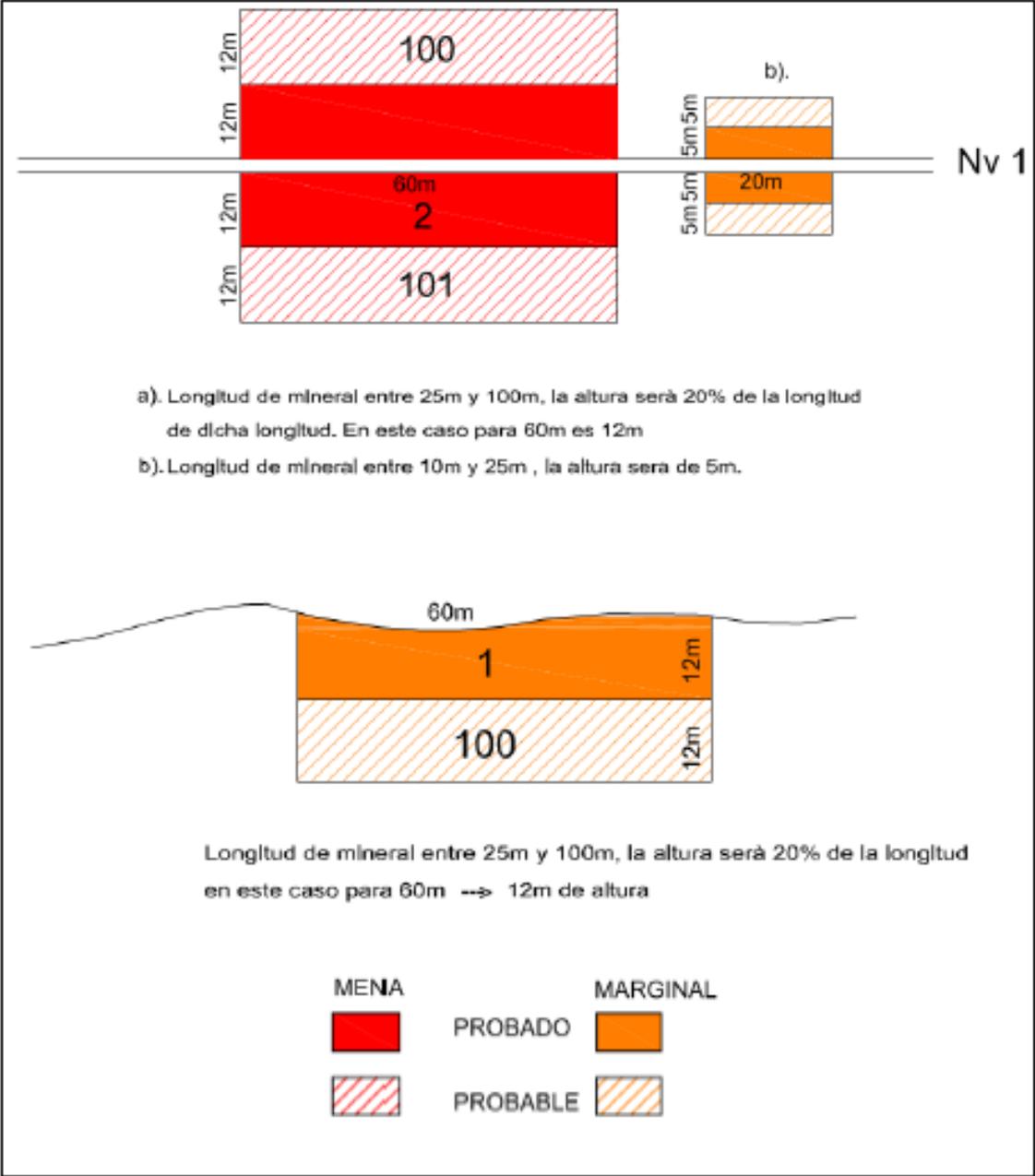


Figura 4. Bloques probados para 1 labor (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Para dos o más labores, que limitan los bloques, se muestran como ejemplo en la (Figura 5). Cuando hay sondajes complementarios la altura de Bloques tanto Probados como Probables serán mayores que si no los hubiera. El Coeficiente de Certeza para el Mineral Probado es de 100%.

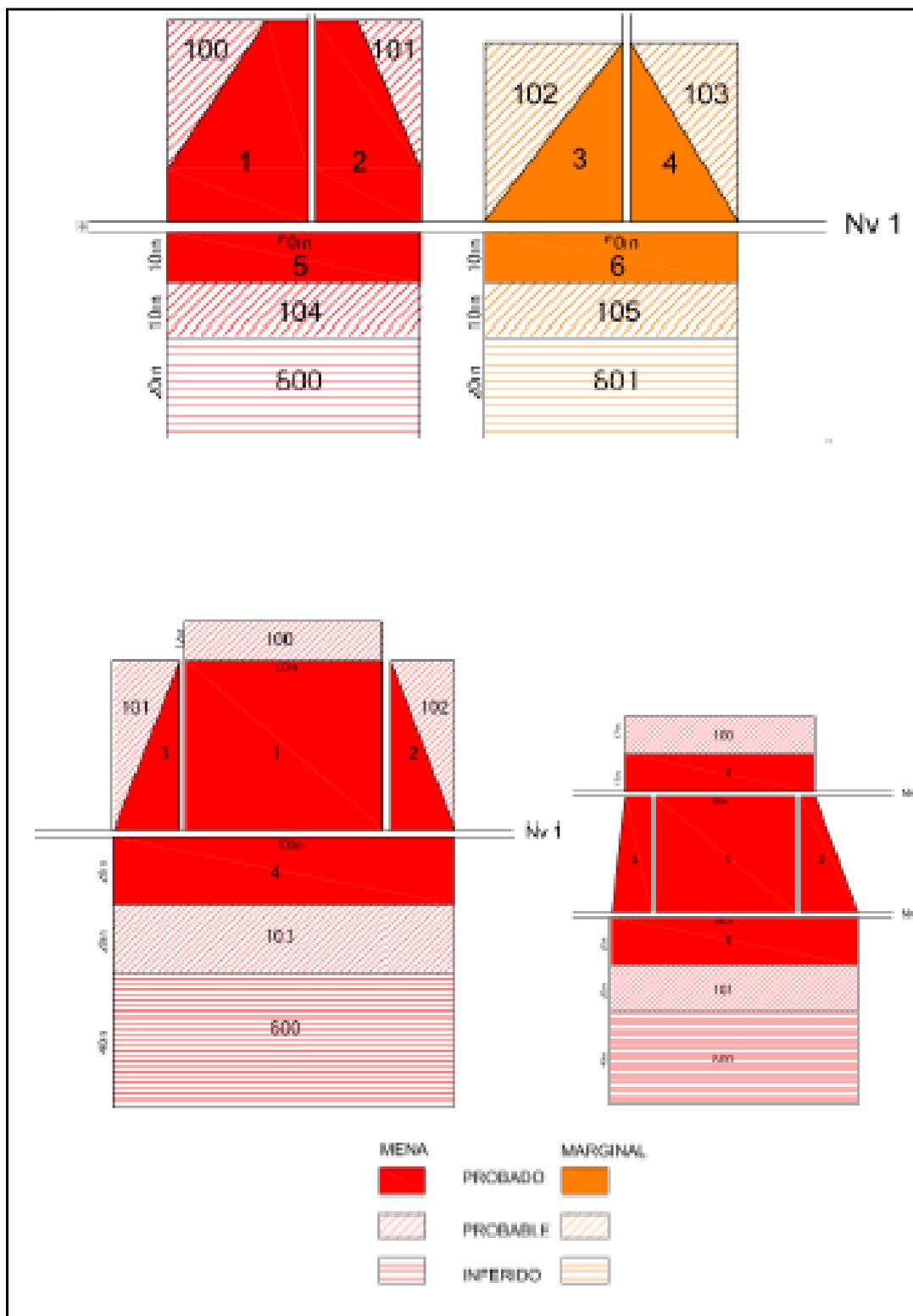


Figura 5. Bloques probados para 2 o más labores (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

## 2. Reserva Mineral Probable.

Es aquella Reserva cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un razonable nivel de confianza. Su estimación se basa en informaciones de exploración, muestreos y exámenes obtenidos mediante técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, rajos, labores subterráneas y sondajes. Los tonelajes y leyes son estimados en base a los resultados de las muestras que están más espaciadas que en el caso de Reservas Probadas o inapropiadamente espaciadas como para confirmar la continuidad geológica y/o de ley, pero este espaciamiento es suficiente como para asumir dicha continuidad. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

El grado de confianza y de certeza es lo suficientemente alto para asumir la continuidad, pero el riesgo de discontinuidad es mayor que el del Mineral Probado.

El Coeficiente de Certeza aplicable al tonelaje de la Reserva Mineral Probable es más bajo que el de los Minerales Probados pero lo suficientemente alto para asumir su continuidad. Para los efectos de nuestras estimaciones se consideran entre 90% y 100%, siempre y cuando la altura del bloque sea igual que el del Probado correspondiente; esto depende de la regularidad de la mineralización. Los Bloques Probables se pintan achurados con líneas inclinadas a la izquierda, del color correspondiente a su valor. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

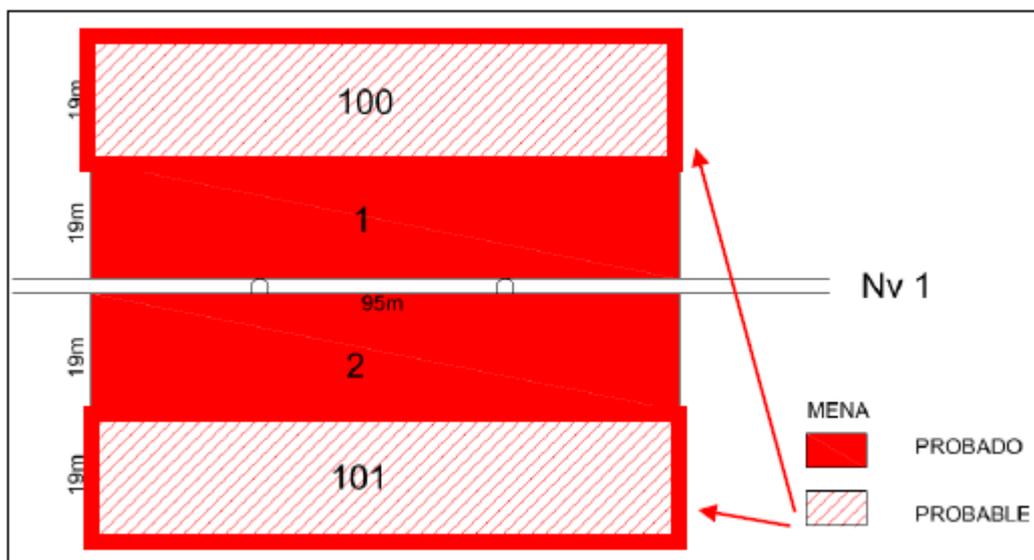


Figura 6. Bloques probables (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

## **b) Clases de reservas minerales según su valor.**

De acuerdo al Valor las Reservas Minerales se clasifican como sigue:

### **1. Reserva mineral de mena.**

Es una Reserva Mineral que siempre genera utilidades, cuyo valor excede todos los siguientes gastos:

- i. Costo de Producción (Incluye depreciación y amortización).
- ii. Gastos de Venta.
- iii. Gastos Administrativos.
- iv. Gastos Financieros.
- v. Regalías (si es que la tienen, es el 10% u otro porcentaje, de la suma de i, ii, iii y iv).

Se tiene que definir el Cut-Off para determinar los Bloques de Mena. En los planos, los bloques que conforman el Mineral de Mena se colorean de rojo. (Castillo, 2018).

### **2. Reserva Mineral Marginal.**

Es el mineral que forma parte de la Reserva, que en el momento de su determinación bordea ser económicamente explotable. Este mineral, por sí solo no genera utilidades, pero si ayuda a generarla, al explotarse junto al Mineral de Mena, pues además los gastos de desarrollo, de infraestructura, de servicios, etc., ya son cubiertos por el Mineral de Mena. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Este mineral puede fácilmente convertirse en mineral de mena con mejoras en los parámetros económicos. Cubre el 90% de los Costos de Producción, el 100% de los Gastos de Venta y el 20% de los Gastos Administrativos y Financieros, y también cubre las Regalías correspondientes el cual es el 10% de la suma de i+ii+iii+iv.

El Mineral Marginal se presenta en cuadros aparte, de modo que cuando se planea explotarlo se sepa su tonelaje y ley, con el cual se puede hacer una mezcla adecuada con el Mineral de Mena, debiendo ser el promedio de ley mayor que el Cut-Off de Mena.

Se tiene que estimar el Cut-Off correspondiente. En los planos se le colorea de naranja. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

## **c) Clases de reservas minerales según su accesibilidad.**

De acuerdo a la Accesibilidad las Reservas se clasifican como sigue:

### **1. Reserva Mineral Accesible.**

Es aquella Reserva constituida por Bloques Minerales que han sido reconocidos y/o desarrollados por labores subterráneas (galerías, chimeneas, sub-niveles) y/o complementados por sondajes, que generalmente están listos para entrar a la etapa de preparación y su consiguiente explotación económicamente. (Castillo, 2018)

### **2. Reserva Mineral Eventualmente Accesible.**

Es aquella Reserva que no se encuentra expedita para su inmediata explotación, y está constituida por Bloques Minerales que comúnmente se hallan en la parte inferior del nivel más bajo, alejados de labores de desarrollo, o con acceso truncado por derrumbes, bóvedas vacías, etc., por lo que, requieren la apertura de nuevas labores o de rehabilitación de las existentes antes de iniciar su preparación. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Estos minerales constituyen Reservas pues las inversiones adicionales en desarrollo y/o rehabilitación (costos de desarrollo) para hacerlos accesibles, están cubiertos por el saldo entre el valor de dichos bloques y los costos totales. (Castillo, 2018).

#### **2.2.6.2. Recursos minerales**

Un Recurso Mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco dentro o fuera de la corteza terrestre en tal forma que por la calidad y cantidad haya “perspectivas razonables de una eventual explotación económica”. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y de continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas en base a evidencias y conocimientos geológicos específicos. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Los Recursos Minerales se subdividen en orden de confianza geológica decreciente en categorías de Medido, Indicado e Inferido. Estas categorías sólo indican la certeza. No deben incluirse en un Recurso Mineral las porciones de un yacimiento que no tienen perspectivas razonables de una eventual explotación económica.

El término Recurso Mineral abarca la mineralización identificada y estimada mediante exploración y muestreo.

El término “perspectivas razonables de una eventual explotación económica” implica un criterio de valor económico, aunque sea preliminar a nivel de perfil, por parte de la persona competente con respecto a los factores técnicos y económicos que podrían

influir en la perspectiva de explotación económica, incluyendo los parámetros mineros aproximados.

En otras palabras, un Recurso Mineral no es un inventario de toda la mineralización perforada o muestreada, cualquiera que sea la ley de corte (Cut-Off), las probables escalas de producción, ubicación y continuidad. En un inventario realista del yacimiento mineral que, bajo condiciones técnicas y económicas asumidas y justificables, podría, total o parcialmente, llegar a ser económicamente explotable, en cuyo caso se le asume valores de Mena y/o Marginal. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Los recursos minerales se les clasifican como sigue:

#### **a) Recurso Mineral Medido.**

Es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características físicas pueden ser estimados con un alto nivel de confianza. Se basa en una detallada y confiable información de exploración, muestreo y exámenes obtenidos por medio de técnicas apropiadas en lugares como afloramientos, trincheras, rajos, labores y sondajes. Los lugares de la toma de información (muestreo mediciones y otros), están suficientemente cercanos como para confirmar una continuidad geológica y de ley. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Parte de un yacimiento explorado y desarrollado puede ser clasificado como Recurso Mineral Medido cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales que como para no dejar ninguna duda razonable, en opinión de la persona competente que determina el Recurso Mineral, que el tonelaje y ley de la mineralización puede ser estimado dentro de estrechos límites y cualquier variación de lo estimado no afectaría significativamente la posible viabilidad económica.

Esta categoría requiere de un alto nivel de confianza en, y el entendimiento de, la geología y los controles de yacimiento.

La confianza en la estimación es suficiente como para permitir la aplicación de parámetros técnicos y económicos, y hacer posible una evaluación de la viabilidad económica, la cual tiene un mayor grado de certeza que una evaluación basada en un Recurso Mineral Indicado.

El nivel de confianza geológica y el grado de certeza del Recurso Mineral Medido es similar al requerido para la determinación de Reserva Mineral Probado.

Si se eliminan las incertidumbres en los factores modificantes un Recurso Mineral Medido puede convertirse en Reserva Mineral Probado. El Coeficiente de Certeza de este mineral es del 100%.

En Proyectos Brownfield de una mina en Producción, para la estimación de este Recurso se puede utilizar las mismas Leyes Mínimas de Explotación usadas en la evaluación de Reservas de la Mina, siempre y cuando sean de mineralizaciones similares. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

#### **b) Recurso Mineral Indicado.**

Es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, ley, densidad, forma, tamaño y otras características geológicas pueden ser estimados con un razonable nivel de confianza. Su estimación se basa en información de exploración, muestreo y examen obtenidos mediante técnicas apropiadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, tajos, labores y sondajes. Los lugares de la toma de información (muestreo, mediciones y otros) están tan espaciados o inapropiadamente espaciadas como para confirmar una continuidad geológica y de ley, pero este espaciamiento es suficiente como para asumir dicha continuidad. El grado de confianza es suficientemente alto como para asumir la continuidad. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

Parte de un Recurso Mineral puede ser clasificado como un Recurso Mineral Indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de los datos son tales como para permitir una interpretación confiable del aspecto geológico y asumir la continuidad de la mineralización.

La confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación de parámetros técnicos y económicos, y una evaluación de viabilidad económica.

El nivel de confianza geológica y el grado de certeza del Recurso Mineral Indicado es similar al requerido para determinar una Reserva Mineral Probable. Si se eliminan las incertidumbres en los factores modificantes un Recurso Mineral Indicado puede convertirse en Reserva Mineral Probable. El Coeficiente de Certeza de este mineral es entre 90% y 100%.

En Proyectos Brownfield de una mina en Producción, en la estimación de este Recurso, se puede utilizar las mismas Leyes Mínimas de Explotación consideradas

en la evaluación de Reservas de la Mina, siempre y cuando sean de mineralizaciones similares. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

**c) Recurso Mineral Inferido (Prospectivo o Posible).**

Es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje y ley puede ser estimado con un bajo nivel de confianza. Es estimado e inferido a partir de evidencias geológicas, y la continuidad geológica y la ley es asumida pero no verificada. Está basado en la información obtenida, por medio de apropiadas técnicas, de afloramientos, trincheras, rajos, labores y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confianza inciertas. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

La categoría de Inferido tiene la intención de informar situaciones donde una concentración y ocurrencia de mineral ha sido identificado, y se ha completado limitadas mediciones y muestreos, pero donde los datos son insuficientes para permitir la continuidad geológica y/o de ley, sea interpretado confiablemente. Comúnmente sería razonable esperar que la mayoría de los Recursos Minerales Inferidos pudieran pasar a ser Recursos Minerales Indicados con una exploración continua. Sin embargo, debido a la incertidumbre del Recurso Mineral Inferido, no se asumirá que tal cambio siempre ocurrirá.

La confianza en la estimación de Recursos Minerales Inferidos usualmente no es suficiente como para permitir que los resultados de la aplicación de los parámetros técnicos y económicos sean usados en un planeamiento detallado. Por esta razón no hay relación directa entre un Recurso Inferido y alguna categoría de Reservas Minerales (ver Cuadro N° 03). (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

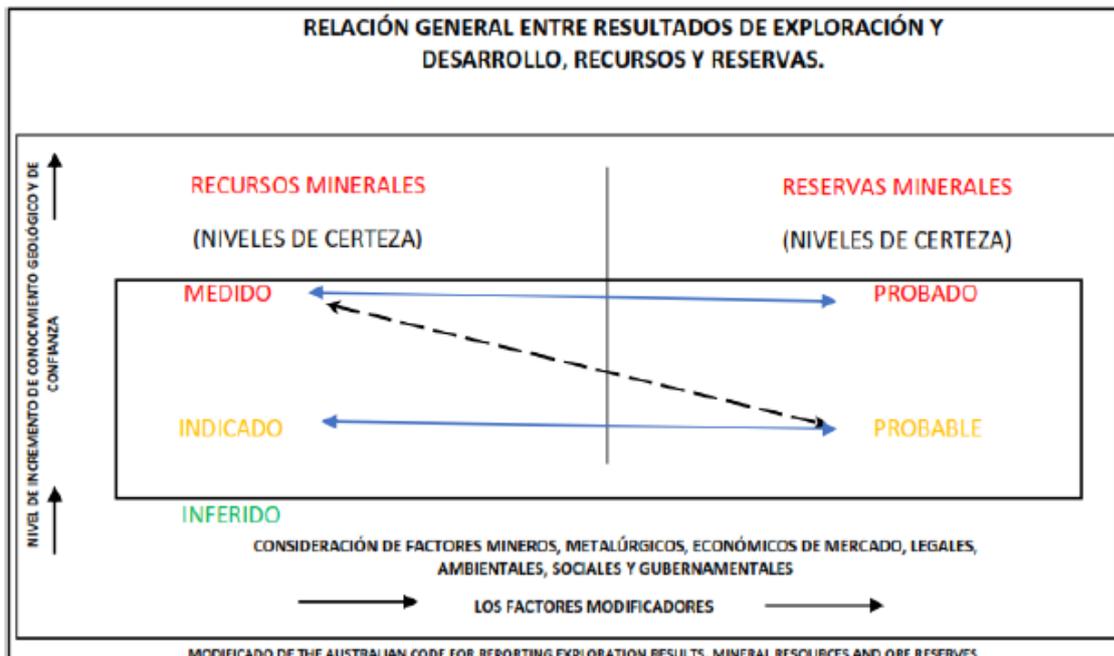


Figura 7. Estimación de recursos y reservas (E.M.F.S.A.)

La estimación de este Recurso se basa también en la continuidad asumida o de repetición de evidencias geológicas favorables que a continuación se dan:

- i. Diagramas de Curvas de Isovalores.
- ii. Aislados sondajes.
- iii. Áreas de influencia de Recursos Indicados o de Reservas Probables.
- iv. Indicios de buena valorización en afloramientos con muestreos muy espaciados en trincheras, labores, rajos, etc.

Generalmente se les dimensionan en la extensión inmediata no explorada de 1 o varios bloques de Reservas Probables o de Recursos Indicados con valores de Mena o Marginal. Asimismo, se delinean con la información de uno o más sondajes muy espaciados y/o combinando ambas situaciones. Otras veces se delimitan a partir de afloramientos muestreados en trincheras y cateos, en los cuales los resultados de los muestreos dan información sobre la existencia de mineralización económica hacia abajo. Si se tuviera un solo sondaje muy aislado, sin relación a bloques Probables o Indicados o a afloramientos bastante anómalos, éste no generaría un Recurso Inferido. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

La altura de los bloques de un Recurso Mineral Inferido puede ser correspondiente a la suma de las alturas de bloques de Recursos Medidos + Indicados o a la suma de las alturas de Bloques Probados + Probables, o a la mitad de la longitud del

afloramiento muestreado con valor de Mena y/o Marginal, salvo que el criterio geológico y las indicaciones de curvas de isovalores o la intersección de sondajes bastante espaciados sugieran otra altura u otra dimensión.

Referente al Coeficiente de Certeza aplicable al tonelaje del Recurso Inferido, se sugiere dos rangos:

- Cuando el Bloque Inferido está ubicado en la continuación de un Bloque Probable, pero con información de muestreos de sondajes, de labores (correspondientes al Bloque Probado respectivo) o de afloramientos respectivos, el Coeficiente de Certeza será entre 50% y 70%, lo que depende de la regularidad de la mineralización y de la cantidad y/o espaciamiento de los lugares de muestreo.
- Cuando el Bloque Inferido está situado solamente en la continuación de un Bloque Probable o sea que no hay sondajes, o si los hay son escasos, en cuyo caso las muestras son también escasas, o sea que su delimitación está basada en la interpretación estructural y mineralógica principalmente, el Coeficiente de Certeza será entre 30% y 50%.

Algunas veces, cuando se tienen escasos sondajes (uno ó dos) que no están dentro la influencia inmediata de bloques probables ni de afloramientos, en vetas con estructuras en Rosario como en las se ven claramente clavos y clavitos de continuidad vertical o subvertical entre niveles, se podría dimensionar un Bloque Inferido de ancho igual al promedio de anchos de los clavos conocidos de cada veta, asimismo la altura sería igual a mitad del promedio de alturas de los clavos de las respectivas vetas. En este caso el coeficiente de Certeza será de 30% o menor.

- Espacialmente análogamente al caso anterior, pero teniendo más de dos sondajes correlacionales, se definirán Bloques Inferidos con anchos y alturas que dependan de las influencias del conjunto de esos sondajes y de la interpretación geológica. El Coeficiente de Certeza será de 30% o menor.

Los Bloques de Recursos Minerales Inferidos se achuran con líneas horizontales del color de mena o marginal según el caso.

### **2.2.6.3. Otros minerales (No reservas ni recursos)**

Estos Otros Minerales que vamos a mencionar en adelante no se consideran como Reservas Minerales ni como Recursos Minerales.

#### **a) Según la certeza.**

Para el mineral probado, probable, inferido se considera aquellos minerales sin el valor económico.

#### **1. Mineral Potencial.**

Es aquella parte de un Yacimiento Mineral cuyo tonelaje y ley puede ser estimado con bastante bajo nivel de confianza menor que el del Recurso Mineral Inferido. Su estimación se basa mayormente en el conocimiento geológico del yacimiento, es decir muchas veces no depende de la exposición directa de la mineralización económica, sino de indicaciones indirectas tales como:

- i. Presencia de Recurso Mineral Inferido en cuya extensión puede dimensionarse.
- ii. Curvas de Isovalores y/o rangos verticales de mineralización que se extiendan fuera del Recurso Inferido.
- iii. Controles Lito estructurales.
- iv. Anomalías geofísicas y/o geoquímicas que se correlacionan bien con la geología superficial.
- v. Relación con minas vecinas o estructuras cercanas mineralizadas desarrolladas, etc.

Muchas veces su estimación depende de la información geológica y del muestreo de los afloramientos, que sin tener valores de mena o marginal, tienen: Óxidos, ensambles y alteraciones favorables, valores anómalos interesantes, y estructuralmente sean de interés y correlacionables con anomalías geofísicas y/o geoquímicas. En este caso se puede asumir la presencia de Mineral Potencial en profundidad con mineralización económica y/o marginal. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

A veces se les dimensionan a partir de los afloramientos de estructuras, cuyos muestreos arrojan bajos valores, pero anómalos, pero estructural y mineralógicamente interesantes, y a la vez sean paralelas a otras estructuras de similares características mineralógicas y estructurales en superficie, las cuales fueron ya reconocidas suficientemente y cuentan con Reservas y Recursos. En este caso el Bloque de Mineral Potencial se ubicará debajo de los afloramientos con anomalías y tendrá el

mismo rango vertical de las Reservas + Recursos de las estructuras paralelas ya desarrolladas, y estará a una profundidad similar que el de las Reservas y Recursos de esas estructuras y, no se estimará la ley. En este caso se tiene que asumir la profundidad de óxidos de hierro. (Castillo, 2018).

En los casos que se delimiten en la extensión del Recurso Mineral Inferido la altura de los bloques puede ser igual a la altura de dicho Recurso, siempre y cuando no se tenga un criterio geológico que de otra altura (curvas de isovalores, interpretación geoestadística, profundización de estructuras vecinas, etc.). En este caso la ley será de los Recursos Minerales Inferidos correspondientes.

Cuando se estima a partir de afloramientos cuyos muestreos muy espaciados dan valores de interés económico, la altura media desde superficie del bloque correspondiente, puede ser igual a la longitud de la mineralización de interés o igual a la altura de la mineralización de estructuras vecinas que contienen Reservas y/o Recursos, salvo otros criterios geológicos den otra altura. La ley será el promedio de los afloramientos correspondientes.

Ocasionalmente puede dimensionarse a partir de un sondaje muy aislado. En este caso si la Estructura es en Rosario en los que los clavos mineralizados son verticales o subverticales, se pueden dimensionar Bloques Potenciales a partir del sondaje, con anchos igual al promedio de anchos de los clavos conocidos, y altura igual a la mitad del promedio de las alturas de los clavos respectivos.

Respecto al Coeficiente de Continuidad y Certeza del Mineral Potencial se sugiere aplicar dos rangos al tonelaje:

- Cuando el Bloque Potencial está en la continuación de un Bloque Inferido, pero con información de muestreos de sondajes, de labores (correspondientes al Bloque Probado respectivo), o de afloramientos respectivos, el Coeficiente de Continuidad y Certeza será entre 40% y 50% y dependerá de las evidencias geológicas favorables que se tiene.
- Cuando el Bloque Potencial está solamente situado en la extensión del Bloque Inferido o sea no hay sondajes, o si los hay en el Bloque Inferido son escasos, en cuyo caso las muestras son también escasas, o sea que su delimitación está basada en la interpretación estructural y mineralógica. El Coeficiente de Continuidad y Certeza será entre 25% y 50%.

Este mineral no constituye ni Reservas ni Recursos y sus bloques tendrán un achurado de líneas verticales con el color correspondiente a Mena o Marginal, según el caso. Si bien este mineral no constituye ni Reservas ni Recursos, su presencia indica la magnitud y posible vida operativa de un yacimiento.

No hay Mineral Potencial con valores de submarginal ni de Baja Ley.

## **b) Según el valor.**

### **1. Mineral Submarginal.**

Es aquel mineral no económico cuyo valor sólo cubre los Costos de Producción y las Regalías correspondientes, por lo que no debe explotarse aún bajo mejores condiciones previsibles en el mediano plazo, porque su valor no alcanzaría a cubrir los otros gastos. Se requerirá variaciones favorables más allá de lo previsible en los parámetros económicos para transformarse en Mineral económicamente explotable. Aunque puedan tener un grado de confianza, continuidad y de certeza, en su estimación, similares a los correspondientes a Reservas Probadas y Probables, esto no es suficiente para considerarlas como Reservas Minerales. En los planos se les pinta de color azul. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

No hay Mineral Inferido ni Mineral Potencial para Mineral Submarginal.

### **2. Mineral de Baja Ley.**

Es aquel mineral no económico cuyo valor es inferior al del mineral submarginal y cuyo Límite Mínimo es menor que el costo de Producción. En los planos se coloreará de verde.

No hay Mineral Inferido ni Mineral Potencial para este Mineral.

## **c) Según la accesibilidad.**

### **1. Mineral Inaccesible.**

Es aquel mineral cuya ubicación en el espacio es similar a lo indicado para el Mineral Eventualmente Accesible, pero que la ejecución de las labores o rehabilitaciones para hacerlos Accesibles es evidentemente muy costosa, tal es el caso de bloques aislados, bloques que en conjunto son de poco tonelaje, o los ubicados debajo de una laguna, o los situados en zonas cuya explotación afectará a instalaciones cercanas a piques, etc.

Este mineral no constituye Reserva Mineral, aunque su valor sea de Mena o Marginal; pero puede ser considerado un Recurso Mineral si el tonelaje es considerable (con

bloques no aislados), porque una subida de precios o bajada de costos podría hacer económico su explotación, en cuyo caso se convertiría en Reserva Mineral. Además, puede haber Bloques Submarginales y de Baja Ley Inaccesibles, los cuales no constituyen ni Reservas ni Recursos Minerales.

#### **2.2.6.4. Bloqueo de mineral**

Una vez determinadas las Leyes Mínimas (Cut-Offs) para cada tipo de mineral de acuerdo a su valor (Mena, Marginal, Submarginal y Baja Ley), se procederá a la definición de bloques de Mineral, para lo cual es necesario contar con: Registros de ensayos de las labores y sondajes en el que deben estar incluidos los anchos de muestras, y también disponer de los planos de muestreo. (E.M.F.S.A. & Castillo, 2018)

##### **a) Información para Determinación de Bloques de Mineral.**

Previamente los ensayos reportados por laboratorio se ingresan como base de datos al software respectivo, en el cual la tabla ASSAY genera dos campos iguales, uno de leyes originales, y otro donde se corregirán las leyes erráticas. Asimismo, en tabla SURVEY cada canal es registrado en relación a su ubicación espacial (coordenadas Norte, Este y Cota). Para el bloqueo de mineral se necesitan, previamente los siguientes datos:

##### **1. Promedio de Leyes de cada Canal.**

Normalmente un canal tiene más de una muestra, motivo por el cual tiene que obtenerse el promedio ponderado de Leyes de cada canal. Las leyes muy bajas de muestras que están ubicados en los lados del canal no se consideran para promediar. El cálculo es como sigue:

$$Ley\ promedio\ de\ canal = \frac{Suma\ de\ ancho\ de\ muestra\ x\ ley}{Suma\ de\ anchos\ de\ muestra}$$

## **2. Leyes Erráticas.**

En caso que haya Leyes Erráticas, se deberá reemplazarlas por el promedio de las dos muestras anteriores y las dos muestras posteriores, que pertenecen a la misma banda en que está la muestra errática.

## **3. Calificación de Leyes Canal por Canal.**

Una vez efectuado los pasos anteriores se hace la calificación de las leyes equivalentes diluidas de cada canal teniendo en cuenta los Cut-Offs determinados, de modo si su ley pueda corresponder a valor de Mena, Marginal, Submarginal, o Baja Ley, para luego definir que tramos de canales corresponden a Mena, etc.

Indudablemente en algunos tramos pueden considerarse algunas partes estériles o de menor ley que el Cut-Off correspondiente, siempre y cuando no se tengan cinco canales consecutivos con leyes debajo de valores de Mena, Marginal o Submarginal. Si esto ocurriera se procederá a separar el tramo de 5 canales como Mineral Submarginal o Baja Ley según el caso.

## **4. Longitud Mínima y Máxima de Bloque de Mineral.**

La Longitud Mínima para formar un Bloque de Mineral será de acuerdo a la longitud mineralizada, por la irregularidad en la continuidad de las vetas angostas.

Entre los bloques de Mena, pueden haber o no Bloques Marginales o Submarginales o de Baja Ley según los casos.

En Bloques de Baja Ley de gran longitud, y en donde haya algún tramo de Mena o Marginal que por su poca longitud no llegaron a formar un bloque independiente, se subdividirán en bloques de distinta ley para indicar las posibilidades de exploración con chimeneas, o su explotación respectiva.

## **5. Cálculo del Ancho y Leyes de muestras de un Tramo.**

En estructuras angostas el cálculo de anchos y leyes pueden hacerse por el método tradicional, antes de definir el tamo, en donde la dilución se aplicará canal por canal de las leyes equivalentes.

En estructuras angostas, el método tradicional, para el cálculo de anchos y leyes diluidos es el siguiente:

$$\text{Ancho promedio diluido del tramo} = \frac{\sum \text{Anchos diluidos de canales}}{\text{N}^\circ \text{ Canales}}$$

$$\text{Ley promedio diluido del tramo} = \frac{\sum \text{Ancho de canales} \times \text{Ley diluida de canales}}{\sum \text{Anchos diluidos de canales}}$$

### **2.2.7. MODELAMIENTO GEOLÓGICO**

Consiste en la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas. Este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del macizo rocoso. Es una parte fundamental en el procedimiento de estimación de reservas de un depósito. (Maptek, 2015)

Es una parte fundamental en el procedimiento de estimación de reservas de un depósito.

#### **2.2.7.1. Objetivos del modelamiento geológico**

1. Incrementar el conocimiento de la morfología del depósito y representarlo lo más cercano a la realidad posible
2. Relacionar las unidades en diferentes tipos de modelos (litología, alteración, etc.)
3. Definir volúmenes de roca en los que la variable a estimar tenga un comportamiento homogéneo (Estacionariedad)

Lo básico para realizarlo es tener una base de datos validada, que contenga los campos a representar, tener conocimiento acabado de la geología del depósito y un adecuado software.

El proceso de realizar un modelo consta básicamente de:

- Definir las unidades a modelar.
- Determinar la orientación del modelo, la distancia y el número de juegos de secciones bidimensionales a interpretar.
- Construcción de sólidos o litologías de interés.
- Validar el modelo.

La creación de un modelo geológico es una de las primeras etapas en la estimación de recursos y requiere de un acucioso conocimiento del yacimiento y una base de datos validada.

Dependiendo de los parámetros utilizados en el modelamiento, tal como cantidad de juegos de secciones, paredes compartidas y respetando el intercepto del sondaje, el modelo tendrá un menor o mayor grado de incertidumbre.

Es vital validar los modelos geológicos, ya que son una parte importante de la cadena que conlleva a la toma de decisiones en nuestro yacimiento.

Una vez determinado el modelo geológico o sólido que delimitara el cuerpo de interés económico, se procede mediante herramientas matemáticas o geoestadísticas a estimar las concentraciones del elemento de interés, a lo largo de todo el sólido modelado. Con la estimación del elemento ya realizada, es posible cuantificar la cantidad del elemento que posee el yacimiento en estudio. (Maptek, 2015)

## **2.2.8. DEPÓSITOS EPITERMALES.**

### **2.2.8.1. Depósitos Epitermales de alta sulfuración (HS).**

Son depósitos epitermales cuya mineralización ocurrió a partir de fluidos hidrotermales calientes y ácidos, a profundidades de 1 a 2 Km; la temperatura de los fluidos varía de 100 °C a 320 °C y pueden alcanzar la superficie como fumarolas (Giggenbach, 1992; Hedenquist, 1995).

Estos depósitos ocurren ampliamente en arcos de volcanismo activo ocasionado generalmente por placas tectónicas en subducción. Comúnmente se relacionan a volcanismo tipo tras arco (Back Arc) y se ubican en posición intermedia entre intrusiones subvolcánicas y la superficie; esta conclusión está basada en estudios geológicos (Sillitoe, 1983, 1989, 1991) y geoquímicos (Rye, 1993; Hedenquist et al., 1994). Pueden contener metales preciosos, Au - Ag y metales base, Cu, Pb, Zn, Bi, etc.

La mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son reducidos y tienen pH cercano al neutro y los de “alta sulfuración” que son oxidados y ácidos, pH de 1 – 5, (Hedenquist, 1987).

Los términos de alta y baja sulfuración se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración se presenta como S<sup>4+</sup> en forma de SO<sub>2</sub> (oxidado) y en los de baja sulfuración como S<sup>2-</sup> en forma de H<sub>2</sub>S (reducido).

Bajo condiciones ácidas y de oxidación típicas de los sistemas de alta sulfuración el Au puede ser transportado como complejo clorurado, si la salinidad es alta (10 – 20 % NaCl equivalente) y los fluidos oxidados; o como H<sub>2</sub>Au (HS)<sub>2</sub> para condiciones redox intermedias (Bening & Seward, 1996).

La mineralización epitermal está asociada comúnmente a pórfidos de Cu –Au (Hedenquist & Arribas, 1998); (Figura 01). Esta relación no es fortuita pues la mejor manera de entender los depósitos epitermales es estudiarlos de manera integral como sistemas tipo pórfido gradando a los de alta sulfuración.

#### **2.2.8.2. Depósitos Epitermales de sulfuración intermedia (IS)**

Los depósitos del subtipo de sulfuración intermedia son estructuralmente muy similares a los de baja sulfuración, conforman el conjunto de epitermales alcalinos según Sillitoe (1977), aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas en sulfuración intermedia suele guardar una mayor afinidad con los depósitos de alta sulfuración (Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003). De hecho, inicialmente, fueron considerados como un tipo de depósito de baja sulfuración (Hedenquist et al. 2000). Así, según la terminología más reciente, el término de “estado de sulfuración” se emplea en el sentido que le otorgó Barton (1970), de forma análoga al de estado de oxidación, y se ha establecido un marco de referencia para el estado de sulfuración en función de la temperatura y la fugacidad de S<sub>2</sub> gas (Einaudi et al., 2003). Los límites entre condiciones de sulfuración muy baja, baja, intermedia, alta y muy alta, según Einaudi et al. (2003), vienen determinadas factualmente por los campos de estabilidad de diversas especies de sulfuros.

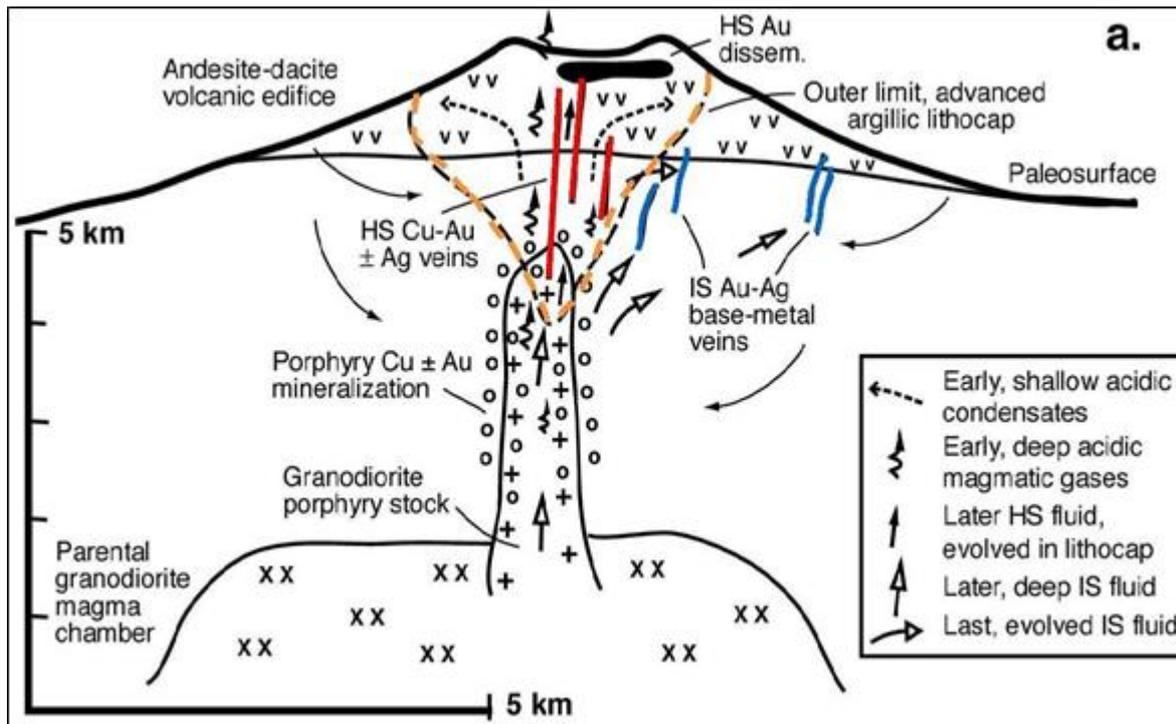


Figura 8. Modelo conceptual, mostrando la génesis de la formación de yacimientos minerales de alta sulfuración e intermedia sulfuración. (Sillitoe, 1977)

### 2.2.8.3. Alteraciones Hidrotermales

#### A. Definición

Término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal se manifiesta mediante crecimiento, disolución y/o precipitación de minerales y reacciones de intercambio iónico entre la roca caja y el fluido caliente que circuló por la misma. Asimismo, produce cambios en las propiedades de las rocas, alterando su densidad, porosidad, permeabilidad, susceptibilidad magnética y resistividad. Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos geológicos, fallas y diaclasas, influyendo en el proceso de alteración; pues la presencia de estas estructuras favorece la circulación de fluidos hidrotermales. (Hedenquist & Arribas, 1998)

Las reacciones de intercambio iónico son importantes en los procesos de alteración, por ejemplo,  $Mg^{2+}$  por  $Ca^{2+}$  y/o  $Ca^{2+}$  y  $Na^{+}$  por  $K^{+}$  (Alteración potásica). Las reacciones de intercambio iónico también se conocen como cambio de base y corresponden a una reacción por la cual cationes adsorbidos en la superficie de un

sólido, tal como un mineral de arcilla, son remplazados por cationes en la solución circundante.

El intercambio de cationes metálicos de los minerales de una roca por  $H^+$  corresponde a un caso especial conocido como hidrólisis y es muy importante en la mayoría de los tipos de alteración hidrotermal.

## **B. Factores que controlan las alteraciones hidrotermales en las rocas.**

### **1. Temperatura**

Mientras más caliente el fluido hidrotermal mayor será el efecto sobre la mineralogía original.

### **2. Composición del Fluido**

Sobre todo, el grado de acidez o alcalinidad (pH), el estado de óxido reducción (Redox), la fugacidad del oxígeno; mientras más ácido el fluido mayor será la lixiviación de minerales originales.

### **3. Permeabilidad de la Roca**

Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico en las rocas, o permeabilidad secundaria. Otro factor que genera permeabilidad secundaria son los procesos tectónicos.

### **4. Duración de la Interacción Agua / Roca**

Mientras mayor volumen de agua caliente circule por las rocas y por mayor tiempo las modificaciones mineralógicas serán más completas.

### **5. Composición de la Roca**

Los minerales que componen las rocas tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, sin embargo, en alteraciones intensas la mineralogía resultante es independiente del tipo de roca original.

### **6. Presión**

Controla procesos como la profundidad de ebullición del fluido, fracturamiento hidráulico y generación de brechas freáticas e hidrotermales.

La temperatura y composición del fluido hidrotermal son los factores más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante en un proceso de alteración.

## **C. Reacciones de Hidrólisis.**

La estabilidad de feldespatos, micas y arcillas en procesos de alteración hidrotermal

es comúnmente controlada por hidrólisis en la cual el  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y otros cationes se transfieren a la solución mientras que el  $H^+$  se incorpora en las fases sólidas remanentes. Esto ha sido denominado metasomatismo de hidrógeno (Hemley et al., 1971).

La hidrólisis es una reacción de descomposición del agua y se manifiesta mediante la siguiente reacción:  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + (OH)^-$

Todas las reacciones implican un empobrecimiento de  $H^+$  en el fluido hidrotermal, consecuentemente un aumento del pH de la solución. Este fenómeno puede neutralizar fluidos ácidos originando zonaciones de distintos minerales hidrotermales. Cabe destacar que en la mayoría de las reacciones de hidrólisis se obtiene como subproducto  $SiO_2$  y esta es la razón porque el cuarzo está siempre presente en rocas alteradas.

Aunque las reacciones de hidrólisis modifican el pH del fluido hidrotermal existen algunos minerales que pueden mantener ciertos rangos de pH mientras no se consuman totalmente; éstos se conocen como minerales buffer. Las series de minerales buffer hacen que las variaciones de pH sean escalonadas, influyendo en la solubilidad y Precipitación de metales.

#### **2.2.8.4. Ensamblajes de Alteración**

Son un grupo de minerales que se han formado contemporáneamente bajo condiciones de equilibrio termodinámico, son geoquímicamente significantes por que pueden ser usados para determinar condiciones de formación. Se diferencian de las asociaciones de minerales de alteración por que éstas se formaron en diferentes eventos, con variedad de condiciones termodinámicas.

##### **A. Alunita - $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$**

Fluidos con pH de 1 - 3.5 forman alunita en un amplio rango de temperaturas (Stoffregen, 1987). Se presenta con andalusita a temperaturas de  $>350 - 400$  °C y corindón a  $>400 - 450$  °C. Se han reconocido cuatro ambientes de formación (Rye, 1993) en base a datos isotópicos de S y O. Las condiciones de formación de alunita pueden inferirse por la cristalinidad, marco geológico y paragénesis mineralógica.

- **Alunita Tipo Steam Heated**

Se desarrolla en ambientes superficiales debido a la oxidación del  $H_2S$ , el cual deriva de un sistema hidrotermal en ebullición (Posiblemente la primera ebullición). Es

usualmente de grano fino, en cristales pseudo cúbicos y puede encontrarse hasta profundidades de 1 a 1.5 Km.

- **Alunita Supérgena**

Se desarrolla a partir del ácido sulfúrico originado mediante la oxidación de sulfuros. Exhibe hábito pseudo acicular, pobremente cristalino, generalmente se asocia a otros minerales supérgenos como hematita y jarosita; puede encontrarse a profundidades variables.

- **Alunita Magmática**

Se deriva de fluidos magmáticos, forma cristales euhedrales a subhedrales, rellena fracturas, se encuentra en brechas hidrotermales como matriz y / o cemento; se relaciona con la mineralización.

- **Alunita de Veta / Brecha Magmática**

Se deriva de fluidos ricos en volátiles los cuales ascienden desde una masa fundida en cristalización y se presenta en vetas y brechas; en este ambiente se pueden formar cristales prismáticos radiales.

### **B. Pirofilita – $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$**

Se origina en las partes profundas de los sistemas de alta sulfuración o en las transiciones de éstos hacia pórfidos a temperaturas de 200 – 250 °C, en un rango de pH de 2.5 – 4, coexiste con alunita a pH de 3.5. En sistemas tipo pórfido se genera por descenso de la temperatura a partir del mismo fluido que causó alteración sericítica (Hedenquist & Arribas, 1998), Por lo tanto, este ensamble se ubica entre la alteración sericítica y argílica avanzada del lithocap.

### **C. Sílice – $SiO_2$**

Mineral estable en fluidos de pH < 1 (Stoffregen, 1987). Sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en la parte superficial de un sistema hidrotermal, típicamente a temperaturas <100 °C. El cuarzo está presente a temperaturas >100 °C pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200 °C si éste se enfría rápidamente. Calcedonia generalmente se forma en el rango 100 - 200 °C.

### **D. Alunita – Dickita**

Ensamble que se presenta en rangos de pH de 3.0 – 3.5 y temperaturas de 200 – 250 °C (Stoffregen, 1987). Es característico en la zona de alteración argílica avanzada o lithocap.

### **E. Alunita – Caolinita**

Ensamble que se presenta en rangos de pH de 3.0 – 3.5 y temperaturas de 180 – 220 °C (Stoffregen, 1987). Se manifiesta generalmente en la transición de los halos de alteración argílica avanzada y argílica.

### **F. Caolinita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$**

Mineral que se aprecia a pH moderadamente ácido, pH = 4. La halloysita (caolinita hidratada) se presenta principalmente como producto de alteración supérgena. La caolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja temperatura 150 - 220 °C (Stoffregen, 1987).

### **G. Dickita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$**

Mineral que se forma en rangos de pH de 3.5 – 4.5 y temperaturas de 200 – 250 °C (Stoffregen, 1987).

### **H. Caolinita – Illita**

Ensamble que se forma en rangos de pH de 4.0 – 5.0 y temperaturas de 150 – 200 °C (Stoffregen, 1987).

### **J. Illita – $\text{KAl}_4(\text{Si}_7-6.5\text{Al}_1-1.5\text{O}_2)(\text{OH})_4$**

En fluidos con pH de 4 - 6 dominan minerales del grupo de la illita, coexisten con caolinita y dickita en pH de 4 – 5 (Stoffregen, 1987). A baja temperatura se presenta esmectita, 100 – 150 °C; illita + esmectita, 100 – 200 °C; illita, 200 - 250 °C; y muscovita, >250 °C. En los pórfidos se presenta la alteración fílica o sericítica caracterizado por los ensambles de illita + muscovita. Coexisten pirofilita e illita a temperaturas de 220 – 320 °C (Reyes, 1990)

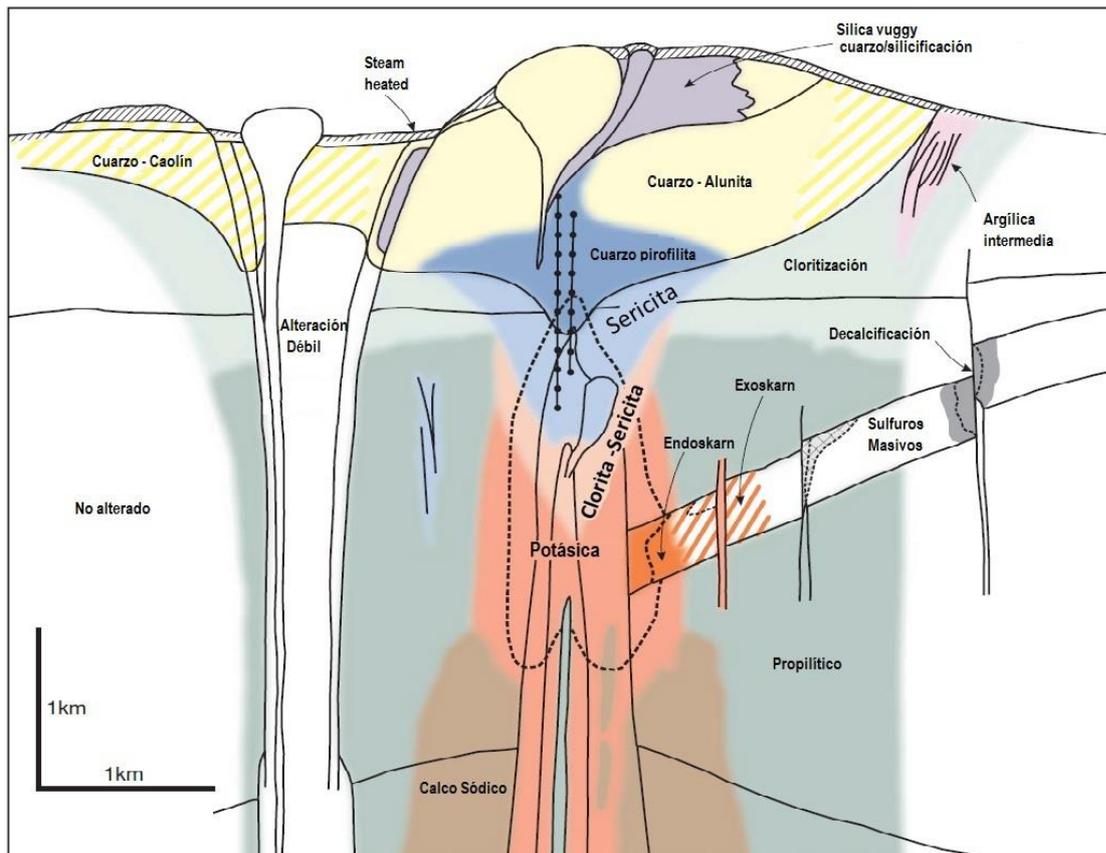


Figura 9. Modelo conceptual generalizado de los patrones de alteración y mineralización en un sistema tipo pórfido con sobreimpresión de un sistema epitermal (Sillitoe, 2010)

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Reservas Minerales:** Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado. Depende de un gran número de factores: ley media, ley de corte (ver más abajo), y de las condiciones técnicas, medioambientales y de mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación. Se complementa con el concepto de Recurso, que es la cantidad total de mineral existente en la zona, incluyendo el que no podrá ser explotado por su baja concentración o ley. (Jorge Oyarzún M., Geol. Dr. Sc. Diccionario Geológico. Chile 2009)

- **Cut off:** Es aquella ley de mineral, cuyo valor es igual al costo de producción; es decir, corresponde a la ley de mineral en que no da pérdidas ni ganancias. (Ochante, 2010)

- **Ley mínima explotable:** Concentración que presenta el elemento químico de interés minero en el yacimiento. Se expresa como tantos por ciento, o como granos por tonelada u onzas por tonelada. (Alfaro, 2007)

- **Reservas Minerales Probadas:** Reservas para las cuales se calcula cantidades a partir de dimensiones que se revelan en los afloramientos, zanjas, obras o huecos de voladura; la ley y/o la calidad se calculan a partir de los resultados de muestreo detallado; y los sitios para la inspección, el muestreo y las mediciones se espacian tan estrechamente que el carácter geológico está suficientemente definido como para que el tamaño, la forma, la profundidad y el contenido mineral de las reservas se encuentre bien determinados. (Rojas, 2013)

- **Reservas Minerales Probables:** Reservas para las cuales la cantidad y la ley se calculan a partir de información similar a la que se utiliza para las reservas probadas, pero los sitios de inspección, muestreo y revisión están más alejados o están menos adecuadamente espaciados. El grado de seguridad, aunque menor que el de las reservas probadas, es suficientemente alto como para asumir una continuidad entre los puntos de observación. (Rojas, 2013)

- **Tonelaje:** o volumen. Cantidad de mineral susceptible a ser explotado. (Alfaro, 2007)

- **Labor minera subterránea:** Una labor minera es cualquier hueco excavado para explotar un yacimiento. Una mina es el conjunto de todas esas labores,

especialmente cuando es subterránea. La técnica de aprovechar un yacimiento mediante minería se conoce como laboreo de minas. (Marcelo, 2013)

- **Minería subterránea:** Es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno. La explotación de un yacimiento mediante minería subterránea se realiza cuando su extracción a cielo abierto no es posible por motivos económicos, sociales o ambientales. Un yacimiento se explota en forma subterránea cuando presenta una cubierta de material estéril de espesor tal, que su extracción desde la superficie resulta antieconómica. (Pérez, 2010)

- **Muestreo:** Es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo a la técnica empleada en esta selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto. (Pérez, 2010)

- **Depósitos Epitermales de alta sulfuración (HS):** Son depósitos epitermales cuya mineralización ocurrió a partir de fluidos hidrotermales calientes y ácidos, a profundidades de 1 a 2 Km; la temperatura de los fluidos varía de 100 °C a 320 °C y pueden alcanzar la superficie como fumarolas (Giggenbach, 1992; Hedenquist, 1995).

- **Modelamiento Geológico**

Consiste en la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas. Este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del macizo rocoso. Es una parte fundamental en el procedimiento de estimación de reservas de un depósito. (Maptek, 2015)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN

##### 3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación geográficamente está ubicada en la hoja 16-6, perteneciente a la zona 17S, al NW de la ciudad de Cajabamba, ubicado en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) DATUM WGS-84. La Bocamina se ubica en la coordenada E: 804325.114, N: 9157508.865, cota: 3063 m.s.n.m.

##### 3.1.2 UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente la investigación se ubicada en la región de Cajamarca, provincia de Cajabamba, distrito de Cachachi, centro poblado de San Miguel de Algamarca (Plano N° 01).

##### 3.1.3. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca es mediante carretera asfaltada hasta Cajabamba, de ahí hasta Algamarca es mediante carretera afirmada. A continuación, se detalla la tabla.

Tabla 1. Accesibilidad a la zona de investigación.

<b>Destino</b>	<b>Distancia</b>	<b>Tipo de Vía</b>	<b>Tiempo (H)</b>
Cajamarca - Cajabamba	124 km	Asfaltada	3.0
Cajabamba - Algamarca	38.6 km	Trocha carrozable	1.0
<b>TOTAL</b>	<b>162.6 Km</b>		<b>4.0</b>

Fuente: Propia

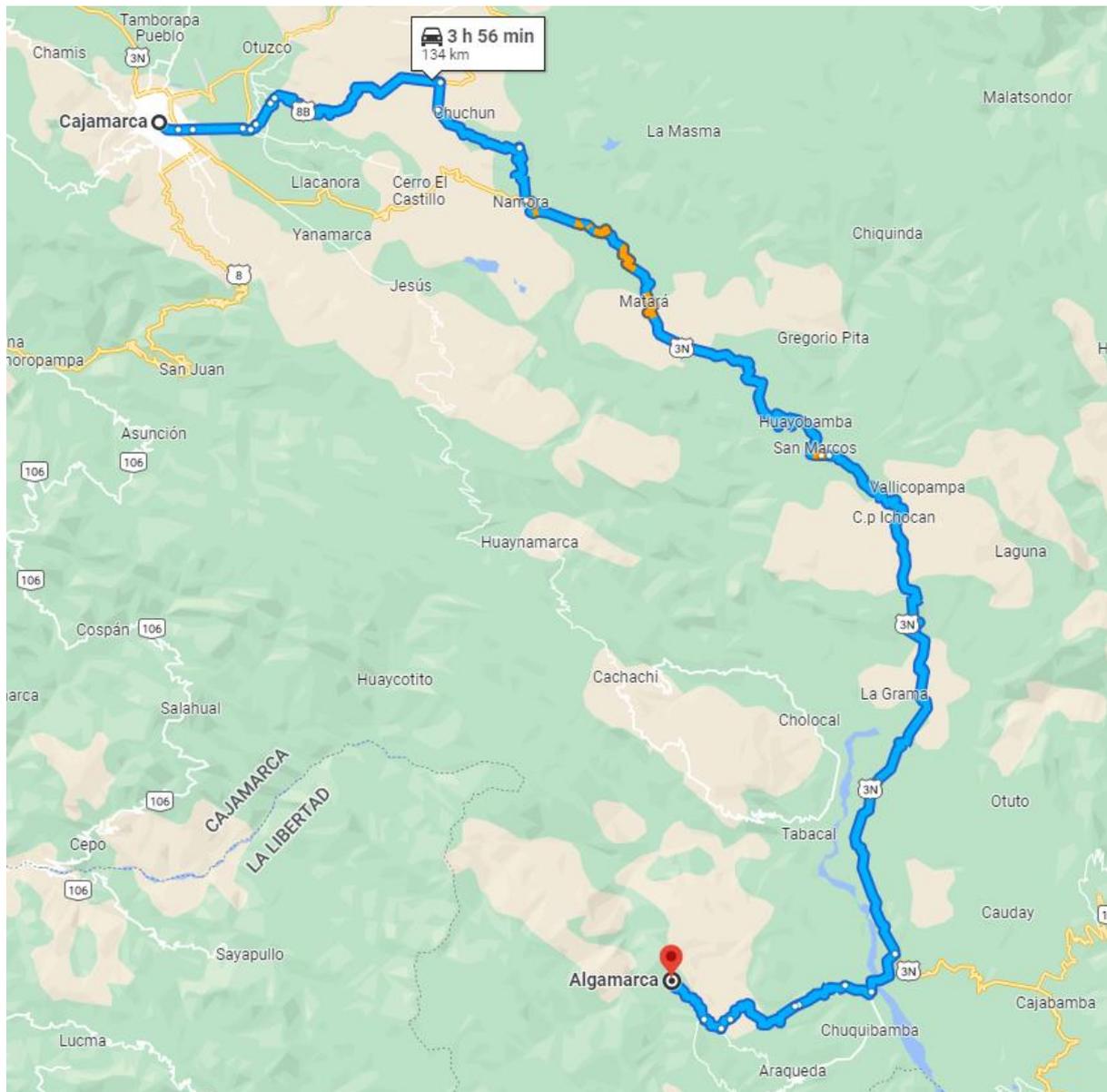


Figura 10. Acceso terrestre para llegar a la zona de investigación, desde la ciudad de Cajamarca.

### 3.2 TIPO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicativo, prospectivo debido que los datos se tomaran en campo, transversal porque las variables se miden una sola vez y analítico porque se ha planteado una hipótesis. El nivel es descriptiva-explicativa debido a que describe y explica variables en función a otra, causa – efecto. Diseño es no experimental y usando un método directo de toma de datos de veta y de roca caja. (Gonzales, 2016)

### **3.3 PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACION DE DATOS**

#### **3.3.1 Metodología:**

##### **3.3.1.1. Etapa Preliminar – Revisión Bibliográfica**

Se realizó la compilación, selección y evaluación de la información bibliográfica sobre los yacimientos epitermales, modelos geológicos y cálculo de reservas, de igual manera se hizo la recopilación de planos geológicos, planos topográficos, inventarios de minerales, dicha información fue recopilada de algunos trabajos de la mina Shahuindo por encontrarse en muy cercana a la zona de investigación.

##### **3.3.1.2. Etapa de Campo – Mina**

En esta etapa se realizó el trabajo en interior mina, en la veta Lucerito, haciendo un levantamiento topográfico, luego identificando y cartografiando su dirección y buzamiento de la veta, su contacto geológico, su contacto mineralógico y su contacto económico, medición de potencias de veta y realizando muestreos sistemáticos para tener la data para un correcto cálculo de reservas.

##### **3.3.1.3. Etapa de Gabinete**

En esta etapa final se procesa y analiza los resultados obtenidos en campo, pasando por la etapa previa de validación de resultados. en esta etapa se realiza la redacción de tesis, así como los planos de modelamiento geológico, la sección longitudinal de la veta Lucerito, el cálculo de reservas de esta.

#### **3.3.2 Definición de variables**

##### **3.3.2.1 Variable independiente:**

Modelamiento Geológico, Ley de veta, Ley de corte, Potencia de veta, Buzamiento de veta.

##### **3.3.2.2 Variable dependiente:**

Cálculo de Reservas de Recursos Minerales

##### **3.3.2.3 Población de estudio.**

La veta Lucerito tiene a nivel de galería principal una longitud de 200 metros y una profundidad de 80 metros.

##### **3.3.2.4 Muestra.**

Litología, estructuras geológicas, ensambles mineralógicos, alteraciones, potencia de

veta, leyes de mineral.

### **3.3.2.5 Unidad de análisis.**

La roca arenisca de la Formación Chimú como roca encajonante, control estructural, control mineralógico, paragénesis y minerales de mena y ganga.

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

Las técnicas utilizables son observación directa, análisis documental, e instrumentos de recolección de datos.

Softwares (Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD2018 y Leapfrog Geo 4.0): Se empleó Word para la redacción del texto de tesis, Excel para procesamiento de los datos, de igual forma se empleó AutoCAD2018 para la creación de los mapas y Leapfrog Geo 4.0.

Brújula Brunton (azimutal): Se utilizó para la medición de rumbo y buzamientos de la veta Lucerito, estructuras geológicas, contacto litológico.

Picota geológica. Para sacar muestras de roca y minerales.

Cámara fotográfica. Se utilizó para la toma de fotografías.

Laptop. Para la redacción de tesis, procesar datos, y hacer el modelamiento con el software mencionado.

Lápiz rayador. Para determinar la dureza de rocas y minerales.

Lupa de 20X. Mejor visualización en la identificación de rocas y minerales.

Protactor. Ayuda para el cartografiado geológico en los planos.

Tablero de madera. Para la toma de datos.

Punta diamantada de 30 cm. Para muestrear.

Flexómetro de 5 m. Necesario para medir potencias de la veta Lucerito.

Bolsas de Muestreo. Para el muestreo de la veta Lucerito.

## **3.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis e interpretación de los datos se realizará en sala a partir de datos y muestras obtenidas en campo. nos permite sacar conclusiones fiables.

## **3.5. CONTROL Y CALIDAD DE DATOS**

Los datos tomados en campo son un factor importante para controlar, debido a que el modelo geológico y el cálculo de reservas puede no ser real debido a la confusión

o mala toma de estos. Es por ello que los equipos de toma de datos como son el flexómetro, la brújula Brunton, deben estar bien calibrados y/o revisados. La codificación de las muestras debe ser bien minuciosa para no tener deficientes resultados de la investigación.

## **5.6. GEOLOGÍA LOCAL**

### **5.6.1. FORMACIÓN CHIMÚ**

Es la unidad basal del Grupo Goyllarrisquizga, esta formación se emplaza en todo el núcleo del Anticlinal de Algamarca, siendo la roca caja de la mineralización.

Litológicamente está constituida por potentes estratos de areniscas cuarzosas, de color blanquecino, duras, con granos de cuarzo de tamaño medio a grueso. Los estratos tienen una dirección de N 137° y un buzamiento de 61°.

Es de edad cretácica del Berresiano y Valanginiano inferior (Herrera, 2012)



Figura 11. Estratos de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (Anticlinal de Algamarca)



Figura 12. Roca arenisca cuarzosa de la Formación Chimú.

### **5.6.2. FORMACIÓN SANTA**

Litológicamente está constituida por arcillolitas grises, oscuras a negras en estratos delgados laminares con niveles de areniscas limosas finas gris oscuras, caracteriza esta unidad la presencia de niveles de calizas gris oscuras de granos medio a fino en estratos definidos.

Esta Formación está ampliamente distribuida en el área de estudio, con azimut promedio de N 137°, buzamiento de 61 °, con un espesor de aproximadamente 500 m.

Esta formación se les aprecia en los flancos del anticlinal, la cual ha servido como sello y que han permitido el entrapamiento de la mineralización en las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.

Es de edad cretácica del Valenginiano superior y Hauteriaviano inferior (Herrera, 2012).



Figura 13. Vista del flanco oeste del anticlinal de Algamarca, línea azul es el contacto litológico de la Formación Santa y la Formación Chimú, línea roja representa a la veta Lucerito.



Figura 14. Arcillolita, margas de la Formación Santa, foto tomada en la Galería principal.

## 5.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 4.7.1. PLIEGUES

#### 4.7.1.1. ANTICLINAL DE ALGAMARCA

Tiene un azimut de  $N125^{\circ}$ , es aquí donde se emplaza la veta Lucerito, es de tipo chevrón, en la intersección del eje de este anticlinal con la falla del sistema  $N35^{\circ}$  llamada Santo Cristo.



Figura 15. Anticlinal de Algamarca, hospedante de la veta Lucerito.

El anticlinal Algamarca alberga a todas las vetas polimetálicas que constituyen este depósito vetiforme. Consta principalmente de areniscas cuarzosas blancas y muy duras de la Formación Chimú en la parte central como roca caja de la mineralización, así como arcillolitas carbonosas y areniscas de la Formación Santa encima de las cuarcitas y se les aprecia en los flancos del anticlinal, las cuales han servido como sellos y que han permitido el entrapamiento de la mineralización en las cuarcitas.



Figura 16. Se aprecia el anticlinal de Algamarca con la falla Santo Cristo que corta el eje de este anticlinal, y en el flanco oeste se emplazó la veta Lucerito.

**4.7.2. FALLAS**

El anticlinal de Algamarca, tiene dos sistemas de fallas, el sistema NE-SW, que son las fallas transversales al anticlinal y el sistema NW-SE fallas longitudinales, estos sistemas de fallas han afectado al anticlinal solo al flanco NW, donde se encuentra la veta Lucerito.

**5.8. CONTROL LITOLÓGICO DE LA VETA LUCERITO**

La veta Lucerito se emplaza en las rocas areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, siendo estas rocas las cajas de la veta. La veta Lucerito tiene un azimut de N229° y un buzamiento de 79°NW. En dirección SW del eje del anticlinal encontramos la Formación Santa, siendo esta un sello para la mineralización. La mineralización de la veta Lucerito alcanza el contacto de la Formación Chimú y Formación Santa. El contacto litológico tiene un azimut N130°, y un buzamiento 51°SW



Figura 17. Contacto litológico (izquierda: Formación Santa y derecha Formación Chimú).

### 5.9. CONTROL ESTRUCTURAL DE LA VETA LUCERITO

El control estructural está definido por la falla Dominga, pertenece al sistema de fallas NE-SW, es una falla de tipo dextral, tiene un azimut N131°, y un buzamiento de 55°SW, tiene una potencia de 80 cm, el relleno está compuesto por arcillas y óxidos.



Figura 18. Falla Dominga, controladora de la mineralización de la Veta Lucerito.

### 5.10. CONTROL MINERALOGICO

#### 5.10.1. Veta Lucerito.

La veta Lucerito pertenece al yacimiento de Alta Sulfatación de tipo vetiforme y polimetálico de cobre, plata y oro principalmente, emplazado en rocas sedimentarias donde la roca de caja es areniscas cuarzosas.

La mineralización de la veta Lucerito, se divide en 3 niveles o dominios mineralógicos, zona de Oxidación cerca de la charnela del anticlinal, zona de Enriquecimiento supergenico en la zona intermedia y zona hipógena o primaria a la base del Anticlinal.

#### **5.10.1.1. ZONA DE OXIDACIÓN**

Esta zona tiene un aproximado de 250 metros de profundidad desde la charnela del anticlinal de Algamarca. Consta principalmente de rellenos de óxidos de hierro como Jarosita, Goethita y Hematita, con mineralización de oro libre y plata diseminada.



Figura 19. Veta Lucerito, zona de óxidos como Jarosita, Goethita y Hematita (foto tomada en Galería Principal).

#### **5.10.1.2. ZONA SUPERGENA (Enriquecimiento Secundario)**

Es una zona de intercambio de mineralización, de óxidos a sulfuros. En la Veta Lucerito se ubica entre la cota 3030 a 3040 m.s.n.m. La mineralización de esta zona es Calcocina, Covelina, Hematita, Jarosita como minerales de mena, y Pirita, Marcasita y Cuarzo dentado como minerales de ganga.



Figura 20. Zona de mixtos (sulfuros y óxidos).

#### **5.10.1.3. ZONA HIPÓGENA (Enriquecimiento Primario)**

La mineralización principal en esta zona primaria consta de Tetraedrita, Tennantita, Chalcopirita, Bornita, Oro como minerales de mena y Pirita, Marcasita y Cuarzo dentado como minerales de ganga.



Figura 21. Zona de Sulfuros primarios de la Veta Lucerito.

La mineralización en el Yacimiento polimetálico de Algamarca consiste en sulfuros primarios de Cobre y Plata relleno de fracturas pre-existentes originadas por movimientos tectónicos regionales y que posteriormente mineralizo, originando de esta manera una zona de mineralización Supérgena, económicamente explotable con concentraciones de Oro y Plata en forma microscópicamente libre.

## 5.11. GEOMORFOLOGÍA

### 5.11.1. CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA

Clasificación morfogénica por pendientes según Rodríguez, S. (2016).

#### 5.11.1.1. Planicie (0° a 8°)

Se encuentran a lo largo de la charnela del anticlinal de Algamarca.

#### 5.11.1.2. Lomadas (8° a 20°)

Encontramos lomadas en la parte del anticlinal donde nacen los flancos.

#### 5.11.1.3. Laderas (20° a 50°)

Las laderas se localizan en la parte baja de los flancos, en la Formación Santa.

#### 5.11.1.4. Escarpas >50°

Son escarpas los flancos del anticlinal, en la Formación Chimú.



Figura 22. Geomorfología del anticlinal de Algamarca. Foto tomada de Fernández J. (2013)

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. MODELAMIENTO GEOLÓGICO

El modelamiento geológico para la veta Lucerito está determinado por el modelamiento Litológico y mineralógico.

##### 4.1.1. Modelamiento Litológico

Consistió en realizar el modelo en 3D, de la Formación Chimú, Formación Santa, esto se realizó en el Software Leapfrog Geo 4.0.

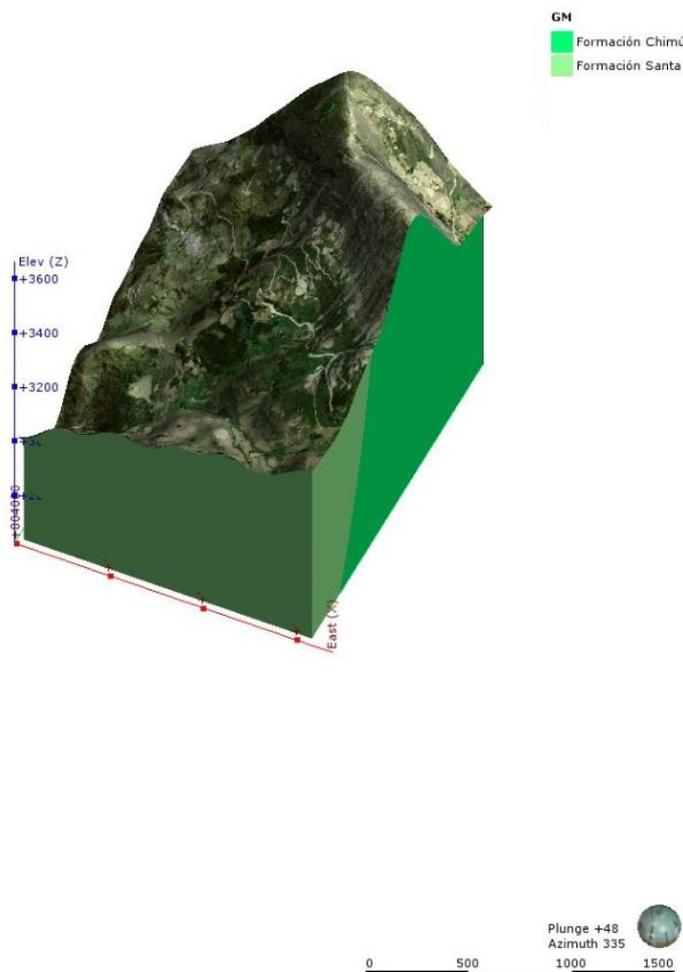


Figura 23. Modelo 3D de la Formación Chimú y Formación Santa, vista desde el Sur del Anticlinal de Algamarca.

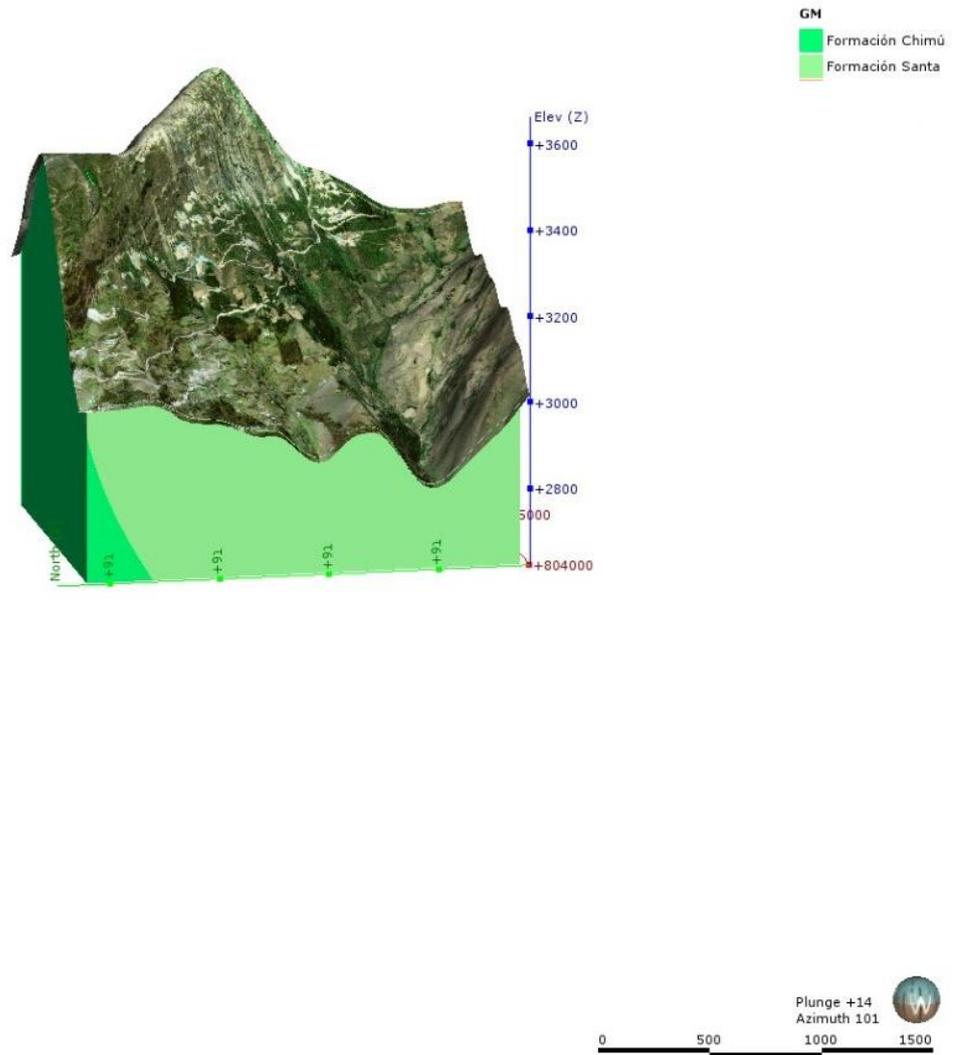


Figura 24. Modelo 3D de la Formación Chimú y Formación Santa, vista desde el Norte del Anticlinal de Algamarca.

#### 4.1.2. Modelamiento Mineralógico

Se realizó el modelo 3D de la formación Chimú, que es la formación geológica que está hospedando a la veta Lucerito, y a la Formación Santa que cumple la función de sello de la mineralización.

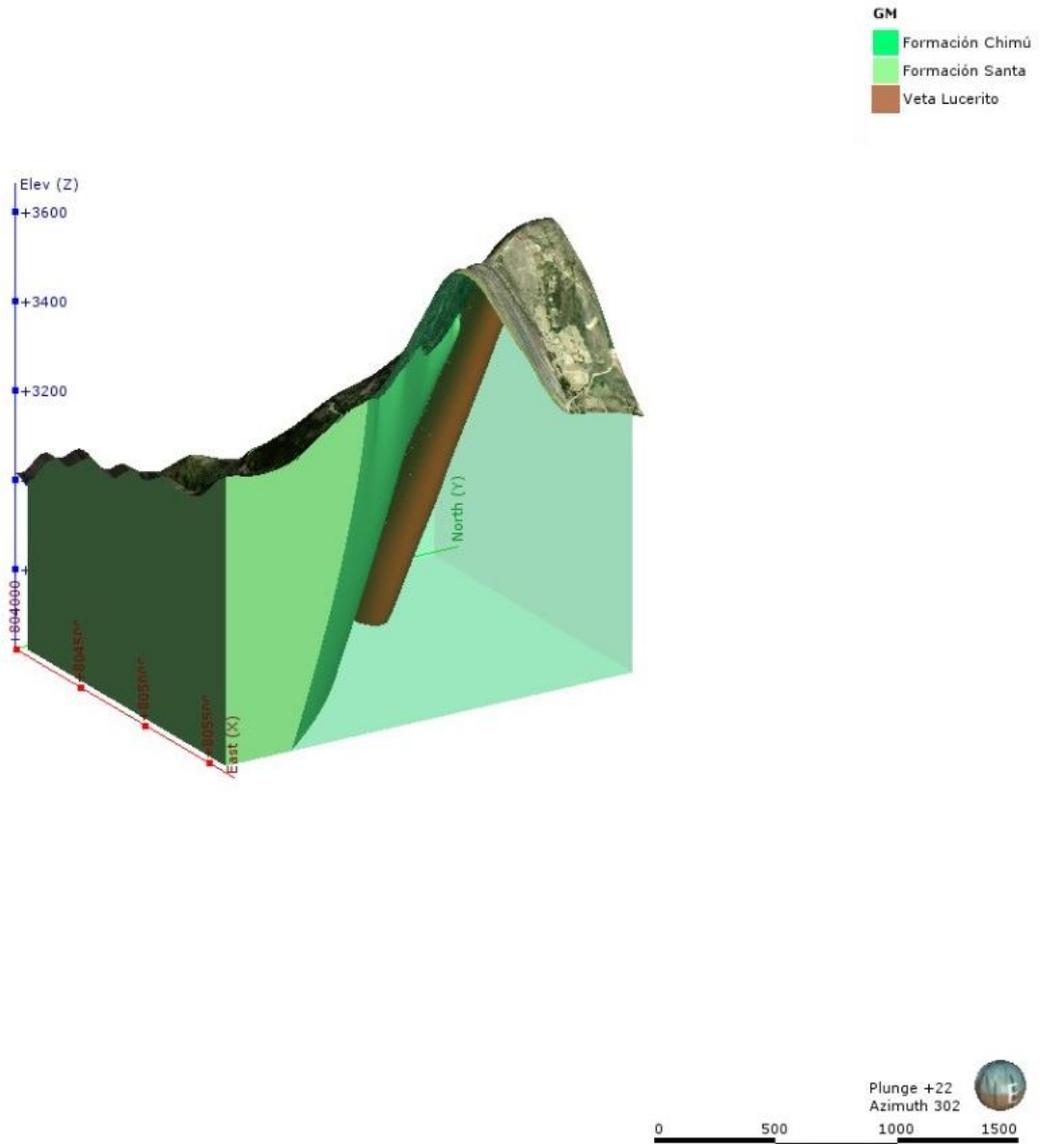


Figura 25. Modelo 3D de la Formación Chimú y Formación Santa y Veta Lucerito, vista desde el Sur del Anticlinal de Algamarca.

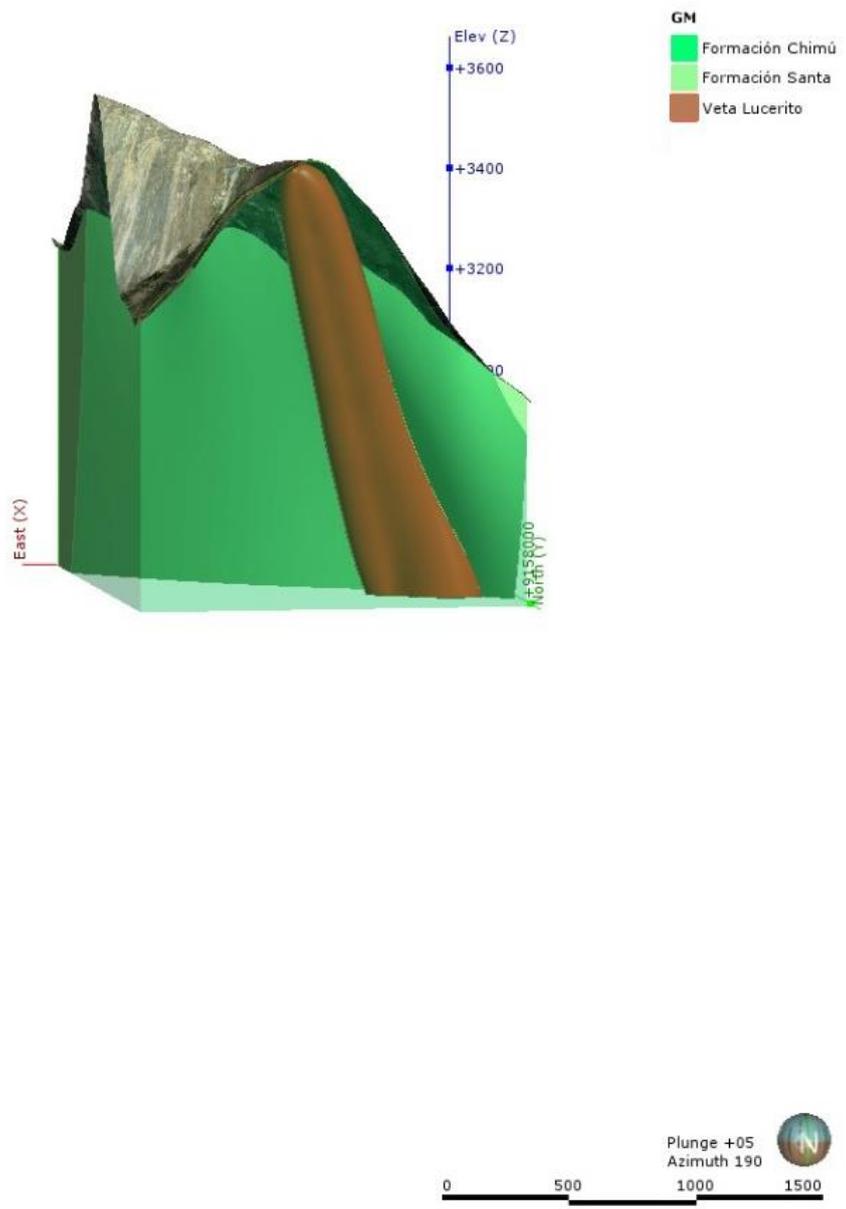


Figura 26. Modelo 3D de la Formación Chimú y Formación Santa, vista desde el Este del Anticlinal de Algamarca.

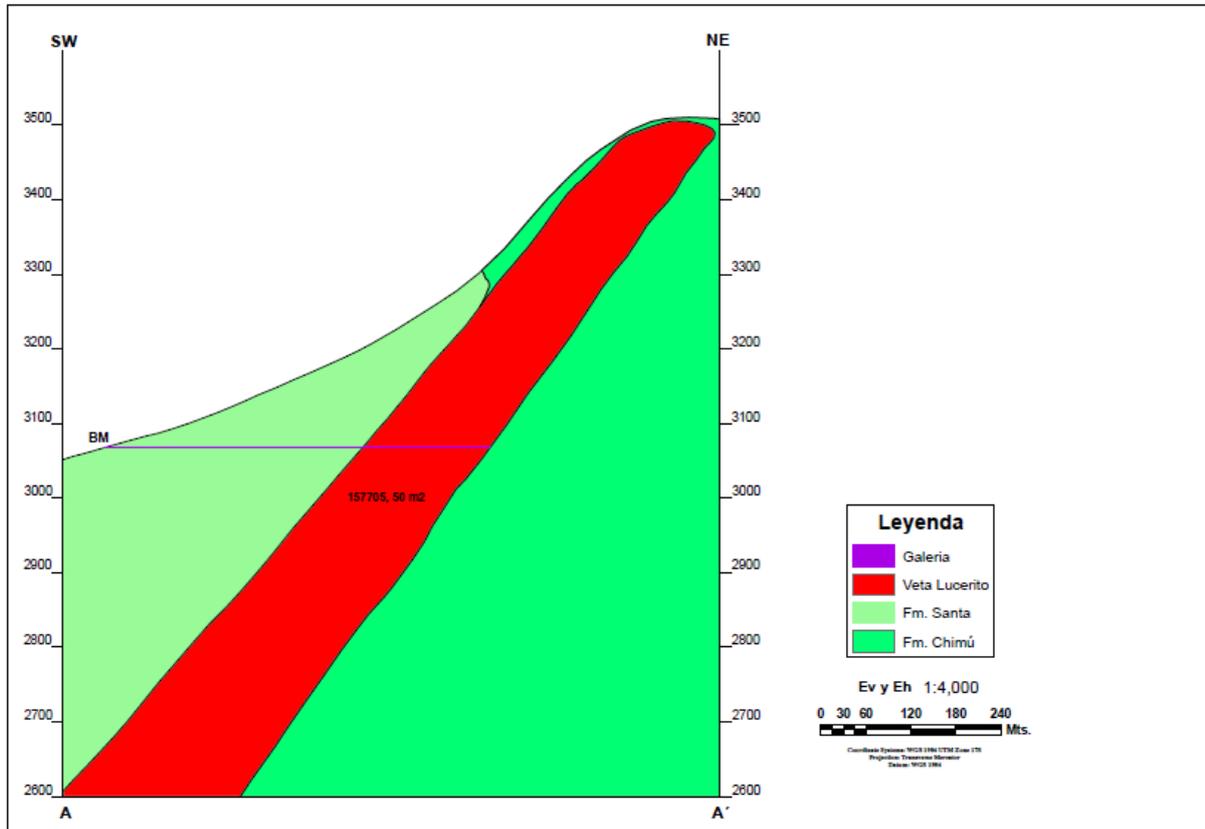


Figura 27. Delimitación de la veta Lucerito, teniendo como roca caja las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú y como sello las rocas arcillolitas, margas de la Formación Santa. El área de la veta Lucerito es 157,705.50 m<sup>2</sup>

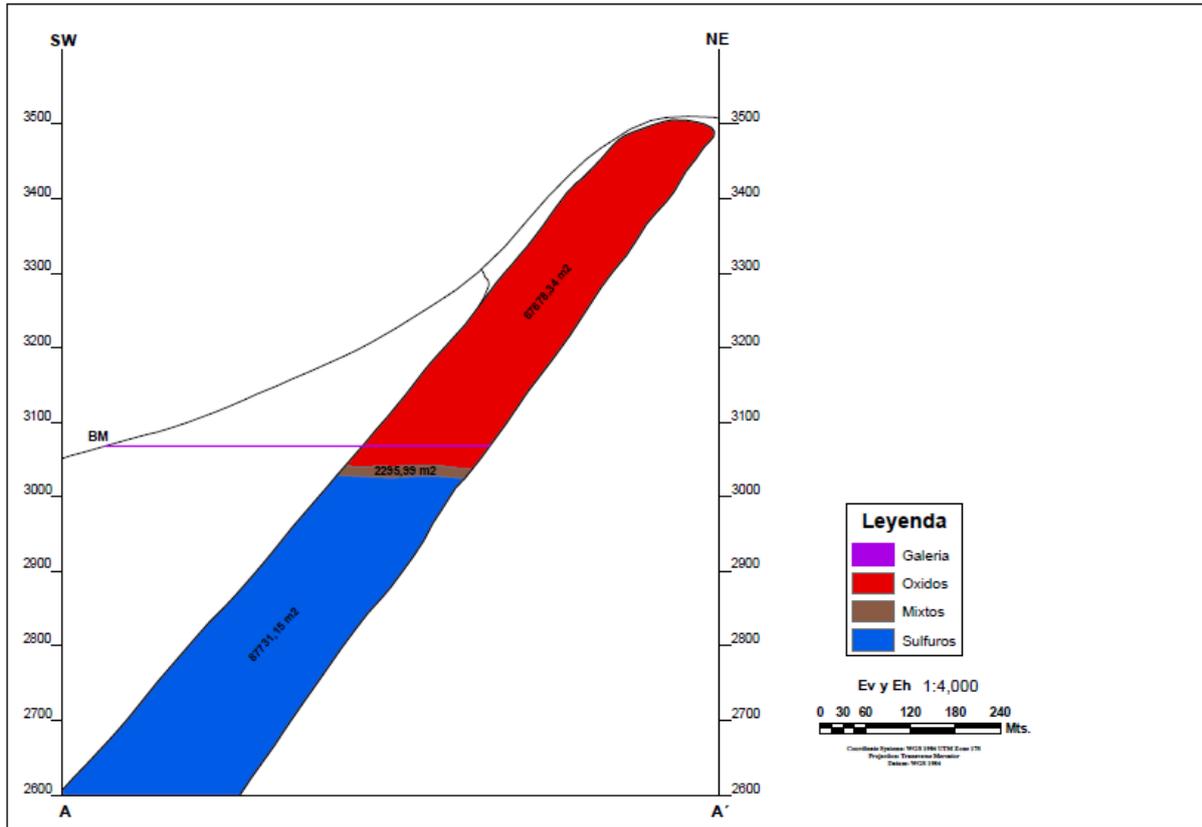


Figura 28. Zonificación de veta Lucerito de acuerdo a su tipo de mineralización, zona de Óxidos, zona de Mixtos y zona de Sulfuros.

## 4.2. CÁLCULO DE RESERVAS

### 4.2.1. Proceso de cálculo

Para la presente tesis, el proceso de cálculo tendrá los siguientes parámetros:

- a. Área del yacimiento
- b. Potencia de la veta
- c. Volumen del yacimiento
- d. Ley promedio
- e. Determinación de los recursos minerales medidos
- f. Recursos del componente mineral.

## a. Área del Yacimiento

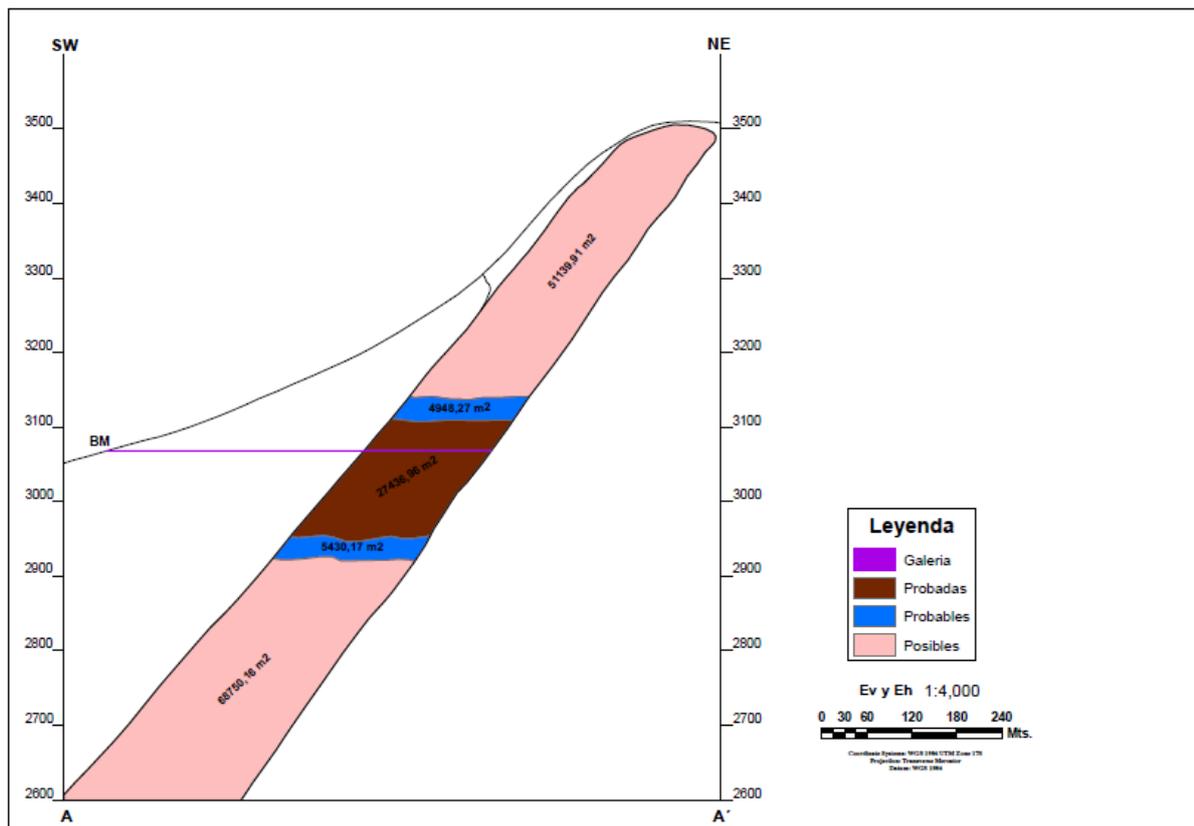


Figura 29. Áreas del yacimiento.

Cálculo de áreas de las reservas probadas, probables y posibles.

Mediante la delimitación gráfica del software ArcGIS 10.5 se han obtenido los siguientes valores.

Tabla 2. Cálculo de las áreas de los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 de la veta Lucerito.

BLOQUE	RESERVA	AREA (m <sup>2</sup> )
BLOQUE 1	Probadas	27,436.96 m <sup>2</sup>
BLOQUE 2	Probables	4,948.27 m <sup>2</sup>
BLOQUE 3	Probables	5,430.17 m <sup>2</sup>
BLOQUE 4	Posibles	51,139.91 m <sup>2</sup>
BLOQUE 5	Posibles	68,750.16 m <sup>2</sup>
BLOQUE TOTAL VETA LUCERITO		157,705.50 m <sup>2</sup>

## **b. Potencia de la veta**

La potencia de veta se determinó mediante medición directa de esta en las diferentes labores mineras existentes, galería, subniveles, chimeneas, piques. Al ser relativamente uniforme las medidas que varían entre 0.65 m a 0.80 m, se procedió a sacar el promedio de esta (tabla 4)

## **c. Volumen del yacimiento**

Para determinar el volumen, y una vez conocida el área de los bloques 1, 2, 3, 4 y 5, es necesario conocer el valor potencia media del bloque explotable, siendo esta de 0.72 metros (tabla 4). El volumen explotable de la veta Lucerito, se obtiene a través de la sumatoria de los volúmenes de los bloques 1, 2, 3, 4 y 5 (tabla 3).

$$V=A \times pot$$

Donde:

V: Volumen (m<sup>3</sup>)

A: Área (m<sup>2</sup>)

pot: potencia media de la veta Lucerito (0.72 m)

$$V \text{ bloque 1} = 27,436.96 \text{ m}^2 \times 0.72 \text{ m}$$

$$V \text{ bloque 1} = 19,754.61 \text{ m}^3$$

$$V \text{ bloque 2} = 4,948.27 \text{ m}^2 \times 0.72 \text{ m}$$

$$V \text{ bloque 2} = 3,562.75 \text{ m}^3$$

$$V \text{ bloque 3} = 5,430.17 \text{ m}^2 \times 0.72 \text{ m}$$

$$V \text{ bloque 3} = 3,909.72 \text{ m}^3$$

$$V \text{ bloque 4} = 51,139.91 \text{ m}^2 \times 0.72 \text{ m}$$

$$V \text{ bloque 4} = 36,820.74 \text{ m}^3$$

V bloque 5 = 68,750.16 m<sup>2</sup> x 0.72 m

**V bloque 5 = 49,500.12 m<sup>3</sup>**

Tabla 3. Cálculo de volúmenes veta Lucerito

<b>BLOQUES VETA LUCERITO</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
BLOQUE 1	19,754.61
BLOQUE 2	3,562.75
BLOQUE 3	3,909.72
BLOQUE 4	36,820.74
BLOQUE 5	49,500.12
<b>BLOQUE TOTAL</b>	<b>113,547.94</b>

**d. Ley promedio ponderada a la potencia de la veta.**

La ley promedio del depósito se calcula mediante la media ponderada, de las leyes obtenidas del método analítico FIRE ASSAY (fundición y copelación) en un laboratorio externo, de la veta Lucerito, y la potencia de la veta Lucerito en el lugar del muestreo.

$$Lm = \frac{\sum(Li \times pi)}{\sum pi}$$

Donde:

**Lm:** Ley Media

**li:** Leyes en Au y Ag de los tramos i

**pi:** Potencias de la veta en los tramos

Tabla 4. Códigos de las muestras con valores de potencia, ley media de Au, Ag y Cu media aritmética de la potencia

CODIGO DE MUESTRA	pi (m)	li: Au (g/ton)	li: Ag (Oz/ton)	li: (%)	Cu	li Au x pi	li Ag x pi	li Cu x pi
M1	0.62	23.7	12.7	no reporta	14.694	7.874	no reporta	
M2	0.60	6.9	19.6	no reporta	4.14	11.76	no reporta	
M3	0.80	14.7	15.45	no reporta	11.76	12.36	no reporta	
M4	0.65	18.15	15.82	no reporta	11.7975	10.283	no reporta	
M5	0.68	25.5	11.72	no reporta	17.34	7.9696	no reporta	
M6	0.80	11.35	12.8	no reporta	9.08	10.24	no reporta	
M7	0.68	11.55	15.68	no reporta	7.854	10.6624	no reporta	
M8	0.71	17.8	14.5	no reporta	12.638	10.295	no reporta	
M9	0.70	20.2	10.8	no reporta	14.14	7.56	no reporta	
M10	0.65	18.6	11.01	no reporta	12.09	7.1565	no reporta	
M11	0.65	17.2	17.25	no reporta	11.18	11.2125	no reporta	
M12	0.76	14.9	14.72	no reporta	11.324	11.1872	no reporta	
M13	0.80	25.3	13.9	no reporta	20.24	11.12	no reporta	
M14	0.69	24.6	16.4	no reporta	16.974	11.316	no reporta	
M15	0.69	18.6	15.92	no reporta	12.834	10.9848	no reporta	
M16	0.75	15.5	14.8	no reporta	11.625	11.1	no reporta	
M17	0.77	14.0	17.61	no reporta	10.78	13.5597	no reporta	
M18	0.76	11.6	32.45	24.47	8.816	24.662	18.5972	
M19	0.72	15.01	30.7	20.5	10.8072	22.104	14.76	
M20	0.66	14.25	28.6	18.9	9.405	18.876	12.474	
M21	0.76	10.89	35.7	18.5	8.2764	27.132	14.06	
M22	0.78	11.8	42.53	19.56	9.204	33.1734	15.2568	
M23	0.70	13.86	40.8	25.1	9.702	28.56	17.57	
M24	0.82	13.5	42.96	18.56	11.07	35.2272	15.2192	
M25	0.71	11.36	41.25	17.45	8.0656	29.2875	12.3895	
M26	0.70	12.96	39.8	16.98	9.072	27.86	11.886	
M27	0.68	14.5	43.61	17.52	9.86	29.6548	11.9136	
M28	0.61	13.8	40.7	23.7	8.418	24.827	14.457	
M29	0.63	14.9	40.5	24.1	9.387	25.515	15.183	
M30	0.83	11.2	37.91	22.6	9.296	31.4653	18.758	
M31	0.82	15.3	35.12	20.8	12.546	28.7984	17.056	
<b>SUMATORIA</b>	<b>22.18</b>				<b>344.42</b>	<b>563.78</b>	<b>209.58</b>	
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.72</b>							
<b>OXIDOS</b>		<b>MIXTOS</b>		<b>SULFUROS</b>				

Con los resultados obtenidos en la tabla 4, se puede determinar la ley promedio mediante la fórmula de ley media ponderada, obteniendo los siguientes resultados de ley para Au, Ag y Cu.

$$Lm Au = \frac{344.42}{22.18}$$

$$Lm Au = 15.52 \text{ g/ton}$$

$$Lm Ag = \frac{563.78}{22.18}$$

$$Lm Ag = 25.42 \text{ Oz/ton}$$

$$Lm Cu = \frac{209.58}{22.18}$$

$$Lm Cu = 9.45 \%$$

#### **e) Determinación de las reservas minerales medidos**

Conocidos el volumen y el peso específico, se puede calcular el tonelaje del bloque explotable delimitado de la veta Lucerito; el tonelaje total de las reservas se realiza a través de la suma de los recursos obtenidos para los bloques 1,2, 3,4 y 5.

El peso específico que se toma para el estudio es 3650 Kg/m<sup>3</sup>. Esto se sacó del promedio de los diferentes minerales de mena y ganga.

$$Rm = Vb \times Pe / 1000$$

Donde:

**Rm:** Reserva mineral (ton)

**Vb:** volumen de bloque (m<sup>3</sup>)

**Pe:** peso específico (Kg/m<sup>3</sup>)

Tabla 5. Determinación de las reservas mineral medido de los bloques delimitados de la veta Lucerito.

<b>BLOQUES VETA LUCERITO</b>	<b>VOLUMEN DE BLOQUE (m<sup>3</sup>)</b>	<b>RESERVA MINERAL (ton)</b>
BLOQUE 1	19,754.61	72,104.33
BLOQUE 2	3,562.75	13,004.04
BLOQUE 3	3,909.72	14,270.48
BLOQUE 4	36,820.74	134,395.70
BLOQUE 5	49,500.12	180,675.43
<b>BLOQUE TOTAL</b>	<b>Vt=113,547.94</b>	<b>Rt=414,449.98</b>

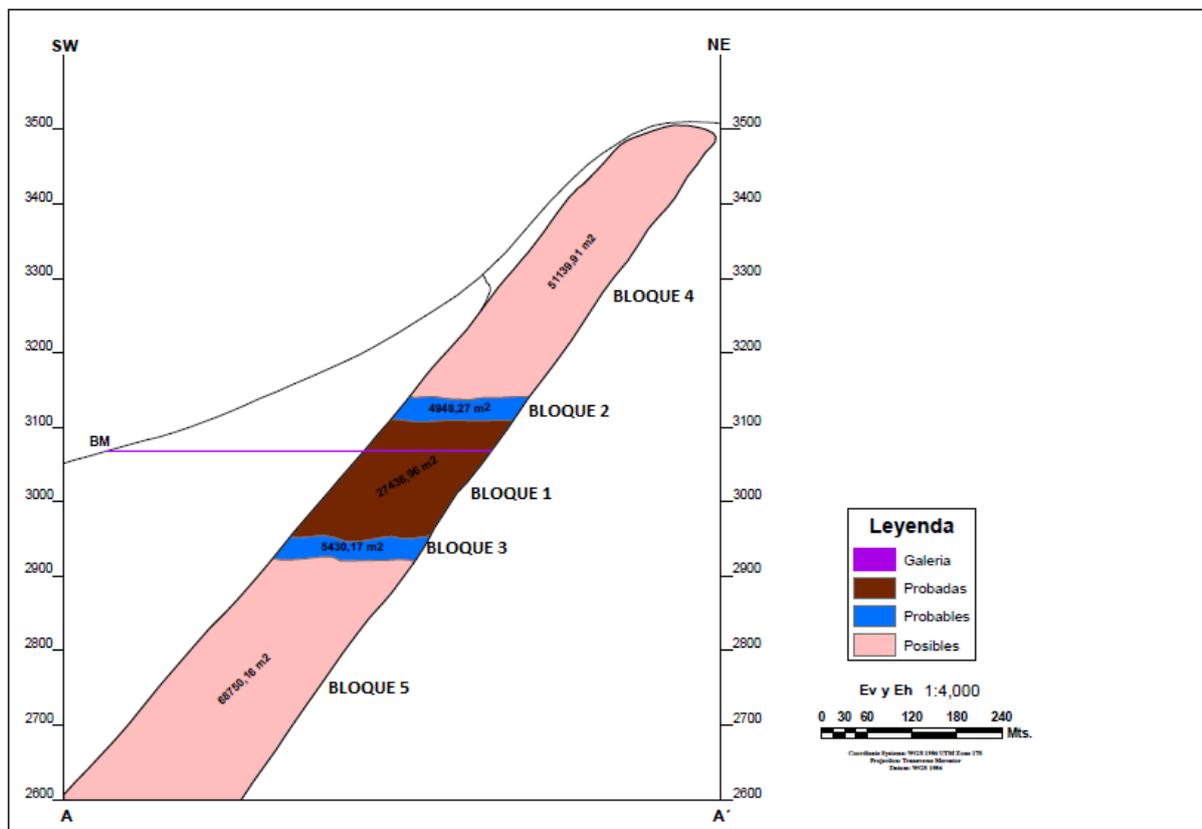


Figura 30. Bloques de la veta Lucerito.

Delimitación de bloques de la veta Lucerito.

### **RESERVAS PROBADAS**

Bloque 1

Volumen: 19,754.61 m<sup>3</sup>

Toneladas de mineral sin dilución: 72,104.33 ton

### **RESERVAS PROBABLES**

Bloque 2 + bloque 3

Volumen: 7,472.47 m<sup>3</sup>

Toneladas de mineral sin dilución: 27,274.52 ton

### **RECURSOS INFERIDOS (RESERVAS POSIBLES)**

Bloque 4 + bloque 5

Volumen: 86,320.86 m<sup>3</sup>

Toneladas de mineral sin dilución: 315,071.13 ton

### **f) Recursos minerales del componente aprovechable ( $R_{mca}$ ) metal**

Para conocer cuántas toneladas existen del componente a aprovecharse de Au, Ag y Cu; metal fino. Se debe de conocer el tonelaje de óxidos, mixtos y sulfuros, ya que los óxidos no tiene presencia de Cobre y las leyes varían.

**Tonelaje de Óxidos: 177,858.68 ton**

**Tonelaje de Mixtos: 6,033.86 ton**

**Tonelaje de Sulfuros: 230,557.46 ton**

$$R_{mca}=R \times L$$

Donde:

$R_{mca}$ : Recursos del componente aprovechable metálico (g, Oz y %)

$R$ : Recursos medidos del mineral (ton)

$L$ : Ley media del mineral (g/ton, Oz/ton, %/ton)

### **Recursos minerales del componente aprovechable para zona de Óxidos**

$$R_{mca} (Au)= 177,858.68 \text{ ton} \times 15.52 \text{ g/ton}$$

$$R_{mca} (Au)= 2,760,366.71 \text{ g}$$

$$R_{mca} (Au)= 88,743.5 \text{ Oz}$$

***Rmca (Ag)= 177,858.68 ton x 25.42 Oz/ton***

***Rmca (Ag)= 4,521,167.64 Oz***

#### **Recursos minerales del componente aprovechable para zona de Mixtos**

***Rmca (Au)= 6,033.86 ton x 15.52 g/ton***

***Rmca (Au)= 93,645.50 g***

***Rmca (Au)= 3,010.625 Oz***

***Rmca (Ag)= 6,033.86 ton x 25.42 Oz/ton***

***Rmca (Ag)= 153,380.72 Oz***

***Rmca (Cu)= 6,033.86 ton x 9.45 %/ton***

***Rmca (Cu)= 1,257,737.21 lb***

#### **Recursos minerales del componente aprovechable para zona de Sulfuros**

***Rmca (Au)= 230,557.46 ton x 15.52 g/ton***

***Rmca (Au)= 3,578,251.77 g***

***Rmca (Au)= 115,037.8 Oz***

***Rmca (Ag)= 230,557.46 ton x 25.42 Oz/ton***

***Rmca (Ag)= 5,860,770.63 Oz***

***Rmca (Cu)= 230,557.46 ton x 9.45 %/ton***

***Rmca (Cu)= 48,033,612.21 lb***

### **4.3. RESULTADOS**

Según el código australiano JORC, los recursos inferidos (reservas posibles) no se convierten en reservas, por lo tanto, se muestra los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 6. Cálculo de reservas de la veta Lucerito.

<b>CÁLCULO DE RESERVAS</b>	
Clasificación	Toneladas (ton)
Probadas - medido	72,104.33
Probables - Indicado	27,274.52
Inferido	315,071.13
<i>*Recurso mineral es la suma de medido, indicado e inferido</i>	
<b>Recurso mineral: 414449.98 ton</b>	

Tabla 7. Metal fino aprovechable de la veta Lucerito.

<b>Recursos minerales del componente aprovechable</b>			
Zona	Au (Oz)	Ag (Oz)	Cu (lb)
Óxidos	88,743.5	4,521,167.64	
Mixtos	3,010.625	153,380.72	1,257,737.21
Sulfuros	115,037.8	5,860,770.63	48,033,612.2
<b>TOTAL</b>	<b>206,792</b>	<b>10,535,319</b>	<b>49,291,349.4</b>

#### 4.4. DISCUSIÓN

Luego de realizar la presente investigación se puede definir las Formaciones geológicas, del modelo geológico que se realizó, son formaciones sedimentarias del Cretácico inferior, la Formación Santa que se ubica al SW del eje del anticlinal de Algamarca que cumple la función del sello de la mineralización, y la Formación Chimú que engloba la parte del eje del anticlinal de Algamarca, es la que hospeda a la mineralización de la Veta Lucerito. Esta estructura mineralizada pertenece a un yacimiento de tipo hidrotermal de alta sulfuración, con mineralización de Au, Ag y Cu, en zonas de Óxidos, Supérgeno (Mixtos) e Hipógena (Sulfuros).

Los elementos para el cálculo de reservas como el contacto geológico que está determinado por el contacto geológico de la formación Santa y formación Chimú y por la falla Dominga, el contacto mineralógico que divide a la mineralización en óxidos,

mixtos y sulfuros. El contacto económico que pone un límite en cota de 2600 m.s.n.m, ya que más a profundidad ya deja de ser económico el recurso mineral.

La exploración mediante una galería principal, piques, chimeneas y subniveles ayudo para hacer el muestreo y además delimitar las zonas de mineralización y de reservas. Para el cálculo de reservas fue de mucha ayuda el Código Australiano JORC, es de este código donde partimos para calcular las reservas probadas, posibles y recursos inferidos.

Para el cálculo de reservas se calculó del área de estas y por ser una veta regular en potencia de cálculo el volumen para luego proceder a calcular el tonelaje de las reservas probadas, probables y recursos inferidos.

Los recursos minerales del componente aprovechable (metal fino) se calcularon separando zonas de distinta mineralización: óxidos, mixtos y sulfuros, debido a q los óxidos no reportan contenido de cobre en las respectivas muestras que se realizó.

#### **4.5. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

Con la investigación se ha podido demostrar que el modelamiento geológico contribuyo en el cálculo de reservas minerales de la veta Lucerito, debido a que una vez modelado 3D la veta se pudo calcular el área total y de los bloques de las reservas probadas, probables y recursos inferidos, es de esta manera que se calcula el volumen de esta, para finalizar calculando el tonelaje. Ahora HNS CONSORCIO titular minero de la mina Nueva Esperanza debe de incrementar su producción, haciendo un buen diseño y un buen planeamiento de mina, además se propone un nuevo proyecto a 2700 m.s.n.m, para extracción de mineral y bajar nuestro costo operativo.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- Se calculo las reservas minerales y recursos minerales de la veta Lucerito, obteniendo como reservas probadas: 72104.33 toneladas, reservas probables: 27274.52 toneladas y recursos inferidos: 315071.13 toneladas.
- Se calculo los recursos minerales del componente aprovechable (metal fino), en la zona de óxidos se obtendrá 2760366.71 gramos de oro y 4521167.64 onzas de plata. La zona de mixtos se tendrá 93645.5 gramos de oro, 153380.72 onzas de plata y 1257737.21 libras de cobre. En la zona de sulfuros de obtendrá 3578251.77 gramos de oro, 5860770.63 onzas de plata y 48033612.2 libras de cobre.
- La veta Lucerito pertenece a un yacimiento hidrotermal de alta sulfuración, con mineralización de oro, plata y cobre.
- La roca encajonante principal lo constituye las areniscas cuarzosas de la formación Chimú, las cuales no han sufrido ningún tipo de alteración o tal vez ha sido mínimo, que no se le aprecia fácilmente, y el zonamiento de la veta lucerito está determinado por la zona de Óxidos, zona Supérgena (mixtos) y la zona hipógena (sulfuros).
- Los dos vectores que están controlando la mineralización en la veta lucerito son: el contacto geológico de la Formación Santa y Formación Chimú y la falla Dominga.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios petrográficos y mineralógicos para determinar mejor los ensambles de mineralización y las posibles alteraciones que tengamos.
- Realizar un Crucero (labor de desarrollo) en la cota 2700 m.s.n.m, de esta manera reducir el costo operativo y aumentar la certeza de las reservas minerales.
- Elaborar una campaña de perforación diamantina, para reconocer la veta Lucerito debajo de la cota 2700 m.s.n.m
- Complementar con un estudio de cálculo de reservas con un Software 3D para tener una mejor estimación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO, M. 2007. Estimación de recursos mineros. Escuela de minas de París.

ALFARO, M. 2007. Métodos tradicionales de estimación de reservas. Escuela de minas de París.

ACOSTA, A. 2013. Depósitos epitermales. Lima.

ARIAS, C. 2013. Planeamiento y Diseño del Sistema de Extracción, del Proyecto de Profundización de la U.O. San Braulio Uno.

DE LA HUERTA, G. 2008. Economía de Recursos no Renovables.

OCHANTE, J. 2010. Ley de Corte, su Cálculo y Aplicaciones (Cut Off).

ORCHE, G. 1999. Manual de Evaluación de Yacimientos Minerales.

OYARZUN, R. 2011. Geología de Minas, Exploración y Evaluación.

ROJAS, V. 2013. Minería Subterránea. Cutt and Fill.

RUIZ, D. 2010. Aplicación de Software libre para la Estimación de Recursos y para la Evaluación técnica económica de las reservas Minerales. Tesis Ing. Minas. Universidad Nacional de Piura.

SABALZA, M. 2006. Evaluación económica de proyectos de cooperación.

TORRES, V. 2006. Ley de Corte o Cut Off.

VEGA, A. 2013. Cálculo de reservas de la veta Paraíso Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez. Tesis Ing. Geol. Guayaquil, Ecuador. ESPOL.

- CASTILLO, Y. 2018. Estimación de Recursos y Reservas del Yacimiento Aurífero FIDAMI, Sancos – Lucanas – Ayacucho. Universidad Nacional del Altiplano.
- BATEMAN, A. 1982. Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico. Barcelona, España.
- MORALES, P. 2014. Cocientes Metálicos y Cálculo de Reservas Minerales de la Veta Cinthia -Proyecto Minero Caracol S.A.C.-Barranca-Lima. Universidad Nacional del Altiplano.
- GAGLIUFFI, P. 1997. Alteraciones hidrotermales. Sociedad geológica USA.
- ALBUJA, J. 2017. Caracterización Geológica y Cálculo de Reservas de la Veta Jane, en la Mina “Golden Comunitaria” de la Parroquia Huertas, Cantón Zaruma. Universidad Central del Ecuador
- BONILLA, W. 2009. Metalogenia del distrito minero Zaruma – Portovelo, República del Ecuador, tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- CALVA, W. 2016. Diseño de explotación de las vetas 4N Y 5N existentes en el área minera Cebral, ubicada en el distrito minero Portovelo-Zaruma. Quito, Ecuador
- HEDENQUIST, J., IZAWA, E., ARRIBAS, A. & WHITE N. 2001. Yacimientos epitermales de oro: tipos de mineralización, características y exploración.
- LEIVA, P. 2008. Interpretación geoquímica – estadística de las hojas topográficas escala 1:50.000 de Paccha y Zaruma con implicación del

sistema de vetas de portovelo aplicado a la minería y medio ambiente. Quito, Ecuador.

PRODEMINCA, 2000. Depósitos epitermales de la Cordillera Andina: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Quito, Ecuador, UCP  
PRODEMINCA, Proyecto MEM BIRF 36-55 EC, v. 2.

MASA, Y. 2017. Estimación de Reservas Minerales de Oro y Plata en la Veta Karina - Los Pircos, Santa Cruz – Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca.

VALENZUELA, G. & Buendía, C. 2007. Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma. Universidad Continental.

MAYTA, O. & MEZA, J. 2019. Buenaventura. Manual de Inventario de Minerales.

VAN THOURNOUT, F., SALEMINK, J., VALENZUELA, G., MERLYN, M., BOVEN, A. & MUCHEZ P. 1995. Portovelo: a volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America. Mineralium Deposita.

LITHERLAND, M., ASPDEN, J., JEMIELITA, R. 1994. The Metamorphic Belts of Ecuador (1 ed.). Nottingham, Inglaterra.

BGS & CODIGEM. 1994. Geological and Metal Occurrence maps of the Southern Cordillera Real and El Oro Metamorphic Belts, Ecuador.

## **ANEXOS**

1. Inventario de minerales
2. Resultado de muestras enviadas a laboratorio.
3. Plano de Ubicación
4. Plano Geológico a nivel de Superficie
5. Nano geología a nivel de Galería principal Nivel 3063
6. Plano de cartografiado de veta Lucerito a nivel de Galería Principal
7. Plano de muestreo.

<b>Muestra: 1</b>		<b>Muestra: 2</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> cuarzo, piritita, calcantita, Covelina		<b>Minerales presentes:</b> cuarzo, goethita, jarosita.	
<p><b>Descripción:</b> cuarzo en estado puro incoloro, con aspecto blanquecino debido a inclusiones, la muestra presenta piritita en un sistema cristalino cubico, los cuales se encuentran dentro de los cristales de cuarzo, además de calcantita en menor porcentaje, y covelina en pequeñas pátinas de color azul.</p>		<p><b>Descripción:</b> Cuarzo translucido conocido como cristal de roca, cristalizado en columnas (diente de perro); la muestra de la izquierda se encuentra cubierto por goethita en su mayoría con pequeñas patinas de jarosita, de la derecha el cuarzo se encuentra cubierta por jarosita, otorgándolos el color respectivo.</p>	
<b>Muestra: 3</b>		<b>Muestra: 4</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> cuarzo, piritita, calcopiritita, covelina		<b>Minerales presentes:</b> Tennantita, Cuarzo, calcantita, covelina	
<p><b>Descripción:</b> cuarzo translucido con habito prismático, la covelina se encuentra cubriendo todos los cristales cúbicos de piritita, además se observa calcopiritita siendo este de un color amarillo latón y pequeñas patinas de calcantita de un color variante entre verde y celeste.</p>		<p><b>Descripción:</b> La tennantita es un mineral de sulfuro de Hierro, cobre y arsénico, presenta habito cubico; se observa cuarzos cristalizados piramidales, la covelina se encuentra como patina sobre la piritita (habito cubico) y la calcantita se encuentra en pequeñas cantidades de color celeste pálido</p>	

<b>Muestra: 5</b>		<b>Muestra: 6</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> tennantita, pirita, cuarzo, tetraedrita		<b>Minerales presentes:</b> tennantita, cuarzo, pitita y calcantita	
<p><b>Descripción:</b> La muestra presenta tennantita en un 90%, además de observarse tetraedrita con cristales de 1cm con sistema cristalino tetraédrico, los cuarzos presentes son hialinos por lo que están en estado puro, su sistema cristalino es piramidal y la pirita se encuentra en pequeños cubos de color</p>		<p><b>Descripción:</b> La muestra está representada por el mineral tennantita el cual es identificado por su color plumizo y una raya parda rojiza, presenta cuarzo translucido con habito piramidal, además se observa pirita la cual se identifica por su color amarillo latón y su raya negra parduzca, también se encuentran patinas de calcantita de color verde claro y covelina (azul añil) por toda la muestra</p>	
<b>Muestra: 7</b>		<b>Muestra: 8</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> Tetraedrita. Pirita, cuarzo.		<b>Minerales presentes:</b> Calcantita, calcopirita, pirita, arcillas	
<p><b>Descripción:</b> La tetraedrita es un sulfuro de hierro, cobre y antimonio, se observa con un sistema cristalino Tetraédrico, la muestra contiene pequeñas cantidades de pirita (sistema cristalino cubico) y cuarzo.</p>		<p><b>Descripción:</b> calcantita de color celeste verdoso, con presencia de calcopirita y pirita de color amarillo cobre y plomo respectivamente, además de contener arcillas de color blanco y plomo debido a las diferentes alteraciones que ha sufrido durante su formación.</p>	

<b>Muestra: 9</b>		<b>Muestra: 10</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> Calcantita, calcopirita, pirita		<b>Minerales presentes:</b> Bornita, cuarzo, calcopirita, pirita	
<p>calcantita de color verde, la variedad de tonos se produce por su deshidratación, con presencia de calcopirita y pirita de color amarillo cobre y plomo respectivamente, además de contener arcillas de color blanco-plomo debido a las diferentes alteraciones que ha sufrido durante su formación.</p>		<p><b>Descripción:</b> sulfuro mixto de hierro y cobre, principal mena de cobre, contiene destellos iridiscentes de color violeta, azul y rojo. Se le conoce como "mena de pavo real", las muestras presentas cuarzo translucido con habito prismático, además de pirita de habito cubico el cual se encuentra cubierta por la bornita.</p>	
<b>Muestra: 11</b>		<b>Muestra: 12</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> cobre nativo		<b>Minerales presentes:</b> pirita, cuarzo, covelina, arcillas	
<p><b>Descripción:</b> elemento metálico de color rojizo que se encuentra en zonas oxidadas sobrepuestos a depósitos pórfidos cupríferos, como elemento nativo es raro encontrarlo en grandes cantidades, por tal razón se busca minerales que lo contengan (sulfuros).</p>		<p><b>Descripción:</b> la mineralización se encuentra sobre roca caja (arenisca cuarzosa) contiene pirita con un sistema cubico, de color plomo, amarillo bronce de brillo metálico, además de cuarzo translúcido y piramidal, pequeñas pátinas de covelina (azul añil)</p>	

<b>Muestra: 13</b>		<b>Muestra: 14</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> acantita		<b>Minerales presentes:</b> calcosina, covelina, pirita, calcopirita, tennantita.	
<p><b>Descripción:</b> La acantita es un mineral del grupo de los sulfuros, químicamente sulfuro de plata puro, este mineral se puede identificar físicamente por su brillo metálico y su color gris oscuro casi negro, tiene un sistema cristalino monoclínico.</p>		<p><b>Descripción:</b> El mineral representativo de la muestra es la tennantita con un 90%, la covelina se encuentra como pátinas por toda la muestra de un color azul añil, la pirita y calcopirita al igual que la covelina se encuentra en pequeñas cantidades, además se puede observar cuarzo hialino.</p>	
<b>Muestra: 15</b>		<b>Muestra: 16</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes:</b> calcosina, tennantita, calcantita, pirita, calcopirita, óxidos (jarosita, hematita)		<b>Minerales presentes:</b> Hematita	
<p><b>Descripción:</b> La muestra presenta diversos minerales, calcosina (brillo metálico), tennantita(plomo opaco) , pátinas de calcantita (celestes verdosos), calcopirita( amarillo cobre), pirita y covelina en pequeñas cantidades, óxidos como jarosita y hematita en pátinas por toda la muestra.</p>		<p><b>Descripción:</b> muestra de hematita, de habito fibroso, color castaño rojizo, identificada por el color de su raya (rojizo), compuesto de oxido ferroso y constituye una importante mena de hierro, presenta un brillo opaco con una dureza de 5.5 a 6.5</p>	

<b>Muestra: 17</b>		<b>Muestra: 18</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes: Jarosita, hematita.</b>		<b>Minerales presentes: goethita, hematita, jarosita</b>	
<p><b>Descripción:</b> la muestra presenta minerales de óxidos en forma terrosa sobre roca arenisca cuarzosa, la jarosita se encuentra de color amarillo latón sobre la mayor parte de la roca y la hematita de color rojo pardusca se observa en menor cantidad.</p>		<p><b>Descripción:</b> la muestra presenta una variedad de óxidos de hierro presenta tonalidades negras, rojizas y amarillentas, con un hábito botroidal, además se puede observar patinas de jarosita siendo de color amarillo y hematita de color rojiza, todos estos minerales se encuentran sobre roca cuarzo-arenisca.</p>	
<b>Muestra: 19</b>		<b>Muestra: 20</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes: hematita, goethita</b>		<b>Minerales presentes: goethita iridiscente</b>	
<p><b>Descripción:</b> la muestra contiene óxidos de hierro sobre roca de arenisca cuarzosa, la goethita presenta un hábito botroidal de color negrozco a rojo pardo, la hematita se encuentra en forma terrosa de color rojiza pardusca</p>		<p><b>Descripción:</b> la muestra contiene goethita con hábito botroidal de color negro-rojiza la cual se encuentra sobre roca arenisca cuarzosa siendo esta un óxido de hierro la cual esta irisada.</p>	

<b>Muestra: 21</b>		<b>Muestra: 22</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes: calcopirita, pirita, cuarzo</b>		<b>Minerales presentes: cuarzo, pirita</b>	
<p><b>Descripción:</b> La calcopirita presenta un color amarillo bronce, además de pirita de color plomo de cristalización cubica, la muestra contiene brillo metálico, además presenta cuarzo translucido.</p>		<p><b>Descripción:</b> La pirita se encuentra cristalizada en un sistema cubico y octogonal presentando un color plomo metálico, el cuarzo presente se observa de forma cristalizada translucida y masiva, estos minerales se encuentran en sobre roca de arenisca cuarzosa.</p>	
<b>Muestra: 23</b>		<b>Muestra: 24</b>	
<b>Veta: Lucerito</b>		<b>Veta: Lucerito</b>	
<b>Minerales presentes: covelina, pirita, cuarzo, tennantita, arcillas</b>		<b>Minerales presentes: calcocina, calcantita, cuarzo, pirita</b>	
<p><b>Descripción:</b> El mineral con mayor % de la muestra es la tennantita de color plomo y brillo metálico, sobre toda esta se observa la covelina de un color azul añil brillante, en pequeñas partes de la muestra se encuentran piritas diferenciadas por un amarillo latón brillante, la arcilla está presente de forma terrosa, todos estos minerales se encuentran emplazadas en roca (arenisca cuarzosa)</p>		<p><b>Descripción:</b> La calcosina como sulfuro de cobre se presenta en la muestra de color gris a negro, con un tinte azulado iridiscente, Los cristales tienen forma pseudo-hexagonal, en la parte posterior se encuentra calcantita, identificado de color celeste verdusco, la pirita de color amarillo latón está presente en pequeños cristales cúbicos y de forma masiva, el cuarzo se encuentra en pequeños cristales por toda la muestra de forma hialina.</p>	



## Amadeo Avogadro Laboratorio Químico

ANÁLISIS QUÍMICO DE MINERALES

### CERTIFICADO DE ENSAYO QUÍMICO

**Cliente:** HNS CONSORCIO Certificado N°012425-4  
**Muestra:** ANALISIS DE MINERAL  
**Codificación:** JP- SN3  
**Detalle del envase:** BOLSA SIN SELLAR  
**Fecha de recepción:** 27/10/2022  
**Fecha de emisión:** 28/10/2022

#### RESULTADOS:

Descripción de Muestra	LEYES (g/tm)	
	Au (Oro)	Ag (Plata)
AURIFERO	13.55	134.90
	LEYES (oz/tc)	
	Au (Oro)	Ag (Plata)
	0.395	3.934

**Método Analítico:** FIRE ASSAY (fundición y copelación)

**Analito:** Au - Ag

Ing. Luis Torres Fevilly  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. N° 192922

NOTA: LOS RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS CUANTIFICADOS

POR VOLUMETRIA MENORES AL 1% SE RECOMIENDA ENSAYO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

\*Este reporte no debe reproducirse total ni parcial sin autorización escrita de Amadeo Avogadro Laboratorio.  
\*Los resultados de este Certificado solo corresponden a la muestra recibida en nuestra oficina.  
\*Los resultados de las muestras se guardaran por un periodo máximo de 1 mes.



*Amadeo Avogadro Laboratorio Químico*  
ANÁLISIS QUÍMICO DE MINERALES

**CERTIFICADO DE ENSAYO QUÍMICO**

Ciente: **HNS CONSORCIO** Certificado N°012425-3  
Muestra: **ANÁLISIS DE MINERAL**  
Codificación: **ARZA - SN3 - RAMPA**  
Detalle del envase: **BOLSA SIN SELLAR**  
Fecha de recepción: **27/10/2022**  
Fecha de emisión: **28/10/2022**

**RESULTADOS:**

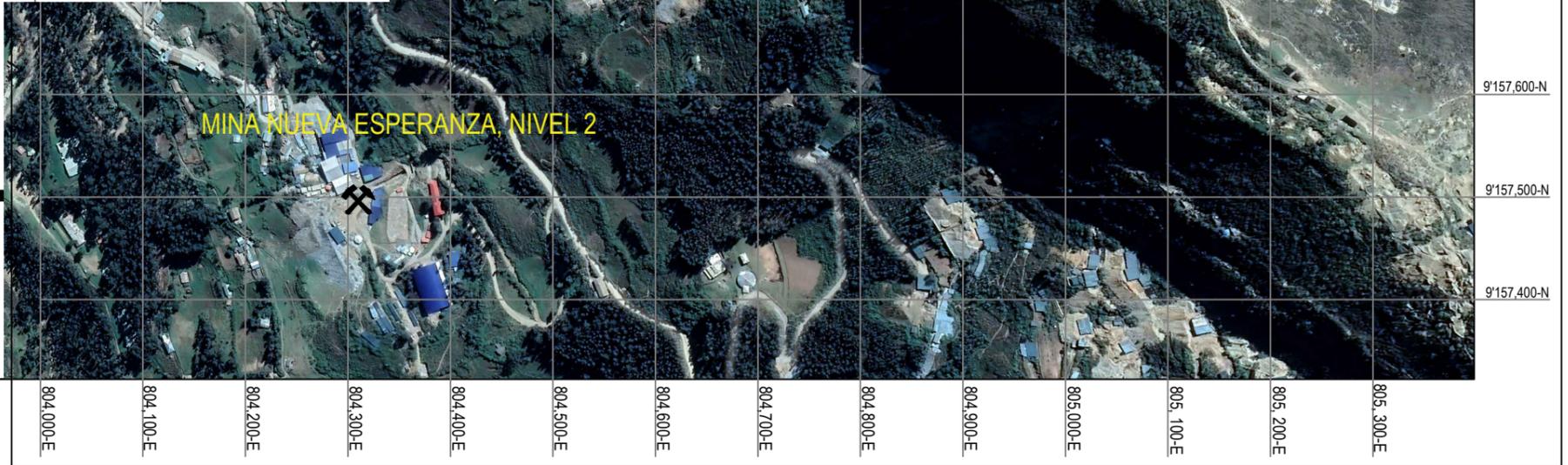
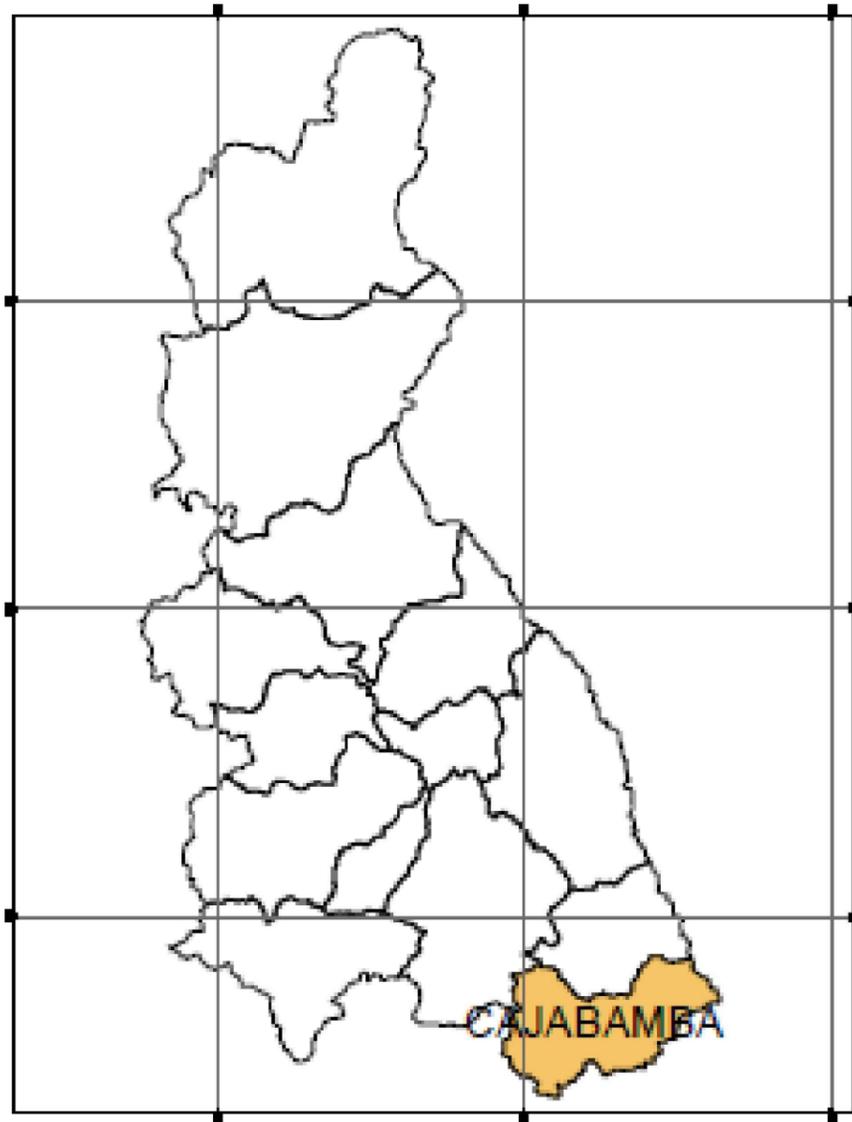
Descripción de Muestra	LEYES (g/tm)	
	Au (Oro)	Ag (Plata)
AURIFERO	14.45	202.55
	LEYES (oz/tc)	
	Au (Oro)	Ag (Plata)
	0.421	5.907

Método Analítico: **FIRE ASSAY (fundición y copelación)**  
Analito: **Au - Ag**

Ing. Luis Torres Feijl  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. N° 192922

NOTA: LOS RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS CUANTIFICADOS  
POR VOLUMETRIA MENORES AL 1% SE RECOMIENDA ENSAYO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

\*Este reporte no debe reproducirse total ni parcial sin autorización escrita de Amadeo Avogadro Laboratorio.  
\*Los resultados de este Certificado solo corresponden a la muestra recibida en nuestra oficina.  
\*Los resultados de las muestras se guardaran por un periodo máximo de 1 mes.



**COORDENADAS BOCAMINA**

	LATITUD	LONGITUD	COTA
BM	804325.114	9157508.865	3063 m.s.n.m

**LEYENDA**

- Veta Lucerito
- Distrito
- Mina Nueva Esperanza NV 2



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

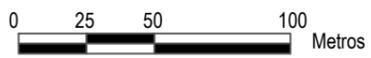
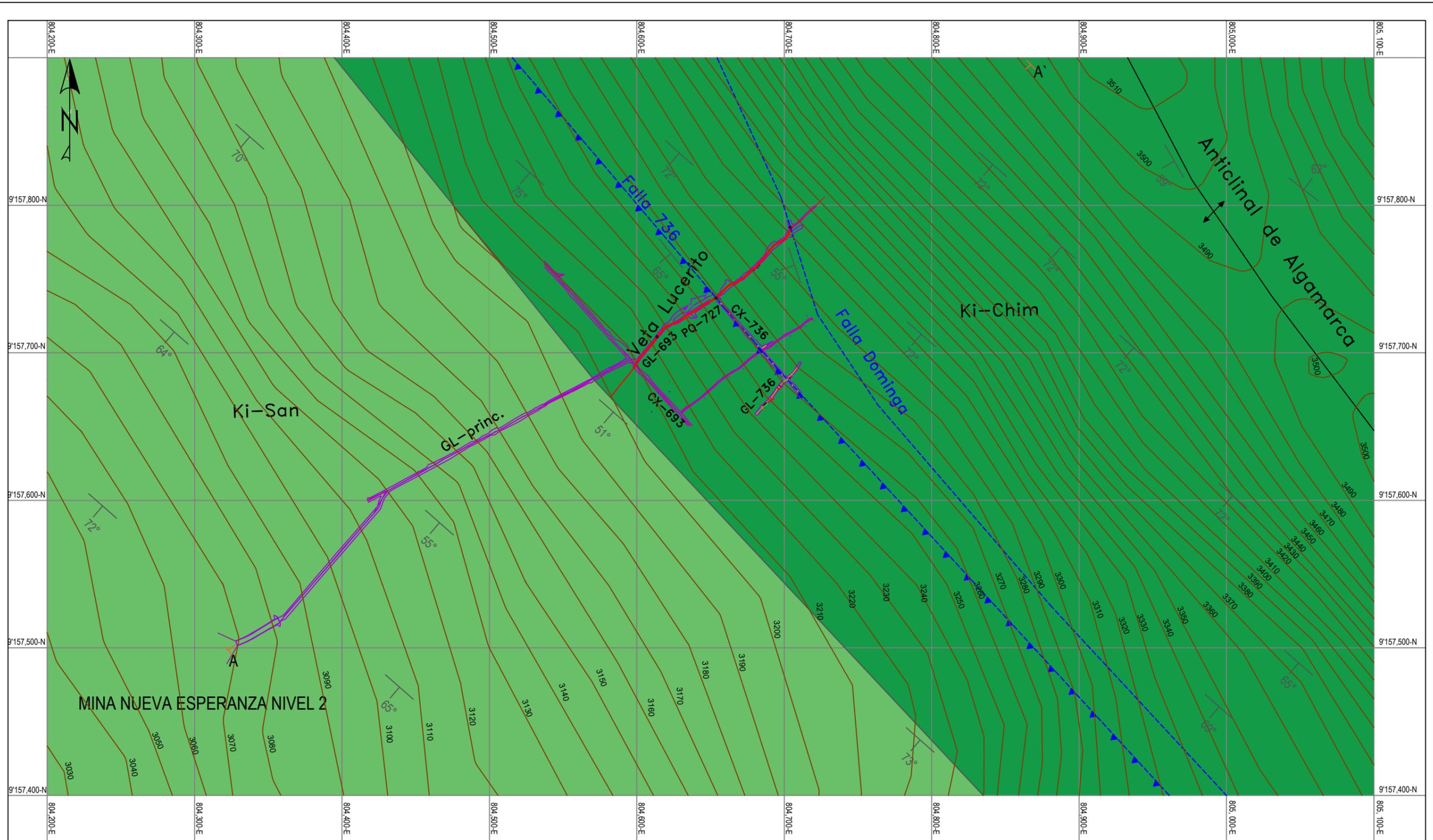


TESIS: MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA VETA LUCERITO - MINA NUEVA ESPERANZA, NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA

PLANO:  
**01**

PLANO: UBICACIÓN  
 TESISTA: Bach. EBERT LUIS CUEVA BUSTAMANTE  
 ASESOR: M. Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

ESCALA: 1/6000  
 FECHA: julio, 2022



Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17 S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

COORDENADAS BOCAMINA

	LATITUD	LONGITUD	COTA
BM	804325.114	9157508.865	3063 m.s.n.m

GEOLOGÍA

- Formación Santa
- Formación Chimú

SIMBOLOGÍA

- Trazo de perfil
- Curvas de nivel
- Punto topográfico
- Labor minera

ESTRUCTURAS

- Falla inversa
- Anticlinal
- Falla dextral
- Buzamiento



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

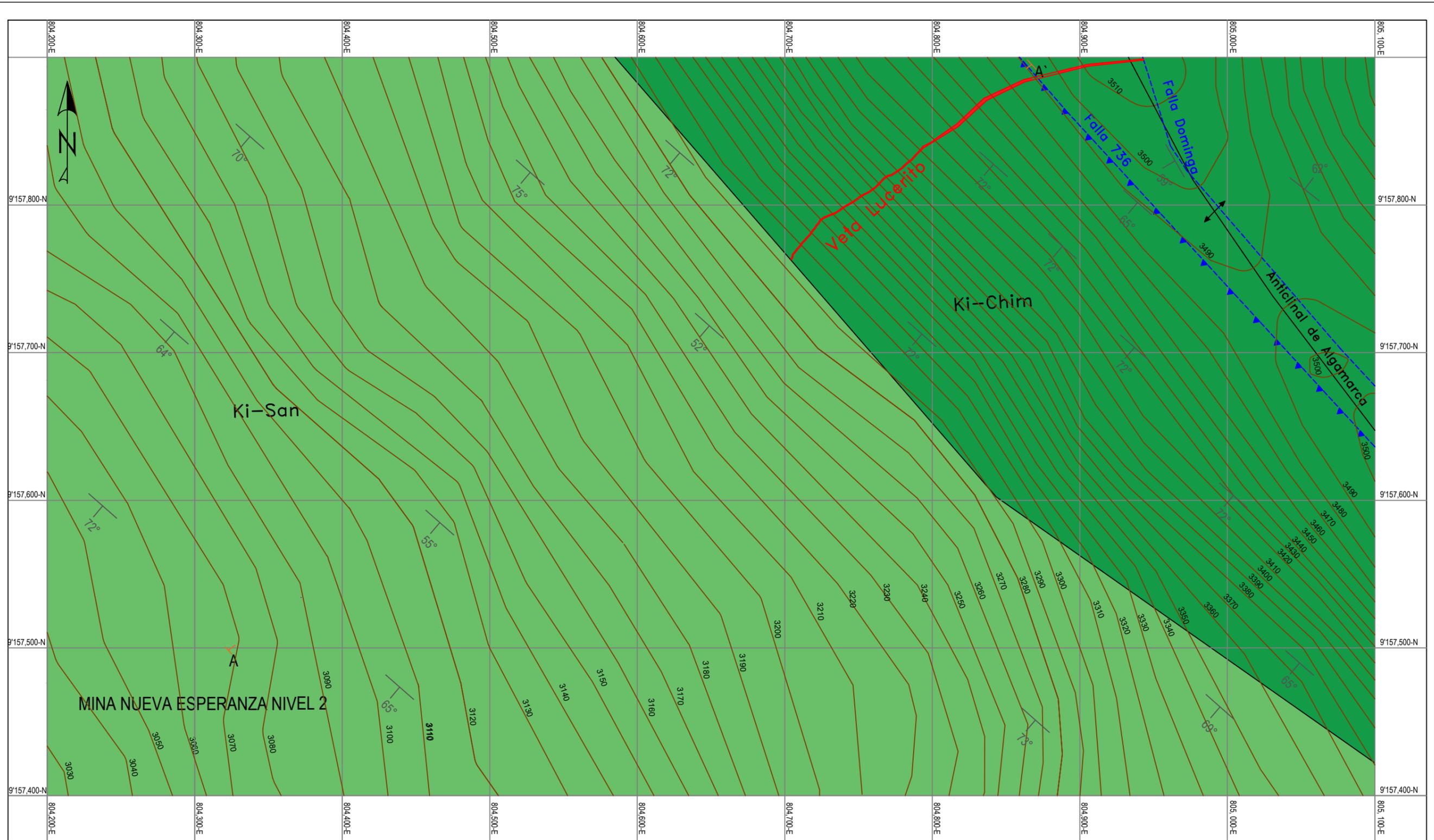
TESIS: MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA VETA LUCERITO - MINA NUEVA ESPERANZA, NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA

PLANO: GEOLÓGICO - GL PRINCIPAL NIVEL 3063

TESISTA: Bach. EBERT LUIS CUEVA BUSTAMANTE  
 ASESOR: M. Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

PLANO:  
**02**

ESCALA: 1/2600  
 FECHA: julio, 2022



Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17 S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

**COORDENADAS BOCAMINA**

	LATITUD	LONGITUD	COTA
BM	804325.114	9157508.865	3063 m.s.n.m

GEOLOGÍA	
	Formación Santa
	Formación Chimú

SIMBOLOGÍA	
	Mina Nueva Esperanza
	Trazo de perfil
	Curvas de nivel

ESTRUCTURAS	
	Falla inversa
	Anticlinal
	Falla dextral
	Buzamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA VETA LUCERITO - MINA NUEVA ESPERANZA, NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA  
 PLANO: GEOLÓGICO SUPERFICIE  
 TESISTA: Bach. EBERT LUIS CUEVA BUSTAMANTE  
 ASESOR: M. Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

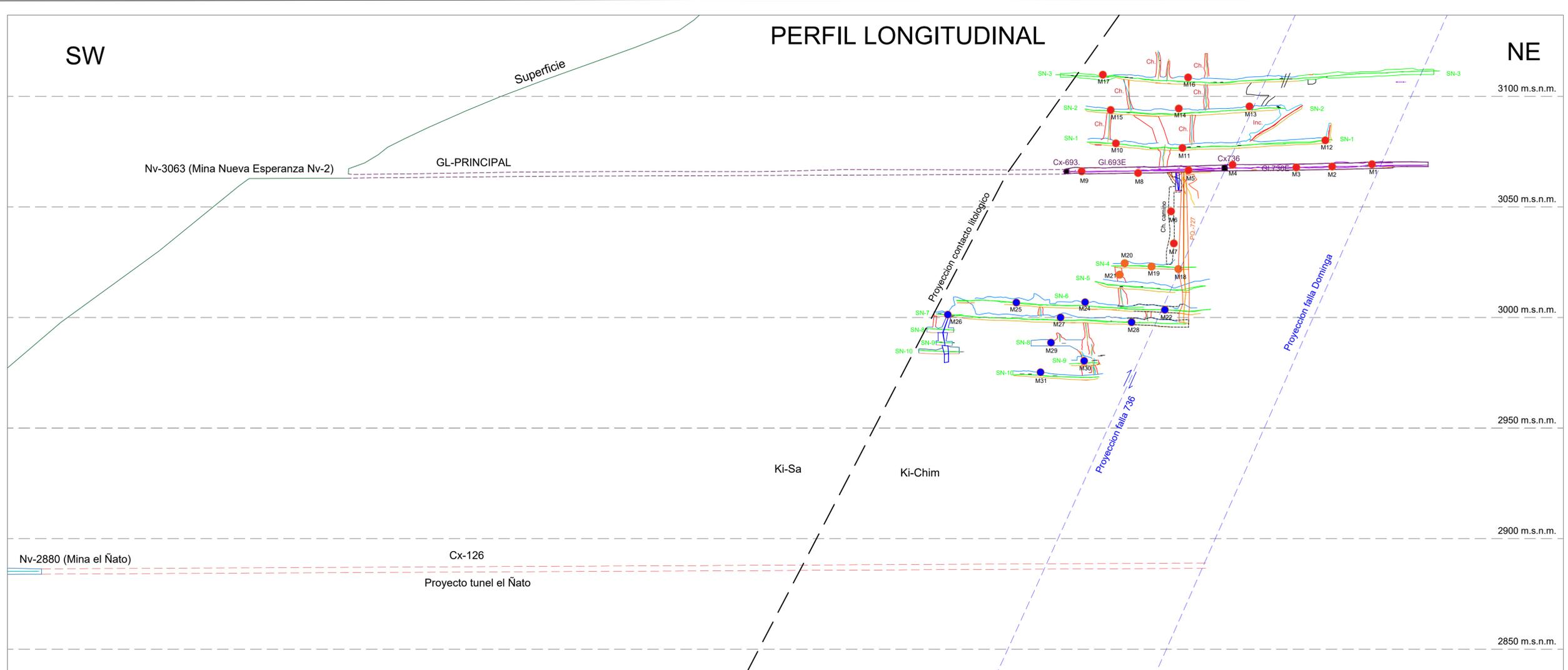


PLANO: **03**  
 ESCALA: 1/2600  
 FECHA: julio, 2022

SW

# PERFIL LONGITUDINAL

NE



**ZONA DE OXIDOS**

N° MBT	pt VETA (m)	Au g/ton	Ag Ozton	Cu %
M1	0.62	23.7	17.7	NR
M2	0.60	6.90	19.6	NR
M3	0.90	14.7	15.45	NR
M4	0.65	18.15	15.82	NR
M5	0.68	25.5	11.72	NR
M6	0.90	11.35	12.8	NR
M7	0.68	11.55	15.68	NR
M8	0.71	17.8	14.5	NR
M9	0.70	20.2	10.8	NR
M10	0.65	18.6	11.01	NR
M11	0.65	17.2	17.25	NR
M12	0.76	14.9	14.72	NR
M13	0.80	25.3	13.9	NR
M14	0.68	24.6	16.4	NR
M15	0.69	18.6	15.92	NR
M16	0.75	15.5	14.8	NR
M17	0.77	14.0	17.61	NR

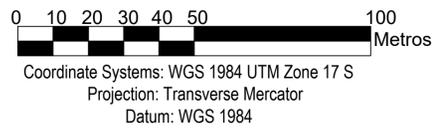
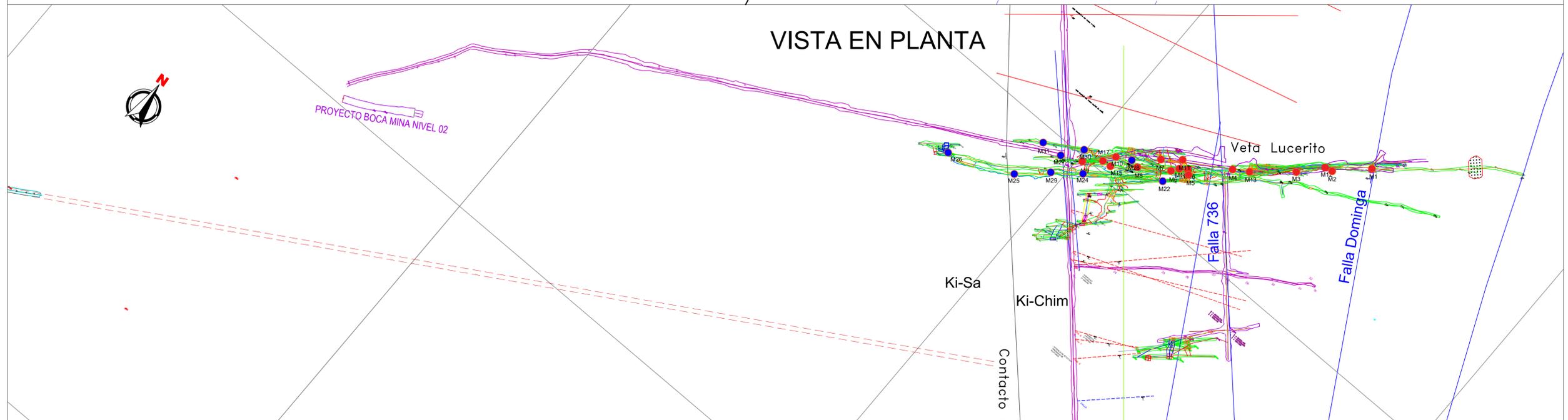
**ZONA DE MIXTOS**

N° MBT	pt VETA (m)	Au g/ton	Ag Ozton	Cu %
M18	0.76	11.6	32.45	24.47
M19	0.72	15.01	30.7	25.5
M21	0.76	10.89	35.7	18.5

**ZONA DE SULFUROS**

N° MBT	pt VETA (m)	Au g/ton	Ag Ozton	Cu %
M22	0.76	11.8	42.53	19.56
M23	0.70	13.96	49.8	25.1
M24	0.82	13.5	42.96	18.56
M25	0.71	11.36	41.25	17.45
M26	0.70	12.96	39.38	16.98
M27	0.68	14.5	43.61	17.52
M28	0.61	13.8	40.7	23.7
M29	0.63	14.9	49.5	24.1
M30	0.83	11.2	37.91	22.6
M31	0.82	15.3	35.12	20.8

# VISTA EN PLANTA



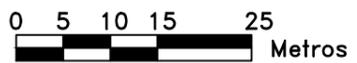
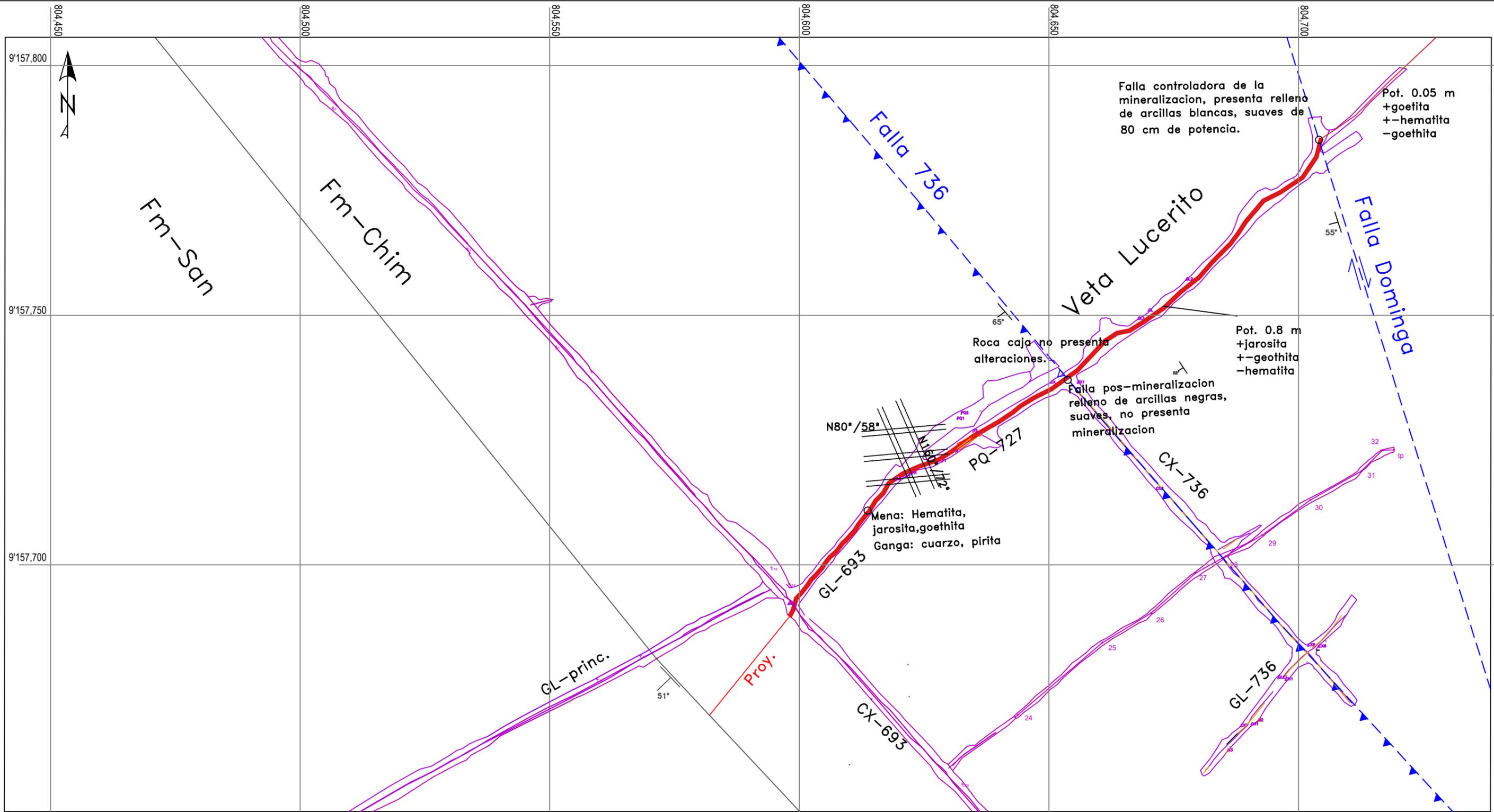
### COORDENADAS BOCAMINA

	LATITUD	LONGITUD	COTA
BM	804325.114	9157508.865	3063 m.s.n.m

### LEYENDA

- Proyectos
- Contacto litologico
- Fallas
- Proyeccion Vetas

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	TESIS: MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA VETA LUCERITO - MINA NUEVA ESPERANZA, NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJAMARCA PLANO: MUESTREO VETA LUCERITO TESISISTA: Bach. EBERT LUIS CUEVA BUSTAMANTE ASESOR: M. Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA		
<b>04</b>		ESCALA: 1/1000 FECHA: julio, 2022	



Coordinate Systems: WGS 1984 UTM Zone 17 S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

LEYENDA	
	Punto topografico
	Veta Lucerito
	GL Galeria
	CX Crucero

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
	TESIS: MODELAMIENTO GEOLOGICO Y CÁLCULO DE RESERVAS MINERALES DE LA VETA LUCERITO - MINA NUEVA ESPERANZA, NIVEL 2 - ALGAMARCA - CAJABAMBA	PLANO: <b>05</b>
	PLANO: CARTOGRAFIADO GEOLOGICO EN GL-693	ESCALA: 1/750
	TESISTA: Bach. EBERT LUIS CUEVA BUSTAMANTE ASESOR: M. Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	FECHA: julio, 2022