



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

EVALUACIÓN DE UN YACIMIENTO MINERAL DE ORO
INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA, MODELADO, ESTIMACIÓN Y
CLASIFICACIÓN DE RECURSOS MINERALES

=

EVALUATION OF A GOLD ORE DEPOSIT
GEOLOGICAL INTERPRETATION, MODELLING, ESTIMATION AND
CLASSIFICATION OF MINERAL RESOURCES

AUTOR

José Cristóbal Rojas Castillo

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024
Tutores	Dr. D. Reinaldo Sáez Ramos ; D. Juan Manuel Domínguez Rodríguez
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster Universitario en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Mineros (2022/23)</i>
©	José Cristóbal Rojas Castillo
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2023



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA
UNIVERSIDAD DE HUELVA



TESIS DE MAESTRÍA

**EVALUACIÓN DE UN YACIMIENTO MINERAL DE ORO:
INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA, MODELADO, ESTIMACIÓN Y
CLASIFICACIÓN DE RECURSOS MINERALES**

**EVALUATION OF A GOLD ORE DEPOSIT:
GEOLOGICAL INTERPRETATION, MODELLING, ESTIMATION AND
CLASSIFICATION OF MINERAL RESOURCES**

PRESENTA:
JOSÉ CRISTÓBAL ROJAS CASTILLO

QUE PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
MÁSTER EN GEOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS MINERALES
LINEA DE INVESTIGACIÓN: GEOLOGÍA DE RECURSOS MINERALES

Tutor: Dr. Reinaldo Sáez Ramos (Universidad de Huelva)
Cotutor: M. Sc. Juan Manuel Domínguez Rodríguez (RioTinto, Atalaya Mining PLC)

Huelva, Andalucía, España, diciembre 2023

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Internacional de Andalucía y Universidad de Huelva por la formación implantada, en especial a los docentes del Máster en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales, gracias por darme la oportunidad de ser su estudiante. Su influencia en mi vida académica y profesional será siempre recordada y apreciada.

Mi gratitud a mi tutor Dr. Reinaldo Sáez Ramos, por su invaluable apoyo, tiempo, esfuerzo y dirección en este Trabajo Fin de Máster. Su experiencia en el campo y su habilidad para transmitir conocimientos de manera clara y efectiva han sido fundamentales para mi desarrollo profesional.

Todo el trabajo fue posible gracias al apoyo, guía y enseñanzas de mi cotutor M. Sc. Juan Manuel Domínguez Rodríguez, también agradezco a la empresa Atalaya Mining PLC, por proporcionar los datos con los que se ha hecho este Trabajo, de lo cual Juanma fue responsable de gestionar los trámites de todos los datos y archivos necesarios.

Quiero dar las gracias a mis compañeros de clase (mis hermanos cubanos, colombianos, venezolanos, peruanos, argelinos y españoles), por compartir sus experiencias y conocimientos conmigo, y por hacer de esta etapa una experiencia enriquecedora y llena de aprendizaje.

Gracias a toda mi familia y amigos, quienes me brindaron su amor incondicional y apoyo emocional durante este proceso.

Finalmente, agradezco especialmente a mi esposa, gracias a ella por su apoyo incondicional yo he podido lograr esto, he podido llegar hasta aquí.

¡Muchas gracias!

DEDICATORIA

A mi esposa Rocío Gpe. Espinoza Rangel, por compartir esta aventura conmigo llamada vida, por tener espíritu explorador, por su incansable dedicación y apoyo incondicional, y por estar siempre a mi lado.

A mi hija Valentina Rojas Espinoza, por dejar su país natal México, extrañar a sus abuelitos, tíos, primos, amigos, juguetes, mascota y seguirme a España a aprender de otra cultura y costumbres, siempre adaptándose y siendo feliz.

A mi madre Luna Castillo Romero por haberme formado con valores y fe, lo cual me ayudo a salir adelante, por su dedicación y su preocupación día a día por mi bienestar. A mi padre José Agustín Rojas Cuesta, por el enorme sacrificio, por creer en mí, y enseñarme los valores de la vida.

A mis suegros Rocío Rangel Román y Graciano Espinoza Castro, por preocuparse por nuestro bienestar, y por permitirme que su hija y nieta vivieran y compartieran esta experiencia conmigo.

A mis hermanos y amigos, por todos los años compartidos, por su comprensión, por su apoyo y por su gran cariño hacia mí y mi familia.

José Cristóbal Rojas Castillo

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster trata sobre la evaluación de un yacimiento mineral en el cual el mineral de interés es el oro, con los objetivos principales de realizar la interpretación geológica, modelo geológico, estimación y clasificación de recursos minerales, mediante la aplicación de técnicas modernas y bajo normas internacionales de la industria geológica-minera actual. Esta etapa es de gran importancia dentro del estudio de un yacimiento mineral o en la expansión de este, donde se refleje numéricamente el yacimiento mineral mediante la ley o la concentración de los elementos de interés económico, los tipos de minerales y demás características de importancia, todo esto representado por un modelo, ya que sin este, no se podrían realizar inferencias acerca de los valores desconocidos entre un valor conocido y otro dentro de una distancia específica, utilizando e ingresando al modelo la información recabada por sondajes previamente descritos, muestreados y ensayados, los cuales son representados gráficamente por bloques de dimensiones regularizadas (modelo de bloques), donde estos contienen información relevante, como la posición espacial de los sondajes exploratorios, información geológica, geoquímica y geometalúrgica de interés.

En la evaluación de un yacimiento mineral se pueden distinguir dos etapas principales. La primera trata de la recopilación de información, interpretación geológica y en la configuración del modelo geológico, donde se define la forma, ubicación, tamaño y distribución geoespacial del yacimiento mineral. Generalmente, el modelo geológico se representa en tres dimensiones a través de bloques, diagramas, grillas o sólidos. Algunos de los errores más comunes en la estimación de los recursos están asociados a un entendimiento erróneo de la geología y de la geometría del yacimiento mineral.

La segunda etapa es la estimación del recurso mineral, la cual implica la determinación más aproximada posible de la cantidad, calidad, ubicación, continuidad y otras características del material de interés. La estimación se realiza a partir de datos puntuales que se consideran representativos de zonas más amplias, la interpolación y extrapolación de datos siempre hacen parte de la estimación; sin embargo, éstas deben hacerse con base a criterios sólidos que garanticen la menor incertidumbre posible, mayor confianza y entendimiento geológico. Esta etapa es fundamental, ya que, mediante los resultados obtenidos se toman decisiones clave como el cálculo de inversión y la planeación minera.

Palabras Claves: Evaluación, Yacimiento Mineral, Estimación de Recursos, Modelo Geológico, Oro.

ABSTRACT

This Master's Thesis deals with the evaluation of a mineral deposit in which the mineral of interest is gold, with the main objectives of carrying out the geological interpretation, geological model, estimation and classification of mineral resources, through the application of modern techniques and under international standards of the current geological-mining industry. This stage is of great importance within the study of a mineral deposit or in the expansion of this, where the mineral deposit is reflected numerically through the grade or concentration of the elements of economic interest, the types of minerals and other characteristics of importance, all this represented by a model, since without this, inferences could not be made about the unknown values between a known value and another within a specific distance, using and entering into the model the information collected by previously described, sampled and assayed drill holes, which are graphically represented by blocks of regularised dimensions (block model), where these contain relevant information, such as the spatial position of the exploratory drill holes, geological, geochemical and geometallurgical information of interest.

Two main stages can be distinguished in the evaluation of a mineral deposit. The first deals with the collection of information, geological interpretation and the configuration of the geological model, where the shape, location, size and geospatial distribution of the ore body is defined. Generally, the geological model is represented in three dimensions through blocks, diagrams, grids or solids. Some of the most common errors in resource estimation are associated with a misunderstanding of the geology and geometry of the ore body.

The second stage is the estimation of the mineral resource, which involves determining as closely as possible the quantity, quality, location, continuity and other characteristics of the material of interest. Estimation is done on the basis of point data that are considered representative of larger areas, interpolation and extrapolation of data are always part of the estimation; however, these must be done on the basis of sound criteria that ensure the least possible uncertainty, confidence and geological understanding. This stage is fundamental, as key decisions such as investment calculations and mine planning are made on the basis of the results obtained.

Keywords: Evaluation, Mineral Deposit, Resource Estimation, Geological Model, Gold.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	ix
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- GENERALIDADES	5
II.1.- Planteamiento del Problema	5
II.2.- Objetivos	6
II.2.1.- Objetivos Generales	6
II.2.2.- Objetivos Específicos	6
II.3.- Justificación	6
III.- DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO	7
III.1.- Localización	7
III.2.- Fisiografía	8
IV.- ANTECEDENTES	9
IV.1.- Geología	9
IV.2.- Mineralización	10
IV.3.- Génesis	11
V.- METODOLOGÍA	15
V.1.- Fases en la Estimación de Recursos Minerales	16
V.2.- Creación de Base de Datos	17
V.2.1.- Validación de Base de Datos	18
V.2.2.- Espaciado y Distribución de Datos	19
V.2.3.- Orientación de Sondeos	20
V.3.- Análisis Exploratorio de Datos	21
V.3.1.- Principales Estadísticas	22
V.3.2.- Coeficiente de Correlación	24
V.4.- Modelo Digital de Elevación (MDE)	25
V.5.- Modelo Litológico	26
V.5.1.- Codificación de Litologías	27
V.6.- Modelo Estructural	30
V.7.- Modelo de Mineralización	32
V.8.- Modelo de Recursos Minerales	37

V.8.1.- Densidad.....	37
V.8.2.- Composición o regularización de ancho de muestreo	37
V.8.3.- Modelo Bloques y Método de Interpolación	38
V.8.4.- Método de Clasificación.....	42
V.8.5.- Validación	44
V.8.5.1.- Validación Visual.....	45
V.8.5.2.- Validación Gráfica.....	48
V.8.5.3.- Validación por distintos métodos	50
V.9.- Modelo Conceptual de Minado	51
V.9.1.- Ley de Corte (<i>Cut Off Grade</i>).....	52
V.9.1.1.- Cálculo de Ley de Corte para Minado Subterráneo	53
V.9.1.2.- Cálculo de Ley de Corte para Minado Superficial	53
V.9.2.- Modelo Conceptual de Minado Subterráneo	54
V.9.3.- Modelo Conceptual de Minado Superficial	55
VI. INTERPRETACIÓN GENERAL Y RESUMEN DE LOS RESULTADOS	58
VI.1.- Interpretación Geológica	58
VI.1.1.- Interpretación de la Geología Superficial.....	59
VI.1.2.- Interpretación de los Cuerpos Minerales	60
VI.2.- Inventario de Mineral	61
VI.2.1.- Curva tonelaje vs ley	61
VI.2.2.- Reporte de Inventario de Recursos Minerales por Minado subterráneo.....	62
VI.2.2.1.- Recursos Minerales Considerando Ley de corte	62
VI.2.2.2.- Recursos Minerales por Ley de Corte y Clasificación.....	62
VI.2.2.3.- Recursos Minerales por Clasificación por Confianza Geológica.....	62
VI.2.3.- Reporte de Inventario de Recursos Minerales por Minado Superficial	63
VI.2.3.1.- Recursos Minerales por Elevación Sin Considerar Corta	63
VI.2.3.2.- Recursos Minerales por Elevaciones y Confianza Geológica Sin Considerar Corta	64
VI.2.3.3.- Recursos Minerales Considerando Corta Minera	65
VI.3.- Evaluación Económica	66
VII.- CONCLUSIONES.....	67
VIII.- REFERENCIAS.....	68
ANEXOS.....	70
ANEXO A.- Definiciones y Conceptos Generales.....	70
ANEXO B.- Recursos Minerales por Bancos de 5 m Sin Considerar Corta.....	72
ANEXO C.- Recursos Minerales por Bancos de 5 m Considerando Corta	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumen del proceso de Estimación de Recursos	2
Figura 2. Plano mostrando el área de estudio, sondeos y zona mineralizada en rojo.....	7
Figura 3. Mapa de elevaciones en metros del área de estudio	8
Figura 4. Formación de yacimientos de Au orogénicos	13
Figura 5. Metodología utilizada en este Trabajo de Fin de Máster.....	16
Figura 6. Importación y creación la base de datos en el software RecMin.....	17
Figura 7. Sondeos exploratorios en vista en planta.....	19
Figura 8. Sondeos en vista en planta, mostrando trayectoria.....	20
Figura 9. Sondeos en vista de sección N-S, vista al este.....	20
Figura 10. Histograma para Au ppb.....	22
Figura 11. Histograma para As ppm.....	23
Figura 12. Histograma para Mo ppm.....	23
Figura 13. Gráfico de dispersión entre Au y As, mostrando la línea de regression en rojo.....	24
Figura 14. Topografía, Modelo Digital de Elevación y sondeos.....	25
Figura 15. Sondeos mostrando litologías codificadas, vista 3D.....	28
Figura 16. Modelo Geológico con litologías codificadas, vista 3D.....	28
Figura 17. Modelo de bloques mostrando litologías codificadas vista en planta.....	29
Figura 18. Sección vertical del modelo de bloques mostrando litologías codificadas.....	29
Figura 19. Plano Geológico-Estructural mostrando fallas inferidas con distintas tendencias.....	31
Figura 20. Sección transversal mostando modelo de bloques con litologías codificadas y fallas.....	31
Figura 21. Vista de sondeos y secciones realizadas con dirección N55°E	33
Figura 22. Envoltente de zona mineralizada vista en planta y sondeos con valores de oro.....	34
Figura 23. Sección N-S con vista al este, mostrando valores de oro mayores a 0.30 ppm.....	35
Figura 24. Sección N-S con vista al este, mostrando valores de oro mayores a 1.00 ppm.....	35
Figura 25. Vista en planta de estructura sólida en 3D.....	36
Figura 26. Vista este - oeste de estructura sólida en 3D.....	36
Figura 27. Histograma mostrando el ancho de muestreo.....	37
Figura 28. Modelo de bloques representando la mineralización de oro, en tamaños regularizados.....	39
Figura 29. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro en ppm.....	40
Figura 30. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 0.30 ppm.....	40
Figura 31. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 1.00 ppm.....	41
Figura 32. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 2.00 ppm.....	41

Figura 33. Clasificación de Recursos.	43
Figura 34. Estimación de Recursos vista en planta, mostrando ley de oro en ppm.	43
Figura 35. Comprobaciones visuales en pantalla en vista de sección transversal.	45
Figura 36. Sección vertical Este – Oeste mostrando intercepción de valores de oro y bloques.....	46
Figura 37. Sección vertical Norte- Sur mostrando intercepción de valores de oro y bloques.....	46
Figura 38. Vista tridimensional del cuerpo mineral, sondeos exploratorios y topografía	47
Figura 39. Vista tridimensional del modelo de bloques, sondeos exploratorios y topografía.....	47
Figura 40. Swath plot mostrando datos de valores de oro en dirección Este cada 20 m.	48
Figura 41. Swath plot mostrando datos de valores de oro en dirección Norte cada 20 m.	49
Figura 42. Swath plot mostrando datos de valores de oro en Elevación cada 20 m.	49
Figura 43. Swath plot mostrando valores de distintos métodos, en dirección Este cada 20 m.	50
Figura 44. Esquema simplificado de los métodos superficiales y subterráneos.....	51
Figura 45. Sección vertical con vista Este – Oeste del proyecto	54
Figura 46. Sección vertical con dirección Este - Oeste mostrando el diseño de la corta final.	55
Figura 47. Diseño de la corta minera vista 3D.....	56
Figura 48. Vista 3D de la corta minera y mineral que queda fuera del diseño.....	56
Figura 49. Vista 3D del diseño de la corta minera con ángulo de talud general de 45°	57
Figura 50. Vista 3D del diseño de la corta minera y cuerpo mineral económico.	57
Figura 51. Integración del modelo Litológico y de Mineralización.....	58
Figura 52. Interpretación de la geología superficial del área de estudio.....	59
Figura 53. Interpretación de los cuerpos minerales y sus zonas de alimentación.	60
Figura 54. Curva tonalaje vs ley de oro	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mineralogía principal del yacimiento mineral.	10
Tabla 2. Características de los depósitos de oro epigenéticos	14
Tabla 3. Base de datos de sondeos para el yacimiento.	18
Tabla 4. Ejemplo de base de datos validada y unificada.	18
Tabla 5. Estadísticas generales del cada elemento de interés	21
Tabla 6. Correlación de Pearson	24
Tabla 7. Litologías codificadas, mostrando cantidad de muestras, sondeos y longitud de muestreo.	27
Tabla 8. Densidad de cada litología.....	37
Tabla 9. Parámetros del modelo de bloques.	38
Tabla 10. Parámetros de interpolación.	39
Tabla 11. Parámetros utilizados para el cálculo de ley de corte para minado subterráneo.	53
Tabla 12. Parámetros utilizados para el cálculo de ley de corte para minado superficial.	53
Tabla 13. Cambios en los recursos considerando diferentes leyes de corte de oro en ppm.	62
Tabla 14. Inventario de recursos de oro por cambios en la ley de corte de oro y clases.	62
Tabla 15. Inventario de recursos minerales, mostrando clasificación, ley de corte > 2 ppm Au.	62
Tabla 16. Inventario de recursos minerales por elevaciones cada 30 m.	63
Tabla 17. Inventario de recursos minerales considerando confianza geológica.	64
Tabla 18. Recursos minerales considerando el diseño de una corta minera.	65
Tabla 19. Costos, recuperaciones y precio de onza de oro usados para el cálculo económico.	66
Tabla 20. Evaluación económica a distintos precios del valor de la onza de oro.	66

I.- INTRODUCCIÓN

Las Ciencias de la Tierra hoy en día tienen una importancia fundamental en la exploración y explotación de yacimientos minerales. Las sociedades modernas requieren cada vez más de materias primas para su desarrollo, y es la Geología la ciencia fundamental para realizar las actividades de prospección, exploración, evaluación, explotación y cierre de los yacimientos minerales y sus minas.

El ritmo y la magnitud de los esfuerzos dedicados a la exploración y explotación minera obedecen a tres factores principales:

El primero, constituido por las circunstancias externas, que incluyen la oferta-demanda e inventarios del metal, precios actuales y previsibles, aspectos políticos, cambios en los incentivos legales y tributarios y, crecientemente, aspectos ambientales y de “aceptabilidad social” de la minería.

El segundo se refiere a la aparición de nuevas herramientas de exploración, como las distintas formas de la prospección geofísica, la prospección geoquímica, la espectrometría infrarroja de la alteración hidrotermal, los métodos instrumentales de análisis geoquímico por multielementos y, desde luego, los avances en la tecnología y economía de los sondajes.

El tercer factor, de lo que trata el presente Trabajo Fin de Máster, es el surgimiento de nuevas ideas de exploración, concretadas en torno a modelos de yacimientos, que incluyen su contexto geológico, expresión geofísica, geoquímica y mineralógica, y expectativas de magnitud, leyes y asociaciones de metales valiosos presentes.

El inicio en la etapa de exploración se puede dividir en tres etapas:

Pre-Exploración o prospección: consiste en determinar una zona concreta, extensa, que presente posibilidades de un determinado tipo de depósito mineral.

Exploración: donde se aplican diversas técnicas disponibles para llevar a cabo de forma completa el trabajo, con el objetivo de corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de la mineralización.

Evaluación, consiste en que, una vez que se ha detectado mineralización de interés, se procede a llevar a cabo su evaluación o valoración económica. El presente estudio se enfoca a esta etapa.

La planeación de las etapas de exploración, estimación de recursos y reservas es fundamental para el éxito del proyecto minero, se necesita comprender los aspectos administrativos, logísticos, normativos y de gestión.

Es necesario identificar y gestionar las necesidades en áreas tales como presupuesto, planeación, ejecución, recursos humanos, gestión de contratistas, políticas de seguridad y salud en el trabajo, uso de la tierra, entre otros (CIM, 2018).

Al inicio del proyecto, se debe establecer el objetivo y alcance que se buscan (exploración, estimación de recursos, estimación de reservas), de manera que se definan las actividades, responsables, recursos y productos a generar una vez terminada la fase de trabajo (Figura 1).

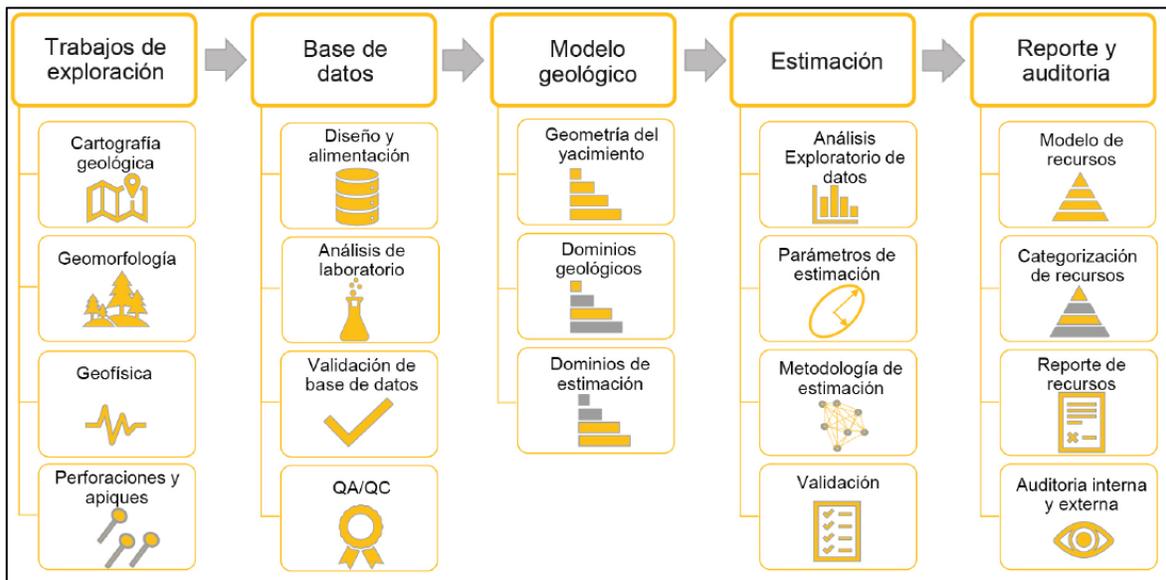


Figura 1. Resumen del proceso de Estimación de Recursos (Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales, 2022).

Cada depósito mineral es único y requiere tener en cuenta muchos aspectos al momento de realizar una estimación de recursos minerales, siendo algunos aspectos más importantes que otros.

El conocimiento, lo más avanzado posible, de la geología del yacimiento es necesario y fundamental para el diseño óptimo de una mina, sin él solo se podrían hacer intentos y con seguridad el resultado no sería el más eficiente.

En la evaluación de un yacimiento mineral se pueden diferenciar dos etapas principales:

La primera consiste en la recopilación de información, interpretación geológica y en la configuración del modelo geológico, donde se define la forma, ubicación, tamaño y distribución geoespacial del yacimiento mineral. Generalmente, el modelo geológico se representa en tres dimensiones a través de bloques, diagramas, grillas o sólidos. Algunos de los errores más comunes en la estimación de los recursos están asociados a un entendimiento erróneo de la geología y de la geometría del yacimiento mineral.

La segunda etapa representa la estimación del recurso mineral e implica la determinación, lo más aproximada posible, de la cantidad, calidad, ubicación, continuidad y otras características del material de interés. Dado que la estimación se realiza a partir de datos puntuales que se consideran representativos de zonas más amplias, la interpolación y extrapolación de datos influyen en la estimación. Por eso, éstas deben hacerse con base a criterios sólidos que garanticen la menor incertidumbre posible, mayor confianza y entendimiento geológico.

Los lugares de estudio son generalmente representados por bloques de dimensiones determinadas por los requerimientos del depósito con respecto a la definición requerida y los fines de este. Es un proceso continuo que se inicia con la exploración, donde posteriormente se deben considerar los factores modificadores (mineros, metalúrgicos, ambientales, legales etc.) y se arriba a la estimación de reservas. Durante las operaciones de la mina los estimados previamente calculados son modificados por los resultados del control de leyes y los estudios de reconciliación.

Los distintos métodos de estimación de recursos que se emplean en la actualidad son definidos por los principios de interpretación empleados y las técnicas de interpolación espacial.

Así tenemos los métodos clásicos de cálculos desarrollados y utilizados desde los principios de la minería hasta nuestros días, que se basan en procedimientos manuales y donde los principales parámetros son estimados a partir de la media aritmética y la media ponderada.

Por otra parte, los métodos asistidos por computadoras, que incluyen el método de ponderación por el inverso de la distancia y los geoestadísticos, se fundamentan en procedimientos matemáticos de interpolación definidos a partir de información espacial y geoestadística inherente a los datos.

La selección de un método de estimación u otro, depende de varios factores, tales como la disponibilidad de datos, tipo de mineral, forma, dimensión y complejidad del depósito. De manera que, cuanto más complejo el depósito, más refinado debe ser el método de estimación.

Estos métodos surgieron con el desarrollo de las computadoras. Actualmente con la su disponibilidad y existencia de software a precios accesibles y libres, existe una tendencia en las empresas mineras y las organizaciones gubernamentales al empleo de métodos computarizados en detrimento de los métodos clásicos. En los últimos años, la Inteligencia Artificial, a través de la técnica denominada Machine Learning, está siendo evaluada como otra posible técnica de estimación.

Las características de los depósitos minerales invariablemente imprimen patrones de correlación espacial, los cuales son importantes a la hora de hacer una evaluación de recursos y planificar la operación de la mina. Lograr describir y modelar estos patrones de correlación permite comprender los procesos metalogénicos y mejoran la precisión con la que se puede predecir la existencia de mineralización y sus características, dentro de zonas que no han sido objeto directo de muestreo.

Un modelo geológico será tan bueno como los datos e interpretación que lo soportan, se debe de realizar una revisión de los datos y resultados de laboratorio, así como su representatividad del yacimiento a modelar, puesto que el modelo más elaborado o el software más costoso solamente producen resultados confiables si la información de entrada lo es y esta es interpretada de forma correcta.

II.- GENERALIDADES

II.1.- Planteamiento del Problema

El problema abordado en este Trabajo Fin de Máster está relacionado con la evaluación de un depósito mineral de oro. La evaluación económica en un yacimiento de oro generalmente resulta ser un problema complejo. La estimación se basa, únicamente, en la información proveniente de los sondeos, considerando, como única variable la ley de oro y, a menudo, sin tomar en cuenta otras, como lo son la litología, mineralogía, geología estructural y aspectos geometalúrgicos. El caso ideal sería generar un modelo de bloques preciso y con la menor incertidumbre posible.

Este problema aún puede ser más complicado si existen elementos contaminantes, ya que en algunos casos se debe tomar medidas para mitigar su efecto o, incluso, no considerar la explotación minera.

Por consiguiente, el estimar una sola variable conlleva a tener una pobre interpretación de la distribución mineral real en el depósito y obtener un modelo de bloques con una alta incertidumbre y poca confianza geológica.

En este trabajo, se ha utilizado una metodología de estimación y evaluación adaptada a normas internacionales. Se han aplicado técnicas clásicas y modernas de estimación, considerando todos los parámetros disponibles. Estas técnicas han permitido la realización de distintos modelos de bloques para definir un modelo geológico integrado que contenga toda la información disponible, que incluye litología, mineralización, estructura y recursos minerales.

Como limitación impuesta por compromisos de confidencialidad, no se ha podido enmarcar el depósito en un contexto geológico regional. Debido a ello, se describe de manera somera la geología general del área de estudio y la hipótesis genética del yacimiento mineral.

II.2.- Objetivos

II.2.1.- Objetivos Generales

- Interpretar la geología del yacimiento de oro.
- Realizar Modelos de Bloques de Litología, Estructural, Mineralización y Recursos Minerales.
- Evaluación del yacimiento mineral.

II.2.2.- Objetivos Específicos

- Creación de una base de datos unificada de sondeos.
- Estimar los recursos minerales utilizando técnicas computacionales.
- Clasificar y cuantificar los recursos minerales siguiendo normas internacionales actuales.
- Identificar otros minerales económicos, contaminantes o penalizantes dentro del yacimiento.

II.3.- Justificación

El presente estudio surge como parte del Trabajo de Fin de Máster en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales, con énfasis en la Geología de Recursos Minerales, en el cual se dio la tarea de realizar la evaluación de un yacimiento mineral donde la mena de interés es oro.

Para hacer este trabajo, es necesario realizar la interpretación geológica, modelado geológico, estimación, clasificación e inventario de recursos minerales. A partir de esos datos, se puede concretar el potencial económico del yacimiento, así como conocer el potencial de otros minerales económicos dentro del yacimiento y cuantificar elementos contaminantes o penalizantes. Para ello, es necesaria la aplicación de técnicas modernas, que incluyen el uso de software minero y seguir todo el procedimiento bajo normas internacionales de la industria geológica-minera actual.

El punto de partida para el trabajo son los datos de exploración geológica directa mediante sondeos con recuperación de testigos. Toda la información fue proporcionada por Atalaya Mining. El tratamiento de los datos ha permitido la realización de un modelo de bloques de dimensiones regularizadas, donde contienen información relevante, como la posición espacial de los sondajes exploratorios, información geológica, geoquímica y geometalúrgica de interés.

III.- DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO

III.1.- Localización

La zona de estudio se encuentra dentro de un área que consta de 3 km X 1.5 km (6,000,000 m² o 600 ha), donde la zona prospectiva o con interés geológico económico es de 1 km x 0.5 km (500,000 m² o 50 ha) aproximadamente. La Figura 2 muestra la ubicación general del proyecto y el área de interés en color rojo. Los datos utilizados en este Trabajo Fin de Máster son confidenciales, estos se convirtieron del sistema de cuadrícula local a una zona geográfica y Datum diferente para proteger la información y resultados. Los datos de exploración geológica directa realizada por sondeos con recuperación de testigos y base topográfica también fueron proporcionados por Atalaya Mining.

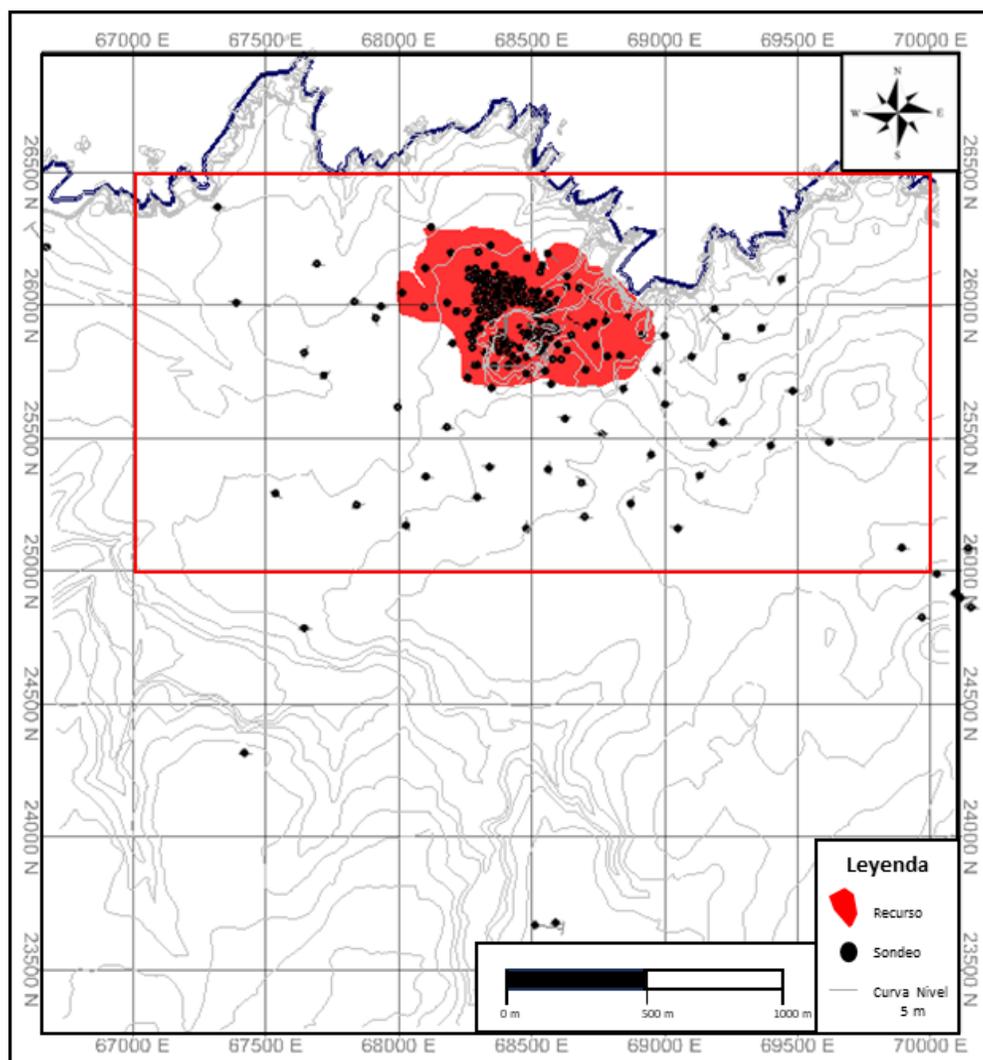


Figura 2. Plano mostrando el área de estudio, sondeos y zona mineralizada en rojo.

III.2.- Fisiografía

La fisiografía de la zona cuenta con altitudes bastante suaves y con pocas pendientes, se caracteriza por elevaciones bajas, con una terraza costera en el norte y colinas en el sur las cuales no sobrepasan los 100 m sobre el nivel del mar. Por su lado norte se divisa una extensa planicie litoral, la terraza costera termina con acantilados de 20 a 40 m de altura que desembocan en el mar e islotes de pequeña altitud, las elevaciones en el área de estudio no superan los 60 m (Figura 3).

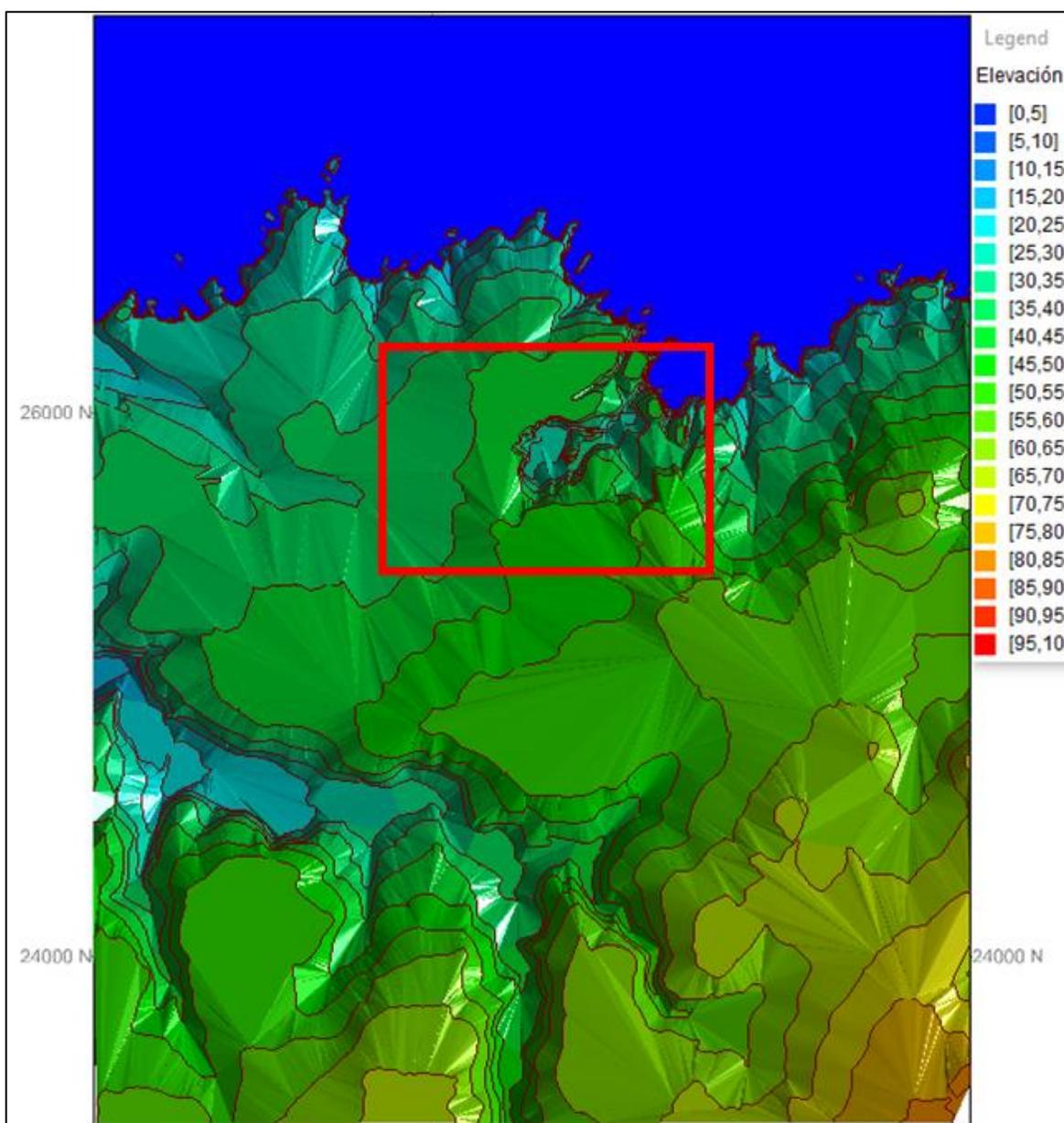


Figura 3. Mapa de elevaciones en metros del área de estudio (rojo).

IV.- ANTECEDENTES

IV.1.- Geología

No siendo parte de los objetivos de este Trabajo de Fin de Máster la descripción de la geología general, solamente se hace una descripción somera de esta por motivos de confidencialidad y protección de datos e información, no se describe la geología regional con el fin de no dar indicios de ubicación del yacimiento mineral estudiado y evaluado.

La mayor parte de área de estudio se encuentra cubierta por sedimentos marinos y aluvión del cuaternario, que varían desde unos pocos centímetros hasta más de 50 m de espesor, al oeste de la zona se presentan rocas metasedimentarias, incluyendo filitas y metaarenitas (cuarcitas y metagrauvas). La intrusión local de cuerpos de rocas ígneas da lugar a aureolas de contacto que se superponen al metamorfismo regional en facies de esquistos verdes. El metamorfismo térmico alcanza facies de corneanas piroxénicas en la zona interna de las aureolas de contacto.

Los cuerpos plutónicos en el entorno de la mineralización tienen composiciones que varían desde gabro hasta granito, aunque, al menos aparentemente, la mineralización aparece relacionada con un cuerpo plutónico de composición granodiorítica. Esta roca tiene una tendencia oeste-noroeste que cubre un área de aproximadamente 2 km x 500 m y se interpreta como un gran dique o cuerpo intrusivo con fuerte desarrollo lineal.

La mineralización, en el área de estudio, contiene leyes elevadas de oro, así como leyes de molibdeno y plata, y se localiza asociada a zonas de intensa alteración hidrotermal.

La mayor parte de la mineralización de oro ha sido delimitada dentro de un área de 500 m de ancho, 1,000 m de largo y 350 m de profundidad. Aparece en una serie de lentes irregulares apiladas, con tendencia de norte a noroeste y con inmersión poco profunda hacia el suroeste, posiblemente relacionados con fallas y zonas de fractura que son paralelas al contacto entre las rocas intrusivas y meta-sedimentarias.

IV.2.- Mineralización

Las leyes de oro más altas se correlacionan con la intensidad de la alteración y con la abundancia de arsenopirita, pirita y estibina. Las vetas que contienen molibdenita, también presente en el depósito, no contienen oro y representan un evento de mineralización diferente. También se han identificado zonas estrechas de mineralización de oro dentro de las rocas metasedimentarias, lo que posiblemente refleja una reactivación y fuga posterior.

Dentro del yacimiento se han encontrado las siguientes mineralogías de acuerdo con la base de datos proporcionada por Atalaya Mining:

Mineralogía	Química
Oro	Au
Plata	Ag
Pirita	FeS ₂
Arsenopirita	FeAsS
Molibdenita	MoS ₂
Estibina	Sb ₂ S ₃

Tabla 1. Mineralogía principal del yacimiento mineral.

Se han interpretado dos tipos de mineralizaciones diferentes:

La primera es molibdenífera y está constituida casi exclusivamente por molibdenita. Se localiza en vetas de cuarzo subverticales encajadas tanto en el meta-sedimentario como en el cuerpo intrusivo.

Posteriormente, se desarrolla una segunda mineralización de carácter aurífero, en volumen mucho más importante que la primera. Los fluidos hidrotermales aprovecharon la red de fracturas preexistentes en la granodiorita para circular, destacando dos sistemas, uno subvertical y otro con suaves buzamientos hacia el oeste. Alrededor de ellas se pueden desarrollar reemplazamientos y alteraciones de diversa intensidad.

En las zonas próximas a las fracturas se produjeron intensos reemplazamientos de la granodiorita que son los portadores de la mineralización.

En zonas más distales del foco hidrotermal y de manera progresiva, la alteración que provoca el fluido en la roca ígnea, se propilitiza y cloritiza. El grado de alteración se podría correlacionar con

un incremento en la tonalidad de color verdoso claro (zonas cloríticas) a verde muy oscuros (sericitica avanzada).

La mineralización aurífera, se produce en dos etapas:

Una primera arsenical (que constituye la mayor parte del yacimiento), y se caracteriza por la presencia de arsenopirita rica en oro, pirita y escaso oro libre.

Hay una segunda etapa antimonial, localizada solo en algunos sectores del yacimiento.

Las zonas intensamente arsenopiritizadas son las que tienen las mayores leyes auríferas del yacimiento. El oro está íntimamente asociado al arsénico, formando parte de la arsenopirita desde los primeros estadios arsenicales. Posiblemente el mineral de oro sea refractario por estar asociado a la arsenopirita (Reich, 2005).

El arsénico sería el principal elemento pathfinder para la exploración de oro en el depósito; su asociación con el oro permitiría identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera.

IV.3.- Génesis

Las zonas de alimentación (feeder's) del fluido hidrotermal serían las fracturas subverticales y a partir de ellas se extendería por las fracturas de bajo buzamiento, preferentemente hacia la superficie, dando lugar a una geometría de cono asimétrico.

El yacimiento esta encajado en un sistema de fracturas que afectan a un granitoide generado en las etapas tardías de un orógeno colisional y tendría carácter mesotermal siguiendo el esquema propuesto por Nesbitt (1988).

El yacimiento mineral es un depósito de oro relacionado con intrusiones, es compatible con el modelo de depósitos de tipo Oro Orogénico (Orogenic Gold Deposits), del subtipo depósitos de Filones Auríferos Hospedados en Granitoides (Granitoid-Hosted Lode-gold Deposits, Groves et al.,1998), basado en relaciones mineralógicas, litológicas y estructurales o también en un modelo de depósito de oro relacionado a intrusivo (Intrusion-Related Gold Deposit, Goldfarb et al., 1998).

El hecho de que la mineralización sea orogénica o esté relacionada con una intrusión no tiene un impacto material en los objetivos iniciales en términos de delimitar un recurso dentro de la huella mineralizada. El modelo, sin embargo, si puede tener implicaciones para la exploración a escala regional.

Los yacimientos de oro orogénico, también conocidos como depósitos de Au en zonas de cizalla, Oro Mesotermal y Au metamórfico, se encuentran asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados, variando en su grado metamórfico desde facies de esquistos verdes (greenstone belts) hasta facies de anfibolita y ocupan una posición espacial y temporal con procesos deformacionales asociados a márgenes de placas (Figura 4).

Los depósitos de oro orogénico están ampliamente distribuidos en el mundo, son importantes yacimientos en reservas auríferas asociadas a estructuras regionales de cizallas, fallas, anticlinales y pliegues, hospedantes de venas-venillas de cuarzo con diseminación de oro y algunas veces en la roca encajonante.

La formación de estos depósitos de oro relacionados a cinturones metamórficos ha sido episódica a lo largo de la historia geológica, principalmente antecediendo al Neoproterozoico, con eventos importantes entre 2,800 y 2,550, y de 2,100 a 1,800 Ma (Goldfarb et al., 2001), aunque también se localizan en rocas más recientes del Fanerozoico, como ha sido indicado por Groves et al., (1998).

Estos depósitos se caracterizan por sistemas de venas de cuarzo dominantes con menos de 3-5% de contenido de sulfuros (principalmente de hierro) y menos del 10% de carbonatos. El sistema de venas puede extenderse por cientos de kilómetros bajo sistemas compresionales y dentro de regímenes dúctil y frágil. También tienen un continuo sentido vertical, que varía entre 1-2 km, con pocos cambios en su mineralogía y contenido de Au.

La relación de Au-Ag puede variar de 01:10 y las leyes pueden variar de 5-30 g/t de Au; aunque puede haber depósitos de baja ley. La arsenopirita es el sulfuro dominante en rocas metasedimentarias, mientras que la piritita y pirrotina son más comunes en rocas metamórficas de origen ígneo (Goldfarb et al., 1998).

Varias características de los depósitos de oro en venas, como la zonificación mineral, los aparentes intervalos de tiempo entre la intrusión, la mineralización y la presencia de inclusiones de fluidos ricos en CO₂ y de baja salinidad, se consideran comúnmente como indicadores de un origen no ígneo y ser más típico de depósitos de oro orogénicos (mesotermales), generados durante eventos tectónicos de acreción (Sillitoe y Thompson, 1998).

Sin embargo, varias o todas estas características se aplican igualmente a algunos depósitos de oro en vetas relacionados con intrusiones (IRGD) y, por lo tanto, no constituyen criterios distintivos.

La asignación actualmente popular de la mayoría de las vetas ricas en oro a la categoría orogénica requiere cautela, debido a la convergencia geológica que muestran con algunos depósitos relacionados con la intrusión. Una distinción adecuada entre depósitos de oro orogénicos y relacionados con intrusiones es crucial para la planificación de la exploración.

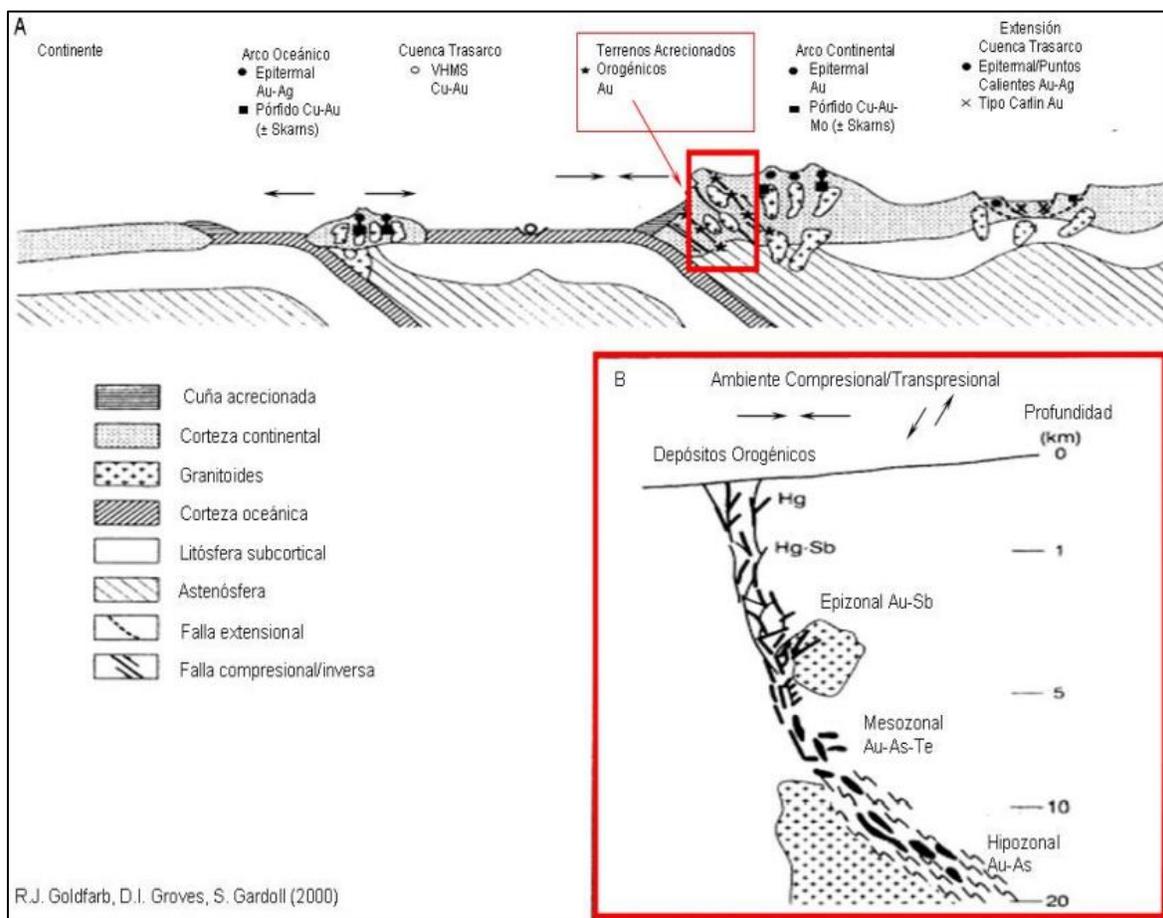


Figura 4. Formación de yacimientos de Au orogénicos. Modificado de Goldfarb et al., (2000).

Aun no existe un consenso con un modelo genético simple para los depósitos de oro orogénico, pese a la gran cantidad de datos existentes. Los procesos, magmáticos, metamórficos y del manto pueden jugar un papel importante en la génesis del depósito mineral. El papel de fluidos derivados de aguas superficiales se considera irrelevante.

El estudio de los fluidos mineralizantes, mediante la medición de inclusiones fluidas atrapadas en el cuarzo de las venas (Tabla 2), indica temperaturas de precipitación entre ~200° C a 700° C y salinidades bajas con aproximadamente 3 % en peso equivalente de NaCl (Goldfarb et al., 1998).

Tipo Depósito	Ambiente Tectónico y Aspectos Clave	T °C Formación	Profundidad km	Relación Au/Ag	Tipo Alteración
Orogénico	Margen continental; Regimen compresional a transtensional; vetas típicamente en rocas metamórficas sobre el lado hacia el mar o arco continental. Alojados en terrenos metamórficos; <3% a 5% de sulfuros minerales; depósitos individuales de >1 km a 2 km de extensión vertical; asociación espacial con zonas de fallas transcorticales y magmatismo granítico.	200 a 700	2 a 20	01:10	Carbonatación; sericitización; sulfuración; como skarn ensamblado en depósitos de alta temperatura
Relacionados a Intrusión	Ambientes corticales bajos a moderados careciendo de volcanismo extenso contemporáneo; Desarrollo tardío en el ciclo orogénico; Márgenes continentales pero en una posición hacia la tierra relativa a margen de arco continental; Provincias magmáticas con mineralización de tungsteno y/o estaño. Intrusiones felsicas de estado de oxidación intermedia primaria reducida (magmas arco); contenido de sulfuro bajo <3%, oro comunmente asociado a bismuto y falta de metales base; estilos greisen, diseminado, veta plana, stockwork, brecha de roca ígnea huesped; formación amplia de vetas de cuarzo laminares.	141 a 600	2 a 8	-	Cuarzo, Feldespato K, albita, sericita y carbonato
Epitermales	Arco oceánico, arco continental, o ante-arco extensional de corteza continental, ambientes extensionales normales, pero comunmente en regímenes compresionales. Vetas y reemplazamientos son similares en edad con oro alojado o cerca de rocas volcánicas; zona mineral generalmente de 100 m a 500 m de extensión vertical; mineral diseminado común en sistema de alta sulfuración.	100 a 300	0 a 2	0.02/1	Adularia-sericita-cuarzo (baja sulfuración), cuarzo-alunita-caolinita (alta sulfuración)

Tabla 2. Características de los depósitos de oro epigenéticos. *Modificado de Goldfarb et al., (1998).*

V.- METODOLOGÍA

En la evaluación de un yacimiento mineral, específicamente en la etapa de la estimación de recursos minerales, se considera que es una secuencia de actividades encaminadas a cuantificar tonelajes y leyes “*in situ*” de un depósito mineral que pudiese ser susceptible a un aprovechamiento económico. En este proceso se han considerado y aplicado tanto los métodos tradicionales y modernos, así como los criterios geológicos establecidos de acuerdo con el conocimiento, todo esto siguiendo normas internacionales para la estimación de recursos minerales.

Las muestras recuperadas en la exploración minera (testigos en el caso de sondeos), corresponden a la información de entrada para el modelamiento geológico, la cuantificación de los recursos minerales (modelo de bloques) y la categorización de estos en recursos medidos, indicados e inferidos.

Para este trabajo se utilizan distintos softwares geológico - mineros, donde se han desarrollado, optimizado y aplicado técnicas de estimación.

- RecMin RMyac:
 - Creación y validación de base de datos.
 - Validación de topografía y creación de un modelo digital de elevación.
 - Análisis exploratorio de datos, estadísticas de cada elemento y por litologías.

- Datamine StudioRM:
 - Modelación e interpretación geológica y criterios de dominios de mineralización.
 - Regularización de ancho de muestras aplicando estadística, composite o soporte.
 - Búsqueda de tamaño de bloque, modelo optimo e integración de modelos en uno.
 - Método de interpolación y parámetros de búsqueda.
 - Estimación y clasificación de recursos minerales.
 - Validación de modelo de recursos por distintas técnicas.

- HxGN MinePlan3D: Creación y optimización de corta minera.
 - Creación de corta minera y optimización de minado.
 - Cuantificación de recursos minerales.

V.1.- Fases en la Estimación de Recursos Minerales

El procedimiento se estructura en diversas fases o pasos (Figura 5), integrando cada una de ellas por varias funciones que permiten, por un lado, establecer un procedimiento estándar.



Figura 5. Metodología utilizada en este Trabajo de Fin de Máster.

V.2.- Creación de Base de Datos

La base de datos debe de contar con un Control de Calidad que haya sido realizado correctamente y que los resultados de las medidas de Aseguramiento de Calidad cumplieron con su propósito, estos procedimientos se les llama QA/QC (Quality Assurance/Quality Control).

El primer paso es la creación de una base de datos, para el almacenamiento y análisis de información, que permite compilar en un solo lugar, la mayoría de los datos son considerados para el análisis de resultados para las estimaciones de recursos y reservas.

Primeramente, se realiza la importación de cuatro archivos (Collar, Desvíos, Análisis y Litología) en formato de texto (.txt) al software RecMin RMyac (Figura 6), que contienen la información de la orientación y localización de los sondeos, como también las propiedades de las muestras constituyentes, para posteriormente crear la base de datos unificada que utilizaremos para las siguientes etapas de estimación de recursos.

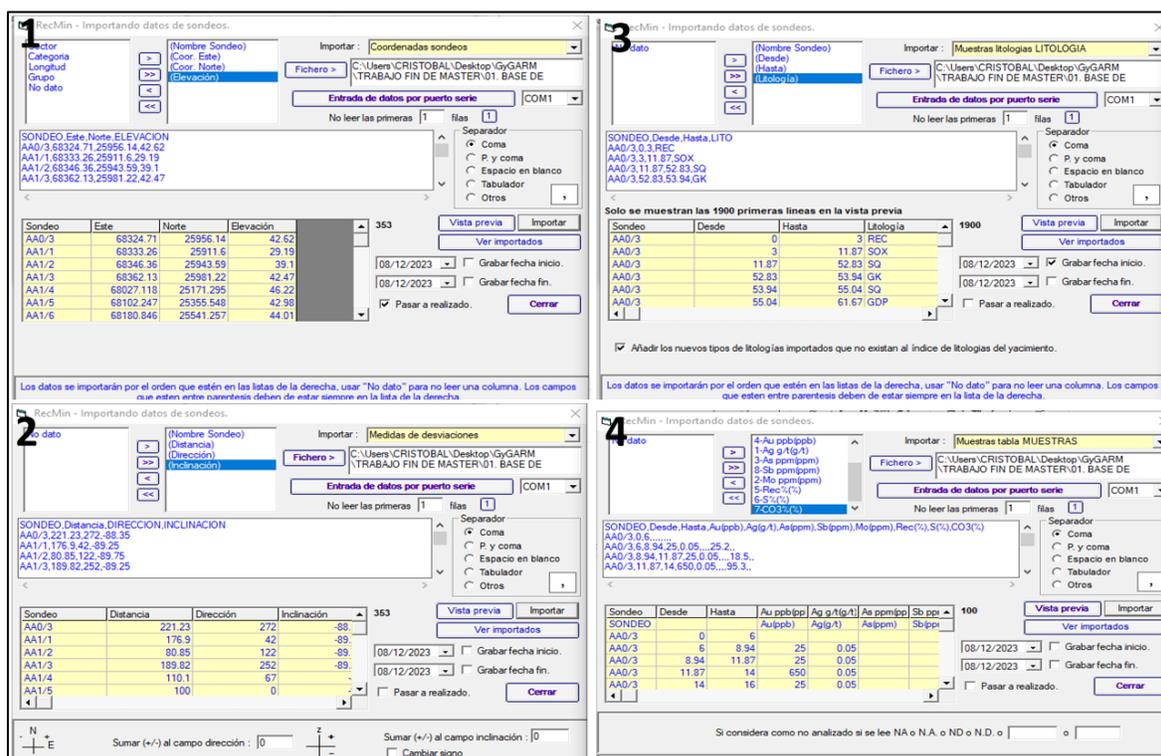


Figura 6. Importación y creación la base de datos en el software RecMin.

V.2.1.-Validación de Base de Datos

La verificación y validación de la información utilizada en el proyecto, es una actividad que brinda confianza a los datos y a los análisis de resultados, por lo tanto, contribuye a la solidez del proyecto y a la disminución de la incertidumbre de las estimaciones (CCRR, 2022).

Posteriormente se completó la validación de los datos, que incluyó comprobaciones de:

- Nombres de sondeos duplicados.
- Faltan una o más coordenadas de sondeo en el archivo del collar.
- DESDE o HASTA faltantes o ausentes en los archivos de ensayo
- Los intervalos de muestra existen espacios entre los ensayos.
- Los intervalos de muestra se superponen en los archivos de ensayo.
- La primera muestra no es igual a 0 m en los archivos de ensayo.
- La primera profundidad no es igual a 0 m en los archivos de levantamiento.
- Existen varios registros de estudios de fondo de sondeo para la misma profundidad.
- Falta azimut o buzamiento en los archivos de desvíos.
- La profundidad total de los sondeos es menor que la profundidad de la última muestra.
- Todos los intervalos en los que faltaban leyes de oro fueron reemplazados por leyes cero.

La base de datos del estudio contiene 353 sondeos para 61,333 m total de perforación y 35,291 muestras, estas fueron analizadas por distintos métodos y elementos, algunos tramos no se analizaron por los mismos elementos (Tabla 3).

Yacimiento	No. Sondeos	Total m	Número de Muestras por Elemento							
			Au (ppm)	Ag (g/t)	As (ppm)	Sb (ppm)	Mo (ppm)	Rec (%)	S (%)	CO3 (%)
Lulú	353	61,333	31,081	9,885	13,163	12,445	5,295	21,141	4,487	1,477

Tabla 3. Base de datos de sondeos para el yacimiento.

BHID	X	Y	Z	FROM	TO	LENGTH	AZIMUT	DIP	Au(ppb)	Au PPM	As(ppm)	Sb(ppm)	Mo(ppm)	Rec(%)	S(%)	CO3(%)	LITO
AA0/3	68325	25956	41	0	3	3	272	88	0	0.00	0	0	0	0	0	0	REC
AA0/3	68325	25956	38	3	6	3	272	88	0	0.00	0	0	0	0	0	0	SOX
AA0/3	68324	25956	35	6	9	3	272	88	25	0.03	0	0	0	25	0	0	SOX
AA0/3	68324	25956	32	9	12	3	272	88	25	0.03	0	0	0	19	0	0	SOX
AA0/3	68324	25956	30	12	14	2	272	88	650	0.65	0	0	0	95	0	0	SQ
AA0/3	68324	25956	28	14	16	2	272	88	25	0.03	0	0	0	91	0	0	SQ
AA0/3	68324	25956	26	16	18	2	272	88	50	0.05	800	50	37	95	1	2	SQ

Tabla 4. Ejemplo de base de datos validada y unificada.

V.2.2.- Espaciado y Distribución de Datos

La mayoría de los sondeos se perforaron con espaciamientos con un promedio de 20 m X 20 m entre los collares con una orientación de las líneas de exploración de suroeste a noreste (Figura 7).

Las partes centrales del depósito tenían una densidad de sondeos de hasta 10 m X 10 m, y los flancos se exploraron con una densidad de cuadrícula aproximada de 40 m X 40 m.

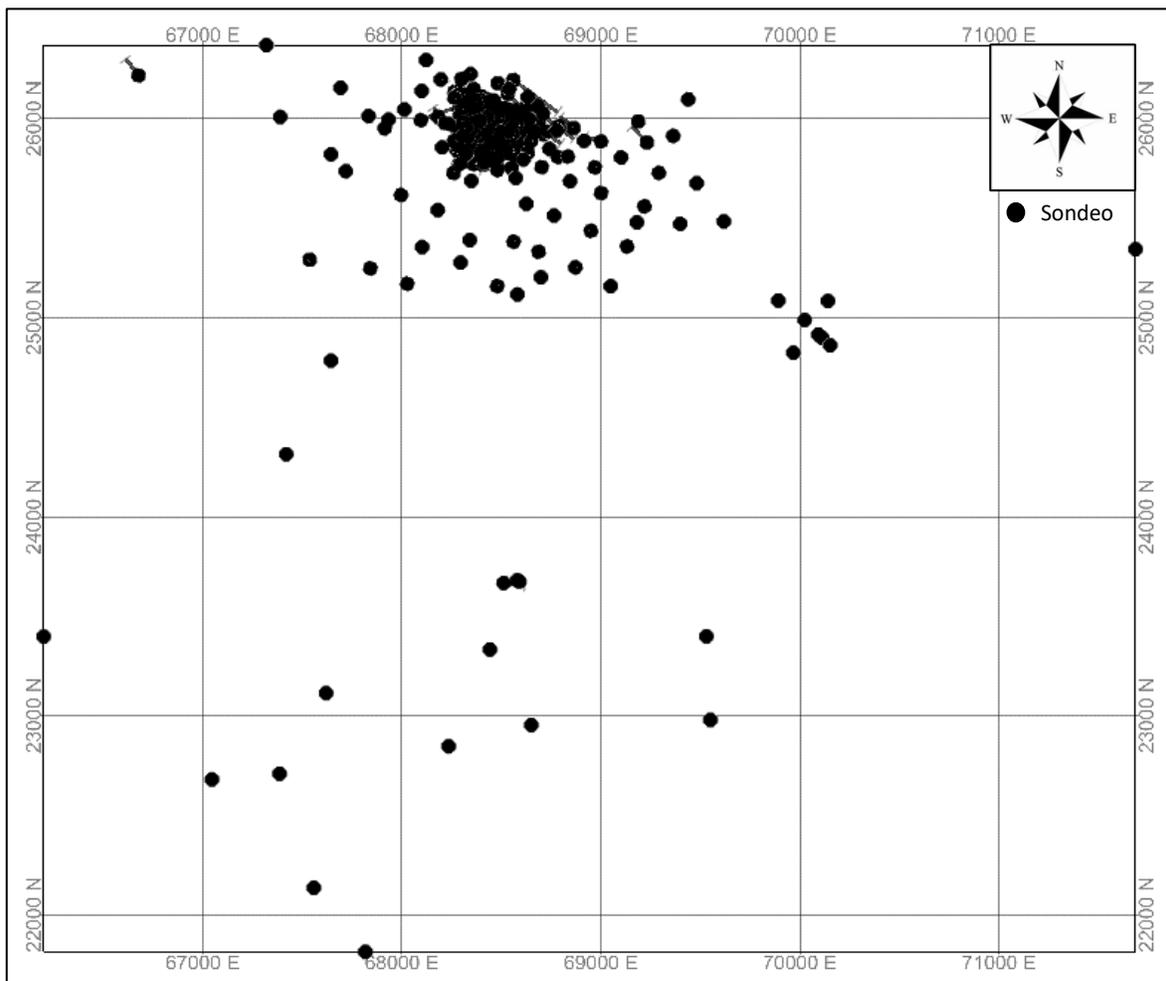


Figura 7. Sondeos exploratorios en vista en planta.

V.2.3.- Orientación de Sondeos

La mayoría de los sondeos en el depósito mineral están cerca de la vertical (Figura 8); sin embargo, algunos se perforaron hacia 110–125° o 280–290° en buzamientos de aproximadamente 45–65° para cruzar la zona mineralizada o explorar la zona hacia abajo (Figura 9).

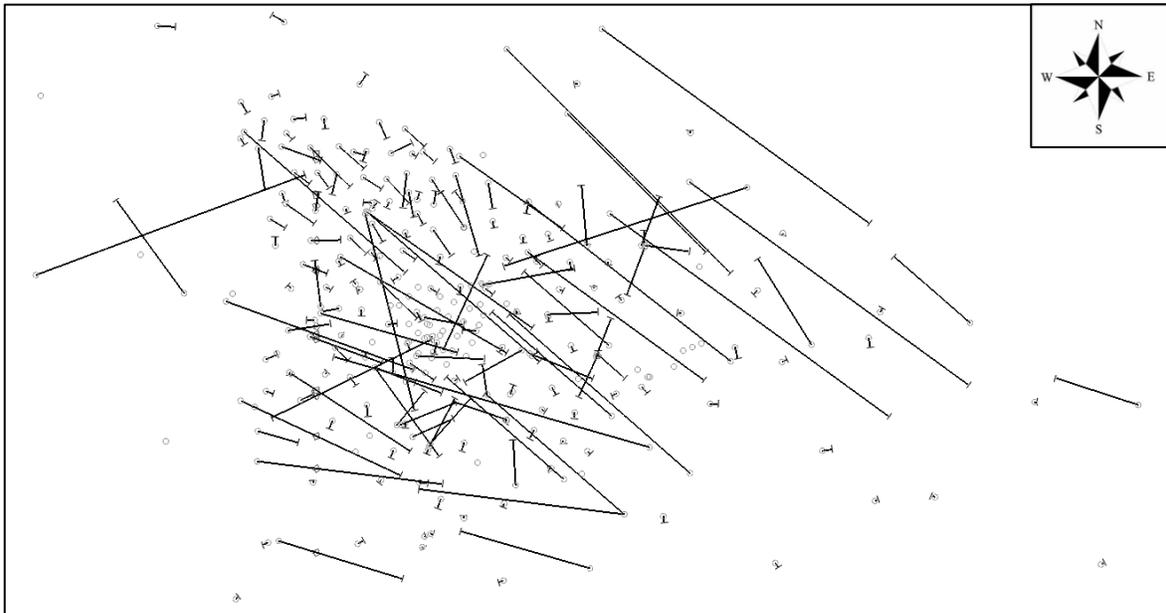


Figura 8. Sondeos en vista en planta, mostrando trayectoria.

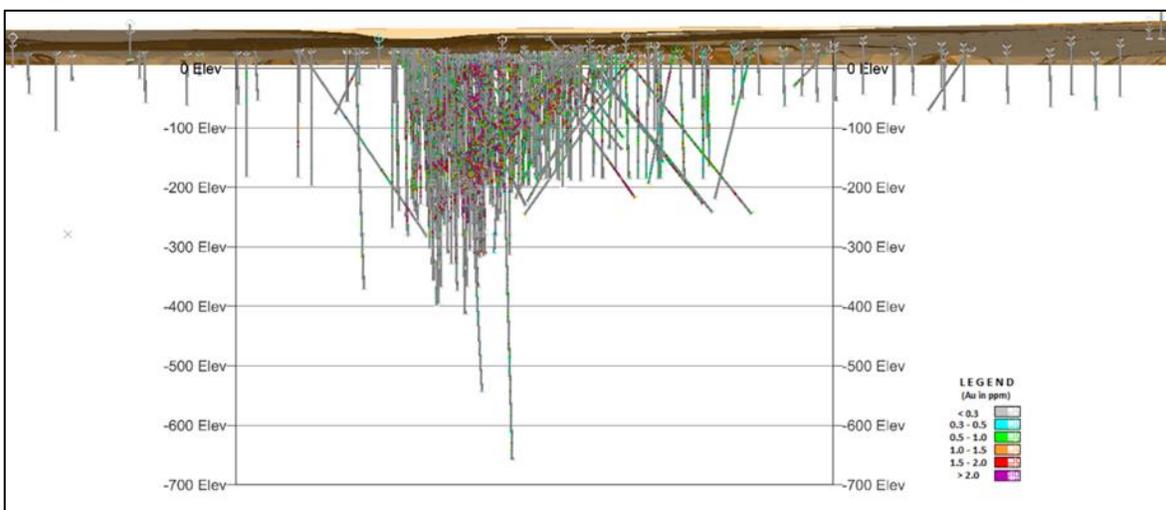


Figura 9. Sondeos en vista de sección N-S, vista al este.

V.3.- Análisis Exploratorio de Datos

El Análisis Exploratorio de Datos (AED) o EDA por sus siglas en inglés (Exploratory Data Analysis) es un paso que facilita el tratamiento y la interpretación de los datos de ley, calidad y litologías del depósito mineral, este se realiza en una hoja de cálculo Excel para su fácil manipulación. El AED corresponde a un conjunto de técnicas estadísticas que permiten examinar los datos para comprender su posible distribución, las relaciones existentes entre las variables analizadas (p.e. contenido de oro vs litología), identificar errores y evaluar datos faltantes y/o valores atípicos. El análisis de datos puede incluir una gama de procedimientos estadísticos univariantes, bivariantes y/o multivariantes aplicados a los datos para cada dominio de mineralización.

Con este análisis se establecen criterios para el tratamiento de datos anómalos, delimitación de poblaciones de datos con características similares, tendencias de la población de datos y selección del estimador más adecuado.

Los intervalos de perforación que cruzaban cuerpos minerales individuales se codificaron en aquellas denominadas dominios. Luego, la estimación de bloques se restringió a esos dominios y a los intervalos de ensayo codificados coincidentes.

Las estadísticas de los ensayos químicos se muestran en la Tabla 5.

ESTADÍSTICA	Ancho m	Au (ppb)	Au (ppm)	Ag (g/t)	As (ppm)	Sb (ppm)	Mo (ppm)	Rec (%)	S (%)	CO3 (%)
MUESTRAS	31,082	31,081	31,081	9,885	13,163	12,445	5,295	21,141	4,487	1,477
MINIMO	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAXIMO	29.30	166,000	166	70	200,000	173,000	3,000	100	17.80	29.40
PROMEDIO	1.67	1,148	1.148	0.52	2,882.81	353.45	73.78	94.92	1.11	6.09
RANGO	29.20	166000.00	166.00	70	200000	173,000	3,000	100	18	29
VARIANZA	0.63	11231105.92	11.23	5	32339070	731,823	20,653	33	2	14
DESVIACIÓN STD.	1	3712	4	2	5400	3243	124	13	1	4
KURTOSIS	407	239	239	606	202	1157	113	24	32	3
SKEWNESS	11	11	11	18	9	29	8	-5	4	1

Tabla 5. Estadísticas generales del cada elemento de interés.

V.3.1.- Principales Estadísticas

Por medio de la fase de análisis estadístico se realiza una revisión exhaustiva de las variables químicas con la finalidad de determinar, por un lado, los posibles errores existentes como son la distribución espacial de las muestras, el muestreo, la preparación de las muestras, los ensayos o la captura, y por el otro, para determinar la distribución de probabilidad, los parámetros estadísticos y los valores anómalos de cada una de las variables químicas (Figura 10, 11 y 12), además, de conocer la longitud de los tramos ensayados.

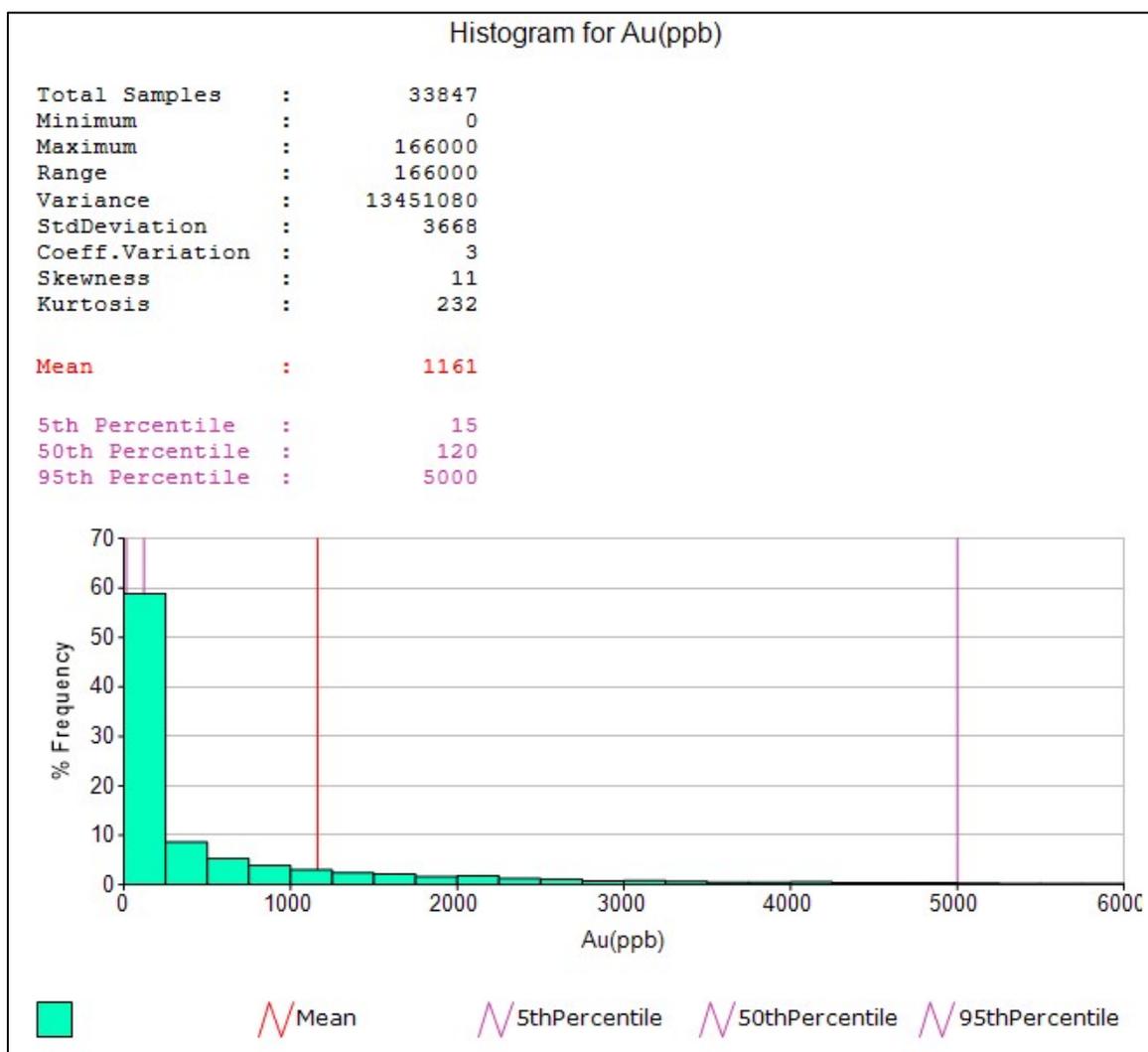


Figura 10. Histograma para Au ppb.

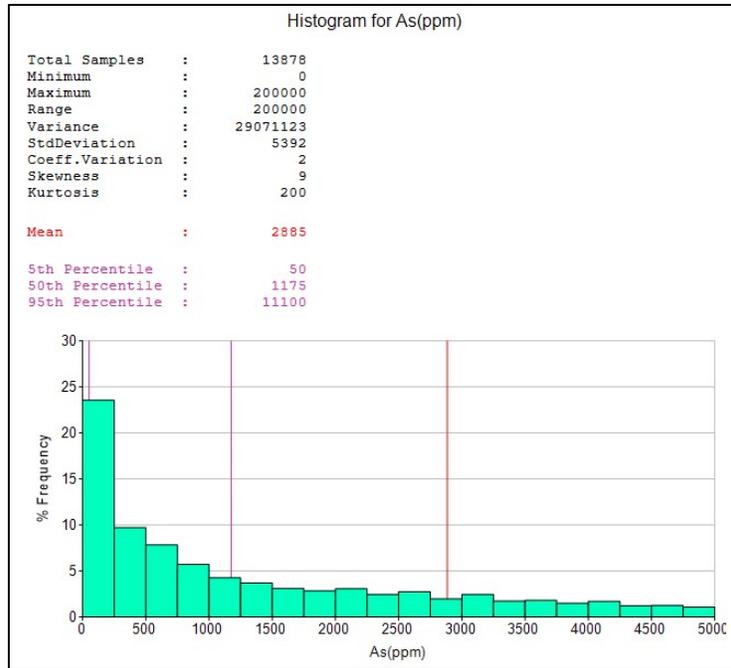


Figura 11. Histograma para As ppm.

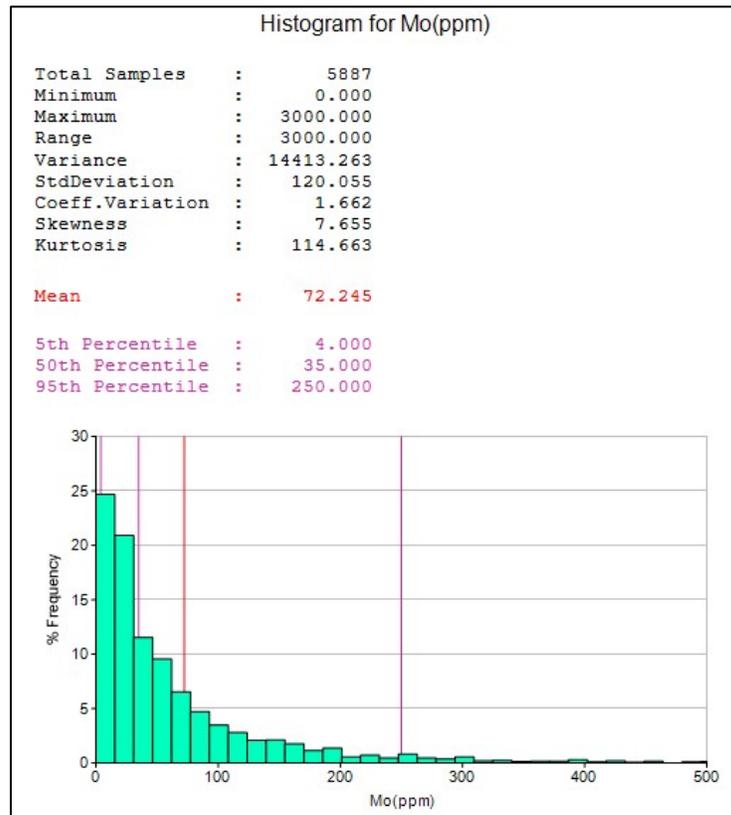


Figura 12. Histograma para Mo ppm.

V.3.2.- Coeficiente de Correlación

La Correlación Pearson indican moderada a relativamente buena correlación Au-As (0.639), aun siendo moderado su correlación de Pearson, el arsénico es el principal y único elemento pathfinder para la exploración de oro en el distrito; esto permite identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera; esta respuesta geoquímica es alterada frecuentemente por el proceso de removilización del oro y los sulfuros.

Las correlaciones de los elementos en el yacimiento están indicadas en la tabla 6, esta explica que cuando $r = 0$ significa una completa independendencia entre dos elementos analizados; $r = +1$ indica una relación funcional directa y cuando $r = -1$ indica una correlación funcional inversa.

	Au (ppm)	Ag (g/t)	As (ppm)	Sb (ppm)	Mo (ppm)	Rec (%)	S (%)	CO3 (%)
Au (ppm)	1.000							
Ag (g/t)	0.056	1.000						
As (ppm)	0.639	-0.101	1.000					
Sb (ppm)	0.312	0.123	0.236	1.000				
Mo (ppm)	0.044	0.134	0.026	0.059	1.000			
Rec (%)	0.032	0.007	0.039	0.010	-0.078	1.000		
S (%)	0.185	0.014	0.295	0.101	0.151	0.010	1.000	
CO3 (%)	-0.008	-0.048	0.013	-0.001	0.095	0.092	0.243	1.000

Tabla 6. Correlación de Pearson entre datos (14,879 muestras).

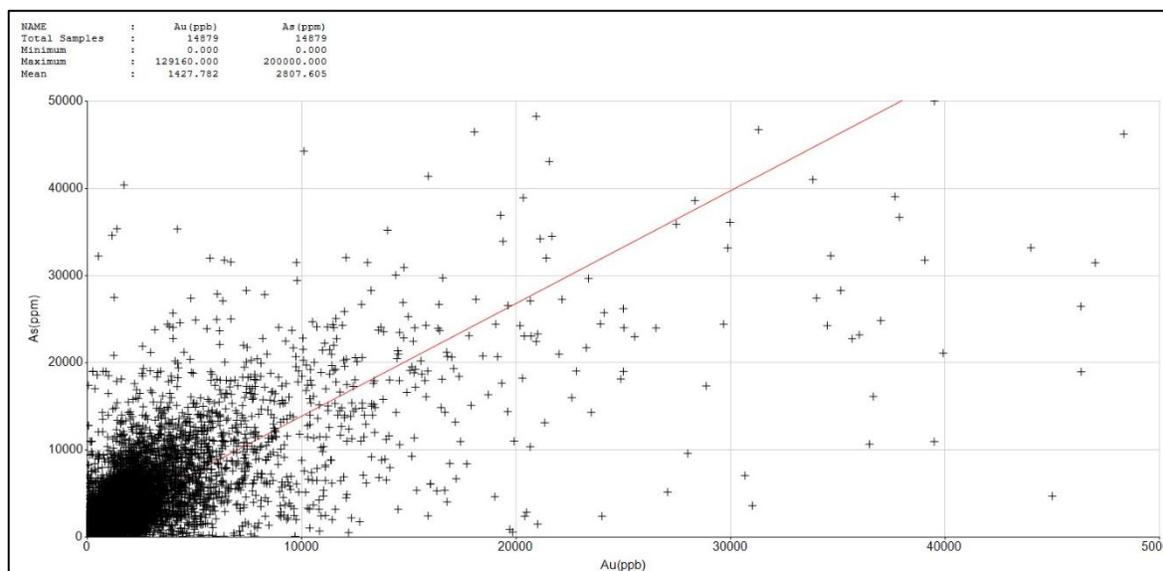


Figura 13. Gráfico de dispersión entre Au y As, mostrando la línea de regression en rojo.

V.4.- Modelo Digital de Elevación (MDE)

La topografía fue proporcionada por Atalaya Mining y está cubierta por contornos de intervalos de 5 m. Las superficies simples y no plegadas, tales como la topografía del terreno pueden modelarse como Modelos Digitales de Elevación.

Este provee un modelo exacto de superficie triangularizado, en el cual todos los datos de los puntos son utilizados. Para crear un MDE todo lo que se necesita es un conjunto de valores X, Y, Z que describan las superficies.

El modelo topográfico digital del terreno (MDE) se realiza en el software RecMin, mediante la función de triangulación de superficies y grupos de puntos, es necesario primeramente haber importado las curvas de nivel del proyecto (Figura 14).

Posteriormente se hace la validación para garantizar que cubra el área de los depósitos a modelar y que respete los datos del collar de sondeos. Se encontró que los collares de sondeos coincidían con la superficie topográfica.

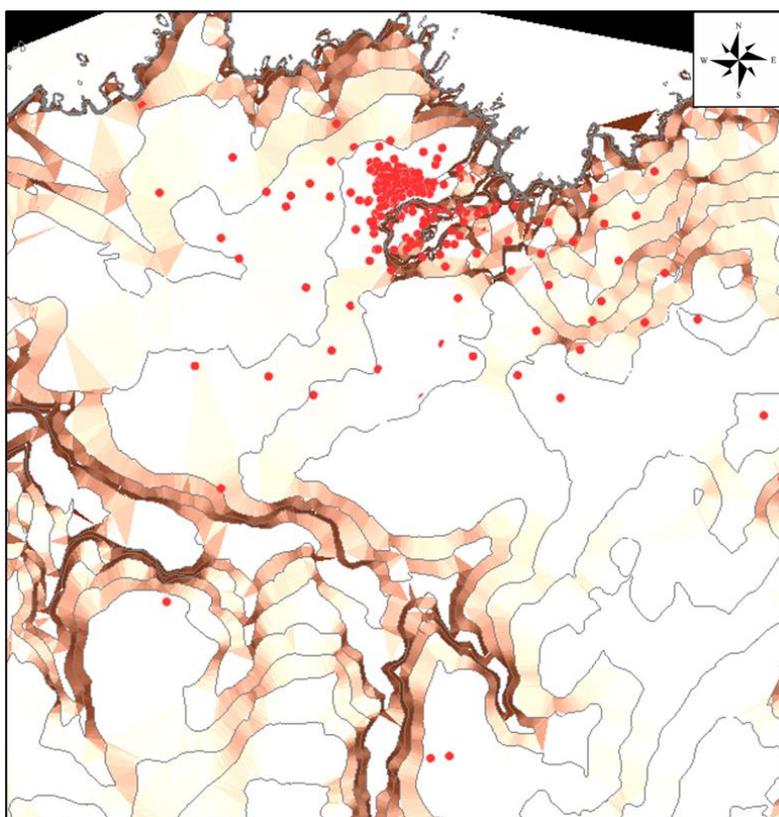


Figura 14. Topografía, Modelo Digital de Elevación y sondeos.

V.5.- Modelo Litológico

Para la estimación de recursos debe contarse con un modelo litológico que permita establecer la forma, ubicación, tamaño y distribución de la geológica, lo cual se obtiene de la integración de todos los datos relevantes obtenidos en las fases previas del proyecto.

Algunos de los errores comunes en la estimación de los recursos están asociados a un entendimiento erróneo de la geometría del yacimiento. Para evitarlo, se debe de tener conocimiento y confianza geológica en cuanto a la interpretación de la geometría, el control geológico y la continuidad del depósito considerados para elaborar el modelo geológico.

El modelo litológico tiene en cuenta los posibles dominios geológicos que conforman el depósito, que se definen como zonas de características geométricas y/o de calidad similares. Los dominios de estimación deben definirse en función de las características geológicas y geoestadísticas.

Esto permite subdividir un depósito en volúmenes discretos, que resultan en una distribución consistente del atributo que se está estimando (CIM, 2019).

Utilizando el software Datamine Studio RM, se construyó un modelo de bloques que comprende todo el volumen del depósito de mineral, el tamaño de bloque es de 5m³.

Los bloques en el modelo fueron etiquetados según los distintos dominios, posteriormente se realiza la integración, codificación y generalización de litologías. Esto con el objetivo de obtener, en qué unidades litológicas se encuentran las concentraciones de mineral de interés.

La interpretación del depósito mineral se basó en la comprensión de la geología del depósito.

Cada sección transversal, con una separación de 20 m, se mostró junto con las trazas de las perforaciones codificadas por colores según los valores de oro y litologías.

V.5.1.- Codificación de Litologías

En esta etapa fue necesario la codificación e integración de litologías y una reducción de estas, para poder realizar la futura interpretación geológica (Tabla 7), por lo que se integraron todas aquellas que tuvieran una relación geoespacial común, así como una estadística en valores similar.

Posteriormente se realiza la interpolación de litologías utilizando el método de interpolación del vecino más cercano, con ello se confecciona un modelo de bloques litológico (Figura 15,16, 17 y 18).

LITOLOGÍA GENERAL	LITOLOGÍA CODIFICADA	MUESTRAS	SONDEOS	LONGITUD PROMEDIO m
GRANODIORITA	UNK	442	30	1.6
	FQ	5	3	0.9
	GA	1411	126	1.4
	GB	204	6	2.2
	GCS	8836	215	1.6
	GD	5320	205	1.9
	GDP	427	84	1.5
GRANITO	GH	7099	234	1.5
	GHQ	3	1	1.0
	GHS	351	51	1.3
	GK	652	81	1.7
	GOX	310	64	2.1
	GP	3541	208	1.6
DESCONOCIDO	MT	1	1	1.5
	ND	10	1	0.9
	NR	16	8	2.0
	PV	55	17	0.9
RECUBRIMIENTO	REC	396	253	4.0
METASEDIMENTARIO	SH	103	26	1.5
	SOX	243	71	2.7
	SP	2671	166	2.5
	SPA	8	2	1.8
	SPK	107	23	2.0
	SQ	2119	140	1.8
	SQK	65	9	1.4
ZONA DE FALLA	ZF	896	127	1.3
TOTAL	TOTAL	35291	351	1.7

Tabla 7. Litologías codificadas, mostrando cantidad de muestras, sondeos y longitud de muestreo.

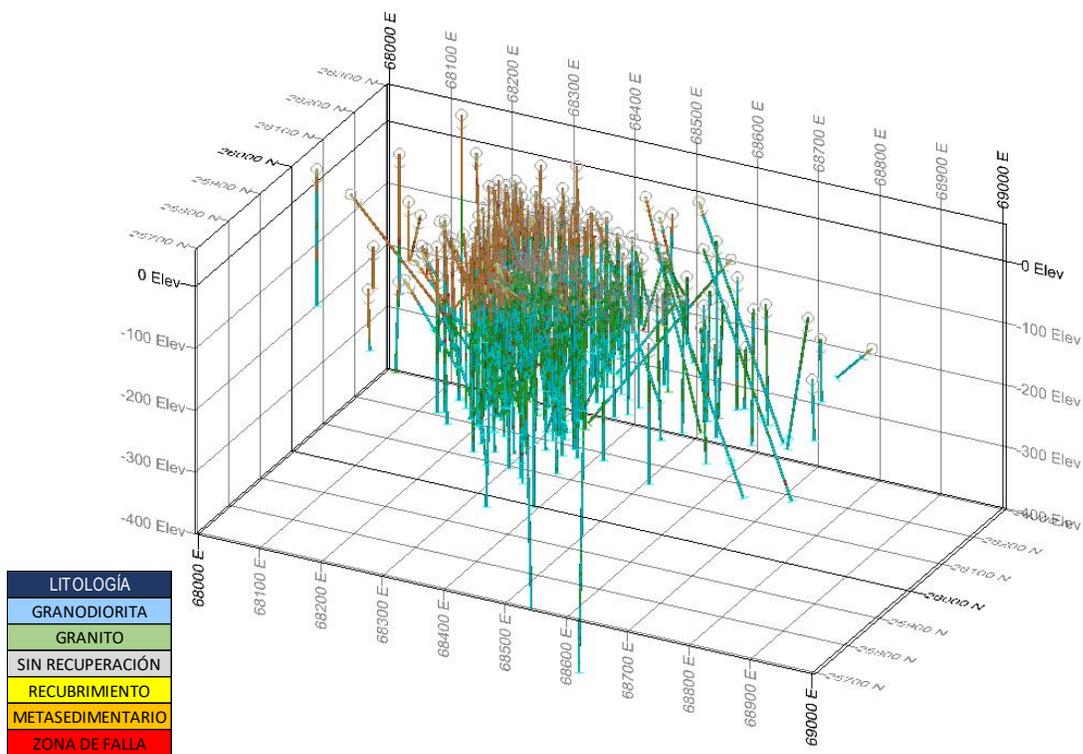


Figura 15. Sondeos mostrando litologías codificadas, vista 3D.

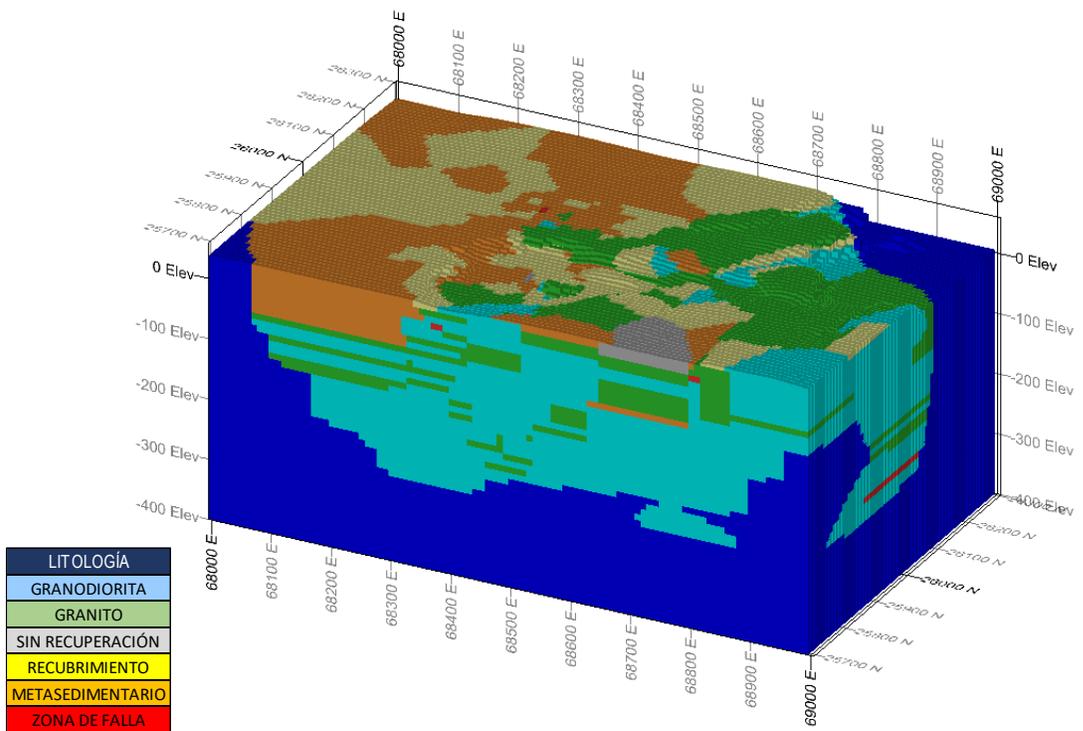


Figura 16. Modelo Geológico con litologías codificadas, vista 3D.

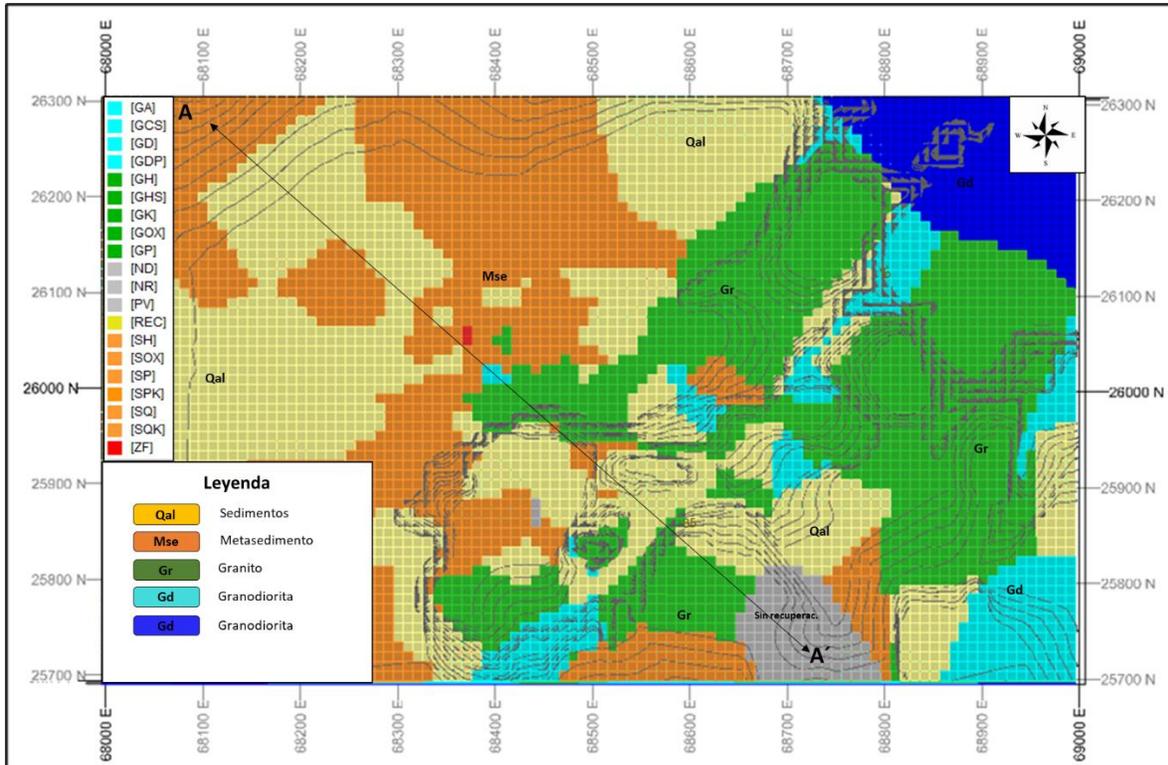


Figura 17. Modelo de bloques mostrando litologías codificadas vista en planta.

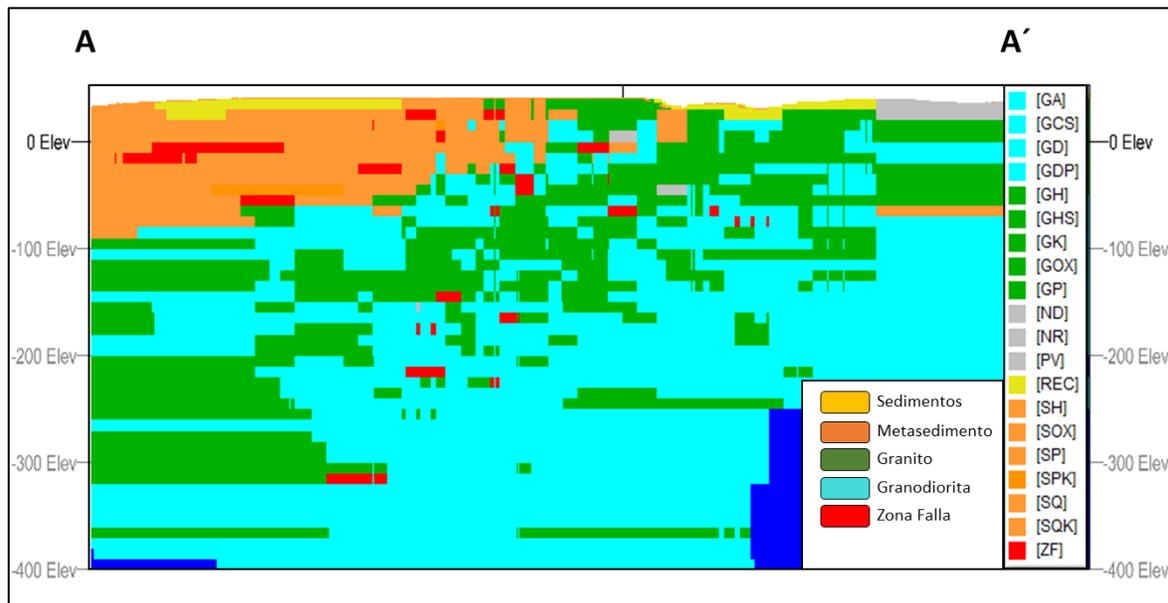


Figura 18. Sección vertical del modelo de bloques mostrando litologías codificadas.

V.6.- Modelo Estructural

Se llevó a cabo un análisis estructural basado en la información proporcionada por Atalaya Mining. La base de datos incluye la localización de las zonas de falla, pero no sus direcciones ni buzamientos. Para subsanar este defecto, la orientación de las fallas se ha inferido en base a contactos litológicos que coincidentes con la posición geoespacial de las zonas de fractura. El modelo resultante permite identificar patrones generales de fracturación correlacionables con el modelo litológico (Figura 19 y 20). La medición de las fallas se hace una vez que estén en un plano vista en planta para obtener su dirección o rumbo, utilizando los grados de estas referentes al norte, y para la obtención de la inclinación o buzamiento, se hace mediante la realización de secciones verticales y uniendo las zonas de fallas (interpretación estructural), para posteriormente obtener su ángulo respecto a la horizontal. La orientación estructural dominante en la región es el noreste, con el contacto entre las rocas metasedimentarias y rocas intrusivas orientado en esta dirección.

Se tienen las siguientes tendencias de fallas:

- Una tendencia este-oeste.
- Una tendencia N40°- 50°E con buzamientos interpretados desde moderados a pronunciados hacia el noroeste.
- Otras observaciones estructurales incluyen un sistema de fallas paralelas en las rocas metasedimentarias N15°- 45°W. Este subconjunto de datos puede ser relevante para la distribución del oro, ya que el encajante de rocas metasedimentarias también alberga mineralización de oro a ambos lados del contacto superior de la intrusión con rocas metasedimentarias.

La diferencia en la orientación de las fallas/fracturas entre las rocas encajantes y el cuerpo de granodiorita se puede atribuir a la refracción de las orientaciones de las fracturas a través del contraste reológico entre ellas. Las fallas con tendencia noroeste son subparalelas a la forma general de la granodiorita y pudieron haber proporcionado un conducto para el emplazamiento de la granodiorita, esto implicaría que el intrusivo fue emplazado durante la deformación.

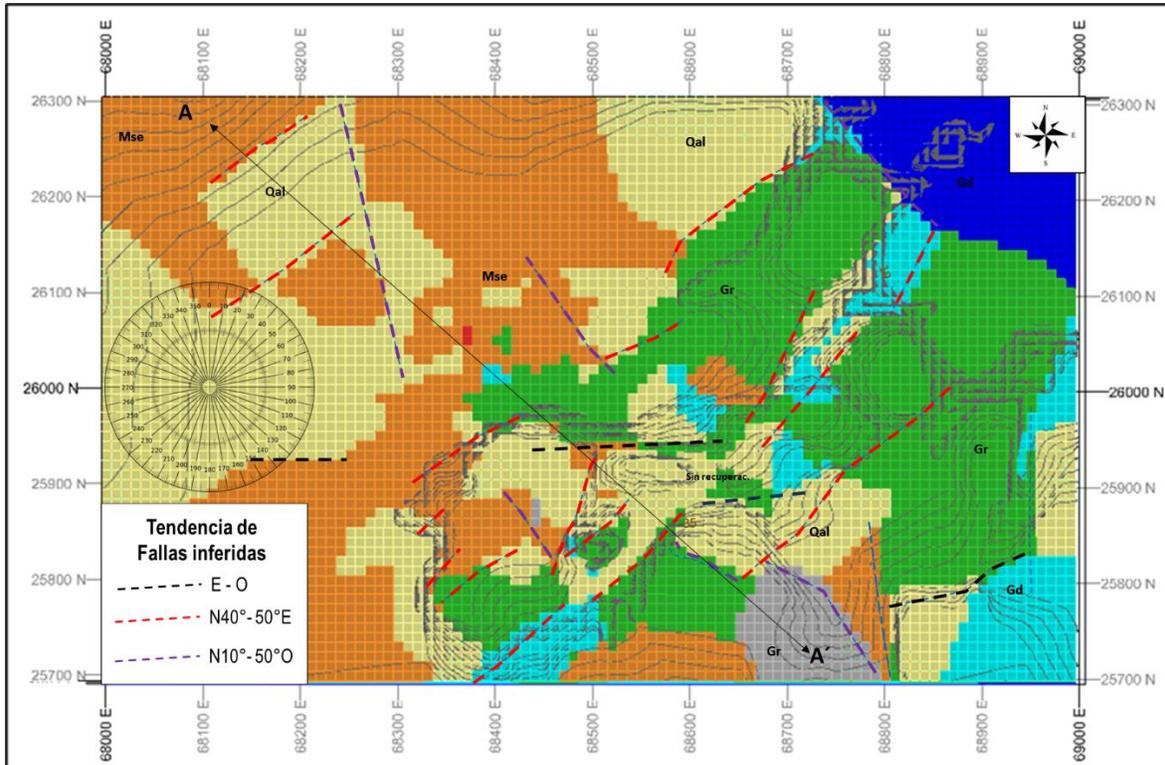


Figura 19. Plano Geológico-Estructural mostrando fallas inferidas con distintas tendencias, la interpretación se realiza a partir del modelo de bloques con litologías y fallas descritas en sondeos.

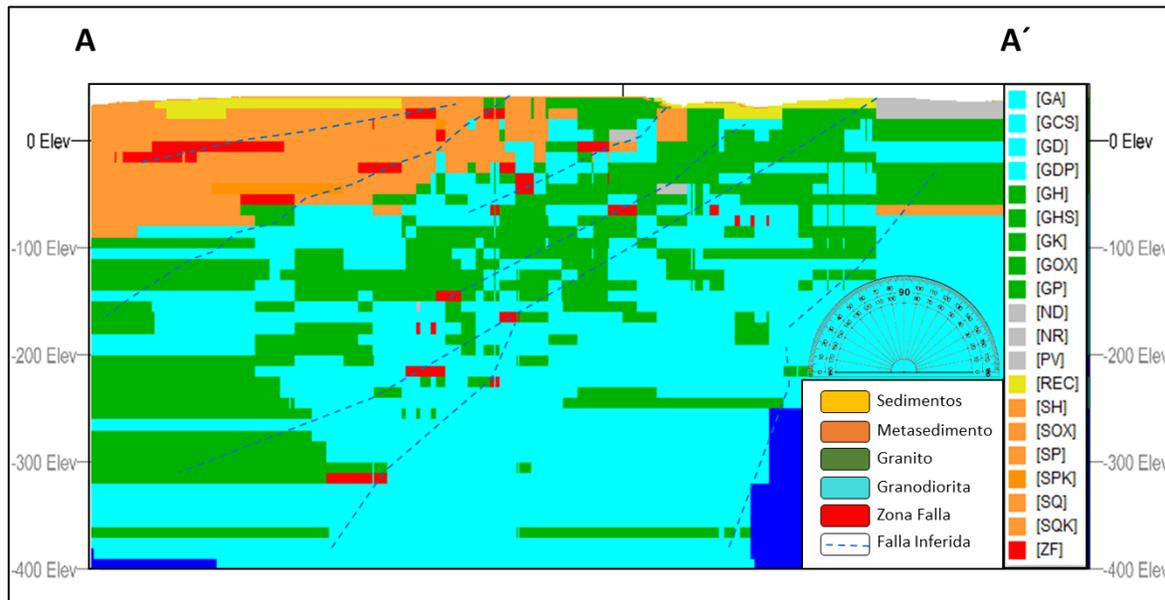


Figura 20. Sección transversal mostrando modelo de bloques con litologías codificadas y fallas interpretadas a partir de datos de sondeos.

V.7.- Modelo de Mineralización

Se crearon compuestos de ley para ayudar con la interpretación y la estructuración. El composite es una técnica estándar usada para la regularización del largo o bien de la altura (distancia en la vertical) de las muestras. El proceso de compositación de ley se ejecutó con los siguientes parámetros de entrada:

- Longitud máxima compuesta: 1.5 m.
- Ley mínima del composite final: 0,30 g/t Au.
- Longitud máxima consecutiva de estéril: 0.50 m.

Todos los compuestos de ley se mostraron a lo largo del trazo de los sondeos para ayudar a la visualización de los intervalos mineralizados y la interpretación del depósito en su conjunto.

Se emplearon los métodos de modelamiento explícito e implícito.

El modelado explícito requiere la proyección de los sondeos en secciones en serie considerando la variable categórica a modelar, para luego unir los límites de las unidades similares mediante polilíneas. Esto se realiza en secciones transversales, para posteriormente unir las intersecciones y triangularlo, resultando en un conjunto de sólidos.

El modelamiento implícito se obtiene evaluando un conjunto de datos de entrada mediante una función matemática a través del espacio. Este método está automatizado por lo que no requiere de la interacción manual como es el caso del modelado explícito. El objetivo sigue siendo el mismo, predecir la extensión espacial de la mineralización a partir de los sondeos. El método está basado en la interpolación de distancias obtenidas entre las ubicaciones de los datos, en nuestro caso, a partir de los atributos de leyes de oro obtenidos de sondeos.

Se utilizan las siguientes técnicas al interpretar la mineralización:

Primeramente, se realizan secciones cada 20 m, con una dirección N55°E, que cubran toda la zona de interés, y que sean perpendiculares al rumbo preferencial de las estructuras mineralizadas (Figura 21). El objetivo es comprender la geometría y distribución tridimensional de las estructuras mineralizadas. Este proceso es fundamental para una adecuada estimación de recursos.

Cada sección transversal se mostró en pantalla con una ventana de recorte igual a la mitad de la distancia de las secciones adyacentes (± 10 m). Todas las polilíneas interpretadas se ajustaron a los intervalos de sondeos.

Cuando no había ningún sondeo presente hacia abajo, la mineralización se extendió aproximadamente 10 m hacia abajo.

Si una lente mineralizada se extendía hasta la superficie topográfica, se extendía, al mismo ancho que el último sondeo, por encima de la superficie para garantizar que no hubiera espacios entre la zona mineralizada y la topografía cuando se construyera el modelo de bloque.

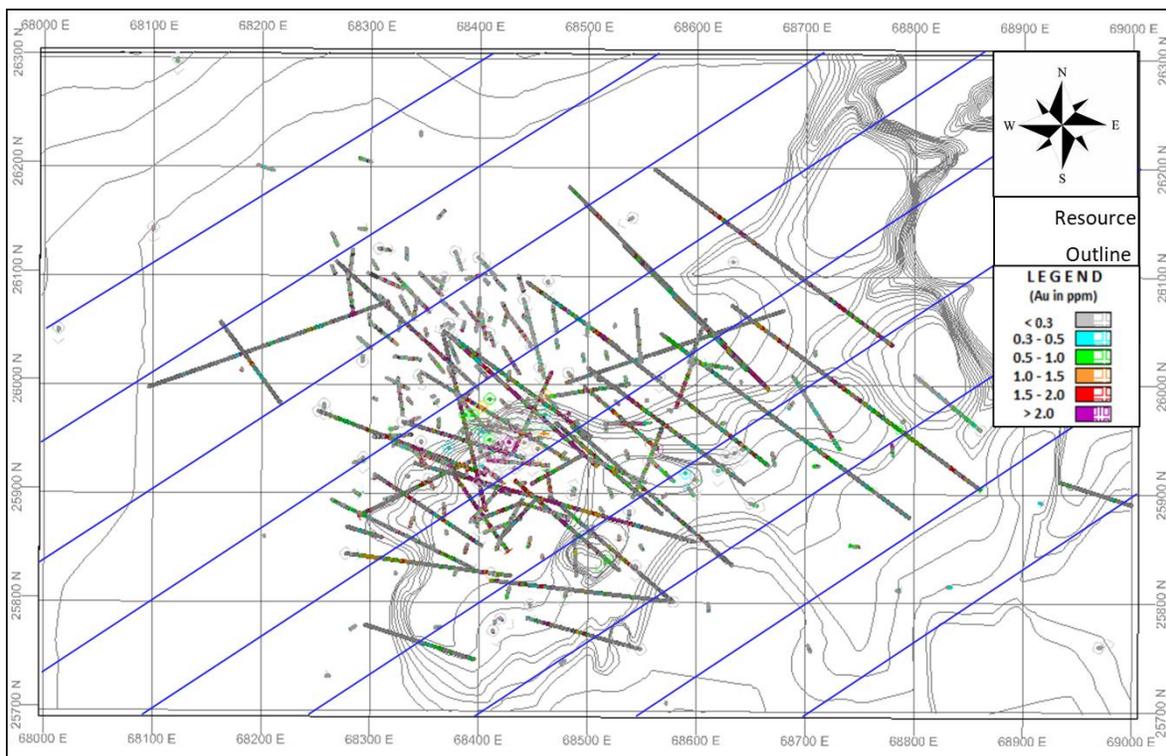


Figura 21. Vista de sondeos y secciones realizadas con dirección N55°E, la interpretación se hace con un espaciado entre secciones cada 20 m, en la imagen solo se muestran las secciones cada 100 m.

Todas las zonas mineralizadas interpretadas fueron "fijadas" en los sondeos basándose en litologías registradas y ensayos químicos.

Las líneas interpretadas se utilizaron para generar una estructura sólida en 3D para la envoltura mineralizada.

Cada sección se mostró en pantalla junto con la sección interpretada más cercana. Si en el siguiente tramo transversal no aparecía la envoltura correspondiente, la primera se proyectaba hasta la mitad del tramo siguiente.

La envoltura modelada para la zona mineralizada se muestra en las Figuras 22, 23, 24, 25 y 26.

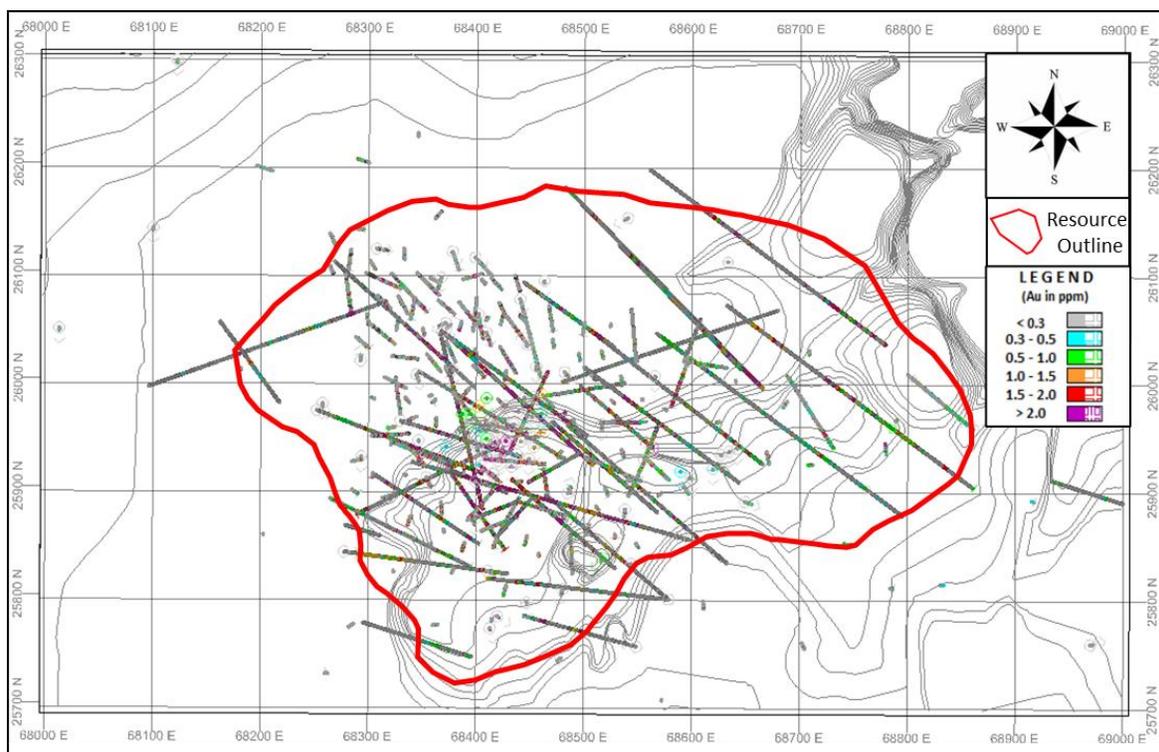


Figura 22. Envoltura de zona mineralizada vista en planta y sondeos con valores de oro.

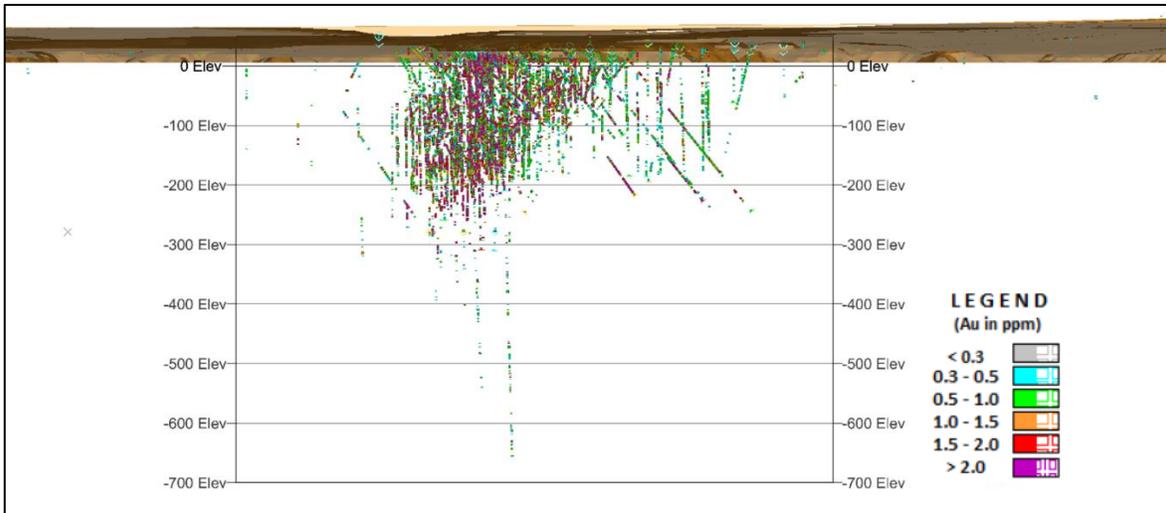


Figura 23. Sección N-S con vista al este, mostrando valores de oro mayores a 0.30 ppm.

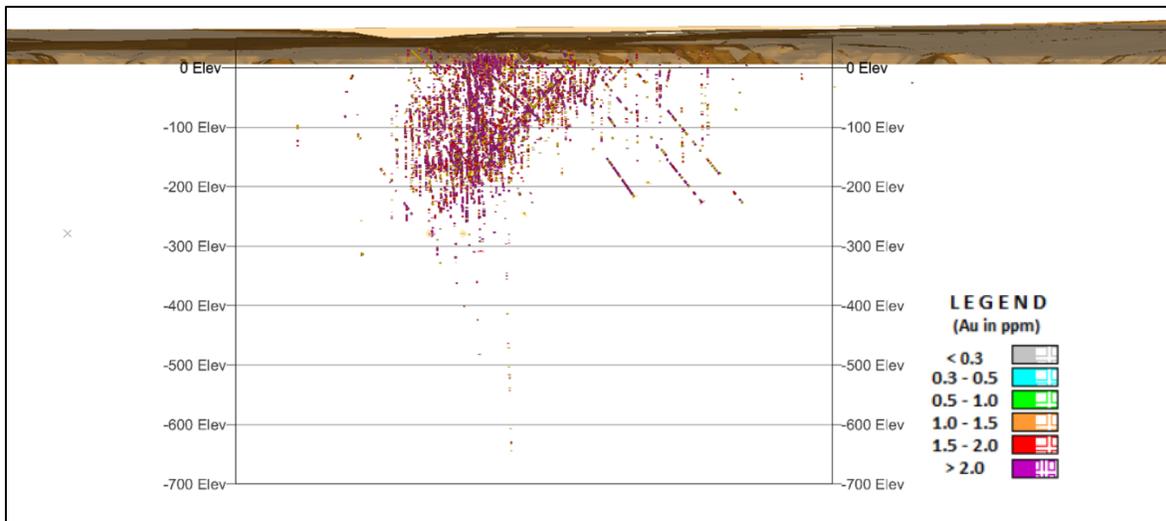


Figura 24. Sección N-S con vista al este, mostrando valores de oro mayores a 1.00 ppm.

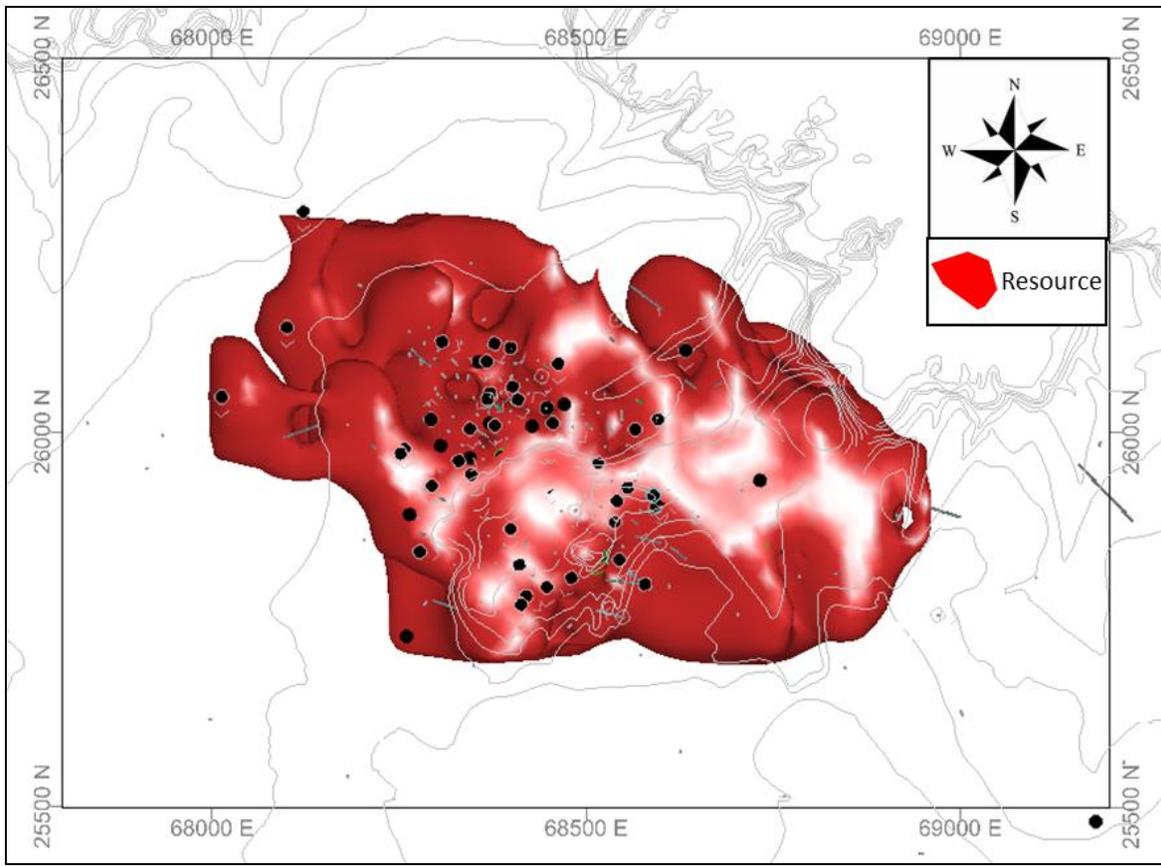


Figura 25. Vista en planta de estructura sólida en 3D.

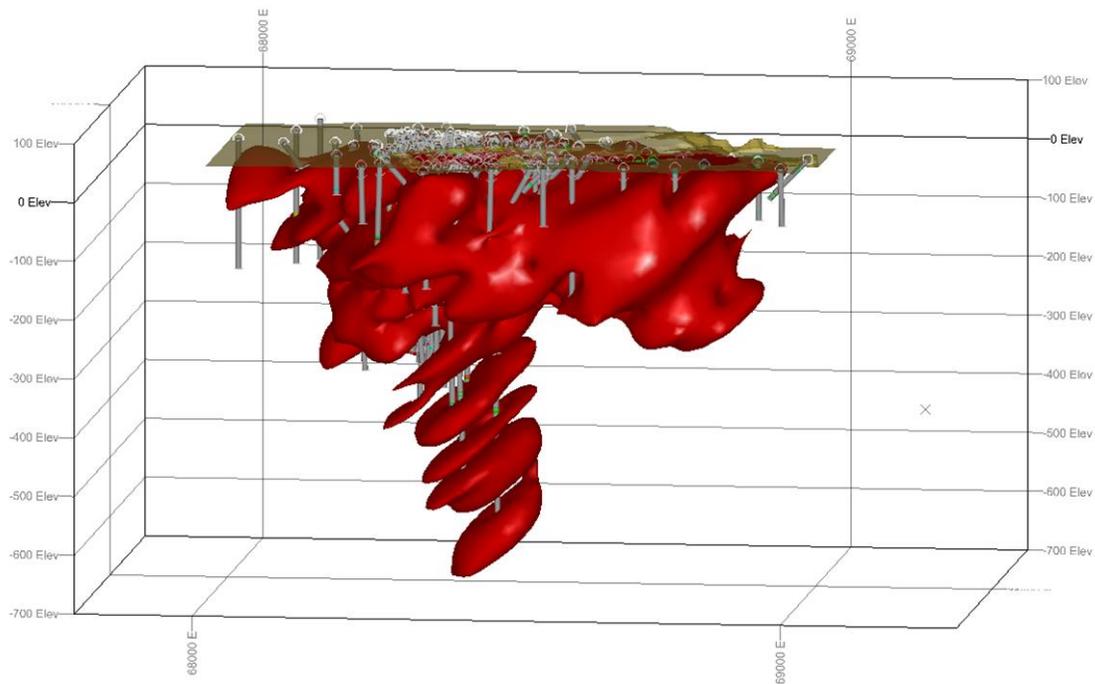


Figura 26. Vista este - oeste de estructura sólida en 3D.

V.8.- Modelo de Recursos Minerales

V.8.1.- Densidad

La densidad se usa de acuerdo con cada litología (Tabla 8), lo recomendable es realizar la determinación de la densidad por el método de inmersión en agua (Ponce, D.A., 2021).

LITOLÓGÍA	DENSIDAD t/m ³
GRANODIORITA	2.75
GRANITO	2.70
SIN RECUPERACIÓN	1
RECUBRIMIENTO	1.7
METASEDIMENTARIO	2.58
ZONA DE FALLA	1
PROMEDIO	2.67

Tabla 8. Densidad de cada litología.

V.8.2.- Composición o regularización de ancho de muestreo

Cada sondeo a través del depósito de mineral fue muestreado en una base no constante. Por lo tanto, es necesario realizar una regularización del ancho de muestreo. La regularización se realizó cada 1,5 m como longitud fija considerando todas las muestras de la base de datos. El criterio de regularización se basa en la moda estadística, como indica el histograma de la Figura 27 (50 percentil).

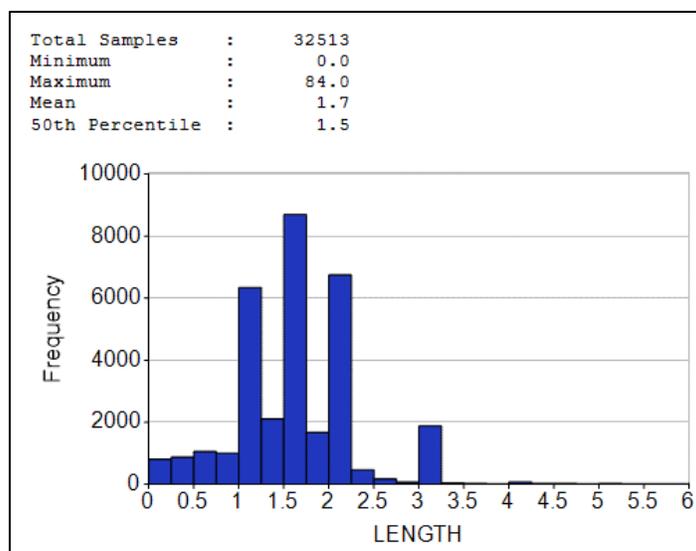


Figura 27. Histograma mostrando el ancho de muestreo.

V.8.3.- Modelo Bloques y Método de Interpolación

Se crea un modelo de bloques para abarcar la extensión total del depósito mineral. Los parámetros del modelo de bloques se muestran en la Tabla 9 y los parámetros de interpolación en la Tabla 10.

Las leyes se estimaron mediante la potencia inversa de la distancia (segunda y tercera potencia) y el vecino más cercano (Anexo A). El método de la potencia inversa de la distancia al cuadrado solo se consideró para la presentación de informes de recursos. Este método asigna un valor inversamente proporcional de la distancia al punto donde se desea hacer la estimación. Si el valor asignado es bajo, a distancia elevada a esa potencia es 1 y entonces, a todos los datos se les asigna el mismo valor. Si por el contrario el valor asignado es muy alto, los valores elevados a esa potencia se volverán muy pequeños y el método se convertirá en el del vecino más cercano. En general se recomienda, para casos de estimación de recursos minerales, emplear un factor de potencia de 2.

El modelo utiliza un tamaño de bloque principal de 5,0 m (Este) x 5,0 m (Norte) x 5,0 m (Elevación) con subbloques en la elevación (Z) lo cual permite mantener la resolución de la zona mineralizada sin rotación. Este tamaño se seleccionó basándose en aproximadamente una cuarta parte del espaciamiento promedio de las secciones de perforación en el depósito (20 m). Las dimensiones del bloque del modelo también se seleccionaron para proporcionar suficiente resolución al modelo en todas las direcciones.

Para la estimación de los bloques, se ha seleccionado una elipse de búsqueda aplanada para capturar intervalos de muestra, conforme a la dirección e inclinación de la mineralización. No se consideró útil realizar análisis espaciales (variografía) para determinar los parámetros de búsqueda.

Modelo de bloques	X	Y	Z
Origen	67,900	25,697	-700
Tamaño bloque (m)	5	5	5
Rotación	0	0	0
Número de Bloques	194	122	150
Número Total de Bloques	3,550,200		

Tabla 9. Parámetros del modelo de bloques.

Parámetros de Interpolación en la Estimación de Recursos Minerales	
Radio de Búsqueda m	100 x 100 x 10
Rotación de Elipse en Grados	350° X; 0° Y; 35° Z
Mínimo y Máximo de Muestras Usadas	3 - 12
Máximo Número de Muestras Usadas por Sondeo	2
Método de Interpolación	Inverso a la Distancia al Cuadrado
Restricción de Dominio	Por mineralización
Composite o regularización de ancho de muestreo (m)	1.5

Tabla 10. Parámetros de interpolación.

Posteriormente se genera un modelo de bloques vacíos (sin leyes) dentro del Modelo de Mineralización (Figura 28).

Posteriormente, el modelo de bloques se restringe al espacio por debajo de la superficie topográfica. La posibilidad de existencia de bloques por encima de la superficie topográfica ocasionaría una sobreestimación al realizar el cálculo o inventario de recursos minerales. Por último, se rellenaron los bloques con los valores interpolados mediante los métodos descritos anteriormente (Figura 29, 30, 31 y 32).

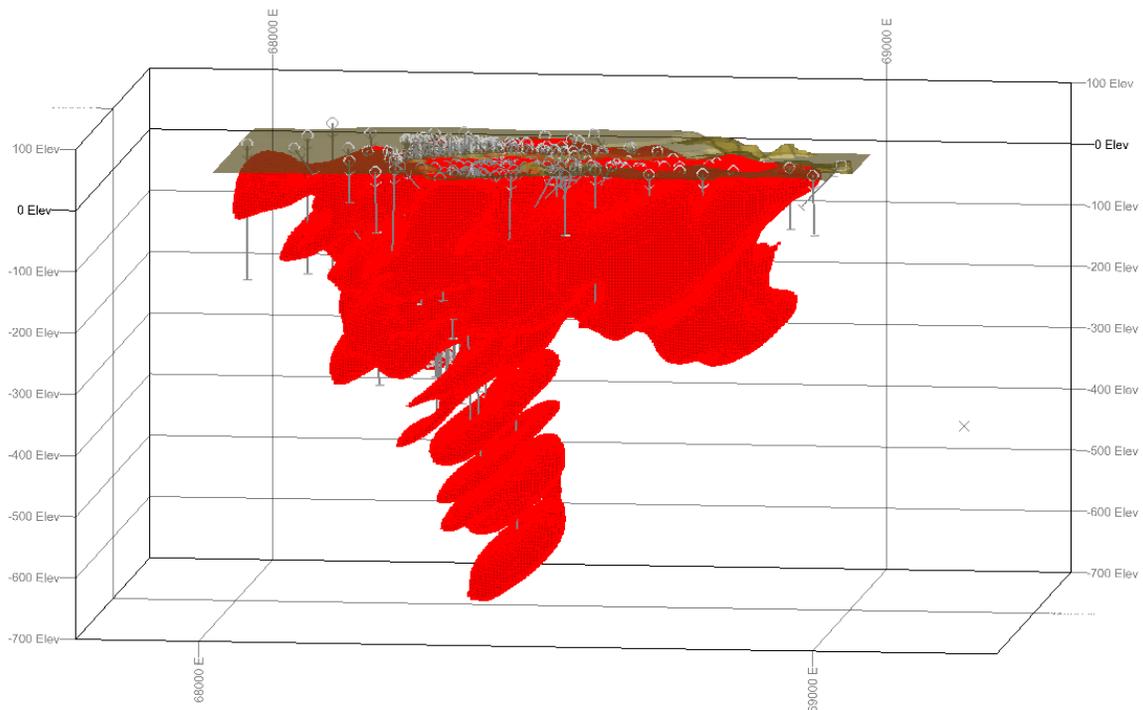


Figura 28. Modelo de bloques representando la mineralización de oro, en tamaños regularizados.

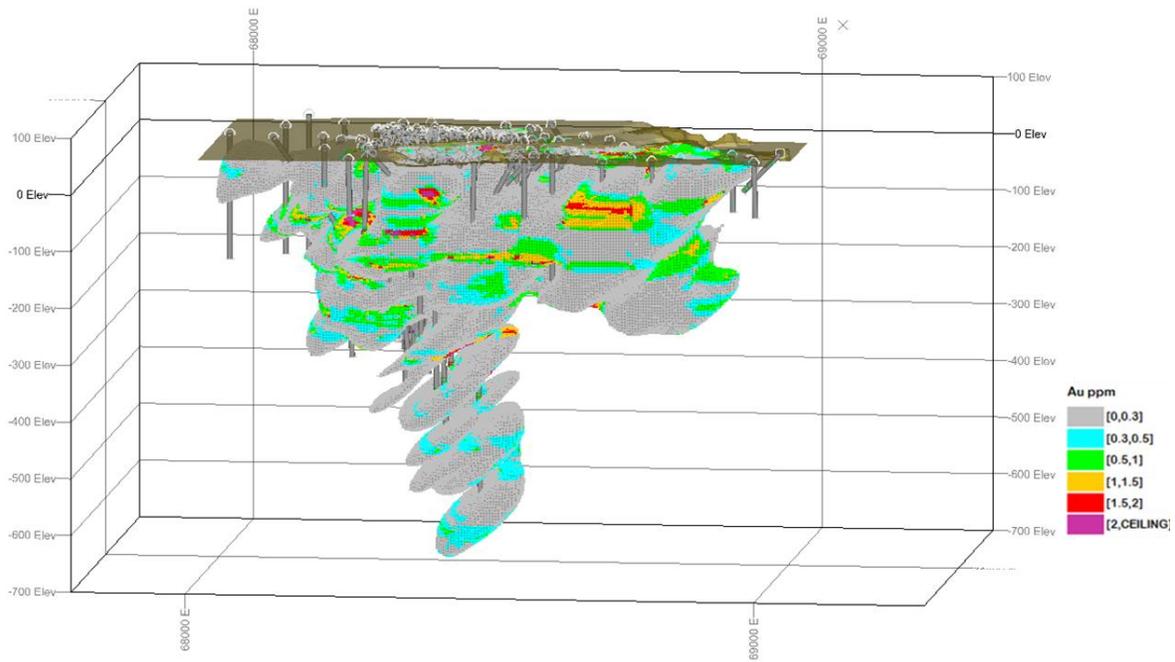


Figura 29. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro en ppm.

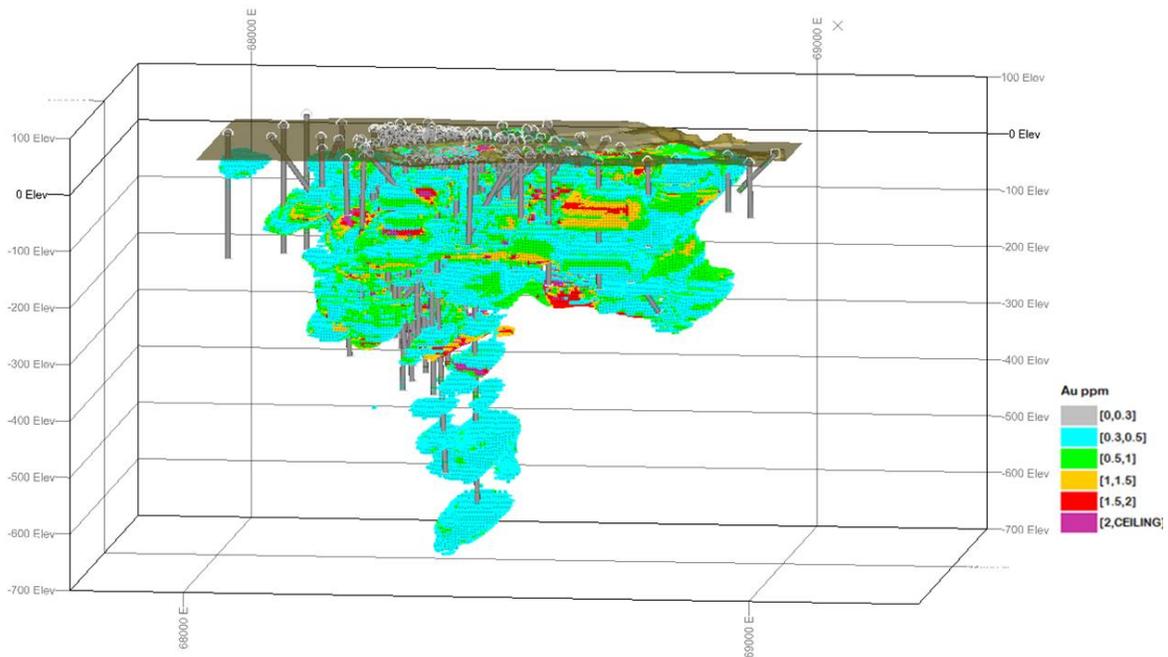


Figura 30. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 0.30 ppm.

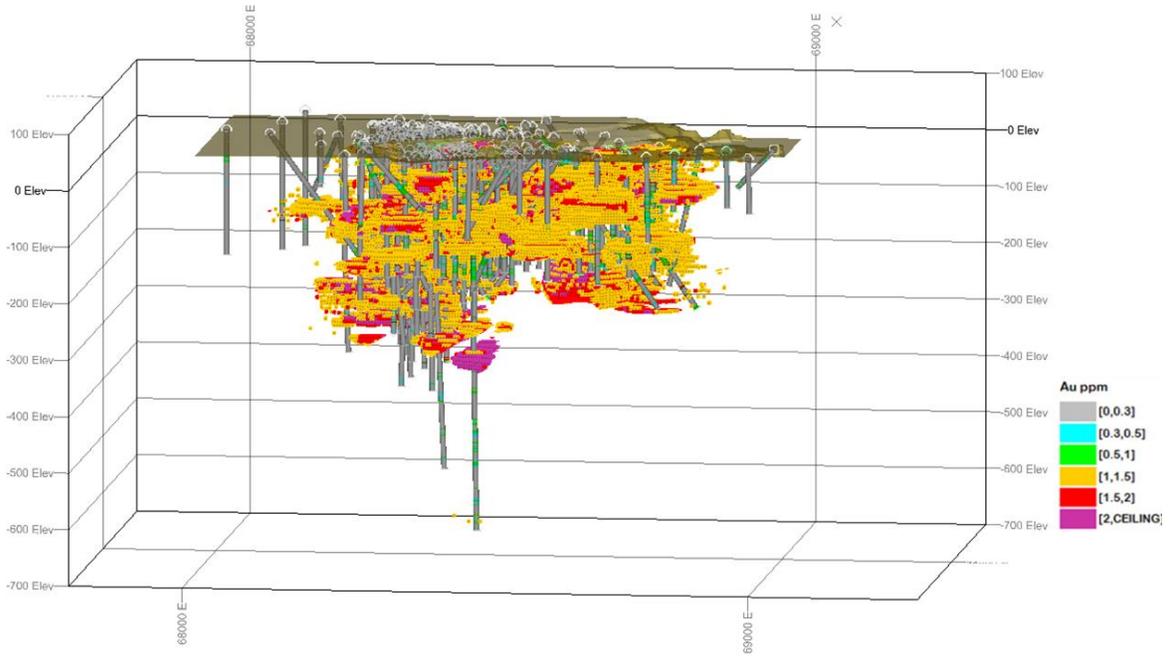


Figura 31. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 1.00 ppm.

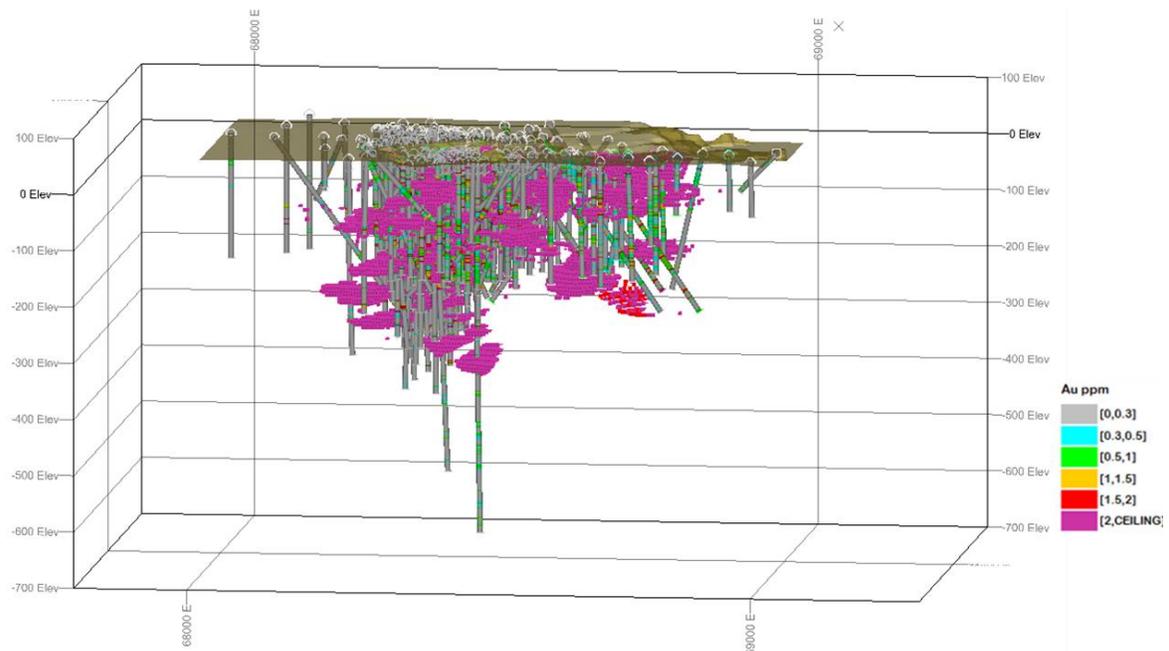


Figura 32. Modelo de bloques interpolado mostrando valores de oro mayores a 2.00 ppm.

V.8.4.- Método de Clasificación

Una vez realizada la estimación de los recursos en el depósito mineral, se procede con la categorización, de acuerdo con el grado de confiabilidad de la información, en inferidos, indicados y medidos (Figura 33) según criterios establecidos por CRIRSCO, 2019 (Anexo A).

Los criterios de clasificación se basan en principio en la evaluación de la comprensión geológica del depósito, la continuidad geológica y de mineralización y la confianza en la geología del depósito. Como segundo criterio se consideran aspectos técnicos incluyendo el espaciamiento de los sondeos, los resultados del control de calidad y la calidad de los datos, los parámetros de búsqueda e interpolación y el análisis de la información disponible.

El nivel de clasificación se basa en una evaluación de la comprensión geológica del depósito, la continuidad geológica y de mineralización y la confianza en la geología del depósito, el espaciamiento de los sondeos de perforación, los resultados del control de calidad y la calidad de los datos, los parámetros de búsqueda e interpolación y un análisis de la información disponible.

Se adoptó el siguiente enfoque al clasificar los Recursos Minerales:

- Los Recursos Minerales Medidos se definieron para zonas donde las leyes de los bloques se interpolaron a partir de un mínimo de tres muestras y un máximo de doce, con datos derivados de un mínimo de dos sondeos, y donde la distancia promedio al centroide del bloque no excediese de 20 m.
- Los Recursos Minerales Indicados se definieron en áreas donde la densidad de perforación no excedió aproximadamente 40 m x 40 m y al menos dos intersecciones de mineralización. Se considera un número de muestras mínimo de 3 y un máximo de 12, derivadas de un mínimo de dos sondeos, y estructuras geológicas que se comprenden e interpretan relativamente bien.
- Los Recursos Minerales Inferidos se definieron en áreas que se encuentran fuera de los esquemas indicados mayores a 40 m, a partir de un mínimo de 1 muestras y un máximo de 12 muestras, derivados de un mínimo de dos sondeos, y que aún muestran una continuidad de rumbo razonable y una extensión de buzamiento hacia abajo.

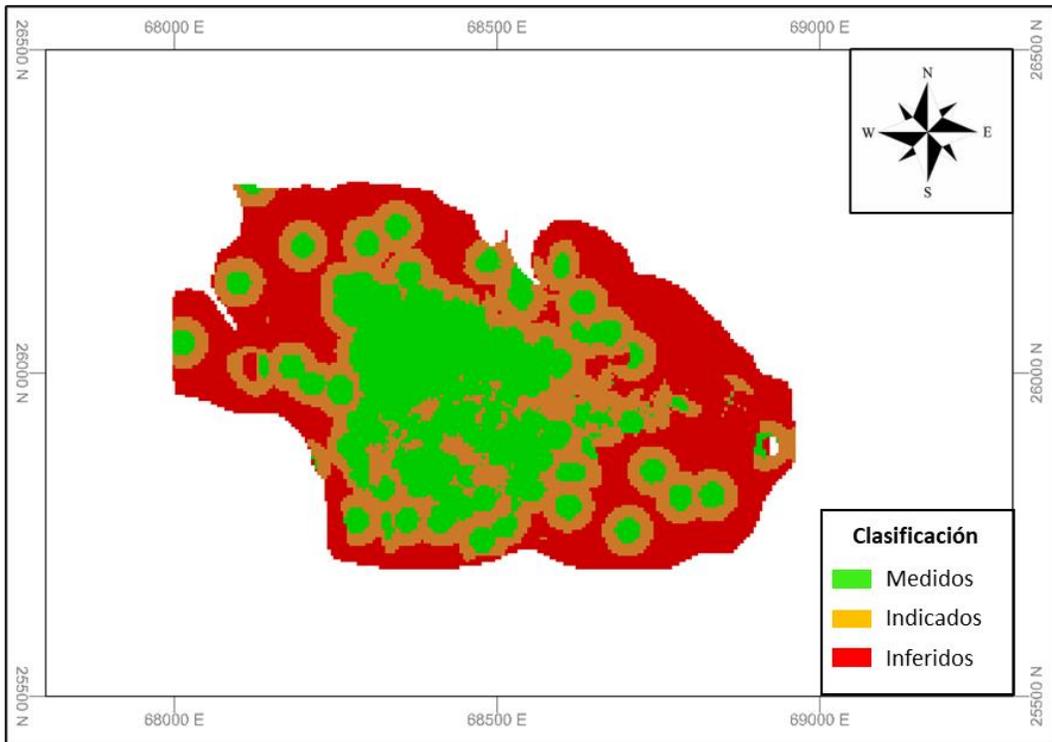


Figura 33. Clasificación de Recursos: (verde = Medido, amarillo = Indicado, rojo = Inferido).

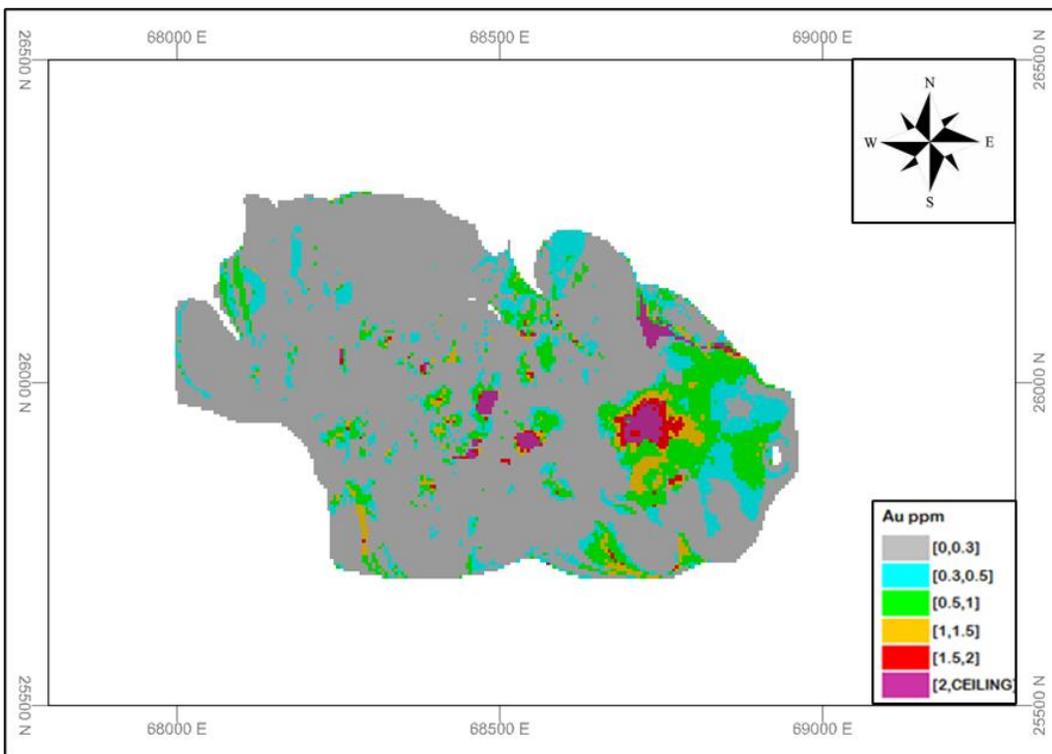


Figura 34. Estimación de Recursos vista en planta, mostrando ley de oro en ppm.

V.8.5.- Validación

La validación del modelo de recursos es una etapa crucial que garantiza la confiabilidad de los recursos resultantes.

El proceso de validación implica tres tipos principales de controles:

1. Verificación de los datos geológicos en los que se basan la modelización y estimación de recursos.
2. Comprobar la exactitud y adecuación de los resultados en cada etapa de modelización.
3. Validación del modelo de recursos terminado frente a los datos iniciales y la comprensión geológica del depósito mineral.

La validación del modelo geológico y de las estimaciones del grado o ley, permite tener mayor confianza en los resultados y facilita la detección de posibles inconsistencias en los procesos de modelamiento y estimación. Se debe de considerar que el modelo de recursos final sea consistente con los datos, que represente adecuadamente el depósito y que se ajuste a las superficies topográficas.

La interpretación geológica por litología o ley se realiza comúnmente mediante delineación de secciones transversales y estructuras mineralizadas. Es esencial garantizar que los principios y parámetros principales para la delineación, como la sección y el plano, sean consistentes en todo el depósito.

La validación de las estimaciones de ley fue completada por:

- Comprobaciones visuales en pantalla en vista de sección transversal y planta para garantizar que las calificaciones del modelo de bloques respeten las calificaciones de los compuestos de muestra.
- Comparación estadística de calificaciones de muestra y de bloque.
- Métodos de interpolación alternativos, en este caso se consideró tercera potencia y vecino más cercano para la comparación entre métodos.
- Generación de gráficos de franjas (swath plots) para comparar las pendientes de entrada y salida en un sentido semilocal, por las direcciones este, norte y elevación.

V.8.5.1.- Validación Visual

La validación principal consiste en una verificación visual de las leyes compuestas frente a las leyes de los bloques cercanos. En este paso, el objetivo es garantizar que las leyes de los bloques reflejen con precisión de las leyes de los sondeos y se correspondan visualmente con los límites de la mineralización.

Es importante tener en cuenta que leyes vecinas muy diferentes pueden dar lugar a un suavizado significativo de los datos sin procesar mediante la interpolación. Esto puede afectar a la correspondencia visual entre el modelo de bloque y los datos del ensayo sin procesar. Esta validación se ha realizado y no se han encontrado inconsistencias.

Un paso a través de la inspección visual en sección (Figura 35, 36 y 37), es comprobar que las leyes de los bloques generalmente se comparen bien con los intervalos de leyes de los sondeos. En las Figuras 38 y 39 se muestra todo el yacimiento con los sondeos, zonas mineralizadas y modelo de bloques en vista 3D, asegurándose que cubran toda la zona de estudio.

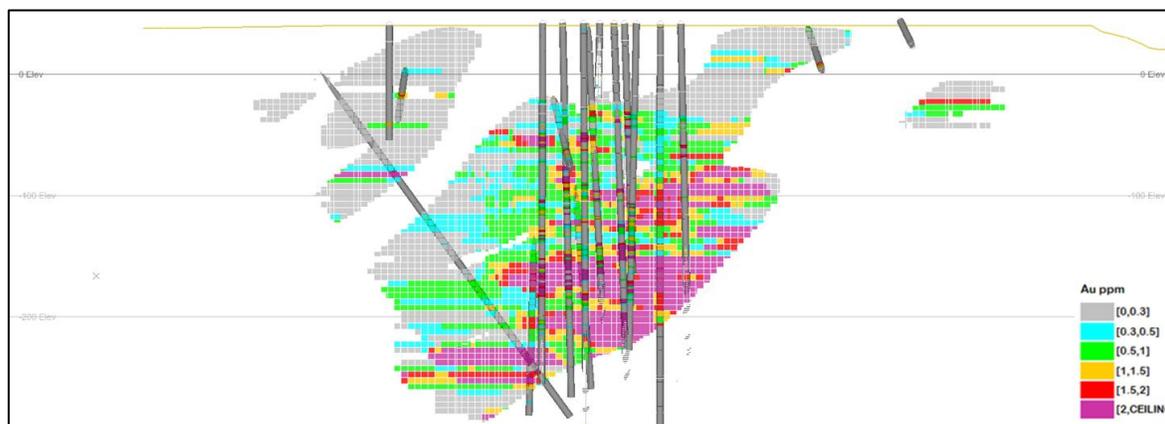


Figura 35. Comprobaciones visuales en pantalla en vista de sección transversal.

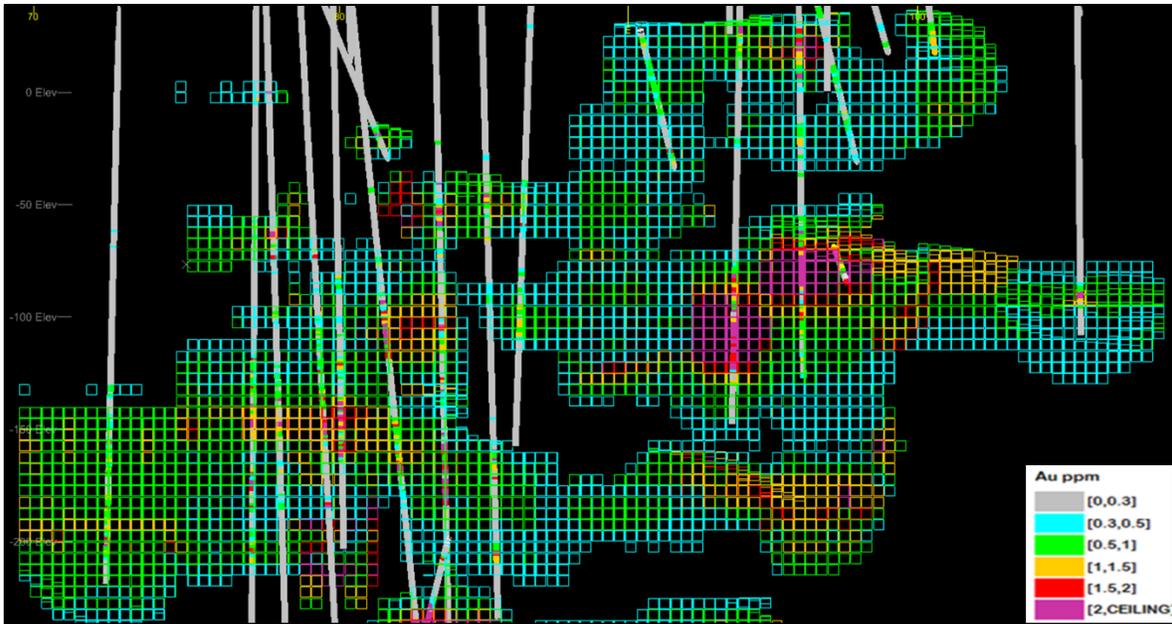


Figura 36. Sección vertical Este – Oeste mostrando intercepción de valores de oro y bloques.

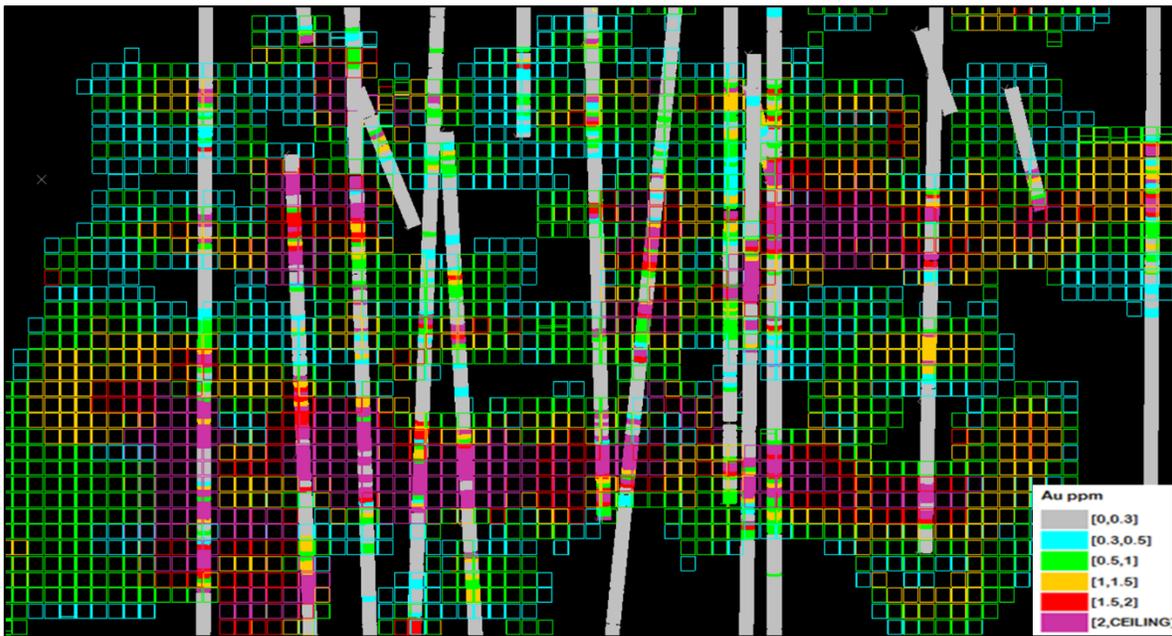


Figura 37. Sección vertical Norte- Sur mostrando intercepción de valores de oro y bloques.

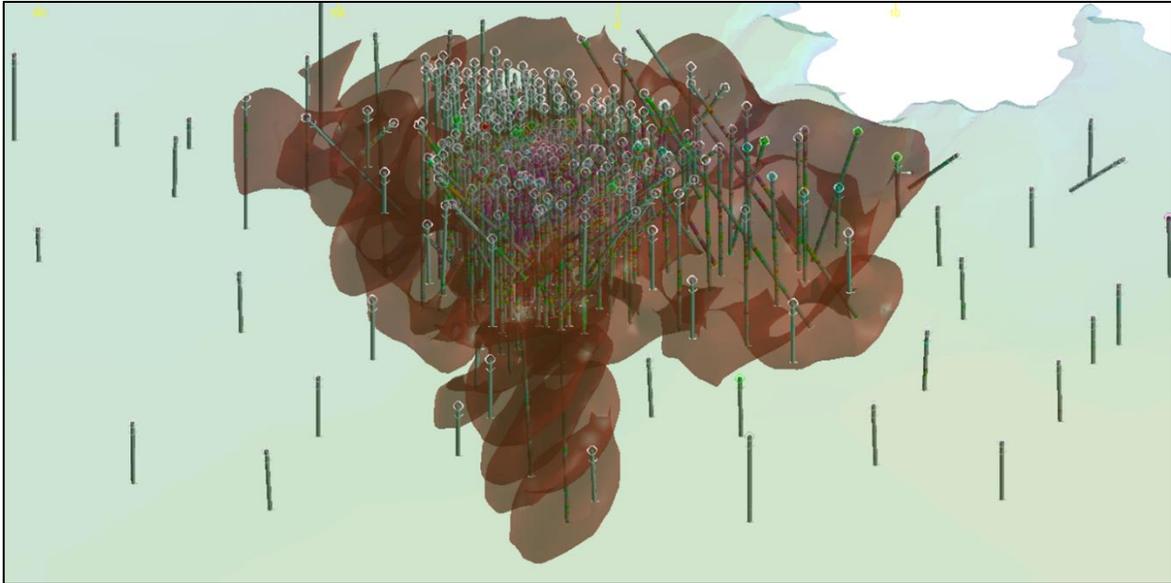


Figura 38. Vista tridimensional del cuerpo mineral, sondeos exploratorios y topografía en transparencia, comprobando que cubran la extensión del proyecto y coincidan con la interpretación de mineralización, vista al norte.

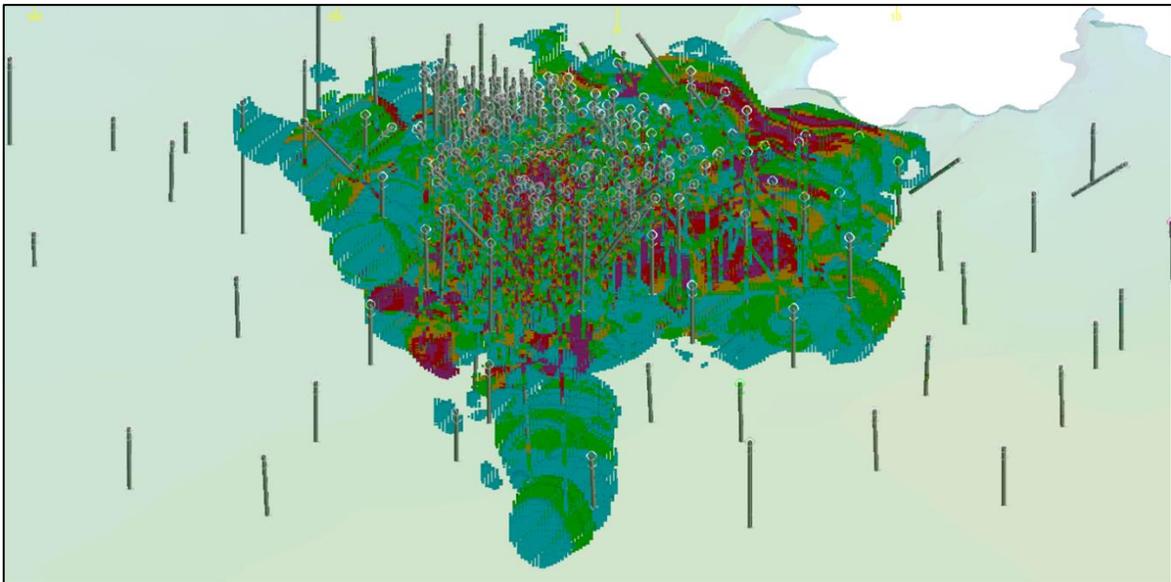


Figura 39. Vista tridimensional del modelo de bloques, sondeos exploratorios y topografía en transparencia, comprobando la interpolación de valores, vista al norte.

V.8.5.2.- Validación Gráfica

Los diagramas de franja (swath plots) están diseñados para comparar dos conjuntos de datos. Los datos comúnmente utilizados son las leyes de muestra desagrupadas utilizadas para la estimación frente a las leyes de bloque. El gráfico toma una pendiente promedio en intervalos establecidos en una dirección específica. Por ejemplo, secciones de norte a sur, este a oeste y en dirección vertical (elevación) en un intervalo constante de 20 m (Figura 40, 41 y 42). Estos gráficos solo muestran promedios en intervalos y no las estimaciones de ley de bloque local.

Se puede identificar un sesgo de pendiente si la línea de franja primaria está consistentemente por encima de la línea de franja de validación (sesgado alto) o si la línea de franja primaria está consistentemente por debajo de la línea de franja de validación (sesgado bajo).

Se construyeron diagramas de franja a través del depósito de mineral que comparan las leyes de las muestras de perforación originales con las leyes de los bloques en diferentes anchos de banda. Los gráficos se comparan bien en todo el depósito de mineral.

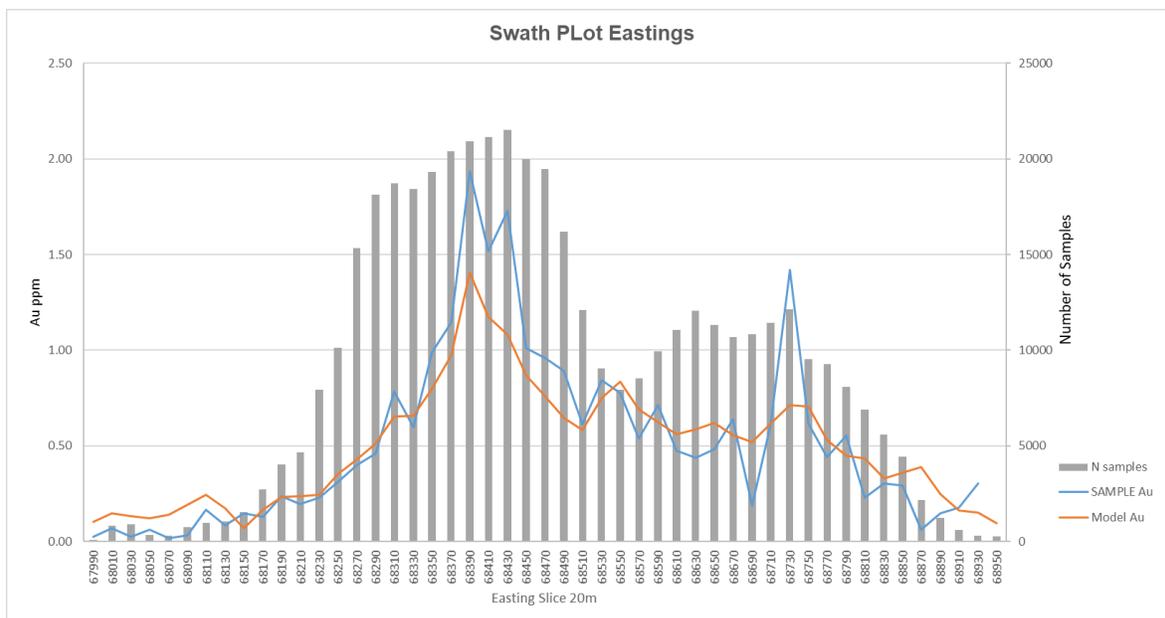


Figura 40. Swath plot mostrando datos de valores de oro en modelo de bloques y muestras originales, en dirección Este cada 20 m.

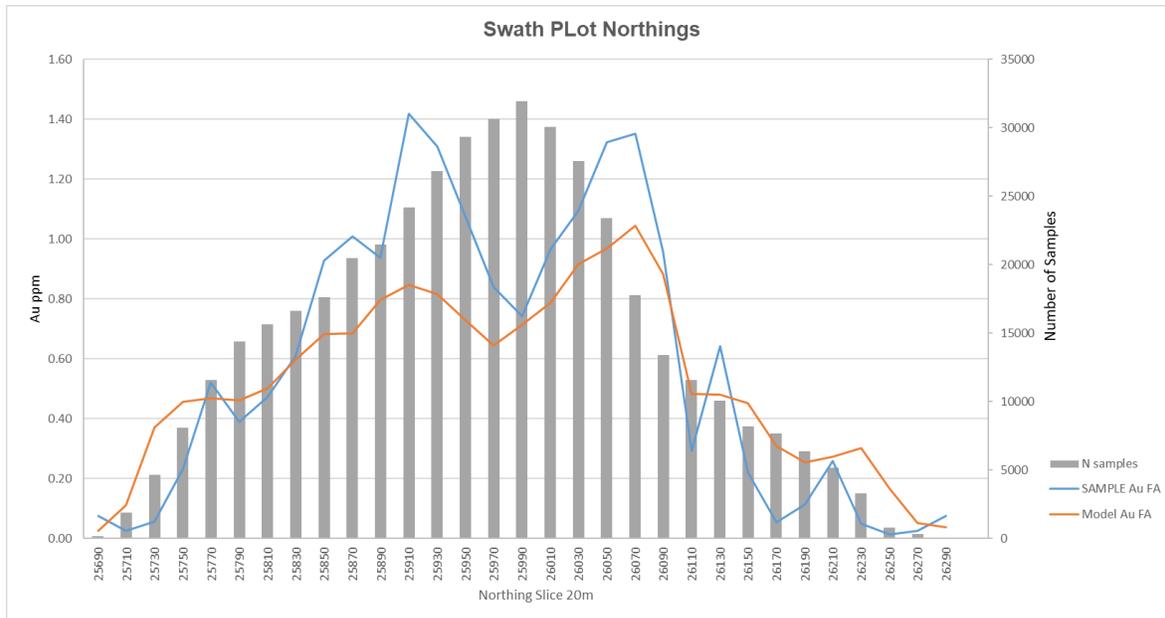


Figura 41. Swath plot mostrando datos de valores de oro en modelo de bloques y muestras originales, en dirección Norte cada 20 m.

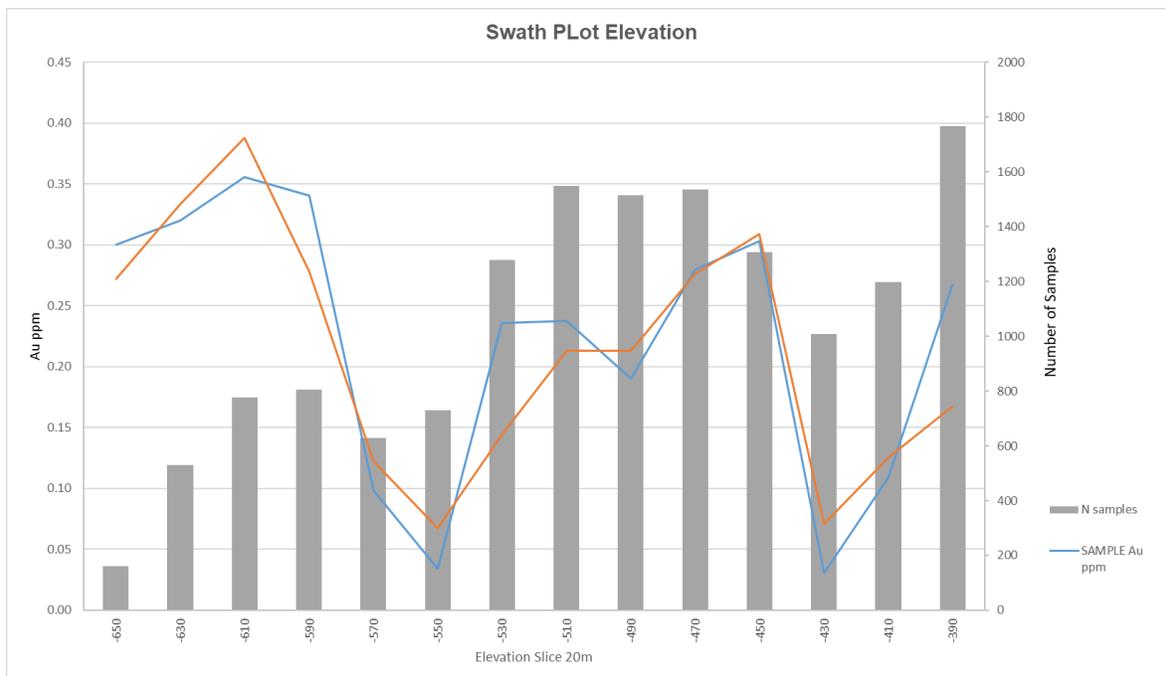


Figura 42. Swath plot mostrando datos de valores de oro en modelo de bloques y muestras originales, en Elevación cada 20 m.

V.8.5.3.- Validación por distintos métodos

En esta fase de validación es importante tener en cuenta los principales parámetros de estimación, como ley de corte, opciones de elipsoides de búsqueda, tamaño de bloque, limitación del número mínimo y máximo de muestras y sondeos incluidos en la estimación, compuestos, longitud, dominios de ley, discretización, etc. Esta validación puede ayudar a evitar errores críticos en la interpolación y determinar la metodología más adecuada para un depósito específico.

Los gráficos de franja también pueden identificar el suavizado de pendientes hasta cierto punto. Si el método de estimación principal presenta picos notablemente más bajos y valles más altos que un gráfico de franja del vecino más cercano (NN), esto es una fuerte indicación de que se ha producido un suavizado de pendientes. Entonces es importante observar los parámetros de estimación (longitud del ensayo versus longitud del compuesto, número máximo de compuestos por sondeo, número máximo de compuestos por ley de bloque, etc.) para determinar si el suavizado de leyes ha sido excesivo. En esta estimación de recursos se comparan los métodos de inverso a la distancia al cuadrado, al cubo y el vecino más cercano en dirección este cada 20 m, se observa que la variación entre los diferentes métodos es mínima (Figura 43), por lo que la validación es correcta.

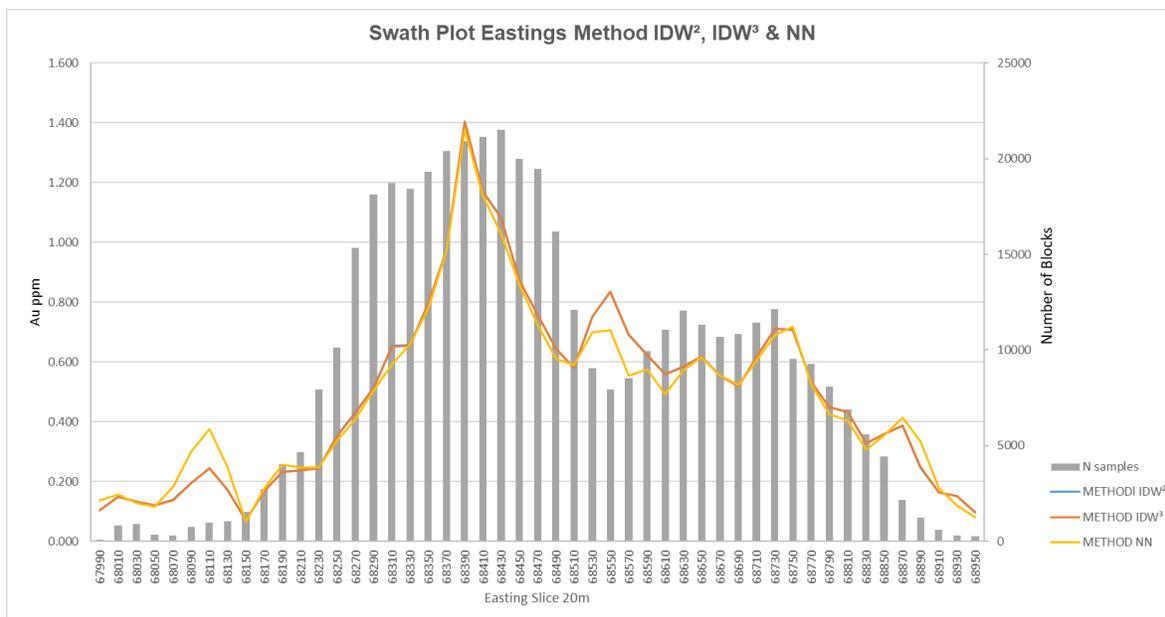


Figura 43. Swath plot mostrando valores de distintos métodos, en dirección Este cada 20 m.

V.9.- Modelo Conceptual de Minado

Después de que un depósito ha sido descubierto, explorado, delineado y evaluado, el siguiente paso será la selección del método de minado que física, económica y ambientalmente se adapte para la recuperación del mineral comercialmente valioso. Desde el punto de vista económico, el mejor método de explotación deberá ser aquel que proporcione la mayor tasa de retorno en la inversión. Adicionalmente, el método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad y permitir un ritmo óptimo de extracción bajo las condiciones geológicas particulares del depósito (López-Aburto, 1994).

De acuerdo con la forma de los yacimientos minerales, su geometría y disposición o posición dentro de la masa rocosa, los minerales pueden ser explotados desde superficie, esto si el depósito de mineral está localizado en la superficie del terreno o cercano a él, esta método de minado se le denomina tajo a cielo abierto, cortas u "open pit"; mientras que, si la masa de roca mineralizada se encuentra a varios metros debajo de la superficie y conforme a la topografía dominante en la región (Figura 44). En este trabajo se evalúan los 2 métodos de minado, Superficial y Subterráneo.

Será importante considerar en la decisión de explotar una mina por métodos subterráneos o superficiales las actividades de barrenación, voladura, cargado y transporte de material rocoso objeto de la explotación, incluyendo la trituración del mineral, pérdidas en recuperación de mineral ya que son mayores en el minado subterráneo que en el superficial (López-Aburto, 1994).

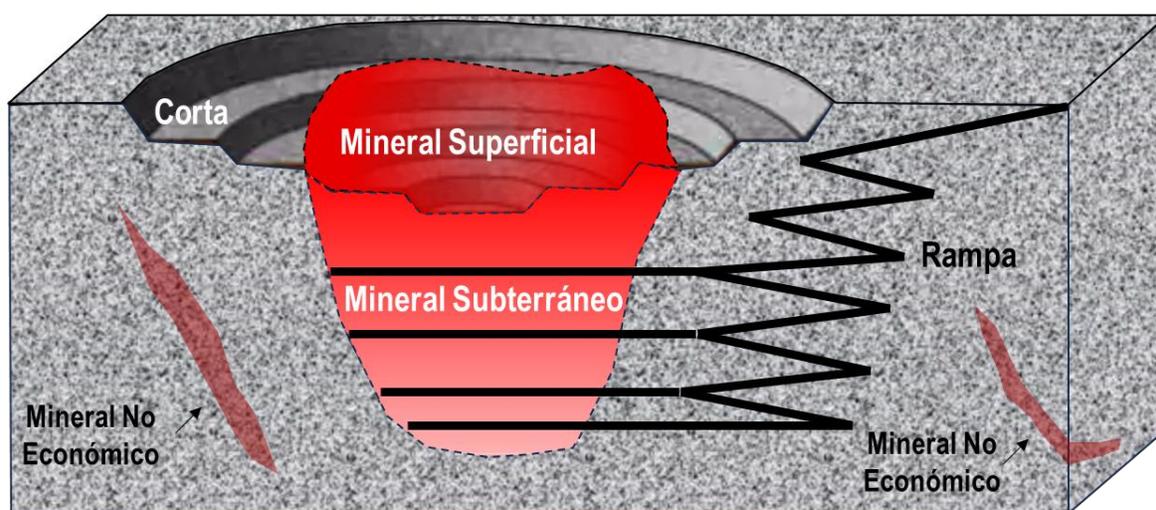


Figura 44. Esquema simplificado de los métodos superficiales y subterráneos considerando la profundidad de mineral económico a extraer (esquema no a escala).

V.9.1.- Ley de Corte (*Cut Off Grade*)

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, debe entenderse que un recurso mineral no es un inventario de toda la mineralización perforada o muestreada, cualquiera que sea la ley de corte (*Cut-Off Grade*), las probables escalas de producción, ubicación y continuidad. Se necesita considerar y calcular la ley de corte, ya que es uno de los parámetros más importantes en la planificación estratégica de la mina (Franco-Sepúlveda y Velilla-Avilez, 2014)

Para poder realizar un reporte de recursos minerales, es necesario tener grados o leyes de corte, donde estos se usan para determinar el punto en el cual el material se vuelve económicamente valioso. La clasificación de mineral se vuelve dependiente de la ley de corte. Esto disminuye la cantidad que se vuelve mineral, así como su impacto en las reservas y consecuente vida útil de la mina.

En minería, la ley de corte es la concentración de mineral que se considera para discriminar el mineral del estéril. Para calcular la ley de corte, se considera tanto el costo mina como el costo de planta de beneficio (procesamiento de mineral). En función de estos valores aplicados a un bloque del yacimiento, definiremos una ley que permita discriminar un bloque como mineral o estéril, a esto se le llama Ley de Corte Crítica.

La ley de corte se puede determinar por diversos métodos. La manera o cálculo más sencillo para determinar esta, es obteniendo la ley de corte crítica, que es la ley donde los ingresos obtenidos por el producto igualan a los costos de extracción de este. Esto se conoce como punto de equilibrio. Para el cálculo de la ley de corte de este trabajo se toman en cuenta datos de otras operaciones mineras con yacimientos similares actualmente en fase de explotación.

Fórmula de la Ley de Corte Crítica:

$$\gamma = \frac{m + c}{(s - r)y}$$

Dónde γ es la Ley de Corte Crítica, m es el costo de minado, c es el costo de procesamiento, s es el precio del producto, r es el costo de la venta e y la recuperación metalúrgica.

V.9.1.1.- Cálculo de Ley de Corte para Minado Subterráneo

Costo unitario		
Mina	US\$/tm	50
Proceso	US\$/tm	14
Gastos Administrativos	US\$/tm	3
Total	US\$/tm	67
Refinamiento y traslado	US\$/ozt	6

Factor		
Factor de conversión	g/ozt	31.1035
Recuperación proceso	%	80.00
Recuperación fundición	%	98.00
Precio de venta	US\$/ozt	1,350.00
Precio neto de venta	US\$/ozt	1,058.40

Resultado		
Ley de corte Au	g/tm	2.0
Ley marginal Au	g/tm	0.5
Costo total económico	US\$/tm	67.38

Tabla 11. Parámetros utilizados para el cálculo de ley de corte para minado subterráneo.

V.9.1.2.- Cálculo de Ley de Corte para Minado Superficial

Costo unitario		
Mina	US\$/tm	3
Proceso	US\$/tm	14
Gastos Administrativos	US\$/tm	3
Total	US\$/tm	20
Refinamiento y traslado	US\$/ozt	6

Factor		
Factor de conversión	g/ozt	31.1035
Recuperación proceso	%	80.00
Recuperación fundición	%	98.00
Precio de venta	US\$/ozt	1,350.00
Precio neto de venta	US\$/ozt	1,058.40

Resultado		
Ley de corte Au	g/tm	0.6
Ley marginal Au	g/tm	0.5
Costo total económico	US\$/tm	20.11

Tabla 12. Parámetros utilizados para el cálculo de ley de corte para minado superficial.

V.9.2.- Modelo Conceptual de Minado Subterráneo

El método subterráneo propuesto es por *sublevel stoping*, que es de gran aplicación en la mediana y gran minería. Este método es de alto rendimiento debido a la aplicación de equipos de bajo perfil. Mediante el, se extrae el mineral a través de explotaciones verticales dejando un hueco vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en forma vertical. Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular vertical o sub-verticales de espesor, por lo general, superior a diez metros. Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean regulares, también es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en cámaras separadas por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Los posibles bloques para minar por medio de este método serían aquellos superiores a 5 m³ y que tengan una ley igual o superior a 2 ppm de oro (Figura 45), como lo indica la Tabla 11 para el cálculo de ley de corte para minado subterráneo, el posible minado será desde el nivel 35 m hasta el nivel -370 m.

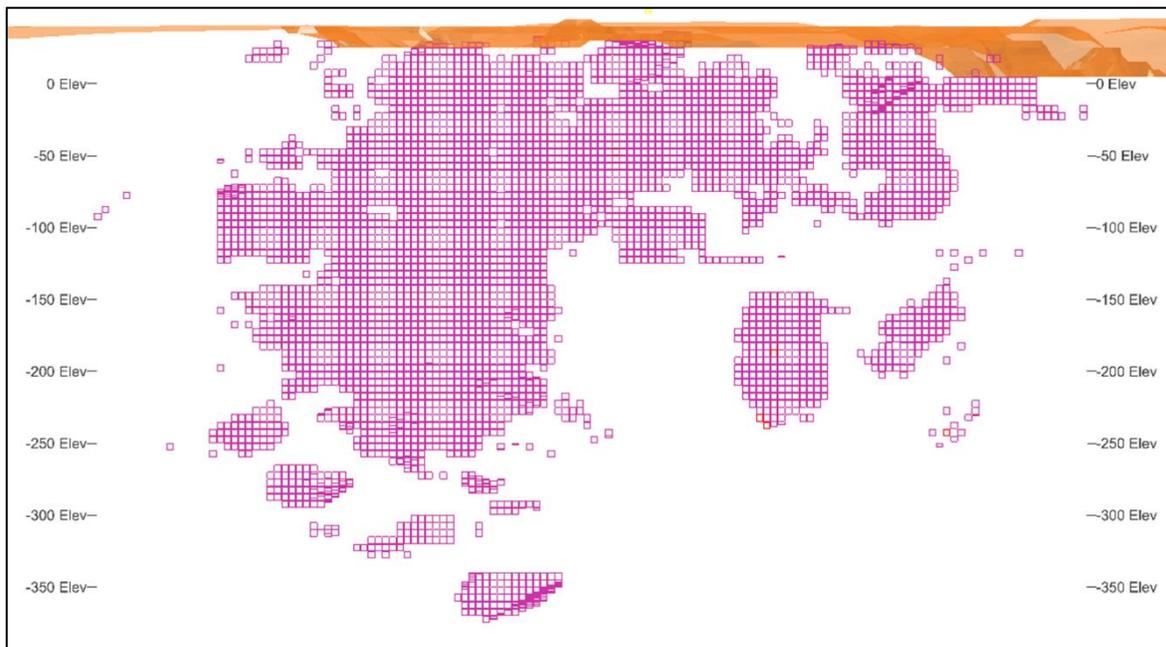


Figura 45. Sección vertical con vista Este – Oeste del proyecto, mostrando bloques con leyes de oro igual o superiores a 2 ppm, los cuales pudiesen ser extraídas por el método de minado subterráneo llamado sublevel stoping.

V.9.3.- Modelo Conceptual de Minado Superficial

El método seleccionado para realizar el diseño de la corta es el de cono flotante.

Este método consiste en el estudio económico de los bloques mineralizados y estériles que caen dentro de un cono invertido. El cono se mueve sistemáticamente a través de una matriz de bloques, con el vértice del cono ocupando, sucesivamente, los centros de los bloques.

Los beneficios netos obtenidos por explotar la mineralización que se encuentra dentro del cono deben superar los gastos de extraer el estéril existente en dicho cono. Los conos, individualmente, pueden no ser económicos, pero, cuando dos o más conos se superponen, existe una parte importante de estéril que es compartida por los diversos conos, lo que genera un cambio en sus estatus económicos.

Los parámetros geométricos como el ángulo de talud para todas las paredes serán de 45°, mientras que no se considerará dilución y la recuperación minera será de un 100%. El cono flotante se hace a partir de un precio de valor de venta de onza de oro, que de acuerdo con el caso base de este proyecto es de \$1,350 USD. Los costos de mina, procesos y gastos en general son los mismos considerados para el cálculo de la ley de corte para minado superficial (Tabla 12).

El minado propuesto comprende bancos individuales de 5 m de altura, la cota inicial a 45 m y la final a los -345 m, La geometría de la corta diseñada, es de una longitud aproximada de 1,200 m, un ancho de 800 m y una profundidad de la corta final de 390 m (Figura 46, 47, 48, 49 y 50).

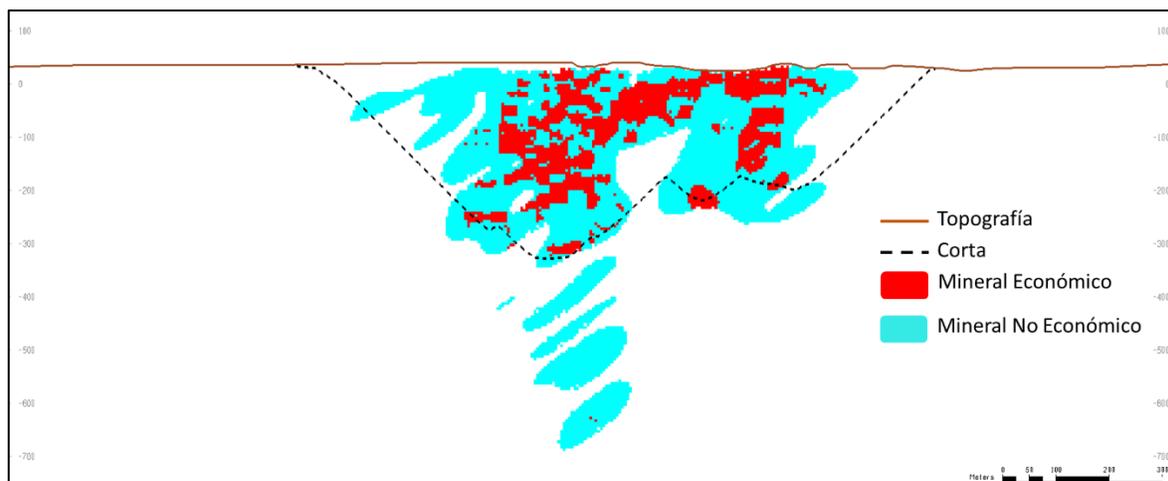


Figura 46. Sección vertical con dirección Este - Oeste mostrando el diseño de la corta final.

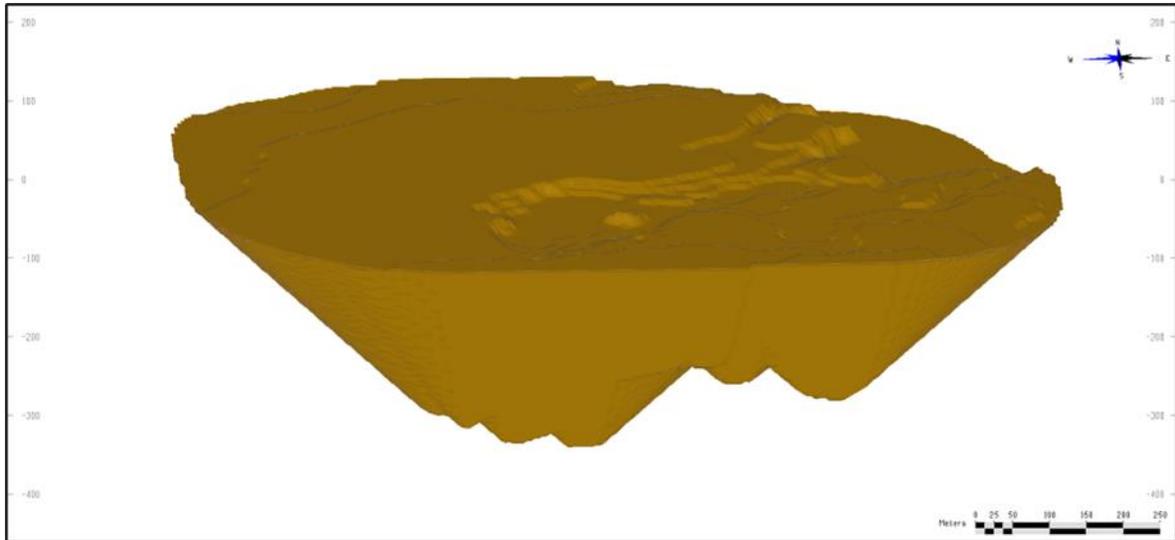


Figura 47. Diseño de la corta minera vista 3D.

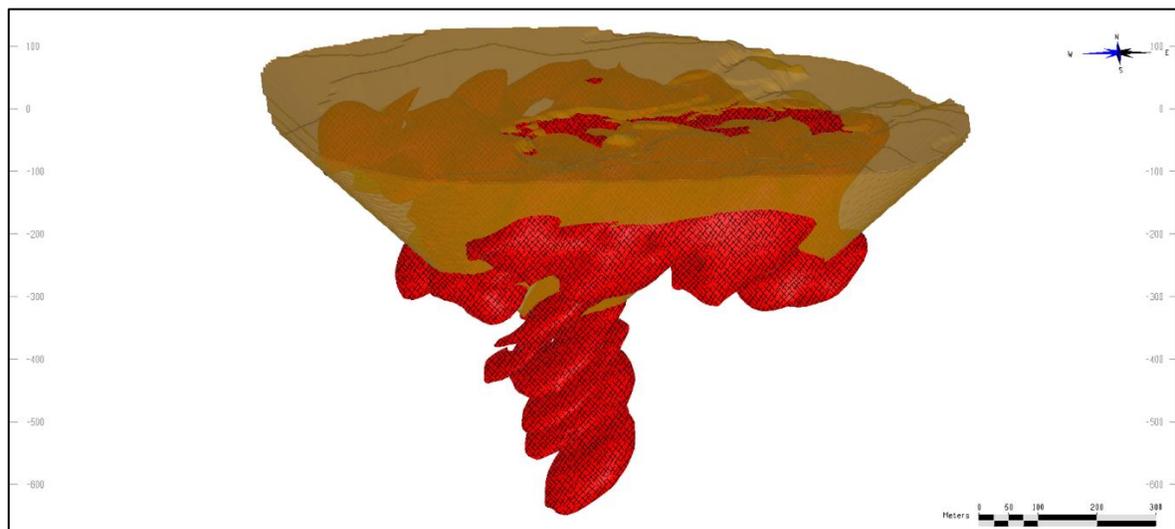


Figura 48. Vista 3D de la corta minera y mineral que queda fuera del diseño.

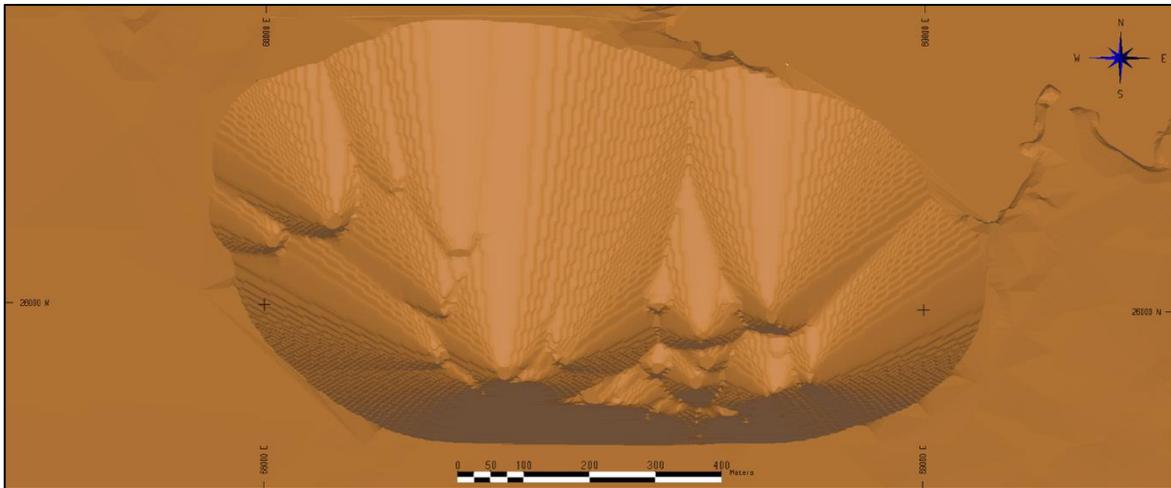


Figura 49. Vista 3D del diseño de la corta minera con ángulo de talud general de 45°.

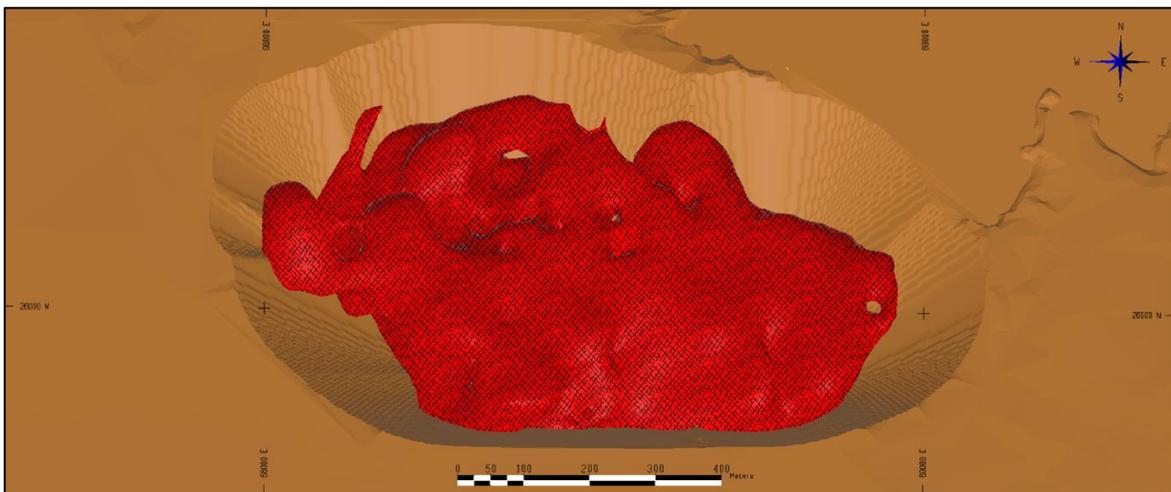


Figura 50. Vista 3D del diseño de la corta minera y cuerpo mineral económico.

VI. INTERPRETACIÓN GENERAL Y RESUMEN DE LOS RESULTADOS

VI.1.- Interpretación Geológica

La interpretación geológica superficial y profunda, así como la sección esquemática general de mineralización, se realizan a partir de los modelos de bloques litológico, estructural, de mineralización y de recursos, considerando el modelo litológico y mineralización el de mayor influencia (Figura 51), con el modelo estructural se siguen las tendencias del mineral y direcciones preferenciales de un posible emplazamiento de mineral así como los contactos que se observan que son muy rectos se propone que sean por fallas, con el modelo de recursos se superponen las zonas con valores de oro superficiales sobre el modelo litológico, entonces se interpretan estas zonas como de alteración, en el plano geológico y sección de mineralización se muestra la integración de todos los modelos, en conjunto con la topografía para dar un suavizado, esto para que la geología está acorde y a su vez soportada por datos, esto resulta en una interpretación más confiable (Figura 52).

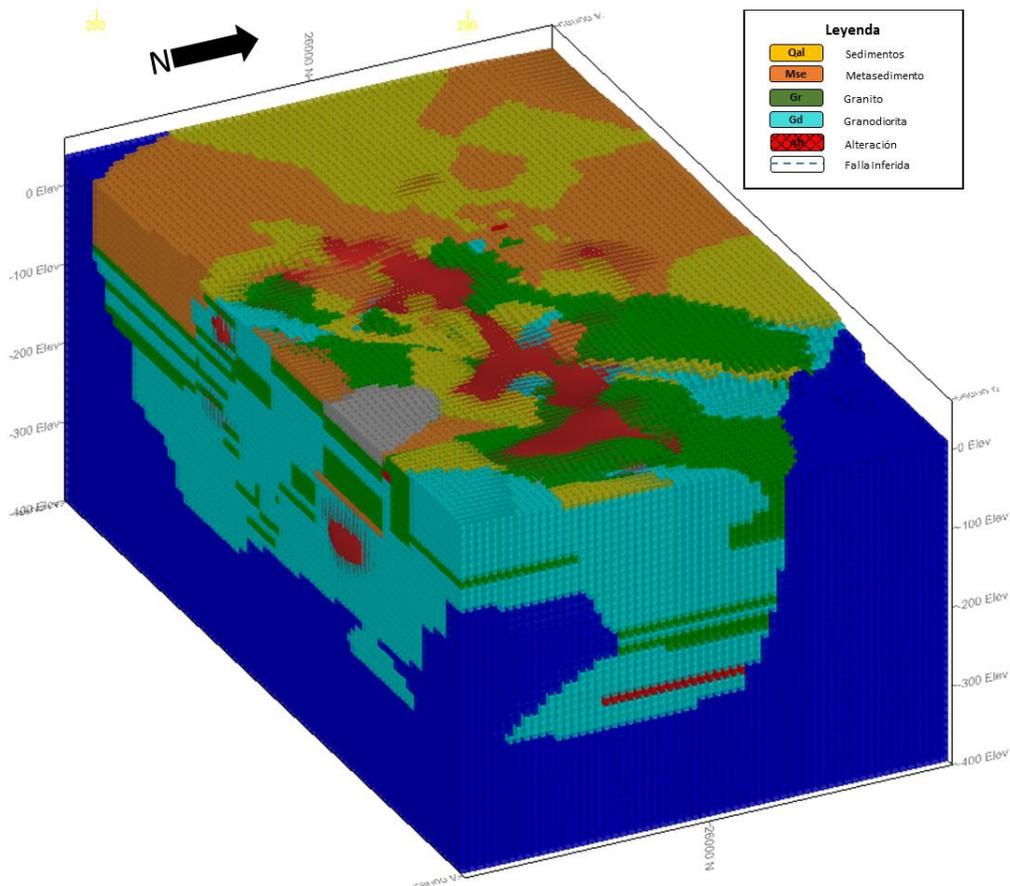


Figura 51. Integración del modelo Litológico y de Mineralización.

VI.1.1.- Interpretación de la Geología Superficial

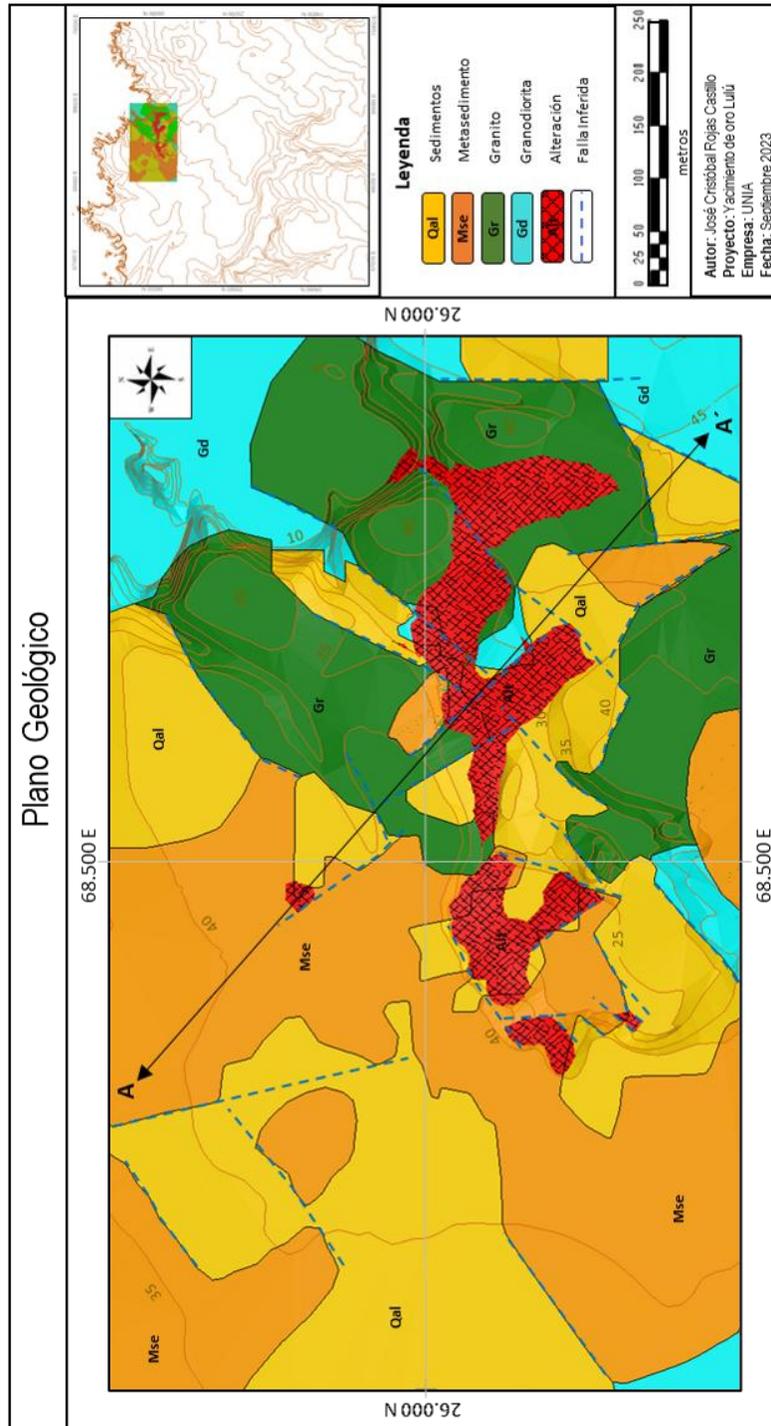


Figura 52. Interpretación de la geología superficial del área de estudio, mostrando litologías principales y zonas mineralizadas, la Interpretación geológica esta basada en el modelo de bloques litológico, estructural, mineralización y recursos minerales.

VI.1.2.- Interpretación de los Cuerpos Minerales

Basado en los sondeos exploratorios, modelos Litológico, Estructural y de Mineralización, así como de la geología local y génesis del yacimiento, se realiza una interpretación de los posibles cuerpos minerales a profundidad de la zona de estudio (Figura 53), con lo que se tiene que la mayor parte de la mineralización de oro ha sido delimitada dentro de un área de 500 m de ancho, 1,000 m de largo y 350 m de profundidad.

La mineralización de oro se produce en una serie de lentes irregulares apilados, con tendencia de norte a noroeste y con inmersión poco profunda hacia el suroeste, posiblemente relacionados con fallas y zonas de fractura que son paralelas al contacto de las rocas intrusivas y meta-sedimentarias.

Las fallas y zonas de fractura pudiesen estar relacionadas con una o más estructuras verticales. Estas estructuras pueden desempeñar un papel importante como conductos para la circulación de los fluidos hidrotermales relacionados con la génesis del depósito mineral.

En algunos lugares, estas lentes pueden ser subhorizontales. Las dimensiones de las zonas mineralizadas individuales varían de 30 m a 300 m de largo, de 10 m a 150 m de ancho y de pocos metros a 50 m de espesor, con un espesor promedio del orden de 20 m.

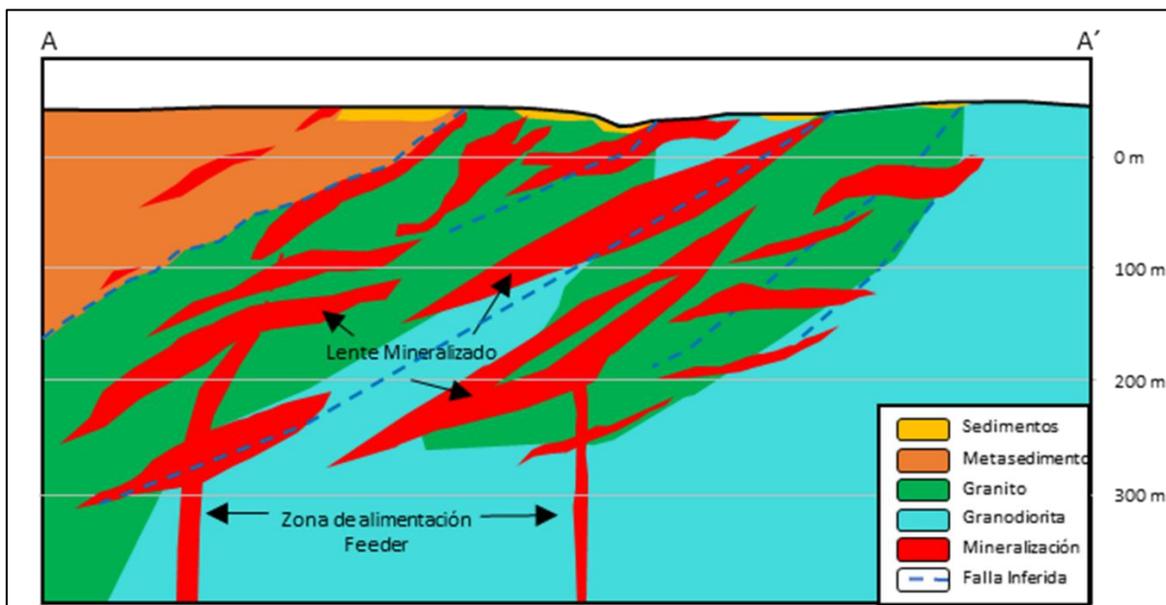


Figura 53. Interpretación de los cuerpos minerales y sus zonas de alimentación.

VI.2.- Inventario de Mineral

El Inventario de minerales es la estimación cuantitativa de los tonelajes y leyes de un yacimiento de acuerdo con su valor, certeza y accesibilidad que incluye a los minerales de interés económico, así como a otros que no lo tienen en el momento de la estimación. La estimación de recursos minerales es importante porque con un estudio de factibilidad, pueden convertirse en reservas y por lo tanto proceder a su explotación.

VI.2.1.- Curva tonelaje vs ley

Una de las formas de realizar un inventario de recursos en minería es a través de la curva tonelaje vs ley, la cual entrega los recursos totales que se tienen en torno a una respectiva ley de corte (Figura 54):

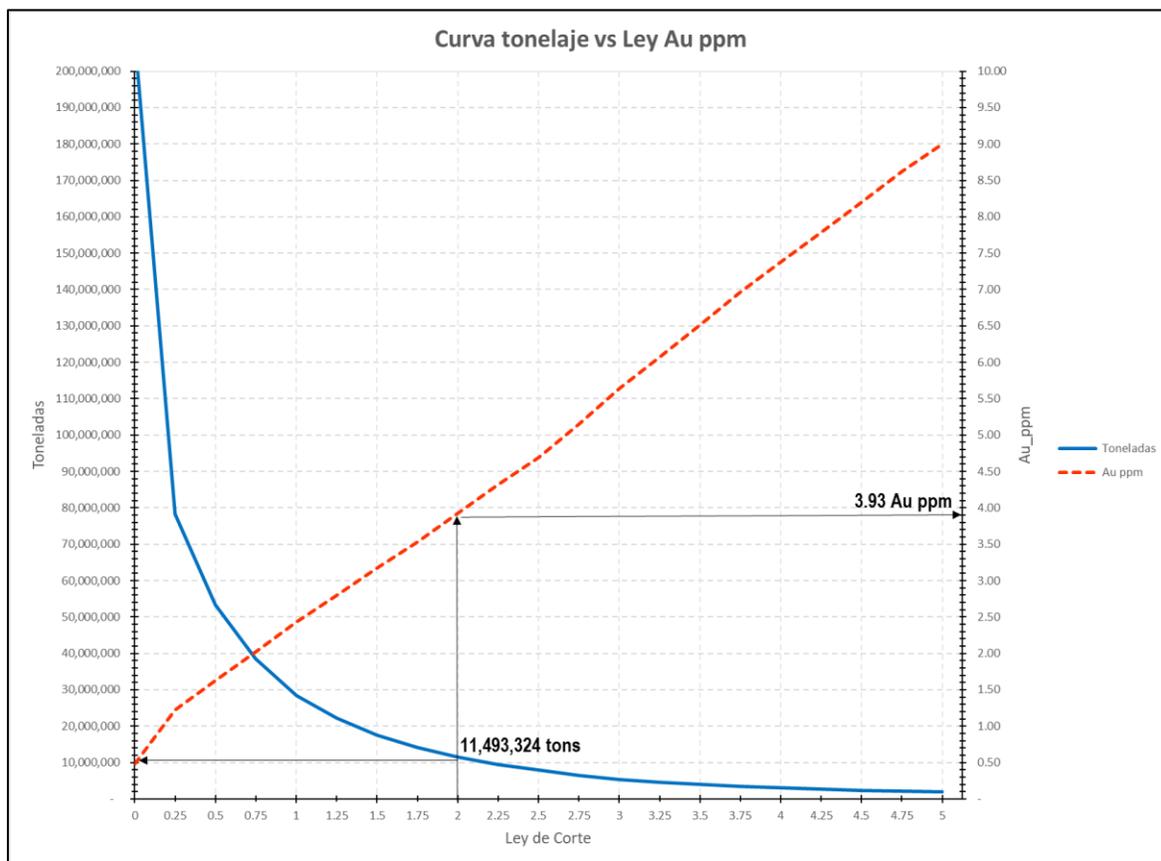


Figura 54. Curva tonalaje vs ley de oro, en la gráfica se muestra el resultando considerando una ley de corte de 2 ppm de oro (11,493,324 tons con 3.93 ppm de Au).

VI.2.2.- Reporte de Inventario de Recursos Minerales por Minado subterráneo

VI.2.2.1.- Recursos Minerales Considerando Ley de corte

INVENTARIO DE RECURSOS MINERALES POR LEY DE CORTE										
Ley de Corte	Toneladas	Volumen	Au ppb	Au ppm	Ag (g/t)	As (ppm)	Sb (ppm)	Mo (ppm)	CO ₃ (%)	Oz Au
0.50	53,260,416	19,947,721	1,626	1.63	0.42	3,530	462	71	6	2,784,534
1.00	28,269,674	10,587,893	2,430	2.43	0.43	4,342	648	77	6	2,208,670
2.00	11,480,976	4,299,991	3,927	3.93	0.45	5,691	1,016	84	7	1,449,624
3.00	5,330,735	1,996,530	5,644	5.64	0.43	6,803	1,410	76	7	967,243
4.00	2,992,033	1,120,612	7,373	7.37	0.44	7,934	1,858	74	6	709,282
5.00	1,925,055	720,995	8,999	9.00	0.45	8,956	2,279	74	6	556,974

Tabla 13. Cambios en los recursos considerando diferentes leyes de corte de oro en ppm.

VI.2.2.2.- Recursos Minerales por Ley de Corte y Clasificación

INVENTARIO DE RECURSOS MINERALES DE ORO POR LEY DE CORTE Y CLASES									
Ley de corte	Medido			Indicado			Inferido		
	Toneladas	Au ppm	Oz Au	Toneladas	Au ppm	Oz Au	Toneladas	Au ppm	Oz Au
0.50	15,087,181	2.19	1,061,457	19,395,416	1.69	1,055,032	18,801,861	1.11	668,432
1.00	10,068,080	2.92	944,134	11,207,777	2.40	866,543	7,008,239	1.77	398,457
2.00	4,945,107	4.47	710,252	4,525,821	3.87	562,777	2,012,749	2.73	176,769
3.00	2,713,967	6.14	535,649	2,237,336	5.35	384,594	379,432	3.85	47,000
4.00	1,661,281	7.85	419,125	1,225,288	6.92	272,758	105,797	5.13	17,442
5.00	1,145,353	9.38	345,391	747,059	8.51	204,461	32,644	6.79	7,122

Tabla 14. Inventario de recursos de oro por cambios en la ley de corte de oro y clases.

VI.2.2.3.- Recursos Minerales por Clasificación por Confianza Geológica

INVENTARIO DE RECURSOS MINERALES POR CLASE, LEY DE CORTE > 2 ppm Au										
Clase	Toneladas	Volumen	Au ppb	Au ppm	Ag (g/t)	As (ppm)	Sb (ppm)	Mo (ppm)	CO ₃ (%)	Oz Au
MEDIDO	4,945,107	1,852,100	4,467	4.47	0.47	6,176	998	80	7	710,252
INDICADO	4,525,821	1,695,064	3,868	3.87	0.45	5,530	1,028	76	6	562,777
MED + IND.	9,470,928	3,547,164	4,181	4.18	0.46	5,867	1,012	78	7	1,273,029
<i>INFERIDO</i>	<i>2,012,749</i>	<i>753,839</i>	<i>2,732</i>	<i>2.73</i>	<i>0.33</i>	<i>4,104</i>	<i>1,036</i>	<i>116</i>	<i>6</i>	<i>176,769</i>
TOTAL	11,483,677	4,301,003	3,927	3.93	0.44	5,558	1,016	85	7	1,449,797

Tabla 15. Inventario de recursos minerales, mostrando clasificación, ley de corte > 2 ppm Au.

VI.2.3.- Reporte de Inventario de Recursos Minerales por Minado Superficial

VI.2.3.1.- Recursos Minerales por Elevación Sin Considerar Corta

El inventario de recursos minerales se hace por bancos cada 5 m de altura, considerando que esta fue la elevación (Z) con la que se realiza el modelo de bloques de recursos minerales, en la tabla 16, se hace un resumen de estos cálculos, asumiendo bancos de 30 m de altura de forma descendente comenzando de la elevación 35 m hasta el nivel -405 m para un total vertical de 440 m (último banco de 20 m de altura), considerando una ley de corte de 0.6 ppm Au, los cálculos son para todo el modelo de bloques de recursos, sin considerar como límite una corta minera ni categorías de confianza geológica, por lo que el tonelaje y onzas de oro cambiaran (disminución) al realizarse un diseño de corta para estos resultados.

RECURSOS POR ELEVACIÓN, LEY DE CORTE > 0.6 ppm Au			
No considerando Corta Minera			
Elevación m	Tm	Au ppm	Oz Au
35 a 5	2,146,538	1.31	90,361
5 a -25	5,475,041	1.55	272,591
-25 a -55	5,838,786	1.82	341,741
-55 a -85	6,477,640	1.61	335,519
-85 a -115	6,380,933	1.65	339,476
-115 a -145	5,456,367	1.73	302,895
-145 a -175	5,444,057	2.14	374,366
-175 a -205	4,073,957	1.99	260,175
-205 a -235	2,349,768	2.34	176,752
-235 a -265	1,330,588	2.35	100,406
-265 a -295	412,617	1.81	23,989
-295 a -325	390,322	1.48	18,600
-325 a -355	139,946	1.90	8,562
-355 a -385	176,792	2.79	15,840
-385 a -405	15,988	0.68	351
TOTAL	46,109,338	1.80	2,661,627

Tabla 16. Inventario de recursos minerales por elevaciones cada 30 m.

VI.2.3.2.- Recursos Minerales por Elevaciones y Confianza Geológica Sin Considerar Corta

El inventario de recursos minerales se hace por bancos cada 5 m de altura y por confianza geológica, categorizando los recursos en inferidos, indicados y medidos (Anexo B), se considera el mismo criterio que la sección anterior para resumir el inventario en elevaciones (bancos) de 30 m y sin considerar corta minera.

Considerando este cálculo sin restringir el modelo de bloques a una corta minera, tenemos como resultado aproximadamente 2.66 millones de onzas de oro.

RECURSOS POR ELEVACIÓN Y CONFIANZA GEOLÓGICA, LEY DE CORTE > 0.6 ppm Au									
No considerando Corta Minera									
Elevación m Banco	Recurso Inferido		Recurso Indicado		Recurso Medido		Total		
	Tm	Au ppm	Tm	Au ppm	Tm	Au ppm	Tm	Au	Oz Au
35 a 5	826,956	1.10	718,473	1.33	601,109	1.57	2,146,538	1.31	90,361
5 a -25	1,786,672	1.26	1,946,058	1.58	1,742,311	1.82	5,475,041	1.55	272,591
-25 a -55	1,602,715	1.43	2,231,682	1.78	2,004,389	2.18	5,838,786	1.82	341,741
-55 a -85	1,932,555	1.14	2,478,467	1.60	2,066,618	2.06	6,477,640	1.61	335,519
-85 a -115	2,157,211	1.12	2,335,299	1.70	1,888,423	2.21	6,380,933	1.65	339,476
-115 a -145	1,676,720	0.99	2,059,355	1.80	1,720,292	2.35	5,456,367	1.73	302,898
-145 a -175	1,655,735	1.16	2,071,752	2.31	1,716,570	2.88	5,444,057	2.14	374,366
-175 a -205	1,373,143	1.37	1,621,028	2.09	1,079,786	2.61	4,073,957	1.99	260,174
-205 a -235	1,030,445	1.42	807,209	2.42	512,115	4.06	2,349,768	2.34	176,752
-235 a -265	742,319	1.08	358,329	2.90	229,940	5.58	1,330,588	2.35	100,406
-265 a -295	219,349	1.46	136,948	1.96	56,320	2.78	412,617	1.81	23,989
-295 a -325	253,194	1.29	103,381	1.74	33,746	2.13	390,322	1.48	18,600
-325 a -355	91,819	1.99	34,110	1.86	14,018	1.47	139,946	1.90	8,562
-355 a -385	119,140	2.50	46,263	3.23	11,389	4.00	176,792	2.79	15,840
-385 a -405	15,988	0.68	0	0.00	0	0.00	15,988	0.68	351
TOTAL	15,483,960	1.22	16,948,354	1.86	13,677,025	2.37	46,109,338	1.80	2,661,627

Tabla 17. Inventario de recursos minerales considerando confianza geológica.

VI.2.3.3.- Recursos Minerales Considerando Corta Minera

El inventario de recursos minerales se realiza considerando el diseño de una corta minera (capítulo V.9.3), se calcula el material dentro de la corta cada 5 m (Anexo C), donde el mineral es aquel que tiene una ley de corte igual o superior a 0.6 ppm Au, así como también es calculado el material estéril o mineral no económico por debajo de esta ley de corte, al obtener que material es mineral y cual es estéril, se puede hacer una relación entre estos parámetros, lo que indica cuantas toneladas de estéril hay que mover para extraer 1 tonelada de mineral, esto es muy importante para las fases posteriores como lo son la inversión, planeamiento minero y posterior explotación.

Considerando este cálculo restringiendo el modelo de bloques a una corta minera, tenemos como resultado aproximadamente 2.6 millones de onzas de oro.

Recursos Minerales Considerando Corta Minera							
Elevación m Banco	Estéril < 0.6 ppm Au		Mineral > 0.6 ppm A			Total Tm	Relación Estéril/mineral
	Tm	Au	Tm	Au	Oz Au		
45	32,800,020	0.02	948,085	1.27	38,721	33,748,105	35
15	50,966,922	0.04	4,586,376	1.48	218,798	55,553,297	11
-15	43,677,510	0.05	5,914,551	1.69	321,827	49,592,061	7
-45	36,405,248	0.06	6,224,631	1.73	346,231	42,629,879	6
-75	29,504,197	0.07	6,593,301	1.61	341,971	36,097,498	4
-105	24,340,335	0.09	5,632,901	1.78	321,544	29,973,236	4
-135	18,892,186	0.07	5,133,531	1.97	324,941	24,025,717	4
-165	14,397,465	0.10	4,322,396	2.27	315,714	18,719,861	3
-195	10,995,090	0.10	2,489,310	2.24	179,152	13,484,400	4
-225	6,397,258	0.07	1,483,713	2.69	128,518	7,880,972	4
-255	3,859,172	0.08	629,932	1.87	37,808	4,489,104	6
-285	1,931,503	0.05	391,268	1.55	19,511	2,322,772	5
-315	696,372	0.06	129,544	1.54	6,404	825,917	5
-345	28,350	0.05	26,492	2.77	2,361	54,842	1
TOTAL	274,891,630	0.06	44,506,032	1.82	2,603,501	319,397,662	6

Tabla 18. Recursos minerales considerando el diseño de una corta minera.

VI.3.- Evaluación Económica

Para la evaluación económica del yacimiento mineral se utilizan los recursos calculados por el método de minado superficial, así como los costos, recuperaciones metalúrgicas y precios por onza de oro, considerando el mineral dentro de la corta minera y material estéril a mover. Se evalúan diversos escenarios a una variación del precio de la onza de oro desde el caso base de \$1,350 USD/Oz hasta \$2,000 USD/Oz.

Costo unitario

Mina	US\$/t	3
Proceso	US\$/t	14
G&A	US\$/t	3
Total	US\$/t	20
Refinamiento y traslado	US\$/ozt	6
Factor de conversión	g/ozt	31.1035
Recuperación proceso	%	80.00
Recuperación fundición	%	98.00
Precio de venta	US\$/ozt	1,350.00
Precio neto de venta	US\$/ozt	1,058.40

Tabla 19. Costos, recuperaciones y precio de onza de oro usados para el cálculo económico.

Costo - Beneficio									
USD\$/OzAu	Mineral Tm	Au (ppm)	Oz Au Rec	Estéril Tm	Total, Tm	SR	Beneficio Bruto USD	Costo USD	Ganancia USD
1,350	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,630	319,397,662	6.2	2,811,781,315	1,714,795,532	1,096,985,783
1,400	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,631	319,397,663	6.2	2,915,921,363	1,714,795,535	1,201,125,829
1,450	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,632	319,397,664	6.2	3,020,061,412	1,714,795,538	1,305,265,874
1,500	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,633	319,397,665	6.2	3,124,201,461	1,714,795,541	1,409,405,920
1,550	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,634	319,397,666	6.2	3,228,341,509	1,714,795,544	1,513,545,966
1,600	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,635	319,397,667	6.2	3,332,481,558	1,714,795,547	1,617,686,011
1,650	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,636	319,397,668	6.2	3,436,621,607	1,714,795,550	1,721,826,057
1,700	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,637	319,397,669	6.2	3,540,761,655	1,714,795,553	1,825,966,103
1,750	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,638	319,397,670	6.2	3,644,901,704	1,714,795,556	1,930,106,149
1,800	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,639	319,397,671	6.2	3,749,041,753	1,714,795,559	2,034,246,194
1,850	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,640	319,397,672	6.2	3,853,181,801	1,714,795,562	2,138,386,240
1,900	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,641	319,397,673	6.2	3,957,321,850	1,714,795,565	2,242,526,286
1,950	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,642	319,397,674	6.2	4,061,461,899	1,714,795,568	2,346,666,331
2,000	44,506,032	1.82	2,082,801	274,891,643	319,397,675	6.2	4,165,601,948	1,714,795,571	2,450,806,377

Tabla 20. Evaluación económica a distintos precios del valor de la onza de oro.

VII.- CONCLUSIONES

Se interpreta el yacimiento mineral, como un depósito de oro que está alojado principalmente en intrusivos (granito y granodiorita). De acuerdo con sus características mineralógicas, litológicas y estructurales, se considera que sea un modelo de oro orogénico o también un modelo de depósito de oro relacionado a intrusivo (Intrusion-Related Gold Deposit, IRGD).

El hecho de que la mineralización sea orogénica o esté relacionada con una intrusión, no tiene un impacto material en los objetivos iniciales de este trabajo, en términos de delimitar y estimar un recurso mineral, sin embargo, si puede tener implicaciones para la exploración a escala regional.

El arsénico sería el principal elemento pathfinder para la exploración de oro en el depósito; su asociación con el oro permitiría identificar y definir la continuidad de la mineralización aurífera.

Posiblemente el mineral de oro sea refractario por estar asociado a la arsenopirita.

Los procedimientos de estimación de recursos utilizados en este trabajo siguen las mejores prácticas internacionales de la industria minera, se completaron con éxito todos los objetivos generales y específicos, así como las etapas principales de la evaluación de un yacimiento mineral de oro.

Para la estimación de recursos minerales, se utilizó el método de interpolación de inverso a la distancia a la segunda potencia, las leyes de oro se estiman dentro de cada dominio de mineralización, con ellos se hace la clasificación de recursos minerales, y se valida comprando con los modelos de inverso a la distancia al cubo y el vecino más cercano, para dar certeza al modelo de recursos.

El inventario de recursos minerales para minado subterráneo, está reportado por encima de una ley de corte de 2 ppm Au y para minado superficial de 0.6 ppm Au, se tomaron en cuenta parámetros de otras operaciones mineras con yacimientos similares actualmente en fase de explotación para realizar dicho cálculo.

Se considera que el recurso mineral tiene perspectivas razonables para una eventual extracción económica ya sea por minado subterráneo o superficial.

Considerando el mineral dentro de la corta minera diseñada, tenemos como resultado aproximadamente 2.6 millones de onzas de oro y en la evaluación económica del caso base, se tiene una ganancia de \$1,097 Millones USD, sin considerar costos de inversión.

VIII.- REFERENCIAS

Camprubí A. 2009. Provincias y épocas metalogenéticas de México: Actualización de su conocimiento. En Geos, Vol. 29, No. 1. p. 1-2.

Camprubí A. 2010. Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62, núm. 1. p. 25-42.

CIM. 2019. Estimation of mineral resources and mineral reserves, best practice guidelines. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

CIM. 2015. Guidance on commodity pricing used in resource and reserve estimation and reporting submitted by the Commodity Price. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

CIM. 2018. Mineral Exploration Best Practice Guideline. Westmount: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

Código CH-20235. 2015. Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras de Chile. p. 115.

Comisión Colombiana de Recursos y Reservas, CCRR. 2018. Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas. Bogotá D.C.

Comisión Colombiana de Recursos y Reservas, CCRR. 2022. Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de depósitos de placer. Bogotá D.C.

Franco-Sepúlveda, G. y Velilla-Avilez, D. A. 2014. Planeamiento minero como función de la variación de la ley de corte crítica. Boletín de Ciencias de la Tierra 35. p. 25-30.

Goldfarb, R. et al. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. Ore Geology Reviews. 18. p.1-75.

Groves D. et al. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews 13. p. 7-27.

JORC Code. 2012. Australian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. Joint Ore Reserves Committee. p. 44.

López-Aburto, V. M. 1994. Manual para la Selección de Métodos de Explotación de Minas. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Nesbitt, B. E. 1988. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. *Geology*, 16: p. 1044-1048.

NI 43-101. 2011. Repeal and replacement of national instrument 43-101 standards of disclosure for mineral projects, form 43-101F1 technical report, and companion policy 43-101CP.

Pérez-Segura, E. 2008. Geoquímica de los yacimientos de oro Orogénico en Sonora. *Actas INAGEQ*, Vol. 18, Num. 1, p. 35-36.

Ponce, D. A. 2021, Density and Magnetic Properties of Selected Rock Samples from the Western U.S. and Alaska: U.S. Geological Survey.

Reich, M. et al. 2005. Solubility of gold in arsenian pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69: p. 2781-2796.

Rodríguez Terente, L. M. 2007, Las mineralizaciones auríferas de la granodiorita de Salave (Tapia de Casariego, Asturias): Universidad de Oviedo, Departamento de Geología, Ph. D. dissertation, 403 p.

Rodríguez-Terente, L. M. et al. 2018. The Salave Mine, a Variscan intrusion-related gold deposit (IRGD) in the NW of Spain: Geological context, hydrothermal alterations and ore features. *Journal of Geochemical Exploration* 188, p. 364 – 389.

Sillitoe R. H., y Thompson J. F. H. 1998. Intrusion-Related Vein Gold Deposits: Types, Tectono-Magmatic Settings and Difficulties of Distinction from Orogenic Gold Deposits. *Resource Geology*, vol. 48, no. 2, p. 237–250.

ANEXOS

ANEXO A.- Definiciones y Conceptos Generales

Depósito Mineral: Los depósitos minerales son acumulaciones de valiosos minerales que son de interés económico para los seres humanos. Estos depósitos se pueden encontrar en una variedad de ambientes geológicos, incluyendo ígneos, sedimentarios y rocas metamórficas, y se forman a través de una serie de procesos geológicos.

Yacimiento Mineral: Para que un depósito mineral sea llamado yacimiento, es necesario que cumpla con ciertos parámetros, como lo son la composición, ubicación, forma, tamaño de las reservas, calidad, aspectos políticos, sociales, debe ser rentable para ser explotado y que genere beneficios económicos a los inversionistas y al estado, además de a las personas que viven cerca del posible yacimiento.

Recurso Mineral: Existen numerosos criterios para clasificar los recursos minerales. Sin embargo, dada la complejidad de los yacimientos, los cuales pueden responder a más de un criterio simultáneamente, a veces la clasificación no es del todo satisfactoria. Para este trabajo se utiliza la Clasificación por Conocimiento y Confianza Geológica, que según el Comité de Normas Internacionales de Información sobre Reservas Minerales (CRIRSCO, 2019), un recurso mineral se define como una concentración u ocurrencia de un material sólido de interés económico, en o sobre la corteza terrestre, tal que su forma, cantidad, grado o calidad, que existen perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, calidad, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral se conocen, estiman o interpretan a partir de evidencia y conocimiento específico, incluido el muestreo.

Recurso Mineral Inferido: Un Recurso Mineral Inferido es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, ley y contenido mineral pueden estimarse con un bajo nivel de confianza. Se infiere de la evidencia geológica y se asume, pero no se verifica, la continuidad geológica y/o de grado. Se basa en información recopilada mediante técnicas apropiadas de lugares como afloramientos, zanjas, pozos, labores y perforaciones que es limitada o de calidad y/o confiabilidad incierta.

Recurso Mineral Indicado: Un Recurso Mineral Indicado es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, densidades, forma, características físicas, ley y contenido mineral pueden estimarse con un nivel razonable de confianza. Se basa en información de exploración, muestreo y pruebas recopilada mediante técnicas apropiadas en lugares como afloramientos, zanjas, pozos, labores y pozos de perforación. Las ubicaciones están demasiado alejadas o inapropiadamente espaciadas para confirmar la continuidad geológica y/o la continuidad de las leyes, pero están lo suficientemente espaciadas como para asumir la continuidad. Un Recurso Mineral Indicado tiene un nivel de confianza más bajo que el que se aplica a un Recurso Mineral Medido, pero tiene un nivel de confianza más alto que el que se aplica a un Recurso Mineral Inferido.

Recurso Mineral Medido: Un Recurso Mineral Medido es aquella parte de un Recurso Mineral cuyo tonelaje, densidades, forma, características físicas, ley y contenido mineral pueden estimarse con un alto nivel de confianza. Se basa en información detallada y confiable de exploración, muestreo y pruebas recopilada mediante técnicas apropiadas en lugares como afloramientos, trincheras, pozos, labores y pozos de perforación. Las ubicaciones están lo suficientemente espaciadas para confirmar la continuidad geológica y/o de leyes.

Método de interpolación por el vecino más cercano (NN): En este método el estimador o factor de ponderación, asignara toda la ponderación al dato más cercano a la zona que se quiere estimar. Este estimador omite todos los datos a excepción del más cercano y dado esto omite gran parte de la información y por tanto carece de precisión.

Método de Interpolación Por Inverso a la Distancia (IDW): Este método asigna un valor inversamente proporcional de la distancia el sitio donde se desea hacer la estimación, si el valor asignado es bajo entonces la distancia elevada a esa potencia es 1 y entonces a todos los datos se les asigna el mismo valor, si por el contrario el valor asignado es muy alto, los valores elevados a esa potencia se volverán muy pequeños y el método se convertirá en el vecino más cercano. Así que se recomienda para casos de estimación de recursos mineros emplear un factor de potencia de 2.

El Estimador Kriging: Es un estimador lineal, es decir, estima el valor de la variable regionalizada a partir de una suma ponderada de los datos. A diferencia de los estimadores tradicionales, considera no solo su configuración geométrica, sino que también considera su continuidad espacial, con base en el variograma.

ANEXO B.- Recursos Minerales por Bancos de 5 m Sin Considerar Corta

Recursos Minerales Sin Considerar Corta Minera									
Elevación Banco	Recurso Inferido		Recurso Indicado		Recurso Medido		Total		
	Tm	Au ppm	Tm	Au ppm	Tm	Au ppm	Tm	Au	Oz Au
35	15,425	1.13	4,372	0.83	436	0.83	20,234	1.06	691
30	66,875	1.17	58,947	1.22	27,068	1.06	152,890	1.17	5747
25	147,899	1.12	126,293	1.28	91,945	1.47	366,137	1.27	14907
20	186,708	1.10	141,837	1.37	123,685	1.55	452,231	1.31	18987
15	193,022	1.10	184,107	1.26	162,464	1.57	539,593	1.29	22445
10	217,027	1.06	202,917	1.46	195,510	1.70	615,455	1.39	27583
5	255,634	1.01	266,937	1.44	249,285	1.87	771,856	1.44	35622
0	287,740	1.17	284,870	1.42	280,291	1.81	852,901	1.46	40096
-5	265,389	1.34	298,830	1.56	292,704	1.81	856,923	1.58	43403
-10	305,212	1.37	336,541	1.71	299,236	1.80	940,989	1.63	49207
-15	337,821	1.32	365,141	1.70	304,335	1.83	1,007,297	1.61	52100
-20	334,876	1.29	393,739	1.58	316,459	1.79	1,045,074	1.55	52164
-25	319,424	1.32	368,794	1.61	316,061	1.85	1,004,279	1.59	51458
-30	272,816	1.37	347,444	1.72	312,964	1.96	933,224	1.70	50978
-35	274,770	1.41	369,221	1.77	343,945	2.02	987,936	1.76	55884
-40	225,187	1.61	359,776	1.86	346,725	2.31	931,689	1.97	58979
-45	240,756	1.53	393,825	1.84	347,228	2.49	981,809	1.99	62958
-50	269,762	1.40	392,622	1.85	337,466	2.40	999,850	1.91	61483
-55	283,645	1.28	397,164	1.72	363,037	2.07	1,043,846	1.72	57756
-60	262,081	1.27	400,111	1.59	344,303	2.06	1,006,495	1.67	53970
-65	318,733	1.09	411,451	1.58	366,707	1.92	1,096,891	1.55	54741
-70	341,209	1.07	419,375	1.60	329,051	2.07	1,089,635	1.57	55120
-75	374,057	1.06	416,210	1.61	330,683	2.24	1,120,950	1.62	58223
-80	352,831	1.12	434,155	1.52	332,836	2.04	1,119,822	1.55	55710
-85	362,840	1.06	404,750	1.55	322,051	1.74	1,089,642	1.44	50443
-90	423,642	1.07	386,480	1.59	313,851	2.01	1,123,973	1.51	54547
-95	369,251	1.16	400,875	1.71	317,747	2.27	1,087,873	1.69	59070
-100	368,932	1.16	385,032	1.86	326,729	2.64	1,080,693	1.86	64623
-105	307,705	1.17	388,565	1.81	313,769	2.42	1,010,039	1.80	58526
-110	324,841	1.11	369,597	1.70	294,276	2.16	988,714	1.64	52266
-115	317,633	1.08	334,819	1.91	267,941	2.44	920,393	1.78	52609
-120	269,580	1.07	343,429	1.99	279,683	2.64	892,692	1.92	55040
-125	286,387	1.00	351,761	1.91	327,176	2.45	965,324	1.82	56563
-130	289,682	0.93	385,985	1.62	303,697	2.18	979,363	1.59	50063
-135	272,496	0.90	325,003	1.66	275,270	2.05	872,769	1.55	43378
-140	240,942	0.94	318,359	1.74	266,526	2.35	825,826	1.70	45245
-145	235,297	1.04	314,764	1.98	261,253	2.47	811,313	1.86	48599
-150	285,681	1.09	349,111	2.09	287,337	2.49	922,129	1.91	56506
-155	313,058	1.15	356,321	2.35	294,368	2.93	963,746	2.14	66233
-160	314,393	1.15	360,422	2.50	307,263	3.12	982,078	2.26	71402
-165	257,358	1.26	340,039	2.54	285,332	3.13	882,729	2.36	66850
-170	249,950	1.30	351,095	2.35	281,018	3.08	882,062	2.28	64775
-175	246,691	1.34	328,410	2.19	248,644	2.89	823,745	2.15	56815
-180	249,728	1.39	318,398	2.10	223,613	2.46	791,738	1.98	50303
-185	242,671	1.35	308,051	2.04	191,901	2.54	742,624	1.95	46473
-190	218,776	1.40	259,658	2.07	167,543	2.71	645,976	2.01	41708
-195	202,062	1.42	221,226	1.99	134,710	2.32	557,998	1.86	33450
-200	213,214	1.33	185,285	2.15	113,376	2.61	511,876	1.91	31426
-205	217,618	1.32	186,607	2.14	97,570	3.48	501,795	2.04	32992
-210	206,134	1.35	187,742	2.09	108,463	3.16	502,339	2.02	32603

-215	186,241	1.45	128,725	2.48	92,210	3.59	407,177	2.26	29574
-220	150,202	1.55	120,637	2.79	74,760	4.20	345,599	2.56	28435
-225	137,213	1.53	107,035	2.60	69,100	5.53	313,348	2.78	27962
-230	133,037	1.39	76,462	2.97	70,011	5.31	279,510	2.80	25187
-235	137,467	1.31	72,111	2.72	57,017	4.28	266,595	2.33	19930
-240	126,520	1.25	58,037	3.31	44,806	5.09	229,363	2.52	18586
-245	139,480	1.07	61,046	3.54	36,993	7.33	237,519	2.68	20450
-250	128,357	1.09	57,063	3.36	34,059	7.23	219,480	2.63	18565
-255	117,942	0.87	61,348	2.43	36,863	5.07	216,154	2.03	14123
-260	92,553	0.79	48,723	1.92	20,202	5.22	161,478	1.69	8752
-265	52,943	0.83	14,910	1.99	7,208	6.02	75,061	1.56	3756
-270	27,572	1.20	21,740	1.18	7,450	1.29	56,762	1.20	2197
-275	27,196	1.89	25,271	1.73	9,575	2.25	62,042	1.88	3751
-280	24,865	2.17	24,257	2.78	8,628	3.80	57,749	2.67	4953
-285	44,381	1.69	22,332	2.38	14,501	2.27	81,213	1.98	5168
-290	42,392	1.51	28,439	1.73	8,958	1.81	79,789	1.62	4165
-295	38,445	1.31	25,749	1.40	7,655	1.83	71,848	1.39	3222
-300	42,834	1.11	16,046	1.12	3,932	1.79	62,812	1.16	2334
-305	41,161	1.24	14,141	1.48	1,134	0.85	56,436	1.29	2348
-310	47,223	1.40	12,010	2.74	4,673	3.28	63,906	1.79	3685
-315	45,615	1.41	17,776	2.26	10,346	2.26	73,737	1.74	4113
-320	37,917	1.25	17,659	1.78	6,008	1.87	61,583	1.46	2896
-325	18,739	1.07	5,988	2.17	4,005	1.74	28,732	1.39	1285
-330	4,084	0.73	8,303	1.49	4,005	1.85	16,392	1.39	731
-335	1,335	0.67	7,261	1.05	3,338	1.01	11,933	0.99	381
-340	103	0.60	2,212	0.71			2,316	0.70	52
-345	29,997	2.11					29,997	2.11	2037
-350	37,560	2.53	10,346	2.80	2,670	1.07	50,576	2.51	4076
-355	36,864	2.95	12,683	4.59	3,671	4.80	53,218	3.47	5938
-360	32,519	2.69	13,454	4.25	3,892	5.68	49,865	3.35	5365
-365	25,203	2.44	12,845	2.27	3,825	1.51	41,873	2.31	3104
-370	19,344	1.80	4,183	0.68			23,527	1.60	1209
-375	3,877	1.05	3,099	0.64			6,976	0.87	195
-380	1,333	0.69					1,333	0.69	30
-385	1,899	0.71					1,899	0.71	43
-390	5,380	0.66					5,380	0.66	115
-395	6,228	0.68					6,228	0.68	137
-400	2,480	0.70					2,480	0.70	56
TOTAL	15,483,960	1.22	16,948,354	1.86	13,677,025	2.37	46,109,338	1.80	2,661,627

ANEXO C.- Recursos Minerales por Bancos de 5 m Considerando Corta

Recursos Minerales Considerando Corta Minera							
Elevación m Banco	Estéril > 0.6 ppm Au		Mineral > 0.6 ppm A			Total Tm	relación Estéril/mineral
	Tm	Au	Tm	Au	Oz Au		
45	135,118	0.00	0.00	0.00	0	135,118	-
40	920,431	0.00	0.00	0.00	0	920,431	-
35	5,934,478	0.00	16,580.56	1.10	588	5,951,058	358
30	8,128,424	0.01	141,995.00	1.19	5,450	8,270,419	57
25	8,722,934	0.02	335,926.37	1.26	13,628	9,058,860	26
20	8,958,636	0.03	453,582.94	1.31	19,055	9,412,219	20
15	8,743,681	0.03	540,608.25	1.29	22,484	9,284,289	16
10	8,528,972	0.04	617,087.06	1.39	27,646	9,146,059	14
5	8,822,720	0.04	773,415.56	1.44	35,683	9,596,136	11
0	8,527,641	0.04	854,800.50	1.46	40,179	9,382,441	10
-5	8,318,200	0.04	858,588.56	1.58	43,500	9,176,788	10
-10	8,025,708	0.04	941,875.88	1.63	49,307	8,967,584	9
-15	7,756,789	0.04	1,008,876.19	1.61	52,240	8,765,665	8
-20	7,516,126	0.04	1,046,606.63	1.55	52,232	8,562,733	7
-25	7,356,279	0.05	1,004,887.88	1.59	51,480	8,361,166	7
-30	7,230,876	0.05	933,648.94	1.70	50,988	8,164,525	8
-35	6,977,794	0.05	988,250.44	1.76	55,893	7,966,044	7
-40	6,839,647	0.05	932,280.56	1.97	58,995	7,771,928	7
-45	6,595,339	0.05	982,509.94	1.99	62,977	7,577,849	7
-50	6,385,854	0.06	1,000,983.00	1.91	61,526	7,386,837	6
-55	6,155,137	0.06	1,044,453.94	1.72	57,782	7,199,591	6
-60	6,002,711	0.07	1,007,146.09	1.67	53,985	7,009,857	6
-65	5,723,442	0.06	1,098,456.69	1.55	54,787	6,821,899	5
-70	5,542,765	0.07	1,091,081.61	1.57	55,174	6,633,847	5
-75	5,333,272	0.07	1,122,402.58	1.62	58,293	6,455,675	5
-80	5,159,261	0.07	1,120,067.26	1.55	55,751	6,279,329	5
-85	5,015,890	0.07	1,084,889.07	1.44	50,341	6,100,779	5
-90	4,814,795	0.07	1,113,164.37	1.52	54,290	5,927,959	4
-95	4,673,398	0.08	1,077,667.39	1.70	58,816	5,751,065	4
-100	4,507,581	0.08	1,075,110.21	1.87	64,480	5,582,692	4
-105	4,401,517	0.09	1,010,679.10	1.80	58,550	5,412,196	4
-110	4,256,285	0.09	986,479.54	1.65	52,209	5,242,764	4
-115	4,164,355	0.09	912,541.89	1.78	52,366	5,076,897	5
-120	4,035,104	0.10	876,749.83	1.93	54,483	4,911,854	5
-125	3,821,333	0.09	926,587.47	1.86	55,455	4,747,920	4
-130	3,661,742	0.08	919,863.54	1.64	48,480	4,581,605	4
-135	3,607,961	0.08	813,677.25	1.60	41,800	4,421,638	4
-140	3,473,681	0.08	780,018.44	1.76	44,072	4,253,699	4
-145	3,279,487	0.07	791,090.94	1.89	48,182	4,070,577	4
-150	3,020,942	0.06	887,325.72	1.95	55,720	3,908,268	3
-155	2,833,159	0.06	924,581.57	2.19	65,178	3,757,741	3
-160	2,676,957	0.07	936,836.88	2.32	69,990	3,613,794	3
-165	2,642,115	0.09	831,383.69	2.45	65,406	3,473,499	3
-170	2,521,456	0.09	810,759.47	2.42	63,008	3,332,216	3
-175	2,439,309	0.10	754,677.46	2.28	55,310	3,193,986	3
-180	2,347,205	0.10	702,765.30	2.13	48,192	3,049,970	3
-185	2,256,685	0.11	651,611.84	2.11	44,223	2,908,296	3
-190	2,190,695	0.11	571,198.68	2.15	39,574	2,761,894	4
-195	2,138,871	0.11	487,022.40	1.99	31,169	2,625,894	4
-200	2,036,311	0.10	441,013.07	2.05	29,071	2,477,324	5

MÁSTER EN GEOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS MINERALES

EVALUACIÓN DE UN YACIMIENTO DE ORO:

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA, MODELADO, ESTIMACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RECURSOS MINERALES.

AUTOR: JOSÉ CRISTÓBAL ROJAS CASTILLO

-205	1,901,244	0.10	427,491.99	2.24	30,820	2,328,736	4
-210	1,742,563	0.09	433,939.43	2.23	31,097	2,176,502	4
-215	1,647,377	0.09	372,521.38	2.41	28,888	2,019,898	4
-220	1,528,724	0.08	327,321.83	2.67	28,107	1,856,045	5
-225	1,364,876	0.07	305,761.69	2.83	27,785	1,670,638	4
-230	1,241,537	0.07	271,784.93	2.86	25,020	1,513,322	5
-235	1,120,751	0.07	253,573.96	2.39	19,500	1,374,325	4
-240	1,013,685	0.08	203,657.70	2.67	17,460	1,217,343	5
-245	869,822	0.05	231,722.14	2.72	20,273	1,101,544	4
-250	786,587	0.06	217,212.93	2.65	18,481	1,003,800	4
-255	704,083	0.06	216,518.24	2.03	14,129	920,602	3
-260	687,974	0.08	160,745.25	1.69	8,757	848,719	4
-265	705,257	0.09	74,326.08	1.59	3,805	779,583	9
-270	656,379	0.09	56,674.08	1.21	2,202	713,053	12
-275	582,971	0.08	62,778.38	1.89	3,812	645,749	9
-280	522,508	0.10	58,890.19	2.70	5,103	581,398	9
-285	439,957	0.07	82,411.55	1.99	5,265	522,369	5
-290	385,805	0.05	80,940.38	1.63	4,232	466,746	5
-295	334,088	0.03	72,645.76	1.40	3,260	406,734	5
-300	293,430	0.04	62,454.63	1.16	2,326	355,884	5
-305	261,255	0.05	48,131.22	1.22	1,895	309,386	5
-310	216,969	0.04	44,684.89	1.76	2,533	261,653	5
-315	177,408	0.04	42,816.36	1.83	2,522	220,224	4
-320	149,698	0.04	36,974.81	1.48	1,764	186,673	4
-325	134,380	0.06	20,202.64	1.50	975	154,583	7
-330	102,415	0.08	16,620.08	1.39	743	119,035	6
-335	75,719	0.08	11,553.08	0.99	369	87,272	7
-340	56,752	0.13	1,377.35	0.70	31	58,129	41
-345	21,790	0.07	11,805.12	2.31	877	33,595	2
-350	6,043	0.01	9,196.12	2.72	804	15,239	1
-355	517	0.00	5,490.42	3.85	680	6,007	0
TOTAL	274,891,630	0.06	44,506,032	1.82	2,603,501	319,397,662	6