



**Asistencia practica en SIG y labores mineras para las minas del proyecto Segovia-Remedios,  
Departamento de Antioquia.**



Jesús Alberto Murillo Bolaños

Asesores

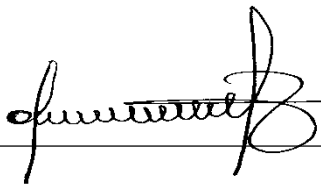
**Institucional:** Jimmy Alexander Torres Giraldo

**Empresarial:** Andrés Mauricio Marín Mejía

Universidad de Caldas  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Programa de Geología  
2022



## NOTA DE APROBACIÓN



**Geólogo Jimmy Alexander Torres Giraldo**

**Director académico – trabajo de grado**

## Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
2. Objetivos .....	10
2.1. Objetivo General .....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. Metodología .....	11
3.1. Información general sobre la práctica.....	11
3.2. Revisión Bibliográfica .....	11
3.3. Actividades Laborales.....	12
3.3.1. Labores de Oficina .....	12
3.3.2. Labores de Campo .....	12
4. Características generales de la empresa.....	13
4.1. Misión Institucional.....	13
4.2. Visión Institucional .....	13
4.3. Razón Social.....	14
4.4. Proyecto Segovia – Remedios .....	14
4.5. Localización Geográfica .....	17
5. Marco Geológico.....	18
5.1. Geología Regional.....	18
5.1.1. Gneises de San Lucas .....	19
5.1.2. Complejo Cajamarca .....	19
5.1.3. Batolito Segovia .....	20
5.1.4. Batolito Antioqueño .....	21
5.2. Geología Estructural .....	21
5.3. Geología Local .....	25
5.3.1. Granodiorita (IGD).....	25
5.3.2. Diques Máficos (HA).....	26
5.4. Mineralización .....	27
5.5. Tipo de Deposito .....	32
6. Trabajos realizados durante la practica .....	33
6.1. Creación planes de perforación .....	33
6.2. Actualización y validación de bases de datos de las perforaciones diamantinas .....	39
6.3. Validación geoespacial de muestras de canal. ....	41



<b>6.4. Creación de mapas</b> .....	<b>43</b>
<b>6.5. Grade capping</b> .....	<b>44</b>
<b>6.6. Supervisión de materiales de producción</b> .....	<b>45</b>
<b>6.7. Formulación y supervisión del blending</b> .....	<b>52</b>
<b>7. Resultados</b> .....	<b>56</b>
<b>7.1. Análisis Gis y creación de mapas</b> .....	<b>56</b>
<b>7.2. Grade Capping de mina Carla</b> .....	<b>56</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>60</b>
<b>9. Recomendaciones</b> .....	<b>62</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>63</b>

### Tabla de Ilustraciones

Imagen 1. Método de explotación de cámaras y pilares con estructura mineralizada inclinada; Fuente: Herrera (2020).	15
Imagen 2. Método de cortes y rellenos, ejecutado en dos secciones una inferior y otra superior; Fuente: Herrera (2020).	16
Imagen 3. A: Perforación neumática; tomada de la página oficial de GCG. B: Jumbo electrohidráulico DD422i Sandvik; Tomado de la página oficial de Sandvik.	16
Imagen 4. Localización geográfica del proyecto Segovia – Remedios, nótese el polígono verde de la imagen satelital que representa el título minero concedido a GCG; Fuente: propia.	17
Imagen 5. Mapa de distribución de terrenos tectonoestratigráficos; Tomado y modificado de Restrepo & Toussaint (2020).	18
Imagen 6. Fallas que influyen el proyecto minero Segovia - Remedios; Fuente: propia.	22
Imagen 7. Estructura en flor del Sistema de Fallas Palestina, generadora de los sistemas de las fallas locales El Silencio, SandraK, Verticales, Providencia, Cogotes y Chumeca; Fuente: equipo de Exploración (2021).	23
Imagen 8. Sistema de fallas locales del DMSR El Silencio, Sandra K, Verticales, Providencia, Cogotes y Chumeca, vista desde planta; Fuente: Starling (2017).	24
Imagen 9. Cambio textural y composicional dentro del mismo Batolito de Segovia; IGD0: Diorita, IGD1: Granodiorita sin alteración; IGD2: Granodiorita con presencia de feldespatos potásicos; IGD3: Monzogranito; IGD4: Monzogranito con aumento en el tamaño de cristales; IGD5: Diorita con textura porfírica; Fuente: Equipo de exploración (2021).	25
Imagen 10. A: Dique de composición andesítica con textura afanítica; B: Dique de composición lamprófidica de textura porfírica; Fuente: Equipo de exploración (2021).	26
Imagen 11. Contacto entre veta y dique, mina El Silencio; Fuente: SRK (2021).	26
Imagen 12. Minerales principales de las vetas del DMSR (Py1: Piritita, Sph1: Esfalerita, Ga1: Galena y Qz2: Cuarzo drusiforme) específicamente de veta Providencia; modificado y tomado de Manco et al. (2012).	27
Imagen 13. Sulfuros presentes en menor proporción en las vetas del DMSR (Po: Pirrotina, Mo: Molibdenita) embebidos en una matriz de Cuarzo (Qz), además de presentar Piritita (Py); Fuente: Equipo de exploración (2021).	27
Imagen 14. Oro electrum obtenido del sistema de vetas El Silencio por medio de la campaña Infill realizada en la presa roca caja produce alteraciones hidrotermales, según el reporte del equipo de exploración geológica de GCG en el año 2021.	28
Imagen 15. Mancha verdosa que corresponde a la alteración propilítica del IGD (mina Sandra K); Fuente: Equipo de exploración(2021).	28
Imagen 16. Alteración pervasiva de biotita del IGD cortada por stockworks (Serie de fisuras dicotómicas y ramificadas a gran escala) de epidota – piritita con halo de plagioclasas (mina Providencia); Fuente: Equipo de	



exploración (2021).	29
Imagen 17. veta constituida principalmente por cuarzo y pirita (mina Carla); Fuente: SRK (2021).	29
Imagen 18. sheeted veins de cuarzo (mina Sandra K, veta Chumeca); Fuente: Equipo de exploración (2021).	29
Imagen 19. Veta con cuarzo primario (Qz1) hacia la base, siendo cortado por cuarzo secundario (Qz2) el cual se caracteriza por ser drusiforme, este a su vez es cortado en algunas ocasiones por carbonatos (Cb). Obsérvese como él Cb arranca y embebe fragmentos de Qz2; Fuente: Equipo de exploración (2021).	30
Imagen 20. A: Cristalización de Qz3 cortando los minerales de la etapa 1, n Qz3 hay crecimiento de nuevos sulfuros Py3; B: Intercrecimiento de Py2, Cpy1 y Ga2 en Sph2; Fuente: Equipo de exploración (2021).	31
Imagen 21. DEM de la zona (Topografía superficial), Perforaciones realizadas y modelo de la veta preexistente; Fuente: propia.	33
Imagen 22. Diseño y ubicación de la cámara la cual albergara la perforadora diamantina; Fuente: propia.	34
Imagen 23. Cámara que alberga la plataforma y máquina de perforación diamantina; Fuente: Equipo de geología de minas(2022).	34
Imagen 24. Diseño de la cruzada que interconectará la cámara y los túneles existentes; Fuente: propia.	35
Imagen 25. Diseño de malla 50m X 50m sobre el modelo de veta prexistente; Fuente: propia.	35
Imagen 26. Visualización general y verificación de que la información prexistente este desplegada para continuar con el proceso del diseño del plan de perforación; Fuente: propia.	36
Imagen 27. A: Vista en planta del plan de perforación 50m X 50m totalmente diseñado; B: Vista en perspectiva del plan de perforación 50m X 50m totalmente diseñado; Fuente: propia.	37
Imagen 28. Angulo critico entre la estructura vetiforme y el sondeo; Fuente: propia.	37
Imagen 29. Transformación de una malla de perforación 50m X 50m a una 25m X 25m, siendo esta última mucho más densa que la primera; Fuente: propia.	38
Imagen 30. A: Vista en planta del plan de perforación 25m X 25m totalmente diseñado; B: Vista en perspectiva del plan de perforación 25m X 25m totalmente diseñado; Fuente: propia.	39
Imagen 31. Diferencia entre el sondeo planeado (DH001) y el sondeo con ajuste del survey (DH001_S) siendo este último másrealista, además, los discos rojos representan el corte de veta de dichos sondeos; Fuente: propia.	40
Imagen 32. Plataforma LogChief, encargada de almacenar la información de litología, Assay, Collar y Survey, cabe señalar que solo se muestra el apartado del Collar y Survey del software, ya que en dichas ventanas se almacena la información ejecutada en esta labor; Fuente: propia.	41
Imagen 33. A: vista de planta de la topografía subterránea y las muestras de canal desplegadas; B: Muestras de canal con errores de georreferenciación demarcadas por la elipse azul; C: muestras de canal rectificadas y listas para exportar. Fuente: propia.	42
Imagen 34. mapa que representa la distribución de los tenores en la mina El Silencio; Fuente: Geología de minas (2021).	43
Imagen 35. Dimensiones de una pila promedio de 400 toneladas, las líneas continuas representan las longitudes de cada cara, por otro lado, las líneas rojas discontinuas representan los límites de las caras; Fuente: propia.	46
Imagen 36. Ilustración de una pila perfectamente cónica y sus lugares de muestreo adoptando un sistema de 3 anillos; Fuente: Geología de minas (2022).	47
Imagen 37. Recolección de grabs en la pila de Sandra K, la flecha representa la dirección de muestreo; Fuente: propia.	48
Imagen 38. Descargue del material extraído de mina en el patio de acopio Plaza Trio; Fuente: propia.	48
Imagen 39. Trituradora a donde son llevados los grabs obtenidos de las pilas, la flecha representa en donde ingresa el materialpara ser triturado; Fuente: propia.	50
Imagen 40. Proceso de cuarteo para homogenizar todos los grabs obtenidos y triturado previamente; Fuente: propia.	50
Imagen 41. Empacado y sellado del producto del cuarteo, cada bolsa cuenta con sus respectivos sellos de seguridad de color amarillo y ficha (código de muestra); Fuente: propia.	51
Imagen 42. Generación de la mega pila mezclada del Blending, en donde la cargadora recoge el material de cada pila y lo acumula en el espacio designado para la mega pila del blending; Fuente: propia.	53
Imagen 43. (A) se observa la remoción del material generado por el blending (Imagen 36), para ser llevado por la cargadora hacia la trituradora principal (B), el cual deja las partículas en tamaño gravilla; Fuente: propia.	55
Imagen 44. Mapas en los cuales se participó, de la mina El Silencio para el comunicado oficial de GCG.	56
Imagen 45. Método cuadrático para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos.	57



Imagen 46. Método Au Vs Au para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos por medio de regresión lineal.	58
Imagen 47. Método Log Normal para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos.	58
Imagen 48. Método cuadrático para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de las pilas.	59
Imagen 49. Método Au Vs Au para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de pilas.	59

## Lista de Tablas

Tabla 1. Archivo generado por el software Leapfrog Geo que contiene información importante para la marcación y ejecución de cada sondeo planeado (coordenadas del collar, dip, azimut y profundidad de corte (Target Depth)); Fuente: propia.	38
Tabla 2. Ejemplo del reporte diario sobre la información de las pilas de cada unidad minera (mina A); Fuente: Equipo de geología de minas (2022).	51
Tabla 3. Formato para la receta del blending diario entregado al equipo de logística de Plaza Trio, nótese los valores de los tenores pronosticados (rojos) y los análisis de laboratorio (negros); Fuente: Equipo de geología de minas (2022).	53
Tabla 4. Formato que refleja el stock de mineral presente en Plaza Trio, nótese los valores de los tenores pronosticados (rojos) y los análisis de laboratorio (negros); Fuente: Equipo de geología de minas (2022).	54
Tabla 5. Formato en el cual se sintetiza los valores de la receta del blending preparado, tomando como ejemplo los valores de la tabla 3; Equipo de geología de minas (2022).	54
Tabla 6. Formato en el cual se incluyen las pilas procesadas por día, ya que normalmente se procesa más de una receta diariamente, nótese el cambio de color pues este representa el cambio de receta; Equipo de geología de minas (2022).	54
Tabla 7. Umbral final, hallado a partir del promedio de los resultados de los diferentes métodos estadísticos gráficos, mediante el análisis de las muestras de testigo, grabs y canales del 2021 al 2022 de mina Carla.	60



## Resumen

El presente informe tiene como fin describir las labores desempeñadas como practicante universitario en el departamento de geología de minas de la empresa Gran Colombia Gold Corp. (GCG) filial de Gran Colombia Mining Corp. (GCM Mining.), la cual opera en el distrito minero Segovia – Remedios (DMSR) dentro de las unidades mineras El Silencio, Providencia, Sandra k y Carla.

La práctica fue ejecutada en un periodo de 6 meses, realizando trabajos de apoyo especialmente en el área de Geographical Information System (GIS) y modelamiento, además de la realización de otras labores de apoyo tales como: actualización y administración de bases de datos, mapas para comunicados oficiales de la compañía (press release), validación geoespacial de muestras, creación de planes de perforación y análisis estadísticos de muestreos. Por otro lado, se ejecutaron labores de campo asociadas a actividades de control y seguimiento del mineral a procesar en la planta de beneficio María Dama (grade control y blending).

Las operaciones realizadas en la práctica contribuyeron significativamente en el flujo de trabajo realizado por el departamento de geología de minas de GCG aportando en los resultados de la planeación de corto, mediano y largo plazo de la compañía.

Finalmente se describen las metodologías y protocolos utilizados en las actividades ejecutadas en este periodo de tiempo, esto con la finalidad de identificar posibles errores en los procesos, sirviendo como premisa para la propuesta de soluciones, recomendaciones y conclusiones.





## **Abstract**

The purpose of this report is to describe the work performed as a university intern in the mining geology department of the company Gran Colombia Gold Corp. (GCG), a subsidiary of Gran Colombia Mining Corp. (GCM Mining), which operates in the mining district Segovia - Remedios (DMSR) within the mining units El Silencio, Providencia, Sandra K and Carla.

The internship was executed over a period of 6 months, performing support work especially in the area of Geographical Information System (GIS) and modeling, in addition to performing other support work such as: updating and administration of databases, maps for official communications of the company (press release), geospatial validation of samples, creation of drilling plans and statistical analysis of sampling. On the other hand, field work associated with control and follow-up activities of the ore to be processed at the Maria Dama mill (grade control and blending) were carried out.

The operations performed in the practice contributed significantly to the work flow carried out by the GCG's mining geology department, contributing to the results of the company's short, medium and long term planning.

Finally, the methodologies and protocols used in the activities carried out during this period of time are described, with the purpose of identifying possible errors in the processes, serving as a premise for the proposal of solutions, recommendations and conclusions.







## 1. Introducción

Gran Colombia Mining Corp. (GCM Mining.) dedicada a la producción y comercialización de oro y plata a nivel mundial, contando con operaciones en Canadá, España, Guayanas y Colombia, desarrollando tareas de prospección, exploración y explotación de estos metales preciosos.

La empresa minera cuenta con diversos proyectos en Colombia entre los que destacan el proyecto Segovia - Remedios ubicado en el Departamento de Antioquia y denominado así por su ubicación geográfica. Allí se encuentran las minas auríferas El Silencio, Providencia, Sandra K y Carla. Las cuatro operaciones se encuentran en etapa de explotación, además de adelantar trabajos de exploración para que la vida útil del proyecto se amplíe por más tiempo, responsabilidad que en gran medida corresponde a los departamentos de exploración y de geología de minas, ya que estas son las áreas encargadas de recopilar y procesar información geológica valiosa para la compañía y los procesos de la operación.

La información base del trabajo geológico, es obtenida con diversas técnicas y posteriormente tratada y validada para que sirvan como insumo principal en la realización de mapas geológicos, modelos e interpretaciones que zonifiquen el potencial económico (categorización de recursos minerales) y así ayudar a la planeación y toma de decisiones, contribuyendo a que la operación sea económicamente sostenible en el tiempo.



## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Asistir al departamento de geología de minas de la compañía minera Gran Colombia Gold Corp. (GCG), en labores GIS a través de la recopilación, procesamiento, validación, análisis e interpretación de información geológico – minera extraída de las labores operativas que actualmente se llevan a cabo en las minas El Silencio, Providencia, Sandra k y Carla.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar, validar y procesar información que sirva como insumo en la creación de mapas y modelos tridimensionales geológico – mineros.
- Asistir al departamento de geología de minas con respecto al control de tenores (grade control) en los materiales de producción que ingresan diariamente a planta para su mezcla (blending) y procesamiento.
- Servir como soporte en la actualización, organización y validación de las bases de datos de los diferentes tipos de muestreos (grabs, canales y testigos) y tareas ejecutadas por el área de geología de minas.

### **3. Metodología**

#### **3.1. Información general sobre la práctica.**

La presente practica obedece a un convenio interinstitucional entre la Compañía GCG y la Universidad de Caldas, en el cual durante un periodo de tiempo de 6 meses se realizaron labores de apoyo o trabajos especiales de geología, exploración Brownfield y planeamiento en el proyecto minero de GCG ubicado en el Municipio de Segovia- Antioquia.

En el cumplimiento como practicante de geología de minas se llevaron a cabo diversas labores que a grandes rasgos involucran la asistencia en GIS, bases de datos y la veeduría o control de mineral (grade control) que entra al patio de acopio que posteriormente será procesado en la planta de beneficio.

El jefe inmediato asignado y supervisor de las actividades realizadas, además de tutor institucional de la práctica es el Ingeniero geólogo Andrés Mauricio Marín, jefe del área de geología de minas de la empresa GCG en el proyecto minero Segovia - Remedios.

A continuación, se explica cada uno de los aspectos metodológicos para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

#### **3.2. Revisión Bibliográfica**

La búsqueda y recopilación de información técnico - científica que se utilizó para el presente informe de práctica, se revisó de manera exhaustiva teniendo en cuenta que tuviesen algún tipo de utilidad o influencia en el proyecto minero y además que los estudios fuesen confiables, esto con la finalidad de que la información consultada sea lo más veraz posible.

La revisión de las memorias geológicas del Servicio Geológico Colombiano, artículos científicos e información corporativa sirvieron para brindar un correcto contexto geológico, por otro lado los estudios realizados por la empresa especialmente desde el área de exploración y el equipo de geología de minas ofrecen un mejor entendimiento en la caracterización del yacimiento, esta información es fundamental para realizar de manera correcta modelos geológicos – mineros de calidad.

Para las labores GIS y grade control se utilizaron como guía los protocolos establecidos por el área de geología de minas de GCG en el año 2021, ya que no se encontraron trabajos publicados relacionados con los temas en mención.

### **3.3. Actividades Laborales**

#### **3.3.1. Labores de Oficina**

- Actualización y verificación de bases de datos de las perforaciones diamantinas, que incluyen datos de: collares, survey, profundidades diarias, corte de estructuras mineralizadas y localización de plataformas.
- Validación geoespacial de las muestras de canal en la topografía subterránea de las respectivas minas.
- Reportes de muestreos de las pilas (grabs), muestras de canal y los avances diarios de las perforaciones según lo exija o estipule la gerencia de geología de minas.
- Creación de planes de perforación diamantina a nivel subterráneo.
- Tratamiento estadístico para valores atípicos (grade capping).

#### **3.3.2. Labores de Campo**

- Supervisión, manejo y muestreo de las pilas de mineral extraídas de las unidades mineras El Silencio, Providencia, Sandra k y Carla,
- Blending para alimentación de la planta de beneficio con las diferentes pilas de mineral disponibles en patio.

## **4. Características generales de la empresa**

Gran Colombia Mining Corp. (GCM Mining) es una compañía canadiense, que cotiza en la bolsa de Toronto, líder en la exploración y producción de oro y plata en Colombia bajo el nombre de GCG Gran Colombia Gold Corp. (GCG) y con proyecciones exploratorias en otros países de la región (p.ej. Proyecto Toroparu en Guyana).

GCG cuenta con proyectos mineros ubicados en los Departamentos de Caldas y Antioquia en la región central de Colombia, realizando principalmente labores de producción de metales preciosos y exploración para ampliar sus operaciones mineras, ubicándose en todas las etapas del ciclo minero desde la exploración de zonas de interés hasta la comercialización de su producto principal.

La empresa tiene como principal objetivo operar de manera sostenible, lo que quiere decir que tiene compromisos socio – económico y ambientales, al punto de tener una de las plantas de tratamiento de agua más avanzadas de Colombia ayudando a la mitigación y minimización de los impactos ambientales generados por la industria, ganándose el reconocimiento de los ciudadanos de la región por sus buenas prácticas y su aporte a la economía local.

### **4.1. Misión Institucional**

Según en la página web, Gran Colombia Gold es una empresa minera productora de metales preciosos, que crea valor para sus accionistas y grupos de interés mediante la adopción de prácticas eficientes, seguras y responsables bajo estándares de nivel internacional.

### **4.2. Visión Institucional**

Según en la página web, Gran Colombia Gold será una empresa consolidada en explotación subterránea de oro y plata en Colombia, reconocida por altos estándares en sus prácticas mineras, desarrollo sostenible e integridad empresarial.

### **4.3. Razón Social**

La empresa Gran Colombia Gold Corp. Se encuentra registrada en la ciudad de Medellín – Antioquia, siendo filial de GCM Mining la totalidad de su inyección de capital proviene de Canadá cotizando en la actualidad para la bolsa de Toronto, GCM Mining por otro lado tiene su sede principal en Toronto – Canadá.

### **4.4. Proyecto Segovia – Remedios**

El proyecto minero ubicado en el DMSR es uno de los proyectos más importantes en la región y como tal del país, los títulos mineros a cargo de GCG cuentan con un área total de 9.000 hectáreas , área en donde se encuentran las cuatro operaciones mineras que se ejecutan actualmente la cuales son: El Silencio, Providencia, Sandra K y Carla, en lo cual cabe señalar que El Silencio ha estado activa por más de 150 años; en este lapso de tiempo se han producido un estimado de 5 millones de onzas de oro en la región; desde el año 2010 GCG lleva a cabo un extenso programa de exploración y perforación alrededor de las minas para identificar nuevas zonas de interés y poder ampliar su producción en un futuro.

Actualmente todas las operaciones se realizan de manera subterránea, para el caso de las minas El Silencio, Sandra K y Carla el método de explotación utilizado es el de cámaras y pilares el cual se caracteriza por ser un método auto soportado debido a que se dejan bloques del cuerpo mineralizado para soportar el techo de las cámaras abiertas producto de la extracción del mineral (Imagen 1), para ejecutar este tipo de método de manera óptima se deben tener en cuenta algunos criterios como la geometría del depósito (cuerpos mineralizados tabulares), potencia métrica del cuerpo a extraer y que las estructuras de interés no superen los 45° de buzamiento, además es fundamental estudiar la geomecánica de los componentes del depósito con el fin de zonificar las áreas en donde se presenta mayor resistencia, ya que de ser incompetentes los materiales se tendría que evaluar el acompañamiento de algún tipo de sostenimiento geotécnico (Herrera, 2020). GCG normalmente emplea un patrón de pilares cuadrados y ordenados sin embargo la disposición, el ancho y la geometría de estos puede variar por las diferentes condiciones geomecánicas y geológicas (propiedades físicas del cuerpo mineralizado y roca caja, tenores, etc.) presentes en el lugar de operación, pues lo ideal es dejar como soporte columnas de bajos tenores y mecánicamente competentes, en el caso en que los pilares sean económicamente rentables se procederá a su

recuperación y se sustituirán por pilares artificiales compuestos de madera, costales con material estéril u otro material.

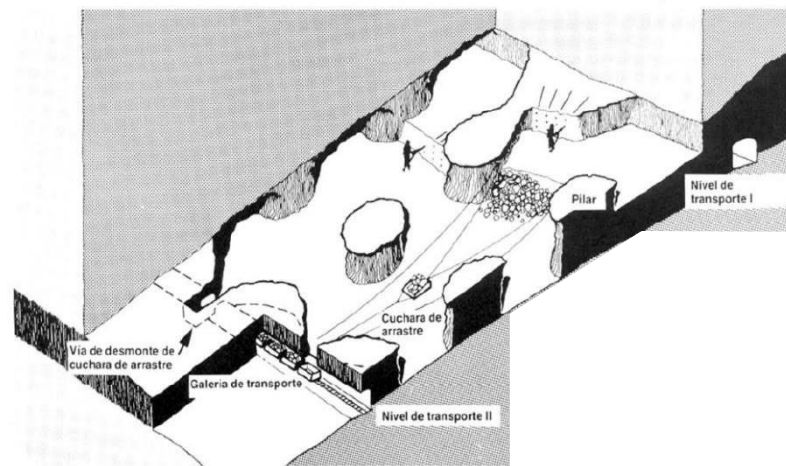


Imagen 1. Método de explotación de cámaras y pilares con estructura mineralizada inclinada; Fuente: Herrera (2020).

En el caso de la mina Providencia se utiliza el método de cámaras y pilares en las áreas en donde el cuerpo mineralizado no supera los  $45^\circ$  de buzamiento, en las áreas donde el cuerpo sobrepasa este ángulo crítico se maneja la explotación por medio de cortes y rellenos (Imagen 2 ), método que en comparación al de cámaras y pilares resulta más costoso pero que obtiene un porcentaje de recuperación cercano al 100%, este método es ideal para cuerpos mineralizados tabulares que presenten buzamientos superiores a los  $45^\circ$  y que además posean buenos tenores (Herrera, 2020), el método consiste en extraer la mena por medio de recortes horizontales posteriormente serán rellenos con material estéril con el fin de avanzar en dirección de la inclinación de la veta.

Los procesos de perforación y voladura son fundamentales para ejecutar correctamente los métodos de explotación llevados actualmente por GCG, en el caso de las perforaciones la compañía la realiza de dos maneras, la primera es de forma semi mecanizada la cual es llevada a cabo por medio de perforadoras neumática que utilizan aire comprimido para realizar orificios de diámetro pequeño con los barrenos que poseen una punta en forma de bisel (Imagen 3A.), en cada golpe que la perforadora ejecuta el barreno realiza un giro automático permitiendo la penetración del mismo en las diferentes unidades geológicas. Por otro lado, la segunda forma es por medio de perforadoras electrohidráulicas más conocidas como jumbos los cuales son equipos altamente sofisticados, robotizados, de gran capacidad de desarrollo y que en este caso utiliza la energía hidráulica para transmitir y controlar las fuerzas y movimientos de la perforadora (Imagen 3B. ), Además, cuenta

con un tablero de mando computarizado que automatiza los procesos por lo que es de resaltar las grandes ventajas que ofrece estos equipos en cuanto a una mayor exactitud, precisión, tiempos de avance y paralelismo de las perforaciones.

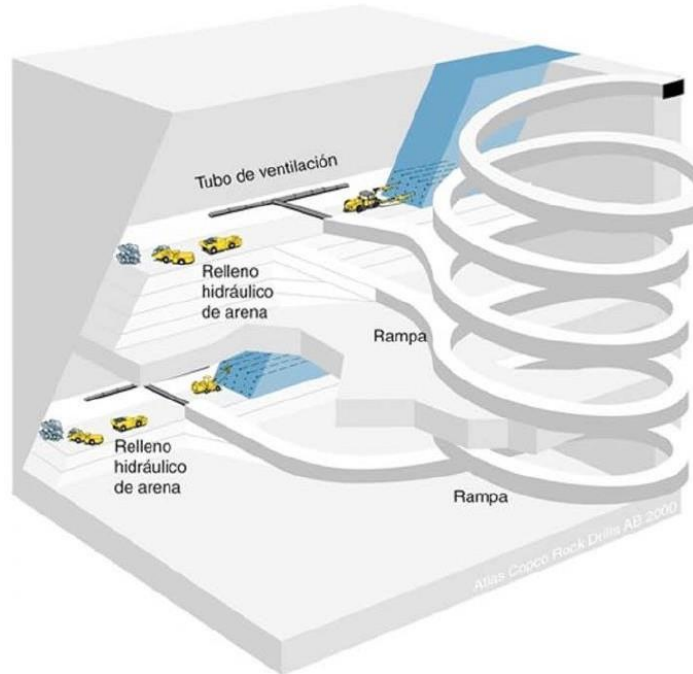


Imagen 2. Método de cortes y rellenos, ejecutado en dos secciones una inferior y otra superior; Fuente: Herrera (2020).

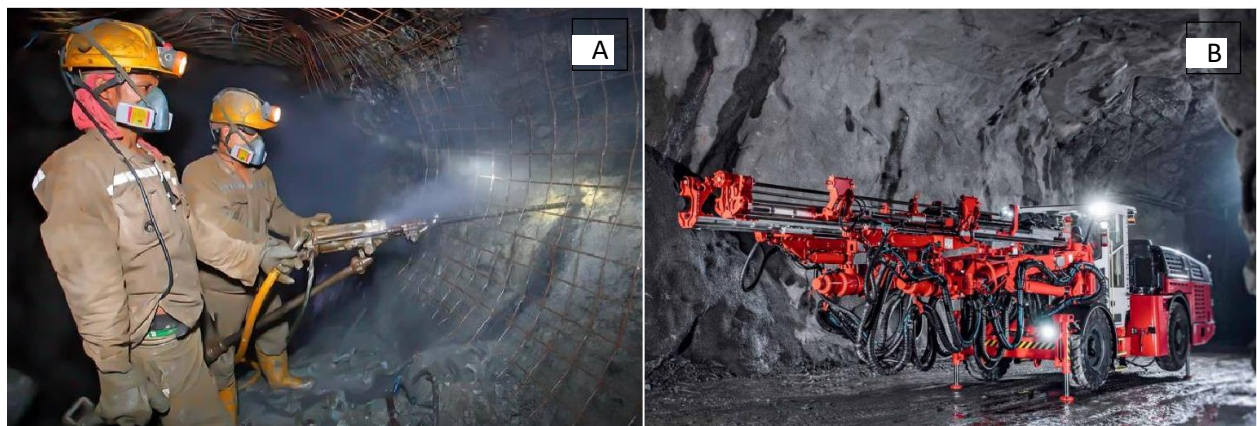


Imagen 3. A: Perforación neumática; tomada de la página oficial de GCG. B: Jumbo electrohidráulico DD422i Sandvik; Tomado de la página oficial de Sandvik.



#### 4.5. Localización Geográfica

El área de influencia del proyecto minero se encuentra ubicado en la Cordillera Central de Colombia, aproximadamente a 130 km lineales al Noreste de la ciudad de Medellín – Antioquia entre los municipios de Segovia y Remedios.

El acceso a la zona puede realizarse por medio terrestre. partiendo de la ciudad de Medellín y pasando por los municipios de Barbosa, Yolombó, Yalí, Vegachí, Remedios y finalizando en Segovia, recorriendo una distancia de 200 km, con duración aproximada de 4 horas.

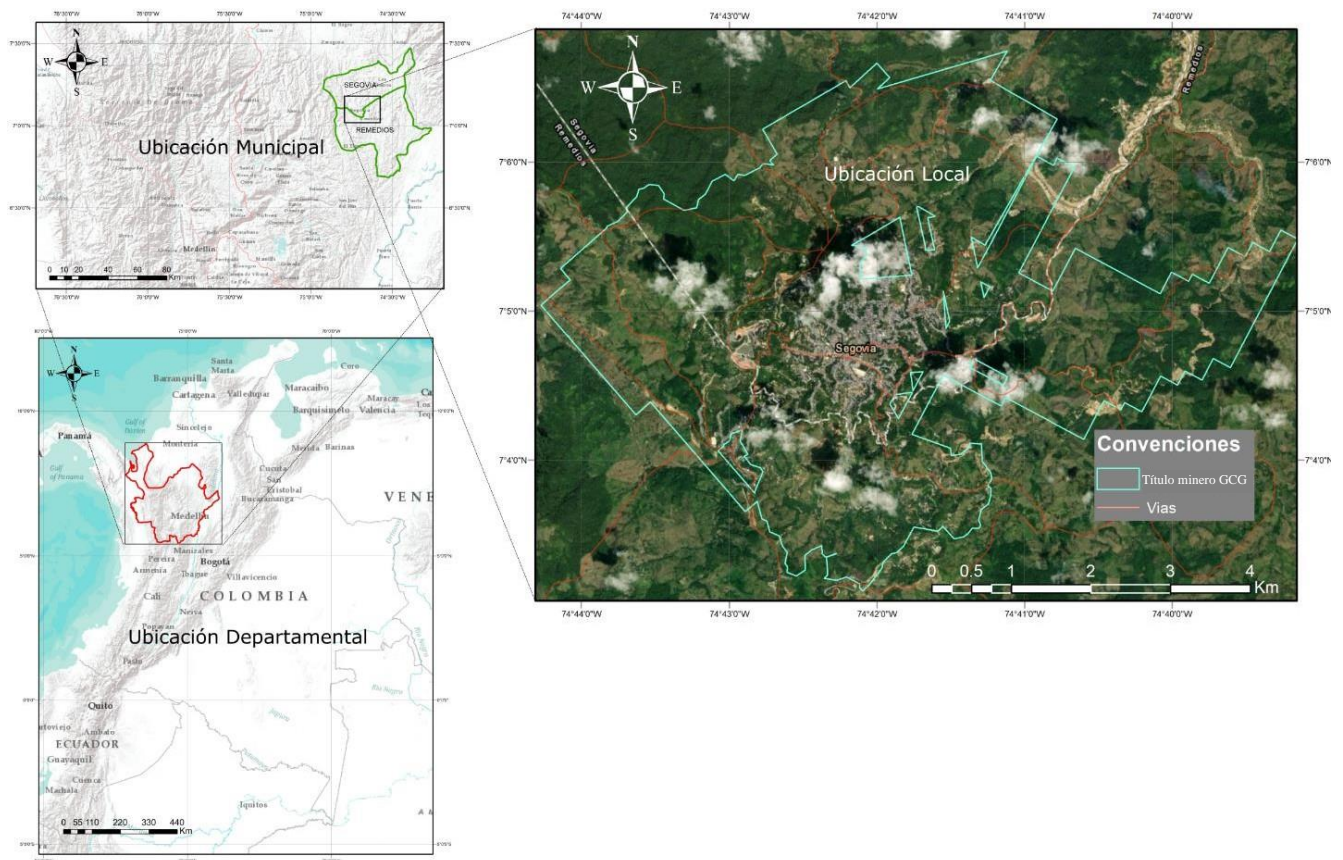


Imagen 4. Localización geográfica del proyecto Segovia – Remedios, nótese el polígono verde de la imagen satelital que representa el título minero concedido a GCG; Fuente: propia.

## 5. Marco Geológico

### 5.1. Geología Regional

Las clasificaciones de los terrenos tectonoestratigráficos de Colombia (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020) (Imagen 5), permite identificar bloques de corteza caracterizados por tener historias geológicas propias, englobando rasgos comunes en los componentes del terreno, dichos bloques se encuentran delimitados principalmente por fallas; el área de estudio se encuentra comprendida entre los terrenos Tahamí (bloque occidental) y Chibcha (bloque oriental), ambos bloques se encuentran delimitado por la falla Otú – Pericos (Imagen 5).

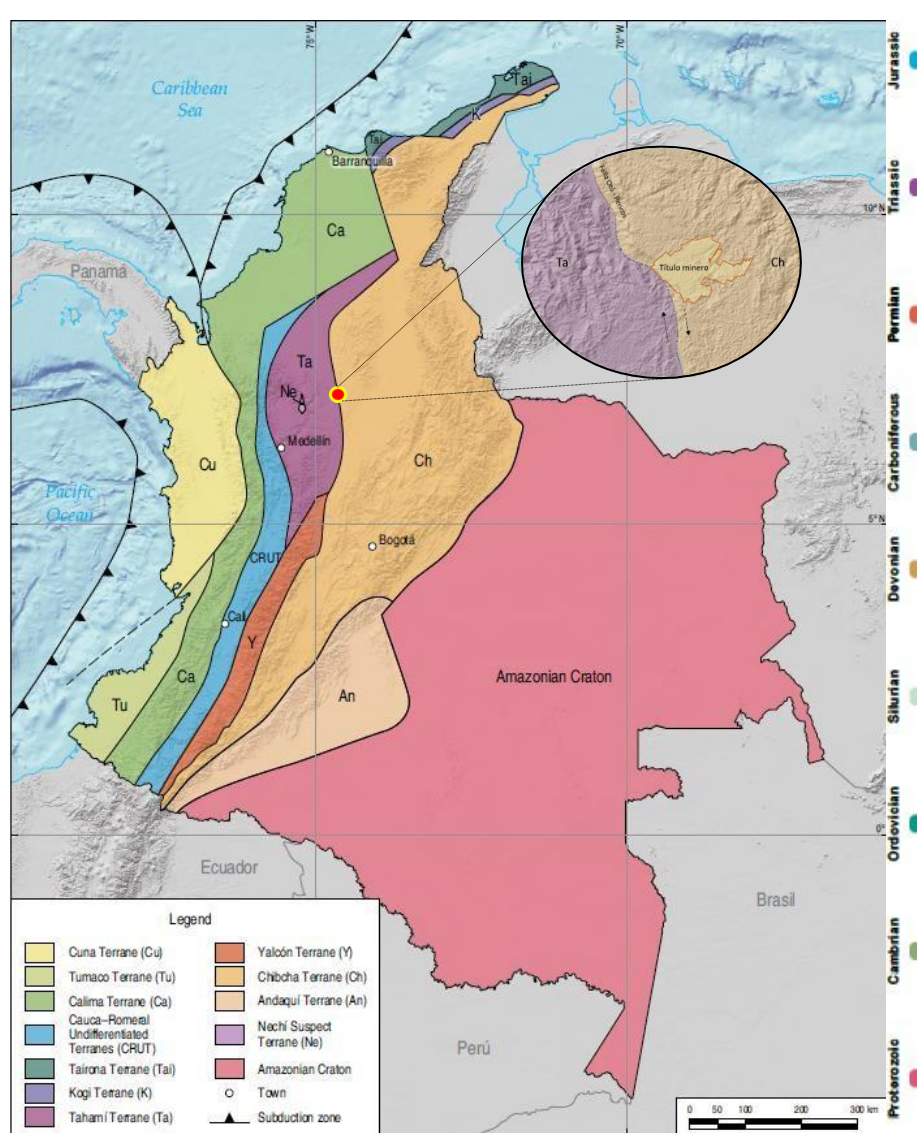


Imagen 5. Mapa de distribución de terrenos tectonoestratigráficos; Tomado y modificado de Restrepo & Toussaint (2020).

El terreno Chibcha está conformado principalmente por rocas metamórficas que van de grado intermedio a alto como por ejemplo los gneises de San Lucas de edad Precámbrica, instruidas por cuerpos ígneos normalmente del jurásico como por ejemplo el Batolito de Segovia (Feininger et al., 1972), estas unidades se extienden en una gran parte del flanco oriental de la cordillera central; mientras que el bloque occidental, está constituido por rocas metamórficas de grado bajo a intermedio pertenecientes al Complejo Cajamarca (Maya & González, 1995).

### **5.1.1. Gneises de San Lucas**

Aunque el primero en describirlo fue Feininger *et al.* (1972), el que denomino la unidad como Gneis de San Lucas fue Royero (1996), describiendo rocas metamórficas constituidas principalmente por gneises cuarzo- feldespáticos, anfibolitas, cuarcitas y granulitas máficas que afloran en el norte de la serranía de San Lucas, Mantilla *et al.* (2006) propone que la localidad tipo de esta unidad se ubique en los afloramientos de Barranco de Loba, municipio ubicado al sur de Bolívar.

Esta unidad cuenta con una extensión aproximada de 40 km de largo en dirección N -S y un ancho de 10 km en promedio, contando con un área aprox. de 400 km<sup>2</sup>, esta franja se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera central limitada al este con las filitas y esquistos de pinillos a través del Sistema de Fallas Palestina, al oeste se encuentra en contacto con el Batolito de Segovia donde en algunas partes el contacto es intrusivo y en otras fallado por medio de la falla El Bagre.

Según Cuadros (2012), la edad de formación del protolito de composición granítica es de 1500 a 1540 M.a aproximadamente con base a los análisis U-Pb en zircón y las edades de metamorfismo va de 1180 a 930 M.a aproximadamente según las dataciones U-Pb.

Esta unidad litodémica se correlaciona con por su edad de formación con las granulitas los mangos al SE de la Sierra Nevada de Santa Marta (Tschanz *et al.*, 1969), y a los gneis de Dibulla (McDonald & Hurley, 1969) donde las dataciones de Rb/Sr arrojan una edad aprox. de 1300 M.a similar a la de las granulitas los mangos y el gneis de San Lucas.

### **5.1.2. Complejo Cajamarca**

El primero en definir esta unidad litodémica fue Nelson (1957), denominándola en su momento como serie de Cajamarca, sin embargo fue Maya & Gonzales (1995) los que la nombraron como Complejo Cajamarca al paquete de rocas metamórficas que principalmente se constituyen por



esquistos cuarzo – sericíticos, esquistos verdes, filitas y en algunas partes encontrándose cuarcitas y mármoles, la localidad tipo de esta unidad litodémica se encuentra en las rocas aflorantes a borde de la carretera que conduce de Ibagué a Armenia.

Este complejo polimetamórfico conforma el núcleo de la Cordillera Central de Colombia (Restrepo *et al.*, 2009), por lo que su extensión geográfica se distribuye en esta misma, El complejo Cajamarca se encuentra en contacto fallado con los Gneis de San Lucas y del Batolito de Segovia por medio de la falla Otú-Pericos, además de ser intruido por el Batolito Antioqueño.

Las dataciones isotópicas publicadas por Restrepo *et al.*, 2011 mediante el análisis U–Pb en zircones para las unidades metamórficas que componen el Complejo Cajamarca indican un metamorfismo orogénico en el Triásico Tardío. Adicionalmente, dicho análisis define una edad Pérmica ( $277.3 \pm 3.0$ ) Ma para los protolitos ígneos, mientras que para los protolitos sedimentarios presentan un edad máxima de depositación del Carbonífero (318 M.a - 316 M.a), sin embargo Maya & Gonzales (1995) proponen varios eventos metamórficos de los cuales al menos uno está en el Cretácico y dos en el Paleozoico, por lo que este complejo sería el resultado de varios eventos metamórficos superpuestos a lo largo del tiempo con sus propias características cada uno de ellos (Restrepo & Toussaint, 1982).

### 5.1.3. Batolito Segovia

Este cuerpo fue descrito primeramente por Feininger *et al.* (1972), sin embargo, fue Álvarez (1983) quien lo denominó Batolito de Segovia, posteriormente autores como Gonzales & Londoño (2002) nombrarían esta unidad como Diorita de Segovia.

La diferenciación magmática durante el proceso de formación de la unidad hace que la composición de esta sea variada clasificándose en algunas partes como diorita, cuarzodiorita y granodiorita, el Batolito presenta características de un magmatismo del tipo metaluminoso a calco-alcalino lo que indica un déficit de alúmina y por ende un enriquecimiento de sílice siendo característico la gran presencia de hornblenda y en menor proporción biotita (Álvarez, 2013; Leal- Mejía *et al.*, 2019). La datación radiométrica de U-Pb en Zircón sugiere que la edad de cristalización del intrusivo es de 167 M.a– 158 M.a (Leal-Mejía *et al.*, 2019), ubicándolo en el jurásico medio a superior.

Geográficamente el cuerpo se presenta de forma alargada en dirección noreste suroeste, siendo paralela a la cordillera central contando con una longitud de 270 km y 50 km de ancho en la parte central del batolito (González, 2001), extendiéndose aproximadamente por alrededor de unos 5.600 km<sup>2</sup>, estando en contacto fallado con el Complejo Cajamarca por la Falla Otú – Pericos al oeste y al



este se encuentra en contacto mixto con los Gneises de San Lucas, ya que en algunas partes hay contacto intrusivo y en otras están delimitadas por la Falla el Bagre.

El Batolito de Segovia se relaciona por su edad de cristalización con otros intrusivos, como el Batolito de Ibagué de edad Jurásico Superior a Cretácico Inferior (Bustamante et al., 2016; Rodríguez et al., 2017, 2020) y los Batolitos de Garzón y Mocoa del Jurásico Inferior (Leal-Mejía et al., 2019). Finalmente, el Batolito de Segovia representa la roca caja del área de estudio ya que la mayor parte del título minero se encuentra en inmediaciones de dicha unidad.

#### **5.1.4. Batolito Antioqueño**

El Batolito Antioqueño fue descrito y nombrado por el profesor Gerardo Botero (1941), refiriéndose a las rocas intrusivas al oeste de la Falla Otú – Pericos , las rocas de esta unidad tienen poca variación en su composición siendo clasificadas como tonalitas a granodioritas en algunas partes comportándose de manera más félsica y en otras máficas (Duque-Trujillo et al., 2019 ), El Batolito se origina a partir del magmatismo post- Jurásico ,y se caracteriza por estar constituido no solo por el cuerpo principal sino también por tener satélites los cuales son: Stock de Altavista, Batolito Ovejas, Stock de La Unión, Stock de San Diego y el Stock La Culebra, siendo este ultimo la unidad más cercana al DMSR, los satélites tienen normalmente composición granítica a granodiorítica a excepción del Stock de San Diego que es de composición gabrónica (Duque-Trujillo et al., 2019 ).

La gran recopilación de dataciones (U/Pb, K/Ar, Ar/Ar, Re-Os y demás) realizadas por Leal – Mejía (2011) arrojan que en promedio el rango de cristalización va de unos 98 a 57 M.a Se estima que el Batolito Antioqueño posee con un área superficial aprox. De 7.543 Km<sup>2</sup> contando el área de los satélites, extendiéndose en una gran parte del departamento de Antioquia.

## **5.2. Geología Estructural**

El DMSR se encuentra influenciado por el tectonismo que soporto el Norte de la Cordillera Central en el Cenozoico originado por esfuerzos convergentes de las placas Nazca, Suramérica y Caribe (Kellog & Bonini, 1982), los arreglos estructurales dominantes en la zona son la Falla Otú – Pericos y el Sistema de Fallas Palestina en donde se encuentra la Falla Nus y la Falla El Bagre (Imagen 6) de edad post Cretácica inferior según Feininger *et al.*, (1972).

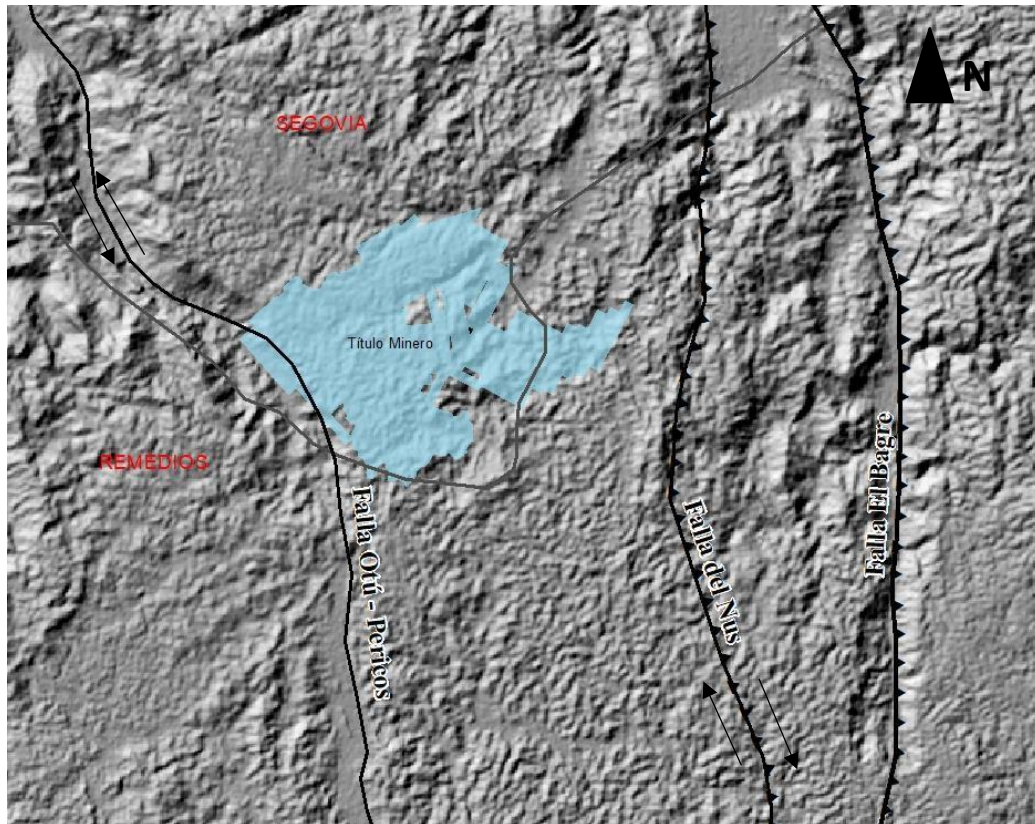


Imagen 6. Fallas que influyen el proyecto minero Segovia - Remedios; Fuente: propia.

### ***Falla Otú- Pericos***

Falla de componente sinestro-lateral que separa el bloque Tahamí del bloque Chibcha definiéndose como la zona aproximada de sutura según Restrepo & Toussaint (1988), se extiende por más de 120 km, controlando estructuralmente el valle de Río Pocuné y la quebrada Vara Alta, el plano de fallamiento es N-S / vertical (Álvarez *et al.*, 2006).

### ***Falla Nus***

La Falla Nus es una falla de carácter transpresivo ya que involucra cinemática de fallamiento inverso con movimientos de rumbo, Según Feininger *et al.*, (1972) la falla tiene un rumbo de N10°W y desplazamiento dextro-lateral con alto buzamiento, delimitando el Batolito de Segovia de norte a sur con unidades más jóvenes como lo son las Sedimentitas de Segovia y se extiende alrededor de 80 Km al noreste de Antioquia.

## Falla El Bagre

Esta falla se ha interpretado como una falla de cabalgamiento, que contacta al Batolito de Segovia con las rocas metamórficas precámbricas conocidas como los Gneis de San Lucas (Naranjo & Alvarán, 2018), la disposición general de la falla es N-S/E extendiéndose alrededor de unos 144 km en el noreste de Antioquia y al sur de Bolívar.

Por otro lado el Sistema de Fallas Palestina y la Falla Otú – Pericos forman un terreno tensional que hasta la actualidad sigue activo, los diferentes esfuerzos generan fallas locales que facilitan el ascenso de diques y fluidos hidrotermales, estas soluciones enriquecen los espacios con minerales de mena (Álvarez, 2013), las fallas locales se asocian con la estructura en flor positiva del Sistema de Fallas Palestina (Imagen 7) por lo que dicho sistema de fallas se encuentra íntimamente asociado a los cuerpos mineralizados presentes en el depósito.

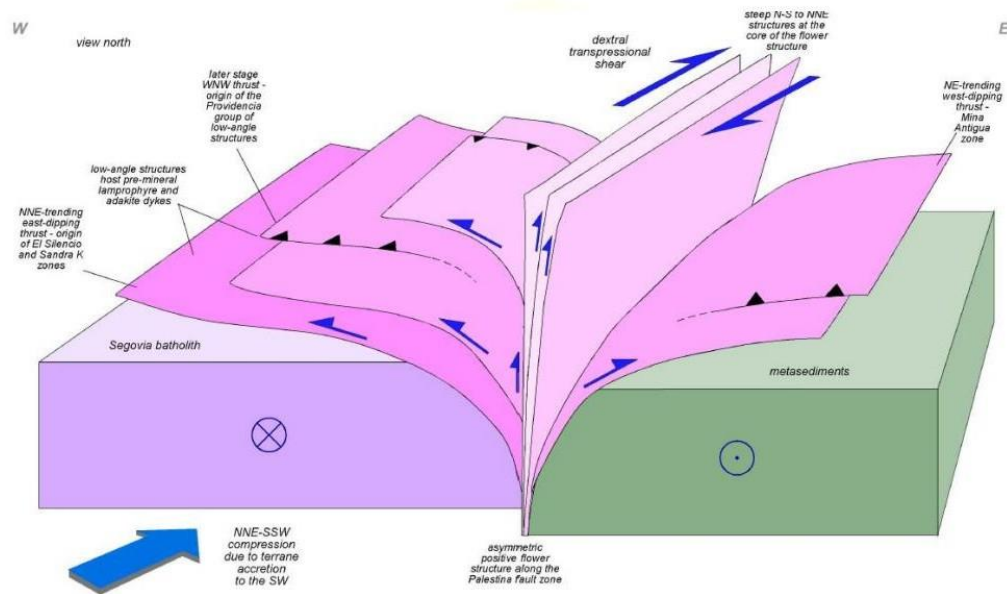


Imagen 7. Estructura en flor del Sistema de Fallas Palestina, generadora de los sistemas de las fallas locales El Silencio, Sandra K, Verticales, Providencia, Cogotes y Chumeca; Fuente: equipo de Exploración (2021).

Starling en el 2017 realizo el estudio más actualizado sobre la cinemática del DMSR (Imagen 8), donde se agrupa las fallas locales en sistemas de fallas que denomino:

- Sistemas de Fallas El Silencio donde se encuentran las fallas K y Pre-K, las cuales tienen un componente predominantemente sinistral y otro inverso, la orientación del plano de falla tiene un rumbo normalmente NEE y el buzamiento de sub - vertical a vertical.
- Sistema de Fallas Verticales, paralelas a la Falla Otú – Pericos y caracterizadas por ser fallas destrales en sentido NW y presentar buzamiento vertical.
- Sistema de Fallas Sandra K, fallas caracterizadas por ser destrales e inversas, en sentido NE y buzamiento aproximadamente vertical del plano de falla.
- Sistema de Fallas Providencia, Cogotes y Chumeca, todas de componente inverso en donde el plano de falla presenta una disposición preferencial al NNW con buzamientos sub - verticales a verticales.

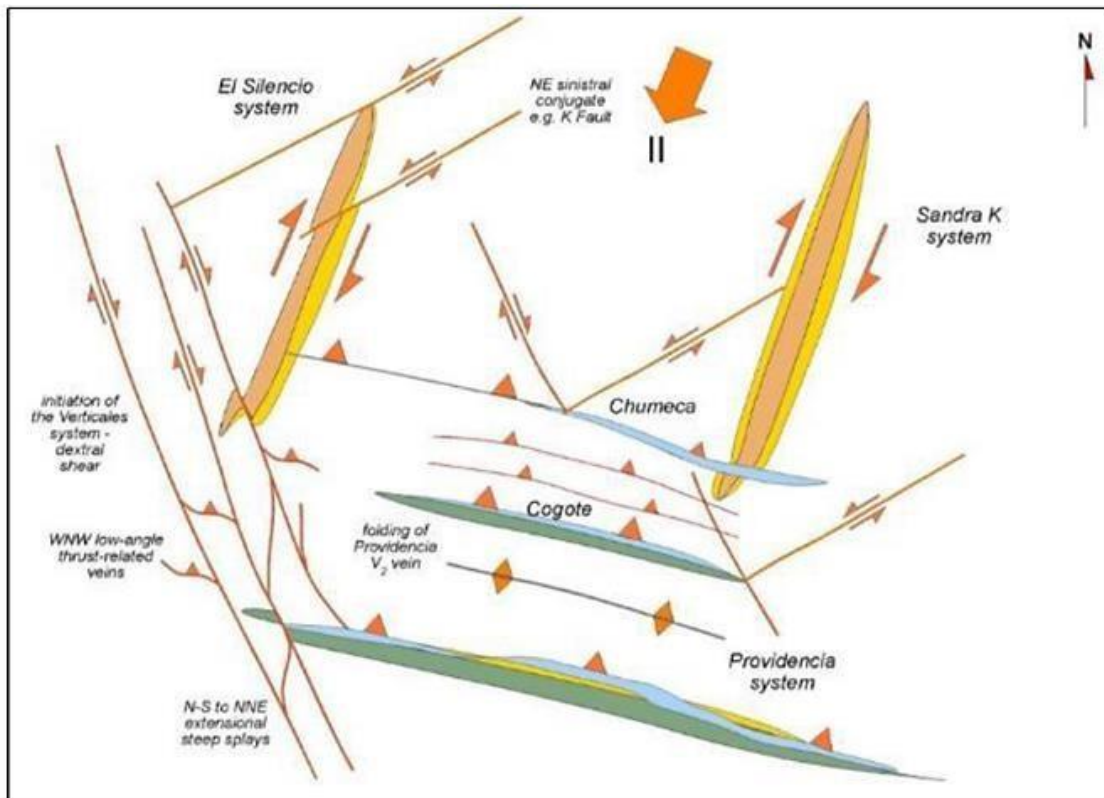


Imagen 8. Sistema de fallas locales del DMSR El Silencio, Sandra K, Verticales, Providencia, Cogotes y Chumeca, vista desde planta; Fuente: Starling (2017).



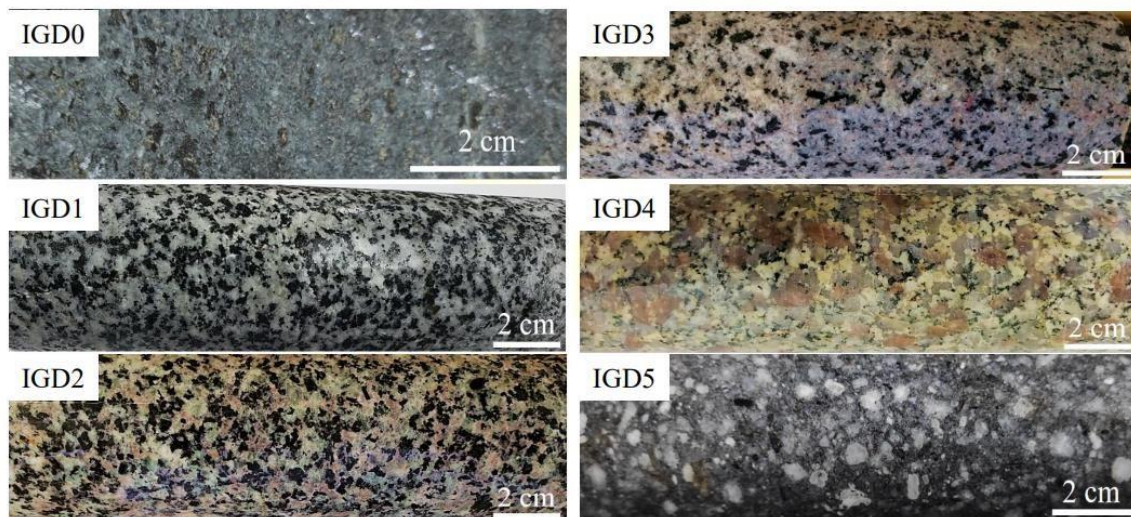


### 5.3. Geología Local

#### 5.3.1. Granodiorita (IGD)

La roca caja corresponde a una roca ígnea intrusiva generalmente fanerítica, holocristalina, equigranular con cristales sub - euhédricos a euhédrico e isotrópicos de composición normalmente granodiorítica (IGD1 e IGD2), sin embargo, la diferenciación magmática permite que la unidad presente en algunas partes composición diorítica (IGD0), monzogranítica (IGD3 e IGD4) y andesítica con textura porfirítica (IGD5). Los cambios composicionales y texturales de la roca (Imagen 9) han sido claramente reconocidos como eventos magmáticos separados con contactos visibles entre ellos, reconocidos por el equipo de exploración y geología de minas.

Por medio de las características litológicas y espaciales esta unidad se asocia con el Batolito de Segovia, cabe mencionar que este cuerpo constituye la roca caja del depósito ya que representa la mayor parte de este y es capaz de alojar tanto estructuras mineralizadas como otros cuerpos tabulares ígneos.



*Imagen 9. Cambio textural y composicional dentro del mismo Batolito de Segovia; IGD0: Diorita, IGD1: Granodiorita sin alteración; IGD2: Granodiorita con presencia de feldespatos potásicos; IGD3: Monzogranito; IGD4: Monzogranito con aumento en el tamaño de cristales; IGD5: Diorita con textura porfirítica; Fuente: Equipo de exploración (2021).*

### 5.3.2. Diques Máficos (HA)

Son cuerpos tabulares, de texturas afaníticas a porfírica (Imagen 10), de composición andesítica a lamprófida de carácter calco- alcalino por lo que se asocia a un ambiente de arco magmático (Álvarez, 2013), estos cuerpos se encuentran alojados en el Batolito de Segovia y comúnmente se presentan paralelos a las estructuras vetiformes por lo que se asocian a los mismos (Álvarez *et al.*, 2006)(Imagen 11), los espesores de estos diques pueden ser de centímetros a metros y se presentan en todas las operaciones mineras que se lleva a cabo por GCG.

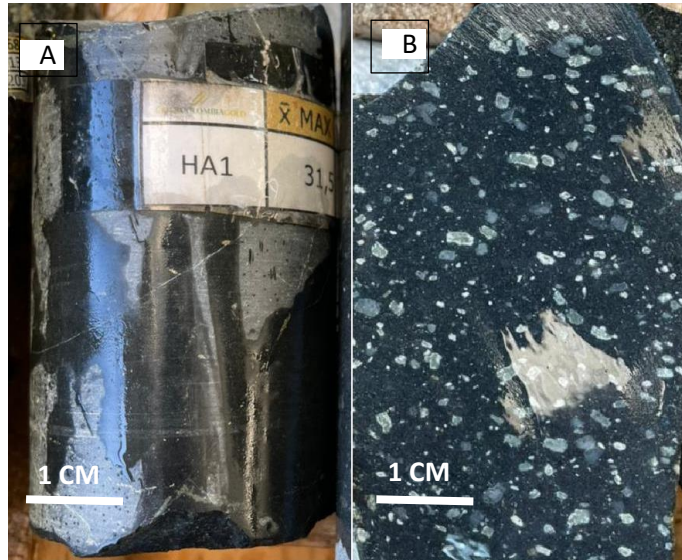


Imagen 10. A: Dique de composición andesítica con textura afanítica; B: Dique de composición lamprófida de textura porfírica; Fuente: Equipo de exploración (2021).



Imagen 11. Contacto entre veta y dique, mina El Silencio; Fuente: SRK (2021).

## 5.4. Mineralización

Los sistemas vetiformes que se encuentran en el DMSR fueron formados por procesos hidrotermales, fluidos con pH bajo que posibilitan el transporte de sulfuros y metales en solución dentro de la roca caja, en el momento en que las condiciones físico – químicas se neutralizan permiten la precipitación de minerales de mena (Álvarez, 2013), en el DMSR los minerales precipitados de estas soluciones hidrotermales son principalmente pirita (predominante), galena y esfalerita (Imagen 12), además de presentar en menor proporción otros sulfuros (Imagen 13) como molibdenita y pirrotina, por otro lado también se ha encontrado la presencia de oro electrum (Imagen 14) en algunos casos.

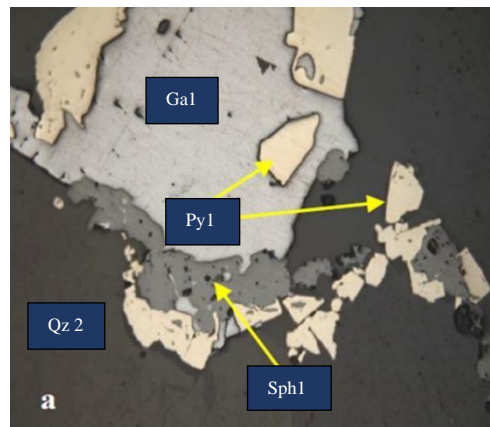


Imagen 12. Minerales principales de las vetas del DMSR (Py1: Pirita, Sph1: Esfalerita, Gal: Galena y Qz2: Cuarzo drusiforme) específicamente de veta Providencia; modificado y tomado de Manco et al. (2012).

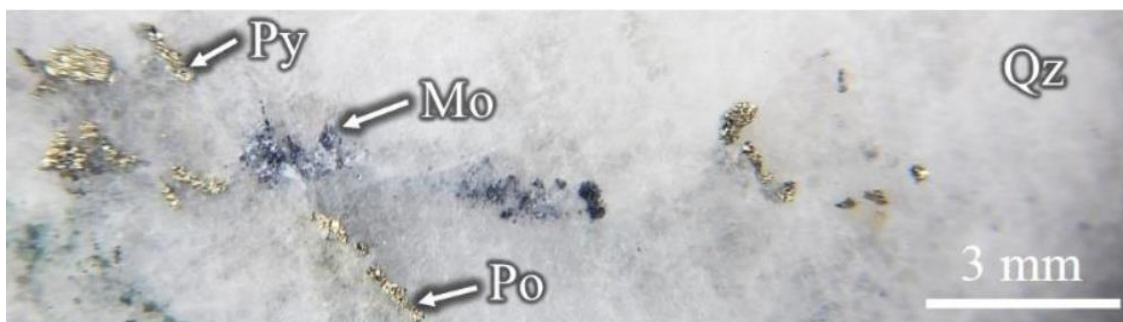
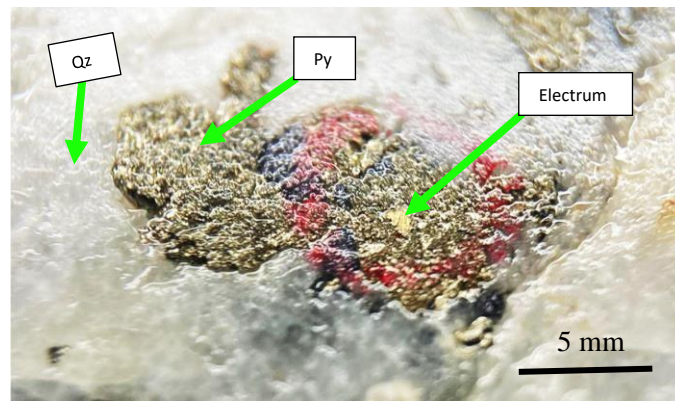


Imagen 13. Sulfuros presentes en menor proporción en las vetas del DMSR (Po: Pirrotina, Mo: Molibdenita) embebidos en una matriz de Cuarzo (Qz), además de presentar Pirita (Py); Fuente: Equipo de exploración (2021).



*Imagen 14. Oro electrum obtenido del sistema de vetas El Silencio por medio de la campaña Infill realizada en la roca caja produce alteraciones hidrotermales, según el reporte del equipo de exploración geológica de GCG en el año 2021.*

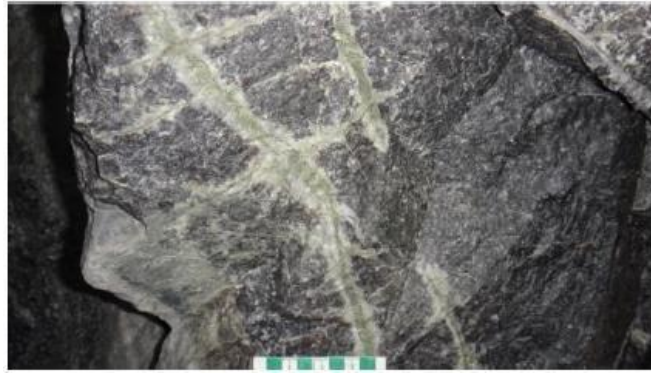
El paso de los fluidos hidrotermales por medio de la roca caja produce alteraciones hidrotermales, según el reporte del equipo de exploración geológica de GCG en el año 2021, las alteraciones hidrotermales del DMSR se relacionan con los siguientes eventos:

1. una alteración potásica y propilítica (Imagen 15) del cuerpo intrusivo Jurásico (Batolito de Segovia) anterior al emplazamiento de las vetas y diques Cretácicas esto con base a los datos obtenidos por GCG y Leal-Mejía, 2011 utilizando el método U- Pb en zircón el cual arroja una edad aproximada para los diques de 143 M.a a 85.9 M.a (Cretácico Inferior a Cretácico Superior), mientras que para las vetas definen un rango de edad que va desde los 81M.a a 83 M.a (Cretácico Superior) por medio del método Ar -Ar en Sericita – Muscovita.



*Imagen 15. Mancha verdosa que corresponde a la alteración propilítica del IGD (mina Sandra K); Fuente: Equipo de exploración(2021).*

2. los fluidos hidrotermales que formaron las vetas alteran los diques y la roca caja en estrechas zonas de cizalla de pocos metros; Los diques andesíticos presentan alteración biotítica (Imagen 16) e illítica mientras que la granodiorita presenta generalmente una alteración propilítica con sustitución selectiva de los minerales por clorita, epidota, pirita y calcita.



*Imagen 16. Alteración pervasiva de biotita del IGD cortada por stockworks (Serie de fisuras dicotómicas y ramificadas a granescala) de epidota – pirita con halo de plagioclasas (mina Providencia); Fuente: Equipo de exploración (2021).*

Por otro lado, un rasgo fundamental que sumado a otras características permiten definir el tipo de depósito son los estilos de mineralización, en el caso del depósito en cuestión se ha identificado tres principales estilos los cuales son: vetas (Imagen 17), sheeted vein o en español vetillas planares (Imagen 18) y stockworks (Imagen 16).



*Imagen 17. veta constituida principalmente por cuarzo y pirita (mina Carla); Fuente: SRK (2021).*



*Imagen 18. sheeted veins de cuarzo (mina Sandra K, veta Chumeca); Fuente: Equipo de exploración (2021).*

La identificación de las alteraciones hidrotermales, los tipos de mineralizaciones y la paragénesis mineral sirvieron para que Echeverry (2006) pudiera plantear tres eventos o etapas mineralizantes en el depósito las cuales son:

Etapas 1: tenores bajos (aprox. 2 gr/Ton) (Echeverri, 2006; Álvarez, 2013),

- Se asocia a un primer evento estructural (D1)
- Cristalización de cuarzo masivo de color blanco lechoso (Qz1), posteriormente se genera cuarzo drusiforme (Qz2) y un relleno de carbonatos (Cb) (Imagen 19).
- Cristalización de pirita (Py1), esfalerita (Sph1) y galena (Ga1) (Imagen 12), embebidos en los carbonatos (Cb) o cuarzo (Qz2)
- Primer pulso de oro (electrum), sin embargo, su presencia es mínima.

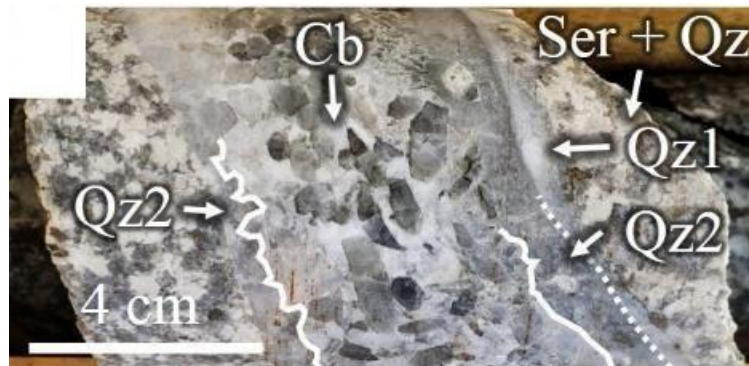


Imagen 19. Veta con cuarzo primario (Qz1) hacia la base, siendo cortado por cuarzo secundario (Qz2) el cual se caracteriza por ser drusiforme, este a su vez es cortado en algunas ocasiones por carbonatos (Cb). Obsérvese como él Cb arranca y embebe fragmentos de Qz2; Fuente: Equipo de exploración (2021).

Etapas 2: Etapa de enriquecimiento, tenores >2 gr/Ton (Starling, 2017)

- Se asocia a un evento estructural D2 y se caracteriza por la presencia de estructuras de 1mm a 15cm de cuarzo (Qz3), las cuales cortan las venas de la primera etapa (Imagen 20).
- Formación de pirita euhedral a anhedra (Py3) y sobrecrecimiento de calcopirita en otros sulfuros (Cpy1) (Imagen 20).
- Cristalización de galena (Ga2).
- En esta etapa ocurre el segundo pulso de oro en forma de electrum con contenidos de plata del 44% a 53% (Echeverri, 2006), ofreciendo un enriquecimiento de este elemento en el depósito, las partículas de electrum puede ser finas embebidas en otros sulfuros hasta gruesas mayores a 1mm denominándose oro libre (Imagen 14).

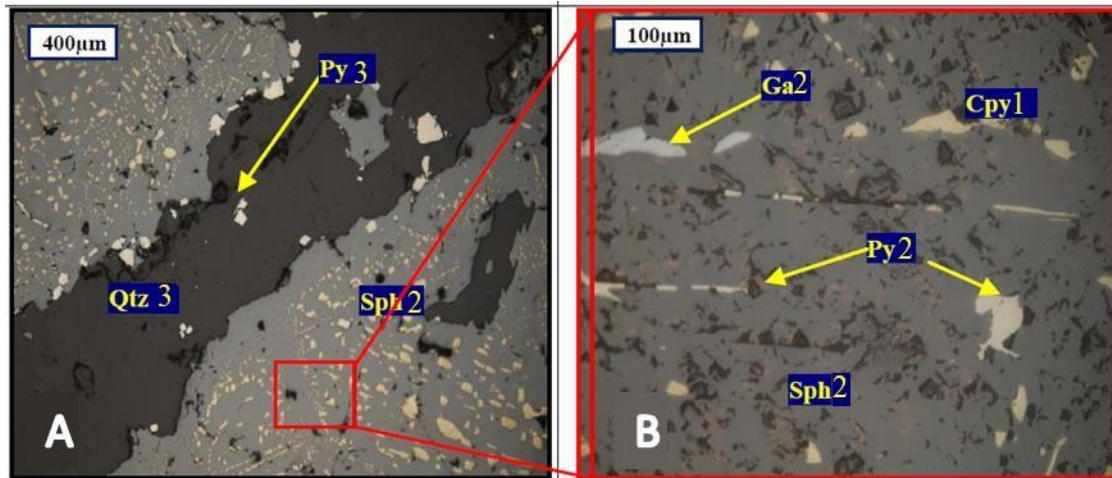


Imagen 20. A: Cristalización de  $Qtz_3$  cortando los minerales de la etapa 1, n  $Qtz_3$  hay crecimiento de nuevos sulfuros  $Py_3$ ; B: Intercrecimiento de  $Py_2$ ,  $Cpy_1$  y  $Ga_2$  en  $Sph_2$ ; Fuente: Equipo de exploración (2021).

Etapa 3: no representa enriquecimiento de oro

- Actualmente se asociada al evento estructural D2
- vetillas y sheeted veins de 1mm a 10cm de espesor conformados de carbonatos y ocasionalmente de sulfuros.
- Las vetillas y venas de carbonatos normalmente cortan las vetas, venas y vetillas de cuarzo y los diques.

Cabe señalar que Russell (1959) agrupo los sistemas de vetas que se presentan en el DMSR las cuales son el sistema de vetas El Silencio, Cogote, Verticales y Providencia, estos presentan las siguientes características:

#### ***Sistema de Vetas El Silencio***

- Vetas generalmente como una orientación N10-40E/ 30SE.
- Actualmente explotadas en las minas El Silencio y Sandra K.
- Acompañadas normalmente de dique andesíticos.

#### ***Sistema de Vetas Cogote***

- Vetas con una disposición general de N55W/40°NE.
- Actualmente explotadas en las minas Marmajito y Cogotes.
- se conocen seis vetas diferentes: 7 de Julio, Patio, Casas 1, Casas 2, Hilos 1 e Hilos 2.

#### ***Sistema de Vetas verticales***

- Vetas con una disposición general de N45W.

- Actualmente explotadas en las minas Pomarrosa, Cecilia y Tres y Media.
- no presenta dique en los respaldos.
- Fuerte fracturamiento, por lo que se cree que el emplazamiento de estas estructuras sedio en el régimen frágil del depósito.

#### ***Sistema de Vetas Providencia***

- Vetas con una disposición general de N70E/50SE.
- Actualmente explotada en la mina Providencia.
- Normalmente está acompañado en sus respaldos por diques con textura porfírica.

### **5.5. Tipo de Deposito**

Diferentes autores han tratado de caracterizar el depósito ubicado en el DMSR en los cuales resalta los estudios de Álvarez et al. (2007) Y Sillitoe (2008). Álvarez et al. (2007) asocia el depósito con un modelos de vetas mesotérmicas de cuarzo - oro o como también se conoce oro orogénico o Mother Lode, basado en que el depósito se encuentra en una zona de sutura de dos terrenos tectonoestratigráficos en donde algunas unidades litológicas presentan metamorfismo orogénico y regímenes tensionales producto de las fallas regionales Otú - Pericos y el Sistema de Fallas Palestina que según el autor fueron los conductos principales para que los fluidos hidrotermales ascendieran y se emplazaran en el Batolito de Segovia, sin embargo la roca caja del depósito carente de metamorfismo orogénico representa un problema para este planteamiento pues en los depósitos de oro orogénico los fluidos mineralizantes son producto de la deshidratación de las unidades litológicas al experimentar metamorfismo a nivel de corteza (Groves et al., 1998; Stüwe, 1998) por lo que Sillitoe (2008) asocia el depósito con un modelo de tipo Oxidized Pluton-Related Gold (OPRG) o también conocido como deposit intrusion-related ya que a diferencia del modelo propuesto por Álvarez et al. (2007), este indica que los fluidos hidrotermales se produjeron por el enfriamiento del Batolito de Segovia y no por deshidratación metamórfica, además el rasgo principal del modelo OPRG es el enfriamiento del intrusivo y no el intenso tectonismo de la zona como en el caso del de oro orogénico, esto no quiere decir que el arreglo estructural no facilite el ascenso de fluidos hidrotermales en un modelo OPRG.

Tanto los trabajos de Álvarez et al. (2007) como el de Sillitoe (2008) reflejan que el depósito tuvo lugar en la mesozona ( $\approx 300^{\circ}\text{C}$ ) ya que Álvarez et al. (2007) analiza las inclusiones fluidas contenidas en el



cuarzo y la esfalerita de las etapas 1 y 2 de mineralización, las cuales demuestran la existencia de un sistema H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl a baja salinidad (mediamente 7-10% wt% de NaCl equivalente y máxima de 11.1% wt% de NaCl eq.) y temperatura de homogeneización de 200- 300°C. Estos datos resultan coherentes con un depósito de tipo OPGR ya que evidencia una emulsión o mixturas de fluidos más calientes (magma en proceso de cristalización) con fluidos más fríos (soluciones hidrotermales).

## 6. Trabajos realizados durante la practica

### 6.1. Creación planes de perforación

Para ejecutar un programa Infill de manera correcta es necesario crear un plan de perforaciones el cual suministra información relevante para la toma de decisiones, tal como la ubicación de plataformas, orientación y profundidad de corte de cada sondeo, tomando en cuenta las condiciones del terreno (pendientes, fallas, disposición y geometría del cuerpo mineralizado) así evitando al máximo inconvenientes que pudiesen ocurrir en el proceso de perforación, es por esto que la ubicación de la cámara y el orden secuencial de los sondeos solo lo decide el gerente de geología de minas para las campañas de exploración Brownfield llevadas a cabo por esta área, ya que el equipo de exploración también adelanta su propio programa de perforación, cabe señalar que todos los planes de perforación generados por geología de minas son subterráneos y se basan de modelos geológicos preexistentes (Imagen 21) con el objetivo de encontrar nuevos targets dentro de las unidades mineras, además de detallar y actualizar los modelos geológicos mencionados.

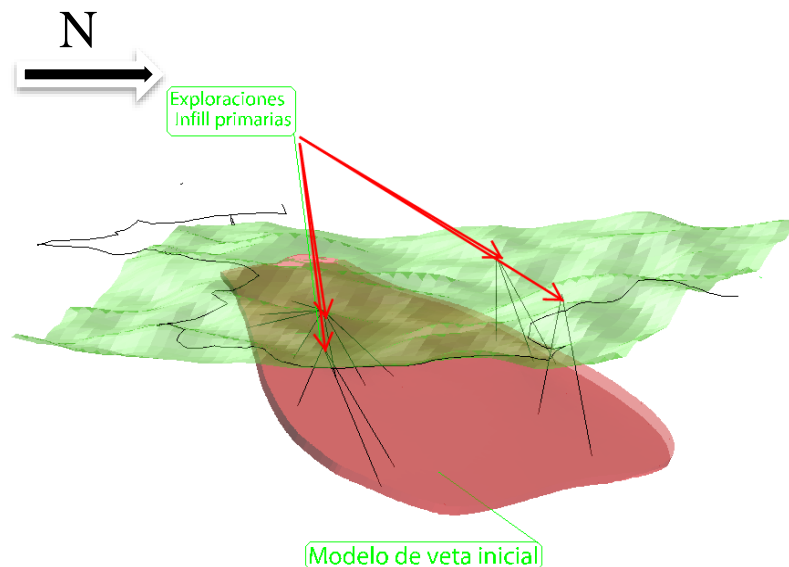


Imagen 21. DEM de la zona (Topografía superficial), Perforaciones realizadas y modelo de la veta preexistente; Fuente: propia.



La creación del plan de perforación inicia con el diseño de la cámara o espacio en donde se alberga la perforadora mientras esta ejecuta sus respectivas labores, la cámara por lo general tienen una dimensión de 5m de alto por 5m de ancho (Imagen 22) ya que la perforadora debe poder manipularse libremente (Imagen 23), después se diseña la cruzada que conecta la cámara con las guías, normalmente este túnel tiene una longitud de 70 m de largo ( Imagen 24), por 2 m de alto y ancho sin embargo estas dimensión pueden tener una variación según sea el criterio del gerente de geología de minas.

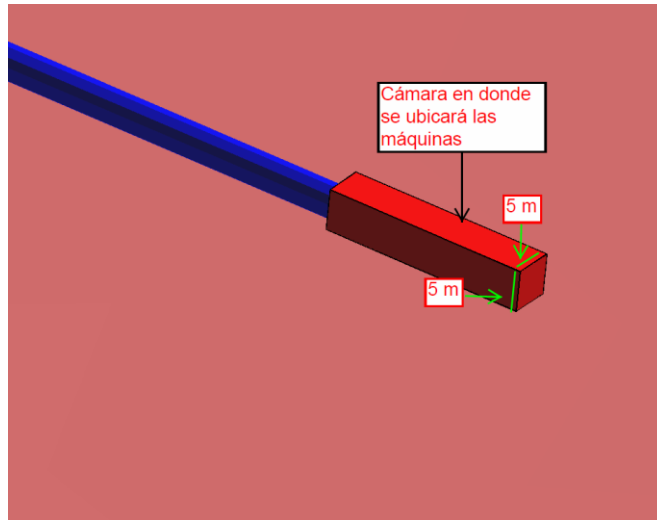


Imagen 22. Diseño y ubicación de la cámara la cual albergara la perforadora diamantina; Fuente: propia.

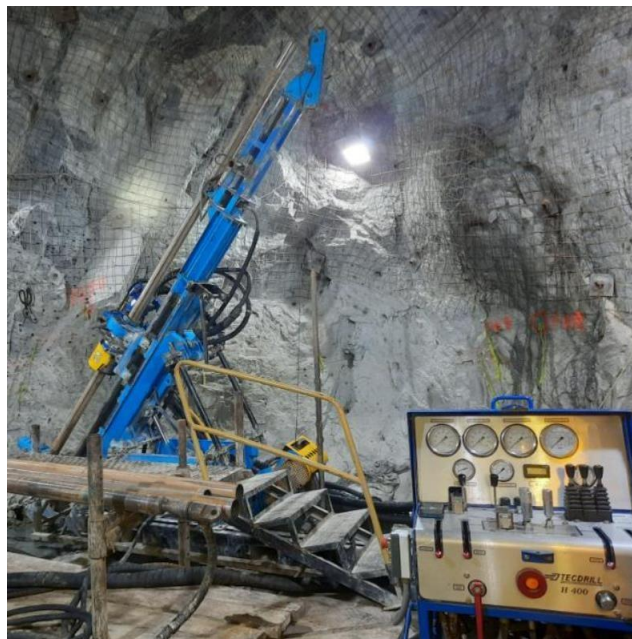


Imagen 23. Cámara que alberga la plataforma y máquina de perforación diamantina; Fuente: Equipo de geología de minas(2022).

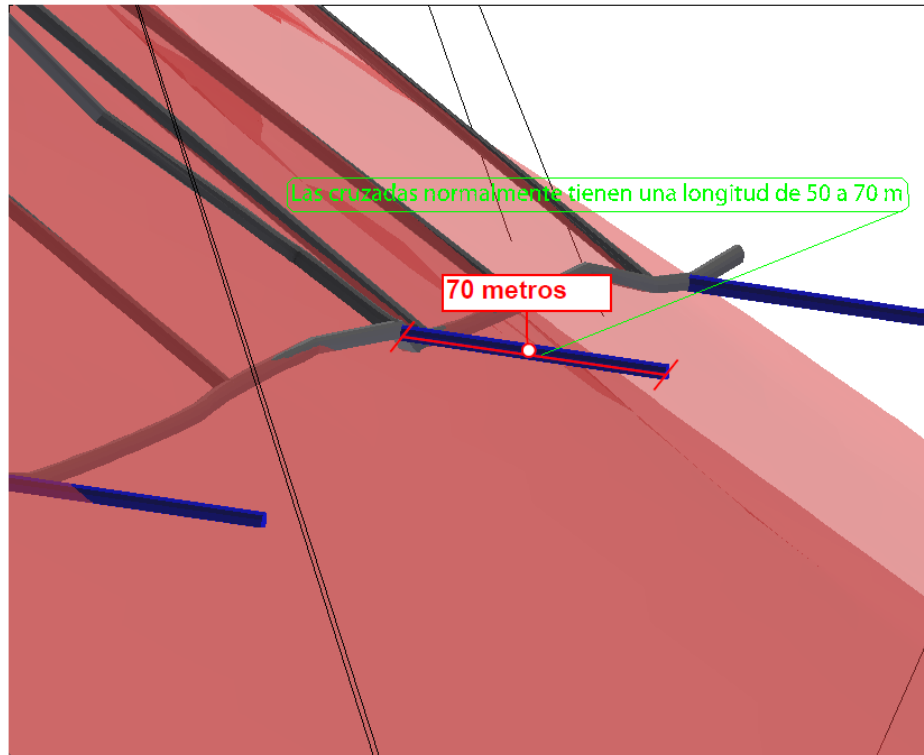


Imagen 24. Diseño de la cruzada que interconectará la cámara y los túneles existentes; Fuente: propia.

posteriormente se crea la malla de perforación que inicialmente es de 50m X 50m para que los sondeos se distribuyan de manera proporcionada, esta debe crearse sobre el modelo de la veta (Imagen 25) con el fin de poder obtener más adelante las profundidades de corte.

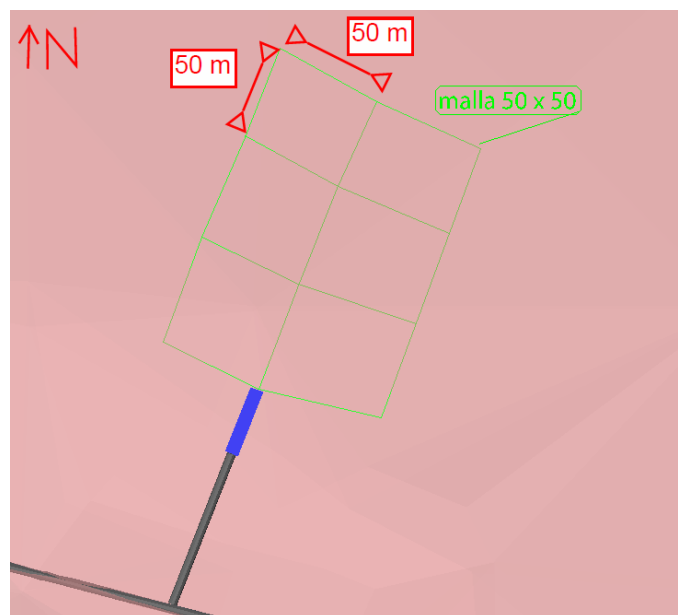


Imagen 25. Diseño de malla 50m X 50m sobre el modelo de veta preexistente; Fuente: propia.

Se debe tener en cuenta que toda la información relevante para un correcto planeamiento debe estar desplegada como por ejemplo la topografía subterránea y superficial, planes de perforación completados, modelos de las estructuras y límites del título minero (Imagen 26) a la hora de diseñar la malla de perforaciones evitando posibles problemas como perforaciones demasiado cercanas entre sí, entrecruzamiento de pozos y perforaciones fuera de los límites legales. Una vez generada la malla de perforación se procede a realizar las trazas de los sondeos entre la malla y la cámara (Imagen 27), es importante mencionar que el ángulo entre la trazas de los sondajes y la estructura debe ser mayor o igual a  $21^\circ$  siendo esta medida el ángulo crítico (Imagen 28), teniendo como objetivo evitar el paralelismo entre la perforaciones ejecutadas y la estructura de interés, es importante resaltar que GCG tiene el protocolo de añadir 15 metros de perforación después del corte de la veta con el fin de poder encontrar otras estructuras asociadas. El plan normalmente sigue un patrón de malla que en algunas veces es solicitado de 50m X 50m (Imagen 25) y otras de 25m X 25m (Imagen 29 y 30) dependiendo del nivel de detalle solicitado por el gerente de minas.

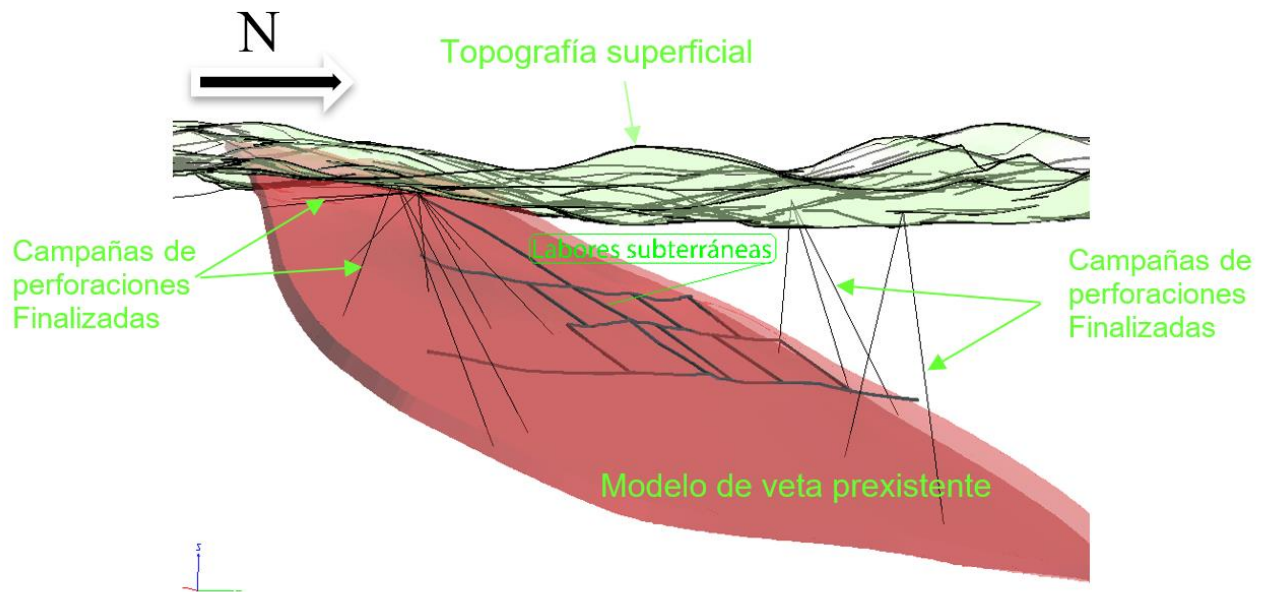


Imagen 26. Visualización general y verificación de que la información preexistente este desplegada para continuar con el proceso del diseño del plan de perforación; Fuente: propia.

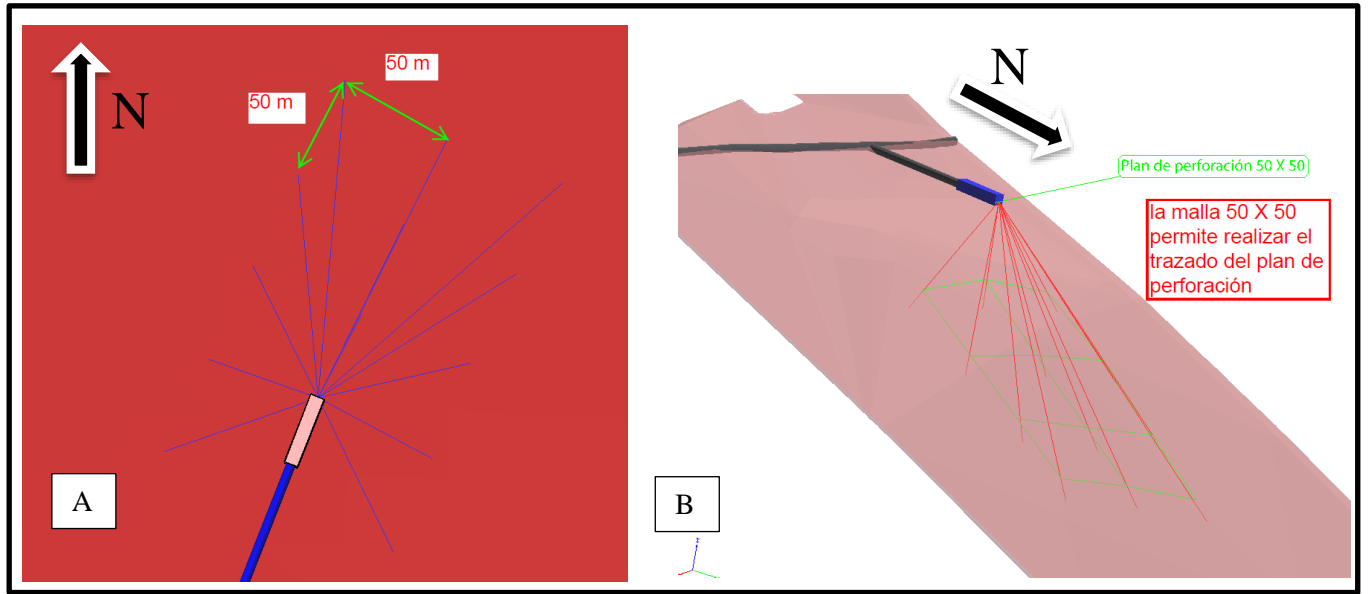


Imagen 27. A: Vista en planta del plan de perforación 50m X 50m totalmente diseñado; B: Vista en perspectiva del plan de perforación 50m X 50m totalmente diseñado; Fuente: propia.

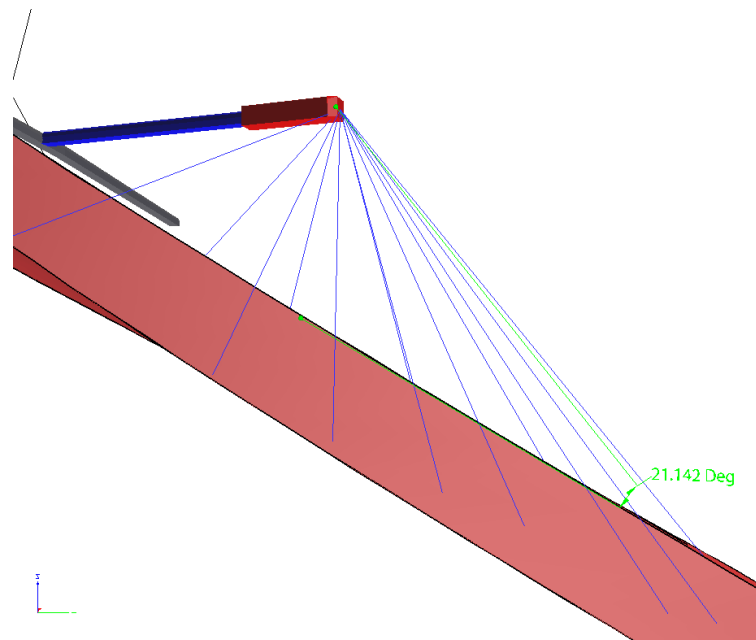


Imagen 28. Angulo critico entre la estructura vetiforme y el sondeo; Fuente: propia.

Luego de diseñar los planes de perforación, los datos de cada pozo son exportados en formato CSV (Tabla 1), este archivo contiene el número de perforaciones así como el collar, dip, azimut y profundidad de corte para cada pozo, posteriormente el gerente y jefe de geología de minas discriminan que pozos son de mayor interés por medio del modelo de bloques preexistente y se solicita

la marcación de estos a topografía, quienes se encargan de ubicar en el laboreo minero el collar, el dip y el azimut en el que la maquina debe perforar de acuerdo a las indicaciones dadas, los planes de perforación pueden ser modificados, ampliados o suspendidos, además de pasar de un plan inicial de 50m X 50m a uno de 25m X 25m (imagen 29 y 30), dependiendo del criterio de los geólogos de mina, jefe y gerente de geología de minas.

Drillhole Nam	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Extension	Target Depth
hole_001	932095.13	1272923.71	349.24	102.78	-39.63	15	71.428544
hole_002	932095.13	1272923.71	349.24	98.93	-60.52	15	51.265711
hole_003	932095.13	1272923.71	349.24	57.18	-89.35	15	43.837617
hole_004	932095.13	1272923.71	349.24	305.26	-62.96	15	55.386589
hole_005	932095.13	1272923.71	349.24	296.57	-48.26	15	68.639318
hole_006	932095.13	1272923.71	349.24	83.30	-45.21	15	84.035852
hole_007	932095.13	1272923.71	349.24	61.98	-57.34	15	70.506645
hole_008	932095.13	1272923.71	349.24	18.16	-65.41	15	66.256421
hole_009	932095.13	1272923.71	349.24	342.50	-58.08	15	75.011177
hole_010	932095.13	1272923.71	349.24	324.44	-49.41	15	85.162234

Tabla 1. Archivo generado por el software Leapfrog Geo que contiene información importante para la marcación y ejecución de cada sondeo planeado (coordenadas del collar, dip, azimut y profundidad de corte (Target Depth)); Fuente: propia.

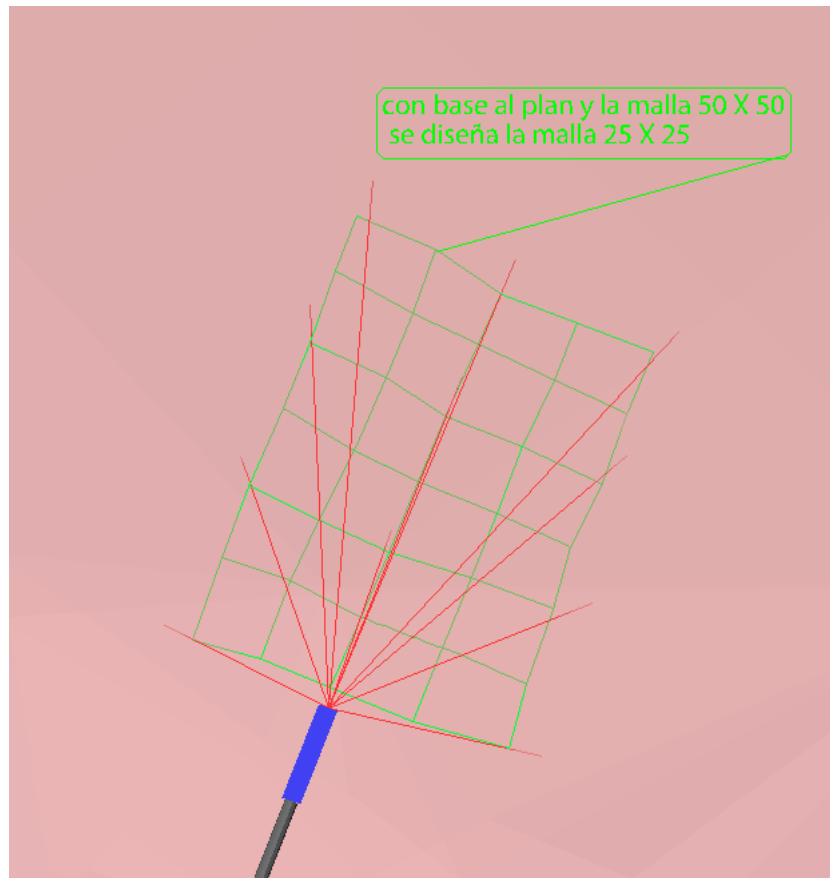


Imagen 29. Transformación de una malla de perforación 50m X 50m a una 25m X 25m, siendo esta última mucho más densa que la

primera; Fuente: propia.

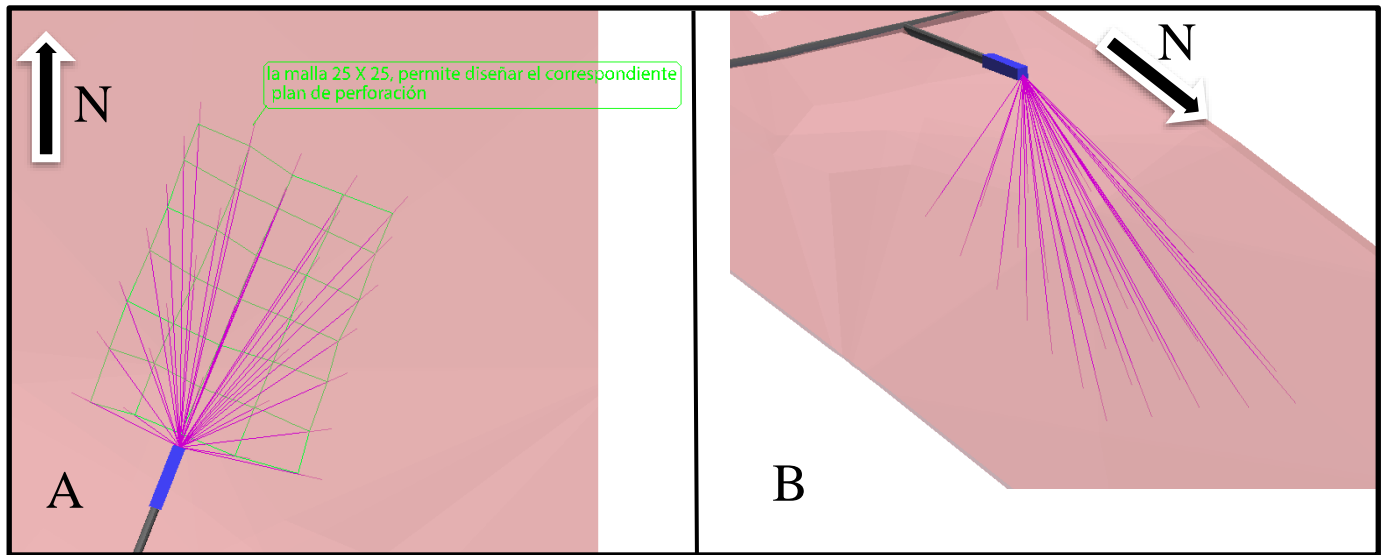


Imagen 30. A: Vista en planta del plan de perforación 25m X 25m totalmente diseñado; B: Vista en perspectiva del plan de perforación 25m X 25m totalmente diseñado; Fuente: propia.

## 6.2. Actualización y validación de bases de datos de las perforaciones diamantinas

En el anterior ítem se menciona que las perforaciones son marcada por el área de topografía indicando el azimut y dip con el cual debe ir cada sondeo según las indicaciones del equipo de geología de minas, una vez es iniciada la perforación el área de topografía nuevamente realiza una medición con la estación total obteniendo datos que pueden diferir de la marcación inicial, esto es debido a que no siempre se cumple que el sondeo quede exactamente en la marca ya sea por errores humanos o por algún otro imprevisto, los datos de la segunda medición son tratados para ofrecer mayor precisión en el reporte oficial del collar, azimut y dip de cada sondeo. Además, el supervisor de perforaciones mide el survey o deflexión de los sondeos terminados con el equipo Reflex EZ-Trac, equipo que utiliza el principio físico del magnetismo para medir y registrar las variaciones del dip y azimut a medida que el Reflex se profundiza en el pozo, siendo este tipo de medición fundamental para etapas posteriores de estimación de recursos ya que permite realizar modelos geológicos y de bloques con mayor precisión, cabe señalar que la medición del survey solo se aplica para sondajes mayores a 100m según el protocolo establecido por el área de geología de minas ya que los datos históricos de las perforaciones muestran que la variación de dip y azimut en un pozo menor a 100m es mínima.

Posteriormente, tanto la información del collar proporcionado por el área de topografía como el registro del survey dada por el supervisor de perforaciones son entregadas al área de geología de minas, en este punto se ejecuta la labor de actualización y validación de datos de perforaciones diamantinas ya que la nueva información generada de campo se ingresa a la base de datos preliminar que a su vez se encuentra conectada con el software Vulcan quien sirve como graficador y visualizador de los sondeos, con el objetivo de identificar 1: la variación geoespacial del pozo real con el planeado (Imagen 31), 2: validar la ejecución correcta del plan de perforación y 3: representación de los cortes de veta (Imagen 31) basados en el logeo rápido que hace el equipo de perforación (logeo no oficial que proporciona información general de forma rápida), por último, después de revisar la información se procede a ingresarla a la plataforma denominada LogChief (Imagen 32) junto con los datos geoquímicos proporcionados por el laboratorio y los datos litológicos dados por el equipo de logeo, esta plataforma permite que por medio de una conexión ODBC (Open DataBase Connectivity) se pueda desplegar la información geoespacial, geoquímica y geológica en softwares de modelamiento y estimación.

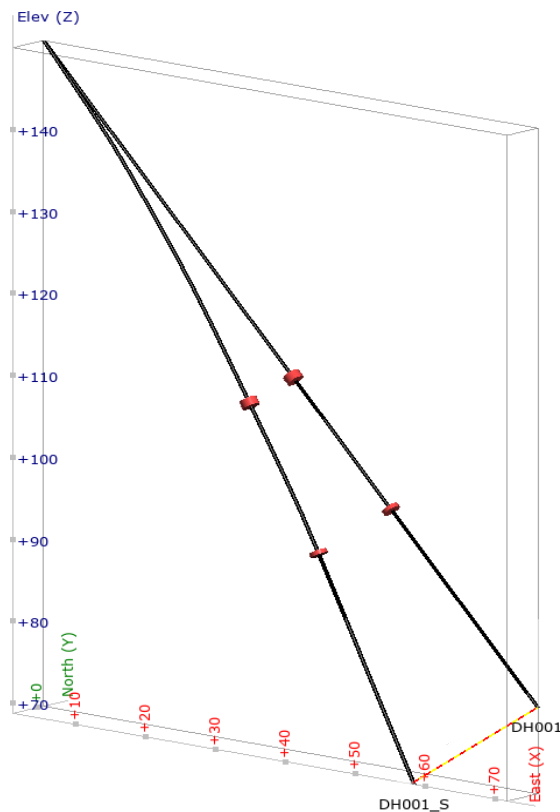


Imagen 31. Diferencia entre el sondeo planeado (DH001) y el sondeo con ajuste del survey (DH001\_S) siendo este último más realista, además, los discos rojos representan el corte de veta de dichos sondeos; Fuente: propia.





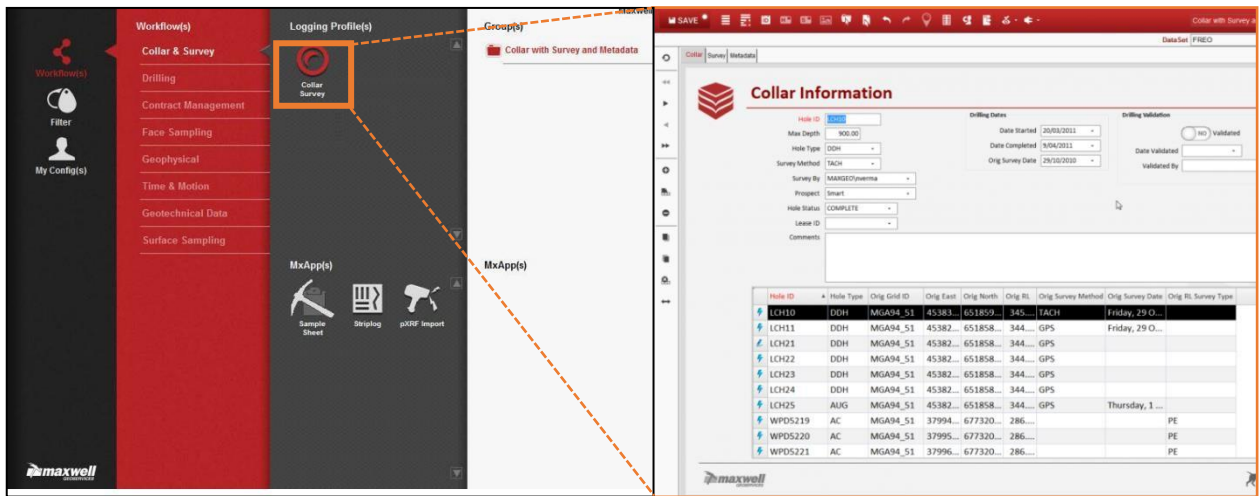


Imagen 32. Plataforma LogChief, encargada de almacenar la información de litología, Assay, Collar y Survey, cabe señalar que solo se muestra el apartado del Collar y Survey del software, ya que en dichas ventanas se almacena la información ejecutada en esta labor; Fuente: propia.

### 6.3. Validación geoespacial de muestras de canal.

La validación geoespacial entra en la etapa inicial de la exploración de datos y es necesaria para una correcta estimación de los recursos minerales en un proyecto minero; en esta labor se recopila las coordenadas X, Y, Z de las muestras de canal extraídas de las diferentes minas, estas se obtienen de los respectivos planos geoquímicos de las cuatro operaciones mineras en donde se encuentra la topografía subterránea y las muestras de canal tomadas en campo, cabe señalar que estas muestras fueron ubicadas previamente por los geólogos en los planos CAD por medio de los datos de campo proporcionados por los muestreros, los cuales normalmente buscan el punto de amarre topográfico más cercano y luego midiendo la dirección y distancia que existe entre el punto de amarre y la muestra establecen una ubicación preliminar.

Una vez ubicados los canales de cada mina en los respectivos planos geoquímicos en formato CAD se ejecuta un script que permite extraer los valores de coordenadas de las muestras en formato CSV, según los protocolos de control y calidad establecidos por la empresa el muestreo debe realizarse de abajo hacia arriba con el ánimo de no contaminar la muestra, es por tal motivo que las coordenadas extraídas representan el inicio de los canales que es lo mismo que decir su parte más baja en términos de elevación, además es importante tener en cuenta que tanto en la etapa de campo como en la de oficina se debe corroborar que las muestras de canal cumplan con un espaciamiento entre sí de 2m X 2m aproximadamente, una vez generado el archivo en formato CSV este es reconocido por el



software Leapfrog Geo el cual es capaz de desplegar y visualizar las muestras como puntos en tres dimensiones (Imagen 33), estos puntos tienen que ser concordantes con la topografía subterránea, de no ser así (Imagen 33 - B) se modifica la coordenada Z de dichos puntos para que se ajuste a las labores mineras haciendo este proceso únicamente para las muestras que se encuentren por fuera de la topografía subterránea (Imagen 33 - C), posteriormente este archivo con las coordenadas corregidas se extrae de nuevo en formato CSV (archivo con código de muestra y coordenadas X, Y, Z) y se envía a la geóloga QA/QC quien es la encargada de juntar y chequear una vez más las coordenadas de las muestras, los resultados geoquímicos y las características litológicas entregada por el equipo de logeo, posteriormente esta información se ingresa a la base de datos construida en Microsoft Office Access denominada Data In la cual es una data base exclusivamente de muestras de canal y que por medio de conexión ODBC permite desplegar esta información en los software utilizado por el área de estimación el cual normalmente es Leapfrog Geo con el módulo Edge, resulta conveniente mencionar que Data In solo se puede modificar por un único administrador o administradora quien para el caso es la geóloga QA/QC por lo que las operaciones realizadas por los estimadores no modifican la base de datos (no es posible mostrar Data In ya que en ella reposa información sensible).

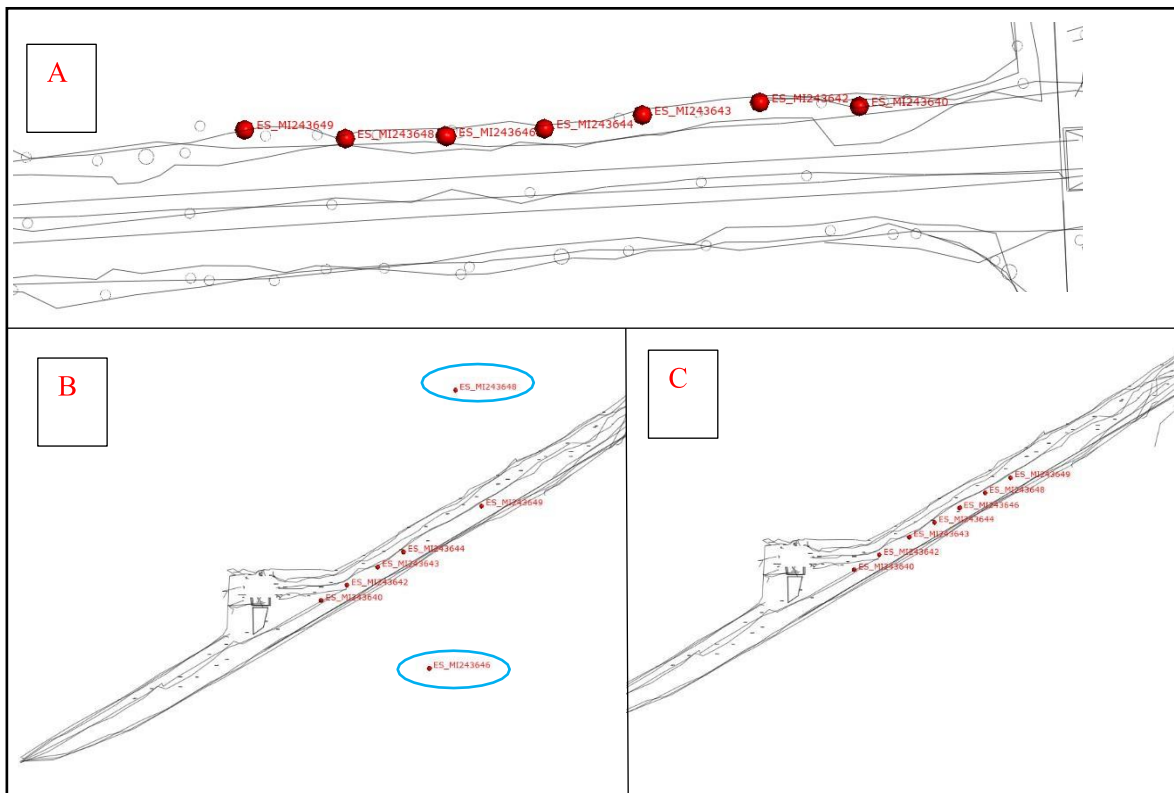


Imagen 33. A: vista de planta de la topografía subterránea y las muestras de canal desplegadas; B: Muestras de canal con errores de georreferenciación demarcadas por la elipse azul; C: muestras de canal rectificadas y listas para exportar. Fuente: propia.

## 6.4. Creación de mapas

La creación de mapas es el proceso final después del tratamiento de los datos tanto en Data Shed (base de datos de sondajes) como en Data In (bases de datos de muestras de canal) que en conjunto con los datos de campo brindados por los geólogos son los insumos principales para la creación de modelos de bloques y modelos litológicos, estos dos productos a su vez son normalmente los recursos primarios junto a la topografía para la creación de mapas, estos mapas pueden ser creados a través de Vulcan o ArcGIS y son hechos a solicitud de los geólogos de minas para sus respectivas minas, jefe de geología, gerente de geología o quien tenga la necesidad de comprender mejor el yacimiento, la creación de mapas mineros son al igual que los modelos tridimensionales ilustraciones que representan la realidad lo mejor posible, sin embargo, están sujetos a tener algún grado de incertidumbre y se construyen para suplir la necesidad de plasmar la información con la finalidad de entender mejor las características del depósito con base a un sistema de coordenadas.

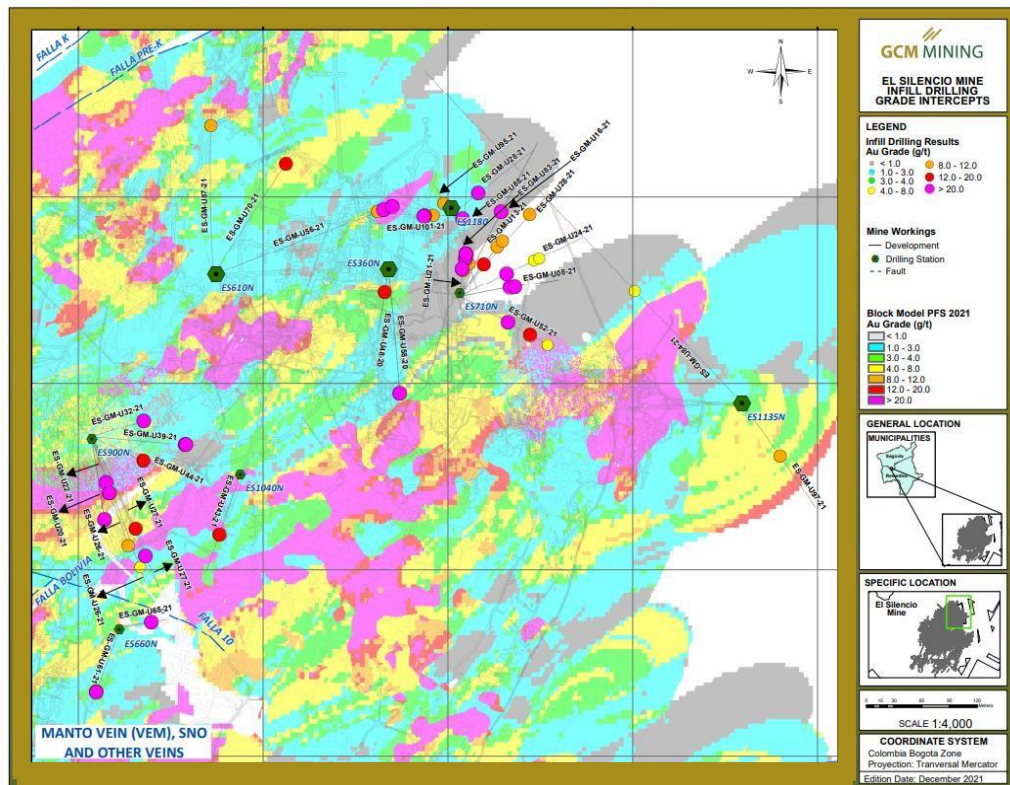


Imagen 34. mapa que representa la distribución de los tenores en la mina El Silencio; Fuente: Geología de minas (2021).

## 6.5. Grade capping

Los datos atípicos o los valores extremadamente altos en los tenores pueden sesgar significativamente la estimación de recursos, es por tal motivo que surge la necesidad de realizar un grade capping (limitación de tenores) el cual consiste en analizar estadísticamente los datos con el ánimo de encontrar un umbral o un límite que permita identificar los tenores atípicos que superen dicho umbral establecido con el fin de evitar una sobrestimación en los recursos.

Para determinar el impacto de los posibles valores atípico, primero se debe evaluar el tenor promedio en un dominio mineralizado por medio de los datos obtenidos en los diferentes tipos de muestreos para el caso de GCG se trataron estadísticamente los tenores de los grabs en pilas, muestra de canal y testigos de perforación. En algunas compañías puede resultar que el valor de la media o promedio sea igual al umbral, sin embargo, esto puede variar dependiendo del tipo de depósito como por ejemplo el que se encuentra ubicado en el DMSR liderado por GCG, donde el umbral se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Umbral} = m + 2\sigma$$

Donde  $m$  = media y  $\sigma$  = desviación estándar.

Esto debido a que los tenores del depósito son muy variables teniendo un efecto más alto de dispersión entre los valores de las mismas, la suma de la desviación estándar permite generar un umbral un poco más flexible que admite algunos datos por encima de la media evitando así incurrir en problemas de subestimación de los recursos, cabe mencionar que existen otras formas de realizar el grade capping como por ejemplo algunos métodos estadísticos gráficos los cuales permiten analizar la distribución y dispersión de los tenores en una curva dada o distribución teórica (Sichel, 1966; Srivastava, 2001), algunos métodos gráficos utilizados son el método cuadrático, el cual consiste en hacer un tratamiento a la data permitiendo visualizar los deltas entre los valores, el primer delta que tenga una ampliación sustancial será el valor del umbral (Imagen 42), otro método gráfico

común para identificar el umbral es el denominado Au Vs Au (Imagen 43), en donde utilizando la regresión lineal se distribuye los tenores de las diferentes muestras de manera ordenadas dentro de una recta o distribución teórica y la marcación del umbral estará dada por la primera separación significativa entre los valores ajustados a dicha recta, es necesario resaltar que los métodos gráficos se mostraran más a detalle en el ítem de resultados ya que se muestra el grade capping realizado para la mina Carla que hasta la fecha no se había establecido.

por último, desde el área de estimación se aconseja que lo más recomendable es realizar el grade capping por diferentes métodos para realizar conciliaciones entre ellos o en su defecto el promedio de los distintos métodos obteniendo un umbral lo más preciso posible.

### **6.6. Supervisión de materiales de producción**

Las pilas son grandes masas de material extraídas de las operaciones mineras y estas normalmente son almacenadas en un centro de acopio que para este caso será Plaza Trio, diariamente estas son acumuladas, distribuidas y asignadas de acuerdo con la mina de proveniencia y a la fecha de acopio, la asignación consiste en atribuir una paleta a cada pila dependiendo de las características ya mencionadas rigiéndose por el siguiente protocolo:

- Pilas de Providencia se asignan paletas con valores numéricos impares.
- Pilas de Sandra K se asignan paletas con valores numéricos pares.
- Pilas de El Silencio paletas con caracteres alfabéticos.
- Carla no se asigna paletas.

Esta distribución y asignación son fundamentales en la logística de Plaza Trio pues por medio de este protocolo se lleva de manera constante un registro del stock de mineral almacenado, además permite generar de manera más eficiente algunos procesos como por ejemplo el blending.

Las dimensiones de las pilas son ampliamente variables, sin embargo, una pila de aproximadamente 400 toneladas puede medir alrededor de 3 metros de alto por 5 metros de ancho y 10 metros de largo (Imagen 35) aunque estas dimensiones pueden cambiar debido a que las pilas normalmente pierden humedad en el centro de acopio.



*Imagen 35. Dimensiones de una pila promedio de 400 toneladas, las líneas continuas representan las longitudes de cada cara, por otro lado, las líneas rojas discontinuas representan los límites de las caras; Fuente: propia.*

La generación de las pilas parte de la extracción del material obtenido de los diferentes frentes de explotación, para el caso de las minas El Silencio, Providencia y Sandra k, se extrae en cada una de ellas alrededor de 300 a 400 toneladas diarias de mineral, mientras que mina Carla aporta cerca de 100 toneladas a la producción total diaria la cual debe de ser aproximadamente de 1800 a 2000 toneladas según lo exija la planta de beneficio María Dama, es preciso señalar que GCG contribuye con 1200 a 1300 toneladas diarias para la producción total y el restante lo aporta pequeños mineros que laboran dentro del título minero los cuales tienen convenio con GCG quien les permite realizar sus operaciones dentro de los límites del título siempre y cuando el mineral extraído se venda a la multinacional. la explotación acelerada llevado a cabo en las unidad mineras producto de la gran capacidad de producción de la planta de beneficio involuntariamente genera un problema pues la aglomeración de grandes cantidades de material minado carecen de un muestreo eficiente imposibilitando cualquier análisis de trazabilidad entre los tenores de los frentes de explotación y las pilas en Plaza Trio, a pesar de esto los geólogos de mina pronostican cotidianamente los tenores de las pilas generadas en sus respectivas minas con base en muestreos de canal, ripios y testigos de perforación llegando en algunos casos a acercarse bastante los pronósticos con los tenores de las pilas analizados por el laboratorio.

la supervisión de los materiales de producción generados por la explotación de las cuatro minas, consiste en revisar cuidadosamente la calidad de las pilas (apreciación cualitativa de sulfuros) que ingresaba diariamente a Plaza Trio además de la correcta asignación de las mismas, posteriormente se lleva a cabo la vigilancia del muestreo teniendo en cuenta las directrices ya establecidas por la

compañía como el tipo de muestreo y la forma de realizar esta labor, los grabs sampling corresponde al tipo de muestreo escogido por GGC para las pilas este consiste en recolectan 18 muestras (mayores a 3 Kg) adoptando un sistema de anillos (Imagen 36).

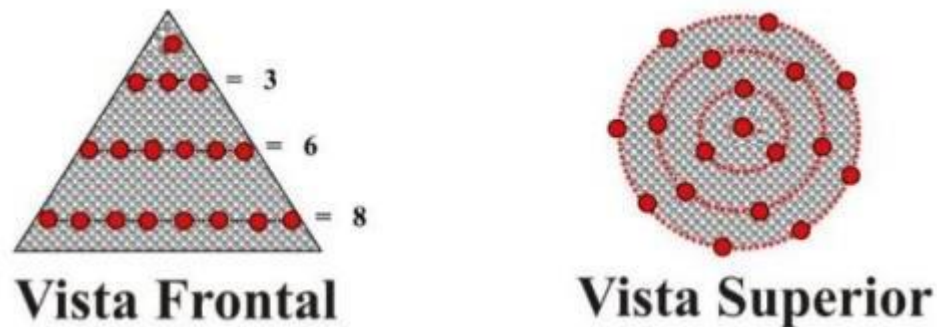


Imagen 36. Ilustración de una pila perfectamente cónica y sus lugares de muestreo adoptando un sistema de 3 anillos; Fuente: Geología de minas (2022).

La recolección de estas muestras o grabs se realiza de manera ascendente con el ánimo de evitar contaminaciones en las partículas superiores y son almacenados en baldes previamente lavados con la finalidad de eliminar los residuos que pudiesen quedar de anteriores muestreos impidiendo la contaminación de los grabs extraído (Imagen 37), es importante mencionar que el proceso de muestreo se ejecuta cada vez que las pilas son descargadas de las volquetas (Imagen 38) pues como se mencionó anteriormente las pilas se distribuyen en el patio de acopio dependiendo de la mina que se extrajo y la fecha de llegada, por lo que la pilas de cada mina se van acumulando en una sola pila unitaria en este punto se haría muy difícil realizar el muestreo además de aumentar significativamente el grado de incertidumbre del mismo, por lo que los protocolos indican que se realice los respectivos muestreos una vez la volqueta descargue el material quedando así muestreado el interior de la pila unitaria, también se debe resaltar que la forma de muestreo que actualmente se lleva a cabo no es la mejor ni la más fiable y desde la gerencia del área de geología de minas se está buscando mejorar el proceso de muestreo; en el ítem de recomendaciones del presente informe se aportaran algunas ideas que pueden ayudar a esta problemática.



*Imagen 37. Recolección de grabs en la pila de Sandra K, la flecha representa la dirección de muestreo; Fuente: propia.*



*Imagen 38. Descargue del material extraído de mina en el patio de acopio Plaza Trio; Fuente: propia.*



Posteriormente el material recogido de las pilas en los baldes es llevado a trituración (Imagen 39) para que las partículas tengan igual tamaño y una distribución granulométrica adecuada, luego el producto de la trituración es llevado a cuarteo (Imagen 40) proceso mediante el cual el material triturado es dividido aleatoriamente una y otra vez generando porciones de dicho material, consecutivamente de las porciones mencionadas se extraen fracciones que luego se unificaran para conformar una muestra suficientemente representativa de aproximadamente 3 Kg , esta se empaca y cierra con un sello de seguridad (Imagen 41) que solo el laboratorio está autorizado a romper. posteriormente todas las muestras selladas se reúnen y son custodiadas al laboratorio interno de GCG, los análisis de laboratorio proporcionan resultados de tenores y humedades de cada pila y estos son enviados por mail al equipo de geología de minas normalmente al día siguiente de haberse llevado las muestras al laboratorio, geología de minas es el encargado de realizar las respectivas conciliaciones entre los tenores pronosticados y los del laboratorio, además de generar reporte que permitan ver las tendencia de cumplimiento tenor – Tonelada propuesto por el área administrativa y contable quien plantea las metas diarias y mensuales a cumplir, cabe señalar que para los reportes de pilas que se realiza de manera cotidiana (Tabla 2) el tenor general se obtiene ponderando los tenores de la pilas individuales con su respectivo tonelaje, mientras que la información del tonelaje de los materiales es brindado por el equipo de logística de Plaza Trio quien por medio de una báscula registra el peso de cada pila entrante con su respetivo lugar de origen y hora de acopio, por último, mensualmente se realiza una comparación entre los tenores de las pilas, las muestras de la banda transportadora y las onzas generas en los tres periodos de fundición que hay en el mes (cada 10 días), esto con el fin de determinar el cumplimiento de las metas propuestas y observar posibles falencias en los diferentes procesos (extracción de frentes, acopio de mineral, trituración primaria, transporte a planta, transformación de la materia prima, etc.).



*Imagen 39. Trituradora a donde son llevados los grabs obtenidos de las pilas, la flecha representa en donde ingresa el material para ser triturado; Fuente: propia.*



*Imagen 40. Proceso de cuarteo para homogenizar todos los grabs obtenidos y triturado previamente; Fuente: propia.*



Imagen 41. Empacado y sellado del producto del cuarteo, cada bolsa cuenta con sus respectivos sellos de seguridad de color amarillo y ficha (código de muestra); Fuente: propia.

MINA A							
FECHA	PLACA VOLQUETA	COD MUESTRA	TONELADAS	HUMEDAD	TONELADAS SECAS	TENOR	ONZAS
13/07/2000	TGH-567	RM0001	27.00	3.00%	26.19	8.50	7.38
	IKH-234	RM0002	30.00	4.52%	28.64	9.00	8.68
	FBN-789	RM0003	22.00	2.50%	21.45	11.20	7.92
			79.00	3.44%	76.28	9.44	23.98

Tabla 2. Ejemplo del reporte diario sobre la información de las pilas de cada unidad minera (mina A); Fuente: Equipo de geología de minas (2022).

## 6.7. Formulación y supervisión del blending

El blending está íntimamente ligado con la labor descrita anteriormente y es el proceso mediante el cual se mezclan los materiales de las diferentes unidades mineras con el objetivo principal de cumplir las exigencias de la planta de beneficio María Dama en cuanto a tenor – tonelaje se refiere, como se mencionó anteriormente la planta de beneficio procesa diariamente un estimado de 2000 toneladas de las cuales GCG aporta de 1200 a 1300 toneladas y el restante lo supe pequeña minería, es por tal motivo que el proceso de blending es fundamental pues mediante los valores de los tenores pronosticados o en su defecto los análisis del laboratorio, permite controlar el tenor de cabeza de molino (tenor de blending a cumplir) de las 1300 toneladas de mineral generadas a partir de la mezcla, este tenor de blending según los requerimientos de la planta de beneficio no puede ser menor a 7,5 gr/Ton y donde lo más recomendable es generar un tenor de blending que ronde entre los 8 a 9 gr /Ton.

La apreciación cualitativa de los minerales, los pronósticos generados por los geólogos de mina y los análisis químicos de las muestras son herramientas que permiten formular de mejor manera el blending y que dependiendo del análisis y muestreo utilizado, este será más preciso y con menos grado de incertidumbre.

El blending diariamente se receta con los tenores pronosticados de las pilas, estos tenores se ponderan con su respectivo tonelaje (Tabla 3), cabe señalar que de esta manera existe un alto grado de incertidumbre, sin embargo se hace únicamente cuando el material es demandado a una alta tasa de alimentación por la planta de beneficio María Dama y el análisis del laboratorio aún no se ha enviado al equipo de geología de minas, por el contrario cuando el análisis del laboratorio llega antes del envío de las pilas a la planta de beneficio se realiza una receta de blending con un mayor grado de certeza, los tenores arrojadas por el laboratorio también se ponderan con sus respectivas toneladas.

una vez creada la receta de la mezcla (Tabla 3) por cualquiera de las dos maneras (tenores pronosticados o por análisis de laboratorio) es presentada al área de logística de Plaza Trio, quienes son los encargados de ubicar las pilas por medio de sus respectivas paletas asignada y extraer la cantidad solicitada en la receta del blending, estas cantidades específicas de material son reunidas en un espacio designado para acumular la mega pila del blending, generándose un montículo de aproximadamente 1300 toneladas que son necesarias para suplir por parte de GCG la planta de beneficio (Imagen 42), en este punto es necesario supervisar la preparación del blending ya que





MINA A				MINA B				MINA C				MINA D			
FECHA	TON	TENOR	PALETA	FECHA	TON	TENOR	PALETA	FECHA	TON	TENOR	PALETA	FECHA	TON	TENOR	PALETA
19/03/2022	377	7.5	Z	19/03/2022	382	4	2	18/03/2022	420	9.8	3	18/03/2022	121	11	
20/03/2022	380	8.2	V	20/03/2022	400	5.5	6	19/03/2022	400	10	5	19/03/2022	100	7	
								20/03/2022	410	8.5	7				

Tabla 4. Formato que refleja el stock de mineral presente en Plaza Trio, nótese los valores de los tenores pronosticados (rojos) y los análisis de laboratorio (negros); Fuente: Equipo de geología de minas (2022).

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA DE MINAS			
REPORTE DIARIO DE BLENDING			
2022			
Dia	Blending Preparado		
	Ton	tenor Au	% consumo
20 /03/2022	1300	7.54	60%

Tabla 5. Formato en el cual se sintetiza los valores de la receta del blending preparado, tomando como ejemplo los valores de la tabla 3; Equipo de geología de minas (2022).

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA DE MINAS					
REPORTE DIARIO DE BLENDING 2022					
PERIODO	Dia Procesado	Blending Procesado			Dia Preparado
		Ton	tenor Au	% consumo	
1	21 /03/2022	1300	7.54	100%	20 /03/2022
		1350	9.2	55%	21 /03/2022

Tabla 6. Formato en el cual se incluyen las pilas procesadas por día, ya que normalmente se procesa más de una receta diariamente, nótese el cambio de color pues este representa el cambio de receta; Equipo de geología de minas (2022).

La mega pila producto del blending es llevada a trituración primaria por el equipo de logística de Plaza Trio (Imagen 43), donde por medio de una gran trituradora regulariza la granulometría (gravilla) del mineral, es importante mencionar que dicha maquina posee un electro imán de tamaño considerable que permite arrancar elementos metálicos tales como pernos y varillas inmiscuidos en la mega pila para que las mandíbulas de la trituradora no se dañen, posteriormente el material triturado es llevado por una banda transportadora hasta las tolvas de acceso al molino de la planta de beneficio, es de resaltar que la supervisión de la trituración primaria como de transporte de plaza trio a María Dama no hacen parte de las labores del geologist grade control si no del equipo de logística.



Imagen 43. (A) se observa la remoción del material generado por el blending (Imagen 36), para ser llevado por la cargadora hacia la trituradora principal (B), el cual deja las partículas en tamaño gravilla; Fuente: propia.

Por último, el mes de abril fue en el que se dio apoyo al área de grade control, según las noticias corporativas GCG en dicho mes generó 18.321 Onzas Troy de Au de las cuales el 65% es aporte interno correspondiendo a 11,908 Onzas muy por encima de las 9,500 onzas planeadas (en un plan de 1300 toneladas a 7,5 gr/ton de tenor de blending) en donde el área de geología de minas jugó un rol importante ya que todo el personal del equipo estuvo enfocado para que esto fuese posible, además el indicador demuestra el buen desempeño ejecutado en esta labor ya que el material ingresado a planta tuvo un tenor aproximado de 9,5 en promedio a 1300 toneladas aproximadamente de aporte interno .

## 7. Resultados

### 7.1. Análisis Gis y creación de mapas

Se participo en el análisis GIS y la creación de los mapas oficiales (Imagen 44) del press reléase o comunicado de prensa emitido el 2 de febrero “GCM Mining anuncia múltiples resultados de perforación de alto grado en su mina El Silencio de la campaña Infill de geología minera 2021 en sus operaciones de Segovia” que se expone a nivel mundial y que es de gran interés para nuevos

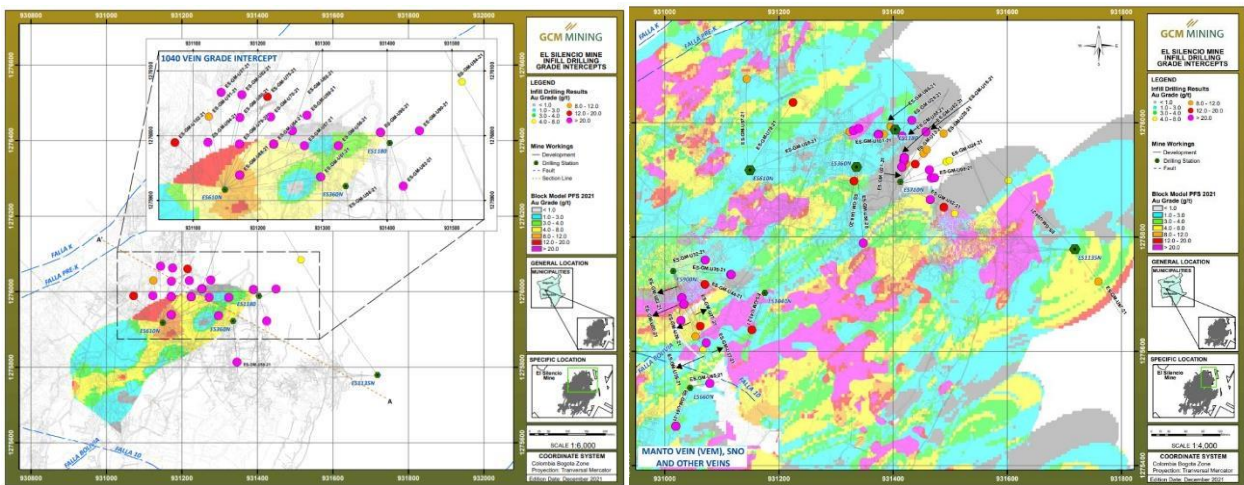


Imagen 44. Mapas en los cuales se participó, de la mina El Silencio para el comunicado oficial de GCG.

### 7.2. Grade Capping de mina Carla.

A partir de una población de 1,851 datos obtenidos de los muestreos de canal, testigos de perforación y grabs de pilas recopilados entre el 2021 y lo que cursa del 2022 se estimó por diferentes métodos estadísticos gráficos el grade capping de mina Carla, los métodos utilizados son:

1. Método cuadrático: método que consiste en ordenar de menor a mayor los valores formándose una primera lista (L1) y posteriormente duplicando L1 creando una segunda lista (L2), posteriormente se crea una nueva lista (L3) restando el valor 1 (V1) de L1 con el valor 2 (V2) de L2, V2 de L1 menos V3 de L2... Vn de L1 – Vn+1 de L2, el ultimo valor de L3 se elimina ya que el ultimo valor de L1 no tiene con quien operar, esto con la finalidad de encontrar los deltas entre los valores, seguidamente se grafica L3 y L1 y el primer gran delta se refleja en el primer salto de la línea, el valor anterior al salto de línea se considerará como el umbral (Imagen 45).





2. Método Au-Au: se agrupan y ordena los valores de menor a mayor, duplicando esta lista y posteriormente graficando ambas, el resultado será una recta que representa la regresión lineal de los valores, la primera separación entre los datos sobre la recta será el umbral (Imagen 46).

3. Método de Log – Normal: Representa la distribución de la probabilidad acumulada de los valores de Au en términos de porcentajes a escala logarítmica (Imagen 47).

el castigo para los valores atípicos de mina Carla se obtuvieron a partir de los datos que arrojaron los diferentes tipos de muestreos (pilas, canales y sondeos) para lo cual se consiguieron los siguientes resultados:

**Canales y sondeos:** Para una población de aproximadamente 1,151 datos de muestreos de canal y testigos de perforación se obtiene los siguientes resultados gráficos, por los métodos Cuadrático, Au VS Au y Log Normal.

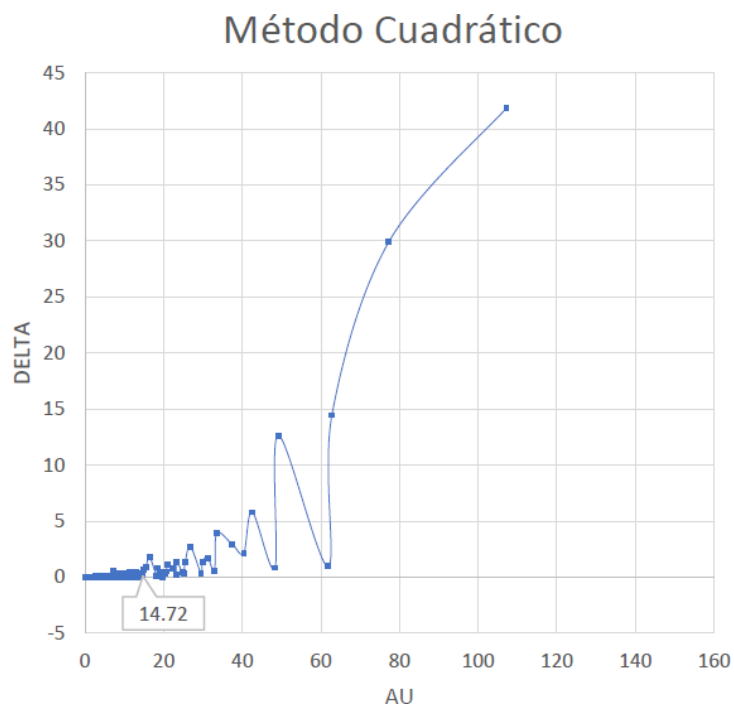


Imagen 45. Método cuadrático para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos.

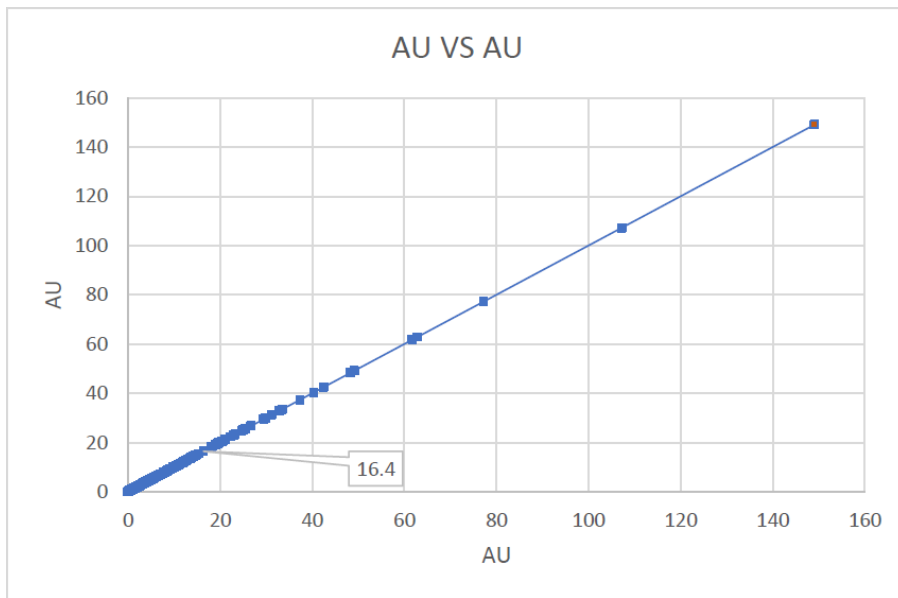


Imagen 46. Método Au Vs Au para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos por medio de regresión lineal.

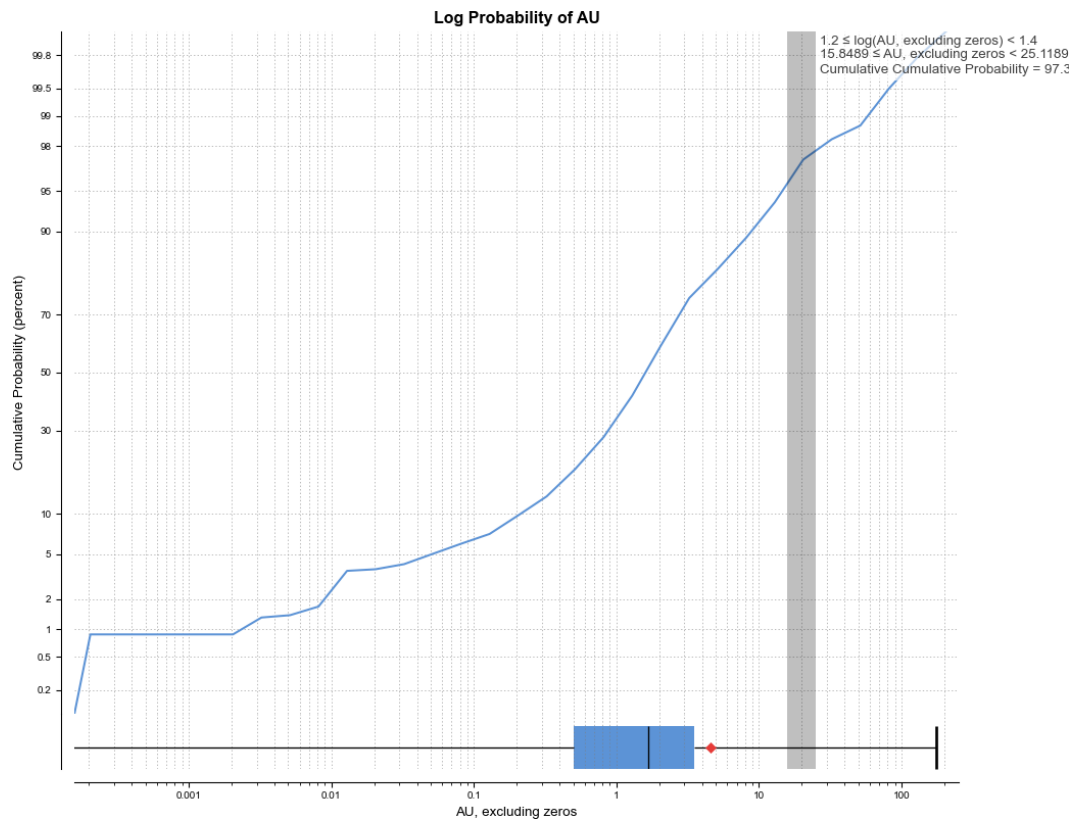


Imagen 47. Método Log Normal para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de canal y sondeos.

**Grabs de Pilas:** Para una población de aproximadamente 700 datos de grabs sampling extraídos de las pilas, se obtiene los siguientes resultados gráficos, por los métodos Cuadrático y Au VS Au.

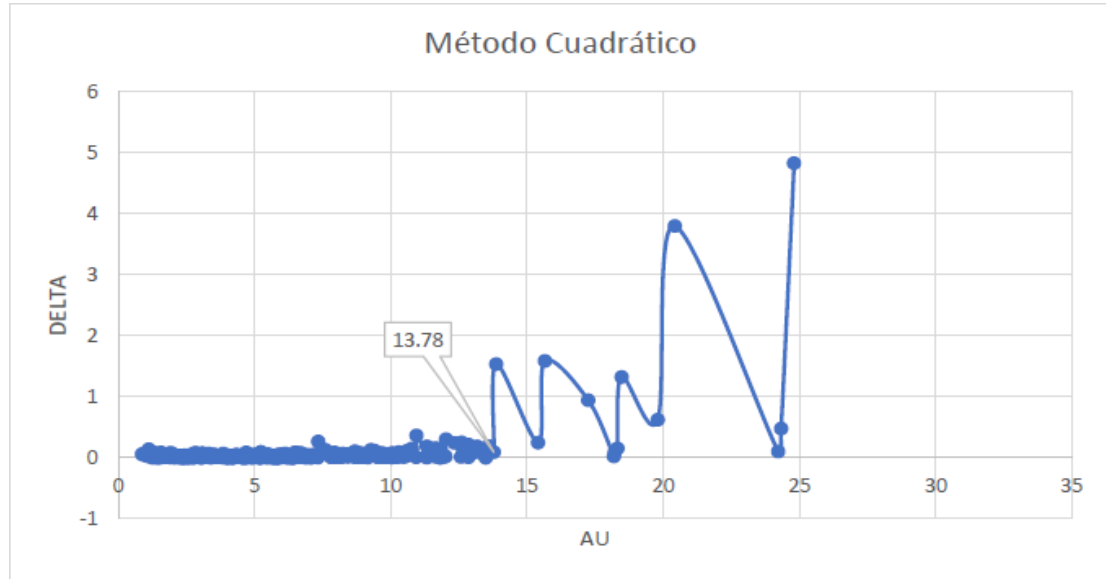


Imagen 48. Método cuadrático para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de las pilas.

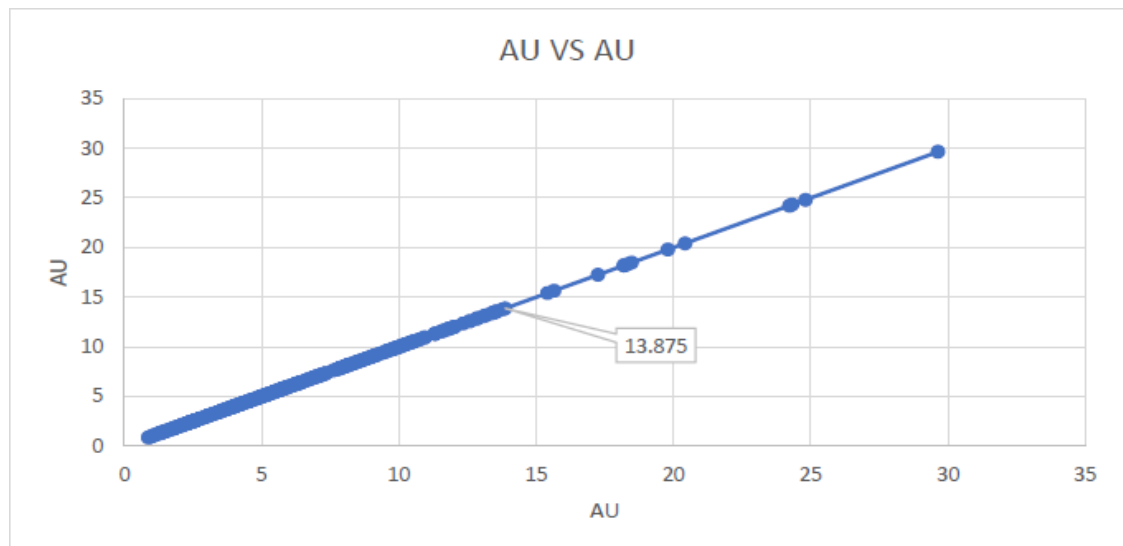


Imagen 49. Método Au Vs Au para encontrar el umbral del grade capping en las muestras de pilas.

Una vez analizado el grade capping de los distintos tipos de muestreo de mina Carla estos con agrupados en una tabla de valores que permiten mostrar un rango el capping que va de 13.78 gr/Ton hasta 16.4 gr/Ton, el promedio de los resultados obtenidos por los diferentes métodos arroja que el valor más aceptable como umbral es 15gr/Ton (Tabla 7), lo que indica que valores mayores a 15 gr/Ton se consideraran como valores atípicos y por ende se ajustara al valor del umbral hallado.

VALOR CAPPING CARLA		
Perforaciones y canales	Método Cuadrático	14.75
	AU vs AU	16.4
	<u>Log Normal</u>	15.84
Pilas	Método Cuadrático	13.78
	AU vs AU	13.88
	promedio	14.93
	<b>aproximado</b>	<b>15.0</b>

Tabla 7. Umbral final, hallado a partir del promedio de los resultados de los diferentes métodos estadísticos gráficos, mediante el análisis de las muestras de testigo, grabs y canales del 2021 al 2022 de mina Carla.

## 8. Conclusiones

- Aun que ha habido varias campañas de exploración a lo largo del tiempo en lo que es el sistema de vetas El Silencio, aún falta muchas más campañas de exploración con sondajes Infill para entender lo que es el corazón del DMSR, esto con base a que hasta hace poco no se conocía la veta 1040, estructura que ha sido económicamente rentable de extraer.
- El departamento de geología de minas ha hecho un gran esfuerzo en la adquisición de tecnología de punta y personal calificado, capaz de ofrecer modelos geológicos lógicos que parten del principio científico del análisis de datos (químicos y de campo), brindando interpretaciones solidas que dan como resultado el cumplimiento de las metas propuestas mensualmente, cabe señalar que todo el equipo resulta como un solo engranaje con la finalidadde explorar nuevas zonas de interés y optimizar la extracción de las zonas ya conocidas,

evitando el agotamiento prematuro de los recursos y reservas y maximizando la vida útil del proyecto.

- La administración de bases de datos y análisis GIS es fundamental en cualquier proyecto minero exitoso, ya que al realizar un análisis exploratorio de datos sirve como medida de control y aseguramiento de la información obtenida por los diferentes métodos, validando que la espacialidad de las muestras sean coherentes y lo más real posible, estas observaciones y validaciones de la data son el insumo principal para la realización de modelos de bloques y modelos geológicos, por lo que el análisis GIS evita errores de índole geoespacial.
- El análisis estadístico de los datos mineros, pueden arrojar resultados interesantes en una compañía minera, ya que la estadística y geoestadística son una herramienta poderosa a la hora de estimar desde parámetros de castigo o límites (grade capping) hasta recursos y reservas mineras, análisis que resultan fundamental para cualquier proyecto minero en cualquiera de sus etapas, en especial la etapa exploratoria.
- Actualmente no existe un análisis de trazabilidad entre los tenores de los materiales extraídos de los frentes de explotación y las pilas almacenadas en Plaza Trio, esto representa un problema serio en términos de grade control, pues se desconoce cuánto es el aporte de cada frente en la producción de oro diario ya que los pronósticos realizados por los geólogos de mina tienen un grado de incertidumbre considerable, pues se basan de soportes puntuales como por ejemplo las muestras de canal; ahora bien en el caso del análisis de pilas estos indican los tenores de los materiales mezclados de una misma mina por lo que no reflejan los valores de los frentes en sí, dando lugar a algunos inconvenientes como por ejemplo, transporte de pilas con tenores muy por debajo del cut off al patio de acopio, este tipo de problemática básicamente representa pérdidas para la compañía o un alto en sus ganancias planeadas pues se extrae material que no da el costo operativo, la forma como hoy en día se subsana este imprevisto para alcanzar las metas mensuales, es que el material de bajo tenor se almacena hasta que se pueda mezclar con materiales de altos tenores en el proceso de blending, claro está siempre y cuando se cumpla con el tenor de cabeza del molino y el tonelaje exigido por la planta de beneficio, sin embargo los errores pueden presentarse de manera sistemática ya que no se ha solucionado el problema de fondo.
- El muestreo de las pilas posee un grado considerable de incertidumbre siendo poco confiable los valores de los reportes, aclarando que esta duda no se da por el análisis realizado en laboratorio químico si no en la etapa de obtención de muestras pues estas se adquieren de la

capa superficial de los montículos por lo que no existe una distribución equiprobabilística de los materiales, ya que normalmente en las pilas hay segregación en las partículas, donde las más pesadas estarán en la parte inferior de la pila y la capa superficial de la misma estará definida por partículas más livianas.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda implantar lenguajes de programación como por ejemplo Python que permita efectuar la automatización de algunos procesos al ingresar la información en las bases de datos, ya que normalmente esta se ve obstaculizada y el flujo de trabajo en algunos casos se retrasa.
- El proceso que actualmente se lleva a cabo en la compañía con respecto a la georreferenciación de las muestras de canal es deficiente, pues en él se presentan una serie de errores sistemáticos en términos espaciales y en donde en algunos casos más que validar geoespacialmente las muestras se trata realmente de ubicar desde cero las mismas, es por tal motivo que se recomienda que el área de topografía designe un equipo especial que ubique y registre las muestras de canal de manera eficiente, de este modo las muestras tendrían una ubicación mucho más fiable e inmanipulable, que finalmente se traduce en términos de una mejor estimación futura de los recursos minerales.
- Para que exista una mejor resolución en el muestreo de las pilas se recomienda que estas se particionen con la pala cargadora por la mitad del montículo, para que el muestreador pueda acceder al centro de la pila y recolectar las muestras de la parte interna, además este proceso aporta otra ventaja la cual es que en el momento en que la pala cargadora realice el proceso de partición, tanto bloques grandes como pequeños se revolverán permitiendo más homogeneidad en el material y por ende en las muestras.
- Una posible solución o parte de esta, con respecto a la trazabilidad de los tenores de los materiales extraídos de los frentes de explotación para cada mina, es muestrear por medio de grabs aleatorios los fragmentos rocosos descompactados producto de la voladura y los vagones con mineral antes de que estos sean llevados a los Skips o elevadoras, evitando que se mezcle con mineral de otros frentes. Posteriormente realizar una conciliación entre los análisis de los grabs de

los frentes con las muestras de pila, muestras de banda transportadora y onzas generadas en la planta de beneficio María Dama.

## 10. Bibliografía

- Álvarez, A. J. (1983). Geología de la Cordillera Central y el Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. *Boletín Geológico*, 26(2), 1–175.
- Álvarez, M., Ordoñez, O., Valencia, M. & Romero, A. (2007). Geología de la Zona de Influencia de la Falla Otú en el Distrito Minero Segovia-Remedios. *Dyna, Universidad Nacional de Colombia*, Medellín, vol. 74, no. 153, p. 41-51.
- Álvarez Galíndez, M. J. (2013). Petrología, geoquímica isotópica e metalogenia dos depósitos de ouro El Silencio e La Gran Còlombia, distrito mineiro Segovia-Remedios, Colômbia.
- Botero, A.G. (1941). Formaciones geológicas de Antioquia: Minería (Medellín), no. 111, p. 9080-9085.
- Bustamante, C., Archanjo, C. J., Cardona, A., & Vervoort, J. D. (2016). Late Jurassic to Early Cretaceous plutonism in the Colombian Andes: A record of long-term arc maturity. *Bulletin*, 128(11-12), 1762-1779.
- Cuadros, F. (2012). Caracterización geoquímica y geocronológica del basamento mesoproterozoico de parte norte de la serranía de San Lucas. Brasilia: *Universidad de Brasilia*.
- Duque -Trujillo, J., Bustamante, C., Solari, L., Gómez-Mafla, Á., Toro-Villegas, G., & Hoyos, S. (2019). Reviewing the Antioquia batholith and satellite bodies: a record of Late Cretaceous to Eocene syn-to post-collisional arc magmatism in the Central Cordillera of Colombia. *Andean Geology*, 46(1), 82-101.
- Echeverri, B. F. (2006). Genesis and Thermal History of Gold Mineralization in the Segovia-Remedios Mining District of Northern Colombia. Unpublished Máster Thesis. *Shimane University, Japan*. 115 p.
- Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., & Vesga, J. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona II-B). *INGEOMINAS*. Bol. Geol.
- González, H. (2001). Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria



Explicativa y mapa. Bogotá: *INGEOMINAS*.

- González, H., & Londoño, A.C. (2002). Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Diorita de Segovia. Cordillera Central, departamentos de Antioquia y Bolívar. *INGEOMINAS*, 16p. Bogotá.
- Grove, M., Harrison, T. M., Lovera, O. M., & Catlos, E. J. (1998). A model for the origin of Himalayan anatexis and inverted metamorphism. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B11), 27017-27032.
- Herrera Herbert, J. (2020). Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior. *Universidad Politécnica de Madrid*, Madrid.
- Kellog, J., & Bonini, W. (1982). Subduction of the Caribbean plate and basement uplifting the overriding South America Plate. *Tectonics*, 251-276
- Leal-Mejía, H., Shaw, R. P., & Melgarejo i Draper, J. C. (2019). Spatial-temporal migration of granitoid magmatism and the Phanerozoic tectono-magmatic evolution of the Colombian Andes. In *Geology and tectonics of northwestern South America* (pp. 253-410). *Springer*,
- Manco, J. D., Molano, J. C., & Carmona, O. O. (2012). Análisis paragenético y microtermométrico de las mineralizaciones auro-argentíferas del distrito minero Segovia-Remedios (DMSR): Implicaciones para la fuente y naturaleza de los fluidos mineralizantes. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (32), 47-59. Cham.
- Mantilla, L. C., Clavijo, J., Pinto, J. E., Páez, L. E., Pérez, A., Quintero, I., . . . Cuellar, M. (2006). Cartografía geológica de 9.600 km<sup>2</sup> de la serranía de San Lucas: Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario). Aporte a su evolución geológica. Memoria explicativa de la Plancha 64 - Barranco de Loba. *INGEOMINAS*.
- Maya, M. & González, H. (1995). Unidades litodémica en la Cordillera Central de Colombia. *Boletín geológico*, 35 (2-3), 44-57.
- McDonald, W. D., & Hurley, P. M. (1969). Precambrian gneisses from northern Colombia, South America. *Geological Society of America Bulletin*, 80(9), 1867-1872.
- Mejía, H. L. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach (Doctoral dissertation, *Universität de Barcelona*).



- Naranjo-Sierra, E., & Alvarán-Echeverri, M. (2018). Características geológicas, isotópicas y estructurales del depósito vetiforme Los Mangos, Antioquia-Colombia. *Boletín de Geología*, 40(1), 93-108.
- Nelson, H. W. (1957). Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the section between Ibagué and Cali: *Leidse Geologische Mededelingen*, V. 22, pp. 1-76.
- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (1982). Metamorfismos superpuestos en la Cordillera Central de Colombia.
- Restrepo, J. J. & Toussaint, J. F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes Journal of International Geoscience*, 11(3), 189-193.
- Restrepo, J. J., Carmona, O. O., Martens, U. C., & Correa, A. M. (2009). Terrenos, complejos y provincias en la Cordillera Central de Colombia. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 9(2), 49-56.
- Restrepo, J. J., Ordóñez-Carmona, O., Armstrong, R. & Pimentel, M. M. (2011). Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the Central Cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4): 497-507.
- Restrepo, J. J. & Toussaint, J. F. (2020). Tectonostratigraphic terranes in Colombia: An update. Second part: Oceanic terranes. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic*. Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales 36*, p. 237-260. Bogotá.
- Rodríguez, G., Arango, M. I., Zapata, G., & Bermúdez, J. G. (2017). Petrotectonic characteristics, geochemistry, and U-Pb geochronology of Jurassic plutons in the Upper Magdalena Valley-Colombia: Implications on the evolution of magmatic arcs in the NW Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 81, 10-30.
- Rodríguez-García, G., Correa-Martínez, A. M., Zapata-García, G., Arango-Mejía, M. I., Obando-Erazo, G., Zapata-Villada, J. P., & Bermúdez, J. G. (2020). Diverse Jurassic magmatic arcs of the Colombian Andes: Constraints from petrography, geochronology, and geochemistry. *The Geology of Colombia*, 2, 117-159.
- Royero, J.M. (1996). Geología de la Plancha 65, Tamalameque (Departamentos del Cesar y Bolívar). Memoria Explicativa. *INGEOMINAS*, 78p. Bucaramanga.

- Russell (1959). Secuence of Fissures-Frontino Area. Informe interno Frontino Gold mines, Segovia, 2 P.
- Sichel, H. S. (1966). The estimation of means and associated confidence limits for small samples from lognormal populations. In Proc. 1966 Symp. *South African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Sillitoe, R. H. (2008). Special paper: major gold deposits and belts of the North and South American Cordillera: distribution, tectonomagmatic settings, and metallogenic considerations. *Economic Geology*, 103(4), 663-687.
- Srivastava, M. (2001). Outliers: a guide for data analysts and interpreters on how to evaluate unexpected high values. Vancouver, British Columbia, 12-8.
- Starling, T. (2017). Structural Review of the Zandor Capital Project, Colombia.
- Stüwe, K. (1998). Tectonic constraints on the timing relationships of metamorphism, fluid production and gold-bearing quartz vein emplacement. *Ore Geology Reviews*, 13(1-5), 219-228.
- Tschanz, C., Marvin, R., & Cruz, J. (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia)-Informe 1829. *INGEOMINAS*. Bogotá