

**Informe de practica académica**  
**Cartografía geológica e interpretación geoquímica en la exploración aurífera en el sector norte del distrito minero Segovia-Remedios, Antioquia.**

**Luis Felipe Gil Villa**  
**ID:16671**



**Universidad de Caldas**  
**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
**Departamento de Ciencias Geológicas**  
**Manizales, Caldas**  
**2024**

**Informe de practica académica  
Cartografía geológica e interpretación geoquímica en la exploración aurífera en el sector norte  
del distrito minero Segovia-Remedios, Antioquia.**

**Luis Felipe Gil Villa**

**Trabajo de grado modalidad práctica académica presentado como requisito para optar al  
título de:**

**Geólogo**

**Director académico: Sergio José Castro  
Msc. Ingeniero de minas y metalurgia**

**Director institucional: Juan Pablo Gómez Rojas  
Msc. Ingeniero geólogo**

**Universidad de Caldas  
Facultad de ciencias exactas y naturales  
Programa de Geología  
Manizales, Colombia  
2024**

Nota de aceptación APROBADO

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**Sergio José Castro**

**DIRECTOR ACADÉMICO**

## AGRADECIMIENTOS

*Infinito agradecimiento a toda la familia Gil Villa, por sus consejos, y por el apoyo brindado en el trasegar de la vida universitaria.*

*A mis padres, José Norberto Gil y Luz Stella Villa, son parte fundamental de mi vida, su nobleza, honestidad, entrega y humildad me han formado como persona.*

*A mi hermanita María Fernanda Gil Villa, la cual es mi motivación para hacer las cosas bien cada mañana, este trabajo es para tí.*

*A Katherine Arango por sus consejos, su ayuda durante este momento de mi vida han sido muy valiosos para mí.*

*A la empresa MONA MINAS, por brindarme la oportunidad de realizar mi práctica académica, de afianzar mis conocimientos y poder aportar significativamente en el proyecto.*

*A Juan Pablo Gómez Rojas, y Sergio José Castro, por sus valiosos aportes, su experiencia en la industria minera y su apoyo han sido fundamentales para la finalización de este trabajo.*

*Agradezco a mis compañeros de trabajo Walter Guzmán, Lorenzo Celis, Keepler Ramos y Josecarlos Guerrero, geólogos entregados con pasión, sus consejos y las discusiones entorno al proyecto me han llenado de satisfacciones académicas y personales, les deseo grandes éxitos porque son personas valiosas, espero poder encontrarnos en la vida laboral y personal.*

*Por último, a cada auxiliar de campo y administrativos los cuales son apoyo fundamental para el buen funcionamiento de la empresa, y a mis profesores de la Universidad de Caldas los cuales con paciencia y dedicación me enseñaron lo hermoso de la geología, este trabajo también es para ellos.*

## RESUMEN

La práctica académica profesional es una de las modalidades en la cual la Universidad de Caldas gradúa a sus estudiantes, por ende, este informe se propone describir las actividades realizadas en la empresa Mona Minas en el área de geología de exploraciones. Ubicada en el sector de Santa Isabel Antioquia corregimiento de Remedios, en el que se ejecutaron labores de exploración de cuencas anómalas, muestreo de suelos y actualización de la base de datos de la empresa en sus títulos mineros. Esta práctica tuvo una duración de seis meses, desde el 26 junio 2023 al 25 diciembre 2023, en donde se recolectó información geológica de interés, entre otras la caracterización de litologías aflorantes, geoquímica, geología estructural; análisis de estructuras vetiformes y muestreo de las mismas, para definir posibles zonas de interés. Seguidamente, la información fue procesada, analizada e interpretada, y se aplicó como herramienta de detalle para la identificación de los posibles targets, y la definición de las próximas perforaciones diamantinas con recuperación de núcleo.

Finalmente, se aportan algunas conclusiones y recomendaciones que podrían mejorar ostensiblemente los procesos de la empresa en el área de geología de exploraciones.

**Palabras clave:** Exploración, geoquímica, minería informal, geología estructural, distrito minero Segovia-Remedios, levantamiento topográfico, análisis de datos, muestreo de suelos.

## ABSTRACT

The professional academic practice is one of the ways in which the University of Caldas graduates its students, therefore this report aims to show the activities carried out in the company Mona Minas in the area of exploration geology, located in the sector of Santa Isabel Antioquia township of Remedios, where work was carried out exploration of anomalous basins, soil sampling and updating the database of the company in its mining titles.

This practice lasted six months, from June 26, 2023 to December 25, 2023, where important geological information was collected, such as the characterization of outcropping lithologies, geochemistry, structural geology, analysis of vetiform structures and their sampling, to define possible zones of interest, then the information was processed, analyzed and interpreted, for the company decision making and to define the possible targets for the next diamond drilling with core recovery.

Finally, some conclusions and recommendations are made so that all the company processes are much more optimized.

**Key words:** Exploration, geochemistry, structural geology, Segovia-Remedios mining district, mines, topographic survey, data analysis, soil sampling.

## Tabla de contenido

	<b>Pag.</b>
<b>1.Introducción</b> .....	16
<b>2. Objetivos</b> .....	17
2.1 Objetivos generales...	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
<b>3. Generalidades</b> .....	19
3.1 Localización...	20
3.2 Antecedentes .....	22
<b>4. Metodología</b> .....	23
<b>5. Marco Geológico</b> .....	25
<b>5.1 Geología regional</b> .....	25
5.1.1 Neis de San Lucas .....	27
5.1.2 Complejo Cajamarca.....	28
5.1.3 Batolito de Segovia .....	29
5.1.4 Batolito Antioqueño.....	31
5.1.5 Stock de Santa Isabel... ..	32
<b>5.2 Geología estructural</b> .....	34
5.2.1 Falla Otú.....	36
5.2.2 Falla Nus... ..	36
5.2.3 Falla el Bagre .....	37
<b>5.3 Geología local</b> .....	37
5.3.1 Granodiorita .....	38
5.3.2 Dique HA .....	40
5.3.3 Dique HA3... ..	41
<b>5.4 Mineralización</b> .....	42
<b>5.5 Tipo de depósito</b> .....	46

**6. Resultados.....48**

6.1 Visita técnica a minas informales dentro de los títulos mineros de la empresa..... 48

6.2 Mapa geológico..... 62

6.3 Seguimiento de cuencas anómalas... .. 66

6.4 Muestreo de suelos..... 69

6.5 Análisis de datos... .. 75

6.6 Mapas de anomalías geoquímicas..... 88

6.7 Hallazgos..... 92

**7. Conclusiones ..... 101**

**8. Recomendaciones ..... 102**

**9. Bibliografía .....103**

**Lista de Figuras**

**Figura 1.** Mapa de ubicación practica académica profesional; fuente: propia ..... 20

**Figura 2.** Mapa del DMSR con los títulos mineros de la empresa; fuente propia..... 21

**Figura 3.** Mapa conceptual de la metodología utilizada para la realización de practica académica; fuente propia.....24

**Figura 4.** Mapa de terrenos en Colombia. tomado y modificado de (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020) ..... 26

**Figura 5.** Afloramiento del Neis cuarzo feldespático de San Lucas, al Noreste de Segovia..... 27

**Figura 6.** A-Anfibolita con lentes de Plg+Anf orientados; B-Esquistos del Complejo Cajamarca con estructura vetiforme concordante con la foliación ..... 28

**Figura 7.** Saprolito de granodiorita del batolito de Segovia; nótese estructura vetiforme Dip/Dir 25/140..... 30

**Figura 8.** A-Contacto intrusivo entre el batolito de Segovia y los esquistos del complejo Cajamarca en inmediaciones del río Ité; B- Contacto intrusivo editado; fuente propia .....31

**Figura 9.** Batolito Antioqueño con diaclasamiento paralelo; fuente propia ..... 32

**Figura 10.** Saprolito del Stock de Santa Isabel; fuente propia ..... 33

**Figura 11.** Mapa de las principales fallas regionales en Colombia. Tomado y modificado de (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020) ..... 34

**Figura 12.** Mapa de las principales fallas del DMSR; fuente propia ... ..... 35

**Figura 13.** Mapa de la geología local del DMSR.....38

**Figura 14.** Granodiorita del Batolito de Segovia; fuente propia... .....39

**Figura 15.**A-Diorita de grano medio a fino; B-Monzogranito de grano grueso; fuente propia..... 39

**Figura 16.** Dique afanítico (HA) instruyendo Diorita del batolito de Segovia en núcleos de perforación; fuente propia... ..... 40

**Figura 17.** Contacto entre Dique-Silo HA y estructura vetiforme en la mina Los Indios; fuente propia... 41

**Figura 18.A-** Dique con textura porfírica denominado HA3; **B-** Contacto entre IGD y HA3; fuente; propia... 42

**Figura 19.** Núcleo de perforación con  $Qtz+Ep+Cal+Chl$  en vetillas Stage 0; fuente propia... 43

**Figura 20.** Núcleo de perforación  $Py+Qtz+Ep+Cal$  con Stage 1, intensa alteración propilítica de la roca caja; fuente propia... 44

**Figura 21.** A-Stage 2 Sulfuros en bandas con cuarzo ahumado; B-Corte transversal al núcleo; fuente propia... 45

**Figura 22.** A-Corte de núcleo con minerales de mena  $Py+Gn+Qtz+Sp$ ; B-Corte transversal al núcleo  $Py+Gn+Qtz$ ; fuente propia... 45

**Figura 23.** Bocamina La Victoria; fuente propia... 49

**Figura 24.A-**Sistema vetiforme deformado con sulfuros; **B-**Sistema de vetillas las cuales se cortan y se desplazan entre sí con minerales de mena; fuente propia... 50

**Figura 25.** Levantamiento 3D en AutoCAD mina La Victoria; fuente propia... 50

**Figura 26.** A-Vista 3D de la mina la Victoria en el programa Leapfrog con datos del muestreo; B-Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta; fuente propia... 51

**Figura 27.** Proyección estereográfica en Dip/Dir  $35^{\circ}/90^{\circ}$  de la estructura vetiforme en Leapfrog; fuente propia... 52

**Figura 28.** Bocamina Sociedad Minera La Bartola; fuente propia... 53

**Figura 29.A-**Veta la Bartola con Py en bandas pequeñas; **B-**Zona de falla, nótese abundante gouge plano de falla Dip/Dir  $33/85$ ; fuente propia... 53

**Figura 30.** Muestreo canal chip mina La Bartola; fuente propia... 54

**Figura 31.** Levantamiento topográfico en AutoCAD de la Mina La Bartola; fuente propia.....54

**Figura 32.** Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta, mina La Bartola en Leapfrog; fuente propia..... 55

**Figura 33.** Proyección estereográfica en Dip/Dir de la estructura vetiforme en Leapfrog con rumbo N-S buzando al E; fuente propia ..... 55

**Figura 34.A-**Apique principal con muestreos de veta; **B-** Estructura vetiforme con sulfuros oxidados 15 cm de espesor; fuente propia... ..... 56

**Figura 35.** Levantamiento topográfico en AutoCAD de la Mina Las Abejas; fuente propia..... 57

**Figura 36. A-**Vista 3D de la mina Las Abejas en el programa Leapfrog con datos del muestreo; **B-**Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta; fuente propia... ..... 57

**Figura 37.** Proyección estereográfica en Leapfrog Dip/Dir 35/40 mina las Abejas; fuente propia... ..... 58

**Figura 38.** Muestreo canal chip en la veta Matrona; fuente propia... ..... 59

**Figura 39.A-**Veta fracturada frágilmente de 1 m de espesor aproximadamente; **B-**Veta Matrona de 1.20 m; fuente propia ..... 59

**Figura 40.A-**Contacto intrusivo entre el stock de Santa Isabel y anfibolitas del complejo Cajamarca; **B-**Contacto intrusivo editado; fuente propia... ..... 60

**Figura 41.** Levantamiento topográfico en 3D en AutoCAD de la mina Matrona; fuente propia..... 60

**Figura 42.A-**Vista 3D en Leapfrog de la mina Matrona; **B-** Creación del modelo de la veta con los datos del muestreo; fuente propia... ..... 61

..

**Figura 43.** Proyección estereográfica en Dip/Dir de la estructura vetiforme en Leapfrog con rumbo E-W buzando al N; fuente propia... ..... 62

**Figura 44.** Mapa de puntos de afloramientos en la zona de estudio en el DMSR; fuente propia... ..... 63

**Figura 45.** Mapa geológico de la zona de estudio en el DMSR; fuente propia ..... 64

**Figura 46.** Mapa geológico con lineamientos estructurales en el DMSR; fuente propia ... ..... 65

**Figura 47.** Mapa de muestreo de sedimentos en los títulos de la empresa en el DMSR; fuente propia ... ..... 66

**Figura 48.** Mapa de Cuencas anómalas en los títulos mineros de la empresa en el DMSR; fuente propia ... ..... 67

**Figura 49.A-** Consecutivo de la muestra con punto GPS para ser enviada a laboratorio; **B-** Muestra de roca con mineralización; fuente propia ... ..... 68

**Figura 50.A-**Cuenca con trabajos de retroexcavadora; **B-**Muestra de roca con mineralización y oxidación; fuente propia ..... 69

**Figura 51.** Mapa de muestreo de suelos en los títulos mineros de la empresa; fuente propia ... ..... 70

**Figura 52.** Muestreo de suelos en malla 100x100 m en el bloque norte del DMSR; fuente propia ... ..... 71

**Figura 53.** Muestreo de suelos en el horizonte B tomado y modificado de (CSR LABORATORIO, 2023) ..... 72

**Figura 54.A-**Toma de muestra de sedimento horizonte B; **B-**Limpieza de paladraga para evitar la contaminación de las muestras; fuente propia ..... 73

**Figura 55.** Muestras de suelos rotuladas y empacadas debidamente referenciadas para ser enviadas a laboratorio; fuente propia ..... 73

**Figura 56.**Dispositivo Niton XL3T; tomado y modificado de [www.technologywg.com/niton-xl3/](http://www.technologywg.com/niton-xl3/)..... 74

**Figura 57.**Menú de configuración; tomado y modificado de [www.technologywg.com/niton-xl3/](http://www.technologywg.com/niton-xl3/)- ..... 75

**Figura 58.** A-Datos de Te que no están dentro del rango normal de datos; B-Dato de Cd que no es representativo en el conjunto de datos; fuente propia..... 77

**Figura 59.**A-Distribución del Molibdeno sin normalizar; B-Histograma de frecuencias con la data normalizada, nótese su distribución normal; C-Zn sin normalización de datos; D-Zn normalizado; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 78

**Figura 60.**A-Diagrama de dispersión Te-Cs, nótese su correlación directa ;B-Diagrama de dispersión Te-Sb sus datos son más dispersos pero muestran una relación directa entre variables; C-Diagrama de dispersión Te-Sn con 2 tendencias lineales; D-Cd-Sn con 2 tendencias lineales positivas; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 79

**Figura 61.** Matriz de correlación de Pearson para el Batolito de Segovia; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 80

**Figura 62.** Tabla de elementos catiónicos con líneas equipotenciales; Tomado y modificado de Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008). ..... 81

**Figura 63.** Tabla periódica para elementos nativos; Tomado y modificado de Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008). ..... 81

**Figura 64.** Mapa de los diferentes elementos químicos para el Batolito de Segovia; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 82

**Figura 65.** Matriz de correlación de Pearson para el Complejo Cajamarca; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 84

**Figura 66.** Mapa de los diferentes elementos químicos para Complejo Cajamarca; Realizado en ioGAS; fuente propia..... 84

**Figura 67.** Matriz de correlación de Pearson para el Batolito Antioqueño; fuente propia..... 86

**Figura 68.** Mapa de los diferentes elementos químicos para el Batolito Antioqueño; realizado en ioGAS; fuente propia..... 86

**Figura 69.** Leyenda de los percentiles para anomalías geoquímicas en el sector norte del DMSR; fuente propia..... 88

**Figura 70.** Mapa de Anomalías para el Batolito de Segovia; fuente propia..... 89

**Figura 71.** Mapa de Anomalías para Complejo Cajamarca; fuente propia..... 90

*Figura 72. Mapa de Anomalías para el Batolito Antioqueño; fuente propia..... 91*

*Figura 73. Zona anómala al E de Segovia Antioquia; fuente propia..... 92*

*Figura 74. Zona anómala al SSE de Segovia; fuente propia... .. 93*

*Figura 75. Zonas anómalas al SSE de Segovia; fuente propia... .. 93*

*Figura 76. Tendencia NE de las anomalías geoquímicas; fuente propia.....94*

*Figura 77. Anomalía geoquímica al NW de Segovia; fuente propia... .. 95*

*Figura 78. Anomalías geoquímicas cerca a la deflexión de la falla Otú; fuente propia..... 96*

*Figura 79. Tendencia NW de las anomalías geoquímicas, al W de la falla Otú; fuente propia..... 97*

*Figura 80. Anomalía geoquímica en el sector la Culebra; fuente propia..... 98*

*Figura 81. Falla Otú con cinemática sinistral formando estructuras riedel y antiriedel; fuente propia... .. 99*

*Figura 82. Zona de mayor compresión  $\sigma_1$ , zona de mayor distensión  $\sigma_3$  en el DMSR; fuente propia.....100*

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Formato para el ingreso de datos de afloramientos en campo... ..</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 2. Formato en Excel para el ingreso de datos de las cuencas visitadas.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3. Formato en Excel para la actualización diaria del muestreo de suelos.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4. Ejemplo de los datos arrojados por el Niton XL3T.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 5. Función rango.percentil en Excel para el Batolito de Segovia; fuente propia... ..</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6. Función rango.percentil en Excel para el Complejo Cajamarca; fuente propia... ..</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 7. Función rango.percentil en Excel para el Batolito Antioqueño; fuente propia... ..</i>	<i>87</i>

## 1. Introducción

El distrito minero Segovia- Remedios (DMSR) se encuentra localizado al noreste del departamento de Antioquia, aproximadamente a 200 km de la ciudad de Medellín. Comprende una extensión aproximada de 1.200 km<sup>2</sup>, en jurisdicción de los municipios de Vegachí hasta el norte de Segovia Antioquia. Las anomalías geoquímicas para elementos metálicos tales como Au-Ag-Zn-Pb y la configuración tectónica se asocian con la actividad de la falla Otú-Pericos (ZFOP), con una dirección preferencial N-S, donde por más de un siglo se ha explotado oro vetiforme y aluvial.

La evolución geológica-regional del sector, se encuentra controlada tectónicamente por el sistema de fallas Otú-Pericos, el cual es el límite de terrenos tectonoestratigráficos con historias geológicas diferentes (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020). De esta forma, las mineralizaciones del área de estudio poseen tendencias estructurales N-S y NNW, representados por lineamientos y rasgos característicos.

En este trabajo se pretende evaluar la presencia de anomalías geoquímicas como un indicio de la ocurrencia de mineralizaciones, y complementar la cartografía en la zona norte de los títulos mineros que posee la empresa Mona Minas. En ese sentido, se contribuye a la optimización de los procesos de análisis, monitoreo y control de la empresa, esto con el fin de que toda la información sea confiable para la toma de decisiones técnicas, de interpretación de resultados y de operación.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

- Realizar labores geológicas de campo, tratamiento de datos y análisis geoquímico multivariable, en el proyecto Mona Minas de la empresa Sun Valley, en el Distrito Minero Segovia- Remedios.

### 2.2 Objetivos específicos

- Reconocer la geología regional del distrito minero Segovia-Remedios(DMSR) con su variada litología y sus tendencias estructurales.
- Administrar y actualizar la geodatabase de la dependencia de geología de exploraciones.
- Apoyar la realización del muestreo de suelos y otros trabajos exploratorios en cuencas anómalas de los títulos mineros de la empresa.

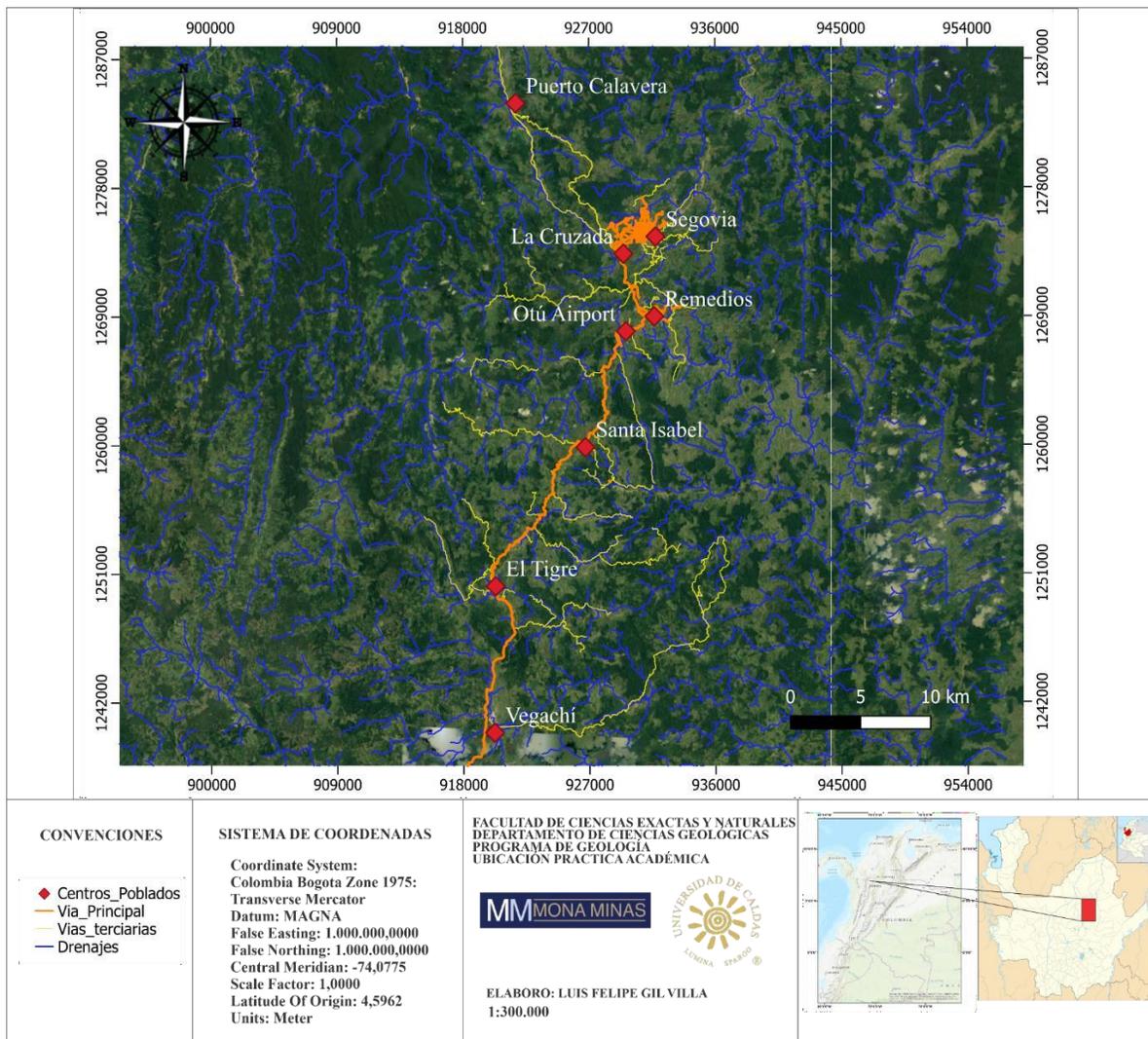
- Realizar las visitas técnicas, el levantamiento topográfico y el modelamiento geológico-minero de minas informales en las inmediaciones de los títulos mineros 6002, 6376, IHF-080411, JJE-08034.
- Desarrollar el muestreo y el estudio del perfil del suelo además de afloramientos para representar los datos de forma ajustada en el mapa geológico actualizado de la zona.
- Representar la geoquímica detallada de la zona norte en una extensión aproximada de 280.000 Km<sup>2</sup>, en el distrito minero Segovia-Remedios (DMSR).
- Analizar la configuración estructural y vetiforme dentro del contexto geológico en los diferentes títulos mineros de la empresa.

### 3. Generalidades

El nordeste antioqueño comprende los municipios de Yolombó, Yali, Vegachi , Remedios y Segovia; en estos municipios se conoce historia de productividad minera desde la época colonial. Pero no es solo la minería la fuente de ingreso de sus pobladores además de la ganadería, cultivos de cacao y comercio son las formas productivas de la región. Los municipios más importantes respecto al crecimiento económico son los municipios de Segovia y Remedios; su altitud promedio es de alrededor de 700 metros sobre el nivel del mar, sin embargo, la altitud puede variar en diferentes áreas del municipio; el clima en Segovia y Remedios es tropical, caracterizado por temperaturas cálidas durante todo el año. La temperatura promedio varía entre 25°C y 28°C. La región tiene una temporada de lluvias y una temporada seca. La época de lluvias generalmente ocurre entre abril y noviembre, mientras que la temporada seca va de diciembre a marzo.

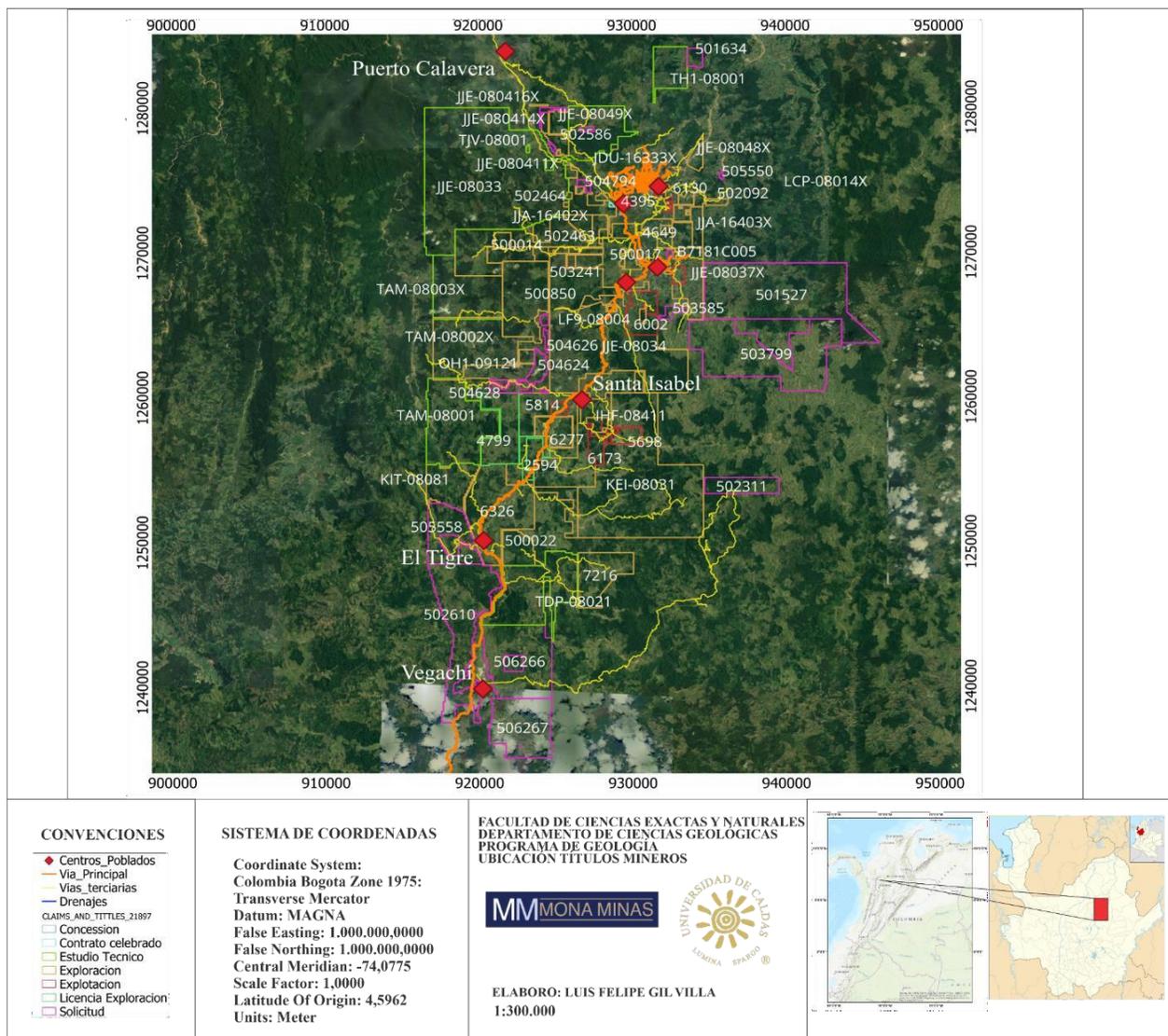
### 3.1 Localización

La zona de estudio se encuentra localizada en el nordeste Antioqueño, aproximadamente a 200 km de la ciudad de Medellín Antioquia, en el flanco oriental de la cordillera central. El centro de operaciones de geología de exploraciones de la empresa Mona Minas se encuentra a 15 minutos del corregimiento de Santa Isabel, allí se recopila toda la información de campo de los títulos mineros de la empresa como se observa en la (*Figura 1*).



*Figura 1. Mapa de ubicación practica académica profesional; fuente propia.*

La empresa cuenta con 123 títulos mineros en el nordeste Antioqueño con alrededor de 66.051 Ha que comprenden los municipios de Vegachí, hasta el norte del municipio de Segovia, como se muestra en la (*Figura 2*).



*Figura 2. Mapa del DMSR con los títulos mineros de la empresa; fuente propia.*

### 3.2 Antecedentes

El nordeste antioqueño empezó a ser poblado alrededor del siglo XVI por los colonos españoles, estos pretendían crear regiones prosperas con gran diversidad de comercio, es así como se funda las subregiones de Remedios y Yolombó en la época del 1590 (Pérez, Branch, & Arango, 2009). Estas dos subregiones se considerarían como las potencias mineras de la región, atrayendo con si prosperidad y crecimiento poblacional. Sin embargo, su explotación a gran escala no comenzó sino hasta mediados de siglo XIX, con la inauguración de la mina El Silencio, propiedad de la empresa Frontino Gold Mines fundada en 1854 en el municipio de Segovia. Posteriormente, esta empresa y la asociación Minera Chocó Pacífico, desplegaron paulatinamente un denso número de minas, operando continuamente durante 150 años.

Es así como el territorio del nordeste antioqueño fue trascendental en el desarrollo del departamento de Antioquia, no solo con la acumulación de capital local, sino con la conformación de grandes elites empresariales que conducirían a la conformación del proceso de industrialización en Antioquia y Colombia.

De acuerdo a Pérez, Branch, & Arango (2009) la producción de oro aumentó y la participación de empresas extranjeras y desarrolló el interés por la subregión durante la I y II Guerra Mundial. Esto generó una gran oportunidad para invertir en proyectos mineros de oro en Colombia, particularmente en los departamentos de Antioquia, sur de Bolívar, Santander, Caldas, entre otros, debido a su enorme potencial geológico-minero. Según la Agencia Nacional de Minería (2021) la producción de oro en 2020 fue de 47.6 toneladas, un 29.9% más que en 2019, que terminó con alrededor 36.67 toneladas.

#### 4. Metodología

Para el desarrollo de este informe de práctica se realizó una revisión y recopilación bibliográfica de la cartografía presente en el Distrito Minero Segovia Remedios (DMSR) con el fin de contextualizar la información y representar la geología regional y estructural.

Seguidamente, la empresa Mona Minas con su grupo de exploración aportó la información de la base de datos de afloramientos, minas locales, geología estructural, imágenes satelitales, modelos de elevación digital (DEM) y datos geoquímicos de suelos para su posterior análisis e integración.

Para el proceso de fotointerpretación y elaboración del mapa geológico, se emplearon insumos de la base y recolección de datos en campañas de campo. El software QGIS, es de gran ayuda para la visualización de los datos, por consiguiente, se crearon tablas de atributos y polígonos de las diferentes litologías existentes, alimentando la geodatabase. A partir de este punto, como se muestra en la (**Figura 3**) se utilizaron los softwares AutoCAD y Leapfrog Geo para elaborar el modelamiento 3D de minas informales en los títulos mineros de la empresa, con el respectivo muestreo sistemático de estructuras mineralizadas.

Finalmente, los datos de geoquímica de suelos aportados por la empresa y, extraídos de los muestreos de suelo del bloque norte del DMSR, se procesaron en los *softwares* ioGAS, Oasis Montaj y Excel. Estos datos son evaluados y ponderados, para su posterior análisis sistemático de anomalías positivas con diferentes elementos químicos exploradores tales como Ag-Te-Sb-Pb-Zn-Sn-Pd-Cd.

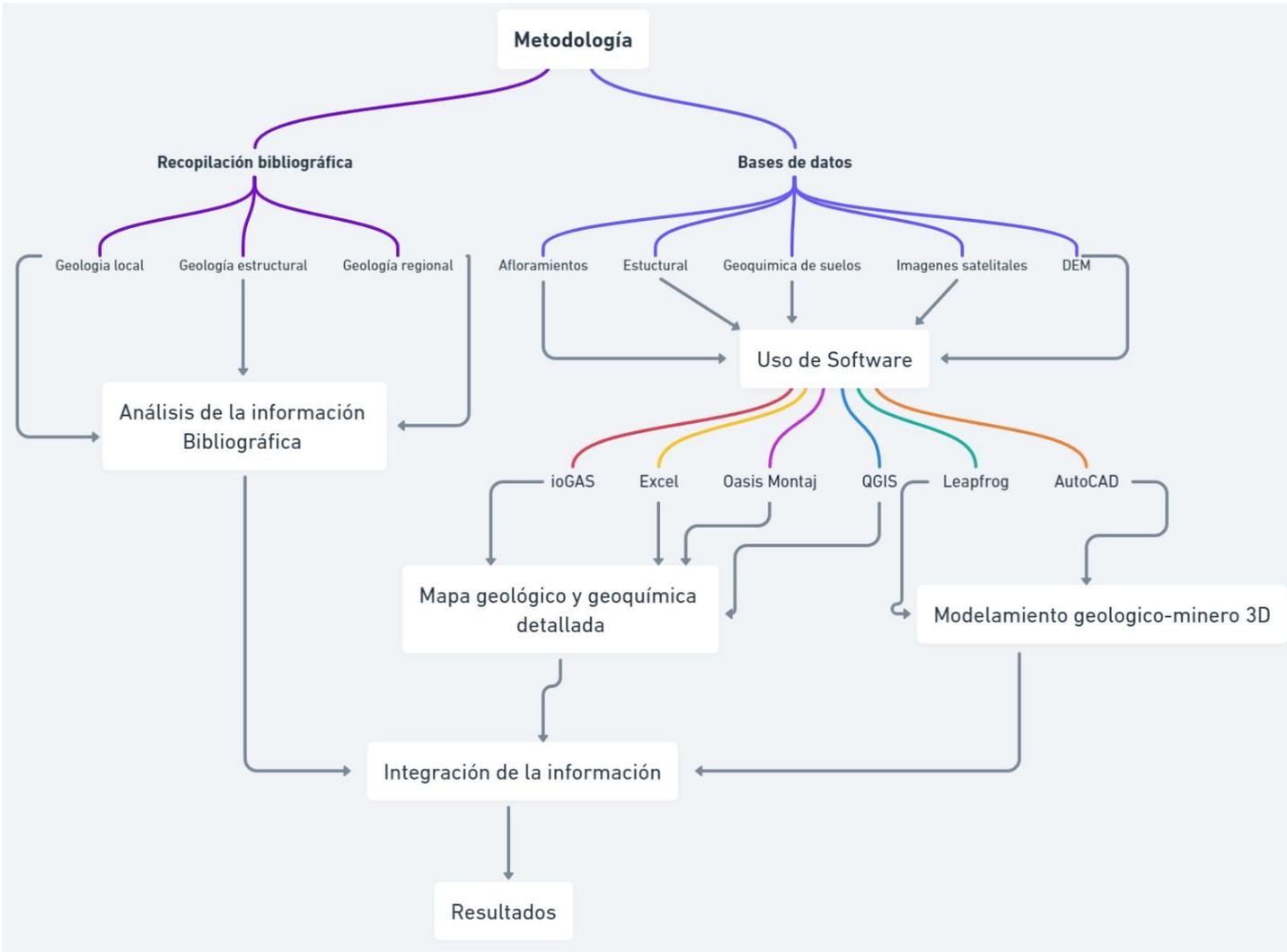


Figura 3. Mapa conceptual de la metodología utilizada para la realización de practica académica.

## 5. Marco geológico

### 5.1 Geología regional

La geología de Colombia se caracteriza por tener gran variedad de terrenos tectonoestratigráficos de diferentes edades, los cuales fueron acrecionados a lo largo del tiempo geológico (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020). Se identifican bloques de rocas con similitud en composición y edad, las cuales se encuentran separadas por fallas regionales. En la zona de estudio se establecen dos terrenos regionales denominados Terreno Chibcha (Sector Oriental) y Terreno Tahami (Sector occidental) ambos con historias geológicas diferentes, delimitados por la falla regional Otú, que pertenece al sistema de fallas Otú-Pericos como se observa en la *(Figura 4)*.

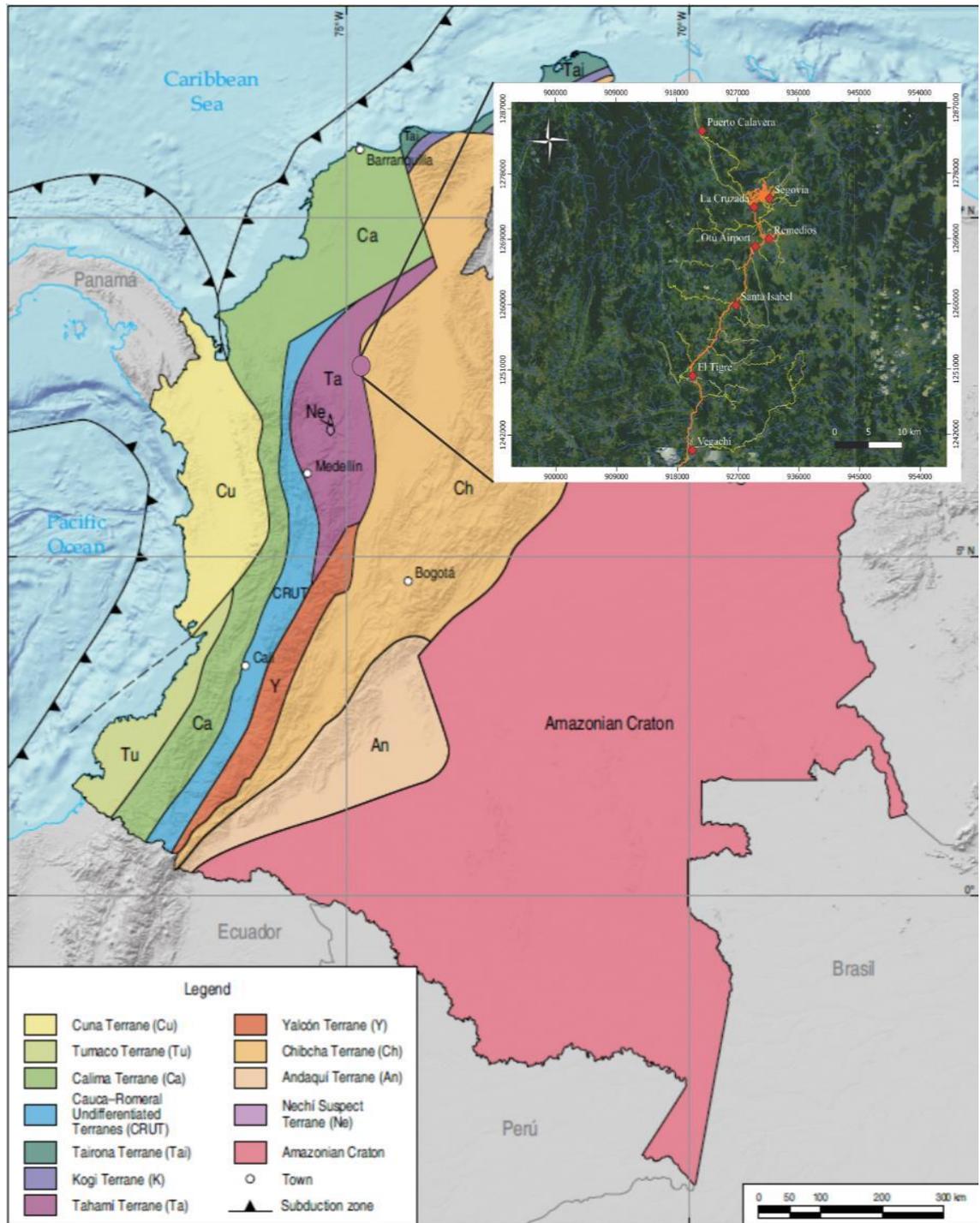


Figura 4. Mapa de terrenos en Colombia. tomado y modificado de (Restrepo & Toussaint, 1988,2020).

### 5.1.1 Neis de San Lucas

Rocas metamórficas de edad precámbrica se reportan en las estribaciones de la serranía de San Lucas, hasta la ciudad de Puerto Berrio en el departamento de Antioquia, esta unidad metamórfica tiene un sentido norte-sur con una extensión de 50 km<sup>2</sup> aproximadamente (Feininger *et al.*, 1972). Su litología es variada, desde anfibolitas hasta neis cuarzo feldespáticos (*Figura 5*) y ocasionalmente con lentes de mármol (Feininger *et al.*, 1972).

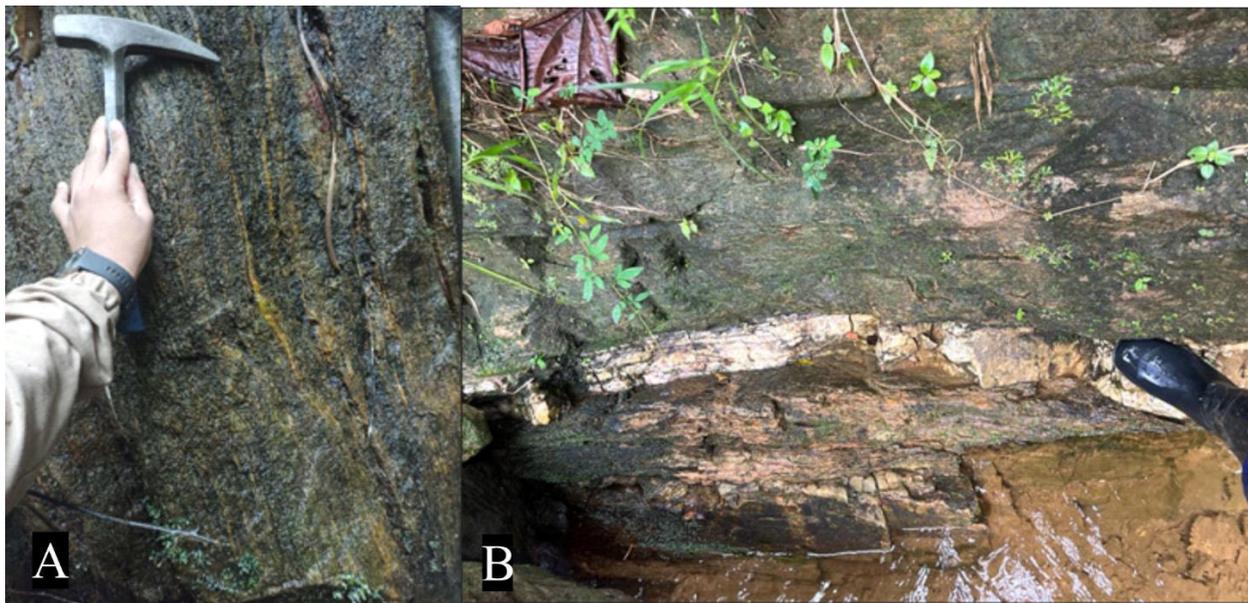
Según Ordóñez-Carmona (1999) se corrobora esta edad en las milonitas del Vapor las cuales se encuentran correlacionadas con el Neis de San Lucas, reportando una edad de  $894 \pm 36$  Ma con el método radiométrico Rb-Sr, con esta edad se podría concluir que estas rocas pertenecer a la orogenia Grenville (1200 - 900 Ma).



*Figura 5.* Afloramiento del Neis cuarzo feldespático de San Lucas, al Noreste de Segovia.

### 5.1.2 Complejo Cajamarca

Unidad metamórfica con litologías variables que abarcan desde pizarras hasta migmatitas, las cuales se extienden en toda la cordillera central de sur a norte. Presenta evidencias de polimetamorfismo, y fue definida por primera vez por Nelson (1957) el cual lo denominó Grupo Cajamarca. En estudios posteriores Feininger *et al.*, (1972) las designó como rocas metamórficas de la cordillera central o rocas metamórficas al oeste de la falla Otú, en contraste, algunos estudios de cartografía regional efectuados por INGEOMINAS hoy llamado Servicio Geológico Colombiano, los autores Maya & González (1995), proponen agrupar toda esta variedad litológica en una gran unidad litodémica definida como “Complejo Cajamarca” (*Figura 6*).



**Figura 6.** A-Anfibolita con lentes de Plg+Anf orientados; B-Esquistos del Complejo Cajamarca con estructura vetiforme concordante con la foliación.

La edad reportada para esta unidad por el método K-Ar ha sido Triásico, por lo cual, algunos autores consideran que en el núcleo de la Cordillera Central hubo un único evento metamórfico con edad Permo-Triásica (Vinasco *et al.*, 2006).

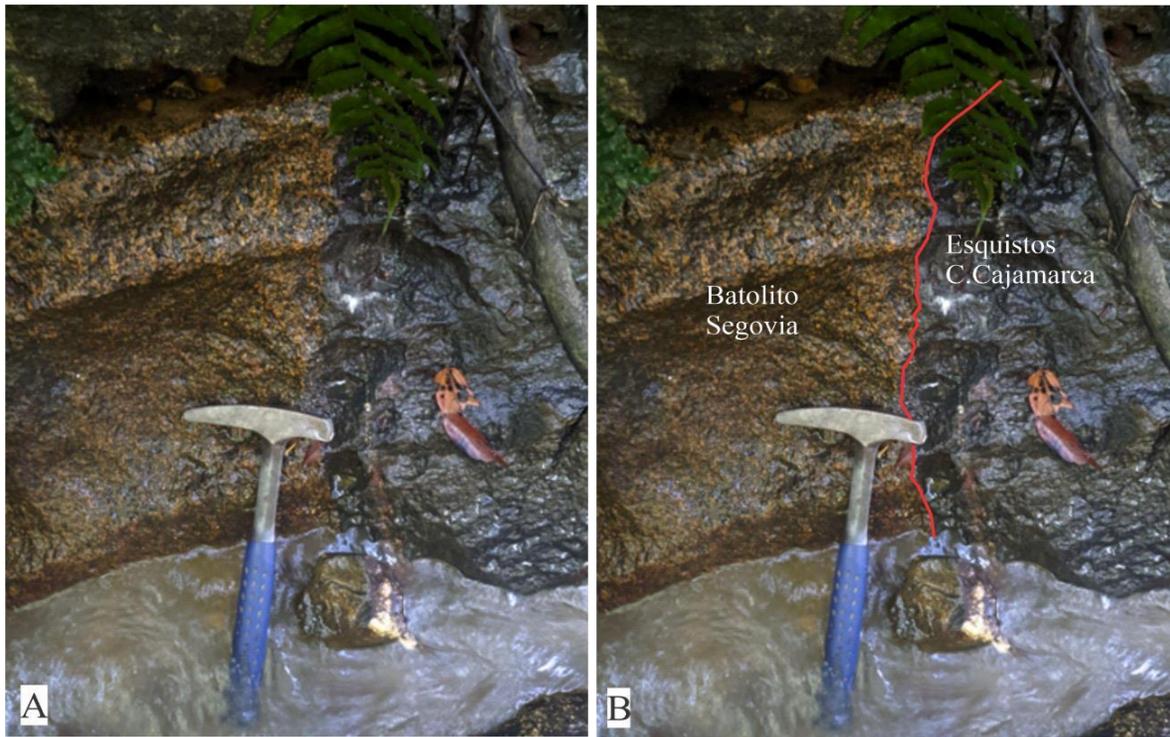
### 5.1.3 Batolito de Segovia

Unidad ígnea descrita por primera vez por Feininger *et al.*, (1972) en el boletín geológico de este mismo año, donde se describen como dioritas al este de la falla Otú (**Figura 7**). Se encuentra localizada en la cordillera central en su flanco oriental, y aflora en el municipio de Segovia Antioquia, donde están albergadas las vetas de oro y plata del distrito. Presenta una extensión aproximada de 760 Km<sup>2</sup> y se relaciona con un contacto intrusivo con el Neis de San Lucas (González *et al.*, 2002) y el Complejo Cajamarca como se observa en la (**Figura 8**). Surgen gran variedad de rocas ígneas, como dioritas, granodioritas y cuarzodioritas, con cambios texturales y de tamaño de grano. Su firma geoquímica es calcoalcalina según Álvarez (1983).

La edad estimada es de  $160 \pm 7$  Ma, datada a través del método K-Ar en Hornblenda (Feininger *et al.*, 1972). Seguidamente fue datada a través de U-Pb en circón y se obtuvo un resultado de  $154 \pm 3.2$  Ma, ambas dataciones confirman una edad Jurásica (González *et al.*, 2010).



**Figura 7.** Saprolito de granodiorita del batolito de Segovia; nótese estructura vetiforme Dip/Dir25/140.



**Figura 8.** A-Contacto intrusivo entre el Batolito de Segovia y los esquistos del Complejo Cajamarca en inmediaciones del río Ité; B- Contacto intrusivo editado; fuente propia.

#### 5.1.4 Batolito Antioqueño

Unidad ígnea plutónica descrita por primera vez por Botero (1941) presenta variedad en composiciones siendo clasificadas como tonalitas a granodioritas, con variaciones importantes en el contenido de sílice, la cual contiene fases más félsicas y otras fases más máficas (Duque-Trujillo *et al.*, 2019). El Batolito abarca una extensión de 7221 Km<sup>2</sup> y existen unos stocks satélites de al menos 322 Km<sup>2</sup>, los cuales evidencian varios pulsos magmáticos post-Jurásicos. Uno de los stocks satélites más cercanos del DMSR es el Stock de la Culebra (**Figura 9**).

La recopilación de dataciones realizadas por (Leal-Mejía, 2011) con los métodos (U/Pb, K/Ar, Ar/Ar, Re-Os) arrojan en promedio, el rango de cristalización de unos 98 a 57 M.a, Cretácico-Paleógeno.



**Figura 9.** Batolito Antioqueño con diaclasamiento paralelo y venillas con óxidos de Fe; fuente propia.

### 5.1.5 Stock de Santa Isabel

Unidad ígnea de la cual se tiene poca información, además, no se reporta edad. Se encuentra muy cerca del corregimiento de Santa Isabel, jurisdicción del municipio de Remedios Antioquia, y comprende un área aproximada de 96 km<sup>2</sup>, limitando al sur por la falla Otú, (González, 2001). Este cuerpo ígneo de composición félsica (**Figura 10**) se encuentra instruyendo las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, por lo que se reconoce como edad post-Triásico.

Algunos autores le asignan una edad relativa del Cretácico por la relación genética con el Batolito Antioqueño.

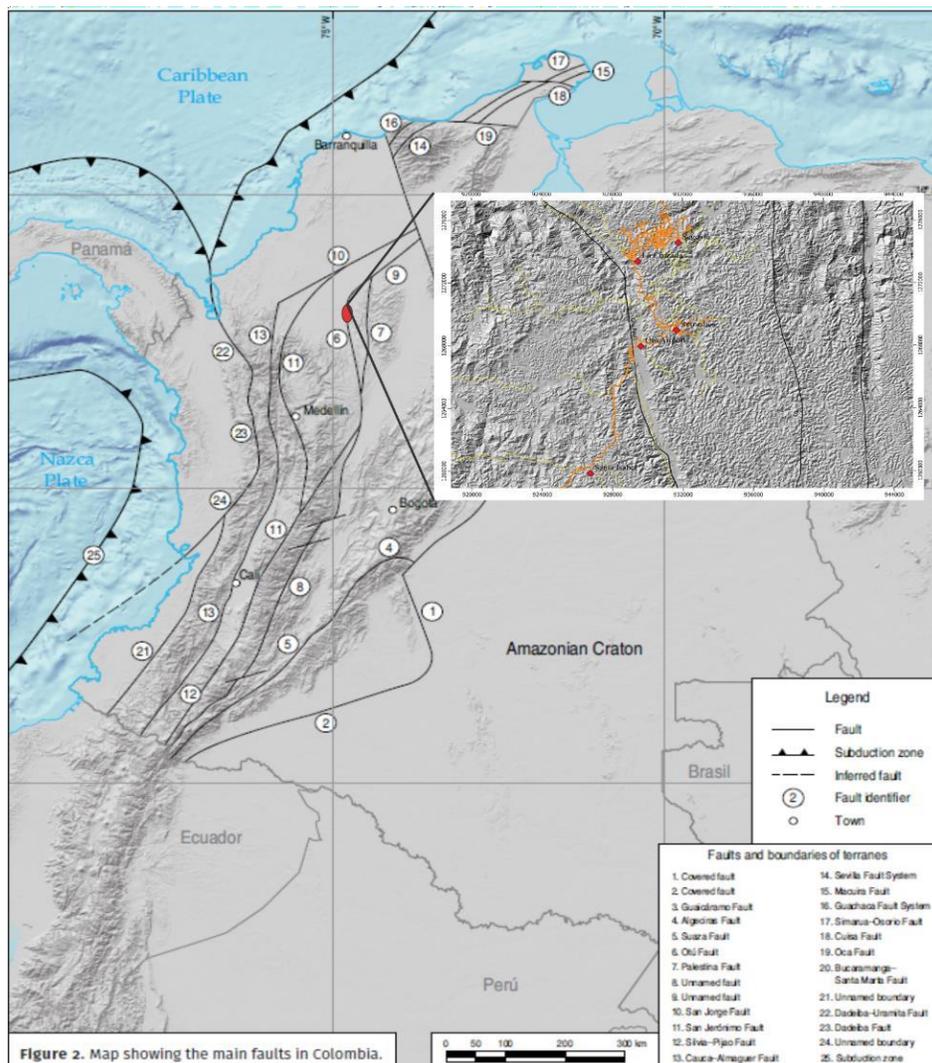


*Figura 10. Saprolito del Stock de Santa Isabel; fuente propia.*

## 5.2 Geología estructural

El distrito minero Segovia-Remedios está tectónicamente controlado por fallas geológicas regionales (**Figura 11**) las cuales tienen una tendencia norte-sur con leves deflexiones al NW. Las estructuras vetiformes cambian de dirección a nivel local en algunos sitios, lo que sugiere que existe activación y reactivación de estas mismas fallas.

En la zona se encuentran dos principales fallas geológicas: la falla Otú, y el sistema de fallas de Palestina, de las cuales se desprenden las fallas Nus y Bagre de edad post-cretácica según Feininger *et al.*, (1972) (**Figura 12**).



**Figura 11.** Mapa de las principales fallas regionales en Colombia. Tomado y modificado de (Restrepo & Toussaint, 1988, 2020).

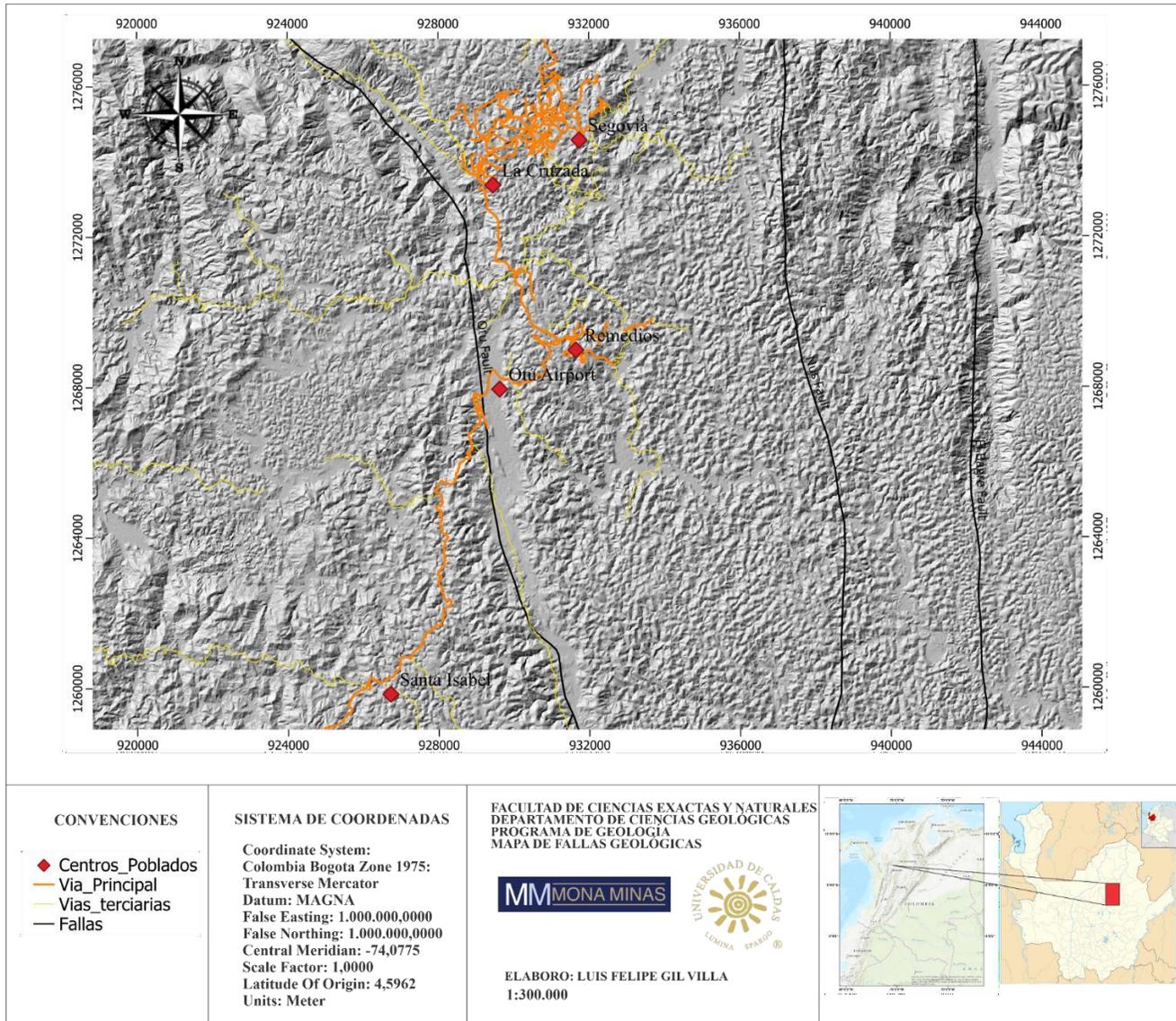


Figura 12. Mapa de las principales fallas del DMSR; fuente propia.

### 5.2.1 Falla Otú

Falla perteneciente al sistema de fallas Otu-Pericos, recibe este nombre por el aeropuerto Otú al sur de Remedios Antioquia. Presenta una longitud aproximada de 120 km con una cinemática sinistral, y su extensión geográfica incluye los departamentos de Córdoba hasta Antioquia, y continúa por todo el Valle del Magdalena hasta unirse a la falla Mulatos, cerca de Puerto Nare Antioquia (Feininger *et al.*, 1972). Esta falla tiene gran relevancia geológica, pues separa diversos terrenos tectonoestratigráficos de diferentes edades e historias, que han sido denominados como Terreno Chibcha al oriente; constituido por rocas sedimentarias e intrusivos y Terreno Tahami al occidente, constituido por rocas metamórficas como el complejo Cajamarca e intrusivos como el batolito Antioqueño (Toussaint y Restrepo, 1990).

### 5.2.2 Falla Nus

Falla de rumbo que corresponde a un ramal de la falla Palestina, y recibe este nombre por el río Nus, el cual se encuentra controlado estructuralmente, y presenta una longitud aproximada de 76 km con una cinemática dextral, donde atraviesa los municipios de Vegachí, Remedios y Segovia. Su rumbo es aproximadamente N10°W, y expone un alto buzamiento en su traza (Feininger *et al.*, 1972).

### 5.2.3 Falla el Bagre

Falla de cabalgamiento que pone en contacto al Batolito de Segovia con las rocas precámbricas del Neis de San Lucas (Naranjo & Alvarán, 2018). Su rumbo es aproximadamente N-S con leves deflexiones al E. Su cinemática es sinistral según González (1992). En algunas zonas del DEM se observan escarpes de falla pronunciados hasta de 300 metros, que controlan el cauce del río Bagre al E del municipio de Segovia.

## 5.3 Geología local

La geología local se encuentra enmarcada en las inmediaciones del municipio de Segovia en los títulos mineros 6130 y 5980 donde se realizan las campañas de perforación, como se muestra en la (*Figura 13*), allí se encuentra toda la variedad litológica de la zona, pasando de rocas con composición acida como granodioritas y granitos, hasta a rocas con composición básica como gabros y dioritas. Allí se recopilan los núcleos de roca y posteriormente son enviados al centro de geología de exploraciones para su respectivo logueo geológico.

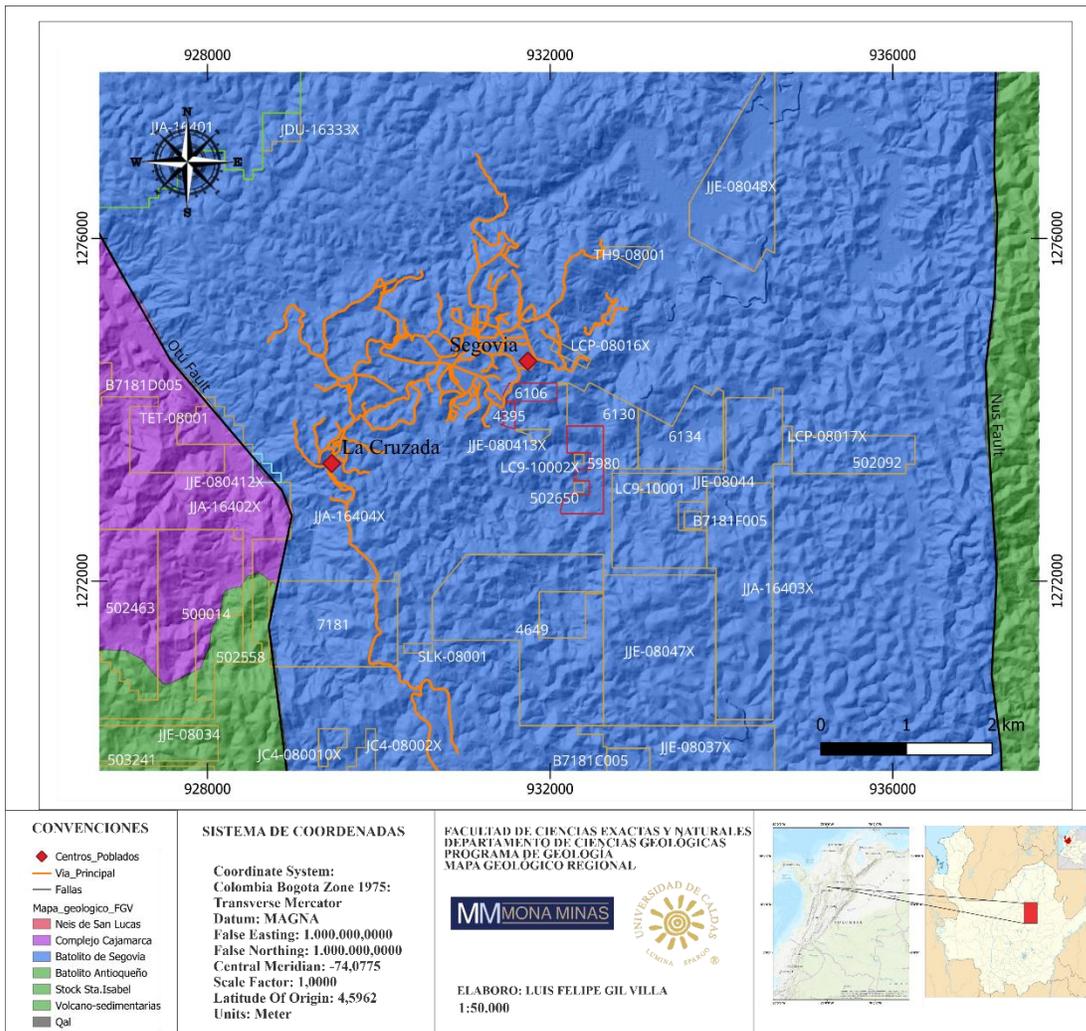


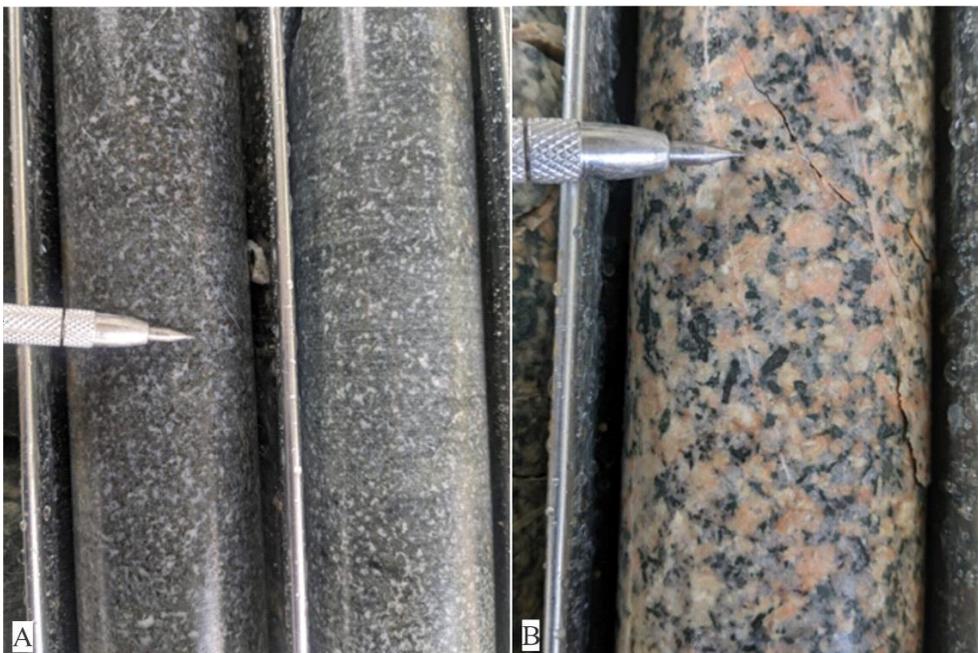
Figura 13. Mapa de la geología local del DMSR.

### 5.3.1 Granodiorita (IGD)

Roca caja de las mineralizaciones vetiformes del DMSR, presenta textura fanerítica holocristalina equigranular con minerales euhedrales a subhedrales y variaciones texturales que fueron reconocidas durante las campañas de perforación (Figura 14). La amplia extensión del cuerpo plutónico es un factor que favorece los procesos de diferenciación magmática en consecuencia, se encuentran litologías derivadas como granodioritas, dioritas y monzogranitos. (Figura 15).



*Figura 14. Granodiorita del Batolito de Segovia; fuente propia.*



*Figura 15. A-Diorita de grano medio a fino Plg+Anf; B-Monzogranito de grano grueso con abundante feldespato potásico; fuente propia.*

### 5.3.2 Dique HA

Diques andesíticos (plagioclasas con macla de albita y composición  $<50\% \text{An}$ , (Álvarez, 2013), de grano muy fino con textura afanítica (HA) como se muestra en la (*Figura 16,17*) presentan un índice melanocrático entre 65-90% y color negro a verde oscuro, con magnetita y apatito como mineral accesorio.



*Figura 16. Dique afanítico (HA) instruyendo diorita del Batolito de Segovia en núcleos de perforación; fuente propia.*

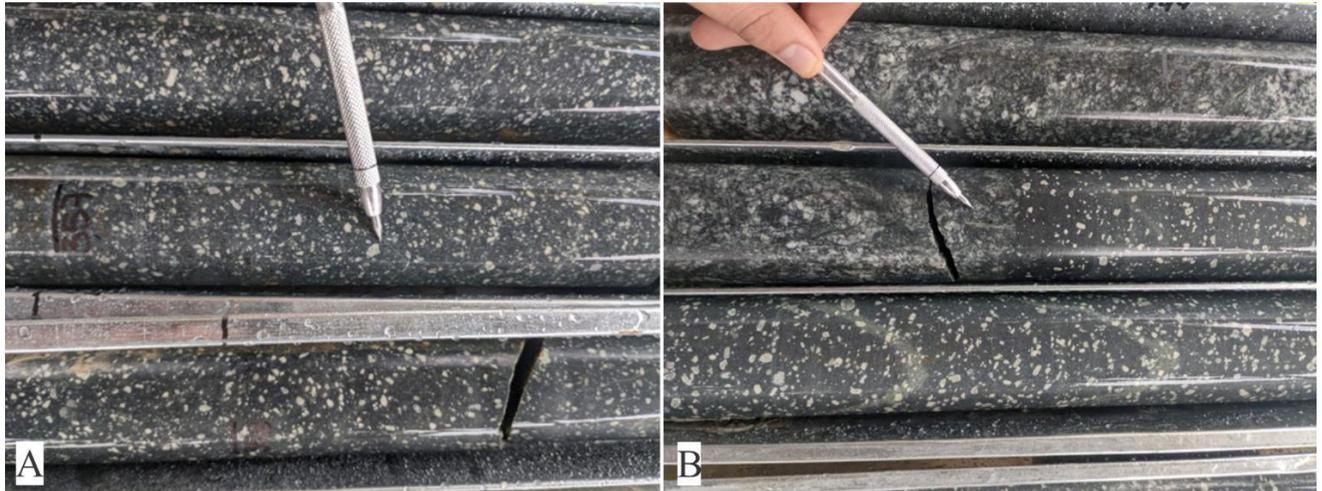


**Figura 17.** Contacto entre Dique-Silo HA y estructura vetiforme en la mina Los Indios; fuente propia.

### 5.3.3 Dique HA3

Dique andesítico (composición de las plagioclasas ~32% An, Álvarez, 2013) de grano fino a grueso, presenta textura porfirítica, como se observa en la (**Figura 18**), presenta un índice melanocrático entre 65-90% y color gris a verde oliva oscuro y blanco, con fenocristales euhedrales a subhedrales de plagioclasa, 70 - 80% de matriz y 20%-30% de fenocristales de hornblenda (~20%) y plagioclasa (~80%).

En las campañas de perforación y en los logueos realizados, se ha observado que el dique HA3 aparece en el techo y en la base de las vetas del distrito, y desarrolla una intensa alteración de la roca caja.



*Figura 18.A- Dique con textura porfírica denominado HA3; B- Contacto entre IGD y HA3; fuente propia.*

#### 5.4 Mineralización

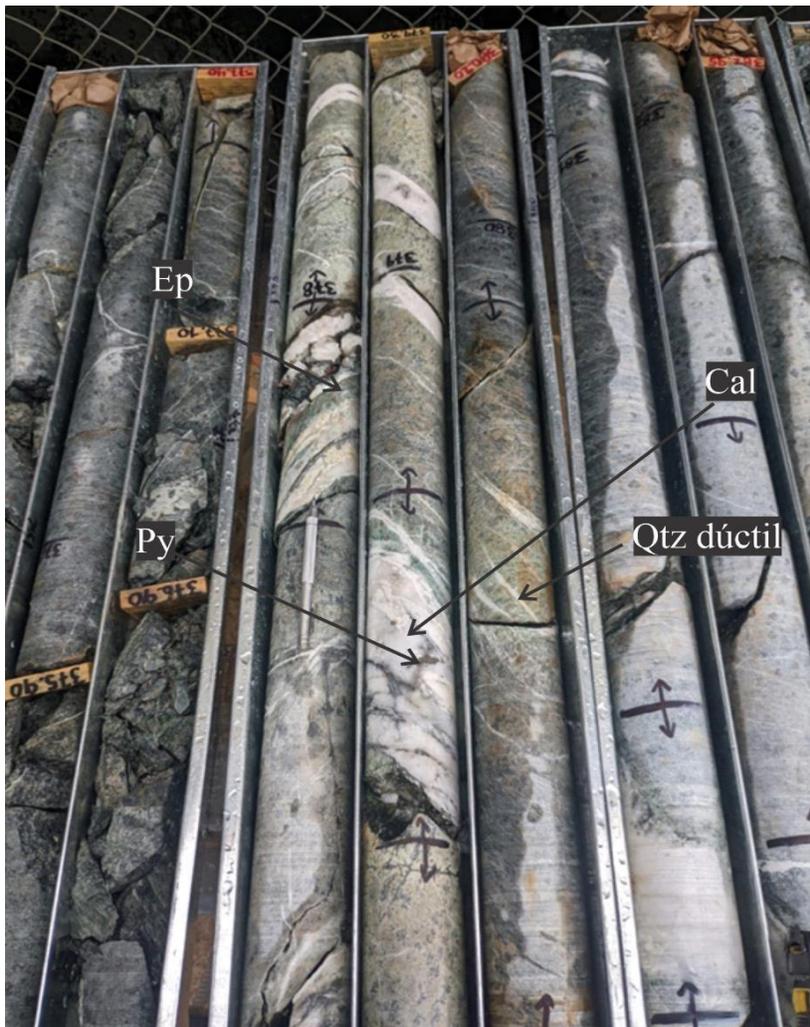
El sistema de vetas del DMSR es de origen hidrotermal, y están encajadas en el Batolito de Segovia, donde estos fluidos facilitaron el transporte de metales en solución debido a su Ph bajo, los cuales fueron precipitados cuando las condiciones fisicoquímicas de estos fluidos llegaron a ser neutros (Álvarez, 2013). Se conocen al menos tres diferentes etapas (*Stages*) de mineralización:

**Stage 0.** Se conoce de forma no oficial un reporte de datación de molibdenita con una edad de  $156.6 \pm 0.7$  Ma relacionando esta familia de vetas a la historia del Batolito de Segovia de edad Jurásica. Se observan venillas de clorita, epidota y carbonatos, con cuarzo hialino con muy poca mineralización (*Figura 19*).



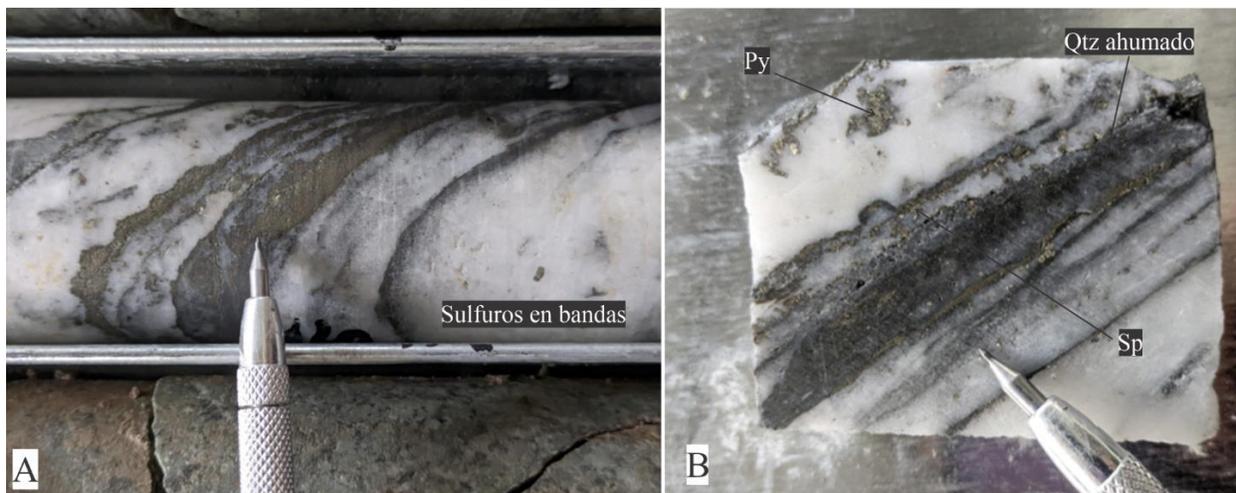
*Figura 19. Núcleo de perforación con Qtz+Ep+Cal+Chl en venillas Stage 0; fuente propia.*

**Stage 1.** Se caracteriza por la cristalización de cuarzo masivo a drusiforme de color blanco lechoso, con intensa alteración de la roca caja, en ocasiones con una textura ligeramente bandeada y con deformación dúctil, probablemente siguiendo los esfuerzos de deformación presentes en el momento de su formación como se muestra en la (**Figura 20**). Corresponde a un primer pulso con oro que se presenta en esta etapa, donde los valores de Au medidos son inferiores a 1 g/ton Au.



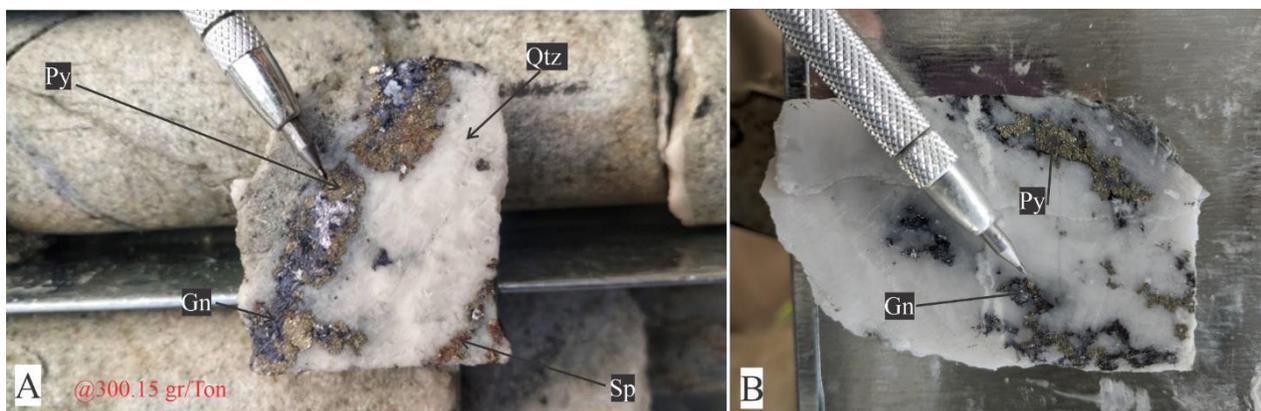
**Figura 20.** Núcleo de perforación  $Py+Qtz+Ep+Cal$  con Stage 1, intensa alteración propilítica de la roca caja; fuente propia.

**Stage 2.** Se caracteriza por la presencia de bandas de sulfuros de 1 mm hasta 15 cm, se pueden observar minerales de mena de manera diseminada (**Figura 21**).



**Figura 21.** A-Stage 2 Sulfuros en bandas con cuarzo ahumado; B-Corte transversal al núcleo; fuente propia.

Esta etapa es la más rica del distrito, y exhibe tenores de hasta 300 g/ton Au. Macroscópicamente se observan bandas de grano fino a grueso con minerales como galena, esfalerita y pirita acompañados de bandas de cuarzo ahumado (**Figura 22**).



**Figura 22.** A-Corte de núcleo con minerales de mena Py+Gn+Qtz+Sp; B-Corte transversal al núcleo Py+Gn+Qtz; fuente propia.

## 5.5 Tipo de depósito

El distrito minero Segovia-Remedios (DMSR) ha sido estudiado por diferentes autores, los cuales le han dado características genéticas diferentes según sus interpretaciones, por lo cual ha pasado por distintas clasificaciones como oro orogénico (Goldfarb *et al.*, 2001), intrusion related (Sillitoe, 1991) y vetas mesotermales (Ordóñez - Carmona *et al.*, 2005).

Según Manco *et al.*, (2012) a partir de inclusiones fluidas extraídas de rocas del DMSR, se propone que la fuente de los fluidos hidrotermales mineralizantes tienen un origen magmático, descartando la hipótesis de Goldfarb *et al.*, (2001). Esto apoya la interpretación de Sillitoe (1991) el cual argumenta que el depósito de vetas de Au y Ag del distrito están asociadas a intrusiones oxidadas, sugiriendo que el cuerpo ígneo responsable de los fluidos mineralizantes sería el Batolito Antioqueño.

Las soluciones hidrotermales a altas temperaturas que causaron la formación de las vetas de cuarzo fueron inyectadas en los sistemas de diques básicos (HA y HA3) por lo menos dos veces. En la fase inicial, las soluciones ricas con cuarzo generalmente siguieron las rutas a lo largo de las paredes del piso de los diques fracturados previamente. Estas primeras soluciones de cuarzo parecen haberse enfriado rápidamente produciendo cuarzo blanco, opaco masivo, con altos contenidos de sulfuros (principalmente pirita) y con pocos contenidos de oro y plata. Este sistema de diques y cuarzo estéril fue nuevamente fracturado por movimientos debidos a la liberación de esfuerzos. La segunda fase de solución hidrotermal rica en cuarzo fue inyectada dentro de este sistema de diques fracturados y vetas de cuarzo.

La génesis del depósito mineral se define como una secuencia de procesos (Wieselmann y Galay, 1982):

- Formación del intrusivo.
- Formación de fracturas por liberación de esfuerzos y asentamiento del intrusivo en el enfriamiento.
- Inyección de diques.
- Fracturamiento.
- Inyección de cuarzo con bajo contenido de mineralización.
- Fracturamiento.
- Inyección de fases hidrotermales ricas en mineralización (sulfuros metálicos y metales preciosos)

## 6. Resultados

### 6.1 Visita técnica a minas informales dentro de los títulos mineros de la empresa

Para la empresa es importante conocer las minas que se encuentran dentro de sus títulos mineros, donde se recolecta información valiosa de las estructuras vetiformes que se encuentran en profundidad, con el objetivo de correlacionarlas con otras minas. Además de esto, realizar un muestreo sistemático dentro de los túneles, donde se toman datos de las estructuras vetiformes como el espesor, la descripción macroscópica de la muestra, y su dirección en Dip/Dir (*Figuras 27,33,37,43*); finalmente, se hace levantamiento topográfico con distanciometro y brújula en las minas informales (*Figuras 25,31,35,41*), seguidamente los datos son ejecutados en AutoCAD y exportados a Leapfrog Geo para realizar el modelamiento geológico-minero en 3D de los túneles y de las vetas existentes como se muestran en las (*Figuras 26,32,36,42*).

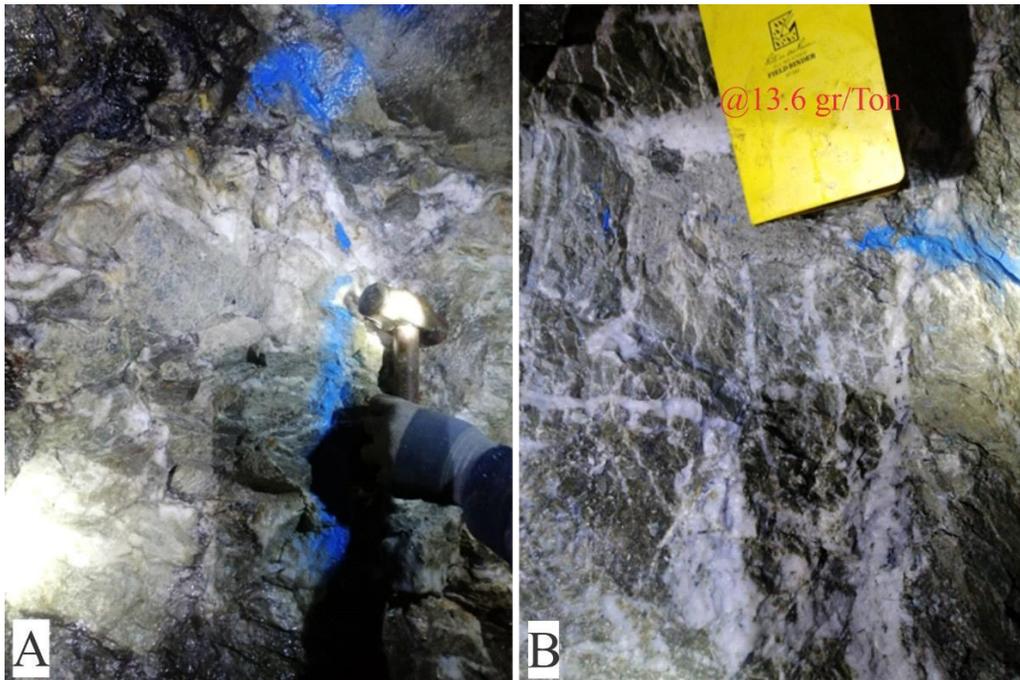
### Mina La Victoria:

Esta mina se encuentra localizada en la vereda La Brava en el título minero JJE-08034, muy cerca al río Ité, en jurisdicción del municipio de Remedios Antioquia. Se realizó un muestreo sistemático dentro del apique y dos niveles avanzados, y se midió la tendencia estructural de la veta, la cual tiene una dirección preferencial,  $35^{\circ}/90^{\circ}$  Dip/Dir (*Figura 27*).

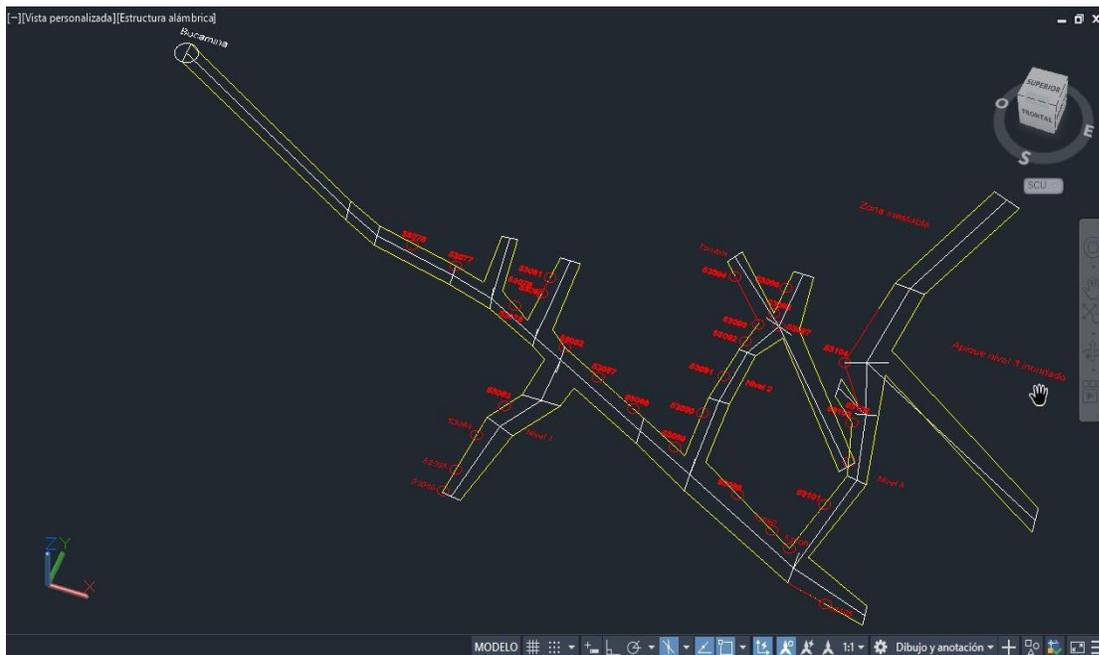
Se observa intenso venilleo de minerales como cuarzo+galena+pirita+Au, con vetillas desplazadas posiblemente por acción de fallas locales dentro de la mina (*Figura 24*).

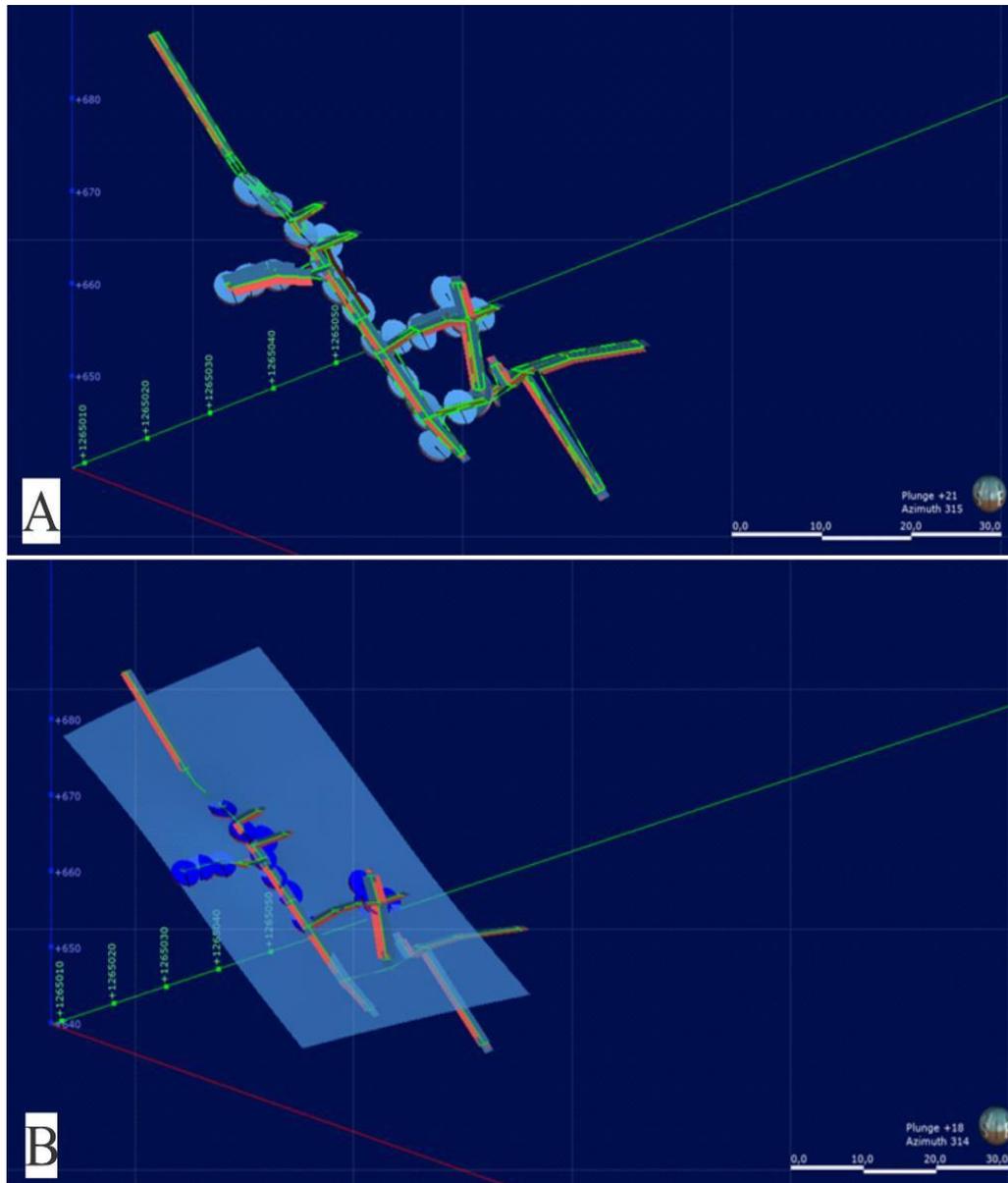


*Figura 23. Bocamina La Victoria; fuente propia.*

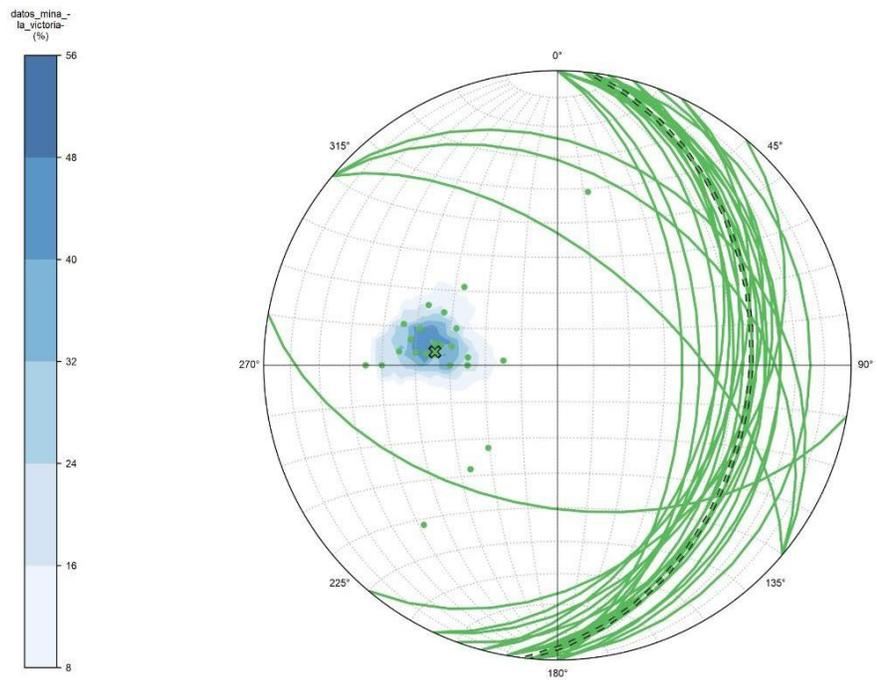


**Figura 24.** A-Sistema vetiforme deformado con sulfuros; B-Sistema de vetillas las cuales secortan y se desplazan entre sí con minerales de mena; fuente propia.





**Figura 26.** A-Vista 3D de la mina la Victoria en el programa Leapfrog con datos del muestreo; B-Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta; fuente propia



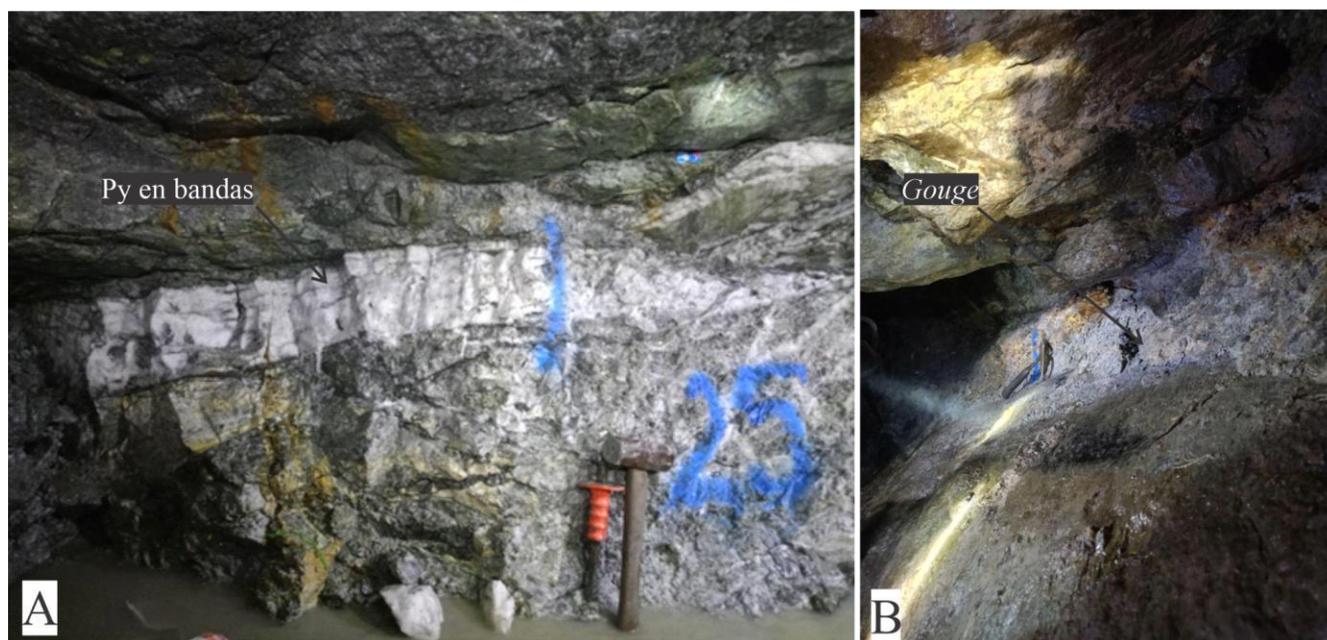
**Figura 27.** Proyección estereográfica en Dip/Dir 35°/90° de la estructura vetiforme en Leapfrog; fuente propia.

**Mina La Bartola**

Esta mina es una de las más antiguas de la zona, ya que cuenta con una historia de explotación de oro por más de 150 años, antiguamente operada por la empresa Choco Pacific Mining, actualmente se encuentra operado por la Sociedad Minera La Bartola (**Figura 28**). Se encuentra ubicada en el título 6376, muy cerca a la vía Otú-Remedios. El sistema vetiforme se encuentra encajado en el Batolito de Segovia, con vetas mineralizadas y zonas de falla (**Figura 29**) además se realizó un muestreo sistemático al apique principal y sus niveles con dirección preferencia Dip/Dir 30/80 (**Figura 33**).



*Figura 28. Bocamina Sociedad Minera La Bartola; fuente propia.*



*Figura 29. A-Veta la Bartola con Py en bandas pequeñas: B-Zona de falla, nótese abundante gouge plano de falla Dip/Dir 33/85; fuente propia.*



Figura 30. Muestreo canal-chip mina La Bartola; fuente propia.

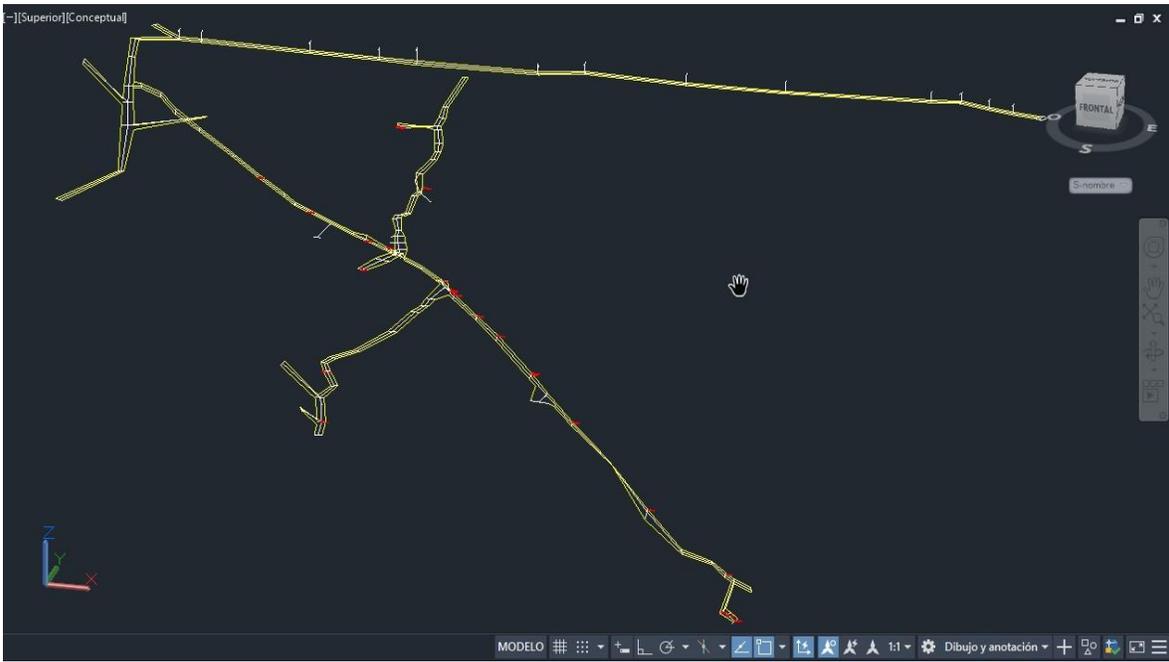
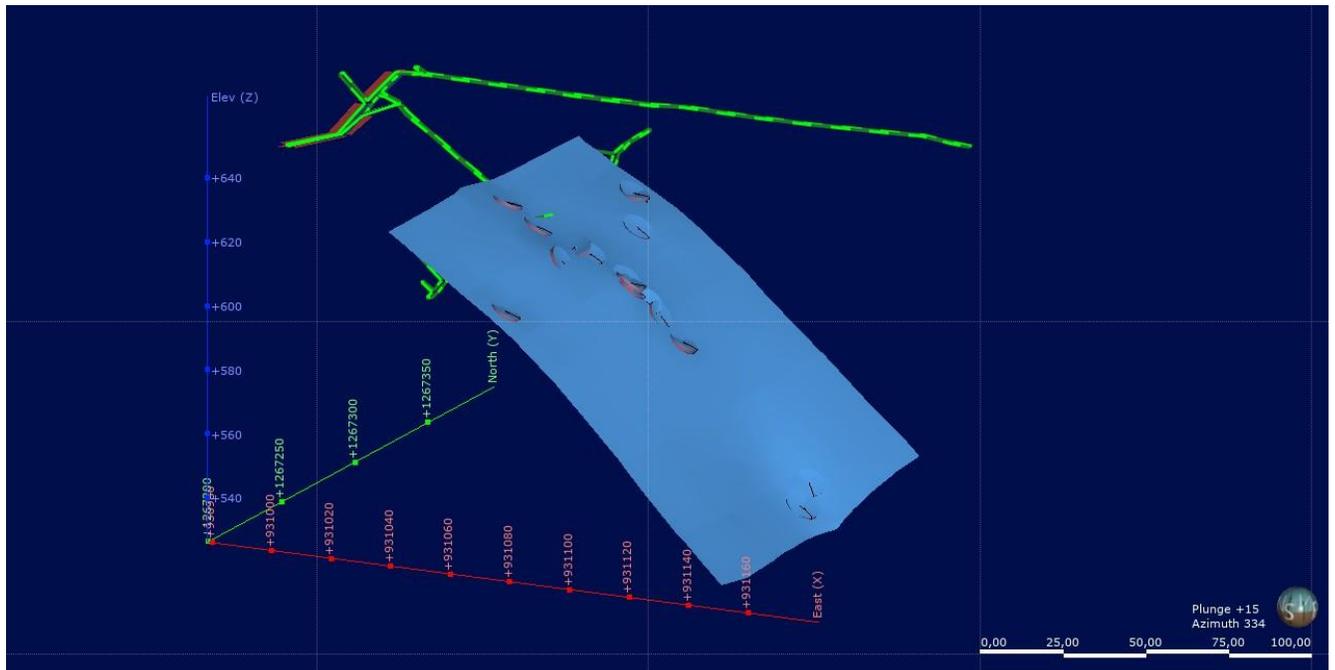
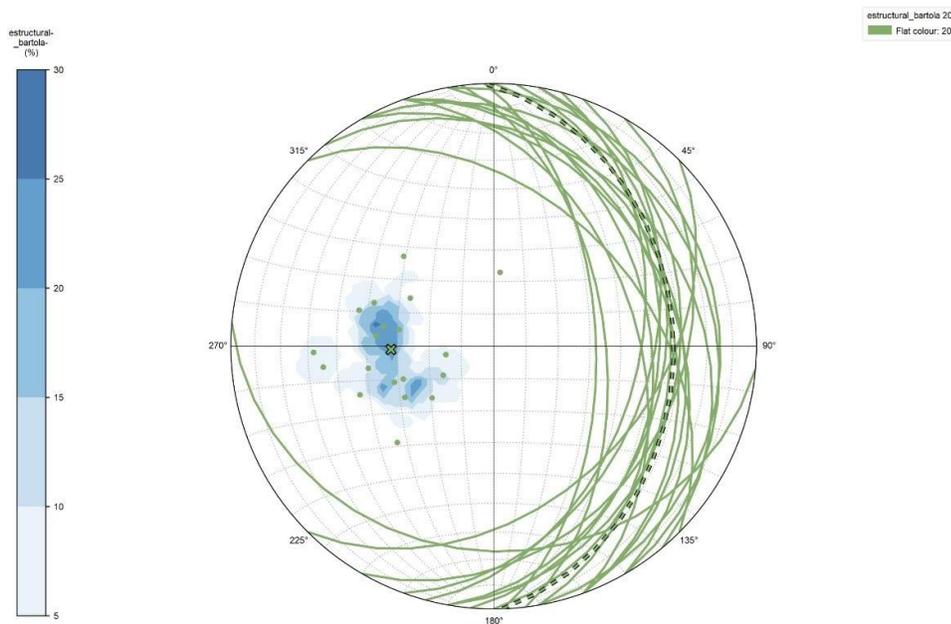


Figura 31. Levantamiento topográfico en AutoCAD de la Mina La Bartola; fuente propia.



**Figura 32.** Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta, mina La Bartola en Leapfrog; fuente propia.



**Figura 33.** Proyección estereográfica en Dip/Dir de la estructura vetiforme en Leapfrog con rumbo N-S buzando al E; fuente propia.

## Mina Las Abejas

Esta mina se encuentra localizada en el título minero 6002, al occidente de la falla Otú. En esta zona se encuentra un denso número de minas informales operadas por los habitantes del sector. Encajada en el Batolito de Segovia la dirección preferencial de esta estructura vetiforme es Dip/Dir 35/40 (*Figura 37*), por último, se realizó un muestreo sistemático a la cruzada, el apique y sus diferentes niveles (*Figura 34*).



**Figura 34.** A-Apique principal con muestreros de veta; B-Estructura vetiforme con sulfuros oxidados 15 cm de espesor; fuente propia.

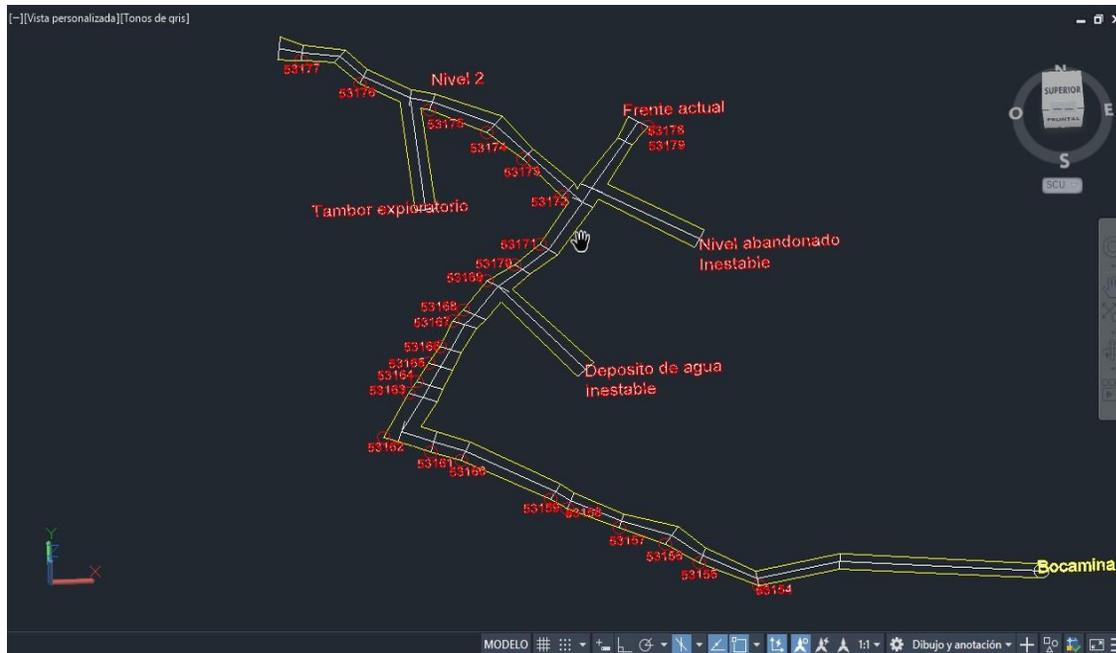


Figura 35. Levantamiento topográfico en AutoCAD de la Mina Las Abejas; fuente propia.

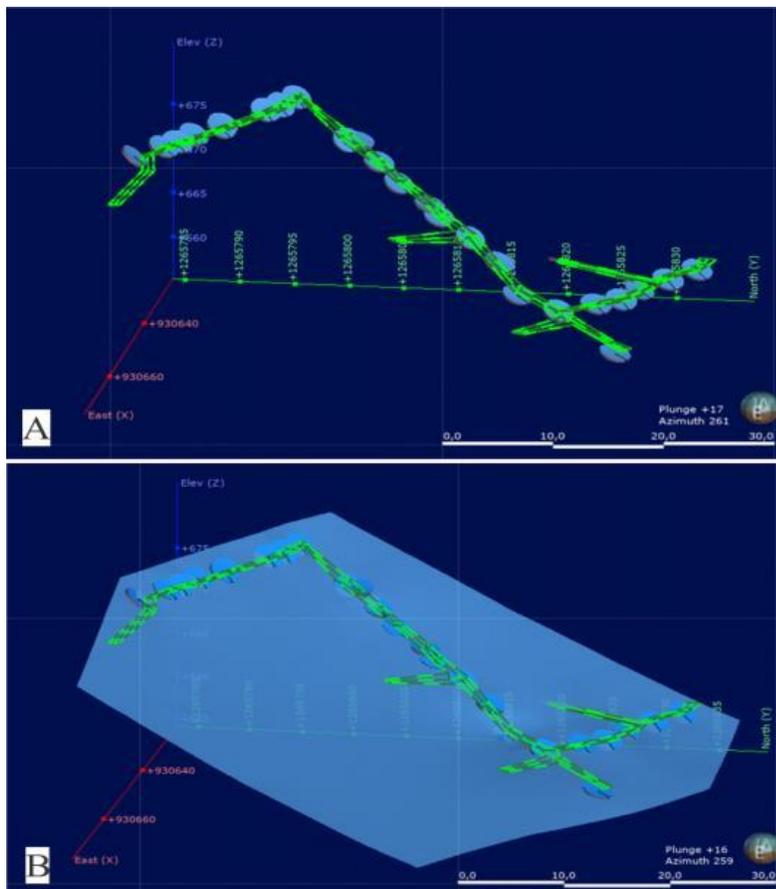
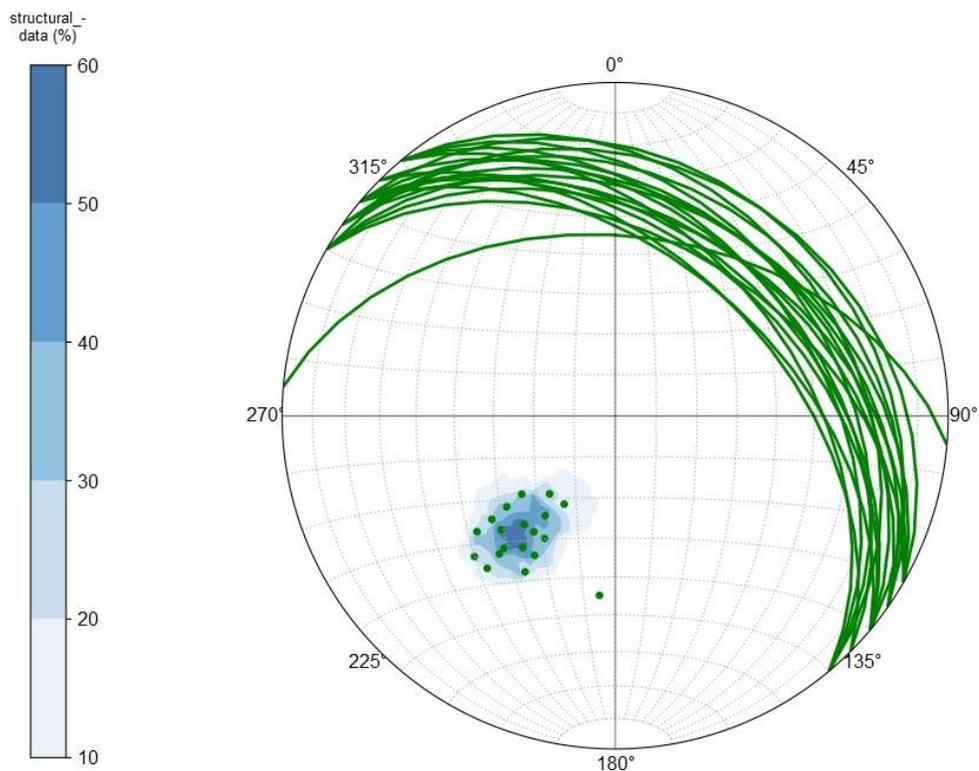


Figura 36. A-Vista 3D de la mina Las Abejas en el programa Leapfrog con datos del muestreo; B-Creación de malla con los puntos de muestreo para visualizar la veta; fuente propia.



**Figura 37.** Proyección estereográfica en Leapfrog Dip/Dir 35/40 mina las Abejas; fuente propia.

### Mina Matrona

Mina en contrato de concesión en el título minero IHF-08411, queda cerca a la autopista Santa Isabel-Remedios. La zona contiene un denso número de minas trabajadas artesanalmente por más de 100 años, la roca caja de las vetas mineralizadas es el Stock de Santa Isabel, este se encuentra en contacto intrusivo con las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca (**Figura 40**) la estructura vetiforme tiene una tendencia Dip/Dir 30/05 (**Figura 43**).



*Figura 38. Muestreo canal chip en la veta Matrona; fuente propia.*



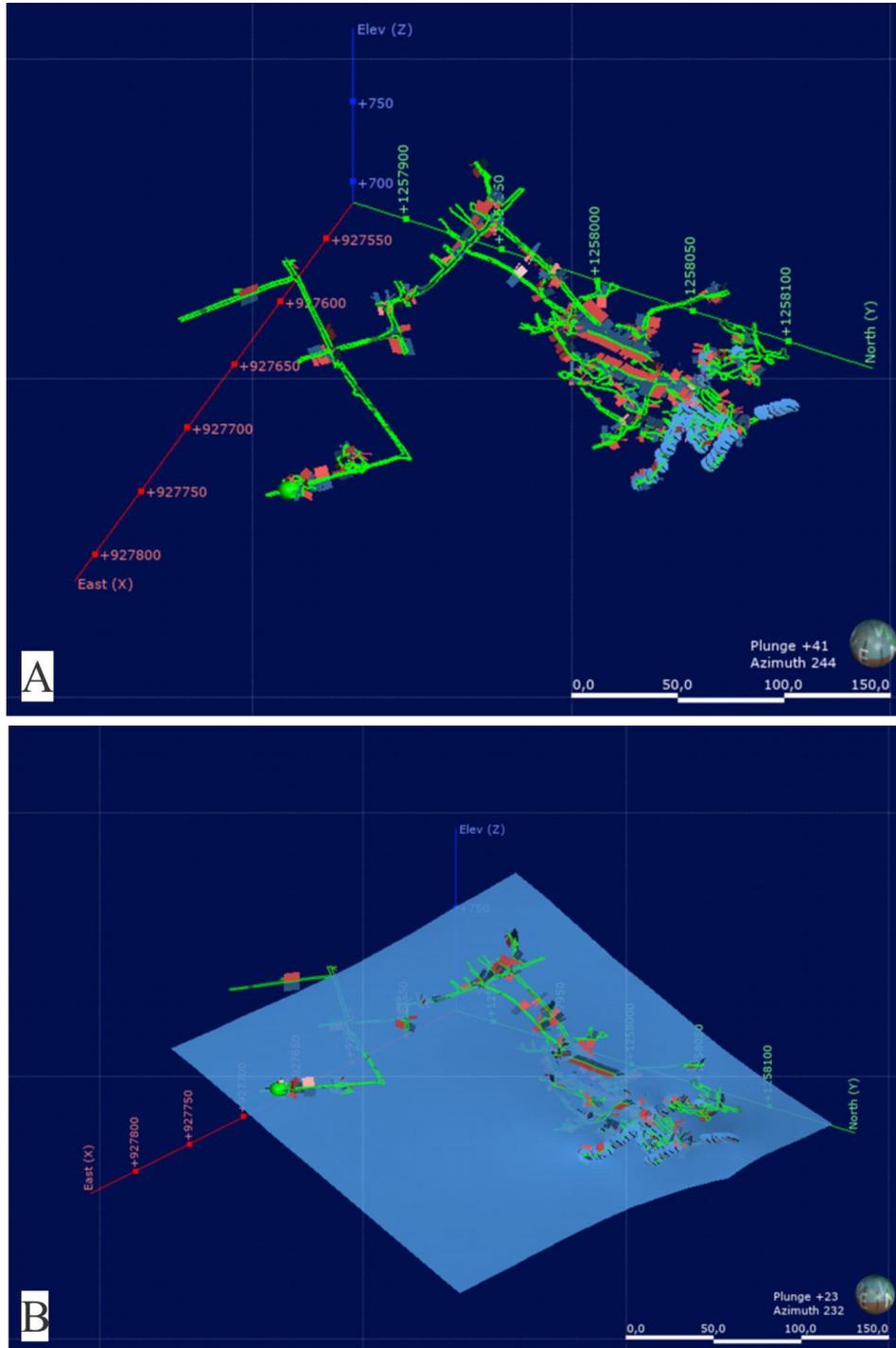
*Figura 39. A-Veta fracturada frágilmente de 1 m de espesor aproximadamente; B-Veta Matrona de 1.20 m; fuente propia.*



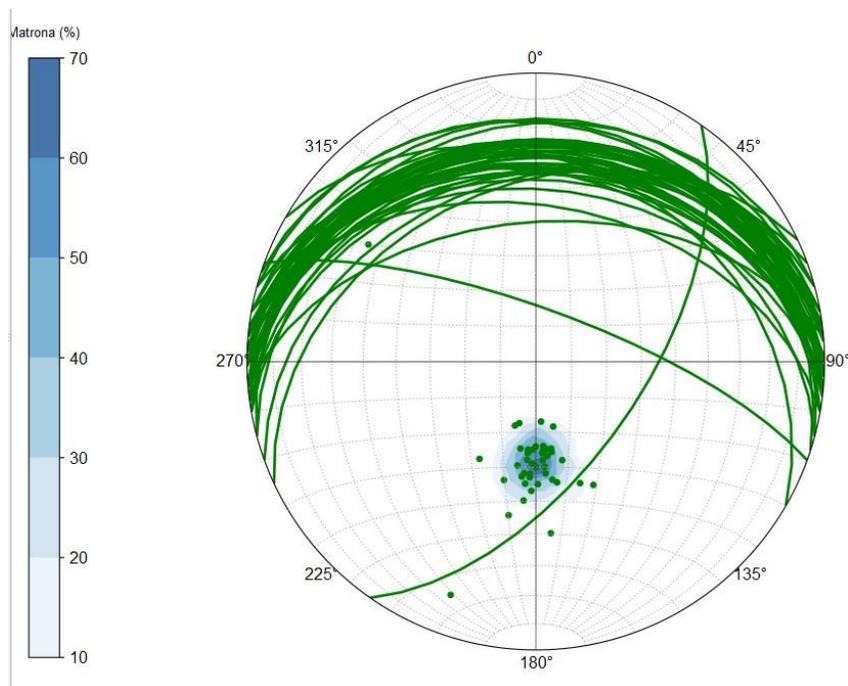
**Figura 40.** A-Contacto intrusivo entre el stock de Santa Isabel y anfibolitas del Complejo Cajamarca; B-Contacto intrusivo editado; fuente propia.



**Figura 41.** Levantamiento topográfico en 3D en AutoCAD de la mina Matrona; fuente propia.



**Figura 42.** A- Vista 3D en Leapfrog de la mina Matrona; B- Creación del modelo de la veta con los datos del muestreo; fuente propia.



**Figura 43.** Proyección estereográfica en Dip/Dir de la estructura vetiforme en Leapfrog con rumbo E-W buzando al N; fuente propia.

## 6.2 Mapa Geológico

El mapa geológico es uno de los insumos más importantes para la empresa ya que es necesario actualizar todas las unidades de la zona para realización de geoquímica detallada. Para la construcción del mapa geológico se utilizaron todos los datos disponibles del grupo de exploración, como la utilización de DEM de 12.5 metros y datos geográficos. Por último, se procesaron 7.159 datos de afloramientos en todos los títulos mineros de la empresa (**Tabla 1**). Estos datos fueron recolectados desde 2013 al 2023 por el grupo de exploración (**Figura 44**).

IDNo	Date	X	Y	Z	Licenci	Project	Sector	Geoligis	Rock Type	Code	Comment	Photo
6804	4/09/2023	923358	1271037	725	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6805	4/09/2023	923120	1270897	726	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6806	4/09/2023	923038	1270744	729	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6807	4/09/2023	923076	1270262	744	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Saprolito de esquistos anfibólicos con segregación de Qtz, óxidos de Mn, y con r	
6808	4/09/2023	923029	1270191	764	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquistos micáceos a anfibólicos de grano muy fino, cortados por una pequeña z	
6809	4/09/2023	923039	1270168	765	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6810	4/09/2023	922980	1270180	772	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquistos micáceos-cloríticos, con segregación de Qtz y una VQZ de 0.1 metros,	
6811	4/09/2023	922949	1270163	781	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6812	4/09/2023	922896	1270182	797	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6813	4/09/2023	922790	1270107	826	500014	Others	Vereda Las Palomas	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo anfibólico de grano fino	
6814	4/09/2023	922974	1271167	750	500014	Others	Vereda Las Palomas	FGV	Esquisto	SCH	Esquisto anfibolítico de grano fino, con bandas claras y oscuras	
6815	4/09/2023	923046	1271134	767	500014	Others	Vereda Las Palomas	FGV	Esquisto	SCH	Esquisto anfibolítico de grano fino, con bandas claras y oscuras	
6816	4/09/2023	922638	1270628	778	500014	Others	Vereda Las Palomas	FGV	Esquisto	SCH	Esquisto anfibolítico de grano fino, con bandas claras y oscuras	
6817	4/09/2023	922524	1270502	783	500014	Others	Vereda Las Palomas	FGV	Esquisto	SCH	Esquisto anfibolítico de grano fino, con bandas claras y oscuras	
6818	6/09/2023	917094	1252157	1003	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	
6819	6/09/2023	917032	1252504	1042	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	
6820	6/09/2023	917415	1252831	1026	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Gneiss	GNS	Gneiss cuarzo-feldespático de biotita y anfíbol con estructura milonítica leve	
6821	6/09/2023	917469	1252845	1014	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Gneiss	GNS	Gneiss cuarzo-feldespático de biotita y anfíbol con estructura milonítica leve	
6822	6/09/2023	917578	1252868	999	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	
6823	6/09/2023	917641	1252908	997	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	
6824	6/09/2023	917731	1253302	959	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	
6825	6/09/2023	917819	1253300	952	KIT-08081	Bullet JV	Mata Alta	LC	Esquisto	SCH	Esquisto micáceo, cuarzo-anfibólico, de grano fino	

Tabla 1. Formato para el ingreso de datos de afloramientos en campo.

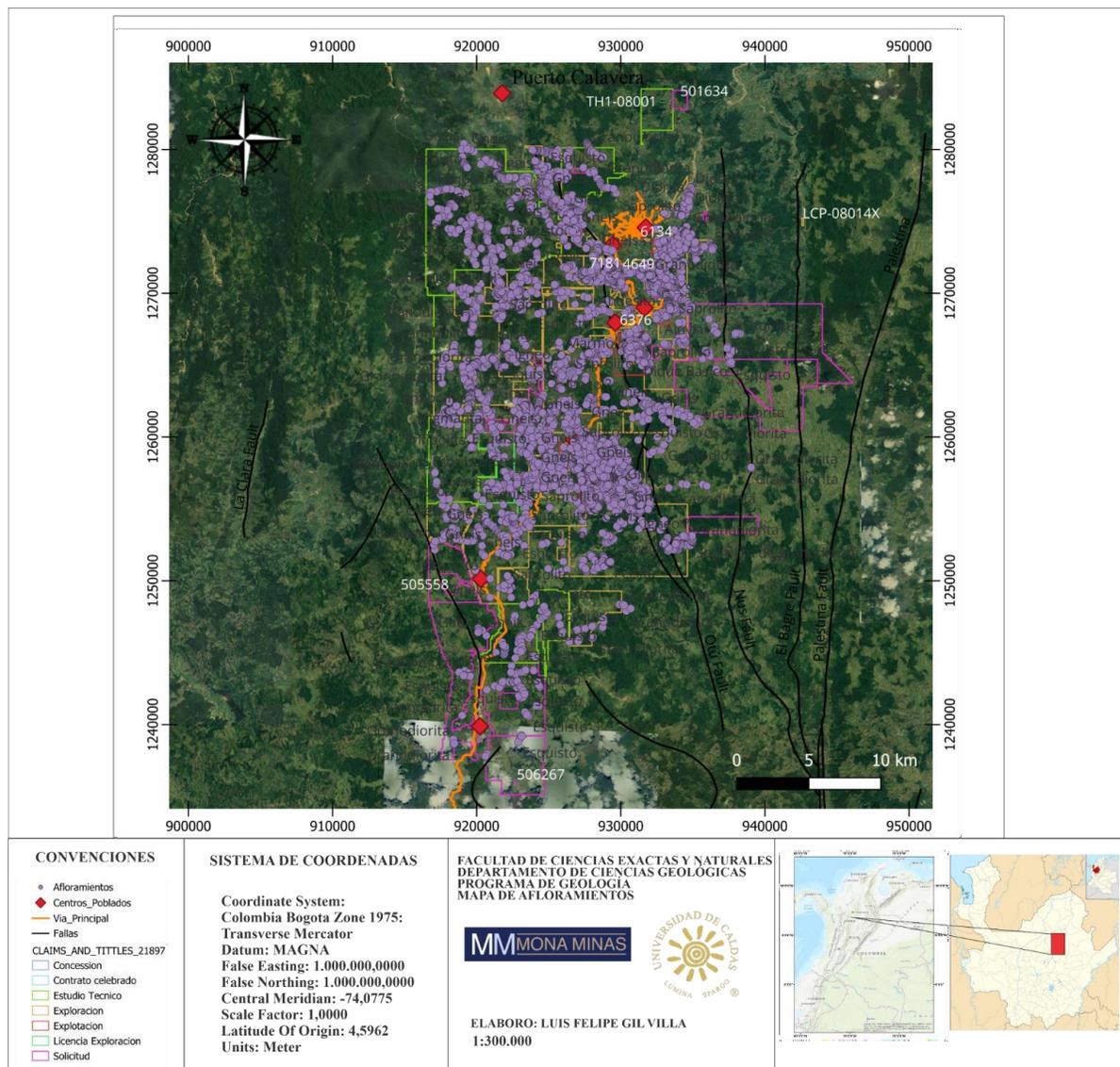
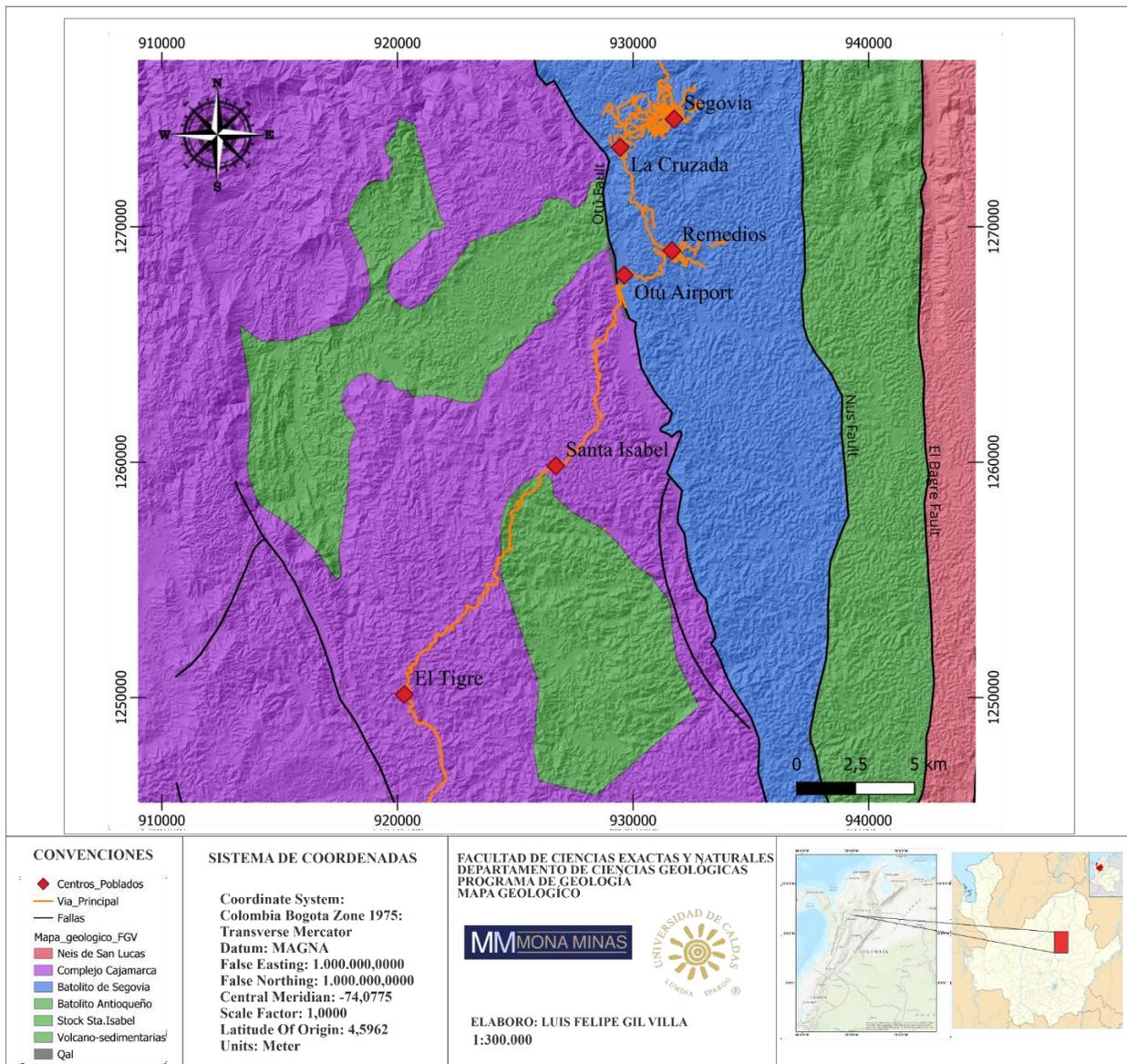


Figura 44. Mapa de puntos de afloramientos en la zona de estudio en el DMSR; fuente propia.

Seguidamente se introducen todos los datos de tipos de rocas en archivos .csv al programa QGIS, realizando polígonos delimitando las unidades geológicas de la zona de estudio, ejecutándolos en archivos *shapefile*, alimentando la tabla de atributos con los polígonos elaborados, y lineamientos trazados como se observa en la (**Figura 45,46**).



**Figura 45.** Mapa geológico de la zona de estudio en el DMSR; fuente propia.

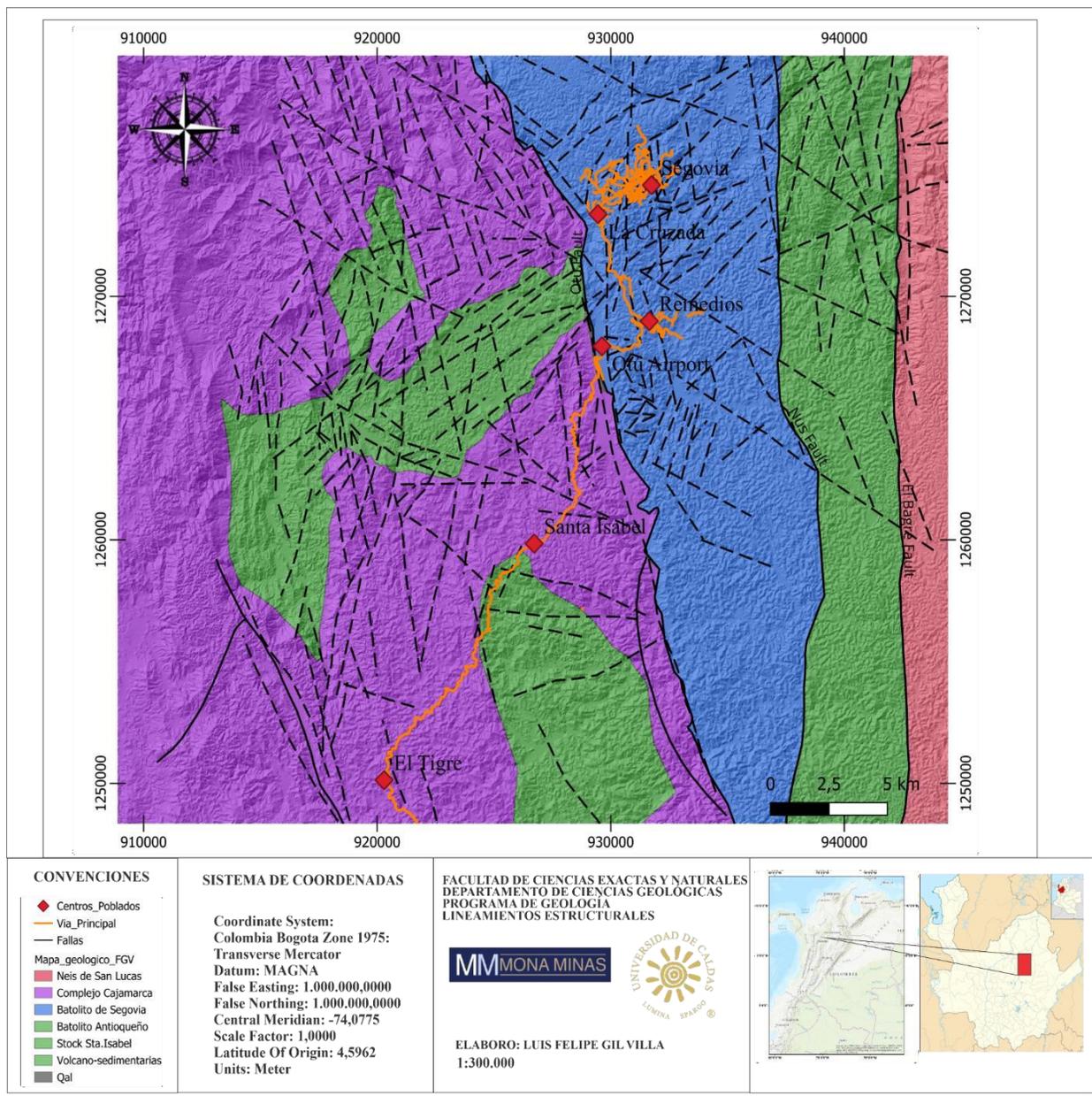
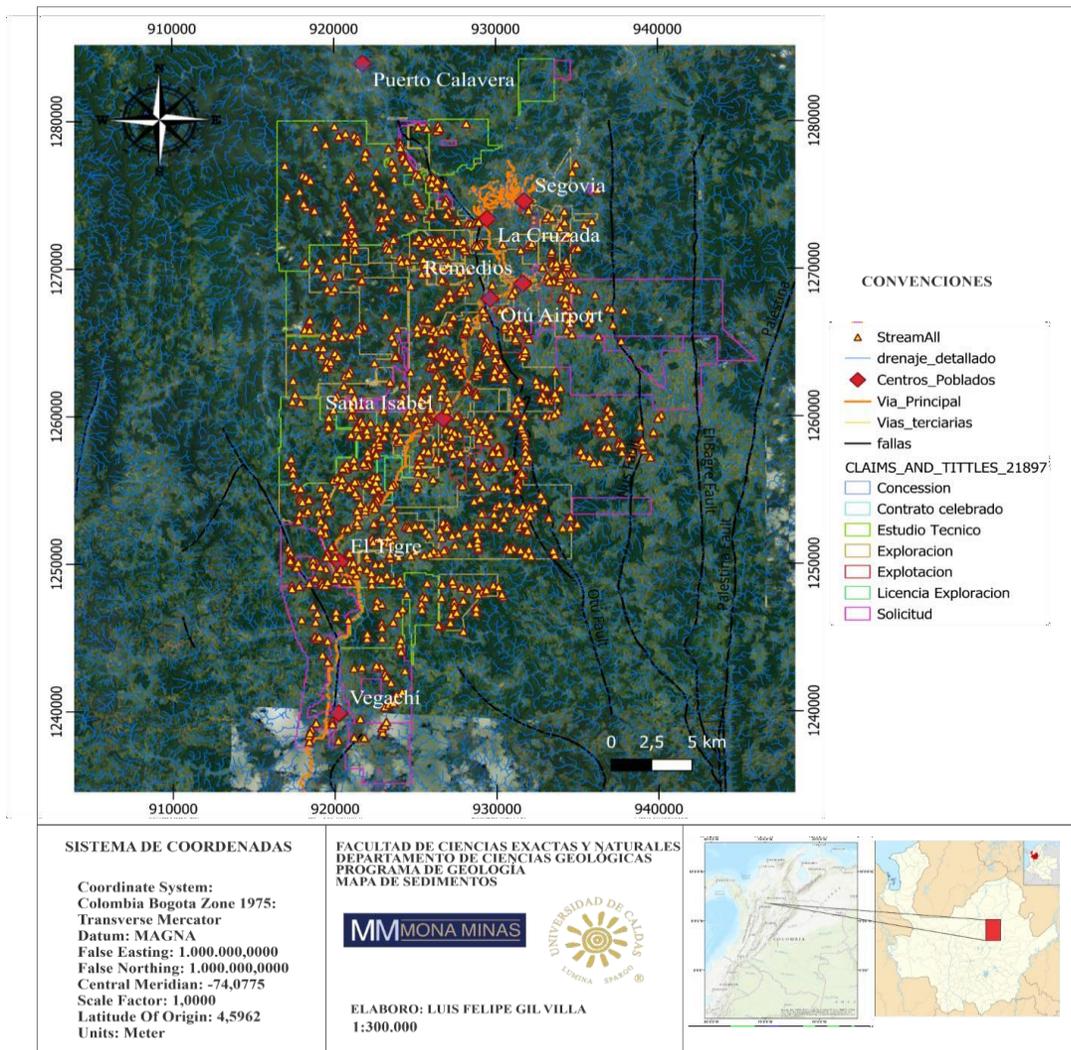


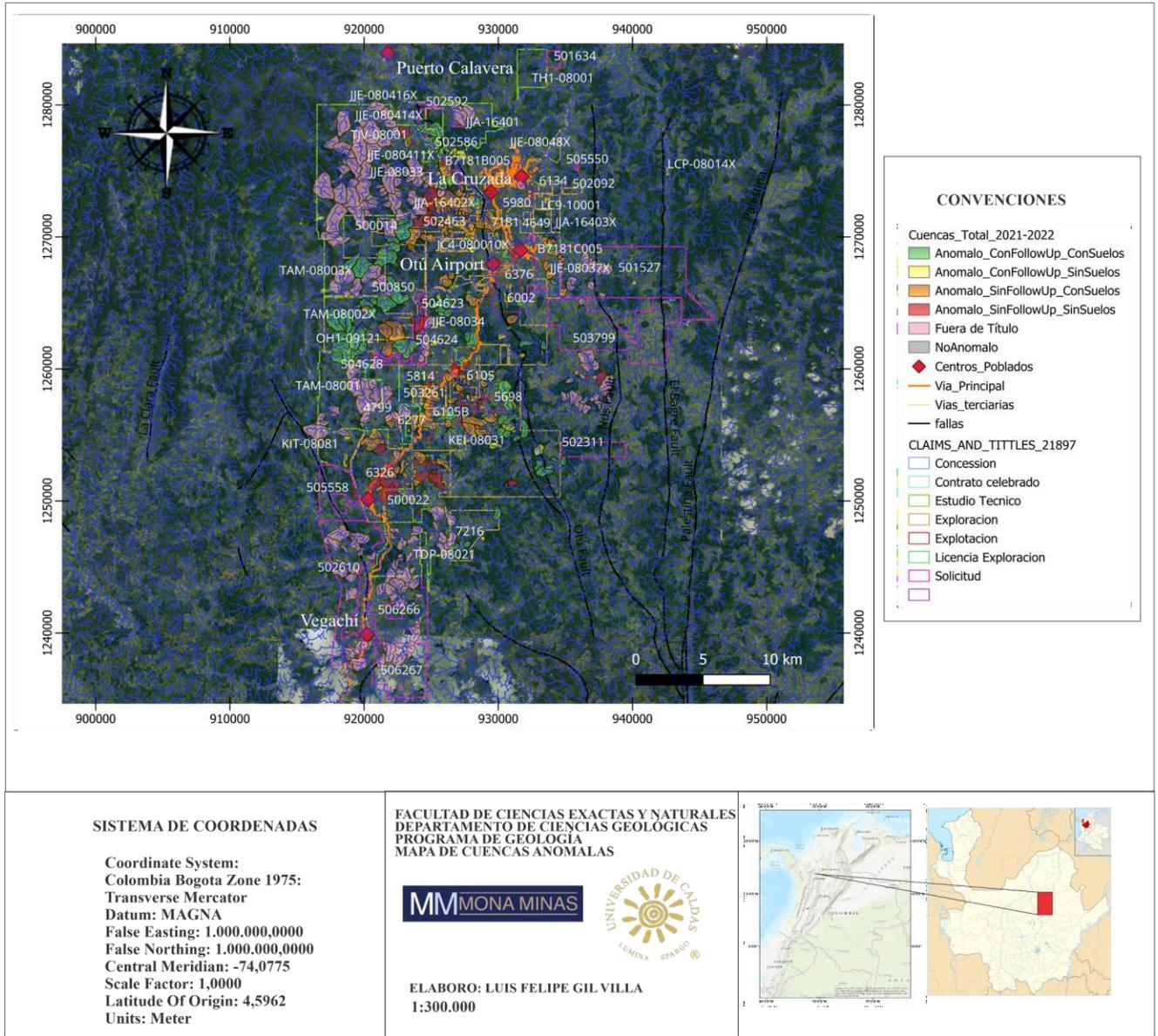
Figura 46. Mapa geológico con lineamientos estructurales en el DMSR; fuente propia.

### 6.3 Seguimiento de cuencas anómalas

Después de haberse realizado una campaña de muestreo de sedimentos (2015- 2022). El grupo de exploración, definió las cuencas anómalas en todos los títulos mineros de la empresa (*Figura 48*), el procedimiento a seguir fue recorrer cada una de estas cuencas, buscando rodados de estructuras vetiformes mineralizadas, tratando de encontrar su origen, para después ser rotuladas y llevadas a laboratorio (*Figura 49,50*), así con esto definir las siguientes zonas para el muestreo de suelos. Se realizaron alrededor de 970 muestreo de sedimentos en los diferentes drenajes de la zona (*Figura 47*).



*Figura 47. Mapa de muestreo de sedimentos en los títulos de la empresa en el DMSR; fuente propia.*



**Figura 48.** Mapa de Cuencas anómalas en los títulos mineros de la empresa en el DMSR; fuente propia.

La (Tabla 2) representa la información recolectada en campo para su posterior discusión y análisis.

ID	Date	X	Y	Z	License	Follow Up	Potencial	Suelos	Geólogo	Comm
30295	1/09/2023	918406	1254346	815	KIT-08081	Ejecutado	No Pasa		LC-KCR	Cuenca con bajo potencial; únicamente presentándose rocas metamórficas, con rodados de Qtz con baja oxidación, sin contenido de sulfuros ni valores apreciables de Au (todas las muestras <0.2 ppm)
30846	4/09/2023	923225	1271439	717	500014	Ejecutado	Pasa	Pendiente	FGV	Cuenca con potencial, se observa trabajo de retroescabadoras y mucho riego de Qz con sulfuros finos; además se observan rastros de barequeo artesanal a lo largo de las quebradas.
30847	4/09/2023	923403	1271299	711	500014	Ejecutado	Pasa	Pendiente	LC	Cuenca con mucho potencial, con abundancia de riegos de Qtz con sulfuros; presencia de trabajos de barequeo y aluviales con retro, así como una mina subterránea (La Parcela)
30538	11/09/2023	930521	1266130	642	6002	Ejecutado	Pasa	Pendiente	FGV	Cuenca con buen potencial, se observa bastantes riegos de VQZ, además de una mina abandonada, trabajos de retroescabadoras y dragas
30537	11/09/2023	930568	1265919	626	6002	Ejecutado	Pasa	Pendiente	JEG	Cuenca con buen potencial, se observa bastante riegos de VQZ sobretodo en la parte baja de la cuenca. Posible continuidad de la veta explotada en la mina corazones. Presencia de avances mineros abandonados. Prsencia de estructuras vetiformes cerca a la cuenca
30425	11/09/2023	932031	1265197	578	6002	Ejecutado	Pasa	Ejecutado	LC	Cuenca con buen potencial, con riegos de cuarzo, especialmente en la parte baja, en la vega, con presencia de vetillas encajadas en IGD del Batolito de Segovia, y en cercanía a zonas mineras subterráneas y con trabajos de dragas y barequeo superficiales

Tabla 2. Formato en Excel para el ingreso de datos de las cuencas visitadas.



Figura 49.A- Consecutivo de la muestra con punto GPS para ser enviada a laboratorio; B- Muestra de roca con mineralización; fuente propia.



**Figura 50.**A-Cuenca con trabajos de retroexcavadora; B-Muestra de roca con mineralización y oxidación; fuente propia.

#### 6.4 Muestreo de suelos

Después de definir las cuencas anómalas, haciéndole seguimiento aguas arriba *FollowUp*, se define una malla de muestreo de suelos en el área de interés, por lo regular se realizan mallas de 100 x 100 metros (**Figura 52**), en donde se cubre toda el área de la cuenca, seguidamente con una paladraga, se llega hasta el horizonte B, aproximadamente 0.60 m de profundidad (**Figura 53**), donde la dispersión de los elementos geoquímicos es mayor; se toma la muestra, se rotula debidamente y se agrega el punto de ubicación al GPS, además se limpian todos los objetos para evitar la contaminación de las muestras como se muestra en la (**Figura 54**). Seguidamente la (**Tabla 3**) representa los datos ingresados después de las campañas exploratorias.

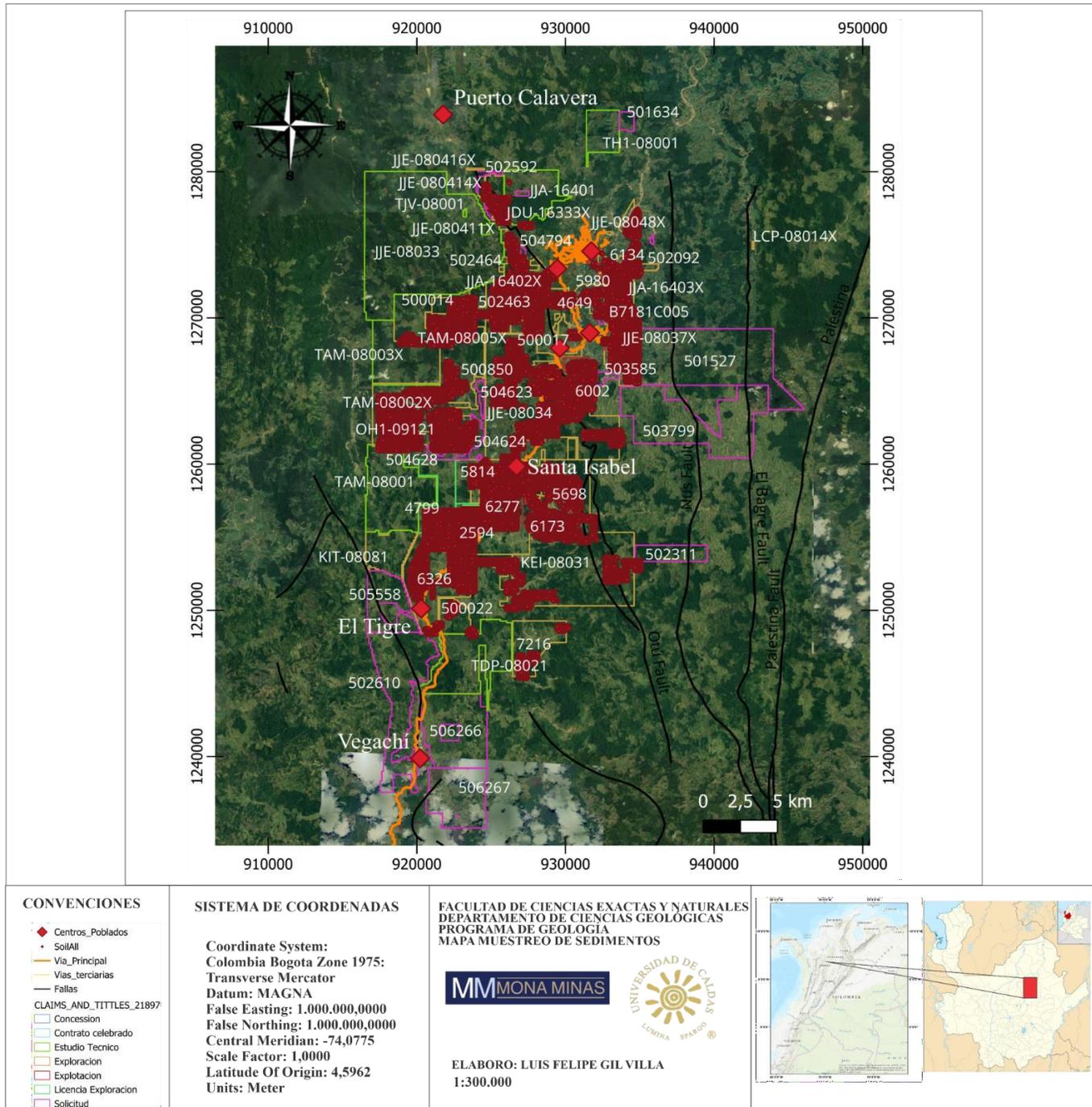
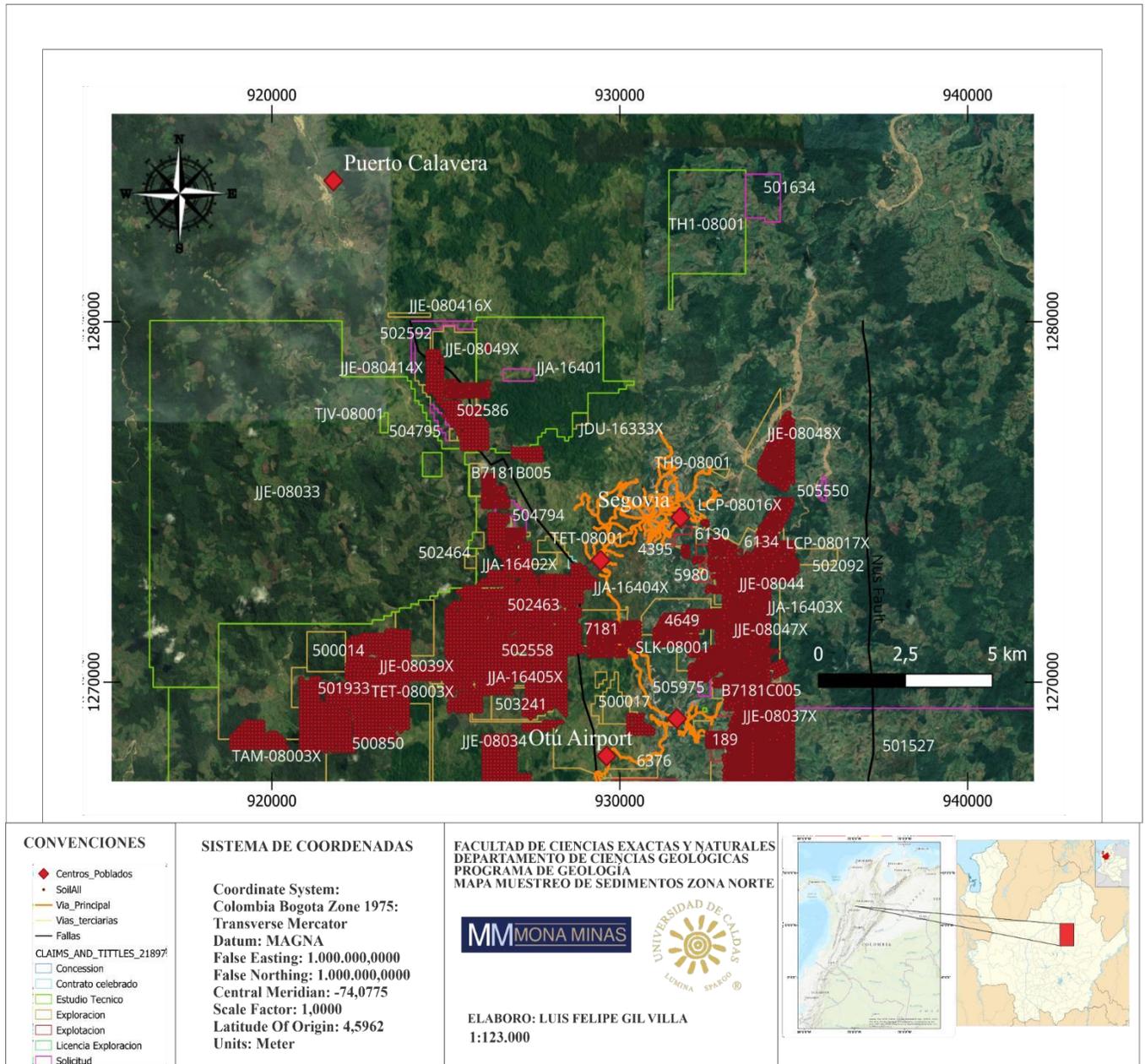


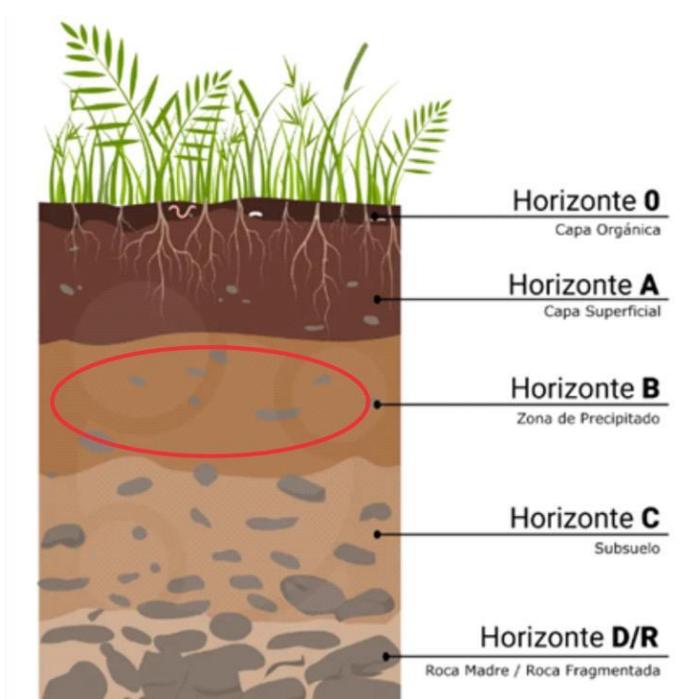
Figura 51. Mapa de muestreo de suelos en los títulos mineros de la empresa; fuente propia.



**Figura 52.** Muestreo de suelos en malla 100x100 m en el bloque norte del DMSR; fuente propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	Date	Project	License	Geologist/Assistant	X	Y	Z	Type
36229	SL 101327	2023-12-15	Bullet JV	JJE-08034	SVR	928794	1263106	727	Soil
36230	SL 101328	2023-12-15	Bullet JV	JJE-08034	SVR	928695	1263100	773	Soil
36231	SL 101329	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927925	1258104	804	Soil
36232	SL 101330	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927826	1258103	789	Soil
36233	SL 101331	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927722	1258104	808	Soil
36234	SL 101332	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927625	1258105	776	Soil
36235	SL 101333	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927523	1258105	746	Soil
36236	SL 101334	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927525	1258004	749	Soil
36237	SL 101335	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927626	1258004	784	Soil
36238	SL 101336	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927726	1258005	758	Soil
36239	SL 101337	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927825	1258005	780	Soil
36240	SL 101338	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927825	1257906	762	Soil
36241	SL 101339	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927725	1257902	734	Soil
36242	SL 101340	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927627	1257906	758	Soil
36243	SL 101341	2023-12-17	Bluegold	IHF-08411	JLP	927524	1257902	779	Soil

**Tabla 3.** Formato en Excel para la actualización diaria del muestreo de suelos.



**Figura 53.** Muestreo de suelos en el horizonte B tomado y modificado de (CSR LABORATORIO, 2023).



**Figura 54.** A-Toma de muestra de sedimento horizonte B; B-Limpieza de paladraga para evitar la contaminación de las muestras; fuente propia.



**Figura 55.** Muestras de suelos rotuladas y debidamente georreferenciadas para ser enviadas al laboratorio; fuente propia.

Por último, los suelos que se realizaron en la campaña de exploración como se muestra en la (*Figura 52*) son rotulados y empacados evitando la contaminación y debidamente georreferenciados (*Figura 55*). Luego son enviados al laboratorio de Quintana SAS, donde estas muestras son analizadas con difracción de rayos X con el dispositivo Niton XL3T (*Figura 56,57*) detectando variedad de elementos químicos en ppm, los resultados arrojados por este dispositivo serán analizados para encontrar anomalías geoquímicas de suelos en el sector norte del DMSR.



*Figura 56.* Dispositivo Niton XL3T; tomado y modificado de [www.technologywg.com/niton-xl3/](http://www.technologywg.com/niton-xl3/).

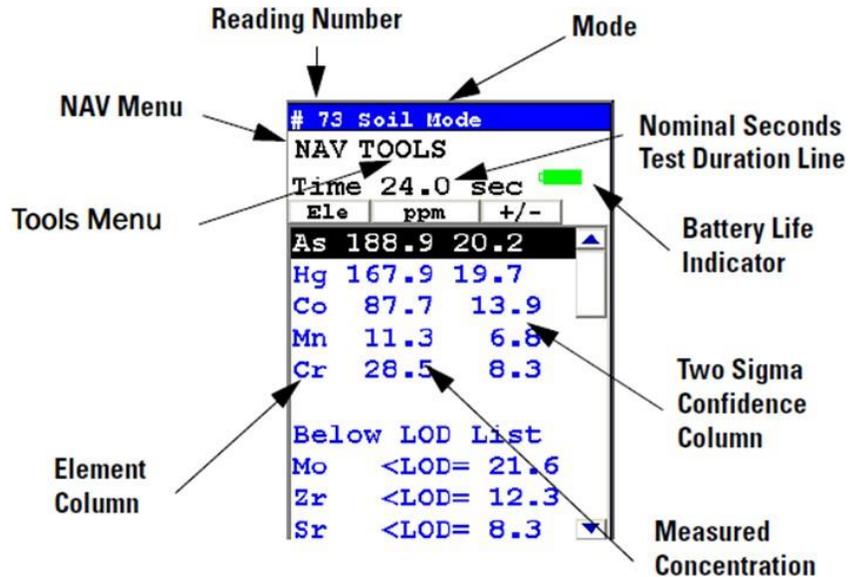


Figura 57. Menú de configuración; tomado y modificado de [www.technologywg.com/niton-xl3/](http://www.technologywg.com/niton-xl3/).

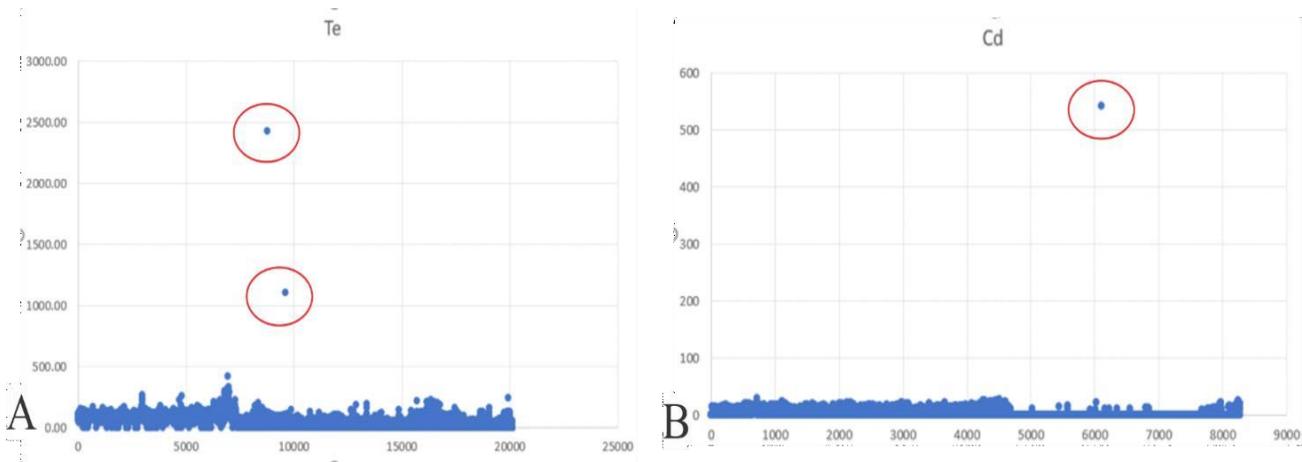
## 6.5 Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó con la ayuda del software Excel y la plataforma geoquímica ioGAS, donde se procesaron alrededor de 9.833 datos, donde se les realizó un tratamiento estadístico pertinente para que los resultados obtenidos sean lo más confiables posibles, ya que son datos muy importantes para la empresa. Para el análisis se realizaron los siguientes pasos:

- Se ejecutó primero un capeado eliminando datos atípicos, que no son representativos en el conjunto de datos, este capeado se realiza calculando los datos que estén muy alejados de la media esto se hace con el fin de evitar falsas anomalías (*Figura 58*).
- Normalización de los datos en LOG(10) en el software ioGAS, además se ejecutaron histogramas y gráficos de dispersión X-Y para encontrar correlaciones entre elementos. La normalización de los datos se realiza para que datos que estén muy altos, queden dentro

de un rango, y los histogramas se realizan para observar gráficamente la distribución de los datos (*Figura 59*).

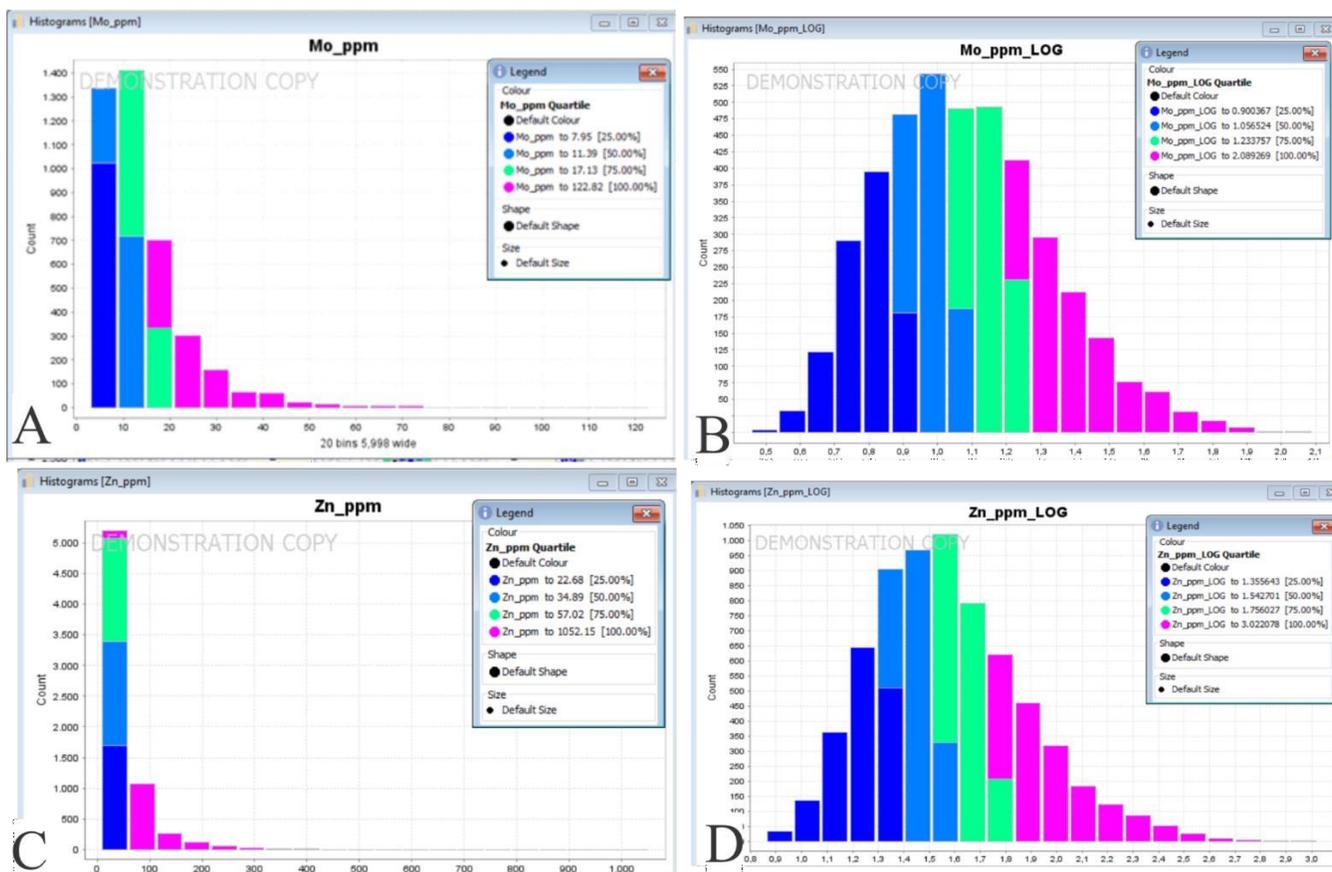
- Se realizó discriminación de muestreo de suelos por litologías de la zona norte, para encontrar diferencias geoquímicas.
- Seguidamente se realizó una matriz de correlación de Pearson por litologías donde se mide el grado de relación entre cada variable, para así hallar los Pathfinder del yacimiento mineral como se observa en las (*Figuras 61,65,67*).
- Comparación de elementos químicos encontrados con la tabla periódica de elementos para ciencias de la tierra (*Figura 62*).
- Las (*Figuras 64,66,68*) representan los mapas de elementos químicos por litología realizado en ioGAS.
- Después de hallar los pathfinder para cada unidad litológica, se realiza un tratamiento estadístico en Excel con rangos y percentiles con todos los elementos indicadores, discriminados por litología como se observan en las (*Tablas 5,6,7*).



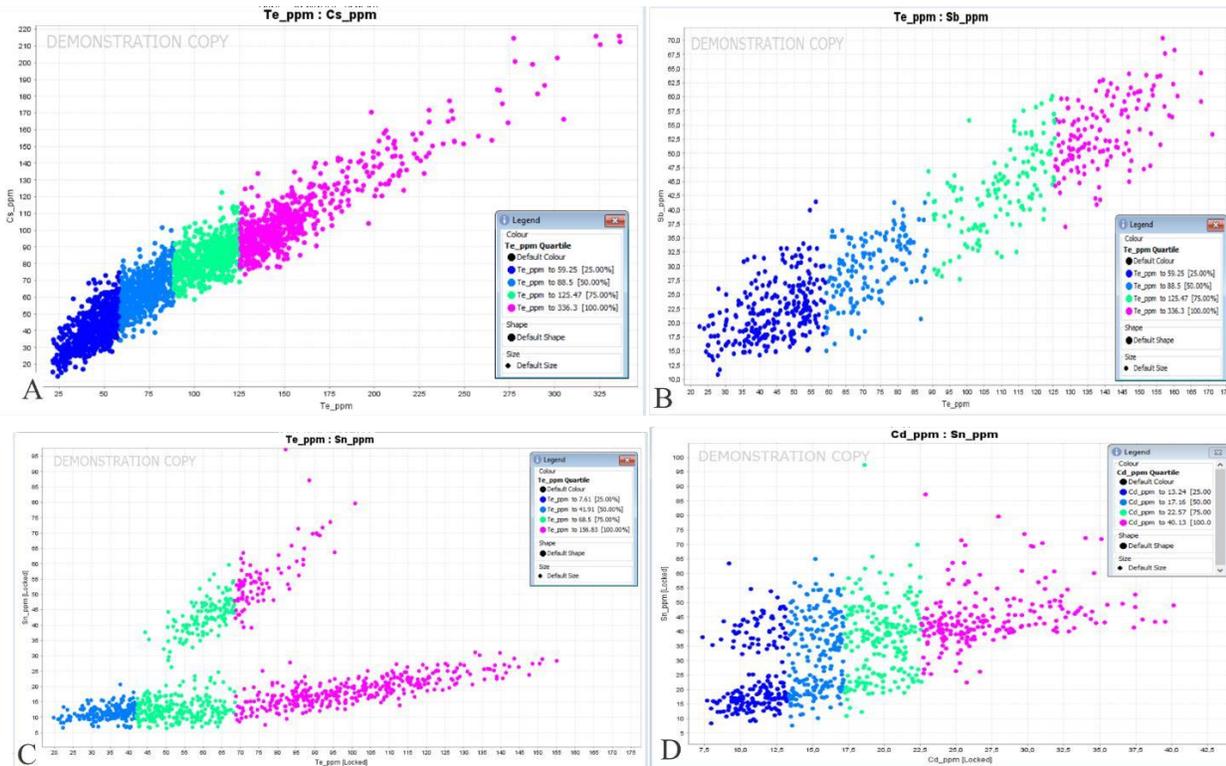
**Figura 58.** A-Datos de Te que no están dentro del rango normal de datos; B-Dato de Cd que no es representativo en el conjunto de datos; fuente propia.

Sample	LD	Date	X	Y	Au	Ag	As	Bi	Cd	Cu	Mo
57868	LD1.0	1/02/2017 15:20	933819	1273449	0	0	6.91	0	0	0	11.58
57869	LD1.0	1/02/2017 15:23	933829	1273449	0	0	7.88	0	0	27.57	8.99
57870	LD1.0	1/02/2017 15:28	933838	1273450	0	0	0	0	0	0	0
57871	LD1.0	1/02/2017 15:31	933849	1273449	0	0	4.83	0	0	35.35	0
57872	LD1.0	1/02/2017 15:34	933857	1273449	0	0	8.99	0	0	0	8.19
57873	LD1.0	1/02/2017 15:36	933868	1273452	0	0	0	15.44	0	0	0
57874	LD1.0	1/02/2017 15:40	933878	1273451	0	0	0	0	0	0	7.82
57875	LD1.0	1/02/2017 15:42	933888	1273451	0	0	8.41	0	0	0	0
57876	LD1.0	1/02/2017 15:45	933897	1273451	0	0	15.2	0	0	0	0
57877	LD1.0	1/02/2017 15:48	933909	1273451	0	0	12.25	0	0	0	0
57878	LD1.0	1/02/2017 15:52	933919	1273451	0	0	12.42	0	0	0	0
57879	LD1.0	1/02/2017 15:55	933929	1273451	0	0	24.73	0	0	0	0
57880	LD1.0	1/02/2017 15:58	933938	1273451	0	0	0	0	0	0	0
57881	LD1.0	1/02/2017 16:01	933948	1273452	0	0	13.05	0	0	0	0
57882	LD1.0	1/02/2017 16:05	934388	1273450	0	0	0	0	0	0	0
57883	LD1.0	1/02/2017 16:24	934378	1273451	0	0	0	0	0	0	6.5
57884	LD1.0	1/02/2017 16:26	934369	1273451	0	0	0	0	0	0	0
57885	LD1.0	1/02/2017 16:29	934359	1273450	0	0	0	0	0	0	0
57886	LD1.0	1/02/2017 16:32	934348	1273451	0	0	0	0	14.63	0	0
57887	LD1.0	1/02/2017 16:35	934339	1273451	0	0	29.17	0	10.89	0	0
57888	LD1.0	1/02/2017 16:38	934330	1273451	12.51	0	7.53	0	15.56	0	5.29
57889	LD1.0	1/02/2017 16:41	934320	1273451	13.55	6.05	3.72	0	12.08	0	5.92
57890	LD1.0	1/02/2017 16:44	934308	1273451	0	8.18	21.34	0	0	0	0
57891	LD1.0	1/02/2017 16:47	934298	1273451	0	0	16.59	0	0	44.18	0
57892	LD1.0	1/02/2017 16:50	934288	1273451	0	7.37	7.97	0	11.67	28.03	0

**Tabla 4.** Ejemplo de los datos arrojados por el Niton XL3T.



**Figura 59.** A-Distribución del Molibdeno sin normalizar; B-Histograma de frecuencias con la data normalizada, nótese su distribución normal; C-Zn sin normalización de datos; D-Zn normalizado; Realizado en ioGAS; fuente propia.



**Figura 60.** A-Diagrama de dispersión Te-Cs, nótese su correlación directa; B-Diagrama de dispersión Te-Sb sus datos son más dispersos pero muestran una relación directa entre variables; C-Diagrama de dispersión Te-Sn con 2 tendencias lineales; D-Cd-Sn con 2 tendencias lineales positivas; Realizado en ioGAS; fuente propia.

### Batolito de Segovia:

Se analizaron en total 8.273 datos de muestreo de suelos para el Batolito de Segovia, estos valores se trataron de correlacionar, esto nos indica el grado de relación lineal existente entre cada par de variables, a esto se le conoce como la matriz de correlación de Pearson (**Figura 61**). Los valores relacionados pueden estar entre -1 y +1. El valor de correlación es positivo si las dos variables tienen tendencia a aumentar o disminuir al mismo tiempo. El valor de correlación es negativo cuando una variable aumenta mientras que la otra variable disminuye, para esta unidad geológica, se encontró lo siguiente:

Correlation - 6953 r...	Au_ppb_LOG	Ag_ppm_LOG	As_ppm_LOG	Bi_ppm_LOG	Cd_ppm_LOG	Cu_ppm_LOG	Mo_ppm_LOG	Pb_ppm_LOG	Sb_ppm_LOG	Sn_ppm_LOG	W_ppm_LOG	Zn_ppm_LOG	Cs_ppm_LOG	Pd_ppb_LOG	Te_ppm_LOG
Au_ppb_LOG	1	0.21	0.16	0.46	0.0038	0.66	0.34	0.072	0.54	0.32	0.63	0.22	0.26	0.025	0.52
Ag_ppm_LOG	0.21	1	0.3	0.11	0.28	0.34	0.062	0.32	0.23	0.34	-0.2	0.28	0.14	0.37	0.11
As_ppm_LOG	0.16	0.3	1	0.091	0.093	0.34	-0.052	0.64	0.21	0.13	-0.066	0.41	0.036	0.043	0.12
Bi_ppm_LOG	0.46	0.11	0.091	1	-0.068	0.28	0.091	0.26	-0.048	0.072	-0.011	0.28	-0.1	-0.22	-0.099
Cd_ppm_LOG	0.0038	0.28	0.093	-0.068	1	0.15	-0.11	0.12	0.48	0.53	-0.069	0.095	0.43	0.78	0.48
Cu_ppm_LOG	0.66	0.34	0.34	0.28	0.15	1	0.22	0.39	0.14	0.2	0.18	0.43	0.15	0.33	0.17
Mo_ppm_LOG	0.34	0.062	-0.052	0.091	-0.11	0.22	1	0.052	-0.25	-0.15	-0.23	0.15	-0.22	0.017	-0.2
Pb_ppm_LOG	0.072	0.32	0.64	0.26	0.12	0.39	0.052	1	0.084	0.12	-0.28	0.56	-0.054	0.28	0.05
Sb_ppm_LOG	0.54	0.23	0.21	-0.048	0.48	0.14	-0.25	0.084	1	0.64	0.64	0.0049	0.72	0.75	0.83
Sn_ppm_LOG	0.32	0.34	0.13	0.072	0.53	0.2	-0.15	0.12	0.64	1	0.39	0.12	0.53	0.77	0.6
W_ppm_LOG	0.63	-0.2	-0.066	-0.011	-0.069	0.18	-0.23	-0.28	0.64	0.39	1	-0.14	0.53	-0.037	0.72
Zn_ppm_LOG	0.22	0.28	0.41	0.28	0.095	0.43	0.15	0.56	0.0049	0.12	-0.14	1	0.0041	0.2	0.014
Cs_ppm_LOG	0.26	0.14	0.036	-0.1	0.43	0.15	-0.22	-0.054	0.72	0.53	0.53	0.0041	1	0.69	0.82
Pd_ppb_LOG	0.025	0.37	0.043	-0.22	0.78	0.33	0.017	0.28	0.75	0.77	-0.037	0.2	0.69	1	0.72
Te_ppm_LOG	0.52	0.11	0.12	-0.099	0.48	0.17	-0.2	0.05	0.83	0.6	0.72	0.014	0.82	0.72	1

Figura 61. Matriz de correlación de Pearson para el Batolito de Segovia; Realizado en ioGAS; fuente propia.

Las correlaciones más importantes que se observan son:

Au: Sb-W-Te

Cd: Sn

Sb: Au-Sn-W-Cs-Te

Te: Au-Sb-Sn-W-Cs

Según Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008) en la revista mexicana de ciencias geológicas denomina líneas equipotenciales, aquellos elementos que contienen igual carga e igual radio iónico, los cuales pueden entrar dentro de la estructura química y reemplazarse entre sí. Esto es llamado potencial iónico ( $\phi$ ) la ecuación que lo describe es:

$$\phi = Z/r$$

Z=Carga del ion

r=Radio del ion

De acuerdo con las gráficas de las líneas equipotenciales el Au tiene una asociación directa con los siguientes cationes: Ag-Cu-Pt-Te-Pb-Cd-Pd-Hg. Estos cationes tienen  $\phi=1$  y  $\phi=2$  como se muestra en la (Figura 62,63).

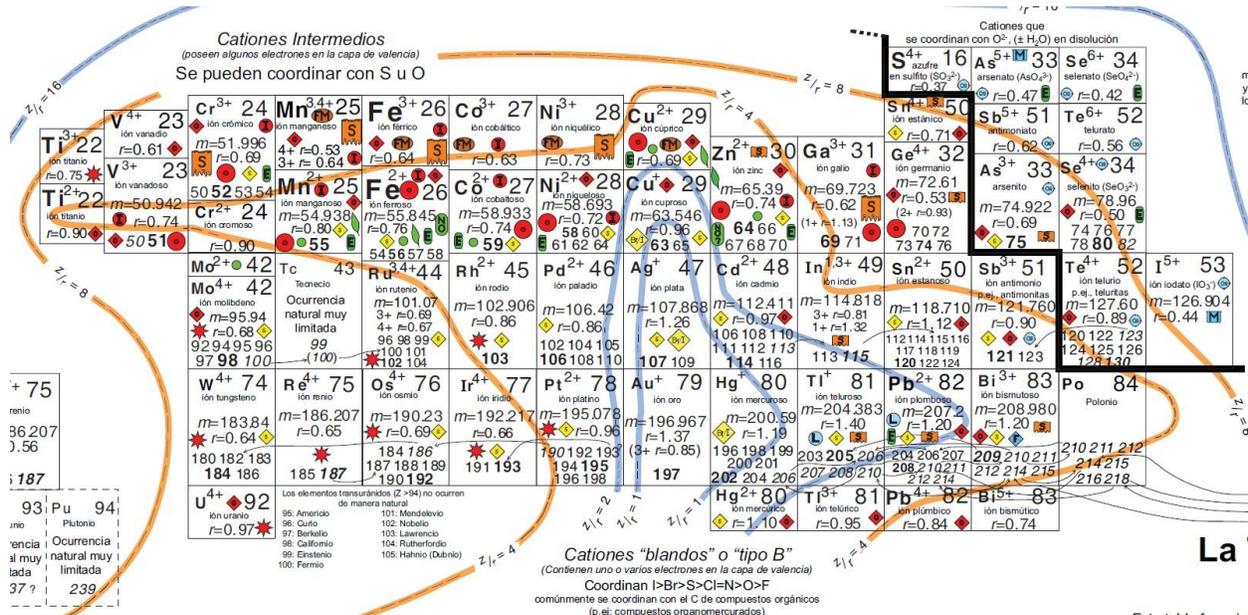


Figura 62. Tabla de elementos catiónicos con líneas equipotenciales; Tomado y modificado de Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008).

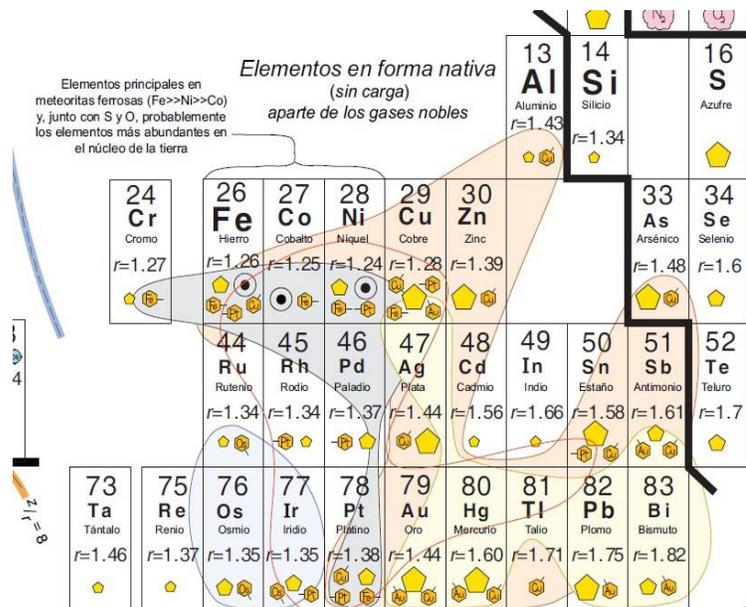


Figura 63. Tabla periódica para elementos nativos; Tomado y modificado de Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008).

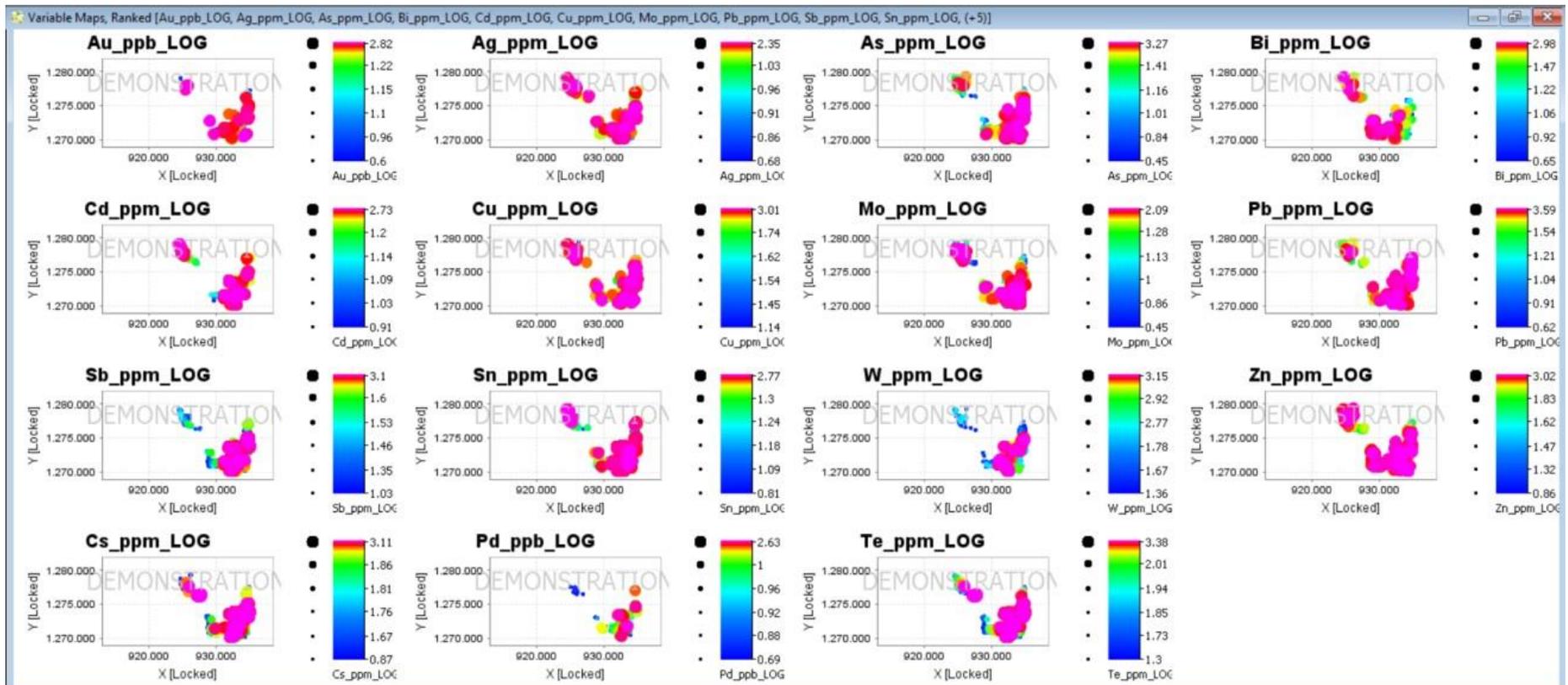


Figura 64. Mapa de los diferentes elementos químicos para el Batolito de Segovia; Realizado en ioGAS; fuente propia.

Después de hallados los pathfinder por litología se realiza una función en Excel rango.percentil, el cual necesita de una matriz de datos y un número X a evaluar en ese conjunto de datos, el valor arrojado por la función está entre 0 y 1 ; significa que el 1 es una anomalía definida y se le asignará un color rojo intenso, si el valor arrojado es 0 será verde, significa que no es anómalo, como se muestra en la (Tabla 5).

Per_Cd	Per_Sb	PerTe	PerSn	PerCs	All
-	0.67	0.65	0.71	0.62	0.5312
-	0.54	0.47	0.66	0.44	0.4232
-	-	0.60	-	0.58	0.2348
-	0.69	0.62	0.86	0.70	0.5730
-	-	0.66	-	0.73	0.2776
-	-	0.92	-	0.97	0.3778
-	-	0.47	-	0.43	0.1794
-	-	0.91	-	0.92	0.3666
-	-	0.82	-	0.95	0.3544
-	-	0.60	-	0.82	0.2834
-	-	0.57	-	0.66	0.2470
-	-	0.68	-	0.91	0.3170
-	-	0.67	-	0.85	0.3040
-	0.59	0.48	0.50	0.51	0.4146
-	0.83	0.66	0.72	0.68	0.5778
-	0.59	0.41	0.72	0.41	0.4260
-	0.74	0.66	0.81	0.70	0.5792
-	0.66	0.61	0.69	0.60	0.5098
0.93	0.75	0.69	0.81	0.61	0.7582
0.83	0.80	0.76	0.79	0.43	0.7214
0.95	0.72	0.84	0.68	0.41	0.7190
0.86	0.64	0.52	0.73	0.34	0.6182
-	0.66	0.54	0.77	0.51	0.4930
-	0.66	0.54	0.77	0.62	0.5156
0.85	0.69	0.58	0.68	0.70	0.7008
-	0.50	0.73	0.54	0.56	0.4646

**Tabla 5.** Función rango.percentil en Excel para el Batolito de Segovia; fuente propia.

Los resultados obtenidos son los rangos para cada pathfinder, estos rangos y percentiles son luego promediados (**Tabla 5**) para ser graficados en el software *Oasis Montaj*.

**Complejo Cajamarca:**

Se analizaron en total 1.310 datos para el Complejo Cajamarca, unidad polimetamórfica la cual se encuentra al W de la falla Otú; realizando la matriz de correlación de Pearson y las gráficas de elementos en el software ioGAS, se encontró lo siguiente para esta unidad metamórfica:

Correlation - 595 ro...	Au_ppb_LOG	Ag_ppm_LOG	As_ppm_LOG	Bi_ppm_LOG	Cd_ppm_LOG	Cu_ppm_LOG	Mo_ppm_LOG	Pb_ppm_LOG	Sb_ppm_LOG	Sn_ppm_LOG	W_ppm_LOG	Zn_ppm_LOG	Cs_ppm_LOG	Pd_ppb_LOG	Te_ppm_LOG
Au_ppb_LOG	1	0.34	0.44	0.8	0.79	-0.13	0.72	-0.41	-0.35	0.99	0.7	0.28	0.56	0.85	0.31
Ag_ppm_LOG	0.34	1	0.064	-0.05	0.56	0.24	0.0026	0.28	0.26	-0.47	-0.14	0.34	0.29	0.56	0.21
As_ppm_LOG	0.44	0.064	1	0.011	-0.16	0.3	-0.29	0.79	0.0072	-0.075	0.025	0.71	0.29	0.56	0.21
Bi_ppm_LOG	0.8	-0.05	0.011	1	-0.16	0.39	0.12	0.12	0.074	0.013	0.43	0.32	-0.19	0.3	0.026
Cd_ppm_LOG	0.79	0.56	-0.16	-0.16	1	0.14	-0.08	0.017	0.57	0.61	0.18	0.019	0.21	0.73	0.65
Cu_ppm_LOG	0.24	0.24	0.3	0.39	0.14	1	0.22	0.5	0.2	0.045	0.68	0.59	0.31	0.55	0.47
Mo_ppm_LOG	-0.13	0.0026	-0.29	0.12	-0.08	0.22	1	-0.033	0.16	0.38	0.28	-0.18	-0.56	0.17	-0.3
Pb_ppm_LOG	0.72	0.28	0.79	0.12	0.017	0.5	-0.033	1	0.15	0.066	0.25	0.75	0.32	0.14	0.35
Sb_ppm_LOG	-0.41	0.26	0.0072	0.074	0.57	0.2	0.16	0.15	1	0.53	0.037	0.072	0.54	0.97	0.71
Sn_ppm_LOG	-0.35	0.47	-0.075	0.013	0.61	0.045	0.38	0.066	0.53	1	0.12	0.079	0.33	-0.99	0.42
W_ppm_LOG	0.99	-0.14	0.025	0.43	0.18	0.68	0.28	0.25	0.037	0.12	1	0.4	-0.3	0.61	-0.042
Zn_ppm_LOG	0.7	0.34	0.71	0.32	0.019	0.59	-0.18	0.75	0.072	0.079	0.4	1	0.39	0.29	0.36
Cs_ppm_LOG	0.28	0.56	0.29	-0.19	0.21	0.31	-0.56	0.32	0.54	0.33	-0.3	0.39	1	0.6	0.83
Pd_ppb_LOG	0.85	0.56	0.56	0.3	0.73	0.55	0.17	0.14	0.97	-0.99	0.61	0.29	0.6	1	1
Te_ppm_LOG	0.36	0.31	0.21	0.026	0.65	0.47	-0.3	0.35	0.71	0.42	-0.042	0.36	0.83	1	1

Figura 65. Matriz de correlación de Pearson para el Complejo Cajamarca; Realizado en ioGAS; fuente propia.

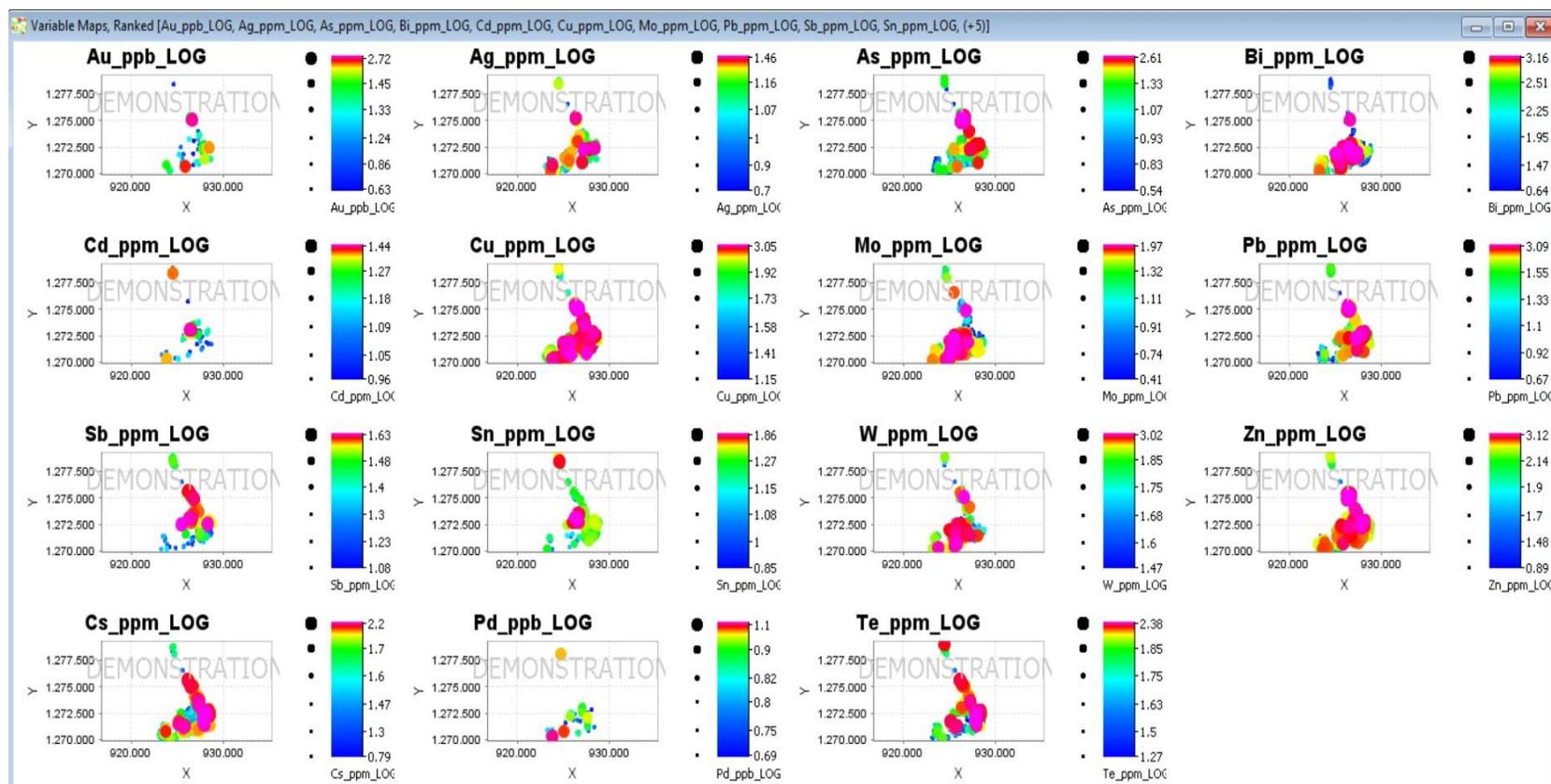


Figura 66. Mapa de los diferentes elementos químicos para Complejo Cajamarca; Realizado en ioGAS; fuente propia.

Las correlaciones más importantes que se observan son:

Au: Cu-Zn-W-Pb

Ag: Cd-Cs-Pd

Pd: Ag-Sb-Sn-Te

Zn:As

Claramente se observa que hay firmas geoquímicas diferentes entre el Batolito de Segovia y el Complejo Cajamarca, el Zn-Pb-As-Ag no aparece como pathfinder en el Batolito de Segovia, pero si están presentes para el Complejo Cajamarca. Finalmente, después de comparar estas dos unidades geológicas se procede a realizar la matriz con la función rango.percentil en Excel para el Complejo Cajamarca como se muestra en la (**Tabla 6**).

Per_Sb	PerTe	PerCs	Per_Cd	Per_Ag	Per_Pd	Per_As	Per_Sn	All
-	-	0.25	-	-	-	0.83	-	0.1344
0.92	0.82	0.80	-	-	-	0.77	0.85	0.5198
0.80	0.71	0.72	-	-	-	0.90	-	0.3900
-	0.77	0.71	-	-	-	0.76	-	0.2794
0.82	0.77	0.67	-	-	-	0.93	-	0.3978
-	-	0.52	-	-	-	0.97	-	0.1861
0.94	0.87	0.82	-	-	-	0.94	-	0.4450
0.93	0.99	0.95	-	-	-	0.93	0.90	0.5869
0.96	0.74	0.84	-	-	-	0.93	0.82	0.5354
-	0.79	0.87	-	-	-	0.94	-	0.3241
-	0.70	0.83	-	-	-	0.96	-	0.3113
0.87	0.80	0.84	-	-	-	0.95	0.84	0.5366
-	0.80	0.91	-	-	-	0.96	-	0.3336
-	0.96	0.96	-	-	-	0.98	-	0.3618
-	-	0.77	-	-	-	0.95	-	0.2145
-	0.58	0.67	-	-	-	0.86	-	0.2638
0.95	0.94	0.89	-	-	-	0.85	0.83	0.5579
0.89	0.86	0.74	-	-	-	0.63	0.80	0.4908
-	0.93	0.92	-	-	-	0.92	-	0.3466
-	0.62	0.82	-	-	-	0.95	-	0.2978
0.84	0.73	0.74	-	-	-	0.94	-	0.4050
0.93	0.88	0.85	-	-	-	0.94	0.92	0.5650
0.93	0.97	0.86	-	-	-	0.95	0.93	0.5791
0.98	0.96	0.91	-	-	-	0.95	0.95	0.5935
0.99	0.97	0.89	-	0.90	-	0.93	0.89	0.6961
0.78	0.61	0.72	-	-	-	0.94	-	0.3813
-	-	0.58	-	-	-	0.95	-	0.1914
-	-	0.51	-	-	-	0.95	-	0.1820

**Tabla 6.** Función rango.percentil en Excel para el Complejo Cajamarca; fuente propia.

**Batolito Antioqueño:**

Se analizaron en total 250 datos para el Batolito Antioqueño, realizando la matriz de correlación de Pearson para esta unidad geológica, se encontró lo siguiente:

Correlation - 88 row...	Au_ppb_LOG	Ag_ppm_LOG	As_ppm_LOG	Bi_ppm_LOG	Cd_ppm_LOG	Cu_ppm_LOG	Mo_ppm_LOG	Pb_ppm_LOG	Sb_ppm_LOG	Sn_ppm_LOG	W_ppm_LOG	Zn_ppm_LOG	Cs_ppm_LOG	Pd_ppb_LOG	Te_ppm_LOG
Au_ppb_LOG	1		0.79	0.69		0.98	0.41	0.95			-1	0.79	-0.063		
Ag_ppm_LOG		1	0.92			0.3	-1	1	1	-1		0.71	0.76		0.85
As_ppm_LOG	0.79	0.92	1	0.24	0.75	0.56	0.49	0.48	-0.02	0.19	0.7	0.48	0.23	-0.089	0.054
Bi_ppm_LOG	0.69		0.24	1	1	0.36	0.16	0.28	0.34	-0.19	0.59	0.5	-0.21	0.25	0.17
Cd_ppm_LOG			0.75	1	1	1	0.26	0.89	1	-0.63		0.52	0.76		0.035
Cu_ppm_LOG	0.98	0.3	0.56	0.36	0.36	1	0.3	0.7	0.38	0.66	0.85	0.73	-0.018	0.98	0.56
Mo_ppm_LOG	0.41	-1	0.49	0.16	0.26	0.3	1	0.2	-0.18	0.39	0.18	0.38	-0.058	0.55	-0.12
Pb_ppm_LOG	0.95	1	0.48	0.28	0.89	0.7	0.2	1	0.33	0.25	0.92	0.54	0.038	0.37	0.078
Sb_ppm_LOG		1	-0.02	0.34	1	0.38	-0.18	0.33	1	-0.21	-0.95	-0.065	0.37		0.54
Sn_ppm_LOG		-1	0.19	-0.19	-0.63	0.66	0.39	0.25	-0.21	1	0.88	0.41	0.36	0.93	0.19
W_ppm_LOG	-1		0.7	0.59		0.85	0.18	0.92	-0.95	0.88	1	0.94	0.37		0.82
Zn_ppm_LOG	0.79	0.71	0.48	0.5	0.52	0.73	0.38	0.54	-0.065	0.41	0.94	1	0.18	0.98	0.26
Cs_ppm_LOG	-0.063	0.76	0.23	-0.21	0.76	-0.018	-0.058	0.038	0.37	0.36	0.37	0.18	1	0.83	0.65
Pd_ppb_LOG			-0.089	0.25		0.98	0.55	0.37		0.93		0.98	0.83	1	1
Te_ppm_LOG		0.85	0.054	0.17	0.035	0.56	-0.12	0.078	0.54	0.19	0.82	0.26	0.65	1	1

Figura 67. Matriz de correlación de Pearson para el Batolito Antioqueño; fuente propia.

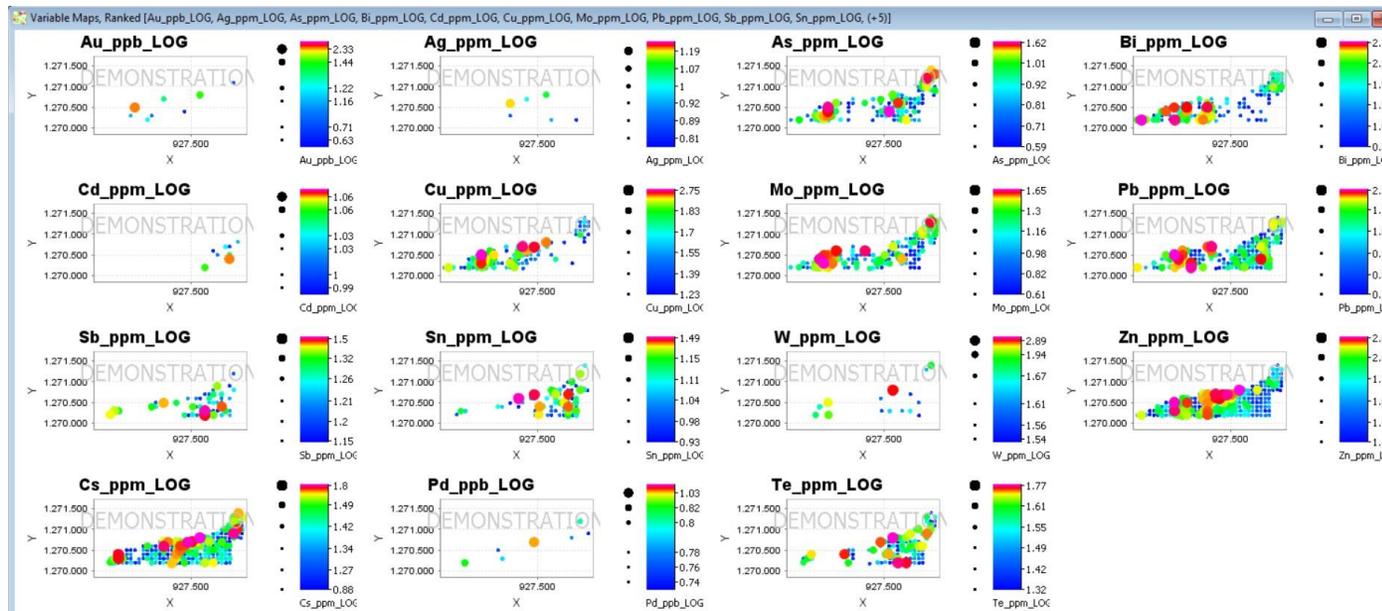


Figura 68. Mapa de los diferentes elementos químicos para el Batolito Antioqueño; realizado en ioGAS; fuente propia.

Las correlaciones más importantes que se observan son:

Au: As-Cu-Pb-Zn

Ag: As-Zn-Cs-Te

Te: Ag-Sb-Cu-W-Cs.

Estas correlaciones son similares a las del Batolito de Segovia, aunque para esta unidad no está correlacionado el As-Ag-Cu. Por último, se ejecutó la función rango.percentil en Excel para encontrar el promedio de las correlaciones de la matriz de Pearson.

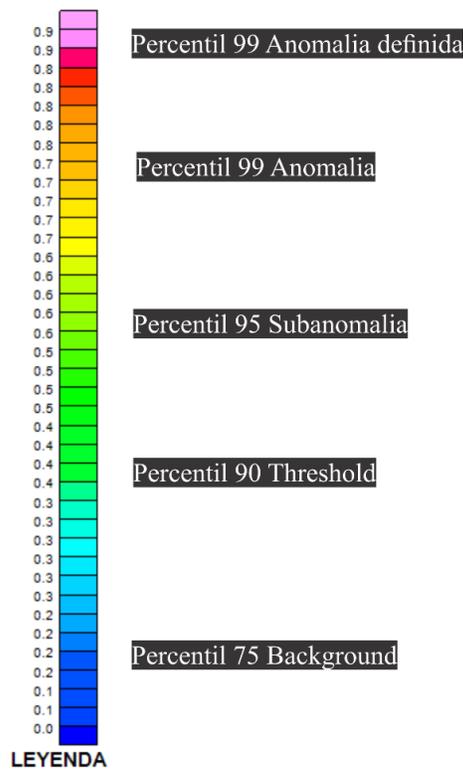
Per_Cu	Per_Sb	PerTe	PerSn	PerCs	Per_Zn	Per_Pb	All
0.98	0.01	0.97	0.99	0.99	0.98	0.01	0.7043
0.57	0.01	0.01	0.01	0.21	0.23	0.38	0.1986
0.62	0.81	0.81	0.95	0.88	0.40	0.93	0.7706
0.63	0.01	0.01	0.01	0.55	0.29	0.79	0.3250
0.01	0.01	0.01	0.72	0.30	0.09	0.88	0.2853
0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	0.12	0.32	0.0873
0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.03	0.44	0.0793
0.01	0.89	0.86	0.94	0.76	0.14	0.69	0.6114
0.01	0.01	0.97	0.01	0.98	0.72	0.01	0.3849
0.89	0.01	0.01	0.01	0.78	0.67	0.46	0.4024
0.73	0.01	0.01	0.01	0.77	0.55	0.65	0.3877
0.66	0.01	0.88	0.01	0.84	0.53	0.92	0.5460
0.55	0.01	0.01	0.88	0.18	0.02	0.75	0.3399
0.61	0.01	0.66	0.01	0.74	0.64	0.80	0.4946
0.01	0.01	0.93	0.01	0.96	0.69	0.01	0.3707
0.69	0.01	0.89	0.01	0.75	0.50	0.64	0.4974
0.71	0.01	0.60	0.01	0.62	0.51	0.54	0.4254
0.78	0.01	0.01	0.01	0.34	0.45	0.30	0.2693
0.74	0.01	0.60	0.86	0.93	0.24	0.29	0.5209
0.01	0.01	0.01	0.68	0.24	0.05	0.33	0.1881
0.59	0.01	0.01	0.01	0.65	0.09	0.34	0.2404
0.01	0.01	0.63	0.01	0.29	0.37	0.54	0.2649
0.60	0.01	0.58	0.01	0.29	0.13	0.70	0.3279
0.58	0.01	0.79	0.01	0.90	0.56	0.91	0.5356
0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.43	0.36	0.1256

**Tabla 7.** Función rango.percentil en Excel para el Batolito Antioqueño.

### 6.6 Mapas de anomalías geoquímicas

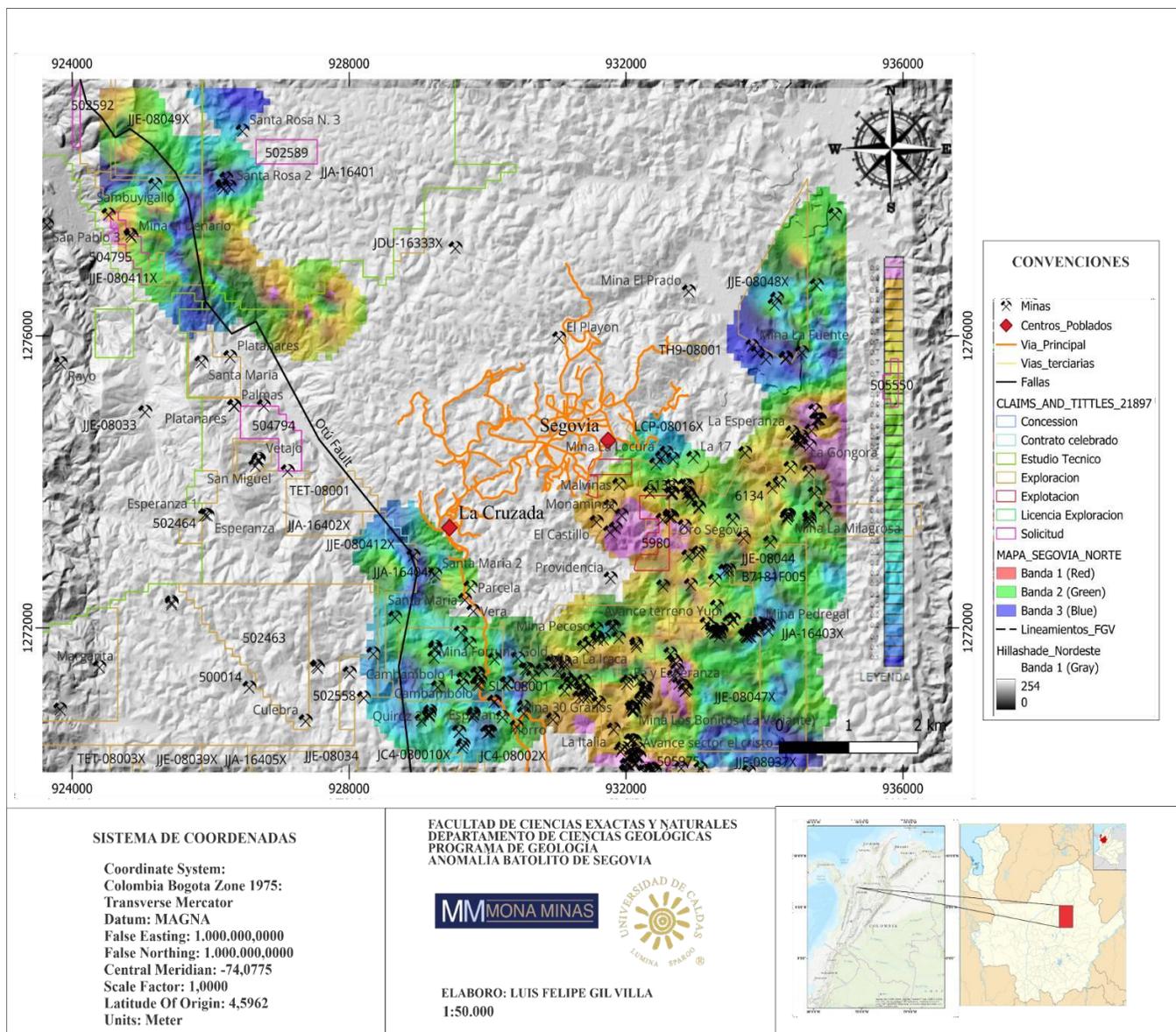
Se realizó el mapa de anomalías geoquímicas discriminadas por litología después de realizar el mapa geológico detallado de la zona. Posteriormente se utilizó el software *Oasis Montaj*, el cual solicita datos de ingreso como X Y Z de las coordenadas para cada muestra de suelo tomado y promedio del rango.percentil de los pathfinder de cada litología. Seguidamente se guardan los datos en .csv y se exportan a QGIS, para ser transformados a *Shapefile*; pues el software geofísico y geoquímico solo admite extensiones .shp.En consecuencia, se dividieron los datos analizados en percentiles, donde los altos geoquímicos son representados por el percentil 99 (*Figura 69*).

El mapa generado se exporta al archivo Geotiff, para su correcta georreferenciación. El archivo generado es importado en QGIS para su visualización e interpretación como se observa en las (*Figuras 70,71,72*).



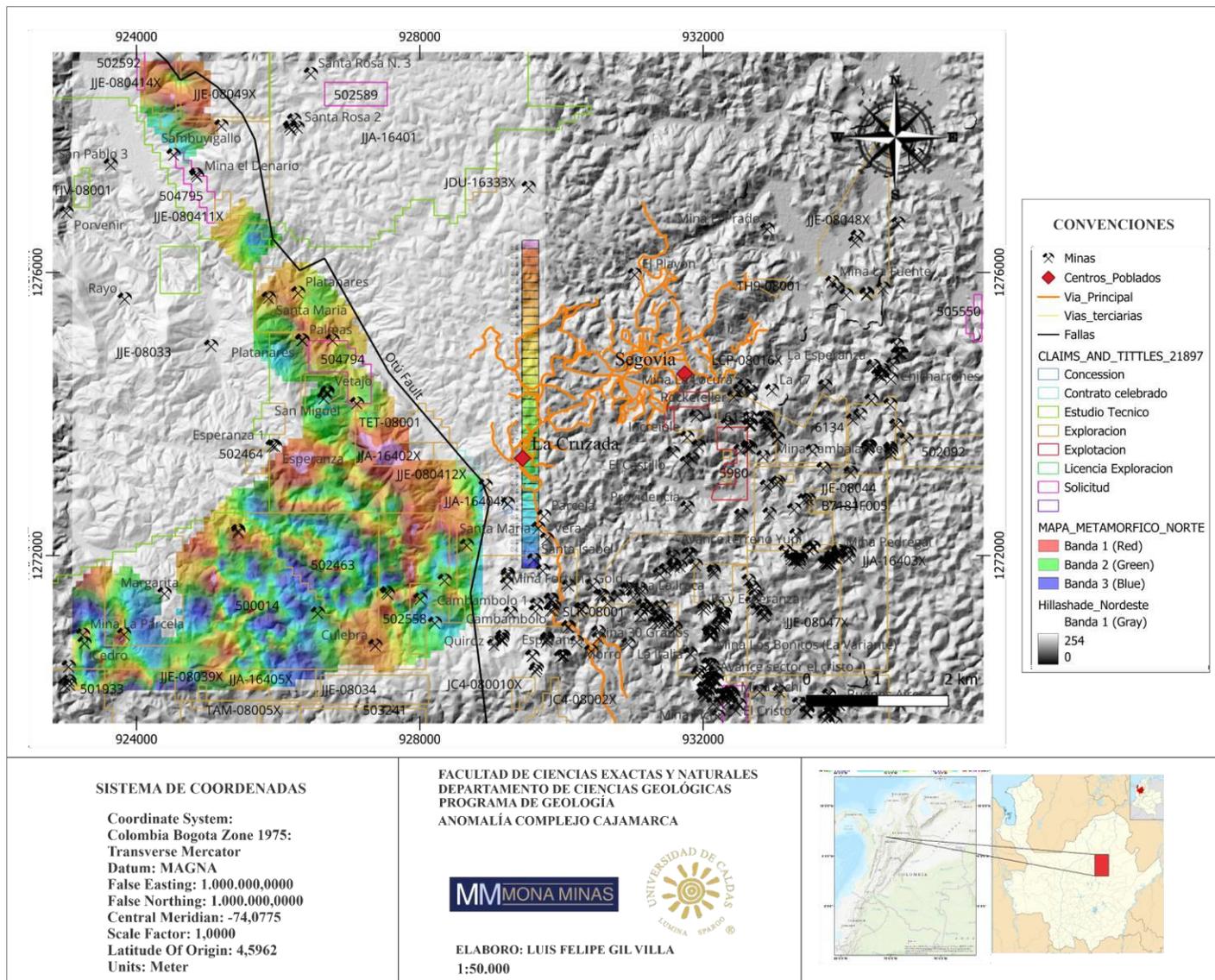
**Figura 69.** Leyenda de los percentiles para anomalías geoquímicas en el sector norte del DMSR; fuente propia

**Batolito de Segovia:**



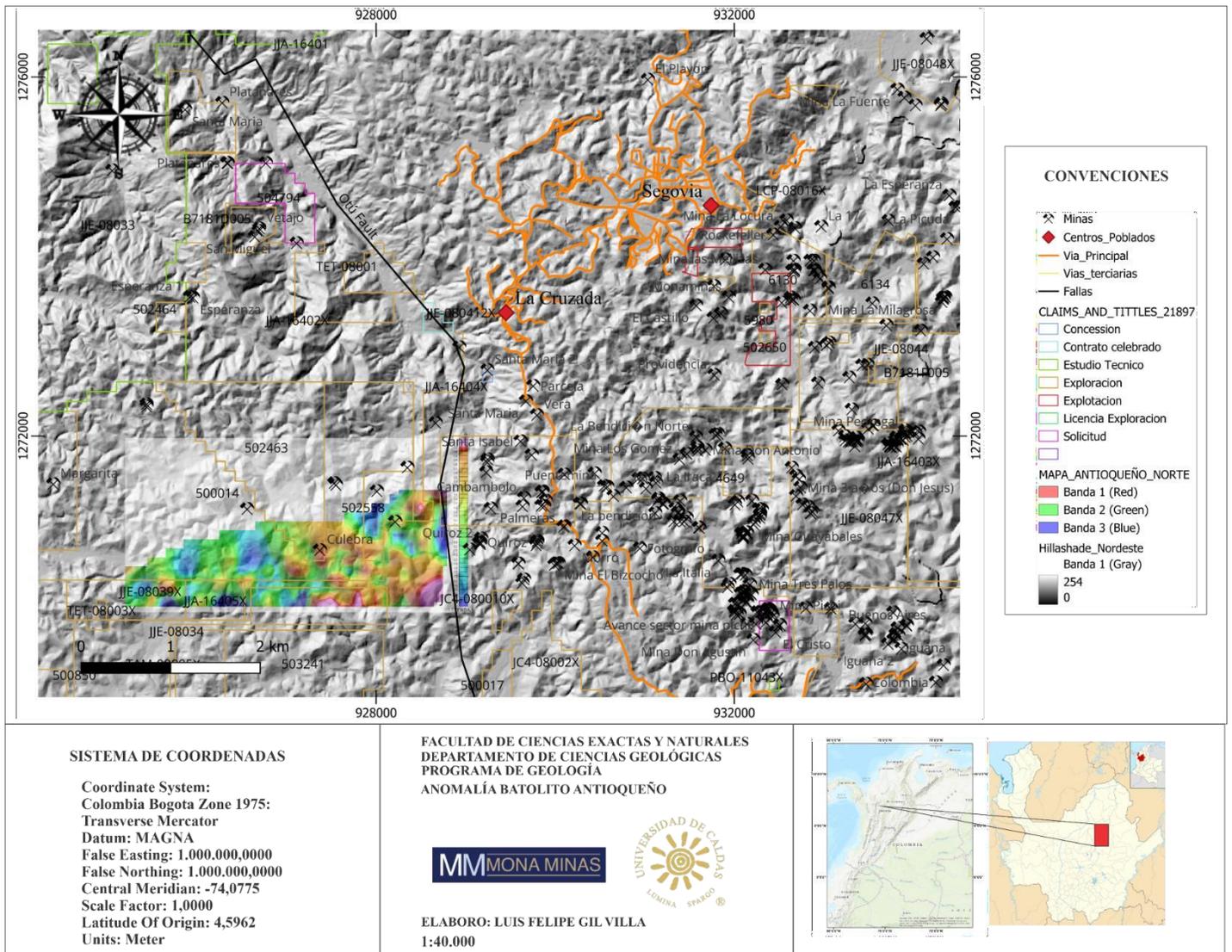
**Figura 70.** Mapa de Anomalías para el Batolito de Segovia; fuente propia.

**Complejo Cajamarca:**



**Figura 71.** Mapa de Anomalías para Complejo Cajamarca; fuente propia.

**Batolito Antioqueño:**



**Figura 72.** Mapa de Anomalías para el Batolito Antioqueño; fuente propia.

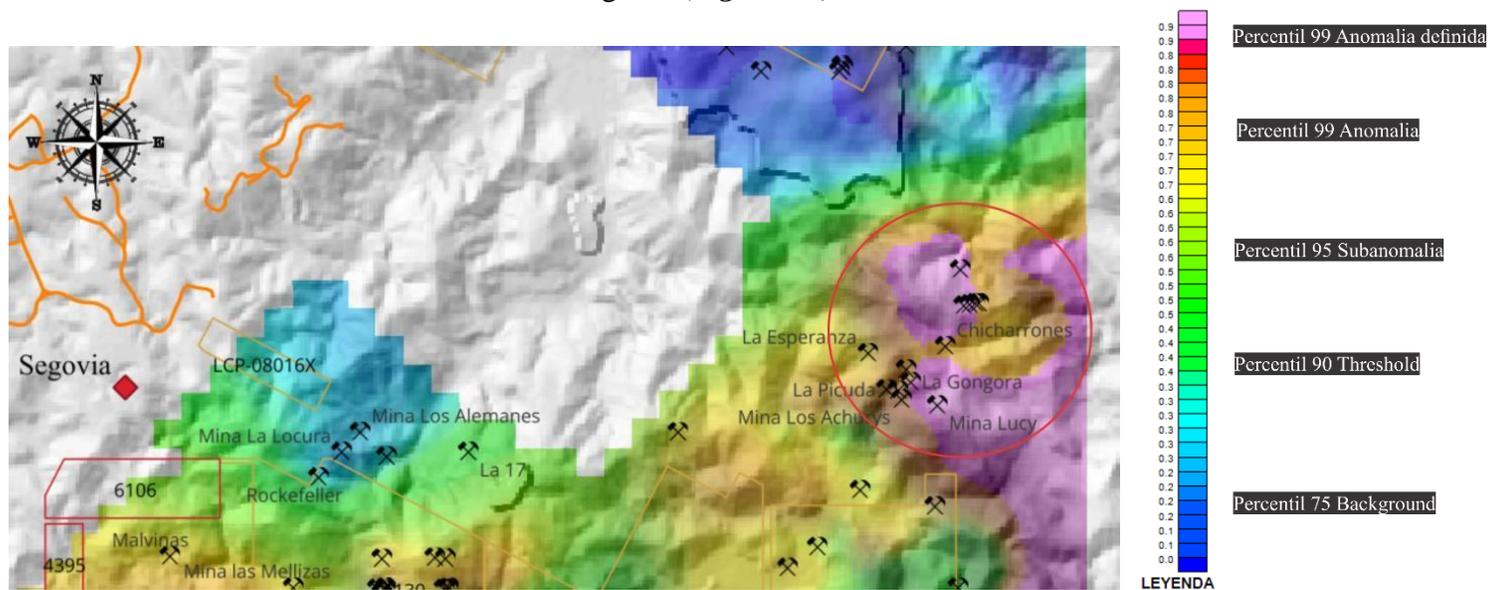
**6.7 Hallazgos:**

Después de la realización de los mapas de anomalías geoquímicas por litología usando la función rango. percentil en Excel y su respectiva normalización de datos, se encontraron ciertas anomalías cerca donde hay minería artesanal y lineamientos estructurales.

**Batolito de Segovia**

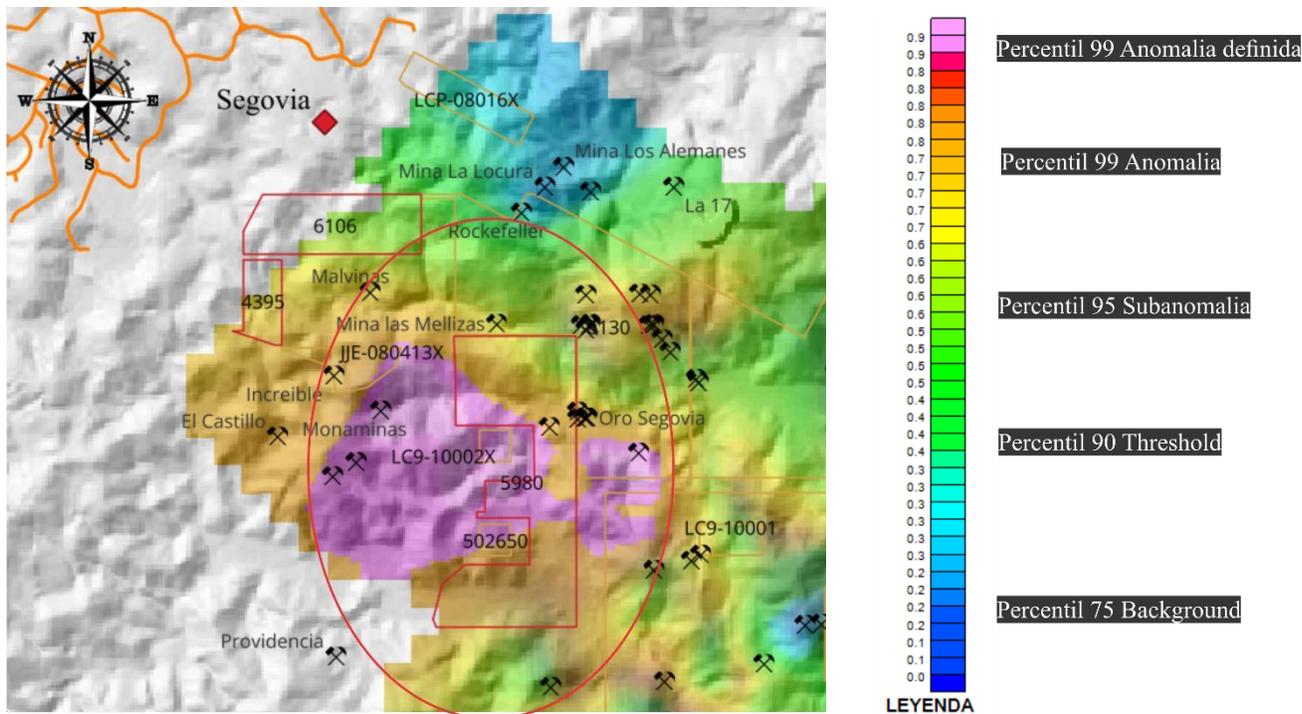
Las zonas donde las anomalías fueron mayores para el Batolito de Segovia son:

- Sector Chicharrones al E de Segovia (*Figura 73*).



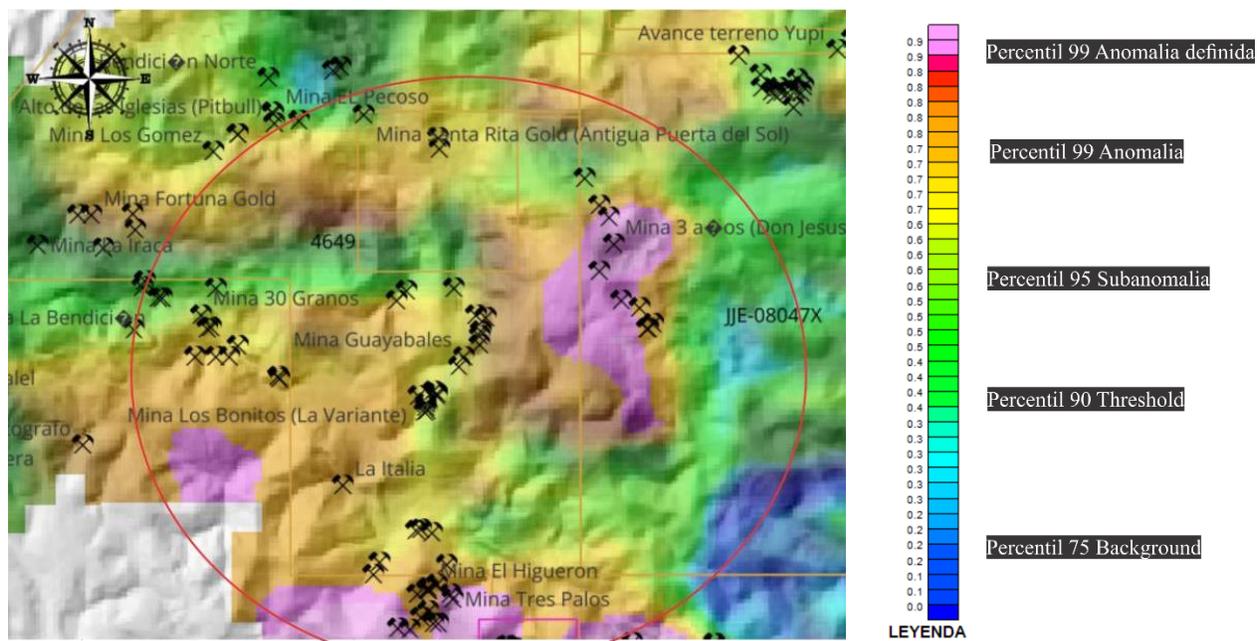
*Figura 73. Zona anómala al E de Segovia Antioquia; fuente propia.*

- Mina Mona Minas, El Castillo, Malvinas (**Figura 74**).



**Figura 74.** Zona anómala al SSE de Segovia; fuente propia.

- Mina el Higuérón, La Italia; al norte de Remedios (**Figura 75**).



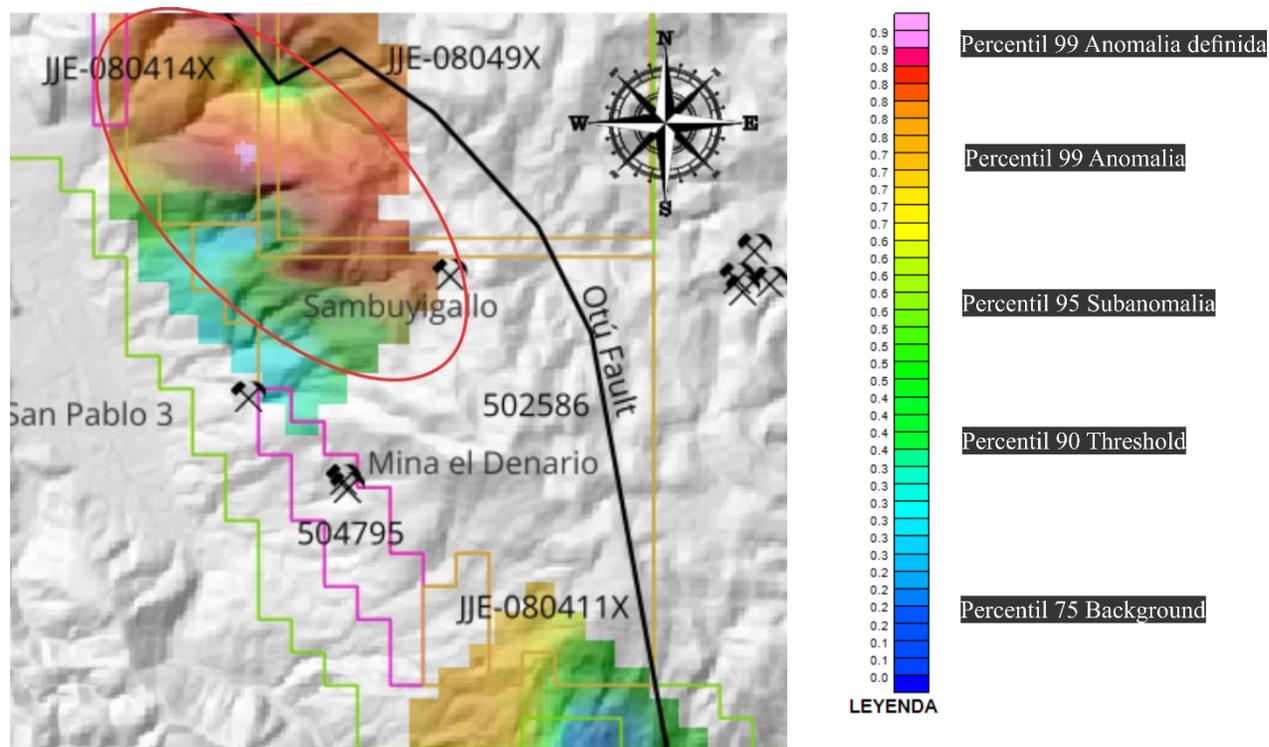
**Figura 75.** Zonas anómalas al SSE de Segovia; fuente propia.



**Complejo Cajamarca:**

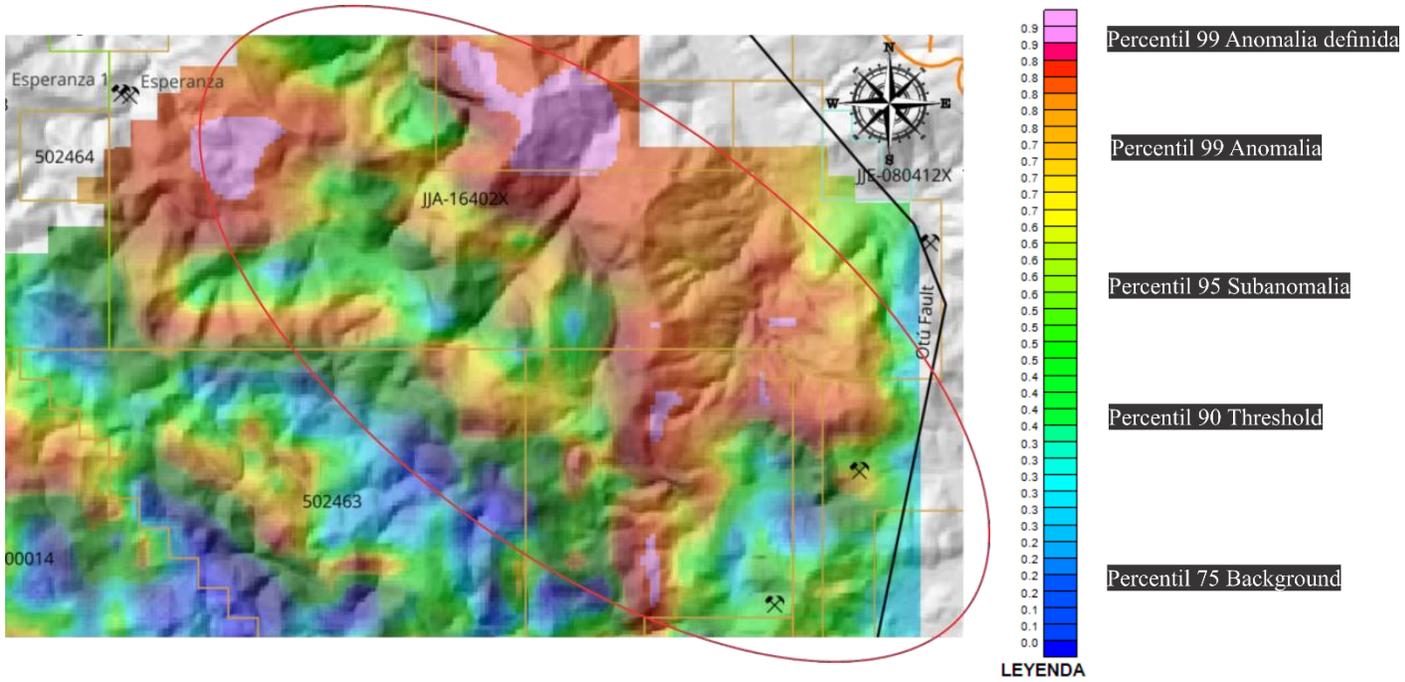
Al W de la falla Otú se encuentra el terreno Tahami compuesto con rocas metamórficas de alto y medio grado, allí se encontraron algunas anomalías geoquímicas marcadas las cuales se describen a continuación:

- Cerca de la mina Sambuyigallo al NW de Segovia (*Figura 77*).



*Figura 77. Anomalía geoquímica al NW de Segovia; fuente propia.*

- Zona anómala muy cerca a la deflexión de la falla Otú al SW de Segovia (*Figura 78*).



*Figura 78. Anomalías geoquímicas cerca a la deflexión de la falla Otú; fuente propia.*

- Analizando el mapa anomalías a una escala más regional se encontró que cerca de la deflexión de la falla Otú hay un aumento positivo en las anomalías geoquímicas, y estas se extienden al NW paralelas a esta falla Otú como se observa en la (*Figura 79*).

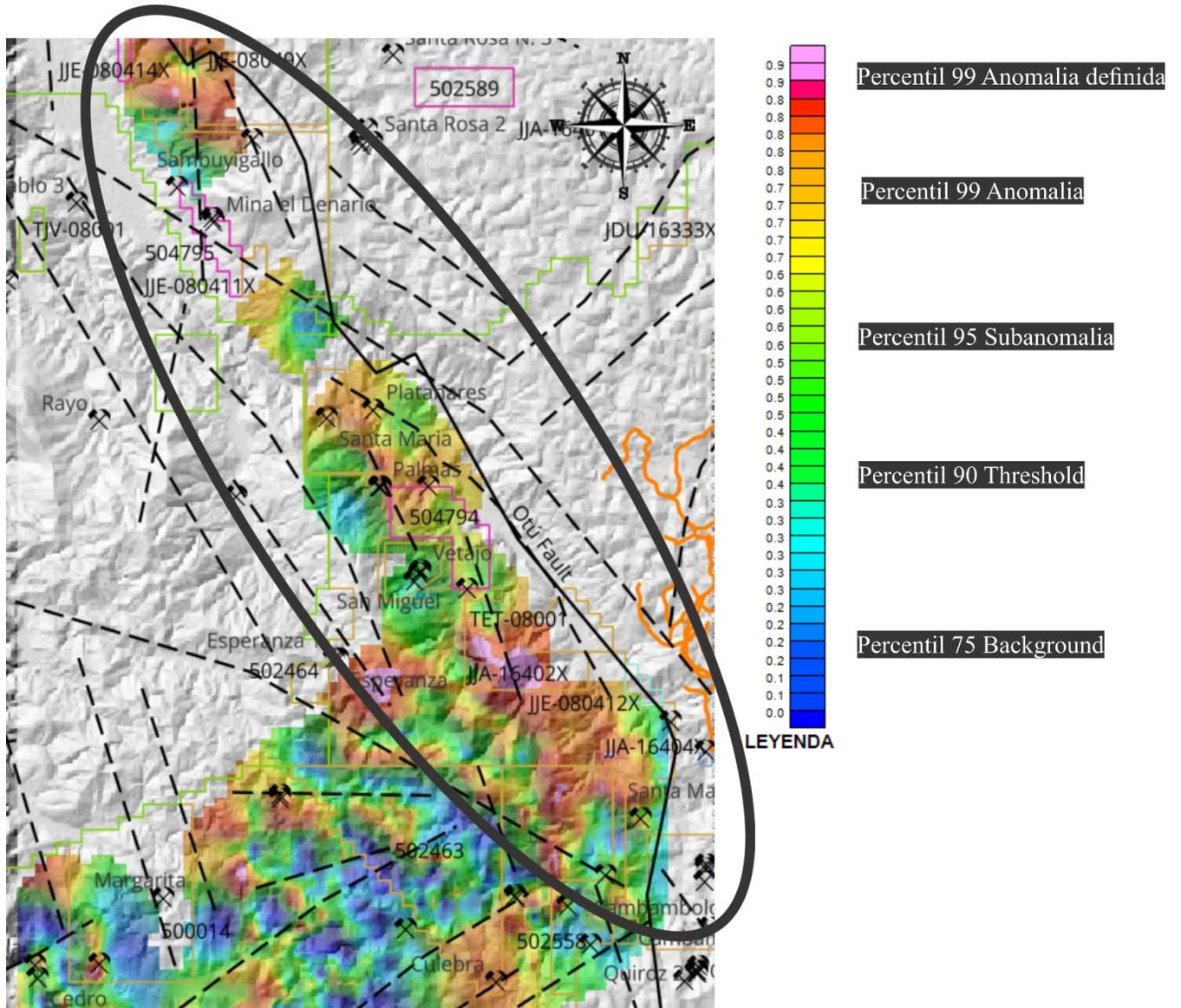
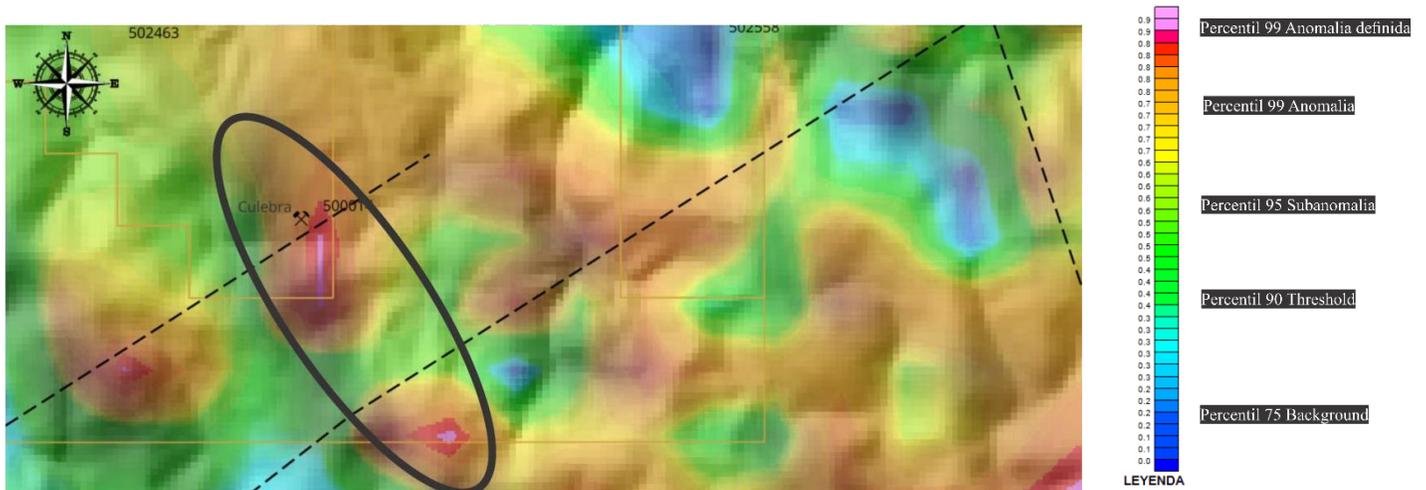


Figura 79. Tendencia NW de las anomalías geoquímicas, al W de la falla Otú; fuente propia.

**Batolito Antioqueño:**

El batolito Antioqueño es el que contiene muy poca data para el sector norte, con un total de 250 datos, el bloque de anomalías geoquímicas es muy pequeño para esta unidad, pero se logró evidenciar una zona anómala la cual se muestra a continuación:

- Zona anómala cerca del río La Culebra; Esta anomalía geoquímica se encuentra controlada por dos lineamientos estructurales que son paralelos y tiene una dirección NE **(Figura 80)**.

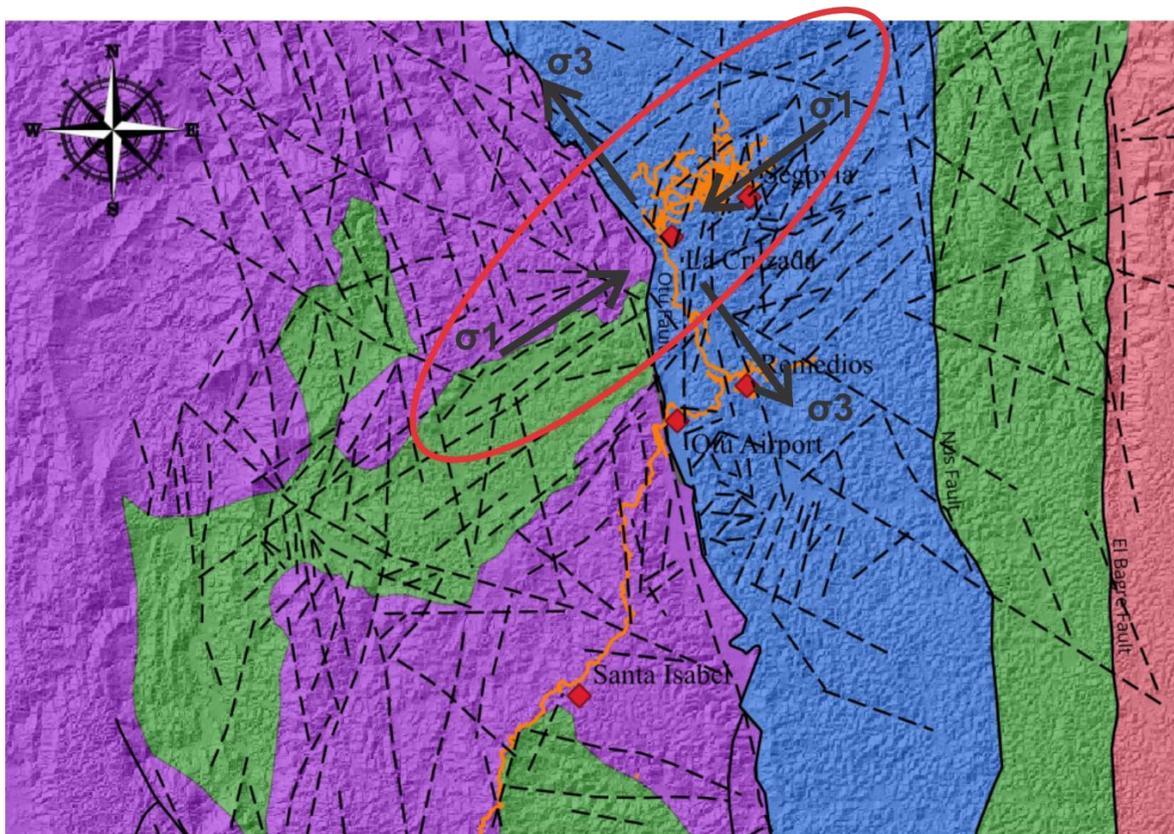


**Figura 80.** Anomalía geoquímica en el sector la Culebra; fuente propia.



Cerca a la zona de deflexión de la falla Otú, se indicó la zona de mayor esfuerzo compresivo  $\sigma_1$  y la zona de mayor esfuerzo distensivo  $\sigma_3$  como se observa en la (**Figura 82**). El óvalo rojo indica la zona de *Ore Shoot* con dirección NE, esta zona es la más rica del distrito encontrándose encajada en el Batolito de Segovia. Esta zona de *ore shoot* es paralela al máximo esfuerzo compresivo  $\sigma_1$ .

Donde se encuentran las zonas compresivas también simultáneamente se crean zonas distensivas, estas últimas favorecen el ascenso de fluidos hidrotermales cargados con metales preciosos los cuales son acumulados en estructuras vetiformes de cuarzo acompañados de minerales accesorios.



**Figura 82.** Zona de mayor compresión  $\sigma_1$ , zona de mayor distensión  $\sigma_3$  en el DMSR; fuente propia.

## 7. Conclusiones

- Las labores de campo, muestreo de sedimentos, muestreo de suelos y análisis de información, son insumos importantes para la exploración de yacimientos vetiformes, ya que se pueden encontrar nuevos targets y así aumentar los recursos de la empresa.
- La mayor cantidad de anomalías geoquímicas se encuentran en el Batolito de Segovia en el sector norte, al E de la falla Otú, donde se alberga la mayor cantidad de minas y mineralización del distrito, aunque se encontraron anomalías positivas en las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca.
- Los títulos mineros que presentaron anomalías geoquímicas positivas son: 4649 - 6106 - 6134 - 4395 - 5980 - JJE08013X, estos títulos se encuentran al E de la falla Otú, en el Batolito de Segovia, estas anomalías concuerdan con el máximo esfuerzo compresivo  $\sigma I$ , donde se encuentra la zona de *ore shoot*.
- La matriz de correlación de Pearson para el Batolito de Segovia, muestra asociaciones minerales que se encuentran íntimamente relacionadas con las líneas equipotenciales que están asociadas al Au en la tabla periódica para ciencias de la tierra.

## 8. Recomendaciones

- Se conoce que el Batolito de Segovia es la roca caja de las mineralizaciones auríferas de la zona, pero en este informe se reporta que existen anomalías geoquímicas en las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, por consiguiente, se recomienda explorar mucho más este complejo en su segmento más septentrional al W de la falla Otú, pues en el distrito se conocen vetas mineralizadas encajadas en el Complejo Cajamarca.
- Los reconocimientos de fallas en campo se realizan muy frecuente en la exploración de yacimientos vetiformes, ya que son depósitos estructuralmente controlados, por esta razón se debe recopilar más información de estrías de falla midiendo el *pitch* e identificar cinemática de fallas locales en los títulos mineros de la empresa.
- Los sistemas de información geográficos son insumos valiosos para la empresa, pues se tiene información actualizada y de fácil visualización, por tal motivo se recomienda migrar la información de la base de datos a un sistema de coordenadas más actualizado.
- El dispositivo NITON es una herramienta ágil y versátil para obtener resultados de geoquímica de suelos, pero sería de gran utilidad y mayor confiabilidad tener resultados de laboratorio con el método ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente).

## 9. Bibliografía

Agencia Nacional de Minería - ANM. (26 de Marzo de 2021). *Agencia Nacional de Minería*.

Recuperado el 16 de Diciembre de 2021, de <https://www.anm.gov.co/?q=colombia-logro-en-2020-la-produccion-de-oro-mas-alta-de-los-ultimos-cuatro-a%C3%B1os>

Álvarez, M., Ordóñez-Carmona, O., & Valencia, M. (?). Consideraciones sobre el Marco Geológico de los Yacimientos Auríferos del Distrito Minero Segovia Remedios.

Bernal, J. P., & Railsback, L. B. (2008). Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 25(2), 236-246.

Botero, A.G. (1941). Formaciones geológicas de Antioquia: Minería (Medellín), no. 111, p. 9080- 9085.

Consulta información geofísica. (n.d.).

<https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/DireccionTecnicaRecursosMinerales/Paginas/consulta-informacion-geofisica.aspx>.

CSR LABORATORIO. (2023, January 5). *La Estructura del Suelo y su Clasificación - CSR Laboratorio*. CSR Laboratorio. <https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/>

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.

Feininger, T., Barrero, D., & Castro, N. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona II-B). *Boletín geológico*, 20(2), 1-173.

González, H., & Londoño, A. (2002). CATÁLOGO DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DE COLOMBIA, DIORITA DE SEGOVIA (Batolito de Segovia) (Jds) Cordillera Central Departamentos de Antioquia y Bolívar.

González, J., Terá, B., & Ordóñez-Carmona, O. (2010). Geología De la Parte Oriental Del Distrito Minero Segovia Remedios. *Bol. Cienc. Tierra* Número 28, 61-76.

Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic Gold Metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-Magmatic Approach. Tesis de Doctorado, 1000.

Manco, J.D., Molano, J.C., & Ordóñez, 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, 47-60.

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.

Ordóñez-Carmona, O., Valencia, M., Álvarez, M., Sánchez, L. H., Castaño, L. C., & Echeverri, B. (2005). Metalogenia y evolución tectonomagmática del distrito minero Segovia-Remedios, primera aproximación. In *Memorias X Congreso Colombiano de Geología*. Bogotá. Editorial Gente Nueva Ltda. p (Vol. 252).

Ordóñez-Carmona, O., Pimentel, M. M., & De Morales, R. R. (1999). Rocas Grenvillianas en la región de Puerto Berrio – Antioquia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(87): 225-232.

Pérez, G., Branch, J., & Arango, M. (29 de Mayo de 2009). Universidad Nacional. Recuperado el 16 de Diciembre de 2021, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/10865/11349>

Toussaint, J. F., & Restrepo, J. J. (2020). Tectonostratigraphic terranes in Colombia: An up.

Toussaint, J. F., & Restrepo, J. J. (1990). Cronología de las acreciones de terrenos alóctonos en los Andes Colombianos. *Colloques et séminaires-Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération*, 219-221.

Vinasco, C. J., & et, al. (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permian-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *South American Earth Sciences*, 21, 355–371.

Wieselmann, E. A. & Galay, I. 1982. Informe de Evaluación Geológica Preliminar Área The Frontino Gold Mines Ltda. Distrito de Segovia-Remedios, Antioquia- Colombia. Texas Gulf Panamá Inc. (Confidencial). pp. 44

