



**Correlación de la caracterización de Estructuras, Mineralización, Litología y Alteración del Pozo UDC\_GD\_004 con la Geoquímica obtenida mediante ensayos realizados en “rechazos” de pulpa fina, usando la Técnica de Fluorescencia de Rayos X Portable XRF-P.**

**Joiner Javier Guazá Velasco**

**Universidad de Caldas**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Programa de Geología**

**Manizales, Colombia**

**2022**

**Correlación de la caracterización de Estructuras, Mineralización, Litología y Alteración del Pozo UDC\_GD\_004 con la Geoquímica obtenida mediante ensayos realizados en “rechazos” de pulpa fina, usando la Técnica de Fluorescencia de Rayos X Portable XRF-P.**

**Joiner Javier Guazá Velasco**

**Trabajo de grado modalidad pasantía presentado como requisito para optar al título de Geólogo**

**Asesor:**

**Msc. Diego Loaiza**

**Docente, Universidad de Caldas**

**Universidad de Caldas**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Programa de Geología**

**Manizales, Colombia**

**2022**

## Agradecimientos

A mi madre y a mi novia por todo el apoyo que me han brindado, por sus consejos y por ser para mí, ese lugar seguro que todo ser humano necesita en su vida.

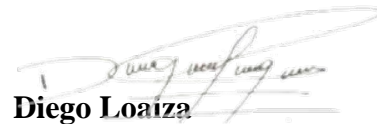
A la empresa COLLECTIVE MINING por permitirme realizar la pasantía y culminar exitosamente mi ciclo universitario.

A mi tutora Ruth Lyomar Hurtado y a todo el equipo de exploración por su incondicional disposición a compartir conmigo su conocimiento en pro de mi formación como profesional.

Al profesor Diego Loaiza por acompañarme y asesorarme durante mi etapa como practicante universitario.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

\_\_\_\_\_  
APROBADA  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**Diego Loaiza**

**DIRECTOR ACADÉMICO**

## Resumen

En el presente informe se detalla la caracterización de estructuras, mineralización, litología y alteración del pozo UDC\_GD\_004 integrando el proceso de logeo de testigos de perforación diamantina con la tecnología conocida como fluorescencia de rayos X portable (XRF-P) con el fin de proporcionar información detallada y precisa de anomalías geoquímicas que puedan ser empleadas como directriz en la toma de decisiones y como elemento para optimizar el muestreo y análisis posteriores como el de los resultados obtenidos en el laboratorio bajo el esquema ICM40B relacionado al análisis de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, por sus siglas en inglés ICP-MS.

El procedimiento se realizó logeando y ejecutando ensayos con el Analizador XRF-P Vanta series M en 327.25 metros de testigos de perforación y en “rechazos” de pulpa fina del pozo UDC\_GD\_004 del proyecto Guayabales el cual se encuentra a 75 km al sur de la ciudad de Medellín y que junto con el proyecto San Antonio hacen parte de las dos zonas de influencia minera de la empresa COLLECTIVE MINING LTD. En el proyecto Guayabales se encuentran sistemas de mineralización tipo pórfido Cu-Au-Mo y Au-Mo de edad Mioceno que se han emplazado en rocas volcánicas máficas del Cretácico, Esquistos del Paleozoico y en rocas volcánicas de composición intermedia coetáneas.

Para el desarrollo de este trabajo y debido a que la técnica de XRF-P no se había implementado en las operaciones de exploración y logeo en la empresa COLLECTIVE MINING LTD, el equipo Analizador XRF-P Vanta series M del fabricante Olympus, fue calibrado, parametrizado y estandarizado buscando ajustarlo a la matriz mineralógica del proyecto de exploración de la empresa.

**Palabras clave:** Fluorescencia de rayos X, mineralización, alteración, logueo, testigos de perforación

## Abstract

This report details the characterization of structures, mineralization, lithology and alteration of hole UDC\_GD\_004 integrating the diamond drill core logging process with the technology known as portable X-ray fluorescence (XRF-P) in order to provide detailed and accurate information of geochemical anomalies that can be used as a guideline in decision making and as an element to optimize sampling and subsequent analysis as the results obtained in the laboratory under ICM40B related to inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) analysis.

The procedure was performed by logging and running tests with the XRF-P Vanta M series Analyzer on 327.25 m of drill core and fine pulp "rejects" from the well UDC\_GD\_004 of the Guayabales project which is located 75 km south of the city of Medellin and which together with the San Antonio project are part of the two mining influence zones of the company COLLECTIVE MINING LTD. In the Guayabales project there are porphyry type Cu-Au-Mo and Au-Mo mineralization systems of Miocene age that have been emplaced in mafic volcanic rocks of the Cretaceous, Paleozoic Schists and in volcanic rocks of intermediate composition coeval.

For the development of this work and because the XRF-P technique had not been implemented in the exploration and logging operations in the company COLLECTIVE MINING LTD, the XRF-P Vanta series M Analyzer equipment of the manufacturer Olympus, was calibrated, parameterized and standardized seeking to adjust it to the mineralogical matrix of the exploration project of the company.

**Keywords:** X-ray fluorescence, mineralization, alteration, logging, drill core.

## Tabla de Contenido

1.	Introducción .....	15
7.	Objetivos .....	17
3.	Localización .....	18
4.	Marco Teórico .....	19
4.1	Teoría de la Fluorescencia de Rayos X.....	19
4.1.1	Aplicaciones en la Industria .....	22
4.1.2	Tipos de Tubos de Rayos X.....	23
4.1.3	Factores que Afectan la Calibración .....	25
4.1.4	Efectos del Tamaño de las Partículas .....	26
4.1.5	Interferencia de la humedad .....	27
4.1.6	Límite de detección .....	27
4.2	Análisis de sedimentos.....	29
4.3	Análisis de artículos de joyería y juguetes infantiles .....	30
4.4	Origen de los Rayos X .....	31
5.	Geología Regional.....	33
5.1	Complejo Quebradagrande .....	35
5.2	Complejo Arquía:.....	36
5.3	Formación Barroso.....	38
5.4	Formación Amaga:.....	38
5.5	Formación Combia:.....	40
6.	Geología Estructural.....	41
6.1	Fallas.....	41
6.1.1	Sistema de Fallas Romeral .....	41
6.1.2	Falla Silvia-Pijao.....	41
6.1.3	Falla Cauca – Almaguer.....	42
6.1.4	Fallamiento en la Formación Irra – Tres Puertas.....	42
6.1.5	Falla Tapias.....	42
7.	Metodología .....	44
7.1	General.....	44
7.1.2	Parametrización del equipo XRF-P.....	44
7.1.3	Calibración de equipo XRF-P.....	46
7.2.	Primera Etapa.....	46
7.2.10	Logueo de testigos de perforación .....	63
8.	Resultados.....	65
8.1	Logueo .....	65
8.2	Datos químicos XRF-P .....	84
8.3	Variación y correlación de elementos químicos con la litología, alteración y asociación mineralógica:.....	92
8.4	Variación de la química con respecto a la profundidad, litología y alteración.....	93





9. **Conclusiones** ..... 98

10. **Recomendaciones** ..... 99

11. **Bibliografía** ..... 100

12. **Anexos** ..... 101

## Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localización .....	13
Figura 2. Ortofoto de la zona de estudio.....	18
Figura 3. El proceso de tres pasos que describe la fluorescencia de rayos x. Tomado de: <a href="https://www.ixrf.com/es/teor%C3%ADa-xrf/">https://www.ixrf.com/es/teor%C3%ADa-xrf/</a> .....	21
Figura 4. Modelo atómico de Bohr. ....	21
Figura 5. Comparación de espectros de tres elementos puros y un espectro tomado de una muestra de latón. Tomado de: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Comparacion-de-los-espectros-de-emision-espontanea-longitudinal-y-transversal-obtenidos_fig3_285993602">https://www.researchgate.net/figure/Comparacion-de-los-espectros-de-emision-espontanea-longitudinal-y-transversal-obtenidos_fig3_285993602</a> .....	22
Figura 6. Analizador MDX1080+ MDXRF del instrumento Oxford de laboratorio. ....	24
Figura 7. Analizador portátil Olympus Vanta series M. Tomado de: <a href="https://www.olympus-ims.com/es/landing/explore-vanta/">https://www.olympus-ims.com/es/landing/explore-vanta/</a> .....	24
Figura 8. Ubicación del proyecto Guayabales y mapa geológico con los principales yacimientos auríferos del cinturón del Cauca Medio. Tomado de: <a href="https://www.collectivemining.com/_resources/reports/Collective_Mining_Guayabales_NI_43-101_Technical_Report.pdf?v=0">https://www.collectivemining.com/_resources/reports/Collective_Mining_Guayabales_NI_43-101_Technical_Report.pdf?v=0</a> .....	43
Figura 9. Flujograma que describe el proceso de calibración del XRF- P para los ensayos en las muestras. Fuente: propia. ....	45
Figura 10. Lote de muestras elegidas para la calibración del XRF-P. Fuente: propia. ....	46
Figura 11. Cuchara dosificadora. Fuente: propia.....	47
Figura 12. Re- empacado de las muestras en bolsas ZIPLOC, usando cuchara dosificadora. Fuente: propia. ....	47
Figura 13. Mediciones direccionadas hacia los bordes y parte central de la bolsa. Fuente: propia. ....	48
Figura 14. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF-P para el Molibdeno (Mo). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación.....	49
Figura 15. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF-P para el Molibdeno (Mo). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación.....	50
Figura 16. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF- P para el plomo (Pb). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación. ....	50
Figura 17. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P el cual se etiquetó como COLLECTIVEM. Fuente: propia. ....	51
Figura 18. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Cobre (Cu) en el que se ingresó el valor de m: 1,1069 y b: 6. Fuente: propia.....	51
Figura 19. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Molibdeno (Mo) en el que se ingresó el valor de m: 1,201 y b: 3. Fuente: propia.....	52
Figura 20. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Plomo (Pb) en el que se ingresó el valor de m: 1,392 y b: 27. Fuente: propia.....	52
Figura 21. Nuevo ensayo ejecutando el factor de usuario creado. Fuente: propia.....	53
Figura 22. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el cobre (Cu). ....	54
Figura 23. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el cobre (Cu). ....	56
Figura 24. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el Molibdeno (Mo).....	56

Figura 25. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el Molibdeno (Mo)..... 59

Figura 26. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el Plomo (Pb). ..... 60

Figura 27. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el Plomo (Pb). ..... 62

Figura 28. Cajas logueadas con los testigos de perforación. Fuente: propia. .... 64

Figura 29. Caja 001 – 003 – Horizonte de lixiviación. Fuente: propia. .... 68

Figura 30. Caja 004 – 006 – Horizonte de lixiviación. Fuente: propia. .... 68

Figura 31. Caja 007-009 - Suelo residual y fragmentos del saprolito rocoso con alteración supergénica y concentración de óxidos de hierro. Fuente: propia. .... 69

Figura 32. Caja 010 – 012 – Cuarzodiorita (Q1) con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia. .... 69

Figura 33. Caja 013 – 015 - Desde 36.4 mts a 37.5 mts, se evidencia fallamiento que pone en contacto a la Diorita (D2) con la Cuarzodiorita (Q1) con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia. .... 70

Figura 34. Caja 016-018 - Cuarzodiorita con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia. .... 70

Figura 35. Caja 019 - 021 - Alteración de Clorita- Sericita y epidota en plagioclasa. Fuente: propia. .... 71

Figura 36. Caja 022-024 - Clastos alterados a Clorita-Sericita con fragmentos de esquistos. Fuente: propia. .... 71

Figura 37. Caja 025-027 - Fragmentos de Diorita (D2) Fuente: propia..... 72

Figura 38. Caja 028-030 – Brecha Fluidizada (BF) con clastos de Diorita (D2) alterados a Clorita-Sericita. Fuente: propia. .... 72

Figura 39. Caja 031 - 033 - Clastos de D2 (Diorita). Fuente: propia..... 73

Figura 40. Caja 034 - 036 - Clastos de Diorita (D2) con alteración de Clorita- Sericita y Molibdenita en vetilla de Cuarzo. Fuente: propia. .... 73

Figura 41. Caja 037-039 – Diorita porfirítica de grano fino con biotita secundaria y vetillas de cuarzo. Fuente: propia. .... 74

Figura 42. Caja 040 - 042 - Contacto de Diorita Porfirítica de grano fino (D3) y Brecha Polimíctico Clastosoportada (Bf). Fuente: propia. .... 74

Figura 43. Caja 043 -045 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de cuarzodiorita, esquito y vetillas de Cuarzo. Fuente: propia..... 75

Figura 44. Caja 049 - 051 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de cuarzodiorita y esquisto. Fuente: propia. .... 75

Figura 45. Caja 052-054 - Contacto entre brecha polimíctica clastosoportada y cuarzodiorita. Fuente: propia. .... 76

Figura 46. Caja 055 – 057 - Cuarzodiorita con vetillas tipo pórfido con halo de Sericita. Fuente: propia. 76

Figura 47. Caja 058 – 060 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de esquistos y Cuarzodiorita con alteración a Clorita-Sericita. Fuente: propia. .... 77

Figura 48. Caja 061 - 063 - Cuarzodiorita con presencia de feldespato potásico. Fuente: propia. .... 77

Figura 49. Caja 064 – 066 - Vetilla de Cuarzo de dos centímetros de espesor en cuarzodiorita. Fuente: propia. .... 78

Figura 50. Caja 070 - 072 - Cuarzodiorita con vetillas de Cuarzo y Pirita, alteración de Clorita- Sericita. Fuente: propia. .... 78

Figura 51. Caja 073 - 075 - Cuarzodiorita porfirítica con alteración de Clorita-Sericita controlada por estructuras y presencia de feldespato potásico. Fuente: propia..... 79

Figura 52. Caja 079 -081 - Cuarzodiorita porfirítica con alteración de biotita secundaria en "Parches" - Contacto entre Cuarzodiorita y cuarzodiorita porfirítica. Fuente: propia. .... 79

Figura 53. Caja 085 - 087 - Cuarzodiorita con vetilla de Pirita, Cuarzodiorita con vetillas de cuarzo tipo pórvido. Fuente: propia..... 80

Figura 54. Caja 091 -093 - Cuarzodiorita con vetilla de magnetita y clorita- epidota selectiva. Fuente: propia. .... 80

Figura 55. Caja 097-099 - Cuarzodiorita con vetilla de Cuarzo, Molibdeno, Pirita. Fuente: propia. .... 81

Figura 56. Caja 100 - 102 - Cuarzodiorita con pirita diseminada. / Contacto entre cuarzodiorita y Brecha polimíctica clastosoportada. Fuente: propia..... 81

Figura 57. Caja 103 -105 - Alteración pervasiva de biotita secundaria y Clorita-Sericita controlada por estructuras. Brecha polimíctica clastosoportada en Q3. Fuente: propia. .... 82

Figura 58. Caja 106 -108 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de Q3 y vetilleo de minerales. Fuente: propia. .... 82

Figura 59. Caja 109 - 111 - Brecha polimíctica clastosoportada con alteración de Clorita- Sericita controlada por estructuras, clastos de Q3 y brecha fluidizada. Fuente: propia. .... 83

Figura 60. Caja 112 - 114 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de Q3. Fuente: propia..... 83

Figura 61. Caja 118 - Brecha polimíctica con clastos de Q3. Fuente: propia..... 84

Figura 62. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Potasio (K) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia..... 96

Figura 63. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Arsénico (As) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....97

Figura 64. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación de la Plata (Ag) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....97

Figura 65. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Aluminio (Al) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....98

Figura 66. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Cobre (Cu) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas Fuente: propia.....98

Figura 67. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Hierro (Fe) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....99

Figura 68. - Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Molibdeno (Mo) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....99

Figura 69. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Zinc (Zn) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....100

Figura 70. - Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Plomo (Pb) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.....100

## Lista de Tablas

Tabla 1. Valores promedio para las tres mediciones realizadas con el XRF-P y resultados certificados... 49	49
Tabla 2. Resultados obtenidos antes de la calibración para el Cobre (Cu) en ppm. .... 54	54
Tabla 3. Resultados obtenidos después de la calibración para el cobre (Cu) en ppm..... 55	55
Tabla 4. Resultados antes de la calibración para el Molibdeno (Mo) en ppm. .... 57	57
Tabla 5. Resultados después de la calibración para el Molibdeno (Mo) en ppm..... 58	58
Tabla 6. Resultados antes de la calibración para el Plomo (pb) en ppm..... 60	60
Tabla 7. Resultados después de la calibración para el Plomo (Pb) en ppm. .... 61	61
Tabla 8. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Saprolito) y alteración (Supergénica) ... 84	84
Tabla 9. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzodiorita) y alteración (Clorita-sericita)..... 85	85
Tabla 10. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha tectónica) y alteración (Clorita-sericita)..... 85	85
Tabla 11. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Diorita de grano medio) y alteración (Clorita-Sericita). .... 85	85
Tabla 12. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-Sericita). .... 86	86
Tabla 13. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-sericite y Potassic Bio) ..... 87	87
Tabla 14. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-sericite y Potassic Bio ..... 88	88
Tabla 15. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec). .... 89	89
Tabla 16. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec). .... 89	89
Tabla 17. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec). .... 90	90
Tabla 18. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec). .... 91	91
Tabla 19. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec). .... 91	91
Tabla 20. Variación y correlación de elementos químicos con la litología, alteración y asociación mineralógica ..... 92	92

## Lista de Anexos

Anexos 1. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexos 2. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 1.....	102
Anexos 3. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 2.....	102
Anexos 4. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 3.....	103
Anexos 5. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 4.....	103
Anexos 6. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 5 y 6.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexos 7. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M.....	105
Anexos 8. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M.....	105
Anexos 9. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M.....	106
Anexos 10. Plantilla para litología.....	115
Anexos 11. Plantilla para alteración.....	115
Anexos 12. Plantilla para mineralización.....	115
Anexos 13. Plantilla para estructura.....	115
Anexos 14. Flujograma para procedimiento de muestreo suelos.....	116
Anexos 15. Flujograma para procedimiento de logeo.....	117

## 1. Introducción

La fluorescencia de rayos X (XRF) por sus siglas en inglés, es utilizada actualmente en la industria para determinar la concentración de elementos químicos en diferentes tipos de materiales o muestras. Es un método analítico de alta precisión con la ventaja de no ser destructivo en la mayoría de las aplicaciones y es usado en diferentes áreas de investigación como lo es la medicina, biología y geología entre otras. Los analizadores XRF-P determinan la composición elemental de una muestra midiendo la fluorescencia de rayos X emitida por los elementos que se encuentran presentes, cuando estos son excitados por una fuente primaria de rayos X. Cada uno de los elementos presentes en una muestra produce un conjunto de líneas características de rayos X que es único para ese elemento específico, razón por el cual la espectroscopía XRF es una técnica excelente para el análisis cualitativo y la determinación cuantitativa de la composición del material.

Esta nueva tecnología de analizadores de (XRF-P) ha cobrado bastante fuerza en la industria minera ya que estos dispositivos ofrecen datos geoquímicos de alta precisión y en tiempo real que permiten efectuar caracterizaciones rápidas de múltiples elementos en muestras de suelos, rocas y minerales lo que se traduce en una retroalimentación ágil durante las diferentes operaciones y en una solución viable para mejorar la relación productividad/costo en la cadena de valor de las empresas mineras. Además, el analizador por (XRF-P) mide alrededor de 30 elementos de manera instantánea, lo que permite cuantificar el contenido de los elementos mayores y elementos traza y elaborar tablas de correlación y confianza con los materiales de referencia certificados.

En este informe se presentan los resultados obtenidos de la integración y correlación de la geoquímica y el logueo geológico con la técnica de fluorescencia de rayos X portable XRF-P en la caracterización de estructuras, mineralización, litología y alteración de 327.25m de testigos de

perforación del pozo UDC\_GD\_004. También se presentan los procesos e instructivos que se ejecutaron en el desarrollo de las actividades propuestas con el fin de estandarizar y parametrizar dichas actividades y en pro del mejoramiento de estas.



## 7. Objetivos

### General

Caracterizar las estructuras, mineralización, litología y alteración del pozo UDC\_GD\_004 y correlacionar dicha caracterización con la Geoquímica obtenida mediante ensayos realizados en “rechazos” de pulpa fina, usando la Técnica de Fluorescencia de Rayos X Portable XRF-P

### Específicos

- Apoyar las diferentes labores de logeo geológico y muestreo de suelos
- Registrar información a partir de la descripción de la roca extraída siguiendo la metodología pre y post logeo
- Realizar la calibración, parametrización y estandarización del Analizador XRF Vanta series M ajustado a la matriz mineralógica de la empresa
- Correlacionar los resultados de ICP-MS con los resultados tomados con el Analizador XRF Vanta series M para el pozo UDC\_GD\_004 del proyecto Guayabales.

### 3. Localización

El proyecto Guayabales está ubicado a 80 km al sur de Medellín, 75 km al norte de Pereira y 50 km al noroeste de Manizales entre los Municipios de Marmato, Supía y La Merced, Departamento de Caldas, y el Municipio de Caramanta, Departamento de Antioquia. El Proyecto Guayabales se encuentra dentro del terreno de Romeral que está limitado por el sistema de fallas de Romeral al este y el sistema de fallas de Cauca-Patía al oeste, y comprende rocas metamórficas de grado medio a alto, secuencias ofiolíticas y sedimentos oceánicos de edad entre el Jurásico tardío y el Cretácico temprano. La mineralización de oro-plata-cobre en el cinturón está relacionada con múltiples grupos de intrusiones de tipo pórfido del Mioceno tardío de composición diorita a cuarzo diorita, y brechas intrusivas. (Redwood, 2021, p. 11) (Figuras 1 y 2).

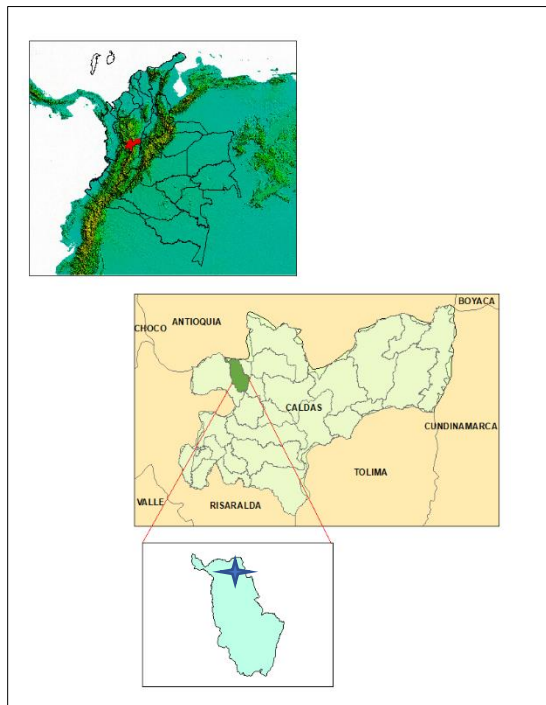


Figura 2. Mapa de localización – Funete propia

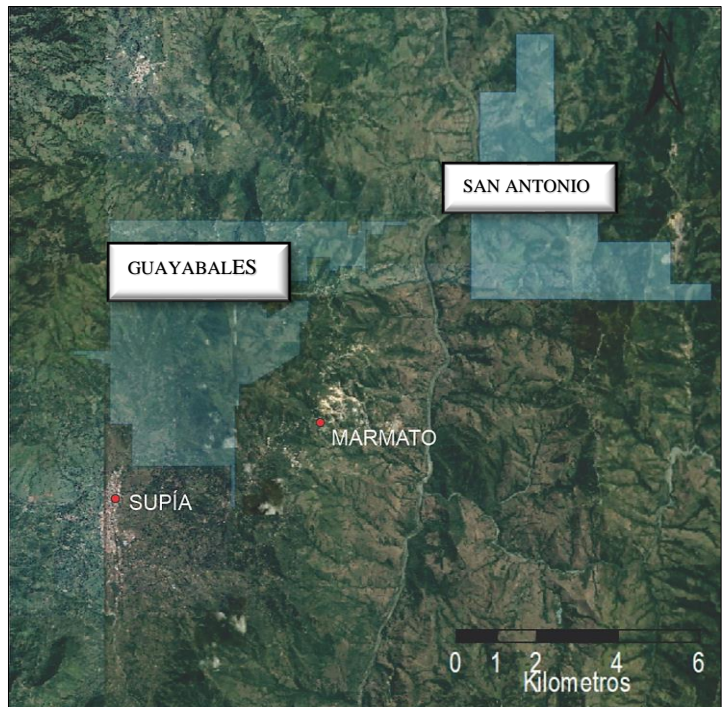


Figura 1. Ortofoto de la zona de estudio.

Tomado de SAS PLANET

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Teoría de la Fluorescencia de Rayos X

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) es una herramienta de detección analítica que se utilizó por primera vez para analizar el plomo (Pb) en la pintura en la década de 1970 durante los estudios de reducción y exposición (Kalnicky y Singhvi, 2001), y desde entonces se ha utilizado en pruebas ambientales de aleaciones, materiales geológicos, sedimentos, vidrios, con muy poca preparación y tratamiento de muestras (Lawryk et. al, 2009). A lo largo de los años, el XRF ha ganado la aceptación de la comunidad científica como una herramienta analítica viable debido a la eficiencia de la fuente de radioisótopos de excitación junto con detectores extremadamente sensibles y otros dispositivos electrónicos, por lo que ofrece múltiples capacidades de análisis de elementos, economía, alta velocidad y operación simple, donde sus ventajas y las limitaciones son bien comprendidas.

Los átomos emiten fluorescencia a energías específicas cuando son excitados por los rayos X. La detección de los fotones fluorescentes específicos permite el análisis cualitativo y cuantitativo de la mayoría de los elementos de una muestra. Se crea una vacante en la capa interna (por un fotón de rayos X incidente u otro fenómeno) dejando un agujero de electrones en la capa interna. Un electrón de la capa externa cae para llenar la vacante de la capa interna cuando el átomo se relaja hasta el estado básico. Este proceso emite fotones con una energía en la región de los rayos X del espectro electromagnético equivalente a la diferencia de energía entre las dos capas. (Kalnicky y Singhvi, 2001).

Cada átomo tiene un espectro de líneas de rayos X que consiste en una serie de energías discretas con intensidades relacionadas con la probabilidad de que se produzca una transición

concreta. Los rayos X emitidos son característicos del átomo y proporcionan una identificación cualitativa del elemento. La energía de los fotones de una línea espectral es la diferencia de energía, entre los niveles inicial y final implicados en la transición electrónica. La comparación de las intensidades de los rayos X de una muestra desconocida con las de los estándares adecuados proporciona la base para el análisis cuantitativo del elemento.

Si el electrón de la capa que se sustituye es un electrón de la capa K, entonces la emisión de rayos X se conoce como rayos X K. Del mismo modo, las transiciones de capa L producen rayos X L. Las líneas espectrales de rayos X se agrupan en series (K, L, M). Todas las líneas de una serie son el resultado de transiciones de electrones desde varios niveles a la misma capa. Por ejemplo, las transiciones de las capas L y M a la capa K producen líneas espectrales denominadas  $K_{\alpha}$  y  $K_{\beta}$ , respectivamente. Todos los elementos de la muestra generan un espectro de rayos X. Cada elemento tendrá muchas líneas características en el espectro, ya que se emitirá un rayo X distinto para cada tipo de transición orbital. La figura 3 y 4 proporcionan una descripción general de los conceptos básicos de la teoría del XRF.

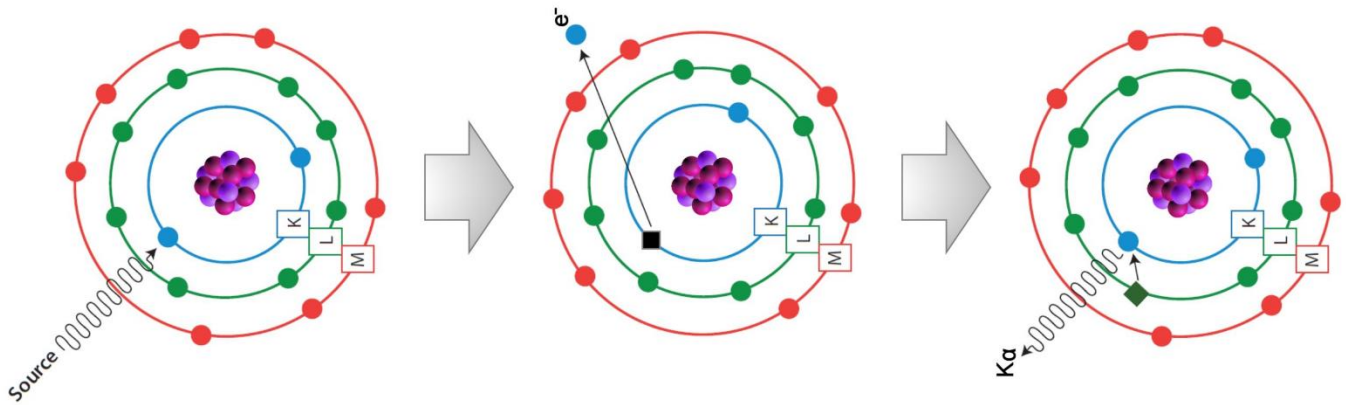


Figura 3. El proceso de tres pasos que describe la fluorescencia de rayos x. Tomado de: <https://www.ixrfsystems.com/es/teor%C3%ADa-xrf/>

### MODELO ATÓMICO SEGÚN BOHR

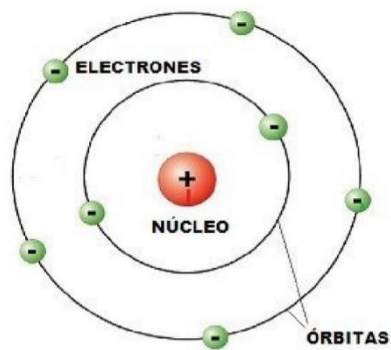


Figura 4. Modelo atómico de Bohr.

Tomado de: <https://es.scribd.com/document/345065693/Modelo-Atomico-Segun-Bohr>

### 4.1.1 Aplicaciones en la Industria

El XRF se puede usar para detectar la mayoría de los elementos en la tabla periódica que van desde Na a U e incluso elementos de número atómico (Z) más alto, aunque la detección de elementos Z bajos requiere el uso de un gas de purga de vacío o helio (Palmer et. al, 2009). Sin embargo, los instrumentos XRF tienen detectores de estado sólido mejorados con suficiente resolución de energía para análisis multielemento con pocos problemas de interferencia espectral, y no requieren líquido refrigeración por nitrógeno. Se han desarrollado y comercializado muchos modelos para aplicaciones específicas como como el análisis de Pb en pintura (Dost, 1996). En circunstancias normales, una detección positiva de una muestra se confirma mediante múltiples

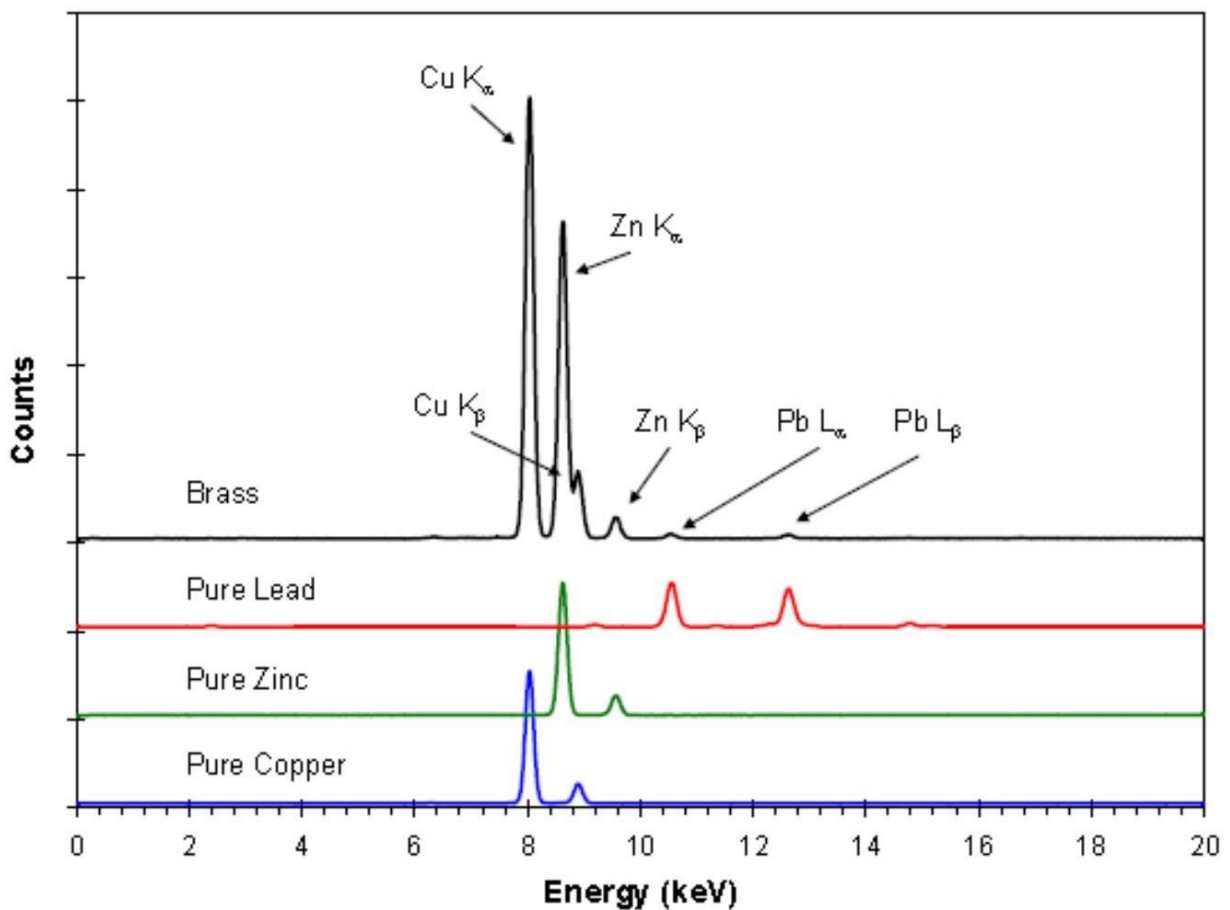


Figura 5. Comparación de espectros de tres elementos puros y un espectro tomado de una muestra de latón. Tomado de: [https://www.researchgate.net/figure/Comparacion-de-los-espectros-de-emision-espontanea-longitudinal-y-transversal-obtenidos\\_fig3\\_285993602](https://www.researchgate.net/figure/Comparacion-de-los-espectros-de-emision-espontanea-longitudinal-y-transversal-obtenidos_fig3_285993602)

líneas de fluorescencia con diferente energía que se puede expandir y muestran una resolución limitada del analizador (Figura 5). Sin embargo, la interpretación de los espectros del XRF que contienen múltiples superposiciones de líneas de fluorescencia pueden ser muy complicados debido a las limitaciones fundamentales del detector para distinguir fotones con energías similares.

#### **4.1.2 Tipos de Tubos de Rayos X**

Los tubos de rayos X de alta potencia son otra fuente alternativa de XRF y, a menudo, asociado con la instrumentación XRF de laboratorio, lo que da como resultado una mayor sensibilidad (Figura 6). El sistema de espectrometría XRF portátil (Figura 7) debe ser confirmado por el análisis de laboratorio porque el XRF basado en laboratorio requiere la extracción secuencial de la heterogeneidad de la muestra y mayor fuente de energía. Los tubos de rayos X de baja potencia (1-50 W) a veces se consideran una herramienta cualitativa (Parsons et al, 2012), pero depende del análisis y la calibración si el análisis es cualitativo o cuantitativo. A pesar de una serie de ventajas antes mencionadas, la corta vida media de las fuentes XRF puede tener implicaciones para la sensibilidad del instrumento. De este modo, las fuentes deben ser reemplazadas cuando se reduce la sensibilidad. Los estándares de calibración son, por lo tanto, obligatorio y las unidades pueden requerir mantenimiento después de dos años.



Figura 6. Analizador MDX1080+ MDXRF del instrumento Oxford de laboratorio. Tomado de: <https://www.olympus-ims.com/es/landing/explore-vanta/>



Figura 7. Analizador portátil Olympus Vanta series M. Tomado de: <https://www.olympus-ims.com/es/landing/explore-vanta/>



### 4.1.3 Factores que Afectan la Calibración

Especialmente para el análisis cuantitativo, los métodos XRF requieren la calibración del analizador XRF con estándares de concentraciones conocidas. La calibración simplemente compara la intensidad de los rayos X de los elementos de interés con las concentraciones certificadas y conocidas de un tipo de muestra (por ejemplo, sólidos, líquidos y películas). Durante un procedimiento de calibración deben considerarse los siguientes factores, que pueden influir en la exactitud y la precisión del método: 1). La resolución del detector y la relación con las inferencias espectrales; 2). Las matrices de las muestras; 3). La exactitud y la idoneidad de los estándares; y 4). La morfología de la muestra (es decir, la uniformidad, el contenido de agua, la distribución del tamaño de las partículas y el estado de la superficie) y la geometría de medición de la muestra (Kalnicky y Singhvi, 2001).

Estos factores limitantes pueden abordarse para poder realizar una calibración adecuada y significativa. Los diferentes detectores tienen diferente eficiencia para resolver las líneas espectrales de rayos X superpuestas. Por ejemplo, las líneas superpuestas entre As-K y Pb-L pueden no ser bien separadas por ciertos detectores, lo que da lugar a un error analítico. Los efectos de matriz ocurren cuando otros elementos interfieren con el elemento objetivo, y esta interferencia puede tener un impacto en la intensidad de rayos X medida del elemento objetivo. Estos efectos producen una respuesta de intensidad no lineal frente a la concentración del elemento objetivo, y aparecen como fenómenos de absorción o realce de rayos X. Estos efectos pueden corregirse cuando se calibran los analizadores XRF (Parsons et al, 2012). Además, las concentraciones estándar deben tener concentraciones precisas de aquellos elementos de interés para ser analizados con una medición de tiempo sugerido. Asimismo, el estándar debe presentar la misma textura que la muestra a analizar para tener un método de calibración preciso. Está bien documentado que la

sensibilidad del XRF disminuye a medida que aumenta la distancia entre la muestra que se analiza y la fuente de excitación. Esta discrepancia puede reducirse manteniendo la misma geometría de medición entre todos los estándares de calibración y las mediciones de la muestra. Para obtener los mejores resultados, la ventana de la sonda debe estar en contacto directo con la muestra.

#### **4.1.4 Efectos del Tamaño de las Partículas**

El método analítico XRF se ha demostrado en diferentes composiciones químicas de todo tipo de materiales. Los materiales pueden estar en forma sólida, líquida, en polvo, filtrada o de otro tipo, sin embargo, el tamaño de las partículas en las muestras sólidas puede influir en la precisión del XRF. En 1976, Criss informó de que la sensibilidad de una medición XRF disminuye a medida que aumentan los tamaños y las densidades de las partículas, porque las pérdidas de absorción de rayos X aumentan. Del mismo modo, Maruyama et al, (2008) descubrieron que el efecto del tamaño de las partículas en el XRF mostraba una clara disminución de las intensidades del XRF cuando éstas se observaban con un tamaño de partícula mayor. Ambos estudios informaron de que se puede realizar una corrección. Con respecto a la distribución de metales en diferentes fraccionamientos de tamaño de partícula, está bien documentado que las partículas más finas tienden a adsorber preferentemente los metales y a asociarse con mayores concentraciones de metales (Forstner y Whitman, 1983). Por ejemplo, Luo et al. (2011) informaron de un enriquecimiento de Pb, Cu y Zn en suelos <100 um en una zona urbanizada de Hong Kong que estaba fuertemente influenciada por las actividades antropogénicas y las emisiones vehiculares. Clark et al. (1999) encontraron que las muestras de suelo tamizadas a <125 um tenían un mayor contenido de Pb que las tamizadas a <250 um. German y Svensson (2002) comprobaron que los metales están en función del diámetro de las partículas y son proporcionales a la inversa del

diámetro de estas, es decir, que las mayores concentraciones de metales están asociadas a las fracciones más finas.

#### **4.1.5 Interferencia de la humedad**

La humedad de la muestra puede afectar a la precisión del análisis. Se informó que la humedad de la muestra hasta el 20% puede afectar el análisis (Kalnicky y Singhvi, 2001). Por lo tanto, las muestras de suelo y sedimento deben ser secadas rutinariamente para eliminar toda la humedad de la matriz cuando el contenido de agua supera el 20%. Los factores limitantes que afectan a la capacidad de rendimiento del XRF incluyen la sensibilidad de las técnicas instrumentales; la baja concentración del elemento de interés; la interferencia de otros elementos en la matriz; y el uso de grandes volúmenes de agua como muestras representativas (Kalnicky y Singhvi, 2001).

#### **4.1.6 Límite de detección**

El límite de detección (DL), que se define como el triple de la desviación estándar calculada, está influenciado por las variaciones en la matriz física de la muestra, los radioisótopos y los elementos de análisis. También se ha informado de que los límites de detección están influidos por la duración del análisis: cuanto más largo es el análisis, más bajos tienden a ser los DL. En un artículo publicado por Schramm et al. (1999), argumentaron que los tiempos de medición largos darán lugar a unos límites de detección bajos y a una precisión elevada. También hay que tener en cuenta que, el uso de un tubo de rayos X en una disposición de excitación específica no puede dar condiciones de excitación óptimas para elementos ligeros y pesados. Así, la duración para obtener una DL de un elemento de interés puede ser diferente de la de otro. Parsons et al. (2012) mostraron que el tiempo de análisis puede determinar si los datos recogidos son

cuantitativos o cualitativos según los criterios de calidad de la USEPA (Tabla 1). Los autores encontraron en su investigación anterior que un compromiso adecuado entre el tiempo de medición y la precisión para una variedad de metales es de 120s mientras que otros utilizan tiempos de medición más cortos, por ejemplo, 45s como en Kilbride et al. (2006). Sin embargo, el tiempo óptimo requerido o considerado adecuado para obtener datos cuantitativos refleja el tipo, la homogeneidad y los elementos de interés de la muestra. Por ejemplo, los autores informaron que el XRF dio datos cualitativos para el Cu cuando el tiempo de recuento fue de 60 s (%RSD=20,2). Sin embargo, cuando el tiempo de análisis fue de 120 s (%RSD=10,9), el analizador XRF produjo datos cuantitativos para el Cu. Hay tres tipos de datos cuantitativos (Definitivo 1, Cuantitativo 2 y Cuantitativo 3). Diferentes elementos pueden requerir diferentes duraciones de análisis (más largas o cortas).

Sugirieron que el As en concentraciones bajas (<30mg/kg) no mostraba diferencias significativas cuando el análisis superaba los 100s. El manganeso a 500 mg/kg y el Zn a 100 mg/kg no mostraron diferencias significativas tras el análisis de 300s y 50s, respectivamente, pero mostraron diferencias a un tiempo de análisis más corto. Sin embargo, los límites de detección no sólo están influenciados por los efectos físicos de la matriz y los elementos de análisis, sino que también se ven afectados por las altas concentraciones de analitos (USEPA 2008). Por lo tanto, se recomienda que sólo se utilicen las concentraciones de analitos más cercanas al límite mínimo de detección. A pesar de la recomendación de la USEPA (2008) sobre el uso de concentraciones bajas de analitos que puedan afectar a la sensibilidad del XRF, Murphy et al. (2012) encontraron una fuerte regresión lineal con un valor  $r^2$  de 0,999 para cremas para la piel adicionadas con DMSO (dimetilsulfóxido) hasta 30.000 ppm. Así pues, la DL del XRF depende realmente del tipo de instrumento y del tipo de medio de la muestra.

## 4.2 Análisis de sedimentos

La contaminación de metales en el suelo ha sido bien documentada en los últimos años y se están llevando a cabo más estudios en diferentes partes del mundo (Powell y Alexander, 2003; Mendil y Uluozlu, 2007; Wuana y Oklelmen, 2011). El análisis de suelos potencialmente contaminados mediante métodos convencionales, como la espectrometría de absorción atómica (EAA), suele llevar semanas debido a la preparación de las muestras y puede resultar caro. Para la gestión, puede ser necesario un análisis instantáneo del suelo contaminado, de los sedimentos o de la geoprospección para orientar los análisis posteriores y la cartografía de la zona. La evolución de la aplicación XRF ha sido rediseñada para mejorar la sensibilidad en un análisis más exacto y preciso.

Las ventajas de utilizar el XRF para el análisis in situ del suelo son el mínimo requisito de preparación de la muestra, la facilidad de manejo del instrumento y la formación, y la rapidez de los datos resultantes a un coste muy bajo. En un emplazamiento minero de Irlanda, se recogieron 17 muestras de suelo, se digirieron y se analizaron con un AAS para determinar los niveles de Pb, As, Cu y Zn. Los resultados del AAS se correlacionaron con los producidos por el XRF, siendo la  $r^2$  de 0,997 para el Pb; 0,957 para el Cu; y 0,976 para el Zn (Radu y Diamond 2009).

A pesar de utilizar diferentes protocolos de medición (tamizado, molido y mezclado) de muestras de suelo que se recogieron en zonas que se sabía que estaban contaminadas con Pb debido al deterioro de una casa pintada con Pb, Clark et al. (2008) no observaron diferencias en sus resultados. Las pendientes y los niveles de significación de los análisis de regresión entre el XRF y la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS) mostraron que todas las pendientes estaban cerca de la unidad, con un rango de 0,972 a 1,018. Los valores  $r^2$  mostraron un alto grado de correlación del Pb que oscilaba entre 0,96

y 0,99 ( $P < 0,001$ ).

### **4.3 Análisis de artículos de joyería y juguetes infantiles**

Metales como el Cd, el Hg y el Pb se han utilizado en los procesos de fabricación de productos de plástico para reducir el coste de fabricación porque los cromatos de plomo, por ejemplo, son más baratos que los pigmentos y proporcionan productos duraderos, brillantes y flexibles. Cuando se añaden estas sustancias, no se unen a las moléculas de productos, sino que crean una suspensión en el polímero plástico sólido. Polímero sólido. Con el tiempo, estos aditivos químicos pueden liberarse en el medio ambiente o filtrarse en la piel de los niños que han estado en contacto con los productos contaminados, causando problemas perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Y medioambientales. La necesidad de controlar eficazmente la importación y venta de estos productos contaminados es muy crucial. A herramienta analítica ligera, portátil, precisa y que genere datos en tiempo real como el XRF puede identificar y cuantificar rápidamente los elementos prohibidos en productos de plástico (Piorek 2004).

Los analizadores XRF también se han utilizado para evaluar los niveles de metales en diversos productos de consumo, como artículos de joyería de bajo coste y juguetes para niños. Uno de estos estudios fue realizado por Greenway y Gerstenberger (2010), quienes seleccionaron 10 guarderías en Las Vegas, y para cada una de ellas se tomaron 50 muestras de juguetes para analizarlas mediante un XRF portátil (XLt 797 2W) para determinar la composición de Pb y otros metales. Veintinueve de las 535 muestras de juguetes (5,4%) procedentes de 10 guarderías, contenían Pb elevado, igual o superior a la directriz de la Comisión de Seguridad de Productos de Consumo de los Estados Unidos (USCPSC) de 600 ppm (antigua directriz de la USCPSC), siendo el contenido

más alto de Pb de 8.081 ppm. La concentración media de Pb fue de 2.019 ppm. Los autores demostraron que los juguetes fabricados con plásticos de PVC son más propensos a contener un nivel elevado de Pb, aunque es necesario realizar más evaluaciones para determinar el riesgo potencial de exposición de los niños.

Un estudio similar realizado por Sanders et al. (2013), que investigó los niveles de Pb en los juguetes de siete guarderías utilizando un XRF de mano, encontró que 40 de los 460 artículos contenían Pb elevado  $>300$  ppm; y 56 fueron analizados  $>100$  ppm. El método XRF proporcionó una indicación del nivel de Pb en los productos analizados, pero no sustituye a la evaluación de laboratorio como resultado legal, que en este caso puso de manifiesto otra fuente potencial de exposición al Pb de los niños en un entorno basado en el Pb. El Reglamento de la Comisión de la Unión Europea, por ejemplo, todavía está evaluando los procedimientos para estimar la liberación de metales en los juguetes a través de la exposición oral, y la absorción dérmica también está mal caracterizada (Comisión Europea 2009).

#### **4.4 Origen de los Rayos X**

La radiación electromagnética puede producirse siempre que las partículas cargadas eléctricamente, en particular los electrones, pierden energía como resultado de un cambio en su estado de movimiento, por ejemplo, al desacelerarse, cambiar de dirección o pasar a un nivel de energía inferior en la corteza atómica. La desaceleración de los electrones y el paso de un nivel energético de la corteza atómica a otro inferior desempeñan un papel importante en la creación de rayos X en el campo del análisis de rayos X. Para entender los procesos en la corteza atómica debemos echar un vistazo a el modelo atómico de Bohr.

El núcleo cargado positivamente está rodeado de electrones que se mueven dentro de zonas definidas (“cáscaras”).

Las diferencias en la fuerza de los enlaces de los electrones con el núcleo atómico son muy claras en función de la zona o nivel que ocupan, es decir, varían en su energía. Cuando hablamos de esto nos referimos a los niveles de energía o a las cáscaras de energía. Esto significa: Para liberar un electrón de la capa más interna del átomo se requiere una cantidad mínima de energía claramente definida. Para liberar un electrón de la segunda capa más interna del átomo, se requiere una cantidad mínima de energía claramente definida que es menor que la necesaria para liberar un electrón más interno. La unión de un electrón a un átomo es más débil cuanto más lejos esté del núcleo del átomo. La cantidad mínima de energía necesaria para liberar un electrón del átomo, y por tanto la energía con la que se une al átomo, también se denomina energía de enlace del electrón al átomo.

La energía de enlace de un electrón en un átomo se establece principalmente mediante la determinación del incidente. Por esta razón, el término borde de absorción se encuentra muy a menudo en la literatura:

Nivel de energía = energía de enlace = borde de absorción

Las capas individuales se etiquetan con las letras K, L, M, N.; la capa más interna es la capa K, la segunda más interna es la capa L, etc. La capa K está ocupada por 2 electrones. La cáscara L tiene tres subniveles y puede contener hasta un total de 8 electrones. La envoltura M tiene cinco subniveles y puede contener hasta 18 electrones.



## 5. Geología Regional

Las rocas sedimentarias y magmáticas del Oligoceno al Plioceno afloran entre los flancos occidental y oriental de las Cordilleras Central y Occidental a lo largo de la depresión del Valle del Cauca.

Las rocas de la formación Amagá corresponden a rocas siliciclásticas de edad Oligo-Mioceno. La Formación Amagá elongada N-S de origen pull-apart, es cortada por varias fallas regionales del Sistema de Fallas Romeral, que documenta una serie de tectónicas de reactivación de larga duración desde el Cretácico Superior (MacDonald et al., 1996; Sierra et al., 2012). Esta unidad incluye conglomerados intercalados, areniscas, lutitas y lechos de carbón, que se interpreta que se han acumulado en ambientes fluviales trenzados y serpenteantes (Silva-Tamayo et al., 2008). Una discordancia angular separa esta secuencia del complejo volcánico Combia suprayacente que también está asociado con cuerpos porfídicos (Grosse, 1926).

Por otro lado, el complejo volcánico Combia, que también se encuentra dentro de este sistema deformacional, se caracteriza por una secuencia de rocas volcánicas sedimentarias que incluyen basaltos, andesitas, pórfidos, aglomerados, tobas, areniscas, limolitas y conglomerados, y rocas plutónicas como granitos y granodioritas. Las edades K-Ar, Ar-Ar y U-Pb publicadas han demostrado que el magmatismo al sur de 5°N ocurrió entre 11.8 y 4.7 M.a. (Bissig et al., 2017; Leal-Mejía, 2011; Naranjo et al., 2018), y los materiales volcánicos han mostrado diferentes firmas geoquímicas calco-alcalinas y adakíticas; mientras que al norte, el complejo volcánico Combia tiene edades entre 9 M.a. y 5.2 M.a. e incluye diferentes firmas compositivas toleíticas, calco-alcalinas y adakíticas que han sido relacionadas con un modelo de maduración de arco (Leal-Mejía, 2011; Tejada et al., 2007).

Las rocas siliciclásticas del complejo volcánico Combia se caracterizan por capas tabulares de conglomerados mal seleccionados y areniscas y lutitas inmaduras, que se han asociado a flujos de detritos continentales y ambientes de ríos trenzados en el Mioceno tardío, asociados a la formación de diferentes rocas volcánicas (Ramírez et al., 2006).

Por otro lado, la parte sureste de la subcuenca de Amagá, es la parte más meridional de la cuenca Amagá-Cauca-Patía (ACP, Sierra and Marín, 2011) y el borde occidental de la Cordillera Central. El basamento de la Cordillera Central en esta área está constituido por los complejos del Cretácico inferior: Arquía y Quebradagrande (Moreno et al., 2008). En el sector central y occidental del área, la subcuenca de Amagá tiene un basamento constituido por la Formación Barroso descrita por Álvarez (1971) que continúa en la Cordillera Occidental; el relleno sedimentario y volcánicoclástico en esta zona está constituido por el Miembro Superior de la Formación Amagá (cf. Ramírez et al. 2006), la Formación Combia y agrupaciones de cuerpos subvolcánicos que tienen dimensiones variadas. El sistema de fallas de Romeral define los límites en los diferentes complejos que forman el basamento de la Cordillera Central, es un sistema de rumbo dextro-lateral con un componente inverso e incluye las fallas de San Jerónimo, Silvia-Pijao y Cauca-Almaguer. La falla más occidental de este sistema, Cauca-Almaguer es el límite oriental entre la subcuenca de Amagá con la Cordillera Central (cf. Gómez et al., 2007). En el oeste, la sub-cuenca de Amagá está separada de la Cordillera Occidental por el sistema de fallas del Cauca que tiene vergencia hacia el este; la falla de Sevilla es el trazo más oriental de este sistema (Gómez et al., 2007)

## 5.1 Complejo Quebradagrande

Conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en el flanco oeste de la cordillera central al occidente de la Falla de San Jerónimo y al este de la Falla Silvia-Pijao y hasta el Río Cauca. Aunque el nombre más empleado en la literatura geológica colombiana es el de Formación Quebradagrande (Botero, 1963; Gonzales, 1980), considerando la unidad como de rango estratigráfico mayor es más fácil de reconocer y cartografiar en toda su extensión y permite su subdivisión en unidades litoestratigráficas formales de menor rango.

El complejo caracterizado por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias presenta variaciones litoestratigráficas tanto en la secuencia sedimentaria como en la relación de intercalaciones de derrames volcánicos y capas piroclásticas. Los derrames se prolongan por centenares a miles de metros para luego acunarse. La naturaleza de los contactos con las unidades adyacentes varia a escala regional y son generalmente tectónicos con las metamórficas e intrusivos mesozoicos; es intruido por plutones terciarios.

La secuencia sedimentaria puede variar en características litológicas de un sector a otro, pero en conjunto puede considerarse constituida por una secuencia epiclástica con estratificación fina, de color gris verdoso a negro, con grauvacas silíceas, lutitas, localmente con chert, calizas y bancos de conglomerado polimíctico. En la zona de la quebrada Guargurubá, cuyo curso está controlado por la Falla de Romeral, se encuentra fauna epinerítica de edad Albiano en lutitas silíceas negras (Botero y Gonzales, 1983), interestratificadas con arenitas feldespáticas; en el sector de Arma se encuentra fauna del Aptiano-Albiano (Botero, et al., 1971), en pelitas margosas negras intercaladas con rocas basálticas localizadas al oeste de la Falla de Romeral. Es común encontrar venas y lentes concordantes y discordantes de cuarzo lechoso y por lo general, las rocas de esta unidad desarrollan un clivaje pizarroso y de fractura paralelo a la estratificación original;

en los conglomerados se desarrolla un clivaje de fractura y los cantos son elipsoides y aplastados definiendo una lineación elongada.

Las rocas volcánicas se presentan en varios cuerpos con contactos tectónicos; son generalmente de composición basáltica con cantidades menores de andesitas y piroclastitas e intercalaciones de sedimentitas marinas con aporte volcanogénico. Tienen una amplia variación petrográfica: existen rocas afaníticas, porfídicas con fenocristales de plagioclasa y/o piroxeno y amigdaloides. En la zona de Campoalegre, Pácora y Palestina aparecen pillow lavas, pillow brechas y tobas básicas vítreas con amígdalas. Todo el conjunto volcánico presenta, en mayor o menor grado, un proceso de espilitización. Paleontológicamente, los sedimentos intercalados en las vulcanitas básicas tienen un rango de edad Aptiano-Albiano y radiométricamente se han obtenido edades desde el Cretáceo temprano (Restrepo, et al., 1982), que podrían interpretarse como la edad magmática, hasta el Cretáceo tardío que marcaría un evento metamórfico de muy bajo grado.

## **5.2 Complejo Arquía:**

Esta unidad litológica aflora entre las fallas de Silvia-Pijao y Cauca-Romeral en el flanco occidental de la Cordillera Central y corresponde al Grupo Arquía, definido por Restrepo y Toussaint, (1974) para la secuencia de rocas metamórficas de media presión que afloran en el Río Arquía, límite con el Departamento de Antioquia, e incluye los esquistos de Lisboa-Palestina de Mosquera (1978) y los esquistos anfibólicos del Río Cauca (Gonzales, 1976, 1980).

La extensión regional, en bloques tectónicos estructurales, a lo largo del sistema de fallas de Romeral, la diversidad de contactos con las unidades adyacentes y la variación en el tipo bórico

de metamorfismo desde media hasta alta presión en esta unidad, permiten plantar la variación en el rango estratigráfico, considerándola como una macrounidad litodémica, de tal modo que estudios posteriores detallados lleven a su subdivisión en unidades de menor rango como grupos o aún formaciones.

En el departamento de Caldas, este complejo está constituido fundamentalmente por anfibolitas, localmente granatíferas, esquistos actinolíticos y esquistos negros; las dos primeras unidades localmente incluyen anfibolitas sausríticas. Las 37anfibolita37 granatíferas presentan foliación definida por la orientación de prismas de hornblenda y ocasionalmente aparecen bandeadas y están compuestas por hornblenda, plagioclasa intermedia, granate almandínico con cantidades variables de epidota, cuarzo, esfena, rutilo y opacos. Las anfibolitas suasuríticas son de grano más fino que las anteriores, no presentan granate y la plagioclasa está intensamente sausriritizada.

Los esquistos verdes se encuentran relacionados a esquistos negros en intercalaciones que varían de centimétricas a métricas y el contacto con anfibolitas es generalmente fallado. La foliación está definida por la actinolita en los esquistos actinolíticos y por la clorita en los cloríticos. La mayoría de las rocas son esquistos actinolíticos, constituidos además por plagioclasa, clorita y calcita pudiendo localmente aumentar el contenido de estos dos últimos minerales para pasar a esquistos cloríticos o calcáreos.

Los esquistos negros se caracterizan por el contenido de grafito y bandas de cuarzo lechoso siendo notables los plegamientos que presentan; fundamentalmente son esquistos cuarzo-moscovíticos con grafito hasta cuarcitas con cantidades menores de clorita, granate, cloritoide, opacos, rutilo, esfena, circón y turmalina.

Localmente, por efectos térmicos producidos por los pórfidos terciarios, se han transformado en cornubianitas biotíticas. Las rocas del Complejo Arquía, en el área de Caldas están en facies 38nfbolita a facies esquisto verde y su mineralogía indica condiciones de media presión especialmente por la presencia de granate almandínico en anfibolitas y de cloritoide y rutilo en esquistos negros.

### **5.3 Formación Barroso**

La Formación Barroso como unidad litodémica aflora entre el Río Cauca y Anserma, en los alrededores de Belalcázar y al oeste de Viterbo; corresponde a un complejo volcánico lávico y volcanoclástico limitado al Este, arbitrariamente, por el Río Cauca; al Oeste se depositan sobre ella los sedimentos de la Formación Penderisco del Cretáceo tardío, aunque en algunas áreas el contacto entre las unidades es fallado. Está compuesto esencialmente por diabasas y basaltos y en menor proporción espilitas, con intercalaciones de lavas almohadilladas, tobas, brechas y aglomerados.

Aunque predominan las rocas volcánicas, se presentan ocasionalmente lentes irregulares de rocas sedimentarias, especialmente chert y sedimentitas silíceas a veces con fauna del Cretáceo tardío. Las características litológicas y geoquímicas son más afines con un origen en un arco volcánico desarrollado sobre corteza oceánica que estaría representado por algunos complejos ofiolíticos de la Cordillera Occidental.

### **5.4 Formación Amaga:**

A lo largo de la margen occidental de la Cordillera Central durante el Oligoceno-Mioceno se produjeron zonas de hundimiento, donde se depositaron gruesas secuencias de sedimentos

continentales que constituyen la Formación Amagá (Gonzales, 1976), la cual fue intruida en el Neógeno tardío y hoy en día se encuentra en depresiones menores limitadas por fallas.

Esta formación se ha subdividido en tres miembros de acuerdo con la presencia o ausencia de mantos de carbón, su espesor y la presencia de niveles conglomeráticos.

El Miembro Inferior aflora al norte de Irra y en bloques a lo largo de la Falla de Romeral y se caracteriza por la presencia de conglomerados polimícticos con clastos de rocas metamórficas mal seleccionadas, arenitas conglomeráticas de color gris oscuro y por bancos de arenitas arcillosas de color gris a gris verdoso.

El Miembro Medio aflora en cercanías de Aranzazu y entre Riosucio y El Salado. Se caracteriza por la presencia de mantos de carbón, explotados en la zona de Riosucio, con bancos de arenitas de grano fino hasta grueso que gradualmente pasan a arenitas arcillosas y arcillolitas; en estas últimas ocasionalmente se encuentran restos de plantas fósiles.

El Miembro Superior aflora en el área Supía-Riosucio, entre La Felisa e Irra, entre el Río Arquía - Supía y en Filadelfia; está caracterizado por la ausencia de mantos explotables de carbón y de conglomerados y por el predominio de arenitas oscuras y de limolitas y arcillolitas de color ocre deleznales con ocasionales concreciones calcáreas.

En gran parte, los diferentes miembros están suprayacidos en discordancia por la Formación Combia y son intruidos por pórfidos del Mioceno tardío. Según Van der Hammen, (1957, 1958) esta formación es del Oligoceno Superior, llegando el Miembro superior hasta el Mioceno inferior.

## 5.5 Formación Combia:

Esta secuencia litológica aflora a lo largo de la depresión del Cauca entre las cordilleras Central y Occidental, teniendo su mayor espesor y mejores afloramientos al occidente de Supía y Riosucio en el flanco oriental de la Cordillera Occidental.

Aunque en el campo pueden diferenciarse dos unidades, una inferior esencialmente volcánica y una superior donde predominan epiclastitas y piroclastitas mal consolidadas, en el mapa aparecen como una sola unidad debido a la escala. La unidad basal está constituida fundamentalmente por piroclastitas, con fragmentos de tamaño variable desde bloques y brechas en los aglomerados hasta ceniza fina en las tobas, con algunos derrames basálticos hacia la base y diques andesíticos. La unidad superior está, por lo general, mal consolidada y en ella son comunes clastos de rocas porfídicas.

Las rocas del miembro inferior de esta formación reposan en discordancia sobre el Miembro Superior de la Formación Amagá, mientras que las del superior se superponen a distintos miembros de esta formación, están separados de ésta por una discordancia erosiva y son intruidas por pórfidos del Plioceno; estas relaciones indican una edad Mioceno superior-Plioceno.



## 6. Geología Estructural

### 6.1 Fallas

El sistema de fallas de Romeral define los límites en los diferentes complejos que forman el basamento de la Cordillera Central, es un sistema de rumbo dextro-lateral con un componente inverso e incluye las fallas de San Jerónimo, Silvia-Pijao y Cauca-Almaguer (Borrero, C., y Toro-Toro, L.M. 2016). La falla más occidental de este sistema, Cauca-Almaguer es el límite oriental entre la subcuenca de Amagá con la Cordillera Central (cf. Gómez et al., 2007). En el oeste, la sub-cuenca de Amagá está separada de la Cordillera Occidental por el sistema de fallas del Cauca que tiene vergencia hacia el este; la falla de Sevilla es el trazo más oriental de este sistema (Gómez et al., 2007).

#### 6.1.1 Sistema de Fallas Romeral

Define el límite occidental de las rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Cajamarca (Maya & González, 1995) y se ha interpretado como el límite entre corteza oceánica al occidente y corteza continental al oriente (Barrero et al., 1969; González, 1977, 1980; Toussaint, 1996). Al Sistema de Fallas Romeral pertenecen las siguientes fallas cartografiadas:

#### 6.1.2 Falla Silvia-Pijao

La falla Silvia Pijao se extiende desde Ecuador hasta el noroccidente de Colombia, separando el Complejo Arquía del Complejo Quebradagrande, según Fuentes (1990). Se consideran que esta falla es inversa de alto ángulo con componente de rumbo dextral (McCourt et al., 1984) y muestra evidencias de partición de la deformación.

### **6.1.3 Falla Cauca – Almaguer**

En las rocas volcánicas de la Formación Barroso se ha desarrollado una foliación dinámica de dirección N-S, que buza al oeste y con excepción de algunos drenajes alineados, hacia el norte no hay evidencias de campo que sugieran efectos de esta falla sobre los sedimentos de la Formación Irra – Tres Puertas.

### **6.1.4 Fallamiento en la Formación Irra – Tres Puertas**

Los sedimentos neógenos de la cuenca Irra están afectados por fallas cuyas trazas no tienen expresión superficial, pero cuyos efectos se observan en los afloramientos donde una serie de pequeñas fallas de cabalgamiento, con dirección NE y buzamiento al NW se observan particularmente en los niveles carbonosos. Hacia la parte superior, esta secuencia está afectada por un fallamiento normal.

### **6.1.5 Falla Tapias**

Esta es una estructura de dirección NE que corta la secuencia Formación Irra - Tres Puertas y que fue descrita por Mejía et al. (1988) como un cabalgamiento con buzamiento de 45-55°NW, con deformación notoria en algunos afloramientos. La traza de esta falla coincide con el límite entre dos áreas que presentan un estilo estructural diferente: al norte, las rocas presentan un plegamiento estrecho, mientras que, al sur, los pliegues son más amplios y suaves.

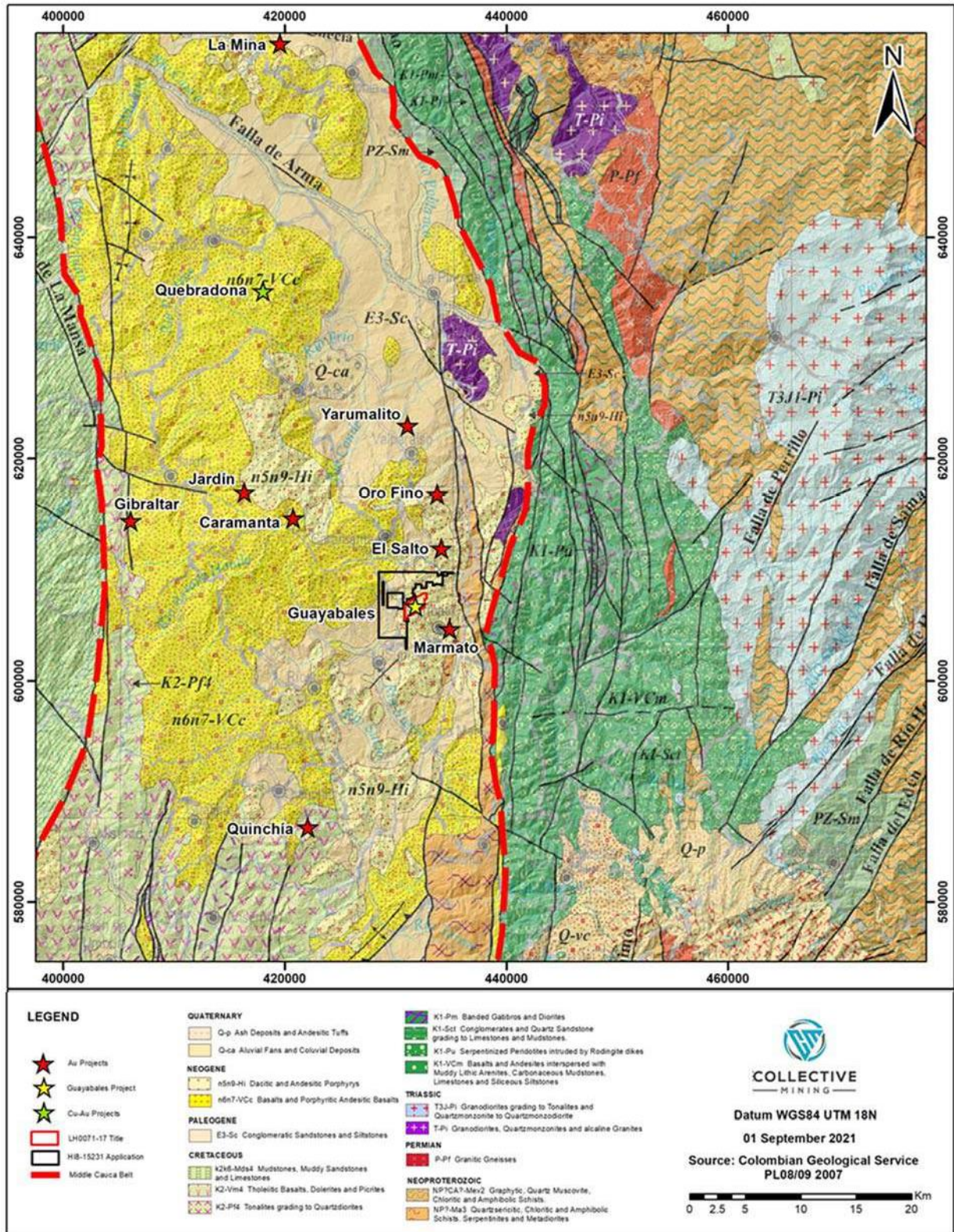


Figura 8. Ubicación del proyecto Guayabales y mapa geológico con los principales yacimientos auríferos del cinturón del Cauca Medio. Tomado de: [https://www.collectivemining.com/\\_resources/reports/Collective\\_Mining\\_Guayabales\\_NI\\_43-101\\_Technical\\_Report.pdf?v=0](https://www.collectivemining.com/_resources/reports/Collective_Mining_Guayabales_NI_43-101_Technical_Report.pdf?v=0)

## 7. Metodología

### 7.1 General

Para el desarrollo de este trabajo y considerando que la técnica de XRF-P no se había implementado en las operaciones de exploración y logeo en la empresa COLLECTIVE MINING LTD, se inició con la parametrización, calibración y estandarización del equipo Analizador XRF-P.

Con la ayuda de dos lupas, una de aumento 20x y otra de aumento 10x, libreta de campo, rayador de tungsteno, lápiz imán de pivote y ácido clorhídrico (HCL) se logearon 327.25 m de testigos de perforación diamantina. Los datos de litología, alteración, mineralización y estructuras fueron consignados en la libreta de campo para posteriormente ser transcritos a una plantilla que se construyó en Microsoft Excel.

Una vez se culminó con el logeo de testigos de perforación y teniendo el equipo XRF-P calibrado, se midieron las estructuras más representativas y se comparó dicha geoquímica con los resultados de ICP-MS.

#### 7.1.2 Parametrización del equipo XRF-P

Para la parametrización del equipo XRF-P se elaboró un instructivo (Anexos 1 – 10) y un flujograma (Figura 8) en el cual se consignó el proceso que se debe llevar a cabo para la configuración, manejo e interpretación de resultados del equipo XRF-P, así como también las diferentes precauciones y consideraciones a tener en cuenta durante la manipulación del equipo (Figura 8).

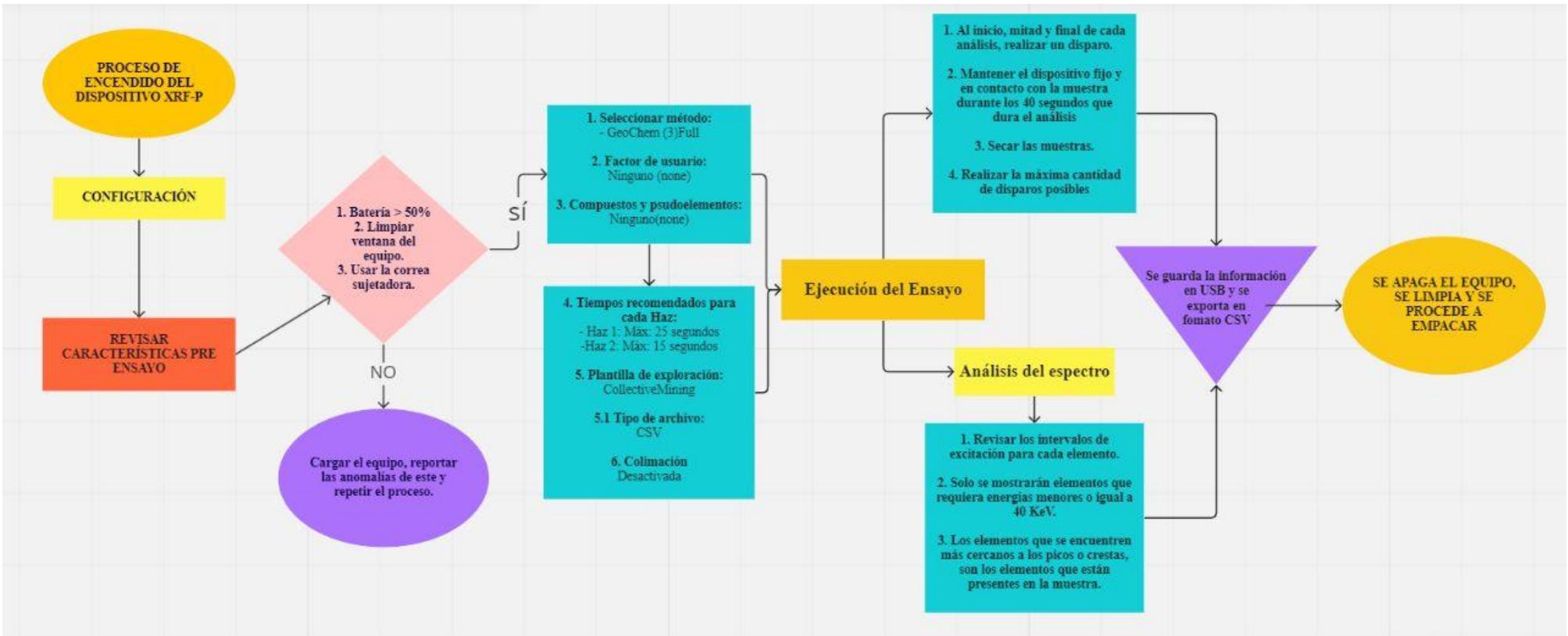


Figura 9. Flujograma que describe el proceso de calibración del XRF- P para los ensayos en las muestras. Fuente: propia.

### 7.1.3 Calibración de equipo XRF-P

La calibración del equipo de XRF-P se llevó a cabo en 2 etapas y siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

#### 7.2. Primera Etapa

**7.2.1** Los elementos utilizados para la primera etapa de calibración del equipo fueron el Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Plomo (Pb).

**7.2.2** Se escogieron de manera aleatoria 32 muestras (rechazos de pulpa fina) enviadas por el laboratorio las cuales se encontraban debidamente preparadas (Figura 10).



*Figura 10. Lote de muestras elegidas para la calibración del XRF-P. Fuente: propia.*

**7.2.3** De las muestras seleccionadas se tomó una porción equivalente a 4 cucharaditas, 30 g aproximadamente, que fue re empacada en bolsas *ziploc* de 10x12 cm de bajo calibre (Figuras 11 y 12).



*Figura 11. Cuchara dosificadora. Fuente: propia*



*Figura 12. Re-empacado de las muestras en bolsas ZIPLOC, usando cuchara dosificadora. Fuente: propia.*

**7.2.4** Se realizaron mediciones controladas procurando cubrir la extensión total de la bolsa que contenía la pulpa fina (Figura 13) para luego exportar los resultados obtenidos y calcular el promedio de disparos para cada muestra.



*Figura 13. Mediciones direccionadas hacia los bordes y parte central de la bolsa. Fuente: propia.*

**7.2.5** Se calcularon los valores promedio para las 3 mediciones realizadas con el XRF-P para cada muestra y posteriormente se compararon dichos valores con los resultados certificados. Los valores del Oro (Au) no se tuvieron en consideración ya que el Oro (Au) es analizado bajo el esquema de ensayo al fuego con cuantificación por digestión con aqua regia AAS, el cual es un análisis por un método diferente de los demás elementos (tabla 1).



info	Unidades	Pb_med	Pb_Lab	Cu_med	Cu_Lab	Mo_med	Mo_Lab
DH25981	PPM	340.5	405.60	167.5	153.5	38.5	43.93
DH25982	PPM	369.5	452.00	113	97.7	160.5	175.96
DH25983	PPM	274	304.90	89.5	82.6	259	320.87
DH25984	PPM	1465.5	2030.00	125	227.8	14	41.76
DH25985	PPM	587	721.10	176	183.0	34	39.64
DH25986	PPM	66.5	78.10	329.5	357.1	17.5	21.40
DH25987	PPM	15.5	15.10	77	75.3	58	72.71
DH25988	PPM	1014.5	1419.00	630.5	708.2	76.5	86.11
DH26253	PPM	74	74.90	328.5	338.4	20.5	22.47
DH26254	PPM	100.5	98.50	54.5	57.1	46	44.05
DH26255	PPM	57.5	59.60	325	312.7	27	27.75
DH26256	PPM	73.5	77.70	68.5	77.9	43	42.48
DH26257	PPM	37.5	37.30	26.5	30.0	51.5	51.48
DH26258	PPM	45.5	43.50	22.5	21.2	10	10.46
DH26259	PPM	45	46.80	30.5	32.2	19.5	20.77
DH26260	PPM	180.5	230.90	100	109.6	27.5	25.73
DH26261	PPM	400	491.50	130	138.6	31	34.05
DH26290	PPM	30	29.90	189	208.6	34.5	38.47
DH26291	PPM	41.5	44.10	473	459.7	77	89.27
DH26292	PPM	63	77.40	257	263.5	20	17.89
DH26293	PPM	19.5	19.90	424	430.4	54.5	51.78
DH26294	PPM	18.5	19.10	506	511.1	28.5	30.14
DH26295	PPM	42.5	42.10	8101.5	8650.0	15	16.81
DH26296	PPM	22.5	22.20	366	397.2	27	22.90
DH26299	PPM	9.5	6.80	368.5	342.4	50.5	56.52
DH26300	PPM	9	7.20	177	187.1	75	72.88
DH26301	PPM	14	10.40	74	83.7	17	18.25
DH26302	PPM	37	33.40	282	256.8	17.5	15.52
DH26404	PPM	628	802.80	346.5	343.7	24.5	28.95
DH26405	PPM	3016.5	4175.00	1105.5	1240.0	33	25.63
DH26406	PPM	914.5	1270.00	128	125.9	22	20.12
DH26407	PPM	190.5	257.40	44	43.4	22.5	22.40
DH26410	PPM	18	19.90	203.5	181.0	32	32.80

Tabla 1. Valores promedio para las tres mediciones realizadas con el XRF-P y resultados certificados.

resultados certificados vs los valores medios calculados con el equipo XRF-P. Los valores se encuentran expresados en unidades de ppm (Figuras 14,15 y 16).

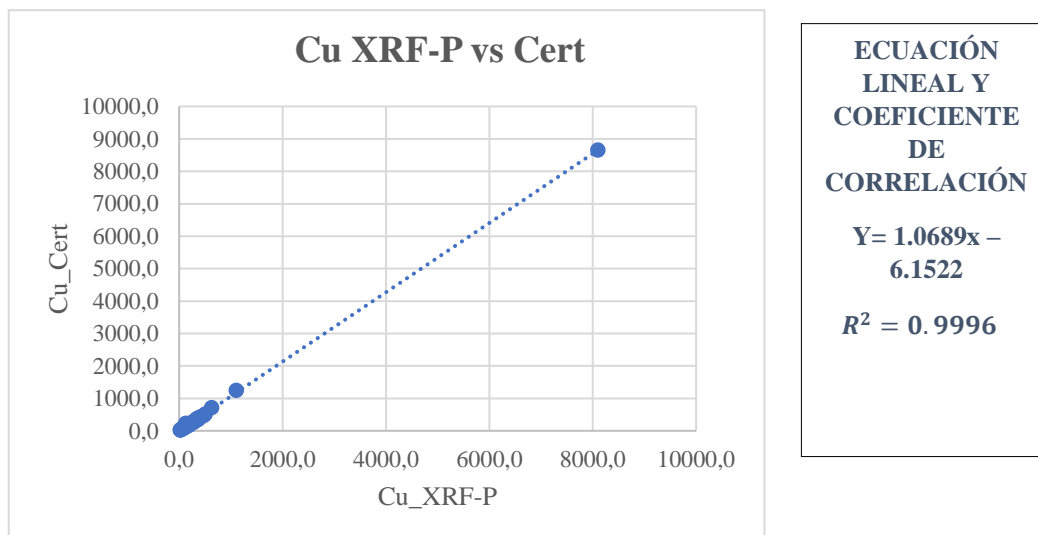
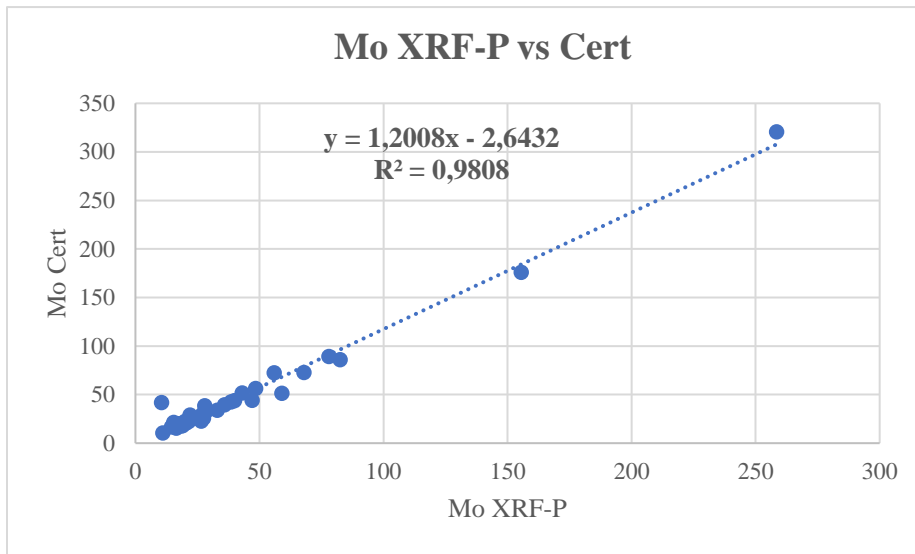


Figura 14. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF-P para el Molibdeno (Mo). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación.

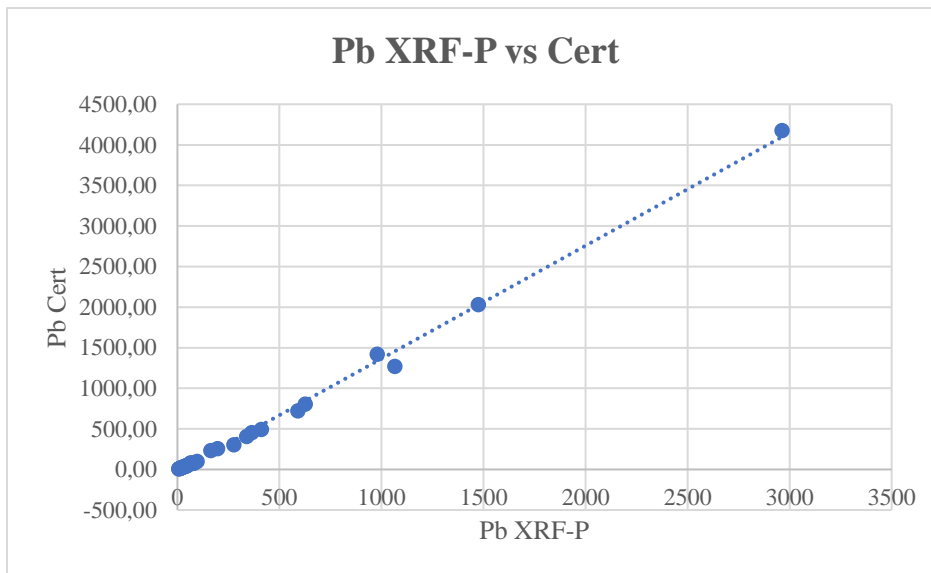


**ECUACIÓN LINEAL Y  
COEFICIENTE DE  
CORRELACIÓN**

**$Y = 1.2008x - 2.6432$**

**$R^2 = 0.9808$**

Figura 15. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF-P para el Molibdeno (Mo). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación.



**ECUACIÓN LINEAL Y  
COEFICIENTE DE  
CORRELACIÓN**

**$Y = 1.3922x - 27.189$**

**$R^2 = 0.9968$**

Figura 16. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los valores medios XRF-P para el plomo (Pb). Se presenta la ecuación lineal y el coeficiente de correlación.

**7.2.7** Se creó un nuevo factor de usuario en el equipo XRF-P y se ingresó el valor de la pendiente  $m$  y el intercepto con el eje  $Y$  de la ecuación de la recta obtenida en los gráficos de dispersión elaborados para cada elemento (Figuras 17, 18, 19 y 20).

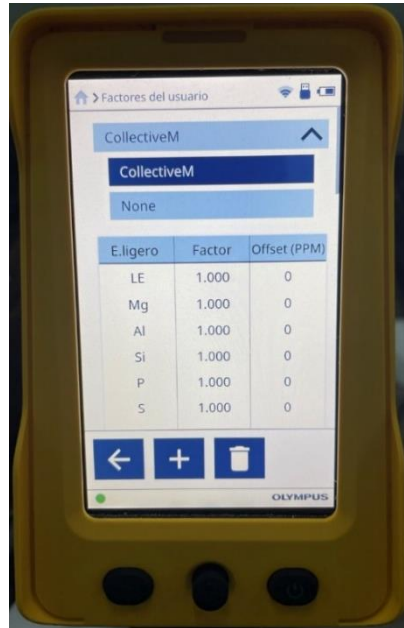


Figura 17. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P el cual se etiquetó como COLLECTIVEM. Fuente: propia.



Figura 18. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Cobre (Cu) en el que se ingresó el valor de  $m$ : 1,1069 y  $b$ : 6. Fuente: propia.

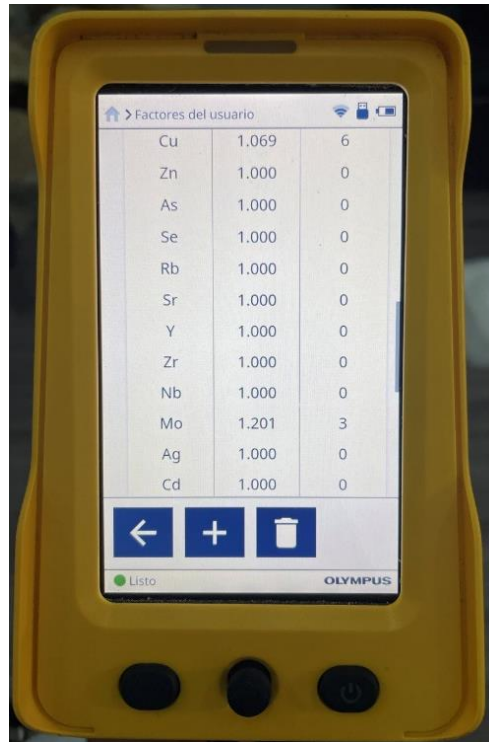


Figura 19. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Molibdeno (Mo) en el que se ingresó el valor de m: 1,201 y b: 3. Fuente: propia.

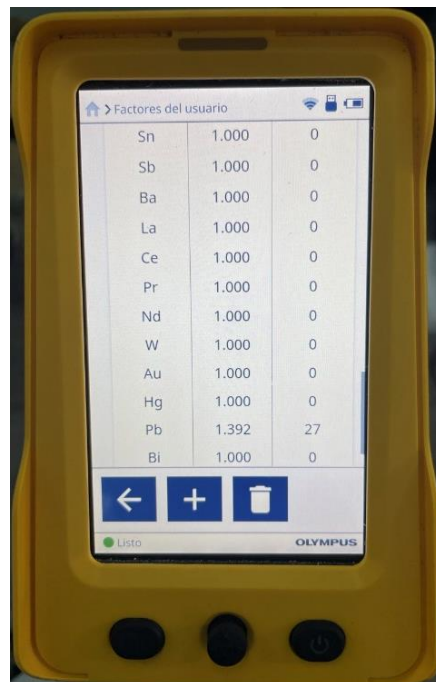


Figura 20. Factor de usuario creado en el equipo XRF-P para calibración del Plomo (Pb) en el que se ingresó el valor de m: 1,392 y b: 27. Fuente: propia.

**7.2.8** Ejecutando el nuevo factor de usuario creado se midieron nuevamente las 32 muestras aplicando la metodología anterior (Figura 21).



*Figura 21. Nuevo ensayo ejecutando el factor de usuario creado. Fuente: propia.*

**7.2.9** Mediante el cálculo de percentiles y el uso de gráficos de dispersión de datos, se compararon para cada elemento, los resultados obtenidos antes de la calibración vs los resultados certificados (Tablas 2,4 y 6) y los resultados obtenidos después de la calibración vs los resultados certificados (Tablas 3,5 y 7).

- Cobre (Cu) antes de la calibración:

Unidades	Cu_XRF	Cu_perc	Cu_cert	Cu_perc
PPM	22,50	0	21,2	0,0
PPM	26,50	3,1	30,0	3,1
PPM	30,50	6,2	32,2	6,2
PPM	44,00	9,3	43,4	9,3
PPM	54,50	12,5	57,1	12,5
PPM	68,50	15,6	75,3	15,6
PPM	74,00	18,7	77,9	18,7
PPM	77,00	21,8	82,6	21,8
PPM	89,50	25	83,7	25,0
PPM	100,00	28,1	97,7	28,1
PPM	113,00	31,2	109,6	31,2
PPM	125,00	34,3	125,9	34,3
PPM	128,00	37,5	138,6	37,5
PPM	130,00	40,6	153,5	40,6
PPM	167,50	43,7	181,0	43,7
PPM	176,00	46,8	183,0	46,8
PPM	177,00	50	187,1	50,0
PPM	189,00	53,1	208,6	53,1
PPM	203,50	56,2	227,8	56,2
PPM	257,00	59,3	256,8	59,3
PPM	282,00	62,5	263,5	62,5
PPM	325,00	65,6	312,7	65,6
PPM	328,50	68,7	338,4	68,7
PPM	329,50	71,8	342,4	71,8
PPM	346,50	75	343,7	75,0
PPM	366,00	78,1	357,1	78,1
PPM	368,50	81,2	397,2	81,2
PPM	424,00	84,3	430,4	84,3
PPM	473,00	87,5	459,7	87,5
PPM	506,00	90,6	511,1	90,6
PPM	630,50	93,7	708,2	93,7
PPM	1105,50	96,8	1240,0	96,8
PPM	8101,50	100	8650,0	100,0

Tabla 2. Resultados obtenidos antes de la calibración para el Cobre (Cu) en ppm.

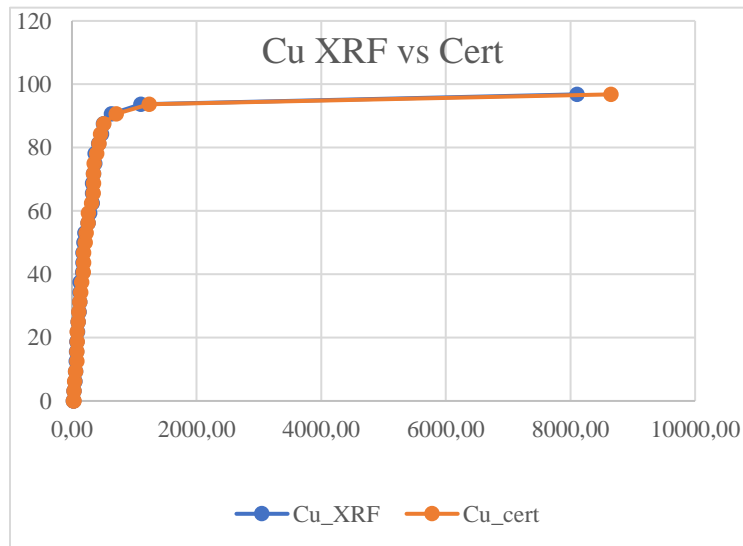


Figura 22. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el cobre (Cu).

Para el ensayo realizado antes de la calibración, en las leyes bajas a intermedias (0-5000 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran ajustados a los resultados ICP-MS y para leyes altas (>7000 ppm), los resultados obtenidos con el equipo Analizador XRF-P se encuentran por debajo de los resultados ICP-MS.

- Cobre (Cu) después de la calibración:

Unidades	Cu_XRFcal	Cu_perc	Cu_cert	Cu_perc
PPM	28	0	21,2	0
PPM	35	3,1	30,0	3,1
PPM	43	6,2	32,2	6,2
PPM	50,5	9,3	43,4	9,3
PPM	64,5	12,5	57,1	12,5
PPM	81,5	15,6	75,3	15,6
PPM	83,5	18,7	77,9	18,7
PPM	90	21,8	82,6	21,8
PPM	99	25	83,7	25
PPM	117	28,1	97,7	28,1
PPM	119,5	31,2	109,6	31,2
PPM	137,5	34,3	125,9	34,3
PPM	142	37,5	138,6	37,5
PPM	143,5	40,6	153,5	40,6
PPM	177,5	43,7	181,0	43,7
PPM	196	46,8	183,0	46,8
PPM	199,5	50	187,1	50
PPM	212,5	53,1	208,6	53,1
PPM	221	56,2	227,8	56,2
PPM	280	59,3	256,8	59,3
PPM	289,5	62,5	263,5	62,5
PPM	348,5	65,6	312,7	65,6
PPM	367,5	68,7	338,4	68,7
PPM	368,5	71,8	342,4	71,8
PPM	389,5	75	343,7	75
PPM	390	78,1	357,1	78,1
PPM	423	81,2	397,2	81,2
PPM	469	84,3	430,4	84,3
PPM	516,5	87,5	459,7	87,5
PPM	551	90,6	511,1	90,6
PPM	677,5	93,7	708,2	93,7
PPM	1142	96,8	1240,0	96,8
PPM	8633	100	8650,0	100

Tabla 3. Resultados obtenidos después de la calibración para el cobre (Cu) en ppm

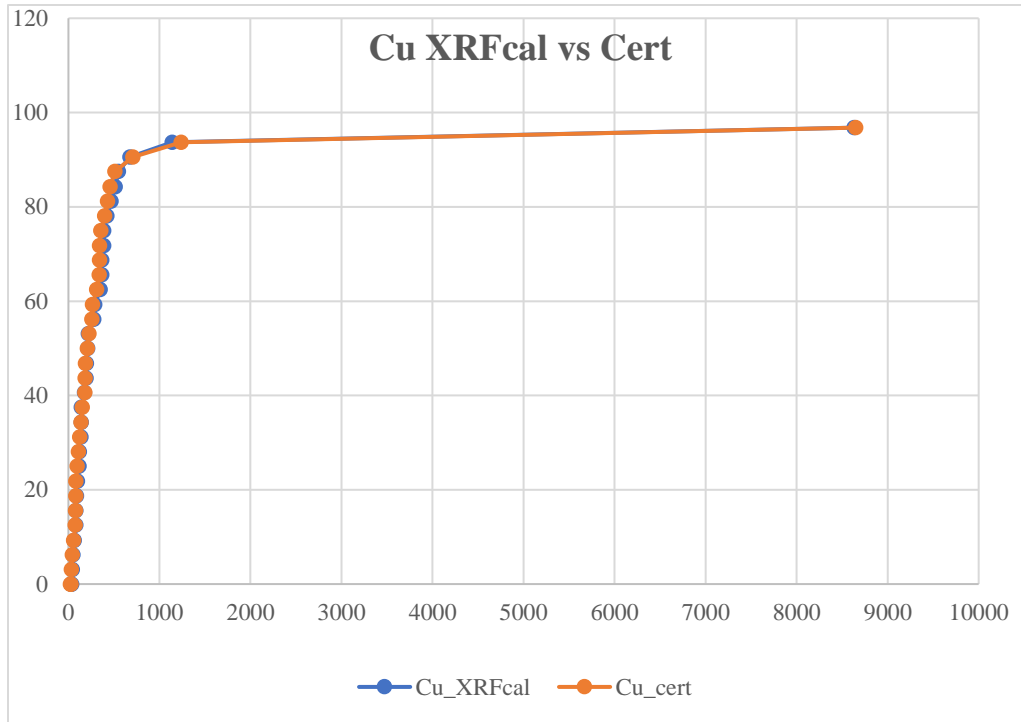


Figura 23. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el cobre (Cu).

Para el ensayo realizado después de la calibración, en las leyes bajas a intermedias (0-5000 ppm) y en leyes altas (>7000 ppm), los resultados obtenidos con el equipo Analizador XRF-P se encuentran ajustados a los resultados ICP-MS.

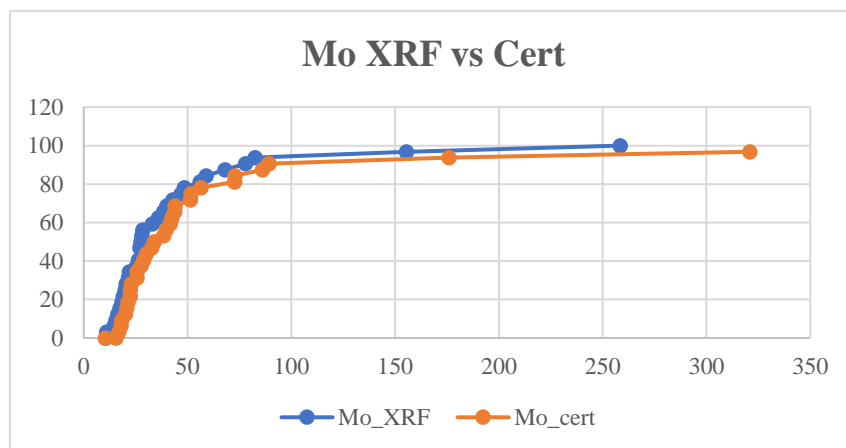


Figura 24. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el Molibdeno (Mo).



- Molibdeno (Mo) antes de la calibración:

Unidades	Mo_XRF	Mo_perc	Mo_cert	Mo_perc
PPM	10,5	0	10,46	0
PPM	11	3,1	15,52	3,1
PPM	14,5	6,2	16,81	6,2
PPM	15,5	9,3	17,89	9,3
PPM	16,5	12,5	18,25	12,5
PPM	17,5	15,6	20,12	15,6
PPM	18,5	18,7	20,77	18,7
PPM	19	21,8	21,4	21,8
PPM	20	25	22,4	25
PPM	20,5	28,1	22,47	28,1
PPM	21,5	31,2	22,9	31,2
PPM	22	34,3	25,63	34,3
PPM	25,5	37,5	25,73	37,5
PPM	26,5	40,6	27,75	40,6
PPM	26,5	40,6	28,95	43,7
PPM	27	46,8	30,14	46,8
PPM	27,5	50	32,8	50
PPM	28	53,1	34,05	53,1
PPM	28,5	56,2	38,47	56,2
PPM	33	59,3	39,64	59,3
PPM	36	62,5	41,76	62,5
PPM	38,5	65,6	42,48	65,6
PPM	40	68,7	43,93	68,7
PPM	43	71,8	44,05	71,8
PPM	47	75	51,48	75
PPM	48,5	78,1	51,78	78,1
PPM	56	81,2	56,52	81,2
PPM	59	84,3	72,71	84,3
PPM	68	87,5	72,88	87,5
PPM	78	90,6	86,11	90,6
PPM	82,5	93,7	89,27	93,7
PPM	155,5	96,8	175,96	96,8
PPM	258,5	100	320,87	100

Tabla 4. Resultados antes de la calibración para el Molibdeno (Mo) en ppm.

Para el ensayo realizado antes de la calibración, en las leyes bajas a intermedias (0-200 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran por encima de los resultados ICP-MS al igual que para leyes altas (>200 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P no se ajustan con los resultados de ICP-MS y que se encuentran en un umbral más alto de valores.

- Molibdeno (Mo) después de la calibración:

Unidades	Mo_XRFcal	Mo_perc	Mo_cert	Mo_perc
PPM	14	0	10,46	0
PPM	16	3,1	15,52	3,1
PPM	20,5	6,2	16,81	6,2
PPM	20,5	6,2	17,89	9,3
PPM	21	12,5	18,25	12,5
PPM	23	15,6	20,12	15,6
PPM	24	18,7	20,77	18,7
PPM	25,5	21,8	21,4	21,8
PPM	27	25	22,4	25
PPM	27,5	28,1	22,47	28,1
PPM	30	31,2	22,9	31,2
PPM	31	34,3	25,63	34,3
PPM	31,5	37,5	25,73	37,5
PPM	33	40,6	27,75	40,6
PPM	34	43,7	28,95	43,7
PPM	39	46,8	30,14	46,8
PPM	40,5	50	32,8	50
PPM	41	53,1	34,05	53,1
PPM	42	56,2	38,47	56,2
PPM	44	59,3	39,64	59,3
PPM	45,5	62,5	41,76	62,5
PPM	48	65,6	42,48	65,6
PPM	50	68,7	43,93	68,7
PPM	59,5	71,8	44,05	71,8
PPM	64,5	75	51,48	75
PPM	66	78,1	51,78	78,1
PPM	66,5	81,2	56,52	81,2
PPM	69,5	84,3	72,71	84,3
PPM	80,5	87,5	72,88	87,5
PPM	91,5	90,6	86,11	90,6
PPM	98,5	93,7	89,27	93,7
PPM	185	96,8	175,96	96,8
PPM	314,5	100	320,87	100

Tabla 5. Resultados después de la calibración para el Molibdeno (Mo) en ppm.

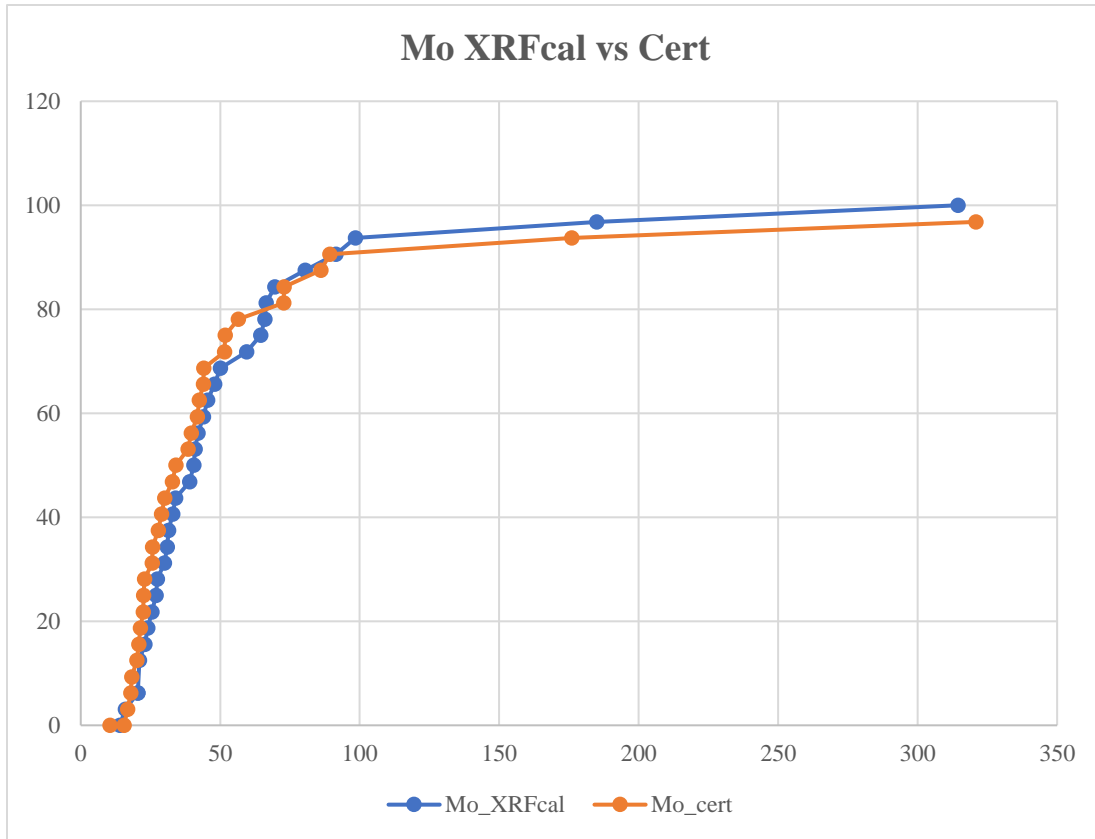


Figura 25. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el Molibdeno (Mo).

Para el ensayo realizado después de la calibración, en las leyes bajas (0-80 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran por debajo de los resultados ICP-MS. Para leyes intermedias a altas (100-350 ppm), los valores tomados con el Analizador XRF-P se encuentran por encima de los resultados ICP-MS.

- Plomo (Pb) antes de la calibración:

Unidades	Pb_XRF	Pb_perc	Pb_cert	Pb_perc
PPM	7	0	6,80	0
PPM	7	0	7,20	3,1
PPM	12,5	6,2	10,40	6,2
PPM	16,5	9,3	15,10	9,3
PPM	17,5	12,5	19,10	12,5
PPM	19	15,6	19,90	15,6
PPM	20	18,7	19,90	15,6
PPM	20,5	21,8	22,20	21,8
PPM	29	25	29,90	25
PPM	35,5	28,1	33,40	28,1
PPM	37,5	31,2	37,30	31,2
PPM	43	34,3	42,10	34,3
PPM	43	34,3	43,50	37,5
PPM	44	40,6	44,10	40,6
PPM	47,5	43,7	46,80	43,7
PPM	55,5	46,8	59,60	46,8
PPM	63,5	50	74,90	50
PPM	67,5	53,1	77,40	53,1
PPM	75	56,2	77,70	56,2
PPM	80	59,3	78,10	59,3
PPM	96	62,5	98,50	62,5
PPM	164,5	65,6	230,90	65,6
PPM	196	68,7	257,40	68,7
PPM	276	71,8	304,90	71,8
PPM	339	75	405,60	75
PPM	364,5	78,1	452,00	78,1
PPM	411,5	81,2	491,50	81,2
PPM	590	84,3	721,10	84,3
PPM	626	87,5	802,80	87,5
PPM	978,5	90,6	1270,00	90,6
PPM	1065,5	93,7	1419,00	93,7
PPM	1474,5	96,8	2030,00	96,8
PPM	2963,5	100	4175,00	100

Tabla 6. Resultados antes de la calibración para el Plomo (pb) en ppm.

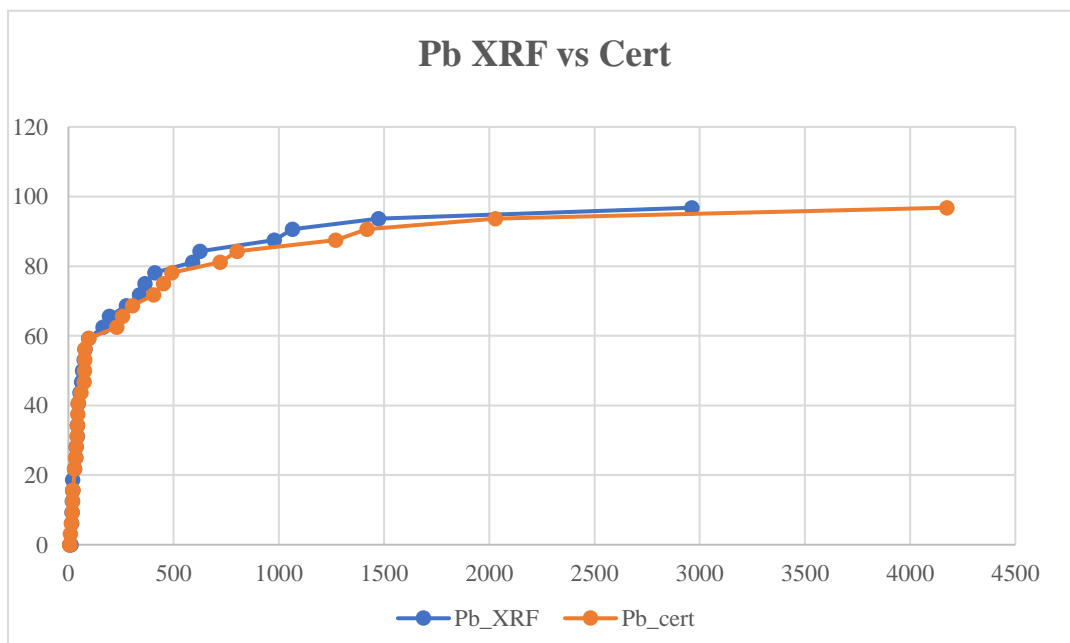


Figura 26. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados antes de la calibración del XRF-P para el Plomo (Pb).

Para el ensayo realizado antes de la calibración, en las leyes muy bajas (0-50 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran ajustados a los resultados ICP-MS y para leyes bajas/intermedias a altas (200-4100 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran por encima de los resultados ICP-MS los cuales alcanzan leyes más altas que los tomados con el equipo Analizador XRF-P.

- Plomo (Pb) después de la calibración:

Unidades	Pb_XRFcal	Pb_perc	Pb_cert	Pb_perc
PPM	37,5	0	6,80	0
PPM	37,5	0	7,20	3,1
PPM	43	6,2	10,40	6,2
PPM	50,5	9,3	15,10	9,3
PPM	52	12,5	19,10	12,5
PPM	53	15,6	19,90	15,6
PPM	53,5	18,7	19,90	15,6
PPM	58,5	21,8	22,20	21,8
PPM	67,5	25	29,90	25
PPM	79	28,1	33,40	28,1
PPM	80	31,2	37,30	31,2
PPM	85	34,3	42,10	34,3
PPM	86,5	37,5	43,50	37,5
PPM	87	40,6	44,10	40,6
PPM	89,5	43,7	46,80	43,7
PPM	103	46,8	59,60	46,8
PPM	114	50	74,90	50
PPM	120,5	53,1	77,40	53,1
PPM	130,5	56,2	77,70	56,2
PPM	133	59,3	78,10	59,3
PPM	157,5	62,5	98,50	62,5
PPM	262	65,6	230,90	65,6
PPM	288,5	68,7	257,40	68,7
PPM	410,5	71,8	304,90	71,8
PPM	481,5	75	405,60	75
PPM	529	78,1	452,00	78,1
PPM	592	81,2	491,50	81,2
PPM	844	84,3	721,10	84,3
PPM	884,5	87,5	802,80	87,5
PPM	1307	90,6	1270,00	90,6
PPM	1418	93,7	1419,00	93,7
PPM	2093	96,8	2030,00	96,8
PPM	4196,5	100	4175,00	100

Tabla 7. Resultados después de la calibración para el Plomo (Pb) en ppm.

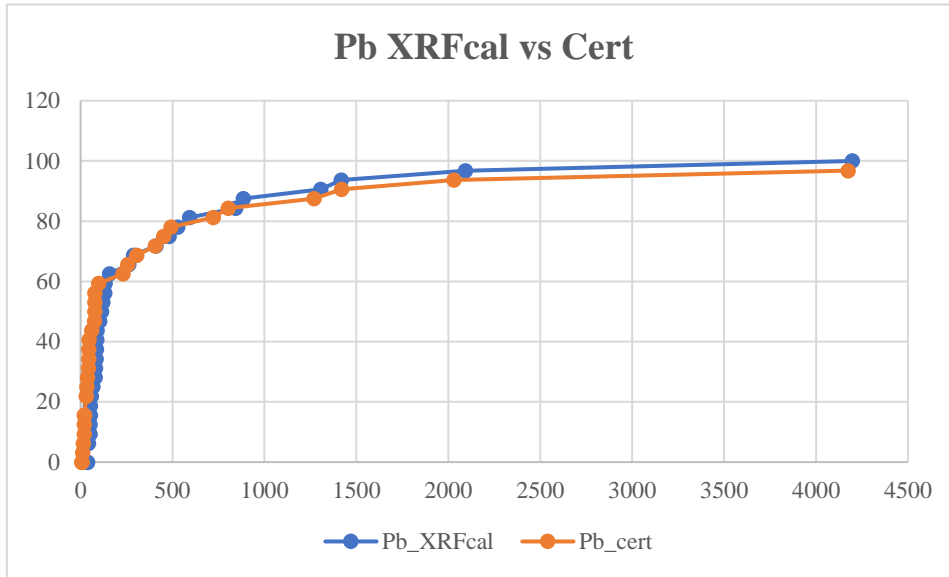


Figura 27. Gráfico de dispersión de los resultados certificados vs los resultados después de la calibración del XRF-P para el Plomo (Pb).

Para el ensayo realizado después de la calibración, en las leyes muy bajas (0-50 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran ajustados a los resultados ICP-MS y para leyes bajas/intermedias a altas (200-4100 ppm), los valores tomados con el equipo Analizador XRF-P se encuentran por encima de los resultados ICP-MS pero ajustados a la tendencia.

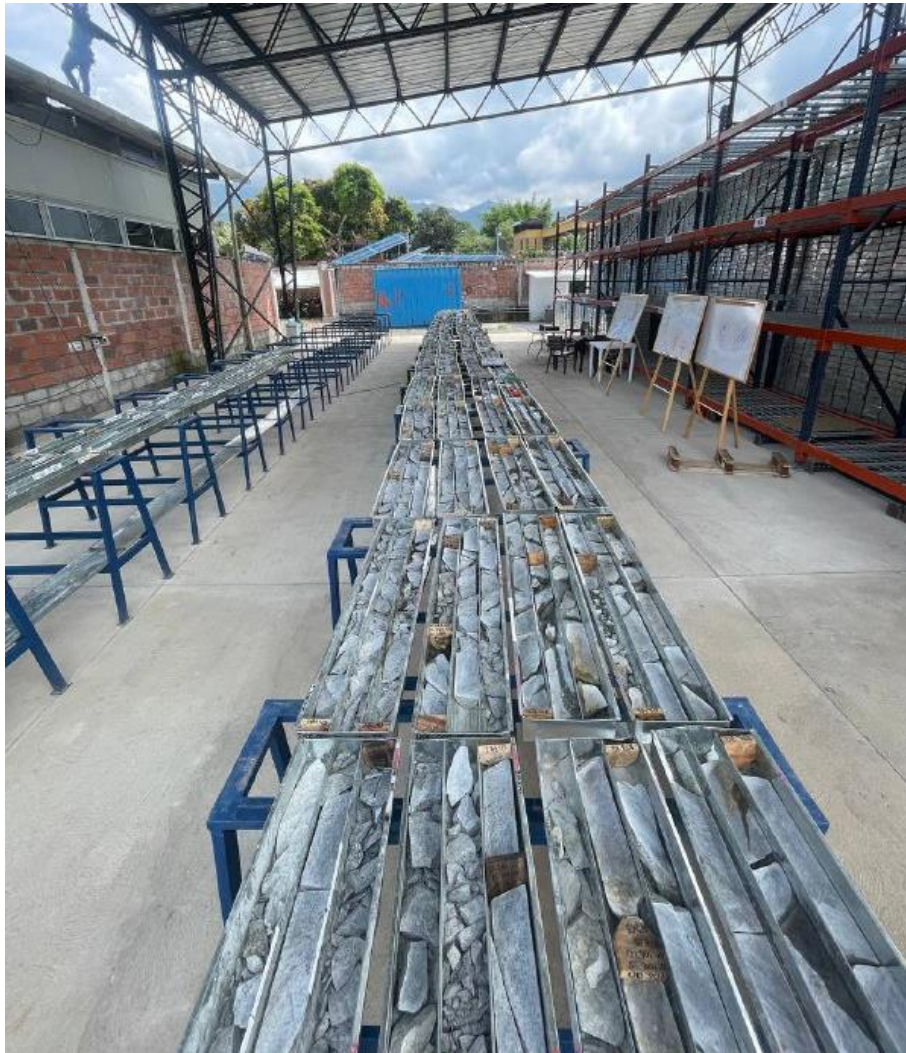
### 7.2.10 Logueo de testigos de perforación

El logueo de los testigos de perforación diamantina del pozo UDC\_GD\_004 se realizó en 5 etapas las cuales se enuncian a continuación:

- a. Un “Quick log” el cual consiste en inspeccionar de manera ágil -pero sin omitir detalle los 327.25m de núcleos de perforación diamantina contenidos en las cajas porta-testigos con el fin de tener un primer acercamiento en el proceso de caracterización de la litología, la alteración, las estructuras y la mineralización presente en la roca. El logueo rápido se realizó con una lupa de aumento 20x, rayador de tungsteno, lápiz imán de pivote, HCL y una libreta de campo en la cual se recopiló toda la información.
- b. Logueo detallado en el que se describe la litología de la roca según parámetros texturales y composicionales.
- c. Descripción de la alteración de la roca según la textura
- d. Cualificación y cuantificación de la mineralización presente en tramos no superiores a 1.00 m
- e. Descripción de las estructuras según su composición, ángulo, espesor y frecuencia.

Para la recopilación de la información anterior fue creada una plantilla en Microsoft Excel para la litología, alteración, mineralización y estructuras. Dicha plantilla permitió consignar la información de manera más organizada y detallada (Anexos 11—14).

En total fueron logueadas 118 cajas que contenían 327.25m de testigos de perforación diamantina. Las cajas fueron extendidas en el área de almacenamiento de núcleos y fueron empleadas 35 estructuras metálicas o “Burros metálicos” que sirvieron de apoyo para colocar las cajas (Figura 28).



*Figura 28. Cajas logueadas con los testigos de perforación. Fuente: propia.*



## 8. Resultados

### 8.1 Logueo

En el pozo UDC\_GD\_004 la litología inicial, tomada desde los 0,0 metros hasta los 25,3 metros corresponde a suelo residual y fragmentos del saprolito rocoso con alteración supergénica (Figura 29), a partir de los 25,3 metros y hasta los 27,25 metros la litología observada obedece a una Cuarzodiorita de textura porfirítica (Figura 30), de ahora en adelante (Q1) con cristales subhedrales de plagioclasa que varían en tamaño desde los 0.5 centímetros a los 1 centímetros, como producto de la interacción con fluidos hidrotermales, la roca estaba siendo alterada débilmente por clorita principalmente en minerales máficos y por sericita en las plagioclasas; la mineralización predominante era de Pirita diseminada, esta (Q1) se caracteriza por presentar una intensidad baja de vetillas. En el metro 27.25 se observan evidencias de una zona de falla (Figura 31) denominada en el presente trabajo como (BXT) de aproximadamente 8 metros de espesor que pone en contacto la Cuarzodiorita porfirítica (Q1) con una roca de tamaño de grano medio y con un fuerte aumento en la alteración de clorita-sericita que fue clasificada como una Diorita de aquí en adelante (D2) (Figura 32) de textura porfirítica con presencia de vetillas de cuarzo, magnetita y pirita; la magnetita y la pirita también se encontraban diseminadas en la roca. Desde el metro 59.5 hasta el metro 81.35 la litología presentada correspondía a una brecha polimíctica clastosoportada (Figura 33) clasificada con el código de (BF) con clastos de Diorita (D2), Cuarzodiorita (Q1) y esquisto que variaban de angulares a subredondeados que fueron afectados inicialmente por una alteración de biotita secundaria y en un evento posterior, por una fuerte alteración de clorita-sericita que borró parte de la alteración inicial (Biotita secundaria) dejándola en “parches”, la mineralización que se presentaba en la roca principalmente era de pirita y magnetita diseminada.

Sin evidencias del contacto, la litología siguiente encontrada en el metro 81.35 correspondía a la misma Diorita (D2) descrita anteriormente y que se ponía en contacto con la brecha polimíctica (BF) hasta el metro 107.5 en el cual dicha brecha se encontraba en contacto con una roca de textura porfírica con cristales de plagioclasa de gran tamaño que variaban de entre 1 centímetro a 0,5 centímetros con alteración de Biotita secundaria penetrativa y alteración de clorita-sericita controlada por estructuras tales como vetillas de cuarzo y pirita y zonas de debilidad o fracturamiento; vetillas de cuarzo con pirita y pirita diseminada y en vetillas de 2.0 centímetros aproximadamente clasificada como Diorita porfírica de grano grueso (D3) (Figura 34). En el metro 121.50 se dio un contacto frío o “Chilled contact” entre la Diorita porfírica de grano grueso (D3) y la brecha polimíctica (BF) en el que se observa una alineación preferencial de cristales y un cambio marcado en la litología (Figura 35). La brecha polimíctica con clastos redondeados se extiende hasta el metro 167.10 en donde se pone en contacto con la Cuarzodiorita porfírica (Q2) con alteración clorita-sericita moderada y biotita secundaria selectiva con intensidad moderada. Este tramo de Cuarzodiorita está marcado por la aparición de feldespatos potásicos, magnetita y pirita diseminada y en venillas y predominantemente venillas de cuarzo tipo pórfido.

Del metro 206.00 al metro 222.65 la litología predominante corresponde a Cuarzodiorita (Q1) con alteración de clorita-sericita controlada por estructuras y se da un aumento en la cantidad de magnetita diseminada. El tramo de Cuarzodiorita (Q1) se extiende hacia el metro 287.00 y exhibe un incremento en el grado de alteración clorita-sericita controlada por estructuras entre los 221.00 metros y los 222.65 metros al igual que un incremento representativo en el contenido de pirita diseminada y en fracturas; a medida que aumenta la profundidad, entre los 222.65 metros y los 287.00 metros las plagioclasas se muestran “epidotizadas” y la biotita se encuentra reemplazando los minerales máficos. En el metro 288.70, la Cuarzodiorita (Q2) se encuentra nuevamente en

contacto con la brecha polimíctica matrizsoportada con clastos de (Q1) y (Q2) redondeados con una fuerte alteración de biotita secundaria en la matriz de la roca de carácter pervasivo y en algunos sectores alteración de clorita-sericita controlada por estructuras (Figura 36).

La litología del metro 288.70 al fin de pozo (327.25m) corresponde a BF con clastos redondeados a subredondeados de Q3 con alteración de moderada a fuerte de Clorita-sericita controlada por estructuras. La mineralización presente es principalmente pirita diseminada y en vetillas, molibdenita en vetillas, esfalerita+/-galena+/-calcopirita en vetillas, las estructuras principales están compuestas por  $Qz+Py$ ;  $Cb+Py+Cpy+Sph+Ga$ ;  $Qz+Mo$ .



Figura 29. Caja 001 – 003 – Horizonte de lixiviación. Fuente: propia.



Figura 30. Caja 004 – 006 – Horizonte de lixiviación. Fuente: propia.

- Presencia de materia orgánica desde el metro 0 hasta el metro 1,30
  
- Del metro 1,30 hasta el metro 5,50 se evidencia el Horizonte A con algunos rastros de materia orgánica
  
- Seguido de este y hasta el metro 15,90 se encuentra el horizonte B con presencia de FeOx
  
- A partir del metro 15,90 se evidencian fragmentos de la roca parental o saprolito y una mayor acumulación de óxidos de hierro como Jarosita y hematita.
  
- Presencia de materia orgánica desde el metro 0 hasta el metro 1,30



Figura 31. Caja 007-009 - Suelo residual y fragmentos del saprolito rocoso con alteración supergénica y concentración de óxidos de hierro. Fuente: propia.

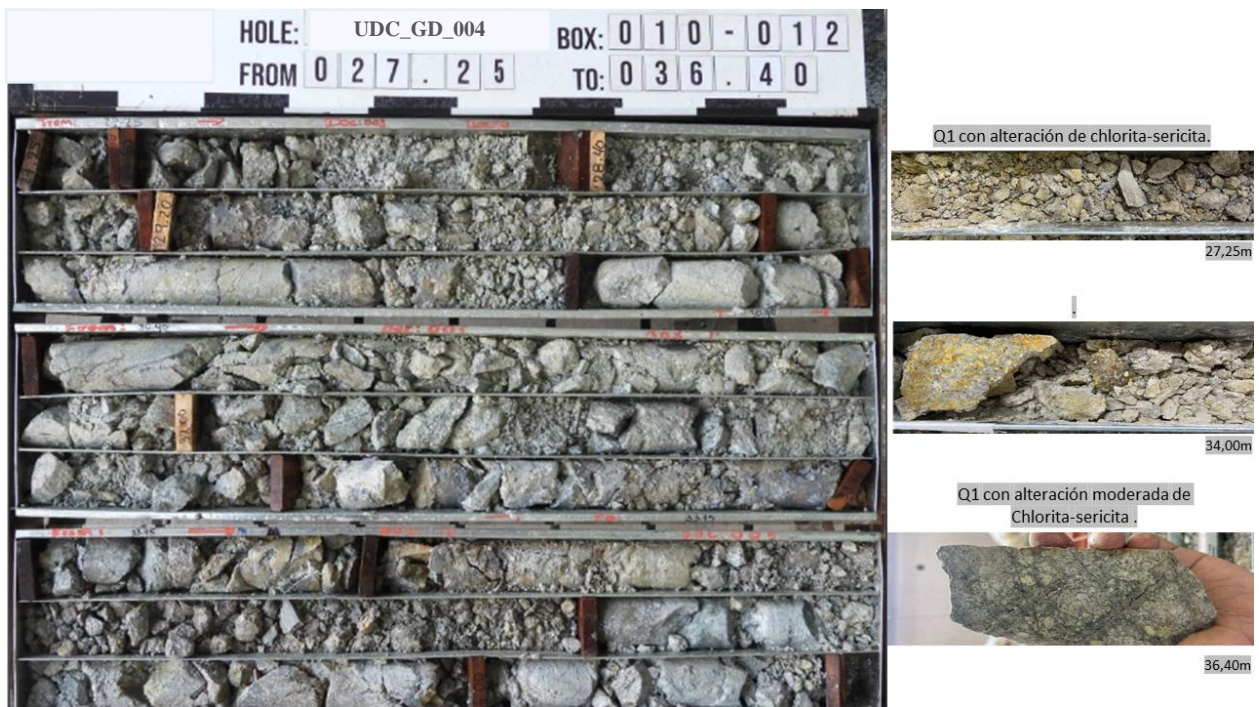


Figura 32. Caja 010 – 012 – Cuarzodiorita (Q1) con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia.

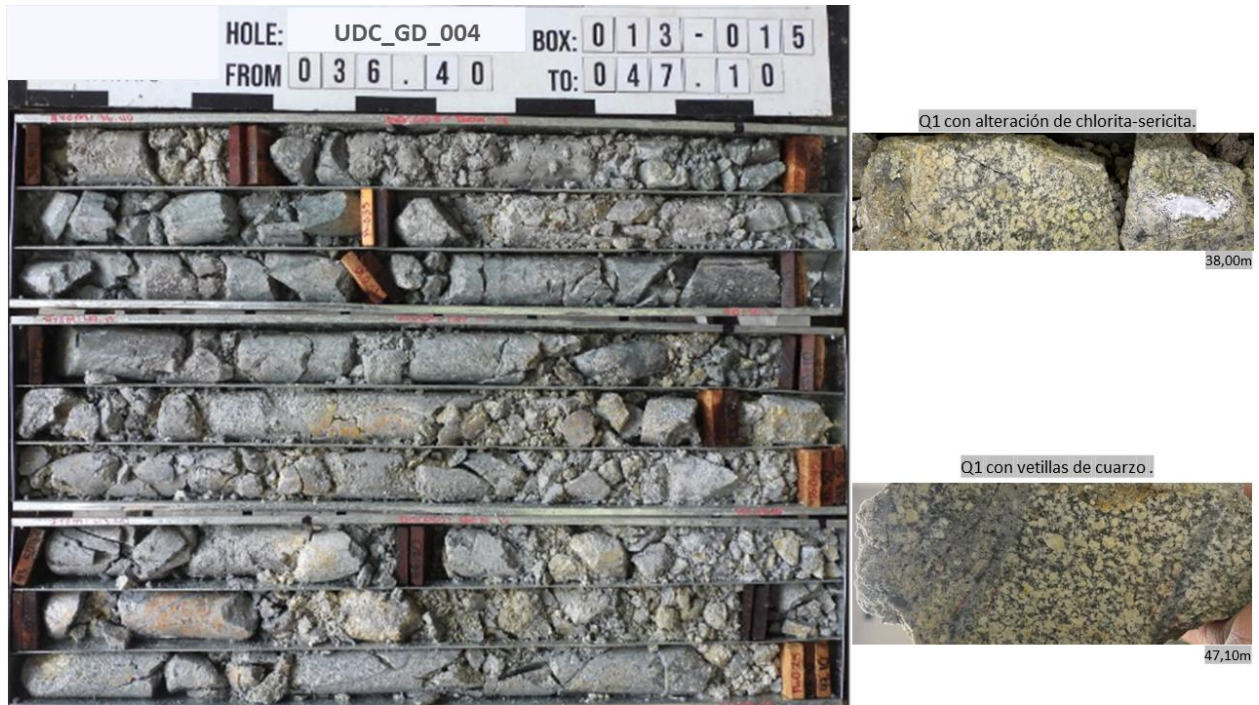


Figura 33. Caja 013 – 015 - Desde 36.4 mts a 37.5 mts, se evidencia fallamiento que pone en contacto a la Diorita (D2) con la Cuarzodiorita (Q1) con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia.



Figura 34. Caja 016-018 - Cuarzodiorita con fuerte alteración de Clorita-Sericita. Fuente: propia.

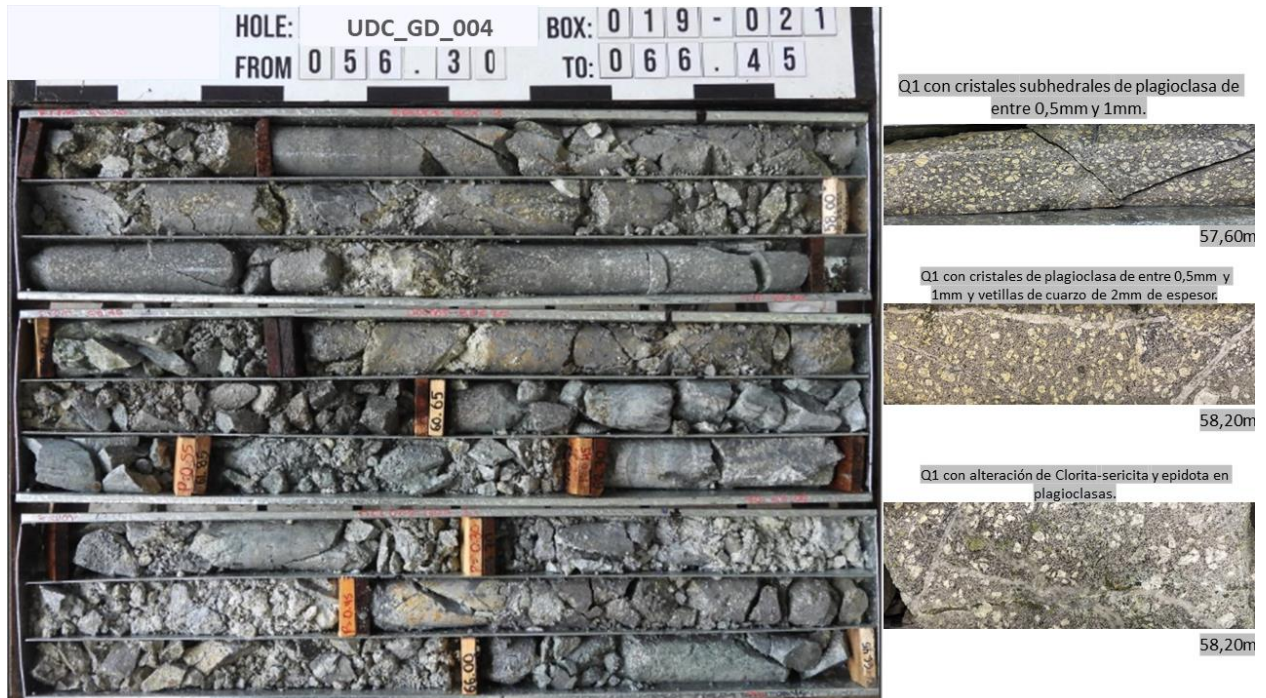


Figura 35. Caja 019 - 021 - Alteración de Clorita- Sericita y epidota en plagioclasa. Fuente: propia.

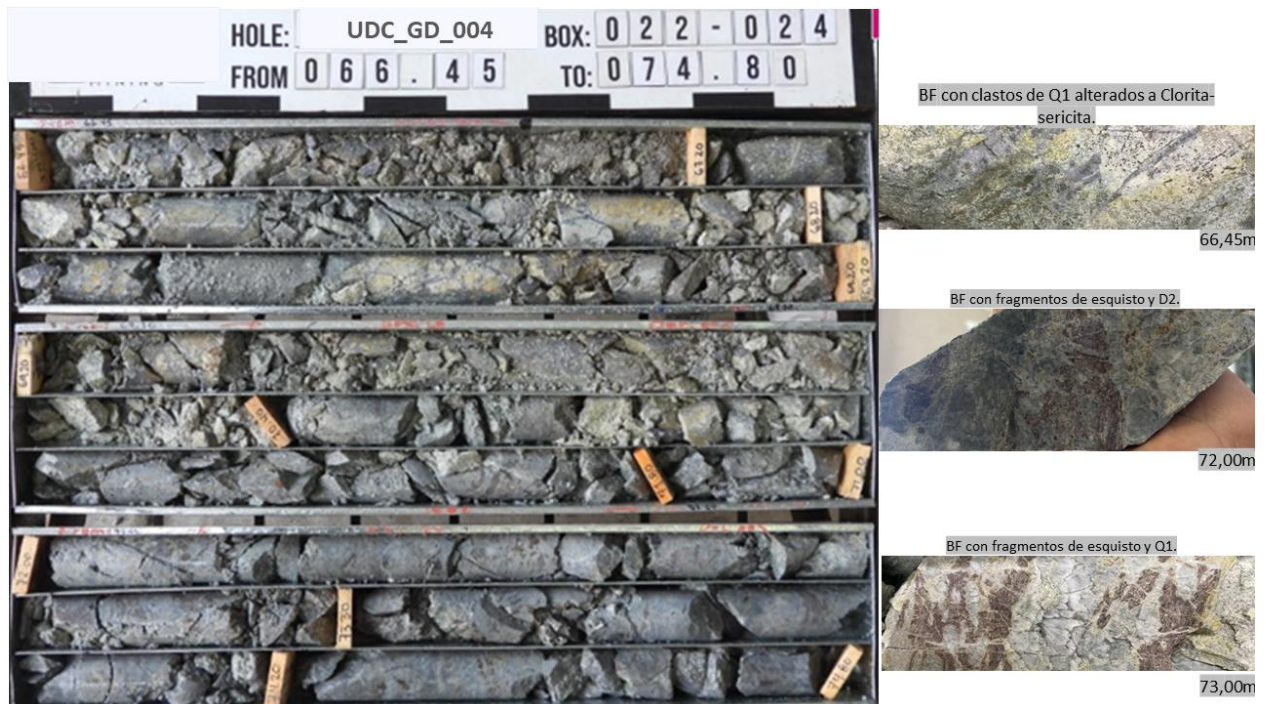


Figura 36. Caja 022-024 - Clastos alterados a Clorita-Sericita con fragmentos de esquistos. Fuente: propia.

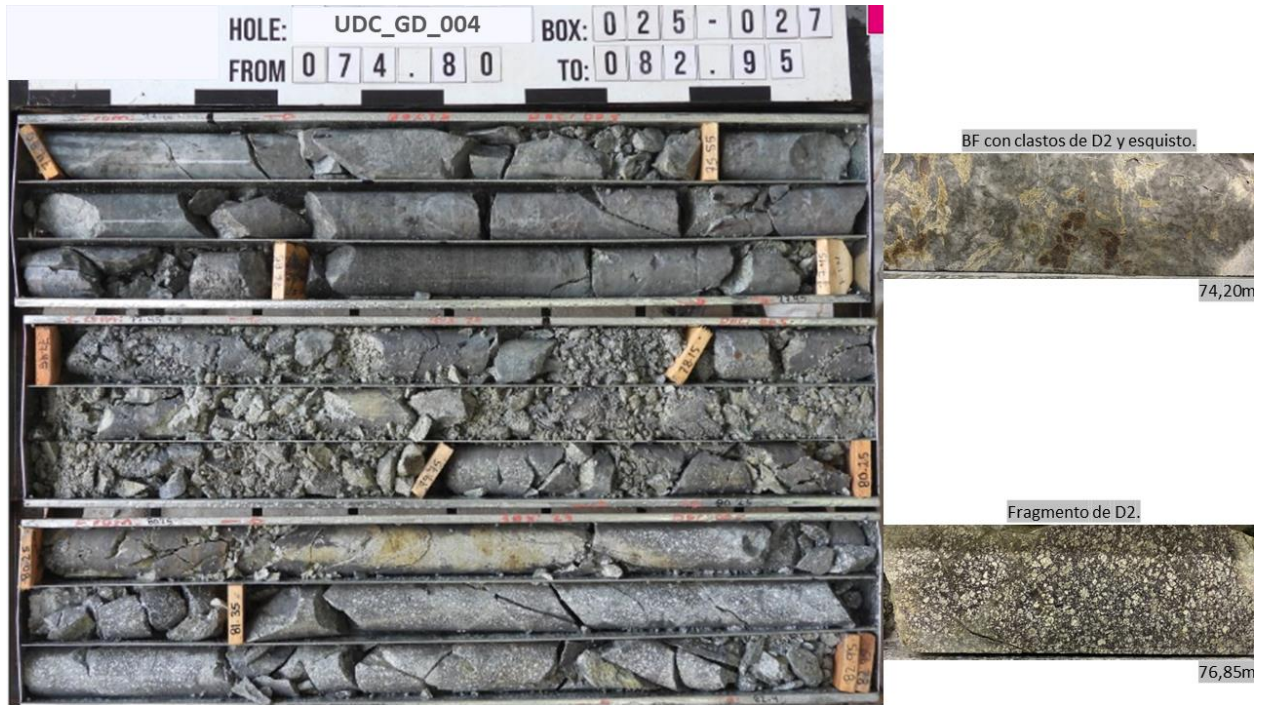


Figura 37. Caja 025-027 - Fragmentos de Diorita (D2) Fuente: propia.

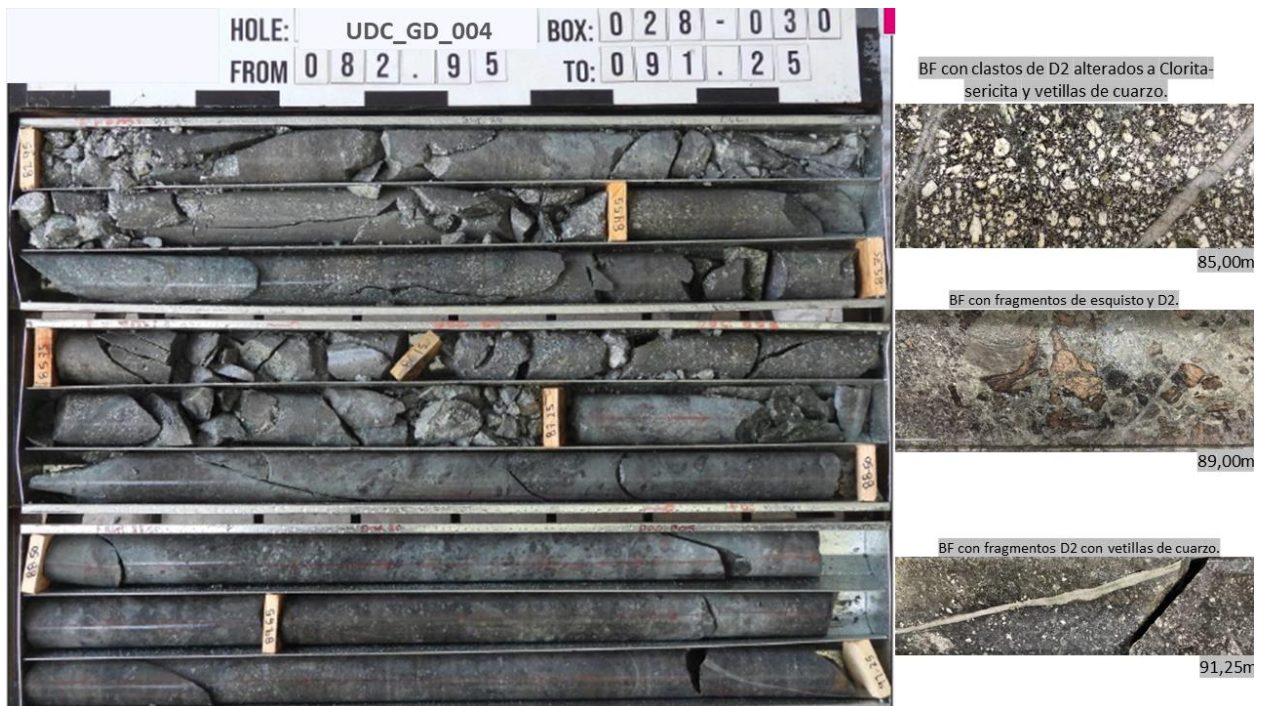


Figura 38. Caja 028-030 – Brecha Fluidizada (BF) con clastos de Diorita (D2) alterados a Clorita-Sericita. Fuente: propia.



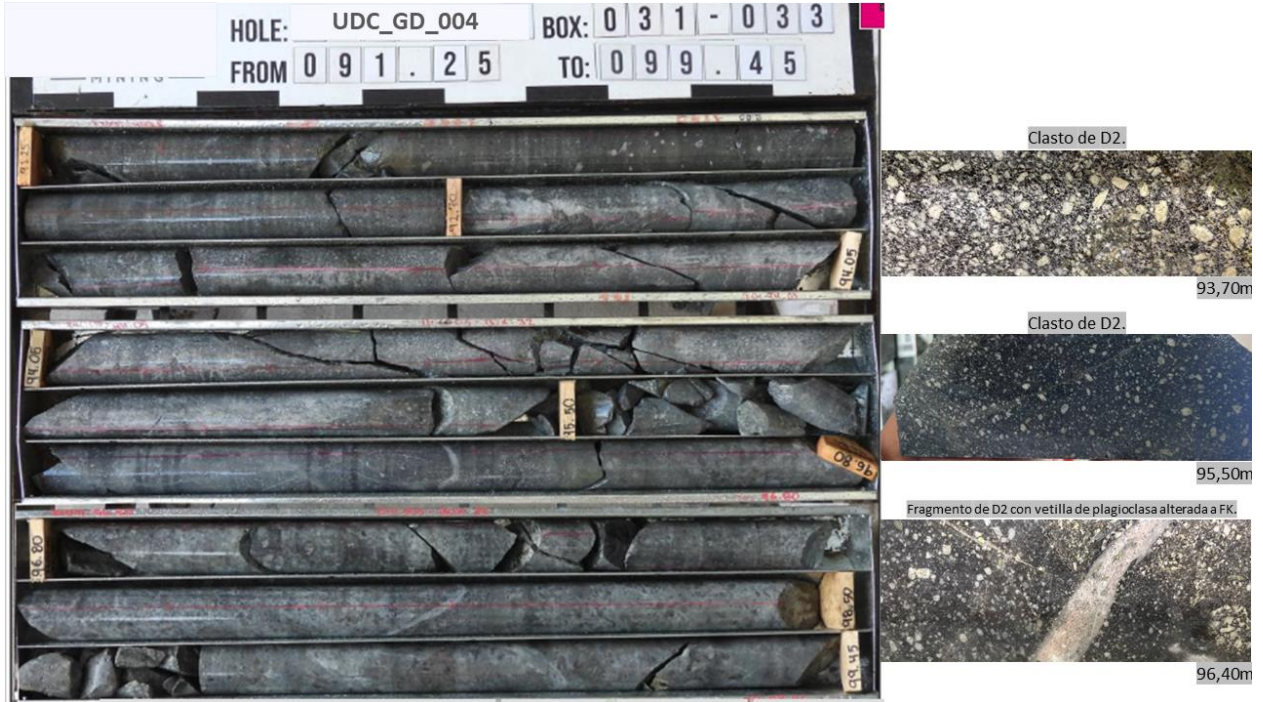


Figura 39. Caja 031 - 033 - Clastos de D2 (Diorita). Fuente: propia.

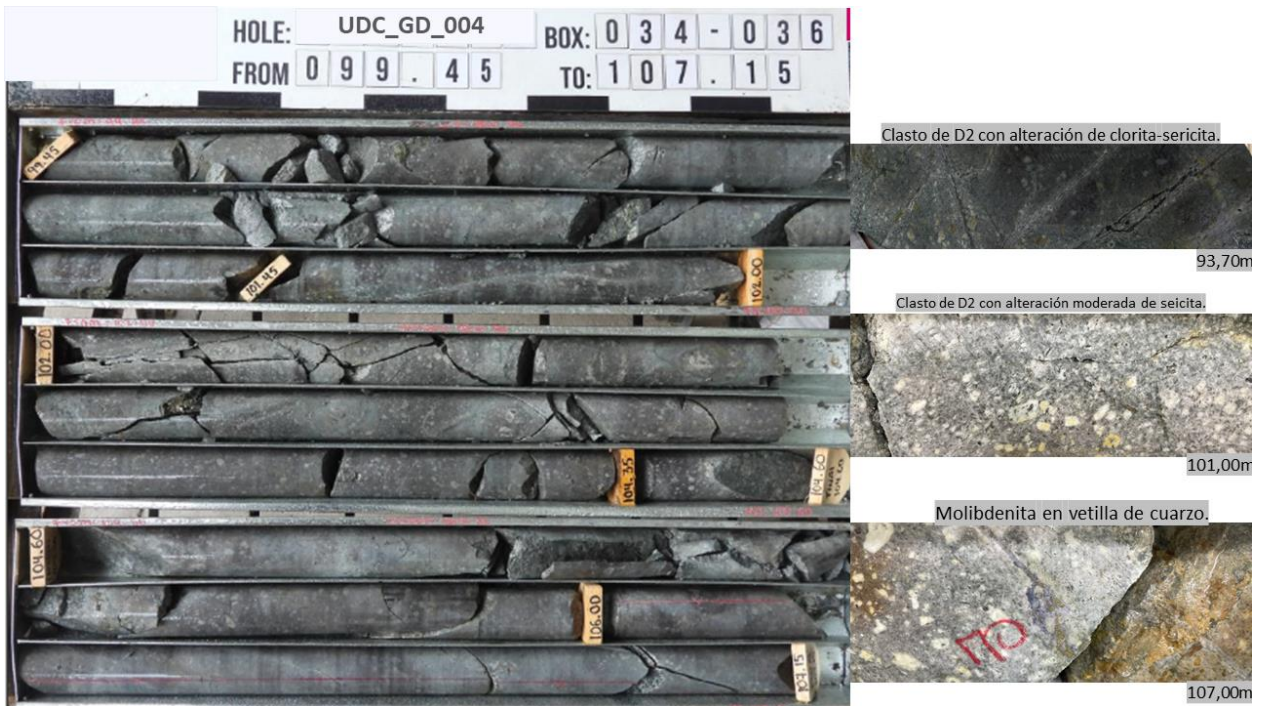


Figura 40. Caja 034 - 036 - Clastos de Diorita (D2) con alteración de Clorita- Sericita y Molibdenita en vetilla de Cuarzo. Fuente: propia.



Figura 41. Caja 037-039 – Diorita porfirítica de grano fino con biotita secundaria y vetillas de cuarzo. Fuente: propia.

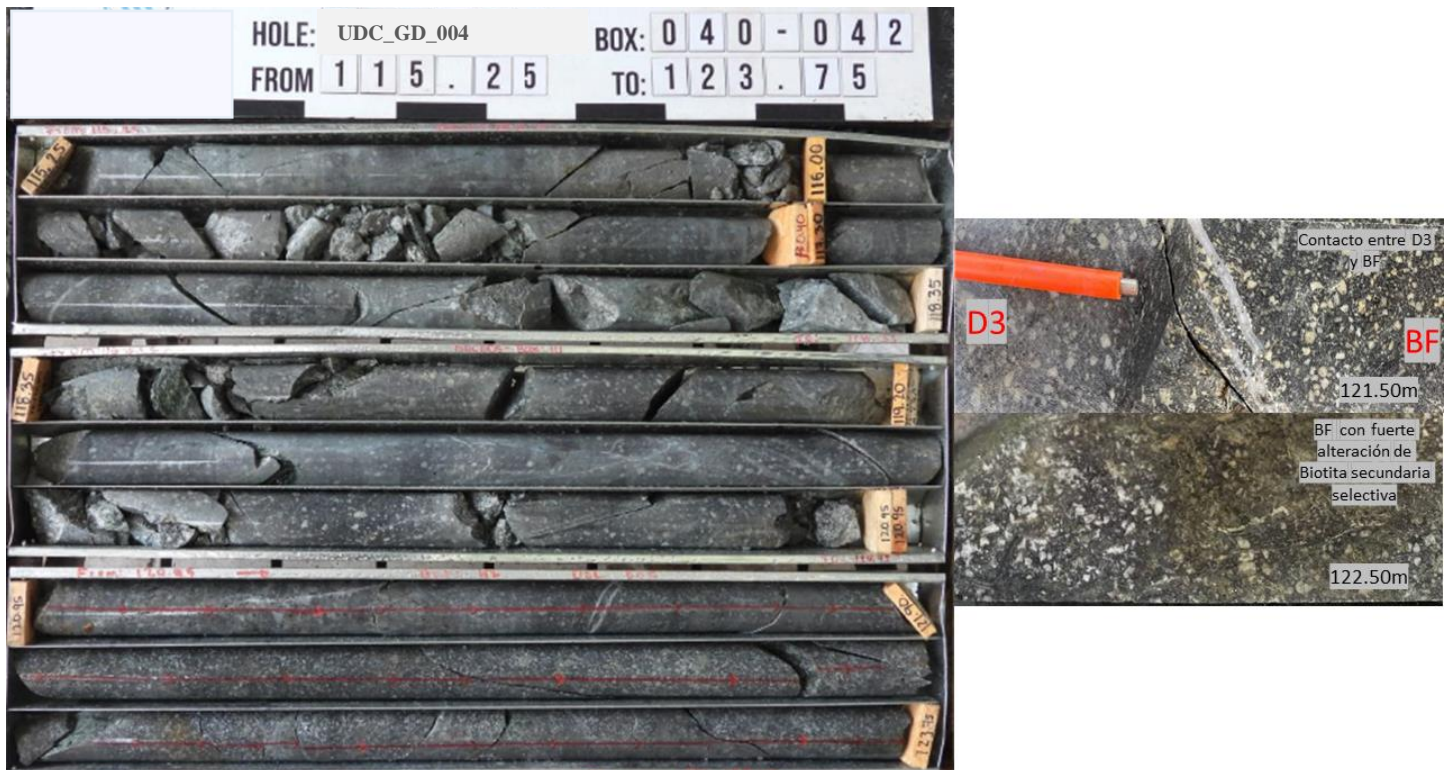


Figura 42. Caja 040 - 042 - Contacto de Diorita Porfirítica de grano fino (D3) y Brecha Polimítico Clastosoportada (Bf). Fuente: propia.

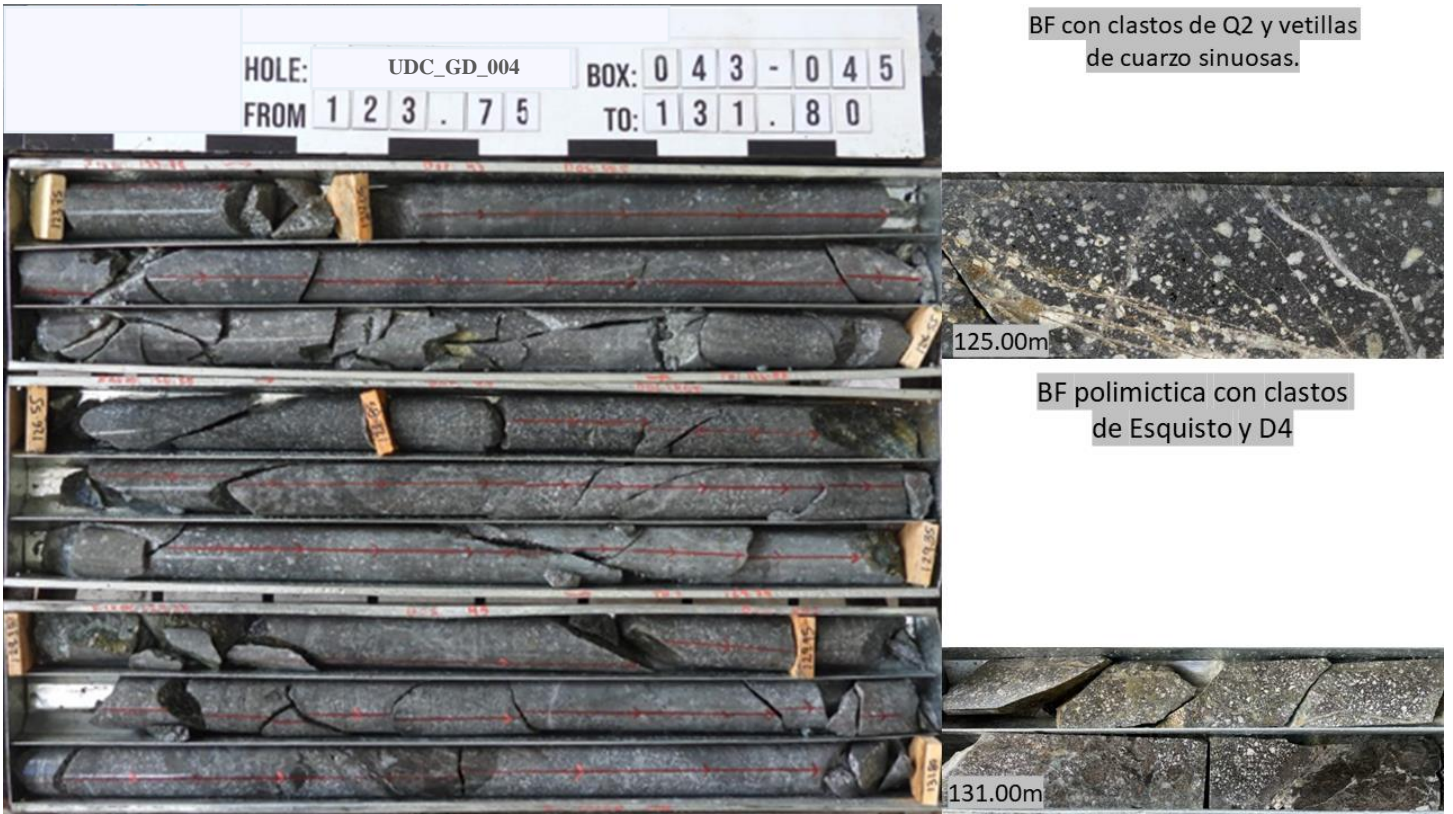


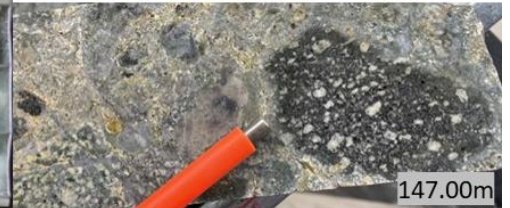
Figura 43. Caja 043 -045 - Brecha polimictica clastosoportada con clastos de cuarzdiorita, esquito y vetillas de Cuarzo. Fuente: propia.



Figura 44. Caja 049 - 051 - Brecha polimictica clastosoportada con clastos de cuarzdiorita y esquito. Fuente: propia.



BF con clastos de Q1.



Contacto entre BF y Q2



Figura 45. Caja 052-054 - Contacto entre brecha polimítica clastosoportada y cuarzodiorita. Fuente: propia.



Q2 con venillas de Cuarzo tipo porfido Cu-Mo-Au.



Q2 con vetillas tipo porfido con halo de sericita



Figura 46. Caja 055 – 057 - Cuarzodiorita con vetillas tipo pórfido con halo de Sericita. Fuente: propia.



Figura 47. Caja 058 – 060 - Brecha polimítica clastosoportada con clastos de esquistos y Cuarzodiorita con alteración a Clorita-Sericita. Fuente: propia.



Figura 48. Caja 061 - 063 - Cuarzodiorita con presencia de feldespato potásico. Fuente: propia.

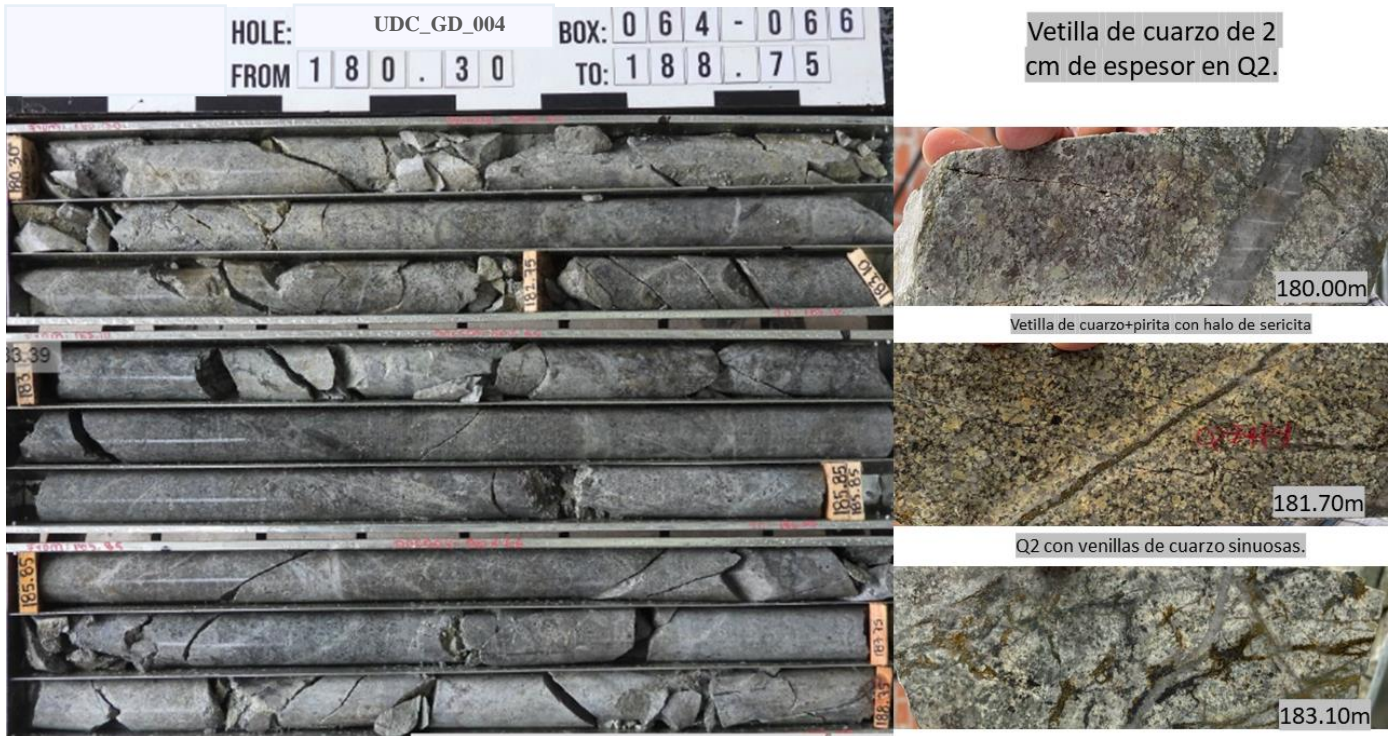


Figura 49. Caja 064 – 066 - Vetilla de Cuarzo de dos centímetros de espesor en cuarzodiorita. Fuente: propia.

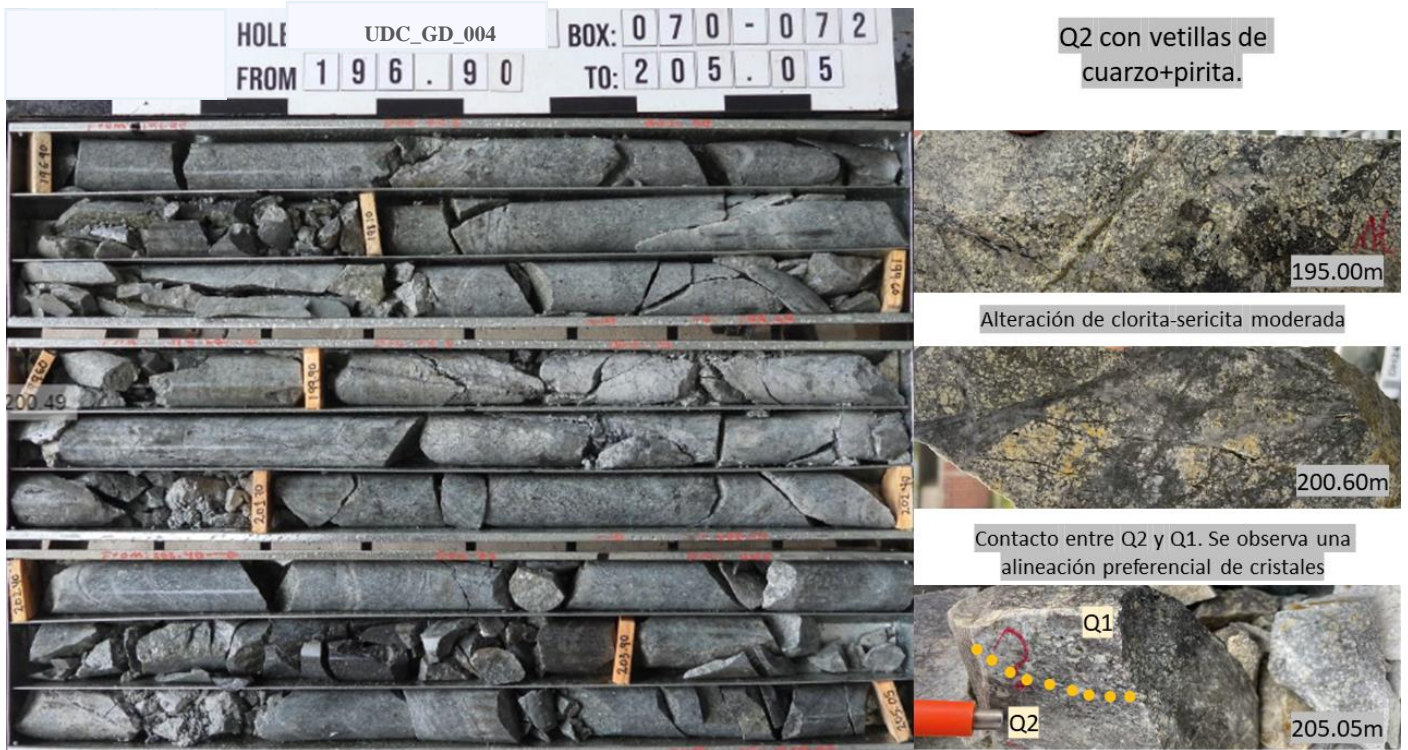


Figura 50. Caja 070 - 072 - Cuarzodiorita con vetillas de Cuarzo y Pirita, alteración de Clorita- Sericita. Fuente: propia.



Figura 51. Caja 073 - 075 - Cuarzodiorita porfírica con alteración de Clorita-Sericita controlada por estructuras y presencia de feldespato potásico. Fuente: propia.

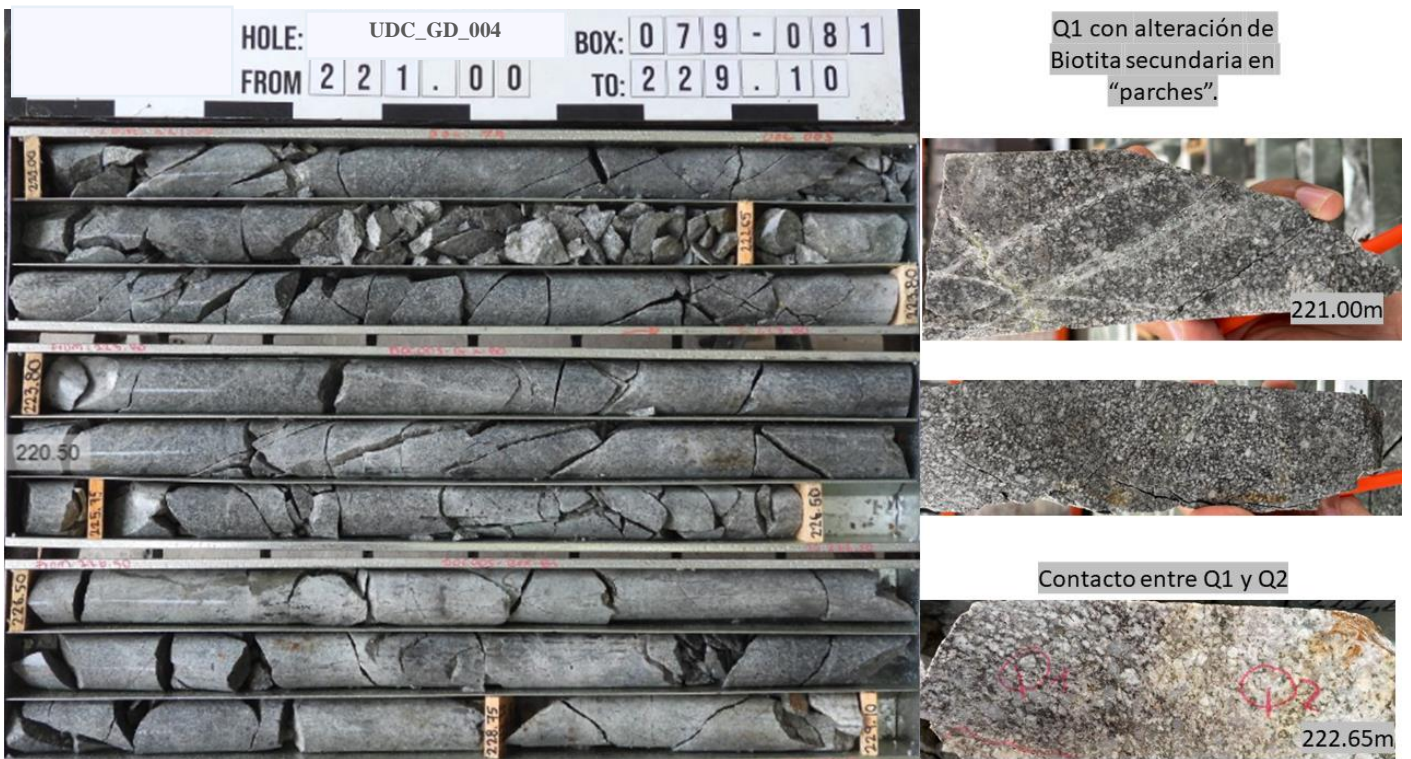


Figura 52. Caja 079 -081 - Cuarzodiorita porfírica con alteración de biotita secundaria en "Parches" - Contacto entre Cuarzodiorita y cuarzodiorita porfírica. Fuente: propia.

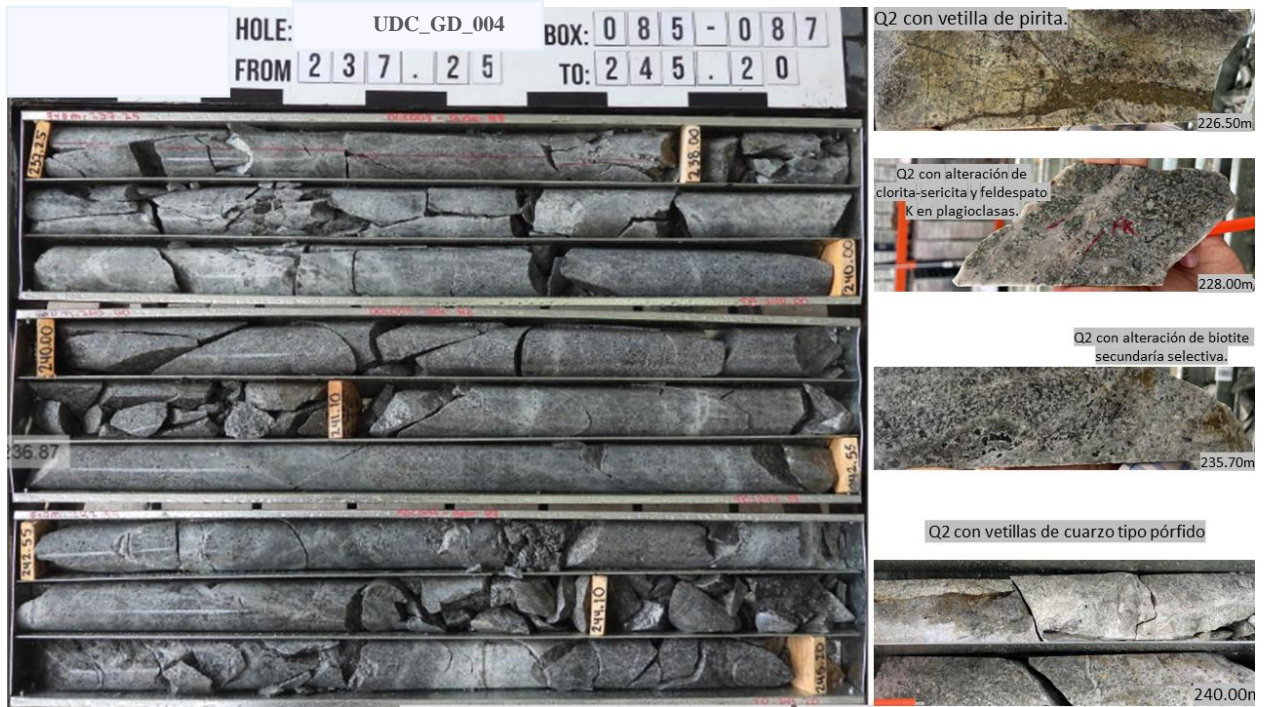


Figura 53. Caja 085 - 087 - Cuarzodiorita con vetilla de Pirita, Cuarzodiorita con vetillas de cuarzo tipo pórfido. Fuente: propia.



Figura 54. Caja 091 -093 - Cuarzodiorita con vetilla de magnetita y clorita- epidota selectiva. Fuente: propia.



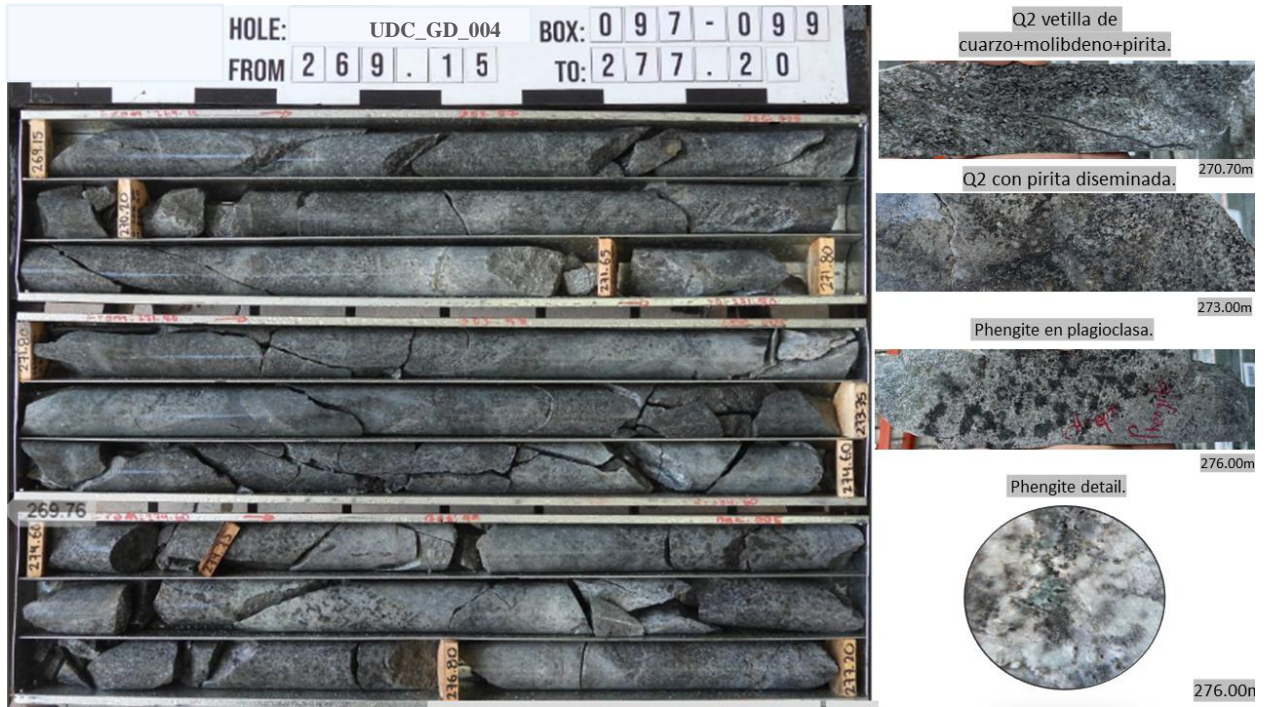


Figura 60. Caja 097-099 - Cuarzodiorita con vetilla de Cuarzo, Molibdeno, Pirita. Fuente: propia.

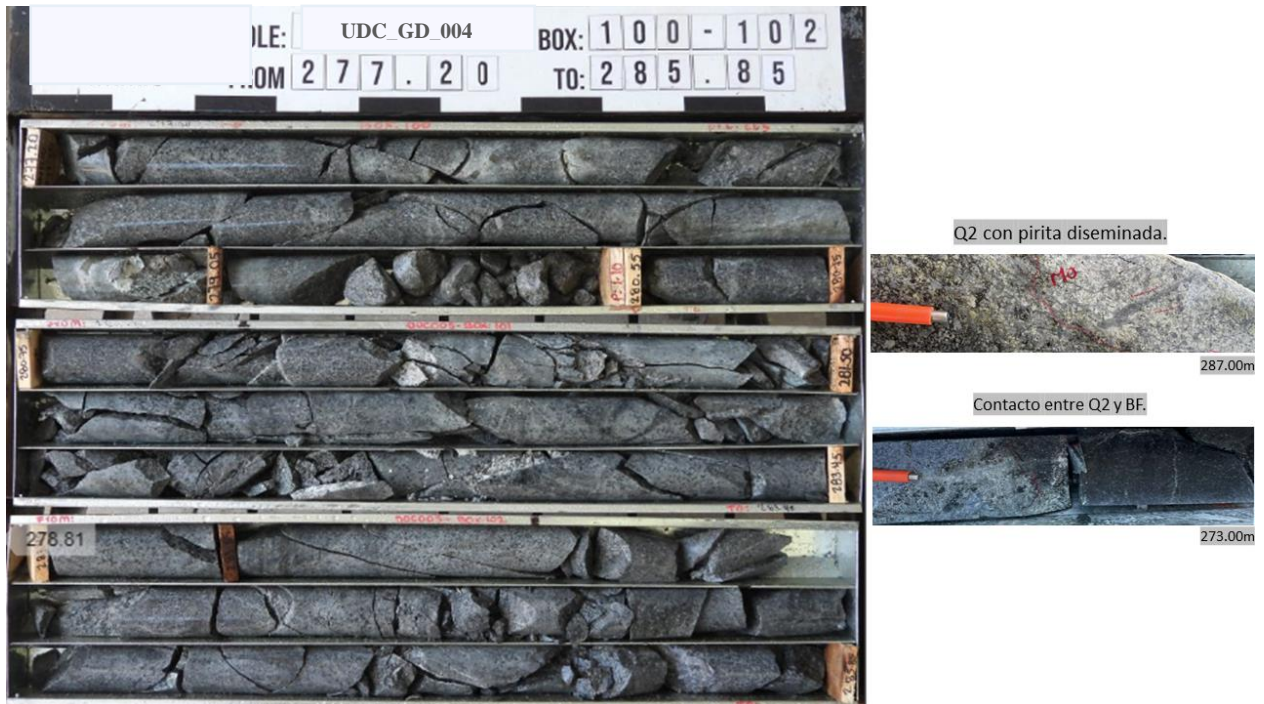


Figura 61. Caja 100 - 102 - Cuarzodiorita con pirita diseminada. / Contacto entre cuarzodiorita y Brecha polimictica clastosoportada. Fuente: propia.

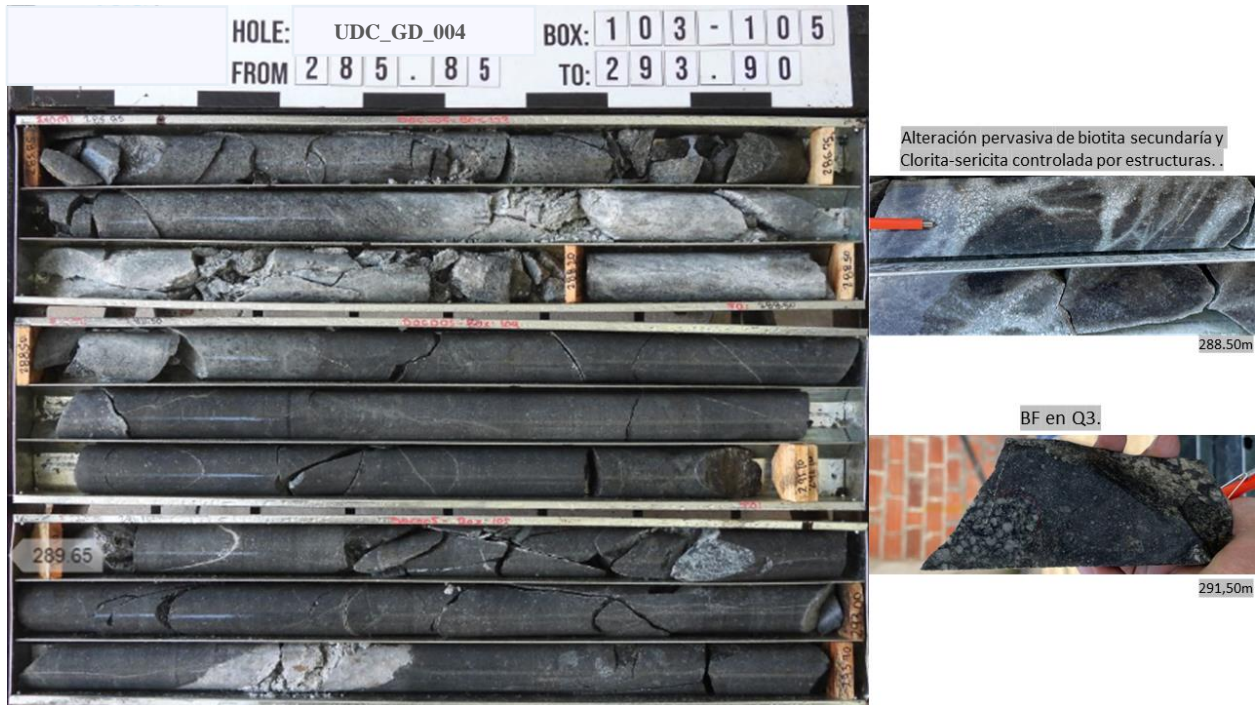


Figura 67. Caja 103 -105 - Alteración pervasiva de biotita secundaria y Clorita-Sericita controlada por estructuras. Brecha polimíctica clastosoportada en Q3. Fuente: propia.

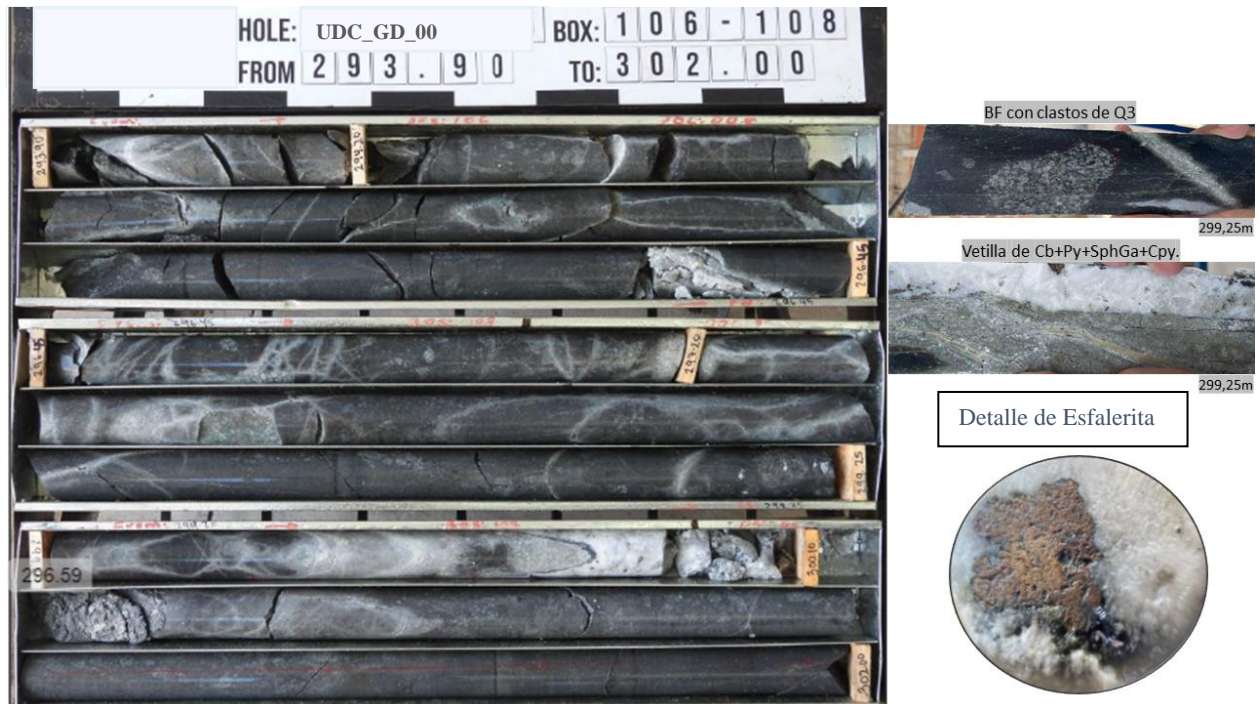


Figura 68. Caja 106 -108 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de Q3 y vetilleo de minerales. Fuente: propia.



Figura 73. Caja 109 - 111 - Brecha polimíctica clastosoportada con alteración de Clorita- Sericita controlada por estructuras, clastos de Q3 y brecha fluidizada. Fuente: propia.

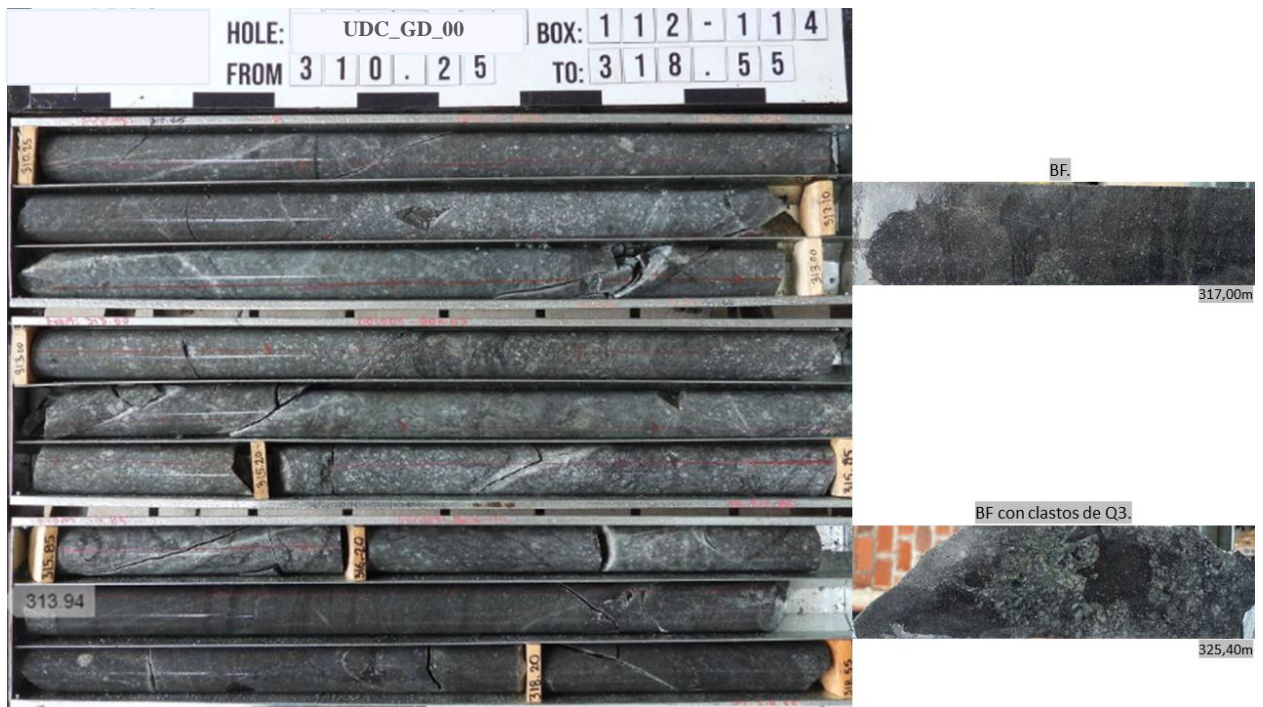


Figura 79. Caja 112 - 114 - Brecha polimíctica clastosoportada con clastos de Q3. Fuente: propia.

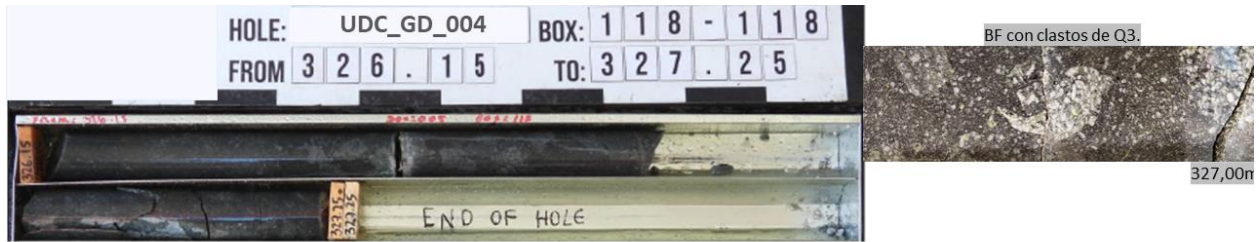


Figura 80. Caja 118 - Brecha polimíctica con clastos de Q3. Fuente: propia.

## 8.2 Datos químicos XRF-P

Con ayuda del equipo XRF-P se midieron 271 muestras “Rechazos” de pulpa fina del pozo UDC\_GD\_004 enviados por el laboratorio y con los datos obtenidos se contrastó la variación de los elementos químicos con respecto a la diferente litología, alteración, mineralización y estructuras observadas en el pozo logeado.

### 8.2.1. Variación de la geoquímica con respecto a la litología y alteración:

	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
1.3	3.4	SAP	Supergenic	6866.5	34	0	29965.5	234	45994.5	23	61.5	47.5
3.4	5.5	SAP	Supergenic	4906.5	28.5	0	23042.5	178.5	43615.5	16	74	33.5
5.5	7.5	SAP	Supergenic	3186.5	29	0	31338.5	203.5	46638.5	21	81.5	23.5
7.5	9.5	SAP	Supergenic	2992	26	0	21874.5	205	46904.5	26.5	66.5	20
9.5	11.5	SAP	Supergenic	4998.5	23.5	12.5	28256.5	239.5	51392	18.5	82.5	20.5
11.5	13.5	SAP	Supergenic	6246.5	16.5	13	20993	235	43389.5	22	75.5	47
13.5	15.5	SAP	Supergenic	12176.5	50	0	27376	308.5	44860	54	84.5	30.5
15.5	17.5	SAP	Supergenic	19572.5	49.5	16	24478	343.5	56885.5	84	107.5	17
17.5	19.5	SAP	Supergenic	32773	522.5	25	22025	473	69598.5	44	54	119.5
19.5	21.5	SAP	Supergenic	38800.5	557	23.5	15916.5	351	71953	20	36	34
21.5	23	SAP	Supergenic	22231	533	26	21093	222.5	49075	14	108	39.5
23	25	SAP	Supergenic	18417	199.5	22	22230.5	142.5	43211.5	8	107.5	26

Tabla 8. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Sapolito) y alteración (Supergénica)



	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
59,5	60,65	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	14178,5	43	12	23107	1772	30686	52,5	219	9
60,65	61,85	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	31119	161	17	17236	883,5	38894,5	106,5	89	7
61,85	63,7	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	31890	456,5	34,5	16655,5	597,5	49230,5	104	128,5	16,5
63,7	65,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	32178	1046,5	51	21936	854	38421	29	136	27
65,2	67,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	23949	286	24,5	20005	2142	43154,5	37,5	198,5	14,5
67,2	68,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	24801	242	15	20227	1091	33676,5	36	138,5	9,5
68,2	69,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	21141	848	18	18873	1739	30219	36,5	185,5	8,5
69,2	70,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	20717	218,5	16,5	21430,5	2170,5	38388,5	37	211,5	11
70,4	72,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	40110,5	164,5	33	23675,5	1661	32625	42,5	154,5	16
72,4	74,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	32355,5	248,5	33	19823,5	2393	27148	56	468	12
74,4	75,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	23096,5	245,5	24,5	13200,5	1823	23084	48	141	8
75,8	76,85	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	33678,5	173,5	21	19296,5	3534,5	34776,5	50,5	261,5	12
76,85	78	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	27104	554,5	18	14164,5	359	43095	24,5	110,5	22,5
78	79,75	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	27349	324	20	17111	472,5	36223	43,5	153	14
79,75	81	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	29668,5	366	0	20640	554	36603,5	58,5	154	37,5
87,25	89,1	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	16948,5	26,5	14,5	19658,5	653	35235,5	40	108,5	15,5
89,1	91	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	19222	32,5	13	17522	505	47779,5	23	126	11,5
91	92,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	20403,5	53,5	0	20343,5	680	56821,5	55,5	316	11,5
95,5	96,65	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	18555,5	87	15	17494,5	712	42777	49	78,5	10
96,65	97,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	23827	35	0	17193	702	46857,5	39	76	9
97,9	98,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	20942	25,5	12,5	13809,5	1082,5	49807,5	61,5	69,5	10
98,8	99,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	14733,5	21,5	0	14178	670	40571	17,5	75,5	8,5

Tabla 12. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-Sericita).

	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
99,9	101,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	17939,5	32	14	18723,5	881,5	43623	32	69,5	9
101,4	103	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	17188	14,5	0	15418,5	678,5	39294	17,5	67,5	8,5
103	105	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	18897	36	0	17299	189,5	45753	15,5	60,5	8
105	106,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	22477	20	14	15870	627,5	28680	60,5	59	10,5
106,2	107,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	25865,5	34	0	14927	425	33034	78,5	51	9,5
121,4	123,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	21566	40	0	12909,5	611	37833,5	94,5	73	8
123,4	125	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	24015,5	43	11	16996	631,5	40386,5	39,5	99,5	7,5
127	128,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	17096,5	24	18	17484	395	38589,5	30	66	7
128,4	129,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15531,5	16,5	0	15431,5	418,5	36340,5	100	83,5	6,5
110	111	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15814,5	22,5	12	14549,5	619	40528	13	542	6,5
94,4	95,5	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	19446,5	28	13	20206	500	42564,5	22	75,5	7
118	119,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	22795,5	27	0	20027,5	709,5	43121,5	15	90	8
129,4	130,6	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15318,5	11	12	20062,5	334,5	41154	10,5	70	8
130,6	132	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	29657	26	0	16082	428	37920,5	49	69,5	8
132	134	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	20488,5	31	13	18507,5	466	42006	24	106	11,5
134	136	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	18581	26,5	15	16023,5	448	44146	9	78,5	8,5
136	138	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	19427,5	31,5	17	15628,5	624	39853	24,5	77	9
138	140	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	18815,5	28	12	16407,5	622,5	37076,5	28	114,5	9
140	141	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	19200	18,5	0	16759,5	405	36210	23,5	63	7,5
141	142	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	16556	17,5	0	14479,5	529	32016,5	57	53,5	7,5
142	144	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	17184	7,5	15	16156	891	35027,5	35	66,5	8,5
144	146	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15251	6	0	15624	819,5	33601	38	60	8,5

Tabla 13. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-sericite y Potassic Bio)

	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
146	148	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13390,5	7,5	15	9865	1056	35827	35,5	44	8,5
148	149,15	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15418	14,5	0	10700	490	33786	19,5	83,5	14,5
288	288,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	12899	30	0	10235,5	1148	34692	31,5	70	8,5
288,8	290,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	18804,5	60	0	9512	351	42250	55	46	11,5
290,8	292,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	26539,5	26,5	15,5	10768	568	39042	25	81	9
283	285	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	17852	18	0	12105	390	34988	27,5	61,5	8,5
285	287	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15073,5	49	18	11465	886	39286,5	44	57	12,5
292,8	293,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13790,5	40,5	13	9781	955	33717,5	38,5	79,5	9
293,8	294,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	14340,5	25,5	0	10205	929,5	31310	70	88,5	8
294,9	296	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	21020,5	33	16	11719,5	579,5	26963,5	32	87,5	15,5
296	296,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13114,5	16,5	13	11058,5	918,5	28129,5	22,5	163	8
296,9	298,1	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	16203,5	11	0	10599	1086,5	24781	29,5	128	8
298,1	299,3	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	24967,5	12,5	20,5	10989,5	2495,5	25598,5	55,5	119,5	14,5
299,3	300,3	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	21224	28,5	50	12381	927	29383	31	164	25,5
300,3	302	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15964,5	8	0	11444,5	728	25686,5	24,5	105,5	9,5
302	303	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	24046,5	7	0	10762	752,5	28208	29,5	44,5	10,5
303	303,6	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	24668	5	12	8515,5	527,5	22840,5	32	53	10,5
303,6	304,7	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	19282,5	7,5	0	9221	607	24175	25,5	74	10
304,7	305,5	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13896,5	5,5	0	9379	1222,5	14825,5	20	52	8
305,5	307,5	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	11946	4	0	7707	1509	14434	19,5	51,5	8
307,5	309,4	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13365,5	11	0	6969,5	1707,5	17062,5	18,5	54,5	7,5
309,4	310,2	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	10468	4	0	9269	427	18431	23	39,5	10
310,2	310,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	15829	379	12	12122	684	53326	4	370	87
310,9	311,6	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	9203	68	0	11967	178	40549	0	367	24
311,6	313,6	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	11678	61	19	16442	109	40252	0	201	13
313,6	315,6	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	12989	56	0	17369	68	43225	0	203	19
315,6	316,8	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	14692	306	12	12727	305	45145	5	315	70
316,8	318,5	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	12615	147	18	16288	92	41178	3	235	22
318,5	320	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	11906	84	17	14340	194	39120	0	263	15
320	322	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	11211	132	11	13437	309	40293	0	280	19
322	322,9	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13002	160	0	13059	321	37979	0	342	15
322,9	323,7	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	7072	51	0	9985	31	26084	3	64	8
323,7	325	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	10687	31	12	12319	62	42314	0	183	23
325	326,25	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	11720	79	0	14291	103	42516	3	219	18
326,25	327,25	Brecha Fluidizada (BF)	Chlorite-seri	Potassic_bio	13580	42	0	14530	441	34272	6	145	12

Tabla 14. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Brecha Fluidizada) y alteración (Clorita-sericite y Potassic Bio



	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
107.2	108	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	22795.5	27	0	20027.5	709.5	43121.5	15	90	8
108	110	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	15318.5	11	12	20062.5	334.5	41154	10.5	70	8
110	111	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	29657	26	0	16082	428	37920.5	49	69.5	8
111	113	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	20488.5	31	13	18507.5	466	42006	24	106	11.5
113	114.8	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	18581	26.5	15	16023.5	448	44146	9	78.5	8.5
114.8	116	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	19427.5	31.5	17	15628.5	624	39853	24.5	77	9
116	118	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	18815.5	28	12	16407.5	622.5	37076.5	28	114.5	9
118	119.4	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	19200	18.5	0	16759.5	405	36210	23.5	63	7.5
119.4	120.4	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	16556	17.5	0	14479.5	529	32016.5	57	53.5	7.5
120.4	121.4	Diorita Porfírica de grano fino (D3)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	17184	7.5	15	16156	891	35027.5	35	66.5	8.5

Tabla 15. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec).

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
149.15	150.2	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	13896.5	5.5	0	9379	1222.5	14825.5	20	52	8
150.2	151	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	11946	4	0	7707	1509	14434	19.5	51.5	8
151	152	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	13365.5	11	0	6969.5	1707.5	17062.5	18.5	54.5	7.5
152	153	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	10468	4	0	9269	427	18431	23	39.5	10
153	154.1	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	10103	6	0	9565	617.5	17732	17.5	41.5	8.5
154.1	155	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	13177.5	2	16	10422	239	14387	18	40.5	8.5
155	157	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	16762	3.5	0	10118.5	504	18420	29	43	9.5
157	159	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	17172	4	0	9182.5	518	19999.5	25	41.5	10.5
159	161	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	18798.5	4.5	0	8973.5	755	24711	43.5	40	9.5
161	163	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	12915	4	0	8927.5	500.5	24671	24.5	43.5	8.5
163	164	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	7582.5	4	0	8445	476	23092.5	14	47.5	11
164	165	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	8461.5	3.5	0	7836.5	498	21419.5	48.5	51	8
165	167	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	9326.5	4.5	0	8377.5	468.5	24462.5	33.5	45	10
167	168.4	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	9151	3.5	0	8710	504	19098.5	18.5	59	7.5
168.4	169.5	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	9664	5	0	10669.5	515	29554.5	35	44.5	8.5
169.5	170.5	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	11602.5	3	0	11105.5	619.5	21541.5	25	53	9
170.5	171.5	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	12660	4	0	10684.5	529	19472.5	20.5	46	9
171.5	172.3	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	17676.5	2.5	11	12576	422	21764	23	40	8.5
172.3	174.3	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	15051	3	0	10065	468	19285.5	27.5	42.5	9
174.3	175.9	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	12939	3	0	9553	344	18647.5	24.5	38.5	9.5
175.9	176.9	Cuarzodiorita porfírica(Q2)	Chlorite-sericite	Potassic_bio	18360	3	0	10531.5	219	18564	74.5	44.5	8.5

Tabla 16. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec).

	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
176,9	177,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	14742	2	0	10135,5	380	21056	24	44	8
177,9	178,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	21950	5	0	8709,5	351,5	33025,5	16	33	7,5
178,9	180,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16382,5	3	0	10219,5	119,5	21896	22	43	9
180,9	182,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	14864,5	0	0	9789,5	307	18849	24	53,5	11
182,9	184,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11827	2	0	9520,5	386,5	22224	17	46	9,5
184,9	186,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	10629,5	3,5	0	8389	617,5	19948,5	32,5	44	7,5
186,9	188,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11605,5	3	0	9276	368	17696,5	19	47	7,5
188,9	190	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	8519,5	2,5	0	11429	421	16500,5	18	47	8
190	191	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	13781	5	0	10004	484,5	23253,5	20	37,5	10
191	192	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15410	5	13	11480	525,5	20921	19	41,5	13,5
192	194	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	14902,5	4	0	11038,5	566	21222,5	22	43,5	10,5
194	195	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	20255,5	3	0	10756	523,5	23278	21,5	48	10
195	197	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18919	11	12,5	11493,5	578,5	19091,5	32	67,5	31
197	198,1	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	19768,5	3	13,5	11348	651,5	30842	38	39	11
198,1	199	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18426	3,5	0	13702	451	21662	27	42,5	8,5
199	199,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18069,5	0	0	10185,5	453	19548	19,5	42,5	11
199,9	200,9	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	29936	40,5	0	10881	243,5	28831	21	55	167
200,9	201,7	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	22456	0	72,5	9731	862	31876	15,5	20200,5	9680,5
201,7	203	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18384,5	3,5	12	9546	672	27359	19,5	63	38,5
203	204	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16672	3,5	0	9488	619,5	26951	27,5	67	48,5
204	205,15	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18811	5,5	15	10233	1084	24320	30,5	47	34
205,15	206,8	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	17193	5	13	9481	745	23422,5	30,5	44	14,5

Tabla 18. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec).

	>1000 ppm Enriquecido
	0-1000 ppm Empobrecido

From	To	Lith1_code	Alt1_prg	Alt2_prg	K_med	As_med	Ag_med	Al_med	Cu_med	Fe_med	Mo_med	Zn_med	Pb_med
222	224	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15833	3	0	9603,5	530,5	20662	32	32	8
224	225	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	12290	2,5	0	10984,5	539,5	17806,5	32	30,5	8
225	226,5	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	9492,5	3	0	10225	562	15658	40,5	36,5	6,5
226,5	227,5	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	13462	2	0	10086,5	335	31045,5	38,5	26	10,5
227,5	228,5	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	19536,5	3,5	0	9730	524	22690,5	25	29,5	8,5
228,5	229,5	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	12825	0	0	10676,5	231,5	20727	39	31	9,5
229,5	231,5	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15727	2,5	0	9389	784	22434,5	42,5	34,5	8
231,5	233,1	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	9811	2	11	11455,5	405	20905	36	23,5	6,5
233,1	234,6	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15645,5	3	0	8717	829	17571,5	71	32,5	8,5
234,6	236	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16697	2	10	11630,5	402	18673,5	73,5	31,5	8
236	238	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18969,5	3,5	13	11698	402	20964	52,5	39,5	8
238	239,7	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	10186,5	2	0	9385,5	708	16410	28	32	7
239,7	241,7	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15719,5	3	0	10422	1413	17299	37	41	8,5
241,7	243,3	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	21670	5,5	14	9239	1194,5	20775	49,5	65,5	10,5
243,3	244,1	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	12630	3,5	13	9236	1316	21820	37,5	38,5	7,5
244,1	246	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	17798	3,5	0	8608,5	1450,5	29287,5	37,5	46,5	10,5
246	248	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18229,5	3,5	0	9616,5	1172,5	24801	42	47	9
251,6	252,8	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16243,5	4,5	0	10258,5	1025,5	19810	37	38,5	9
252,8	254	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15837,5	7,5	0	10928,5	860	20786,5	60	38	9,5
254	256	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16356,5	4,5	0	10275	823	20684,5	60	34,5	9
256	258	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	18031	4,5	0	9508	871	22230	57,5	47	11
258	260	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	17717	4	0	9275	835,5	20684	55	49,5	11
260	260,8	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	8606	3	0	9817	493	15757	54,5	34,5	8,5
261,8	263,7	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	8657	3	0	10012	512	16011	59	37	9
263,7	265	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11585	26	0	11621	343	34134	13	121	8
265	267	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11589	22	14	11426	185	33771	6	120	11
267	267,7	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	9943	55	11	13355	295	39069	4	150	13
267,7	269,1	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	9617	63	0	9717	279	36789	7	143	11
269,1	270,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15814	9	0	10930	99	34652	16	65	7
270,2	271,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16636	16	19	10619	418	35014	10	60	10
271,2	272,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	19116	513	38	11254	732	41651	9	38	51
272,2	274,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	17786	269	11	12601	179	42041	0	338	61
274,2	276,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16127	721	0	10947	234	44757	0	407	128
276,2	278,2	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	15856	213	0	13649	101	42082	0	288	27
278,2	279,1	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	16793	221	0	12747	206	44022	0	305	32
279,1	281	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11668	65	0	11826	20	38266	4	284	12
281	283	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	12453	104	0	11992	131	43383	0	297	22
283	285	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	11561	7	0	11375	25	24999	0	83	9
285	287	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	7911	28	0	13121	18	33962	3	201	10
287	288	Cuarzodiorita Porfírica (Q2)	Clorite-sericite	Potasic_Bio	8558	32	0	15910	17	34346	0	190	7

Tabla 19. Variación de la geoquímica con respecto a la litología (Cuarzo Diorita) y alteración (Clorita-Sericita y Biotita sec).

**8.3. Variación y correlación de elementos químicos con la litología, alteración y asociación mineralógica:**

Litología	Tipo de Alteración	Asociación Mineral	Asociación elementos	Variación								
				K	As	Ag	Al	Cu	Fe	Mo	Zn	Pb
Saprolito/Suelo residual	Supergénica	Jarosita-Caolinita	Fe+Al+K	K↑	As↓	Ag↓	Al↑	Cu↓	Fe↑	Mo↓	Zn↓	Pb↓
Cuarzodiorita	Clorita+sericita+Biotita Secundaria	Feldespato potásico Magnetita+Pirita Cuarzo+Pirita+Molibdenita	K+Fe+Al+Mo	K↑	As↓	Ag↓	Al↑	Cu↓	Fe↑	Mo↑	Zn↓	Pb↓
Zona de falla (BXT)	↑Sericita+Clorita	Arsenopirita+Pirita+Calcopirita Cuarzo+Molibdenita	As+/-Ag+/-Cu Cu+/-Mo	K↓	As↑	Ag↑	Al↓	Cu↑	Fe↓	Mo↑	Zn↓	Pb↓
Diorita	Clorita+sericita	Carbonato+Pirita+Calcopirita+Esfalerita	As+Pb+ Cu+/-Mo+Zn	K↓	As↑	Ag↓	Al↓	Cu↑	Fe↓	Mo↑	Zn↑	Pb↑
Brecha Fluidizada	Clorita+sericita+Biotita Secundaria	Carbonato+Pirita+Calcopirita+Esfalerita+Galena	K+Al+Cu+Fe+ Zn+Pb	K↑	As↓	Ag↓	Al↑	Cu↑	Fe↑	Mo↓	Zn↑	Pb↑

Tabla 20. Variación y correlación de elementos químicos con la litología, alteración y asociación mineralógica

### 8.4. Variación de la química con respecto a la profundidad, litología y alteración

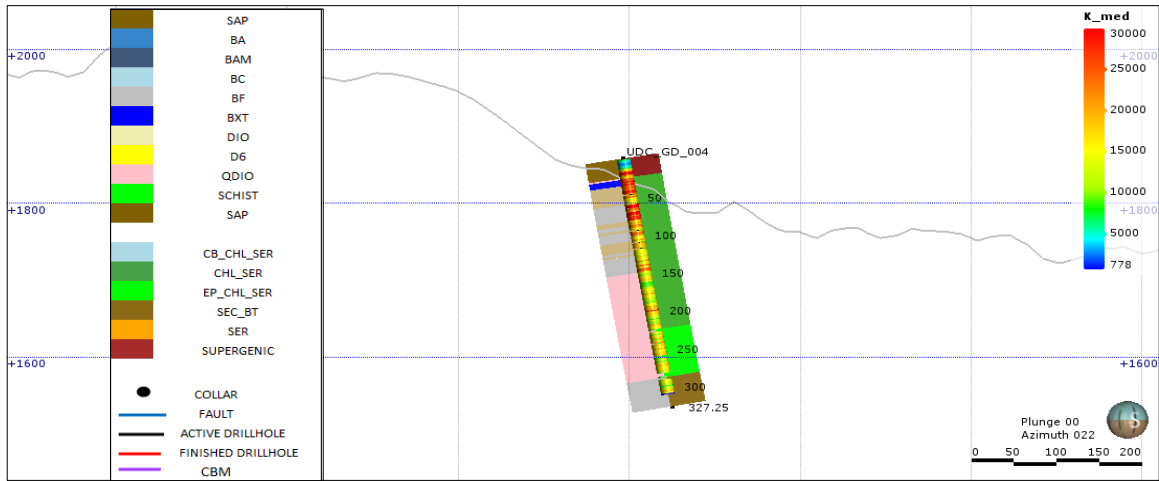


Figura 81. - Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Potasio (K) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia

El aumento en la concentración del Potasio (K) entre los 20-100 m de profundidad, está asociado principalmente a la presencia de Feldespato Potásico en vetillas de cuarzo y plagioclasa como se ilustra en la Figura 39. Caja 031 – 033 profundidad 96.40m y a la alteración de Biotita secundaria, como producto de la alteración potásica, en clastos de Cuarzodiorita y Diorita, posiblemente exhumados y puestos en superficie por una falla local. La anomalía de potasio (K) encontrada en niveles más someros (1.5 m – 20 m) puede estar asociada a la formación de Jarosita  $KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$ .

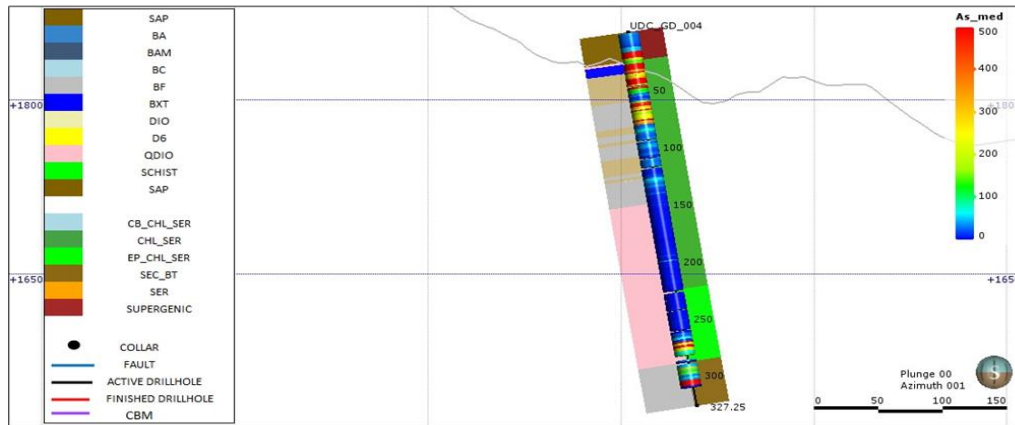


Figura 82. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Arsénico (As) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia

El aumento en la concentración de Arsénico (As) entre los 20-50 m de profundidad, está asociado principalmente a la zona de falla que pone en contacto la Cuarzodiorita y la Diorita. La presencia de Arsénico en el área podría sugerir la posible cercanía a la zona distal del sistema epitermal o del sistema pórfido. Aunque no se encontraron evidencias de Arsenopirita debido a la baja preservación del núcleo de perforación, la anomalía de Arsénico (As) también podría estar asociada a la presencia de este mineral.

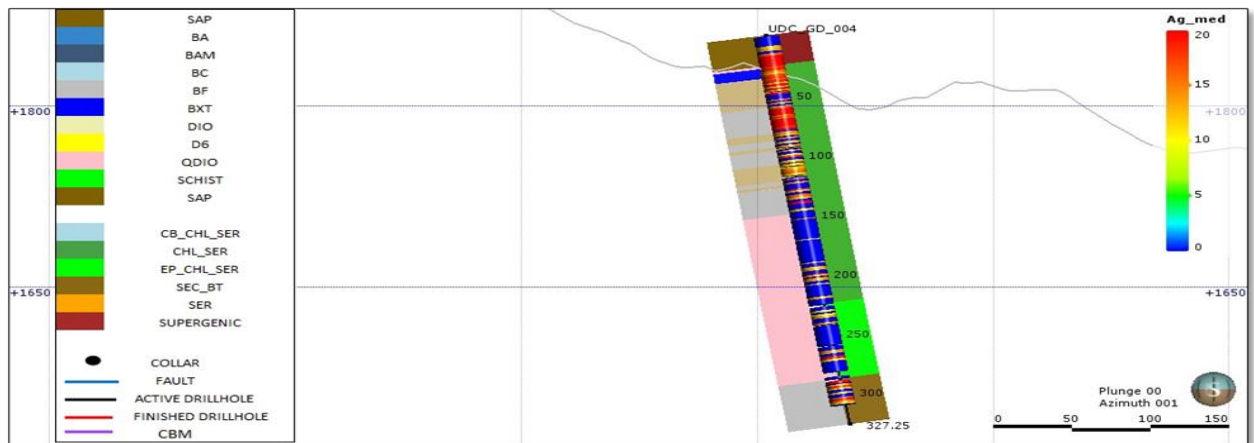


Figura 87. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación de la Plata (Ag) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.

El aumento en la concentración de Plata (Ag) entre los 10-30 m de profundidad podría estar asociada a la influencia de la alteración Argílica avanzada que sugiere la posible cercanía a la zona perimetral del sistema pórfido.

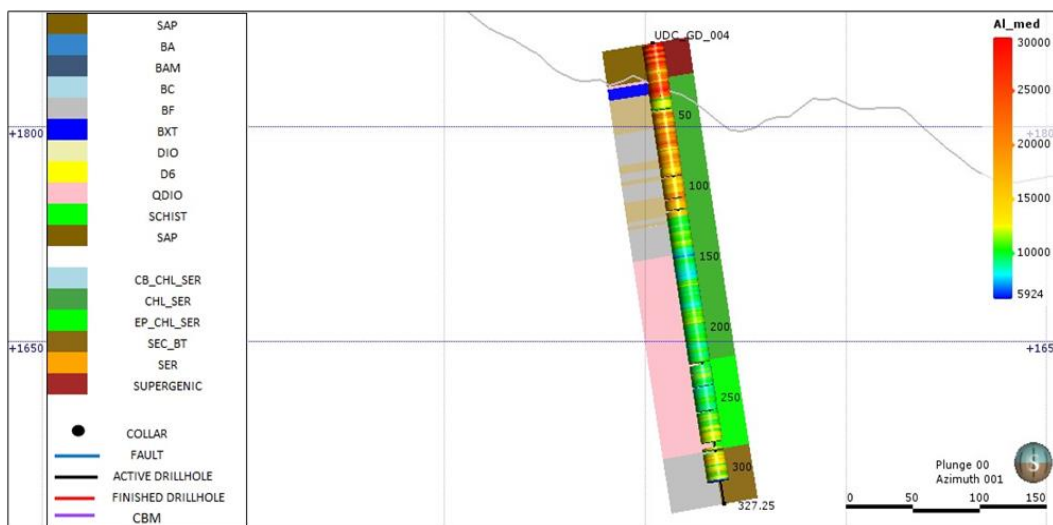


Figura 96. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Aluminio (Al) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia

El enriquecimiento de Aluminio (Al) está asociado principalmente a la alteración de Clorita-Sericita y de Biotita secundaria en la Diorita porfirítica de grano medio (D2) y la presencia de arcillas como Caolinita en el suelo residual.

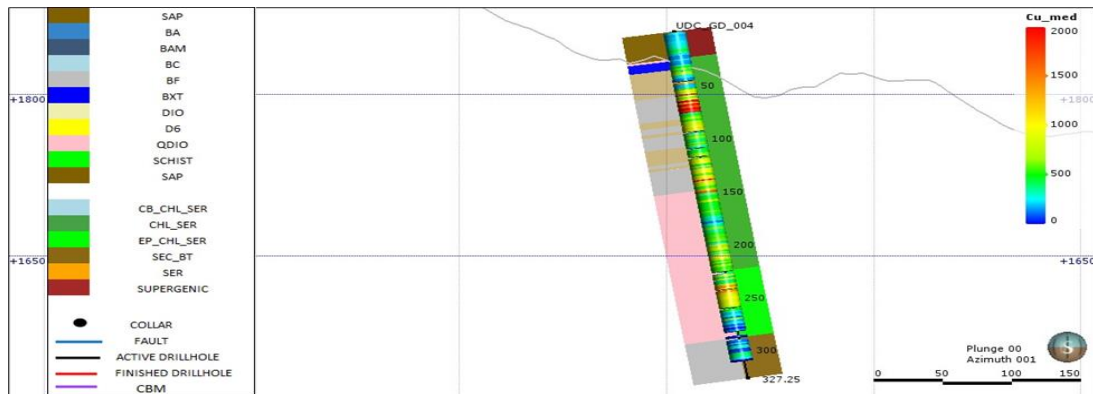


Figura 105. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Cobre (Cu) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas Fuente: propia.

El mayor enriquecimiento de Cobre (Cu) (>1000 ppm) entre la profundidad de 30 metros y 95,5 metros asociado principalmente a la oxidación de sulfuros de Cobre y a las vetillas de Cuarzo+Pirita+Calcopirita presentes en la Diorita porfirítica de grano medio (D2)

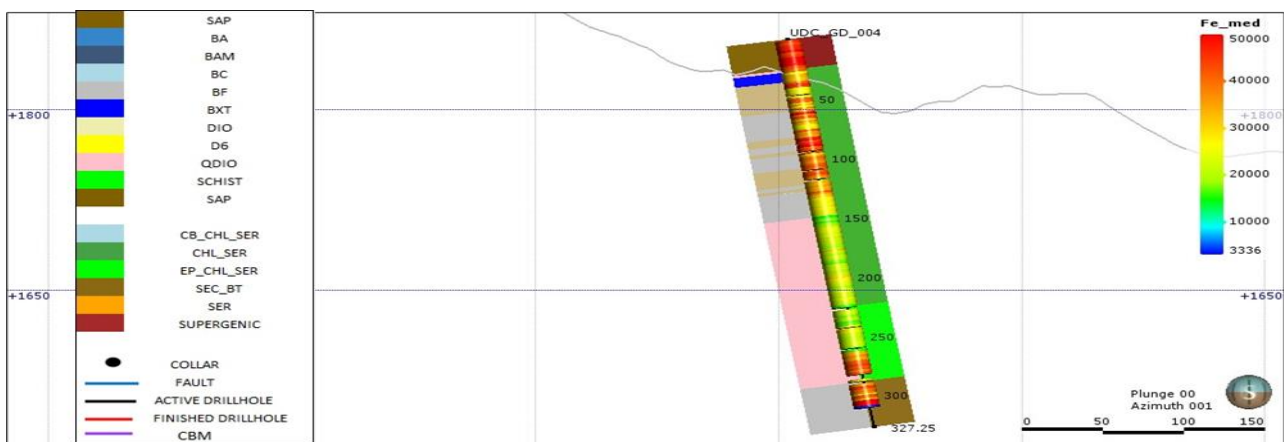


Figura 106. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Hierro (Fe) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.

El aumento en la concentración de Hierro (Fe) está asociado principalmente a la presencia de Óxidos y sulfatos de Fe como Goetita y Jarosita respectivamente en el Saprolito y a la alteración de Biotita secundaria en las rocas intrusivas Cuarzodiorita y Diorita y en la Brecha fluidizada.

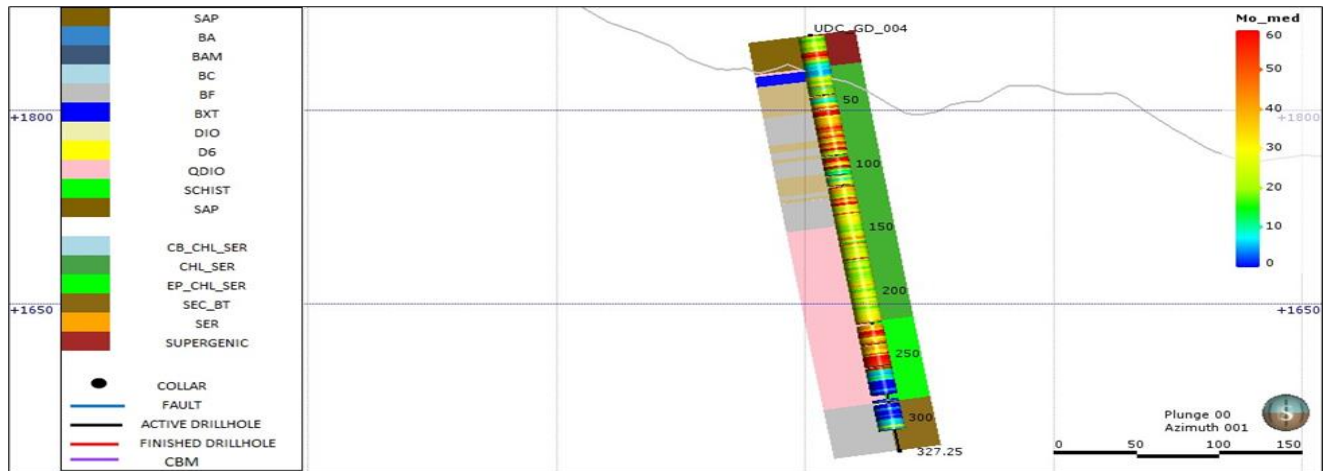


Figura 107. - Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Molibdeno (Mo) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia

El mayor enriquecimiento de Molibdeno (Mo) (>1000 ppm) entre la profundidad de 50-100 metros y 200-250 metros está asociado principalmente a las vetillas de Cuarzo+Pirita+Molibdenita y Molibdenita diseminada presentes en la Brecha Fluidizada y en la Cuarzodiorita.

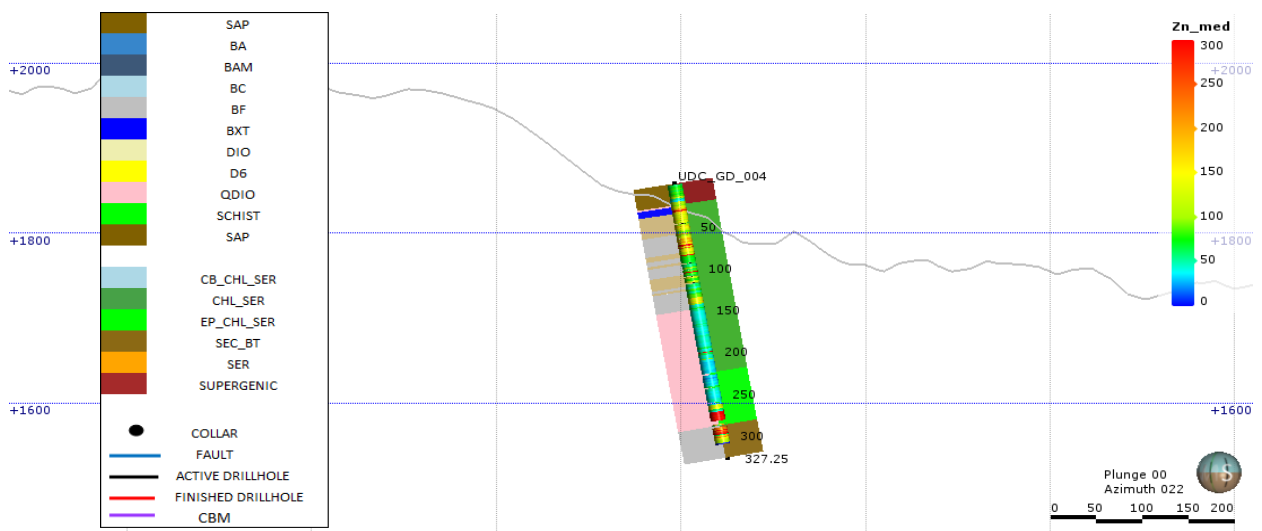


Figura 116. Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Zinc (Zn) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia. Software: Leapfrog.



El aumento en la concentración de Zinc (Zn) está asociado principalmente a la presencia de vetillas de Carbonato+Pirita+Calcopirita+Esfalerita+Galena en la Brecha Fluidizada y en la Cuarzodiorita.

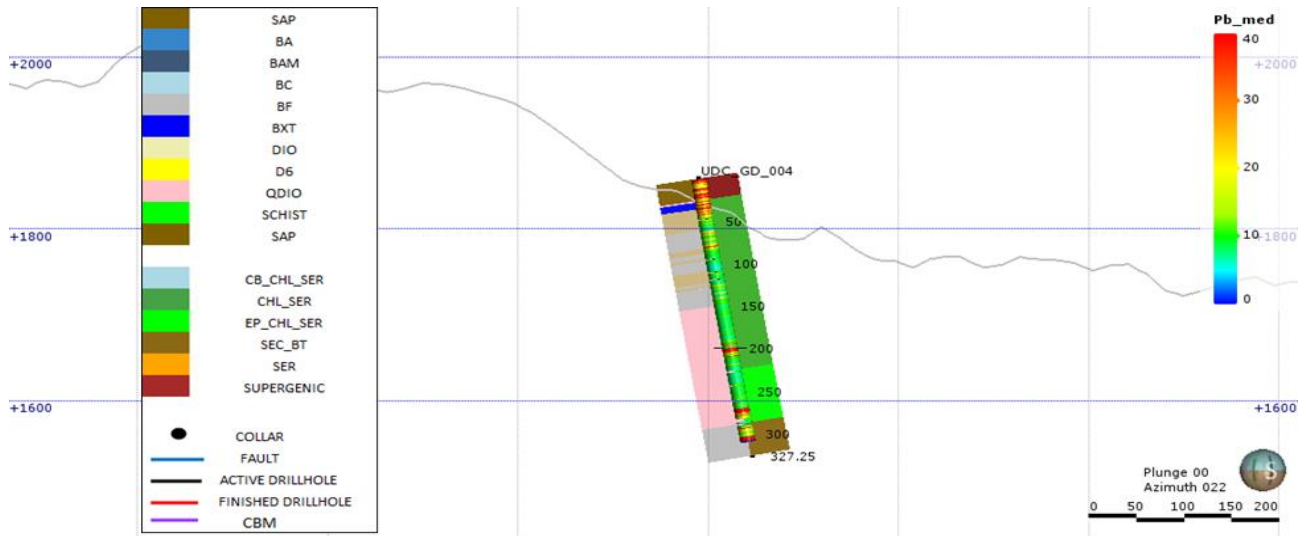


Figura 117. - Perfil de Leapfrog donde se muestra la variación del Plomo (Pb) con respecto a la profundidad, litología y alteración. En color rojo se muestran los valores más anómalos y en azul los valores que representan concentraciones más bajas. Fuente: propia.

El aumento en la concentración de Plomo (Pb) está asociado principalmente a la presencia de Galena en vetillas de Carbonato+Pirita+Calcopirita+Esfalerita en la Diorita y en la Cuarzodiorita.

## 9. Conclusiones

1. Los analizadores (XRF-P) se han convertido en una herramienta muy útil en la industria minera en cuanto estos dispositivos ofrecen datos geoquímicos precisos y en tiempo real que permiten efectuar caracterizaciones rápidas de múltiples elementos en muestras de suelos, rocas y minerales.
2. A partir de la cuantificación de elementos mayores y elementos traza que permite realizar el Analizador (XRF-P) se pueden elaborar tablas de correlación con los materiales de referencia certificados ICP-MS.
3. Para la calibración del equipo Analizador (XRF-P) se necesita contar con un mínimo de 20 muestras preparadas con resultados de ICP-MS que se encuentren por encima del límite de detección del equipo Analizador.
4. El tamaño de las partículas en las muestras sólidas puede influir en la precisión del Analizador (XRF-P) ya que la sensibilidad en las mediciones disminuye a medida que aumentan los tamaños y las densidades de dichas partículas.
5. La sensibilidad del (XRF-P) disminuye a medida que aumenta la distancia entre la muestra que se analiza y la fuente de excitación.
6. El equipo Analizador XRF-P quedó debidamente calibrado y ajustado a la matriz mineralógica de la empresa Collective Mining LTDA.
7. Debido a las condiciones de humedad, almacenamiento y morfología de los núcleos de perforación, la integración entre la técnica de fluorescencia de rayos X portable (XRF-P) y el logueo de núcleos de perforación diamantina no es del todo idónea. Estas condiciones pueden generar errores y variaciones tanto en la sensibilidad del Analizador (XRF-P) como en los resultados geoquímicos.

8. La calibración de elementos mayores y elementos traza que traen de fabrica los Analizadores (XRF-P) no es una calibración 100% confiable ya que esta es universal y en muchas ocasiones no se ajusta a las necesidades ni a la matriz mineralógica de las empresas mineras.

## 10. Recomendaciones

1. Para obtener mejores resultados en los ensayos realizados con el Analizador (XRF-P) el equipo Analizador debe estar en contacto directo con la muestra.
2. Para reducir el rango de error en los ensayos realizados con el Analizador XRF-P, las muestras deben estar pulverizadas y debidamente preparadas.
3. Seguir estrictamente los parámetros para el uso y configuración del analizador XRF-P dado que, es posible generar errores al azar en los ensayos.
4. Disponer y adecuar un recinto para la ejecución de los diferentes análisis con el equipo XRF-P con el fin de optimizar los ensayos realizados.

## 11. Bibliografía

Borrero, C., y Toro-Toro, L.M. 2016. Vulcanismo de afinidad adaquítica en el miembro inferior de la Formación Combia (Mioceno tardío) al sur de la subcuenca de Amaga, noroccidente de Colombia. *Boletín de Geología*, 38(1): 87-100. <https://doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016005>

C. Kilbride, J. Poole, T.R. Hutchings, A comparison of Cu, Pb, As, Cd, Zn, Fe, Ni and Mn determined by acid extraction/ICP–OES and ex situ field portable X-ray fluorescence analyses, *Environmental Pollution*, Volume 143, Issue 1, 2006, Pages 16-23, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.013>.

Eugene P. Bertin. *Introduction to X-Ray Spectrometric Analysis* Plenum Press, New York - London, 1978 <https://ur.booksc.me/book/22925351/751dd1>

Ordóñez-Carmona, Oswaldo & Marín, Mauricio & gonzalez, humberto & Canola, Eliana & ruiz, maria & rendon, alba & rios, carlos. (2005). GENERALIDADES DEL SISTEMA DE FALLAS DE ROMERAL EN LAS CERCANÍAS A MEDELLIN. 10.13140/2.1.5110.5285. [https://www.researchgate.net/publication/266854403\\_GENERALIDADES\\_DEL\\_SISTEMA\\_D E\\_FALLAS\\_DE\\_ROMERAL\\_EN\\_LAS\\_CERCANIAS\\_A\\_MEDELLIN](https://www.researchgate.net/publication/266854403_GENERALIDADES_DEL_SISTEMA_DE_FALLAS_DE_ROMERAL_EN_LAS_CERCANIAS_A_MEDELLIN)


Redwood, S. (2021) *Guayabales Project, Colombia. NI 43-101 Technical Report*. [https://www.collectivemining.com/resources/reports/Collective Mining Guayabales NI 43-101 Technical Report.pdf?v=0.346](https://www.collectivemining.com/resources/reports/Collective_Mining_Guayabales_NI_43-101_Technical_Report.pdf?v=0.346)

Kalnicky, D. J., & Singhvi, R. (2001). Field Portable XRF Analysis of Environmental Samples. *Journal of Hazardous Material*, 83, 93-122. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00330-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00330-7)

## 12. Anexos

	<b>MACROPROCESO:</b> Exploración	<b>PROCESO:</b> Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022

1. GENERALIDADES	
<b>Instructivo</b>	Configuración y manejo del equipo Analizador XRF VANTA SERIES M
<b>Objetivo</b>	Parametrizar el manejo del equipo Analizador XRF VANTA SERIES M para optimizar el proceso de medición en las diferentes muestras a convenir.
<b>Responsable</b>	Geólogos

2. DESCRIPCIÓN	
<b>1) GENERALIDADES</b>	
<p>El analizador Vanta series M (XRF Analyzer) es un dispositivo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF) que proporciona un análisis elemental rápido y preciso en la identificación de elementos y/o compuestos en una determinada muestra, por tal motivo, el XRF Analyzer debe ser operado por personal capacitado y autorizado y deberá permanecer siempre en las instalaciones de la bodega de logueo "El Chamizal" y almacenado en su respectivo empaque cuando no se tenga en uso.</p>	
<p>Cuando se haga uso del XRF Analyzer, es importante que el operario enfoque los disparos realizados hacia una muestra u objetivo de análisis -garantizando siempre un contacto neto entre el equipo y la muestra- y no hacia su propio cuerpo o el cuerpo de otra persona. Una vez el XRF Analyzer esté en funcionamiento y ejecutando alguna medición, emite durante un lapso de 35 segundos o más (según el tiempo que se tenga establecido para cada haz), una luz intermitente de color rojo que se detiene cuando el análisis termina; durante el análisis se debe mantener una distancia de 20 cm entre el operario y la muestra (lo más cercano que debe estar a la muestra es el dedo que está en el gatillo del XRF Analyzer) y una distancia de 50 cm entre la muestra y la persona que se encuentre frente a ella ya que el mayor rango de emisión de radiación se presenta hacia la parte frontal del equipo.</p>	
<p><b>IMPORTANTE:</b> En ninguna circunstancia el XRF Analyzer se puede golpear ni exponer a la humedad o a condiciones que puedan poner en riesgo el funcionamiento del equipo. Se debe reportar siempre cualquier error o inconsistencia que se presente en el mismo.</p>	
<p> <b>ADVERTENCIA:</b> El analizador Vanta debe ser utilizado únicamente para su uso previsto. Nunca debe usarse para inspeccionar o examinar partes del cuerpo en humanos o animales</p>	
<b>2) CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO XRF ANALYZER (PRE-ENSAYO)</b>	
<p>Antes de iniciar cualquier ensayo o análisis con el XRF Analyzer deben utilizarse las siguientes recomendaciones:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisar que la batería que se va a usar se encuentre con más del 50% del total de su carga, esto con el fin de evitar posibles errores internos del equipo</li> <li>- Limpiar la ventana del equipo con un paño y alcohol con el fin de eliminar impurezas que puedan afectar los resultados</li> <li>- Usar siempre el equipo con la correa sujetadora para evitar que se caiga o golpee</li> <li>- En el menú principal, verificar que el método seleccionado para efectuar el análisis sea <i>Method: GeoChem (3) Full</i>, ver (ilustración 1), que no se esté usando ningún factor de usuario <i>Factor de usuario: None</i>, ver (ilustración 2) y que los compuestos y pseudoelementos no estén usando ninguna configuración a menos que estos sean necesarios, ver (ilustración 3a y 3b).</li> </ul>	

Anexos 1. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M. Fuente: Propia

	<p>MACROPROCESO: Exploración</p>	<p>PROCESO: Exploración</p>	<p>Doc.: CM-EX-IN</p>
<p><b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b></p>			<p>Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022</p>

**2. DESCRIPCIÓN**

- El tiempo de ensayo para el primer y segundo haz debe ser de 25 sg y 15 sg respectivamente. El tercer haz debe estar deshabilitado. (ilustración 4).
- En opciones de exportación, verificar que la plantilla seleccionada sea CollectiveMining y el tipo de archivo sea CSV. (ilustración 5).
- Al iniciar el equipo (en la parte inferior izquierda de la pantalla), verificar que la colimación se encuentre desactivada; en caso de que este activa, en el menú principal, ingresar a la opción Cámara y mantener presionado por 2 sg el centro de círculo rojo que aparece en la pantalla hasta que la colimación se desactive. (ilustración 6)

(1) *Seleccionar metodo: GeoChem(3)Full*

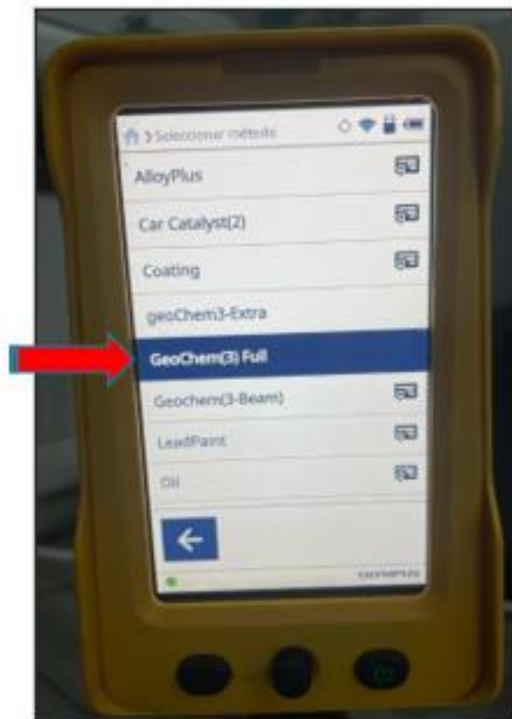


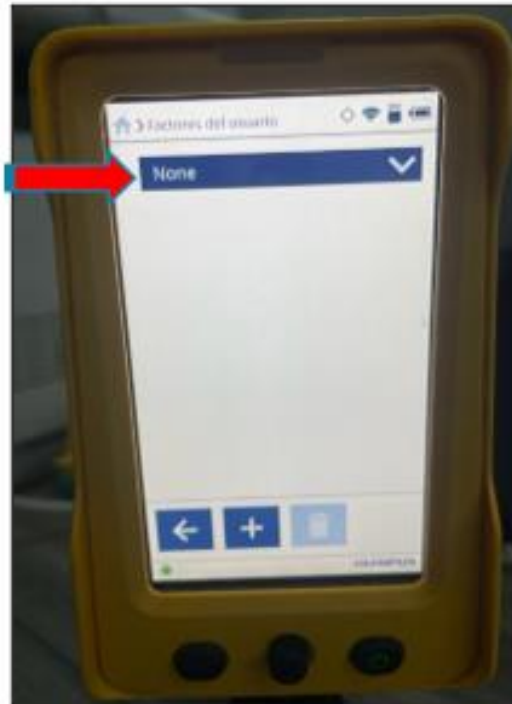
ilustración 1. Método que se debe usar para ejecutar cualquier análisis.

Anexos 2. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 1 Fuente: Propia

 <b>COLLECTIVE</b> MINING	MACROPROCESO: Exploración	PROCESO: Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022

**2. DESCRIPCIÓN**

*(2) Factor de usuario: Ninguno*



*ilustración 2. El equipo se debe usar sin ningún factor de usuario.*

Anexos 3. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 2. Fuente: Propia

 <b>COLLECTIVE</b> MINING	MACROPROCESO: Exploración	PROCESO: Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022

**2. DESCRIPCIÓN**

**(3) Compuestos y pseudoelementos: Ninguno**



*ilustración 3a.* El equipo se debe usar sin ninguna configuración de compuestos a menos que estos sean necesarios.



*ilustración 3b.* El equipo se debe usar sin ninguna configuración de pseudoelementos a menos que estos sean necesarios.

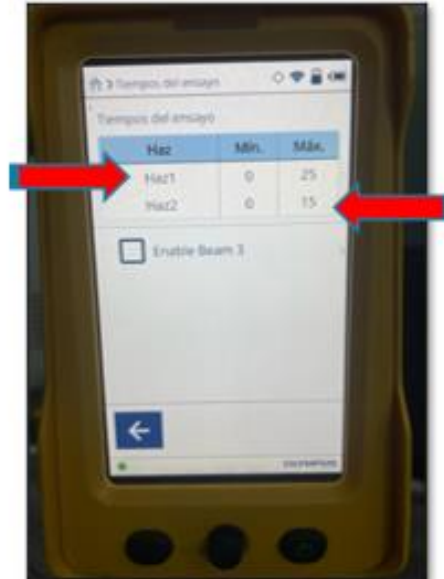
Anexos 4. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 3. Fuente: Propia



 <b>COLLECTIVE</b> MINING	MACROPROCESO: Exploración	PROCESO: Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022

**2. DESCRIPCIÓN**

**(4) Tiempos recomendados para cada haz**



*Ilustración 4. Tiempos recomendados para cada haz.*

Anexos 5. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 4. Fuente: Propia

	<p>MACROPROCESO: Exploración</p>	<p>PROCESO: Exploración</p>	<p>Doc.: CM-EX-IN</p>
<p><b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b></p>			<p>Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022</p>

**2. DESCRIPCIÓN**

(5) *Plantilla de exportación y tipo de archivo*



*ilustración 5. Plantilla de exportación y tipo de archivo recomendados.*

(6) *Colimación desactivada*



*ilustración 6. Notificación de colimación*

Anexos 6. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M – PASO 5 y 6. Fuente: Propia

	<p>MACROPROCESO: Exploración</p>	<p>PROCESO: Exploración</p>	<p>Doc.: CM-EX-IN</p>
<p><b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b></p>			<p>Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022</p>

**2. DESCRIPCION**

**3) EJECUCIÓN DE ENSAYO**

Cuando se esté ejecutando cualquier análisis se deben utilizar las siguientes recomendaciones:

- Al inicio, mitad y final de cada análisis, realizar un disparo al blanco preparado y al estándar del equipo XRF Analyzer con el fin de efectuar un control de calidad en los datos a obtener.
- Si la ventana del equipo se encuentra contaminada, realizar el cambio por una ventana nueva para evitar que se generen ruidos en la medición.
- Durante los 40 sg que dura cada disparo, mantener el XRF Analyzer en posición fija y en contacto neto con la muestra. El equipo solo se debe separar de la muestra una vez finalice el ensayo o de lo contrario este no será exitoso.
- No consumir alimentos o bebidas mientras se está ejecutando el análisis
- Secar muy bien las muestras pues la humedad afecta la medición. Se recomienda homogenizar las muestras para garantizar una mayor precisión y exactitud en los resultados
- Realizar la mayor cantidad de disparos posibles a cada muestra pues a mayor densidad de datos mayor será la precisión que se obtendrá en el ensayo.

**4) ESPECTRO**

Para analizar el espectro se deben utilizar las siguientes recomendaciones:

- Revisar los intervalos de energía de excitación para cada elemento (Tabla 1) con el fin de localizar el elemento de interés con mayor facilidad en el espectro
- El máximo valor de energía en KeV que puede utilizar el equipo XRF Analyzer Vanta Series C para excitar un elemento es de 40 KeV por lo cual los elementos que requieran de una mayor energía, no se mostrarán en el espectro
- Los elementos que se encuentran cuantificados en el "Haz 1" o "Beam 1" el cual tiene una energía de excitación de 40 KeV son los siguientes: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd Sn, Sb, Te, Ba, Ta, W, Au, Hg, Pb, Bi, Th, U, LE.
- Los elementos que se encuentran cuantificados en el "Haz 2" o "Beam 2" el cual tiene una energía de excitación de 10 KeV son los siguientes: Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Mn, K.
- El mayor grado de confiabilidad para determinar la presencia de un elemento en determinada muestra u objetivo de ensayo, se encuentra asociado con los "picos" o "crestas" de la gráfica. Los elementos que se encuentren ubicados en los "picos" - o lo más cercano posible a estos- de la curva correspondiente al haz en el cual se cuantifican, se encontrarán presentes en la muestra o en el objetivo de ensayo (Ilustración 7); los que se encuentren desfasados y que se alejen en gran medida de las "crestas" pueden no estar presentes en la muestra o en el objetivo de ensayo (Ilustración 8).

Anexos 7. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M. Fuente: Propia

 <b>COLLECTIVE</b> MINING	MACROPROCESO: Exploración	PROCESO: Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022

## 2. DESCRIPCIÓN

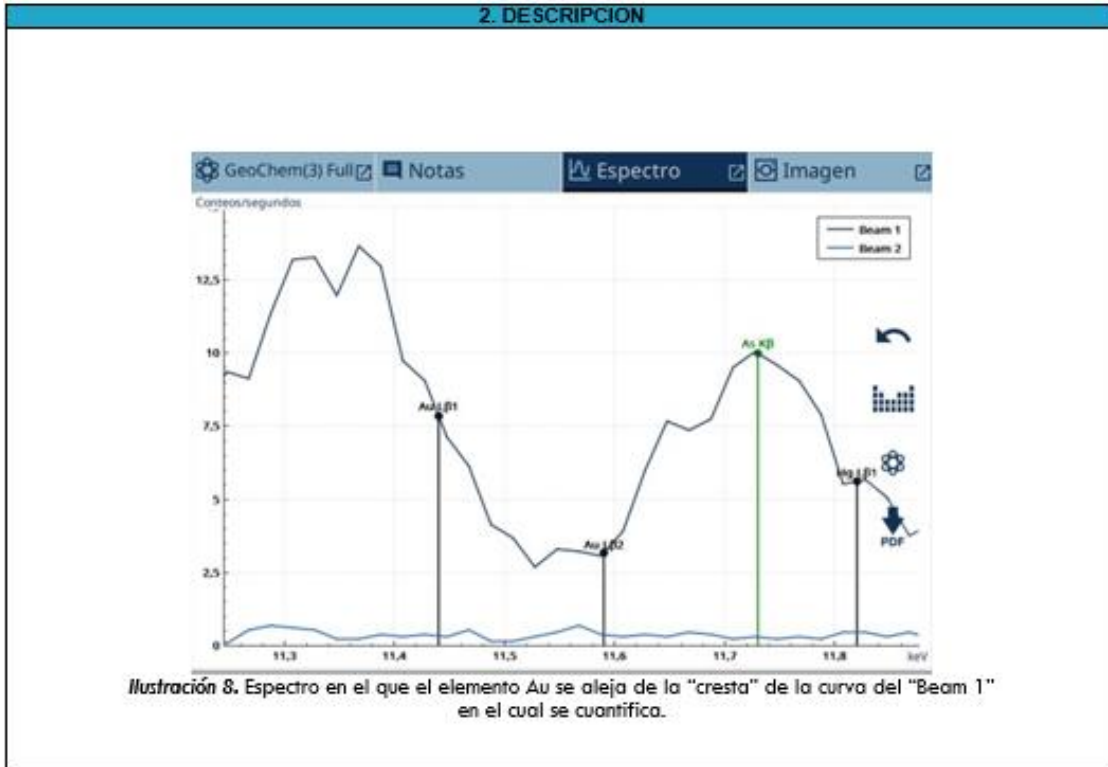
Elemento	Salto de energía			
	K $\alpha$	K $\beta$	L $\alpha$	L $\beta$
Cu	8.04	8.9	0.93	0.9
Au	68.2	77.98	9.63	11.5
Ag	22.11	24.94	2.98	3.3
Mo	17.44	19.61	2.29	2.5
Zn	8.63	9.57	1.01	1.0
K	3.31	3.5	-----	-----
Al	1.49	1.56	-----	-----
As	10.53	11.73	1.28	1.3
Fe	6.4	7.06	0.7	0.7
Ni	7.47	8.27	0.85	0.8
Ca	3.69	4.01	0.34	0.3
Ba	32.07	36.38	4.47	5.1
Cd	23.11	26.1	3.13	3.5
Cl	2.62	2.82	-----	-----
Mg	1.25	1.3	-----	-----
Mn	5.9	6.49	0.64	0.6
Pb	74.25	84.94	10.55	12.6
S	2.31	2.46	-----	-----
Si	1.74	1.84	-----	-----
W	58.87	67.24	8.4	9.6

**Tabla 1.** intervalos de energía de excitación para cada elemento.



**Ilustración 7.** Espectro en el que el elemento K se sitúa en la "cresta" de la curva del "Beam 2" en el cual se cuantifica.

 <b>COLLECTIVE</b> MINING	<b>MACROPROCESO:</b> Exploración	<b>PROCESO:</b> Exploración	Doc.: CM-EX-IN
<b>INSTRUCTIVO PARA CONFIGURACIÓN Y MANEJO DEL ANALIZADOR XRF VANTA SERIES M</b>			Rev. No.: 001 Última Actualización: abril de 2022



CONTROL CAMBIOS DEL PROCESO/PROCEDIMIENTO			
N <sup>o</sup> Versión	Fecha Versión (dd-mm-aaaa)	Descripción del Cambio	Responsables
1	04-09-2022	Creación de documento	Elaboró Nombre: <del>Joier Javier Guazá Velasco</del> Cargo: Practicante de <del>geología</del>
			Modificó Nombre: Cargo:
			Aprobó Nombre: Cargo:

Anexos 9. Instructivo para configuración del analizador XRF VANTA SERIES M

- **Plantilla para litología:**



Litología.xlsx

Anexos 10. Plantilla para litología

- **Plantilla para alteración:**



Alteración.xlsx

Anexos 11. Plantilla para Alteración

- **Plantilla para Mineralización:**



Mineralización.xlsx

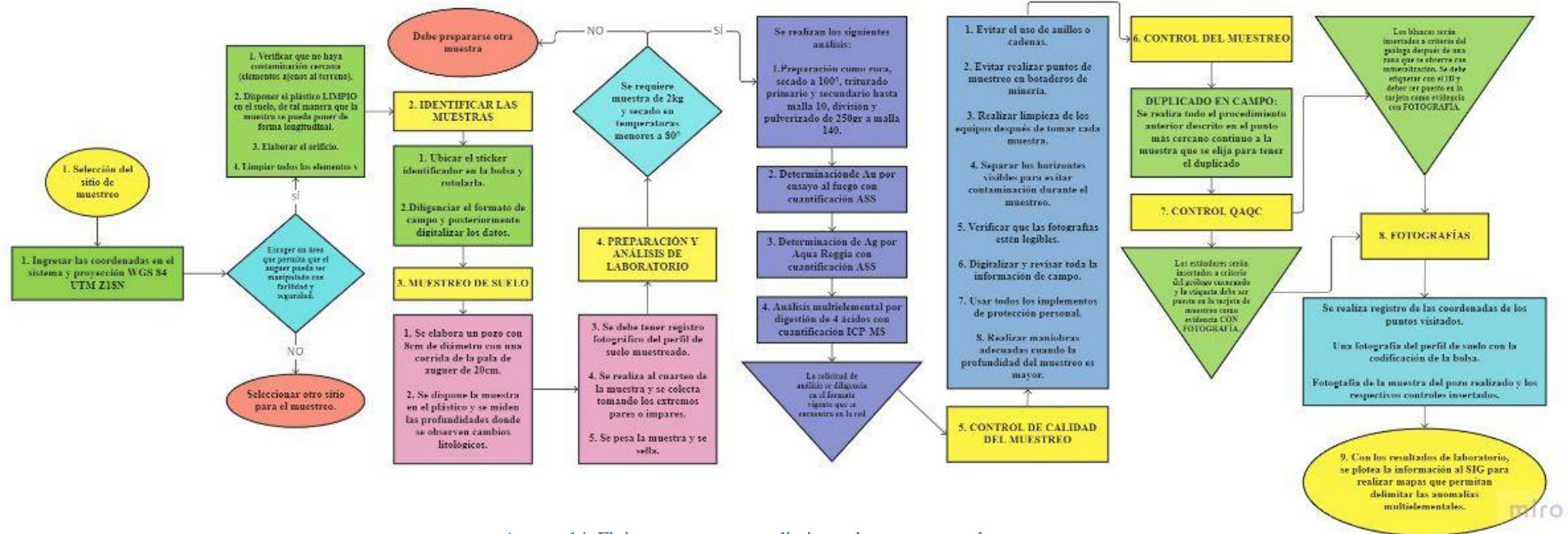
Anexos 12. Plantilla para Mineralización

- **Plantilla para Estructuras:**

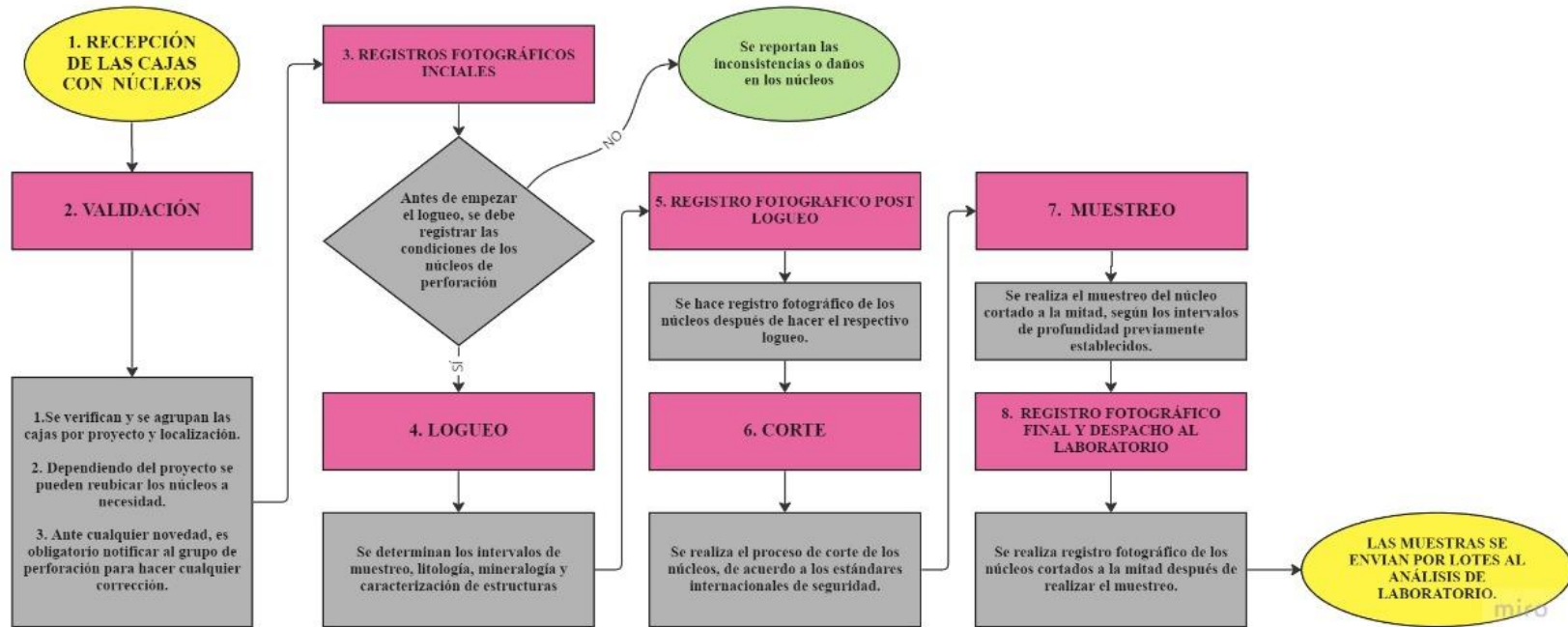


Estructuras.xlsx

Anexos 13. Plantilla para Estructuras.



Anexos 14. Flujograma para procedimiento de muestreo suelos



Anexos 15. Flujograma para procedimiento de logueo