Caracterización geológica del área de reserva especial (en intención) en el sector Mina Pepo en el municipio de Santa Rosa Sur, Bolívar

María Del Pilar Correa Banda y Juan Sebastián Mateus Medina

Trabajo de grado para optar el título de Geólogo(a)

Director

William Mantilla Orduz

Doctor en Geoquímica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Dedico esta tesis a a mis padres y a mi hermano, pues sin su apoyo incondicional no hubiese sido capaz de culminar esta etapa. Doy gracias también a aquellas personas que me impulsaron a lograr esta meta.

María Del Pilar

Dedicatoria

Agradezco primeramente a dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, a mis padres por su apoyo y amor incondicional y por siempre ser una fuente de inspiración. A mis amigos más cercanos por estar siempre ahí apoyandome cada día. Mil gracias

Juan Sebastián

Agradecimientos

En primer lugar queremos agradecer al profesor william mantilla orduz, quien con sus conocimientos y apoyo nos guió a través de cada una de las etapas de este proyecto.

También queremos agradecer a la comunidad minera de mina pepo, en el municipio de santa rosa del sur por brindarnos todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Asi mismo a la universidad industrial de santander, especialmente la escuela de geologia, por permitirnos desarrollar exitosamente el plan de trabajo.

Por último, queremos agradecer a todos nuestros compañeros y familia, por apoyarnos aun cuando nuestros ánimos decaían. En especial, queremos hacer mención de nuestros padres, que siempre estuvieron ahí para darnos palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

Muchas gracias a todos.

Contenido

Pág.

Introducción 14

1. Objetivos 17

2. Marco teórico y metodología 18

2.1 Marco teórico 18

2.1.1 Marco legal.....19

2.2 Metodología 22

2.2.1 Descripción de las fases de trabajo 22

3.Localización y descripción del área 24

3.1 Localización 24

3.2 Aspectos geográficos.....29

3.2.1 Fisiografía y clima.....29

3.2.2 Uso del suelo e infraestructura del área 29

3.2.3 Aspectos socioeconómicos.....31

3.3 Delimitación del área 33

3.4 Marco histórico 34

3.4.1 Operaciones mineras en el área.....34

4. Marco geológico.....35

4.1 Geología regional 35

4.2 Geología estructural 36

4.3 Geología general 39

4.3.1 Unidades litológicas 39

4.4 Mineralización y tipo de depósito 42

5. Resultados 49

5. 1 Geología de campo 49

5.2 Anomalías monoelementales 59

5.3 Anomalías multielementales 67

5.4 Alteración hidrotermal 72

5.6 Petrografía y mineralogía 77

5.7 Modelo geológico y metalogénico 95

6. Conclusiones 102

7. Recomendaciones 105

Referencias Bibliográficas 106

Apéndices 113

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Ubicación del área de intencion de reserva especial en el municipio de santa rosa, bolívar. (Inserto Localización en colombia y detalle caserío de mina pepo) 26

Figura 2 Aspecto general del caserío mina pepo. 28

Figura 3 Vía, canelos - mina pepo bajo régimen de lluvias. 28

Figura 4 Alinderación del área de estudio. 33

Figura 5 Patrones estructural de vetas mineralizadas presentes en diferentes frentes de mineros 37

Figura 6 Mapa estructural ealizado según las observaciones en campo 38

Figura 7 Equipo usado para la toma de datos de magnetometría (kt-10).....48

Figura 8 Zona de intenso intemperismo dentro del área de estudio 51

Figura 9 Mapa de índices de alteración química (cia). (método kriging) de fuente: mantilla o. W (2021, reporte interno mina pepo). 53

Figura 10 Estadística descriptiva para el índice de alteración química (cia) y box-plot.....54

Figura 11 Diagrama de álcali-sílice total (tas.....55

Figura 12 Mapa geoquímico de la relación tio2/zr. 57

Figura 13 Mapa geoquímico de la relación sc/al2o3.....58

Figura 14 Curvas acumulativas para algunas relaciones normalizadas (a y b), elementos individuales (c) y para el grupo de 16 elementos (d) 61

Figura 15 Curvas de analisis de anisotropia para Ag e In 62

Figura 16 Mapa geoquímico de la concentración de Au. Anomalías de oro sin normalizar en Al2O3. 63

Figura 17 Mapa geoquímico de la relación Au normalizado a Al_2O_3.....64

Figura 18 Mapa geoquímico de la concentración de Ag. Anomalías de oro sin normalizar en Al2O3 65

Figura 19 Mapa geoquímico de la relación Ag normalizado a Al_2O_3.....66

Figura 20 Mapa geoquímico de anomalías multielementales 70

Figura 21 Análisi de componentes 71

Figura 22 Sumas ponderadas calculadas para elementos alcalinos y sílice con factores de importancia relativa de 2sio2: 1k2o: 1rb: 1cs 73

Figura 23 Mapa de puntos de mediciones de susceptibilidad magnética en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos.....75

Figura 24 Mapa litogeoquímico 98

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Coordenadas del pólgono propuesto para el área de trabajo 34

Tabla 2 Características principales del área de influencia del proyecto mina pepo. 43

Tabla 3 Descripción de la muestra uno 78

Tabla 4 Descripción de la muestra dos 81

Tabla 5 Descripción de la muestra tres 84

Tabla 6 Descripción de la muestra cuatro 87

Tabla 7 Descipción de la muestra cinco 88

Tabla 8 Descripción de la muestra seis 90

Tabla 9 Descripcioón de la muestra siete 92

Lista de Apéndices

Pág.

Apéndice A. Recibo 1 de envío de muestras a exploración geoquímica....113

Apéndice B. Confirmación de solicitud de análisis geoquímico....115

Apéndice C. Mapa de anomalía magnéticas....116

Apéndice D. Anomalías TiZr....117

Apéndice E. Anomalías Au....118

Apéndice F. Anomalías Ag....118

Apéndice G. Mapa relación ScAlO3....120

Apéndice H. Análisis de SiO2K2ArBCs....121

Apéndice I. Índice químico de alteración....122

Apéndice J. Unidades litogeeoquímicas....123

Apéndice K. Geología estructural de la zona....124

Apéndice L. Interpolación método Kriging....125

Resumen

Titulo: Caracterización geológica del área de reserva especial (en intención) en el sector Mina Pepo en el municipio de Santa Rosa Sur, Bolívar*

Autores: María del Pilar Correa Banda y Juan Sebastián Mateus Medina**

Palabras clave: Brecha Hidrotermal, Exploración Mineral, *Stockwork*, Magnetometría, Geoquímica.

Descripción: El municipio de santa rosa, ubicado en el departamento de bolívar se ha caracterizado históricamente por la actividad minera que se desarrolla allí desde la época de la colonia española; esta actividad durante casi toda la historia ha estado a cargo de las familias que habitan las diferentes veredas del municipio, quienes de manera empírica han transmitido el conocimiento sobre la explotación de oro de generación a generación. En la actualidad, un grupo de mineros artesanales agrupados en la asociación de mineros artesanales de santa rosa (asomipepo), buscan desarrollar un proyecto minero sostenible en la vereda pepo (proyecto mina pepo). Esta zona, presenta mineralización perteneciente a un sistema magmático-hidrotermal, de tipo halógeno rico en boro, donde las diferentes estructuras brechadas han sido rellenas por soluciones mineralizantes, además de favorecer la circulación y deposición de la mineralización.

En busca de tecnificar el conocimiento acerca del proyecto minero a desarrollar, se realiza este estudio donde se mostrará la geología que presenta el área, litología, geología estructural básica, caracterización composicional de las rocas, cartografía de la zona, estudio de la mineralización que presenta y en base a esto, dar de manera general un primer diagnóstico acerca de la viabilidad del proyecto.

Todo esto se realizó mediante una exploración en trabajo de campo, la caracterización mineralógica y composicional (fases minerales también) se basó en un análisis de laboratorio por el método de ensayo al fuego, ICP-OES y complementada con un estudio de magnetometría realizado en campo.

---

* Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Geología, Director del proyecto: William Mantilla Orduz, Doctor en Geoquímica.

Abstract

Title: Geological characterization of the area of special reserve, in intention (are). In Pepo, rural zone of Santa Rosa, Bolivar. *

Authors: María Del Pilar Correa Banda - Juan Sebastián Mateus Medina **

Key words: Hydrothermal Breccia, Mineral Exploration, Stockwork, Magnetometry, Geochemistry.

Description: The municipality of Santa rosa, located in the department of bolivar, has historically been characterized by the mining activity that is developed there since the time of the Spanish colony; for almost all of history, this activity has been carried out by the families that inhabit the different paths of the municipality, who have empirically transmitted knowledge about the exploitation of gold from generation to generation. Currently, a group of artisanal miners grouped in the Santa rosa association of artisanal miners (asomipepo), are seeking to develop a mining project in vereda pepo (sector mina pepo project). This area has mineralization belonging to a magmatic-hydrothermal system, of the halogen type, where the different brecciated structures have been filled with mineralizing solutions, in addition to favoring the circulation and deposition of mineralization.

In search of Technic knowledge about the mining project to be developed, this study is carried out where the geology presented by the area, lithology, structural geology, compositional characterization of the rocks, cartography of the area, study of the mineralization presented and will be shown. Based on this, give a general diagnosis on the viability of the project.

All of this was carried out by means of an exploration in field work, the mineralogical and compositional characterization (mineral phases also) was based on a laboratory analysis by the fire test method and complemented with a magnetometry study carried out in the field.

---

* Degree Work

** Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School, Project Director: William Mantilla Orduz, Doctor of Geological Sciences. (Geochemistry).

Introducción

La exploración y explotación de recursos minerales ha sido una de las labores que se ha realizado desde el inicio de la civilización -hace muchos siglos-, desde la época de los indígenas, pasando por la colonia, donde utilizando factores como el clima, el suelo, los ríos y quebradas, eran capaces de encontrar recursos minerales de manera rudimentaria; hasta llegar a la actualidad, donde el afán de ubicar los diferentes minerales ha logrado favorecer el desarrollo y avance del conocimiento científico en diferentes lugares del mundo. Un ejemplo de esto es la explotación de oro y plata en el distrito minero de santa rosa en el departamento de bolívar, donde según la reseña que se encuentra en la biblioteca virtual del banco de la república, esta actividad viene desarrollándose desde aproximadamente el año 1550, con el descubrimiento de las vetas de oro y plata en esta zona.

En el área de santa rosa, con el avance del distrito minero, se han desarrollado desde mitad del siglo pasado, diferentes estudios realizados por diferentes entidades, como lo son las diferentes empresas privadas interesadas en desarrollar proyectos en la zona y los diferentes estudios realizados para Ingeominas, que han logrado recopilar una gran cantidad de información técnica y científica, aunque mucha de esta información es parcializada y enfocada a cada proyecto a realizar, permiten tener un amplio conocimiento sobre las características del yacimiento.

La importancia de desarrollar estos estudios radica en que un entendimiento correcto de las características que presenta un determinado yacimiento: geomorfología, litología, geología estructural, entre otras, permiten reconocer las diferencias en las mineralizaciones que se pueden presentar en un depósito.

Según el artículo 31 de la ley 685 de 2001, un área de reserva especial (are)[1], es un área declarada por la agencia nacional minera (anm), en favor de una comunidad cuya actividad principal es la minería, en un área que se encuentre libre y donde existan explotaciones tradicionales mineras. Como parte del proceso de obtención de un are, se encuentra la elaboración de un plan de obra y trabajo (pto), en el cual los representantes del proyecto minero exponen toda la información geológica, técnica y económica del proyecto.[2]

En el presente trabajo de grado se busca realizar un acompañamiento técnico a un grupo de mineros artesanales que buscan elaborar un documento preliminar al pto correspondiente al proyecto minero con intención de convertir el área de mineralización ubicada en el sector de mina pepo, en el sur de bolívar en un área de reserva especial. Para ello, se realizó un trabajo de campo donde se recolectarán muestras e información para posteriormente realizar la caracterización, que incluyó cartografía general, estudios geofísicos de orientación mediante magnetometría, así como análisis geoquímicos, se planteó la realización de ensayos calcográficos pero dadas las circunstancias de la pandemia Covid sars 19, no se pudieron llevar a cabo con el fin de aportar al conocimiento que se tiene de la zona.

Cabe resaltar que este no es un estudio geológico final, pues el nivel de conocimiento que requiere un desarrollo minero y las disposiciones de la ANM para este tipo de legalización de minería artesanal (que es el fin con el cuál fue contratada la empresa)

[1] [1] AGENCIA NACIONAL MINERA (ANM), Vicepresidencia de Promoción y Fomento. Minería Bien Hecha Estamos Haciendo Historia 2018. Recuperado en Abril de 2021. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/presentacion_ares_para_comunidad_minera

[2] GENCIA NACIONAL DE MINERIA (ANM).Resolución VPPF No. 146 22 Junio de 2018.Recuperado en Abril de 2021. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/aa_resolucion_146_2018_declaracion_are_california_angostura_santander.pdf

demanda mayor detalle, de tal forma que solo se busca dar una idea inicial del modelo geológicos y rasgos geológicos, estructurales y minerales para la planeación de la etapa subsiguiente de este prospectivo proyecto minero, la continuidad de este depende de aspectos potenciales, legales y financieros, es decir se cumple con dos objetivos básicos i) proveer a los mineros de una información geológica básica de valor técnico y al fomento de la participación de profesionales de la geología en proceso de formación de adquirir experiencia práctica para su futura vinculación a procesos de desarrollo mineros locales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar una caracterización geológica del área de reserva especial (en intención) en el sector mina pepo en el municipio de santa rosa del sur, en el departamento de bolívar, a través de los estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos y análisis de laboratorio correspondientes.

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio a partir de la recolección de muestras de mano y su análisis mineralógico de rutina.

Determinar las generalidades de la mineralización a partir de estudios magnetométricos

Desarrollar un análisis, evaluación y valoración de todas las variables geológicas identificadas, gestionando una guía de referencia que contenga la información obtenida, con el fin de generar un marco de reseña y conocimiento para las partes interesadas de la zona, sobre el área de reserva estudiada.

2. Marco teórico y metodología

2.1 Marco teórico

Un área de reserva especial (are), es un área declarada por la agencia nacional minera (anm), a nombre de una comunidad, en una zona donde se compruebe que existan explotaciones tradicionales de minería, cuya condición primordial es, que la comunidad posea historial del ejercicio de dicha actividad, según la ley 685 del 2001; entendiendo como explotación tradicional, aquella actividad minera realizada con antelación a la vigencia de la ley mencionada, además de que se constituya en la principal fuente de ingresos de dicha comunidad.

Como parte del trámite para la obtención de un are, la comunidad minera está obligada a realizar estudios, trabajos y obras (fase de exploración) que permitan establecer y determinar la existencia y ubicación del mineral o minerales, geometría y características del depósito, la viabilidad de extraerlos y el impacto sobre el medio ambiente; los resultados de estos estudios de exploración, deben ser presentados en un documento llamado plan de trabajos y obras (pto) ante la autoridad concedente, esto según los artículos 78 y 84 de la ley 685 del 2001.

Una exploración geológica de superficie comprende aquellas actividades (cartográficas, geomorfológicas, geofísicas, etc.) Que se realizan con el fin de caracterizar la sustancia mineral que se encuentra en el área y que permitan posteriormente establecer zonas potenciales geológicas-mineras. Según la anm esta fase debe contener:

Revisión bibliográfica: recopilación de la información relacionada sobre la geología local y regional del área. Cartografía geológica: descripción y caracterización de las unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas y aspectos relevantes del yacimiento.

Excavación de trincheras o apiques o reconocimiento de afloramientos: se realizan con el fin de verificar la información de superficie además de controlar la continuidad lateral y vertical de las diferentes estructuras.

Análisis geoquímico: se debe realizar un muestreo sistemático en aquellas áreas potenciales para determinar el contenido mineral mediante los análisis de laboratorios respectivos (ensaye al fuego, sección delgada). Aquellas anomalías que se encuentren deben ser interpretadas con base a la información geológica que se tiene.

Análisis geofísico: en algunos casos, realizar trabajos geofísicos locales permite ampliar el conocimiento que se tiene sobre la mineralización, estructuras, etc. Por lo que son muy útiles en la búsqueda de zonas con mayor concentración mineral.

2.1.1 Marco legal

El estado colombiano, en la búsqueda de la mitigación de los impactos ambientales provocados por el desarrollo de las actividades mineras, especialmente aquellas que no cumplen los requerimientos que rigen en el sector, ha venido adoptando un marco regulatorio con el objetivo de cumplir las normas nacionales e internacionales diseñadas para reducir o eliminar el uso del mercurio en la actividad industrial minera. En este contexto se expide la ley 1658 del 15 de julio de 2013, en la que se establecieron disposiciones relacionadas a la comercialización y uso de mercurio en distintas actividades industriales, principalmente en el proceso desarrollado en los beneficios del oro,

La normativa establece cinco años, para lograr alcanzar su objetivo, el que a la vez podrá lograrse por medio de la implementación de tecnologías limpias para la obtención del oro, de manera que se alcance mayor eficiencia en relación a los actuales procesos, para prescindir de la utilización de mercurio en los procesos de recuperación de metales preciosos.

Bajo la dirección del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, en diciembre del 2014 se realizó el lanzamiento del plan único nacional de mercurio, el que busca la eliminación gradual de su uso en el sector minero e industrial colombia.

Este plan, incluyó la participación del ministerio del ambiente y desarrollo sostenible; minas y energía; salud y protección social; trabajo; comercio, industria y turismo; relaciones exteriores; agricultura y desarrollo rural; transporte, y dos instituciones del sector de minas y energía: la agencia nacional minera y la unidad de planeación minero energética. El uso del mercurio, la tala indiscriminada para el desarrollo minero, y la contaminación de las fuentes hídricas son los tres principales problemas ambientales en santa rosa del sur. El despale también se ve afectado por la búsqueda de nuevas extensiones para el uso agrícola y la creación de potreros.

El ministerio de minas y energía y el servicio geológico colombiano, han trabajado de la mano para el diseño y concertación del plan estratégico sectorial que dirija a la industria minera a la explotación del recurso sin el uso del mercurio. El diagnóstico realizado por el ministerio de minas y energía sobre las unidades de beneficio aurífero han permitido identificar las principales debilidades relacionadas a la eliminación del mercurio, estas, principalmente implican una falta de conciencia sobre la problemática ambiental causada por el uso del mercurio, esto se debe a que las actividades mineras se realizan y se han ejecutado a través del tiempo con una escasa asistencia técnica, y de manera no planificada, situación que no permite preservar índices de productividad y sostenibilidad adecuados, lo que ha llevado a un grave deterioro ambiental en la zona, produciéndose impactos negativos directos sobre los recursos naturales, lo que también implica un riesgo directo para los operarios en

los beneficios y demás unidades productivas, y un riesgo indirecto para los ecosistemas vecinos, así como para las comunidades aledañas a la actividad minera.

La problemática ambiental presente en santa rosa del sur, bolívar, también presenta una dimensión de salud pública por el riesgo al que está expuesto gran parte de la población, ya que los vertimientos se mezclan con sustancias altamente contaminantes que son descargados en las fuentes hídricas que surten los acueductos de la zona (arias, 2020).

Otra de las razones de peso que ocasionan la problemática ambiental adversa en santa rosa del sur, bolívar y en las zonas aledañas a la mina pepo, es el desconocimiento de las alternativas tecnológicas de producción limpia para recuperar metales preciosos sin recurrir al uso de mercurio. Por otro lado, también existe un desconocimiento científico acerca de las condiciones de geoquímicas de los depósitos auríferos, así como también de las características geológicas, metal genéticas y, mineralógicas propias de cada distrito aurífero del país, incluyendo su asociación mineral, su paragénesis y la reactividad de los diferentes minerales asociados al proceso de beneficio.

La falta de una información adecuada limitada la generación de una metodología de beneficio eficiente, situación que provoca menores ingresos a los mineros, y un mayor impacto ambiental. Por esa razón el estado y el ministerio de minas y energía promocionan el fomento de alternativas tecnológicas de producción limpia, especialmente en los beneficios de oro, lo que requiere de un conocimiento especializado que logre sears transmitido de manera efectiva a los encargados de la gestión de los beneficios, procurando la mitigación del impacto ambiental asociado a las actividades mineras en la zona de estudio.

Por otro lado, el municipio de santa rosa del sur enfrenta una problemática ambiental particular que sumado a las problemáticas ambientales de alcance más genérico han llevado a la localidad a un riesgo sanitario relacionado al traslado del basurero a cielo abierto que se ubica cercano a un área urbana poblada, generándose una afectación a unas 200 familias aproximadamente.

2.2 Metodología

Para la realización de los objetivos que se plantearon anteriormente, se seguirá una metodología correspondiente a 5 fases:

- Fase 1: recopilación y organización de información bibliográfica.
- Fase 2: recolección de datos e información mediante trabajo de campo.
- Fase 3: interpretación preliminar de datos y envío de muestras a laboratorio.
- Fase 4: análisis, evaluación y valoración de todas las variables geológicas identificadas mediante la información obtenida del laboratorio e interpretación confrontada con la geología caracterizada.
- Fase 5: desarrollo de una guía referencial que contenga el informe con los resultados obtenidos durante el proyecto.

2.2.1 Descripción de las fases de trabajo

Fase 1. Recopilación y organización de información bibliográfica:

En esta fase se realizará recopilación de toda la información geológica de estudios anteriores realizados en la zona objetivo, donde se registren descripciones litoestratigráficas, estructurales, geomorfológicas de la zona, además se pretenderá hacer un compilado de publicaciones, registros, información morfológica y morfométrica, mapas geológicos del

servicio geológico, cartografía base del igac, imágenes satelitales y modelos digitales del terreno. A partir de lo anterior, se definirá como realizar el trabajo de campo y se establecieran las zonas potencialmente interesantes en cuanto a recurso mineral.

Fase 2. Recolección de datos e información mediante trabajo de campo:

En esta fase se realizarán diferentes campañas de campo, en las cuáles se realizará:

- Recorrido del área de estudio
- Identificación de las características geológicas del yacimiento (litoestratigrafía estructuras geológicas presentes, geomorfología de la zona, entre otras), estableciendo la cartografía geológica solicitada por la normatividad
- Ejecución de procedimientos de muestreo mediante la excavación: llevando a cabo la toma de muestras (muestra de roca, muestreo de suelo y sedimentos activos de las quebradas presentes),con el fin de realizarle los estudios geoquímicos correspondientes en el laboratorio y así poder establecer la información veraz de las diferentes estructuras
- Recolección de datos geofísicos, en este caso, con la aplicación de magnetometría, para establecer las características del yacimiento.

Fase 3. Interpretación preliminar de datos y envío de muestras al laboratorio:

En esta etapa, se interpretarán los datos obtenidos en la ejecución del trabajo de campo a través de la realización de los siguientes análisis de laboratorio:

- Análisis de fluorescencia de rayos x (frx)
- Difracción de rayos x (drx) de polvo
- Análisis geoquímico de elementos múltiples

Lo anterior con el fin de realizar una caracterización de las unidades presentes en la

zona, las estructuras que rigen el área y en general la geología de la are (en intención). Con la caracterización realizada, se elaborará un mapa a escala adecuada, que representará gráficamente la información acotada.

Fase 4. Análisis de la información obtenida en el laboratorio e interpretación geológica:

Una vez aplicados los análisis geofísicos correspondientes y obtener los resultados de los estudios geoquímicos de las muestras enviadas al laboratorio, se establecerá un estudio comparativo donde se relacionen también las deducciones de los análisis mineralógicos realizados a partir de las secciones pulidas que se puedan hacer de las muestras extraídas, con ello el objetivo es proceder a gestionar una guía referencial que contenga todos los datos relevantes del yacimiento, como base de plan de trabajo y obras del proyecto.

Fase 5. Elaboración y entrega de informe con los resultados obtenidos durante el proyecto:

Por medio de un informe escrito, los artículos científicos que se puedan redactar, y una sustentación, se compartirá con la comunidad geológica los resultados obtenidos durante el proyecto.

3. Localización y descripción del área

3.1 Localización

El área de interés para la comunidad minera de mina pepo se localiza en el extremo más septentrional de la cordillera central de Colombia, al centro noroeste de la serranía de san Lucas, en el departamento de bolívar.

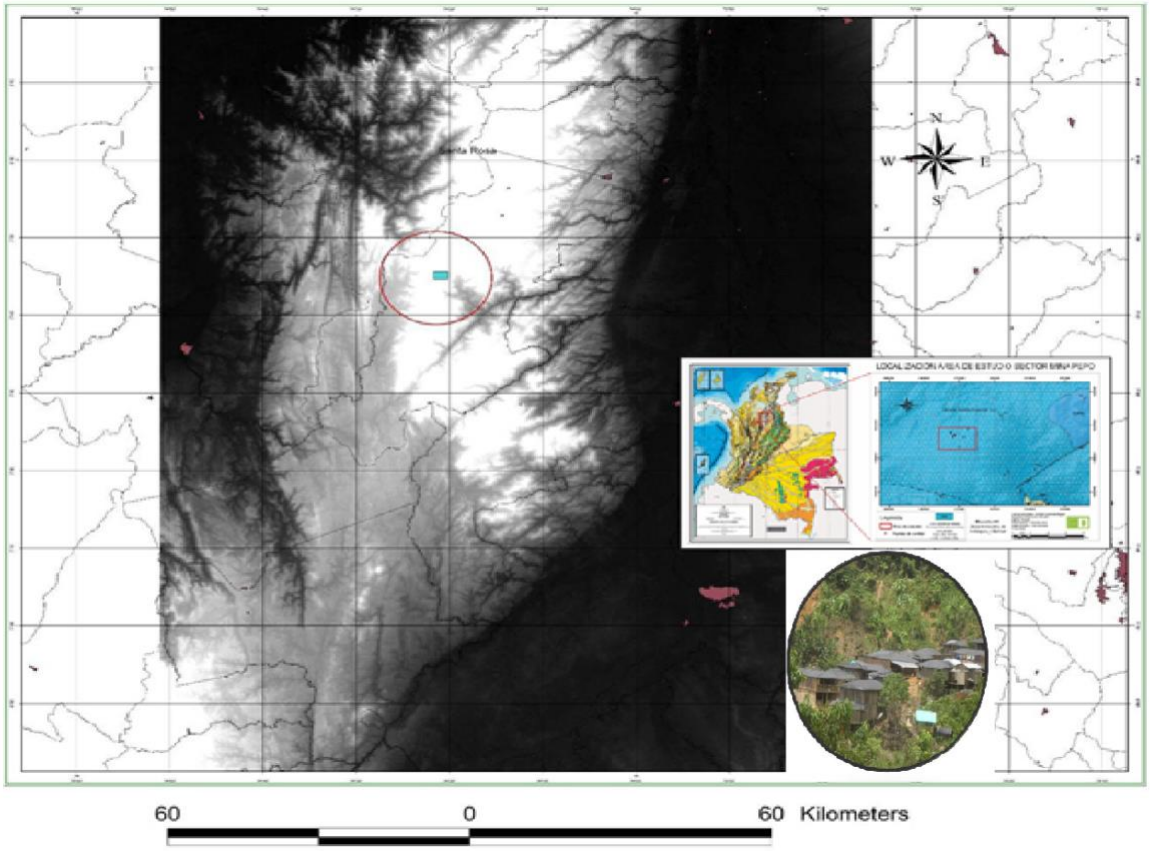
El área se localiza dentro de la jurisdicción municipal de santa rosa del sur de bolívar. Otras poblaciones de relevancia en el sur de bolívar que se pueden mencionar son los municipios: san pablo, simití, rio viejo, morales, tiquisio, Montecristo, san Martin de loba, barranco de loba, el peñón y altos del rosario.

El área específica de interés se localiza en el corregimiento de san juan de rio grande, vereda mina pepo, jurisdicción del municipio de santa rosa del sur, departamento de bolívar, Colombia, ver figura 1, en la parte central de la serranía de san Lucas, estribaciones finales de la cordillera central.

El proyecto sector mina pepo se encuentra ubicado en el municipio de santa rosa, en departamento de bolívar, a una distancia aproximada de 720 kms de Cartagena, la capital del departamento en dirección se, cuyos límites geográficos son: al norte con la depresión momposina y los municipios del departamento del magdalena (el banco); bolívar (mompox, san Fernando, margarita) y cesar (tamalameque). Al sur, con el nordeste antioqueño y el magdalena medio de Santander (puerto wilches) y al oeste con el sur del sucre (majagual, Guaranda) y noreste antioqueño (rey, 2008).

Figura 1

Ubicación del área de intención de reserva especial en el municipio de santa rosa, bolívar. (Inserto localización en Colombia y detalle caserío de mina pepo)



El área de estudio tiene una extensión aproximada de 410 has y se encuentra ubicada en el municipio de santa rosa del sur, en el departamento de bolívar, específicamente en el corregimiento de san juan de rio grande, vereda mina pepo, en la parte central de la serranía de san Lucas, estribaciones finales de la cordillera central.

Alinderación

El área de interés se localiza dentro de la plancha 95 del i.g.a.c. Como mineros tradicionales y en consecuencia con la disposiciones estatales, están dispuestos a cumplir con

establecido por la ley y lo que disponga la anm, y han de recibir con beneplácito el territorio minero que sea puesto bajo su responsabilidad dentro del dominio de mina pepo. Es de nuestro conocimiento que en algún momento fue concedido un título minero dentro de este dominio territorial, del cual los mineros poseen tradición y escritura de posesión legal.

Vías de acceso

La principal vía de acceso al área es la navegación fluvial, mediante el uso de chalupa y canoas, a través el rio grande de la magdalena con su brazo navegable de quitasol (loba) y su brazuelo el rosario. Estas vías fluviales constituyen el medio de transporte más importante del área, el cual genera la principal dinámica de la economía regional por su conexión hacia poblaciones como san pablo y simití dentro del área directa de influencia, y al norte con el banco, mompox y mejengue, y el centro del país y la costa caribe colombiana.

El desarrollo de carreteables de tercer orden y cuarto orden, especialmente para tráfico de vehículos de doble tracción, que une poblaciones como canelos, desde donde parten trochas de acceso que comunican con caseríos como mina pepo, mina azul, mina calva, el peñón del golfo entre otros y asentamientos veredales de colonizadores agro-pastoriles del área.

Para acceder a la zona de actividad minera, se parte desde el municipio de santa rosa del sur, por vía destapada en regular estado, hasta el casco urbano del corregimiento de los canelos y a partir de ahí y en una pésima vía destapada, en un trayecto aproximado de 48 km se encuentra el asentamiento minero conocido como mina pepo. Ver figuras 2 y 3.

Figura 2

Aspecto general del caserío mina pepo. Fuente: Mantilla O. W (2019), reporte interno mina pepo.

Figura 3

Vía, canelos - mina pepo bajo régimen de lluvias. Fuente: Mantilla O. W (2019), reporte interno mina Pepo

3.2 Aspectos geográficos

3.2.1 Fisiografía y clima

Esta sección norte la conforman dos subregiones fisiográficas bien definidas. De una parte un promontorio montañoso central de alturas bajas y moderadas, la serranía de san Lucas que corresponde al extremo más septentrional de la cordillera central y, por otro parte los valles de los ríos cauca (al oeste) y magdalena (al este). La serranía de san Lucas presenta alturas máximas del orden de los 2200 msnm en el sector de la teta de san Lucas (mina vieja). Los valles del magdalena y del cauca constituyen la zona llana y cenagosa dominante en donde predominan alturas del orden de los 50 m.s.n.m y solamente una mínima parte la constituyen pequeñas colinas que no sobrepasan los 100 a 150 m.s.n.m.

Las condiciones climáticas son cálidas y húmedas con temperaturas que oscilan entre los 32ºc y 40 ºc. Y una precipitación media anual del orden de 1500 a 2500 mm de distribución bimodal, en donde los meses de mayor precipitación son abril-mayo y octubre-noviembre.

3.2.2 Uso del suelo e infraestructura del área

Las actividades económicas del municipio corresponden principalmente al sector primario de la economía, siendo sobresalientes, la agricultura y la ganadería y la minería; la diversidad de climas, suelos y grados de desarrollo económico, han hecho posible que exista diversidad de cultivos y una heterogeneidad en los sistemas de producción siendo la resultante de utilizar creativamente técnicas ancestrales, los principales productos de la agricultura son el fríjol, cacao, yuca, plátano, caña panelera, y maíz.

El comercio de la producción agrícola, pecuaria y minera del municipio, es realizado por particulares, que llevan los productos al mercado de Bucaramanga y otras ciudades del país. El corregimiento de san pedro, es el principal asentamiento minero del sur de bolívar.

Santa rosa del sur se encuentra ubicado al sur del departamento de bolívar, insertado en las estribaciones de la cordillera central, en el corazón de la serranía de san lucas, es por esta razón que cuenta con una gran riqueza ecológica, el 10% de su territorio es recorrido por diferentes fuentes hídricas. El deterioro de los recursos naturales de la región es una de las principales problemáticas a afrontar, esto dado por la sedimentación y contaminación que aportan las explotaciones mineras, la tala de bosque y la práctica de una economía extractiva sin control (silva hernández & navas poveda, 2020).

Según las estimaciones poblacionales del dane para el año 2019 el total de la población del municipio de santa rosa del sur es de 46.017, divida en 26.627 en la cabecera y 19.390 en su área rural.

Las minas y plantas de beneficio se ubican principalmente en el distrito minero de santa rosa del sur, específicamente en las veredas santo domingo (arenal), y mina gallo (morales).

Este municipio se ha convertido en el principal espacio generador de desarrollo minero, agrícola, ganadero y comercial, para lo cual se vale de alianzas estratégicas implementadas con los municipios vecinos; lo que le ha permitido ser un foco de atención para la gestión de importantes proyectos a nivel departamental y nacional en distintas dimensiones socio económicas, esto, a partir de su gran dinamismo en el departamento bolívar.

3.2.3 Aspectos socioeconómicos

Población.

Las comunidades mineras están conformadas por habitantes de varias regiones del país, predominando de los departamentos de Santander, Boyacá, Antioquia, bolívar, sucre, córdoba, y cesar.

Estos habitantes se han radicado en el área, atraídos por el descubrimiento de un sin número de filones auríferos. El objetivo de su establecimiento es desarrollar la exploración y explotación de las minas de oro como fuente de desarrollo socio-económico sostenible.

Aspecto social y organizativo.

En estos asentamientos mineros, los habitantes han diseñado viviendas en madera, para su residencia. La comunidad se ha organizado para solucionar una de las necesidades insatisfechas, como es el suministro de agua, que hacen a través de mangueras, desde el nacimiento de los caños o quebradas. También se han organizado, para realizar el mantenimiento de los caminos de herraduras y para promover la creación de asociaciones mineras tendientes a legalizar las explotaciones de oro.

Las principales fuentes de la economía regional son la minería, la agricultura, la ganadería y la pesca. Se habla del ecoturismo, como un área de la economía.

La base de la economía es la producción y comercialización de oro. El metal obtenido aun por una operación unitaria llevada a cabo en todo el sur de bolívar la molienda-amalgamación y posterior cianuración de las colas de esta operación. Hoy día los mineros ven como una excelente opción el uso de concentradores tanto por lo ambiental como por lo económico y lo que representa para salud y seguridad de los mineros. El oro obtenido es comercializado generalmente en santa rosa del sur, o se convierte en moneda de cambio para insumos y artículos de primera necesidad.

Aspecto educativo.

El nivel de escolaridad de la población adulta no sobrepasa el grado de cuarto o quinto de primaria. Existe una escuela que capacita hasta el 5ª de primaria los niños tienen la oportunidad de estudiar la primaria en la escuela de mina pepo.

Saneamiento básico.

La comunidad minera no cuentan con servicios públicos básicos, como el alcantarillado, energía eléctrica y acueducto. Los pequeños mineros han instalado pequeñas plantas eléctricas, como también han construidos pozos sépticos y drenajes de aguas servidas.

Salud.

No existe servicio médico ni odontológico. Ante esta situación se ha proliferado la actividad de vendedores ambulantes de medicina, que surten el mercado de acuerdo a las necesidades. Los medicamentos son dispuestos en las tiendas, para mayor comercialización.

Respecto al impacto social causado por la investigación que se da a esta zona, para la comunidad minera de mina pepo, el equipo de la asociación de mineros de mina pepo con el objeto principal de fomentar el desarrollo social, educativo y económico en el corregimiento, constantemente lleva a cabo actividades en pro del bienestar de la comunidad, recientemente realizó donaciones de útiles escolares, brinda apoyo económico en la conectividad de algunos hogares, y realiza, en la medida de sus posibilidades, acompañamientos educativos en las familias aledañas y aportes económicos para la compra de alimentos de la canasta familiar.

3.3 Delimitación del área

El área de estudio tiene un tamaño aproximado 410 has, como se observa en la figura 4, y se encuentra ubicada en el municipio de santa rosa del sur, en el departamento de bolívar, específicamente en el corregimiento de san juan de rio grande, vereda mina pepo, en la parte central de la serranía de san Lucas, estribaciones finales de la cordillera central.

Figura 4

Alinderación del área de estudio.

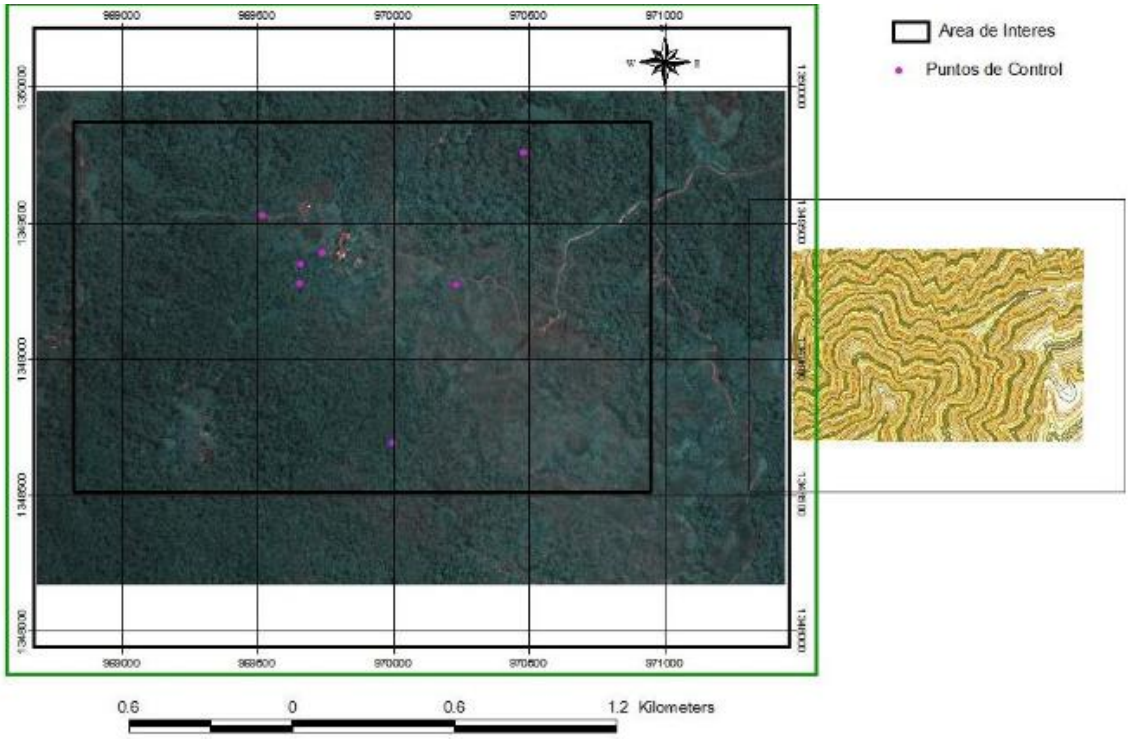


Tabla 1

Coordenadas de las esquinas del polígono propuesto para el área de trabajo

Punto	Coordenadas norte	Coordenadas este
1	1349800	968652
2	1349800	971057
3	1348098	968652
4	1348098	971057

Nota. La tabla muestra las coordenadas del polígono que corresponde al área trabajada

3.4 Marco histórico

3.4.1 Operaciones mineras en el área

El proceso realizado para obtener el recurso mineral se explica a continuación:

Arranque: esta labor se realiza de manera manual, utilizando pico y martillo neumático.

Cargue y transporte: esta parte del proceso se realiza con el uso de palas y carretas, si la distancia a transportar es considerable se transporta a lomo de mula el material.

Trituración: este proceso se realiza en 2 etapas:

- Primero se desarrolla de forma manual utilizando un mazo, cuando el material que se obtiene de la mina es más grueso que la trituradora.
- Posteriormente el material que ya es reducido es llevado a una trituradora estacionaria de mandíbula, para después ser llevado a la tolva que alimenta el molino.

Molienda: este proceso se realiza a través de un molino de bolas que corresponde a un cilindro que contiene bolas de acero cuya función es moler la carga por impacto, presión,

atrición y abrasión, una parte del oro se aglomera y se deposita en el molino, por lo que este material debe ser recuperado también cada cierto tiempo.

Deslodado: las colas resultantes del proceso anterior, son sometidas a un deslodado antes de pasar a la cianuración. Este proceso se realiza en tanques de aproximadamente 30 m^3, donde los sólidos suelen ser lavados para eliminar el ácido que se hubiera podido formar, se mezclan con cal y se depositan en el tanque, donde se encuentra circulando la solución de cianuro de sodio. El oro pasa a hacer parte de la solución como complejo de cianuro y posteriormente se recupera sobre virutas de zinc por cementación.

4. Marco geológico

4.1 Geología regional

Regionalmente, el proyecto mina pepo se ubica en la parte sur del bloque de san Lucas (bsl); el sector septentrional el bsl se encuentra constituido por un basamento metamórfico compuesto por rocas de alto grado (gneis, granulitas, migmatitas, cuarcitas) de edad pre-cámbrica (orogenia Greenville), intruído por cuerpos de composición granodiorítica a monzodiorítica de posible edad jurásica medio a superior (edad post-volcánica, debido a su carácter intrusivo en la unidad volcánica) y rocas volcano-sedimentarias, datadas en el jurásico medio.

El bsl se encuentra limitado al oriente por el sistema de fallas de morales-el banco, el cual tiene orientación ssw-nne, y movimiento normal en el jurásico-cretácico y reactivaciones posteriores de tipo inverso. Al occidente está limitado por el sistema de fallas de palestina, que tiene orientación ssw-nne y movimientos de tipo dextral; y al norte por la

terminación NE del sistema de fallas de palestina (sistema de fallas murrucucú, con orientación SW-NE y con movimiento de rumbo).

La interacción de estos sistemas de fallas originaron la configuración estructural observada actualmente en la serranía de san Lucas, donde se presentan fallas con orientación S-N, fallas SW-NE y fallas SE-NW; los dos últimos sistemas de fallas posteriores al primero de ellos.

4.2 Geología estructural

El sur de bolívar está ubicado estructuralmente entre el sistema de la falla palestina al oeste y el valle del río magdalena al este, cruzado por el principal sistema de fallas n20°-25°e, como principal control estructural de la gran mayoría de mineralizaciones ubicadas en la zona y el más reciente sistema n50°w, que corta los anteriores.

Como se mencionó inicialmente, la zona está ubicada entre un sistema de fallas n-s, falla palestina y estructuras tectónicas con rangos o dominios principales n15°-35°e y n45°-65°e, con manteos altos a moderados (90°-50°) hacia el este.

Los principales rangos de la tendencia estructural son similares indiferentemente a la litología que se tiene en la zona, lo que puede implicar que los eventos tectónicos que los originaron son posteriores a la formación y depositación de las principales unidades litológicas, que a su vez son las rocas encajantes de las mineralizaciones filonianas.

Por lo tanto se puede inferir que los procesos tectónicos que originaron estos rasgos estructurales, que corresponde a fracturas con componentes de tensión y de cizalla, estén espacial y temporalmente asociados a la generación de las estructuras vetiformes de la zona y fueron las fisuras por las cuales emigraron los fluidos mineralizantes durante la formación de estas últimas.

Aspectos estructurales locales

En el área se encuentran los sistemas de fallas asociados a la falla de palestina y la falla de la escuela, en general las fallas subordinadas a estos sistemas tienen rumbo N-S y NE-SW. Esta afecta cuerpo mineralizado en este sector presentando la misma dirección de la que afecta la mineralización del túnel principal (hoy anegada).

En zonas de cruces de las fallas NE-SW con estructuras n-s es frecuente encontrar rocas del granitoide de san Lucas, por lo que se plantea preliminarmente que las rocas de esta unidad fueron emplazadas y controladas durante el desarrollo estructural del bloque.

Figura 5

Patrones estructural de vetas mineralizadas presentes en diferentes frentes de mineros. No se incluyen estructuras NNW en este diagrama. Fuente: Mantilla O. W (2021), reporte interno mina pepo.

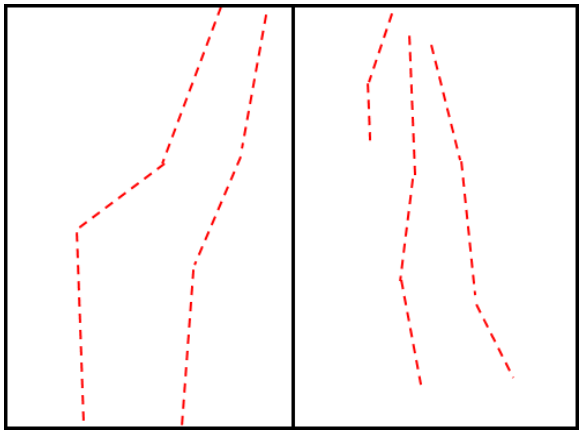
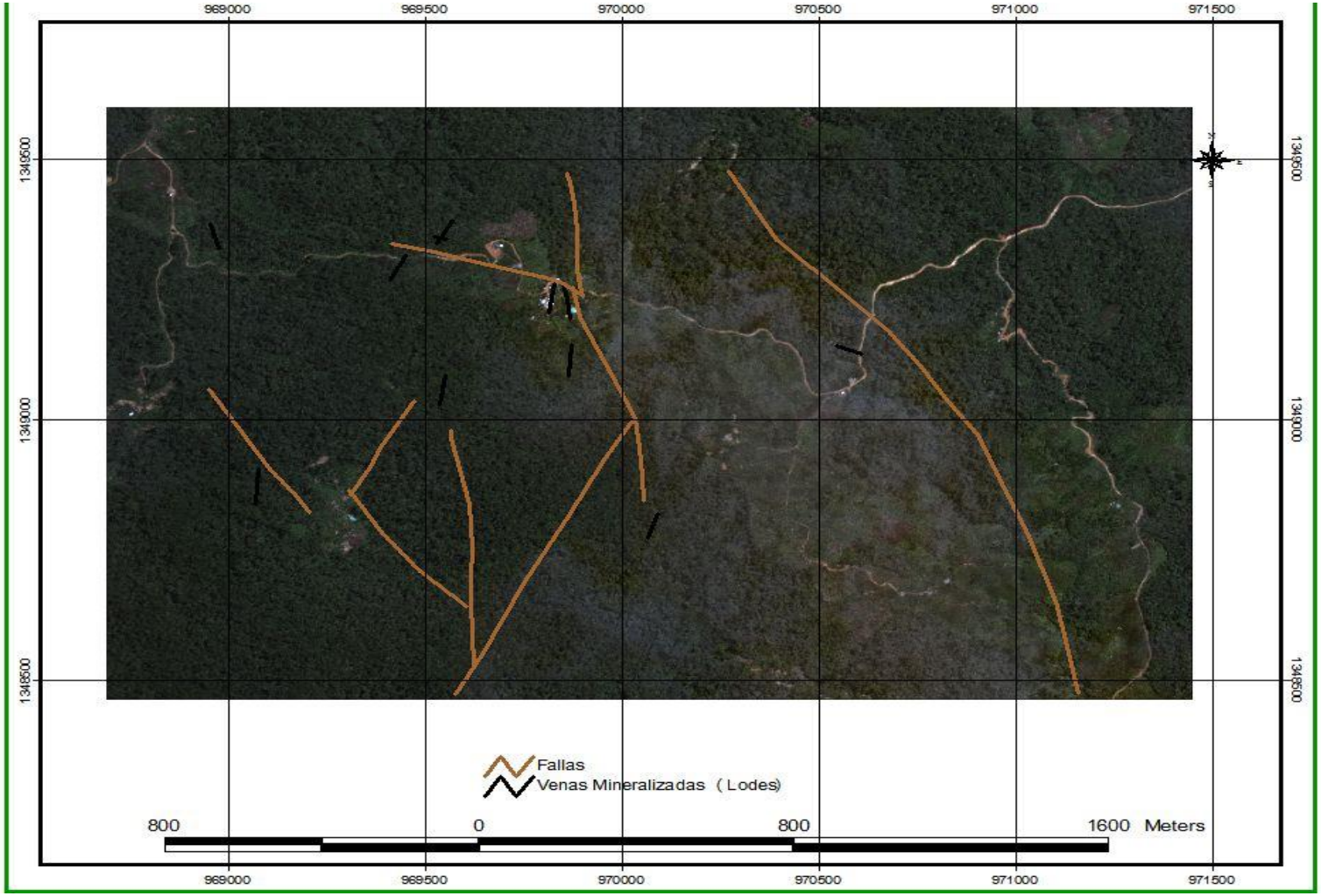


Figura 6

Mapa estructural general realizado mediante observaciones en el trabajo de campo..



4.3 Geología general

La unidad litológica dominante en el área de interés corresponde a un cuerpo ígneo de carácter cuarzodioritico, granodioritico y granodioritico biotítico con variaciones muy puntuales a cuarzomonzonita acompañada de intrusiones de diques. De manera discordante se encuentran depósitos coluvio-aluviales de edad cuaternaria; el desarrollo pedogenético es evidente debido a la fuerte meteorización existente en el área siendo característica la meteorización esferoidal como proceso denudativo en los cuales se identifican eventos tectónicos recientes.

4.3.1 Unidades litológicas

Gneis de san Lucas

Es un conjunto de rocas metamórficas de alto grado que hacen parte del basamento precámbrico en la serranía de san Lucas constituidas por migmatitas, gneises cuarzo-feldespáticos, gneises biotiticos y anfibolitas, recientemente se han encontrado paquetes de granulitas básicas retrógradas.

Estas rocas son el componente minoritario de las unidades litológicas que se tiene en la zona. Estas conforman el basamento de la serranía de san Lucas y la edad sugerida es precámbrica, confirmada por la edad obtenida por Ordoñez-Carmona et al (1999), de 894+/-36 ma. No afloran dentro del área de interés.

Formación noreán

Unidad de rocas volcano – sedimentarias conformada por ignimbritas y brechas volcánicas con líticos de fragmentos de chert, estructuralmente concordantes con rocas volcánicas entre lavas intermedias a ácidas, bombas y flujos de ceniza y lapilli. Los autores Bogotá & Aluja (1981) asignaron una edad jurásica media a superior para estas rocas, establecida a partir de las relaciones observadas en campo, donde la secuencia volcánica

cubre la secuencia sedimentaria del jurásico inferior y a la vez está cubierta discordantemente por rocas sedimentarias del cretáceo inferior. Unidad no aflora dentro del área de interés.

Batolito de norosí

Rocas intrusivas de composición intermedia variable entre granodioritas y cuarzodioritas, en la actualidad controversialmente se correlacionan con el batolito de Segovia. Dentro de este se diferencian el stocks de san Martin – la nigua y el stock quebrada providencia – la plata, el primero de composición granodioritica con variaciones locales a cuarzomonzonita y granito presentando alteración hidrotermal localmente y siendo atravesado por diques de composición básica y el segundo de composición granodioritica con variaciones a cuarzomonzonita y diorita.

4.3.2 Aspectos geológicos locales

Granodiorita (trtgd)

Esta roca está representada en área por rocas porfiríticas de grano fino a medio, al contacto la roca es más oscura, y no es porfirítica; en las secciones delgadas la roca es granodiorita porfirítica con fenocristales de oligoclasa en una matriz fina de cuarzo y micropertita. La edad de estas rocas es considerada del terciario inferior, con base en un análisis radiométrico en biotita realizado por g. Z. García y garcía (2011)

Cuarzodiorita (jrcg)

Se encuentran en el batolito de norosí, y son rocas que presentan la misma relación con las rocas volcánicas contemporáneas. En el mapa de Tischan se pueden encontrar con los nombres de cuarzomonzonita y granodiorita, granito leucocrático miarolítico, granito leucocrático de grano fino, batolito central y batolito bolívar. La cuarzomonzonita ocupa la mayor extensión en la superficie del área. Es una roca de color rosado, con grano medio a

grueso, y en cuanto a su edad se considera jurásica con base en dataciones radiométricas de 175-176 m.a .

Pórfido (trp)

Macroscópicamente el pórfido es de color gris verdoso a verde oscuro; su composición es andesítica, con fenocristales de epidota color verde claro y de plagioclasa, esporádicamente contiene fragmentos pequeños de rocas volcánicas afaníticas, la matriz es afanítica de color verde oscuro. Su edad es triásico superior o jurásico.

En la zona, los depósitos tipo pórfido (pórfidos auríferos y cobre-oro), se han originado por el emplazamiento de cuerpos intrusivos subvolcánicos. Son yacimientos de baja ley (0,5 a 2 gramos por tonelada) y alto tonelaje, el oro se encuentra asociado con estos sulfuros. Los filones pueden tener extensiones de varios kilómetros y se distribuyen según la disposición estructural de las rocas hospedantes. En el área de interés no se ha delimitado aun ningún cuerpo específicamente, dado que requiere mucho trabajo exploratorio pero si se observan localmente manifestaciones conspicuas.

Depósitos cuaternarios aluviales y coluviales

Depósitos coluvio-aluviales que conforman depósitos de ladera, pequeños valles, llanuras de inundación y depósitos coluviales localizados en las vertientes de la zona de estudio. En ellos se evidencia neo-tectónica y se identifican paleosuelos con algunos contenidos de materia orgánica.

4.4 Mineralización y tipo de depósito

El proceso de recopilación y análisis bibliográfico acerca del sistema geológico y metalogénico del "sur de bolívar", se concluye que las mineralizaciones auroargentíferas, bien sea como vetas o en forma diseminada, están encajadas sobre rocas metamórficas, intrusivas y volcano-sedimentarias anteriores a 135 m.a y se localizan en una amplia zona, que involucra gran parte de la serranía de san Lucas, en especial su costado oriental, desde el nordeste de Antioquia y hasta el sur del departamento de bolívar.

No se tiene referencia de que tales mineralizaciones aparezcan en las unidades sedimentarias del cretáceo y del cenozoico. Esto restringe y marca un rumbo en la exploración y prospección de tales yacimientos, indicando que la fuente y génesis está relacionada con un evento estructural e hidrotermal de orden regional.

Considerando la amplia extensión de las rocas volcánicas y la dimensión misma del batolito de norosí, así como la probable relación co-genética entre estas dos unidades, permite inferir que el evento ígneo del jurásico, dio origen a tales rocas, aportando en su fase tardía fluidos hidrotermales que finalmente se alojaron con un fuerte control estructural y formaron las vetas y depósitos diseminados asociados, los cuales constituyen el objeto de exploración y explotación minera.

Son conocidos en algunos sitios particulares la presencia de enrejados mineralizados tipo *stockworks* (santa rosa –sectores el golfo y mina azul- y montecristo-toribio-), vetas ramificadas, de espesor delgado y medianamente consistentes, buena parte de estos depósitos se formaron a niveles superiores a medios, lo cual junto a la mineralogía simple de cuarzo, pirita, galena, esfalerita y calcopirita, permiten sugerir que los mismos son yacimientos vetiformes hidrotermales epizonales y mesozonales, .

La formación de los depósitos hidrotermales depende de factores esenciales que contribuyan al desarrollo de estos, la disponibilidad de soluciones mineralizadoras, las cuales pueden tener origen magmático, metamórfico, meteórico, marino o de formación (connatas), la presencia de aberturas en las rocas por donde se puedan canalizar soluciones, la presencia de lugares de emplazamiento y la suficiente concentración de materia mineral en los fluidos constituyen solo una parte del complejo ciclo que da origen a yacimientos con características explotables.

El análisis litológico, mineralógico y geoquímico en el área del título 0561, brinda importante información sobre típicas condiciones favorables en la formación de depósitos hidrotermales en esta región; la intrusión de cuerpos ígneos que aportaron las soluciones mineralizantes de origen magmático, además de los rasgos estructurales son importantes y se convierten en potenciales localizadores de depósitos hidrotermales.

Es así como son identificadas las principales características litológicas, estructurales, mineralógicas, etc, más importantes en el área de influencia del proyecto mina pepo, las cuales son resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 2

Características principales del área de influencia del proyecto mina pepo. Fuente: Mantilla. O. W (2021, reporte interno mina pepo).

Caracteristicas	Descripciónnón
Controles de emplazamiento	Fallas o zonas de fractura subordinadas y relacionadas a sistemas regionales (ej.: falla de la escuela).

Extensión de la zona de alteración	Alteración fílica generalmente restringida, alteración propilítica la cual abarca grandes extensiones
Alteración asociada	Clorita y epidota asociada a alteración propilítica, sin relación directa con procesos mineralizantes. Sericita y cuarzo asociada directamente con zonas de alteración fílica relacionadas directamente con zonas mineralizadas (brechas).
Minerales indicadores de alteración	Cuarzo- sericita– clorita- sílice negra* (clorita+turmalina +cuarzo +epidota)*
Geometría del cuerpo mineralizado	Tamaño variable y morfología tabular. Definido por zonas amplias de mineralización.
Características de la mineralización	Vetas, y lentes de relleno con sulfuros masivos, y brechas. Relleno de filones en bandas irregulares, comúnmente con zonas de brecha y alteración fílica intensa.
Minerales de ganga	Cuarzo-plagioclasas-feldespato k.

Abundancia de sulfuros	1–8%, pero típicamente menos del 5%, pirita predominante, seguida por arsenopirita. Bajo contenido en
Metales predominantes	++As, +Zn, +Pb, +Cu, valores anómalos de Sb.
Rango de temperatura de formación	100-400 ºc
Carácter de los fluidos	Fluidos magmáticos mezclados con aguas meteóricas, baja oxidación del
Paragénesis hidrotermal	Eventos secuenciales presumiblemente asociados a tectonismo periódico, con actividad intrusiva relacionada y generación de fluidos hidrotermales. 1º carbonatos, turmalina y cuarzo sin mineralización asociada, 2º venas y venillas de cuarzo y sílice “negra” fuertemente asociados a la aparición de sulfuros como pirita, arsenopirita, y en menor medida esfalerita, calcopirita y galena, 3º fuerte vetilleo de carbonatos irregulares sin presencia de sulfuros cortando estructuras anteriores.
Edad	Jurásico tardío?

Clasificaciones posibles	Deposito vetiforme – brechado – hidrotermal epi- mesozonal de media a baja sulfuración y fuerte control estructural.

4.5 Reconocimiento y exploración preliminar "scouting" sector mina pepo

Las actividades de campo fueron llevadas a cabo a inicios del segundo trimestre de 2021, sobre el área correspondiente al área de interés para asomipepo.

Las labores exploratorias para el área de interés se limitan a la toma superficial de muestras, para su posterior análisis geoquímico e interpretación geológica, localización de estructuras mineralizadas y toma de datos estructurales y georreferenciación.

Se efectuaron recorridos y lecturas magnetométricas dentro del área y recolección de muestras de interés integradas a muestreo previo, estudio geofísico mediante el método magnetométrico, muestreo superficial a través de afloramientos y trabajos expuestos , recolección de muestras en suelos y afloramientos de roca.

A la fecha se cuenta con un total de 126 muestras de vetas, suelos y roca hospedante, 126 muestras tomadas en las campañas de reconocimiento superficial (abarcando muestreo en trincheras, túneles mineros y apique). Para todas estas fue determinado los contenidos de Au y Ag, y diversos elementos que representan la firma química de la mineralización (multielementos-ICP-), mediante la utilización de procedimientos para la determinación de oro como ensayos al fuego, espectrofotometría de absorción atómica y retallas (screenfireassay), adicionalmente para diversos elementos químicos (Al, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ge, In, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr , Te, Ti, V , Zn, etc)

fue empleado el método ICP por digestión multiácida; estos análisis fueron realizados en los laboratorios SGS labs, los cuales cuentan con acreditación ISO internacional.

El objetivo de ambas etapas de exploración estuvo encaminado a cumplir los siguientes ítems:

- ✓ Reconocimiento general y semidetallado del área de interés para asomipepo y, ubicación de estructuras aflorantes y determinar la presencia de minería artesanal en el área de estudio.

- ✓ Establecer la relación geológico-estructural entre los sectores mineros conocidos y el área de interés para asomipepo.
- ✓ Describir y correlacionar las diferentes manifestaciones localizadas en el área de interés de asomipepo haciendo énfasis en las variaciones litológicas, mineralógicas y geoquímicas.
- ✓ Correlacionar en subsuelo las diferentes estructuras encontradas durante las actividades de reconocimiento y exploración preliminar que constituyan un posible potencial económico dentro del área de interés.
- ✓ Determinar contenido de metales preciosos y elementos químicos firma de la mineralización.
- ✓ Establecer estado actual de la conocimiento geológico y recomendaciones futuras

Estudio magnetométrico

La toma de datos de magnetometría se llevó acabo con el magnetómetro de susceptibilidad magnética y conductividad kt-10, realizando barridos de aproximadamente

10 metros y de una distancia de 100 metros entre ellas, estos datos posteriormente se trabajaron con el software nativo y ARCgis. Este equipo es muy versátil, permitiendo tomar los datos geofísicos de manera práctica en campo.

Figura 7

Equipo usado para la toma de datos de magnetometría (kt-10).

Estudio geoquímico

Para el estudio geoquímico del área, se tomaron alrededor de 70 muestras entre apiques, roca alterada en los frentes de mina y sedimentos activos de los diferentes drenajes que recorren la zona, cada una de ellas tenía un peso aproximado de 1.5 kg y fueron sometidas a ensayo al fuego, en el laboratorio SGS en la ciudad de Medellín.

5. Resultados

5.1 Geología de campo

Las observaciones de campo indican que dentro del área de interés afloran rocas plutónicas principalmente con tendencia NS a NNE bien desarrollada. Sin embargo, la litología dominante en el área objetivo está representada por cuarzo dioritas que contienen biotita y hornblenda no foliadas.

En cercanías del caserío de mina pepo se observa una diferenciación magmática de tipo inverso, mas acida al centro y más básica hacia fuera. Este contacto se observa justo en la zona superior del frente principal de trabajo. Las estructuras mineralizadas, con hasta un 8% de sulfuros principalmente pirita, muestran una deformación predominantemente frágil, incluidas brechas de fallas. El desplazamiento total es indeterminado. Las zonas de cizalla dextral frágil principalmente, con tendencia NNW y las rocas plutónicas; lo que indica que la tectónica regional transcurrente es posterior a la edad del metamorfismo regional y la intrusión de las rocas plutónicas en el sector de mina pepo.

La roca fresca no se encuentra muy bien expuesta dado que las rocas metamórficas e intrusivas están muy intemperizadas y erosionadas. Afloramientos, cortes de caminos y arroyos exponen principalmente el saprolito residual; que puede alcanzar algunos metros de espesor. Mantilla o. W. (2021, mantilla o. W, reporte interno mina pepo), proporciona descripciones de las características del regolito y los perfiles de meteorización.

La mayor parte del trabajo de minería artesanal sigue un tren de vergencia n y ne, igualmente se han identificado algunas estructuras mineralizadas con rumbo NNW. Las cuerpos mineralizados presentan espesores que van desde 1 aproximadamente 6 mts.

5.1.1 Interperismo químico

La intensa meteorización química en el sector de mina pepo y la cubierta vegetal hacen muy difícil desde el punto de vista práctico la diferenciación en el campo de las unidades litológicas, las características de alteración hidrotermal y los sistemas mineralizados. Dada la destrucción de las características litológicas primarias, es importante una comprensión detallada del comportamiento de los elementos objetivo y de los elementos guía durante la meteorización química antes de postular modelos que vinculen una anomalía geoquímica particular con una potencial mineralización primaria hipogénica en profundidad. Esto se debe a que la meteorización química puede crear anomalías falsas positivas o, como alternativa, puede producir resultados negativos por encima de los sistemas mineralizados.

Para cuantificar y mapear la distribución de los perfiles meteorizados, se seleccionó el índice químico de alteración (CIA = 100al2o3 / [Al2O3 + Na2O + K2O + CaO *] en proporciones molares donde CaO * representa cao solo en silicatos. El intemperismo transforma los minerales primarios tales como feldespatos, anfíboles, micas y piroxenos; lo que da como resultado un fuerte agotamiento de la mayoría de los óxidos de elementos principales (por ejemplo, cao y na2o), y un enriquecimiento en coeficientes de al2o3 en el perfil degradado residual. En este informe, la meteorización química se ha caracterizado empíricamente como pobre (CIA <62), moderada (CIA = 62-82) y fuerte (CIA> 82).

Figura 8

Zona de intenso intemperismo dentro del área de estudio.

El mapa geoquímico del índice químico de alteración (CIA) indica que el 81% de las muestras representan los productos de meteorización fuerte con valores de CIA> 82. La meteorización química es un proceso de pérdida de masa dado que la mayoría de los elementos principales se eliminan del sistema. Como resultado, los elementos que se retienen (por ejemplo, Al2O3, TiO2, Zr, Sc) en el perfil degradado aumentan su concentración debido al enriquecimiento residual. Por ejemplo, algunas muestras tienen> 30% en peso de al2o3; lo que indica que la fuerte intemperie produjo perfiles con rasgos bauxíticos enriquecidos con aluminio en el sector de mina pepo, Mantilla O. W (2021).

Es evidente que Au, As y Pb están enriquecidos de forma residual en perfiles fuertemente degradados. La plata se enriqueció de manera residual en las primeras etapas de la meteorización y se removilizó localmente durante la meteorización fuerte.

El análisis de 16 elementos objetivo y elementos guía, incluidos Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se, indican que estos elementos se conservaron principalmente durante la meteorización. Y, por lo tanto, sus concentraciones relativas se enriquecen preferentemente en perfiles fuertemente degradados.

El comportamiento de los elementos objetivo y elementos guía es más errático en los perfiles extremadamente intemperizados (CIA> 90); en el que estos elementos muestran un comportamiento inmóvil y móvil que conduce al agotamiento o enriquecimiento local. Las mediciones de pH en el rango de saprolitos entre 3.78 y 6.5. Es de destacar que el saprolito se vuelve más acidificado con el aumento del intemperismo. Los perfiles fuertemente degradados exhiben valores de pH promedio de 4.3. En consecuencia, las características ácidas de los perfiles extremadamente degradados explican la removilización local de los elementos objetivo y elementos guía, Mantilla O. W (2021).

Figura 9

Mapa de índices de alteración química (CIA). Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).

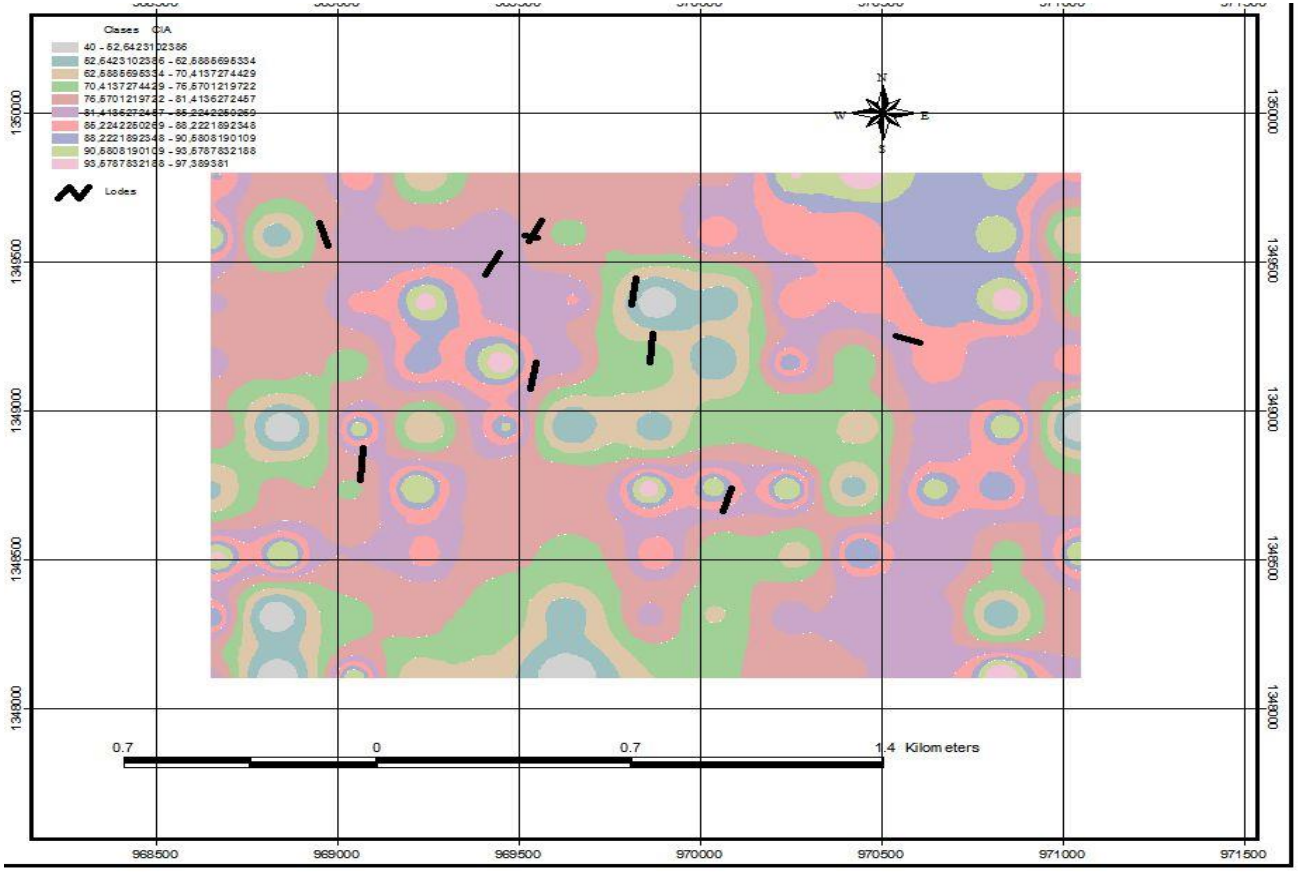
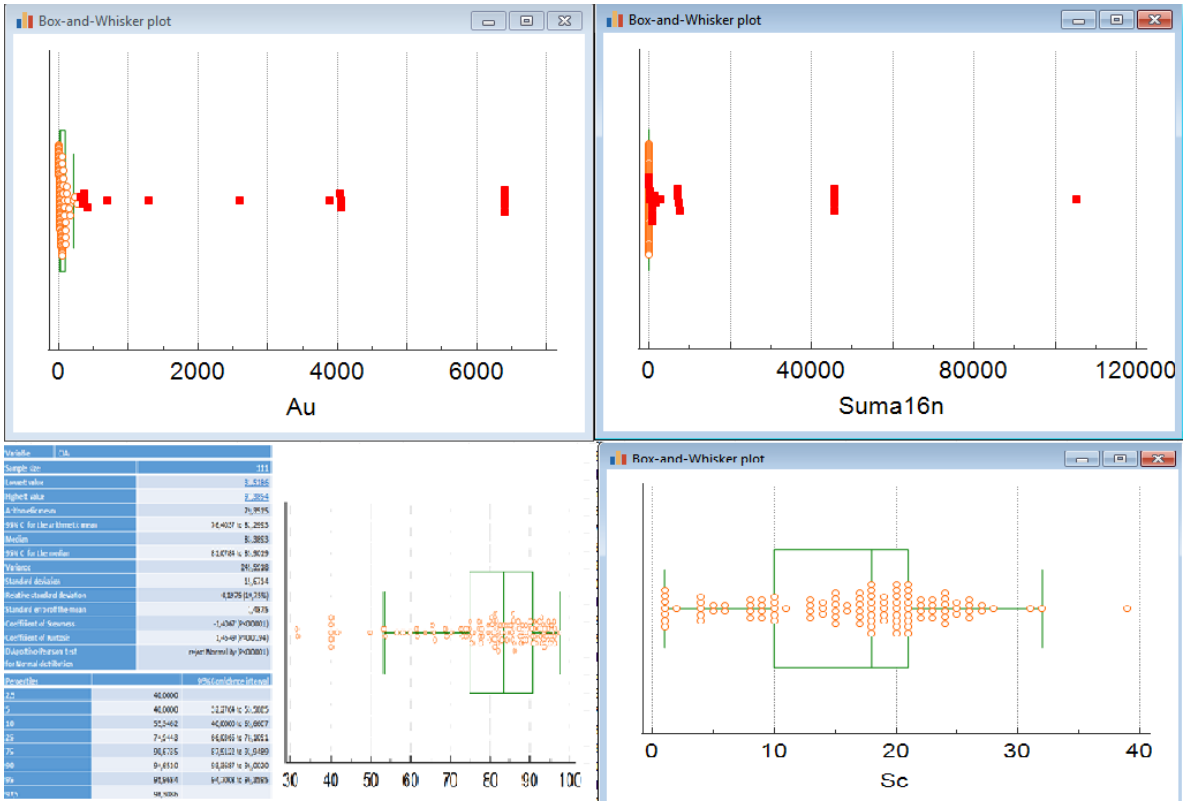


Figura 10

Estadística descriptiva para el índice de alteración química (CIA) y box-plot. Igualmente, Au, Sc y la sumatoria de 16 elementos.



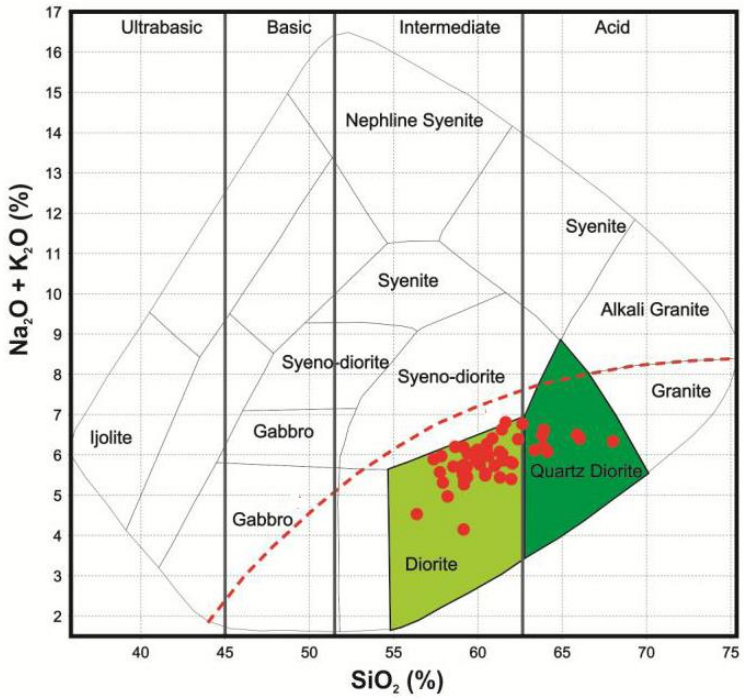
Nota Se observa la distribución del índice de las muestras analizadas. El diagrama box-plot indica el comportamiento de los elementos objetivo y los elementos guía (pathfinder) durante el proceso de meteorización. Gran parte de los elementos se concentran a lo largo del perfil de meteorización. La Ag muestra un comportamiento particular, tiende a concentrarse en las primeras fases del proceso de meteorización y se removiliza puntualmente durante la fase más fuerte de meteorización. La concentración de los elementos objetivo y los elementos guía conforma un patrón común, Mantilla O. W (2021).

5.2 Unidades litogeoquimicas

Aproximadamente el 10.16 % de las muestras muestra valores de CIA <62 indicando que se sometieron a una meteorización química poco intensa. Estas muestras con bajo grado de intemperismo preservan sus rasgos geoquímicos primarios casi intactos y se grafican en los campos de diorita y diorita de cuarzo en el diagrama de álcali-sílice total (tas) (cox et al., 1979; Wilson, 1989). Por lo anterior, el sustrato rocoso en el área muestreada consiste principalmente en rocas plutónicas alcalino-cálcicas intermedias a félsicas; litologías típicas de arcos magmáticos relacionados con la subducción. (ver figura 11)

Figura 11

Diagrama de álcali-sílice total (tas).



Las muestras ligeramente intemperizadas, representan el 10,16 % de la cuadrícula de muestreo total, indican consistentemente que las rocas plutónicas en sector mina pepo son

de composición intermedia a félsica. La diorita y cuarzo-diorita son las litologías dominantes en el sector. La línea punteada roja representa el límite entre las rocas alcalinas y cálcicas. Las rocas plutónicas en sector mina pepo se ubican debajo de la línea roja discontinua. Diagrama tas de Wilson (1989) después de cox et al. (1979).

Con el propósito de realizar el mapeo litogeoquímico se ha usado la relación TiO_2 / Sr y la relación Sc / Al_2O_3, ya que el Ti, Zr, Sc, Al_2O_3 son inmóviles durante el proceso de intemperismo químico y, en consecuencia, su relación refleja la firma geoquímica primaria del sustrato rocoso intacto. Las muestras con una relación TiO_2 / Zr más alto también muestran una relación Sc / Al_2O_3 más alta, lo que indica que tienen una composición menos fraccionada o más máfica. La relación TiO2 / Zr y Sc / Al_2O_3 presentan claramente las anomalías geoquímicas positivas que indican la ubicación de las dioritas dentro de un conjunto dominante de diorita de cuarzo (figuras 12 y 13).

Dentro del área del are aparecen emplazadas rocas tipo dioritas dentro de las dioritas de cuarzo más fraccionadas, lo cual señala que el conjunto plutónico en sector mina pepo es una intrusión compuesta que se formó mediante múltiples inyecciones de magmas intermedios a félsicos con temperaturas que oscilan entre 750 y 900 ° c, mantilla o. W (2021).

La relación devela claramente las anomalías geoquímicas positivas que indican la ubicación de las dioritas dentro de una suite de diorita cuarzo dominante. Esta relación discrimina facies intrusivas, las muestras con altas relaciones entre elementos son dioritas menos fraccionadas, entre tanto aquellas con relaciones entre elementos más bajas corresponden a dioritas de cuarzo más fraccionadas. Las relaciones TiO_2 / Zr y Sc / Al_2O_3 son excelentes discriminantes litogeoquímicos en ambientes fuertemente meteorizados porque estas relaciones de elementos no se modifican significativamente por acción del intemperismo, Mantilla O. W (2021).

Figura 12

Mapa geoquímico de la relación TiO_2/Zr. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo)

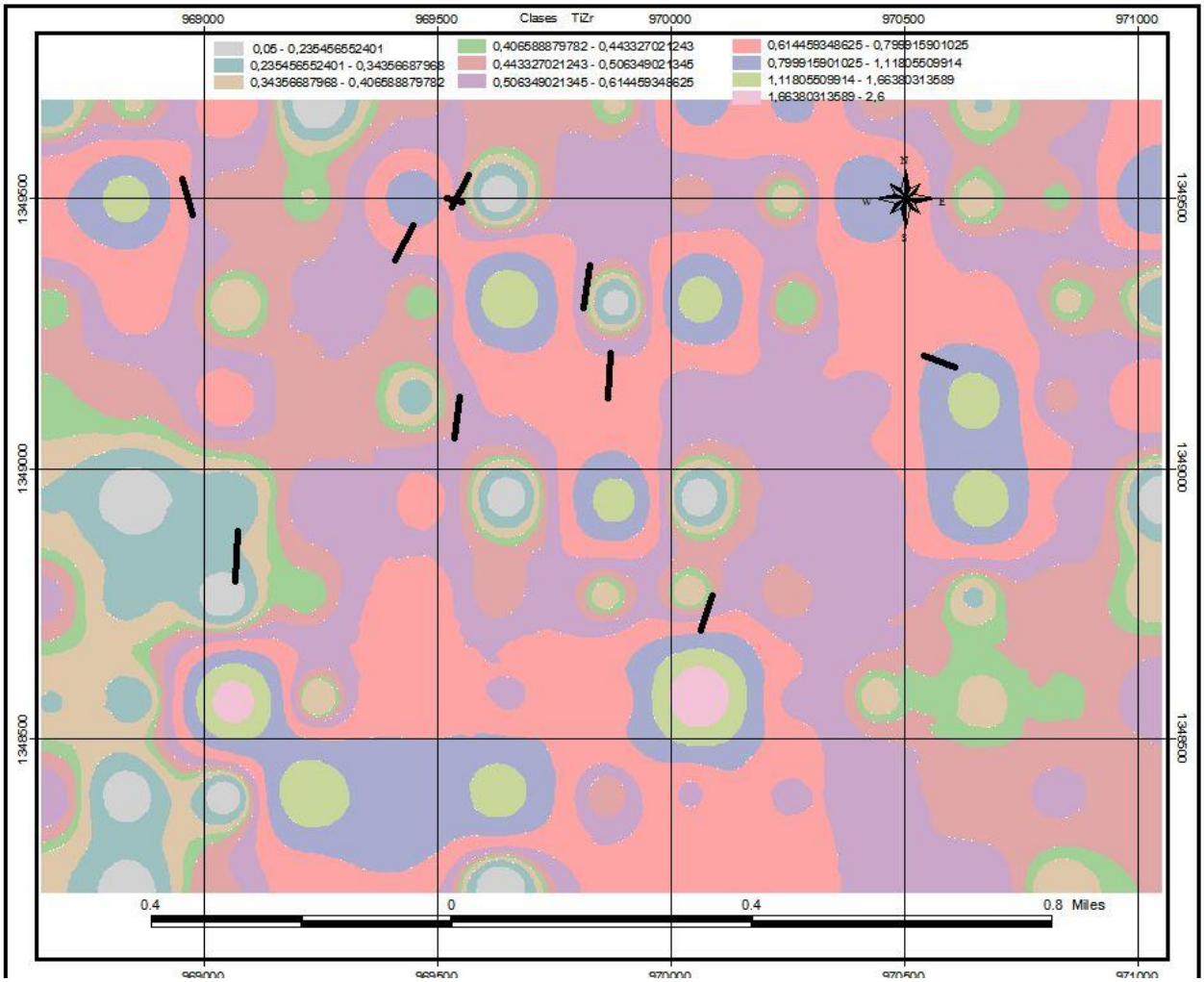
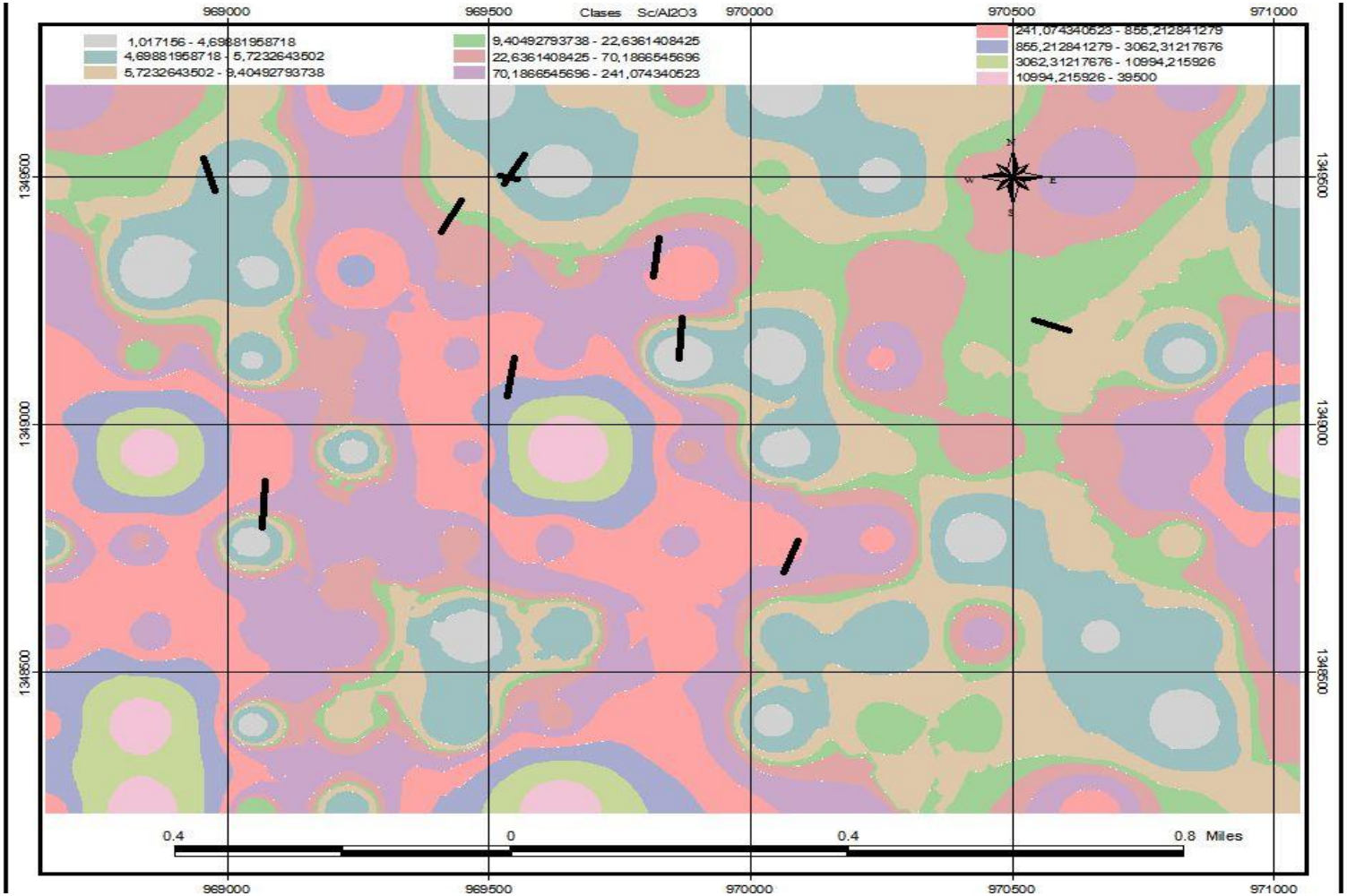


Figura 13

Mapa geoquímico de la relación Sc/Al2O3. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepp



5.2 Anomalías monoelementales

La inmovilidad relativa de los elementos objetivos o *target* y elementos guía o *pathfinder* en un perfil intemperizado implica que puedan ser usadas como anomalías geoquímicas positivas para vectorizar la mineralización primaria hipogénica. Sin embargo, dado que la meteorización no ha sido homogénea en toda el área, las zonas de meteorización fuerte pueden dar como resultado una mayor relación de valor pico a umbral; que en última instancia podría producir anomalías falsas positivas en perfiles fuertemente degradados. Por el contrario, la mineralización hipógena en profundidad puede no ser detectada en perfiles mal degradados; en el cual los resultados falsos negativos pueden ser la consecuencia de un valor pico más bajo a una relación umbral, en relación con las zonas fuertemente intemperizadas.

Con el fin de evaluar los problemas relativos a la meteorización diferencial, el mapeo geoquímico de los elementos objetivos o *target* y elementos guía o *pathfinder* se normalizó al contenido de al_2o_3 dado que la concentración de al_2o_3 también se enriquece de forma residual con el aumento de la meteorización. Por lo tanto, las anomalías producidas por los elementos elementos objetivos o *target* y elementos guía o *pathfinder* normalizados al aluminio son independientes del proceso de intemperismo; reduciendo de esta forma la posibilidad de generar anomalías positivas falsas sobre el lecho de roca estéril o resultados falsos negativos por encima de la mineralización hipógena.

La evaluación de los elementos objetivos o *target* y elementos guía o *pathfinder* normalizados en relación al aluminio indica que en el sector mina pepo las anomalías geoquímicas no son el resultado de la meteorización diferencial. Por ejemplo, las figuras 16 a 19 muestran los mapas geoquímicos para Au, Au/ Al_2O_3, Ag y Ag / Al_2O_3. Los datos

geoquímicos normalizados y no normalizados de aluminio producen una distribución geográfica similar de las anomalías de los metales preciosos. Las anomalías normalizadas de metales preciosos confirman que las anomalías geoquímicas en sector mina pepo son auténticas anomalías positivas relacionadas con la mineralización. Esto también se ve respaldado por el hecho de que las anomalías de los metales preciosos siguen la zona de tendencia NNE, N y NNW definida por las actividades mineras artesanales locales en mina pepo, mantilla o. W (2021).

Aunque la minería artesanal constituye en sí misma una anomalía geoquímica, los resultados del estudio geoquímico en sector mina pepo han identificado nuevas áreas con mineralización potencial que los mineros artesanales locales no han descubierto.

La composición geoquímica de 16 elementos objetivos o *target* y elementos guía o *pathfinder* (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se) presentan un comportamiento de frecuencia acumulativa fuertemente similar, con desviaciones sobre las concentraciones por encima del 90%. Igualmente, el análisis de anisotropía geométrica para variación de direcciones 0º, 45 º, 90 º, y 135º y ratios 1.25, 1.5, 1.75, 2 presenta resultados de variogramas de alta a muy alta correlación espacial, ver figuras 14 y 15.

El comportamiento en curvas cumulativas permite discriminar posibles procesos de acumulación de cada uno de los elementos. Los diferentes elementos presentan patrones afines.

Figura 14

Curvas acumulativas para algunas relaciones normalizadas (a y b), elementos individuales (c) y para el grupo de 16 elementos (d).

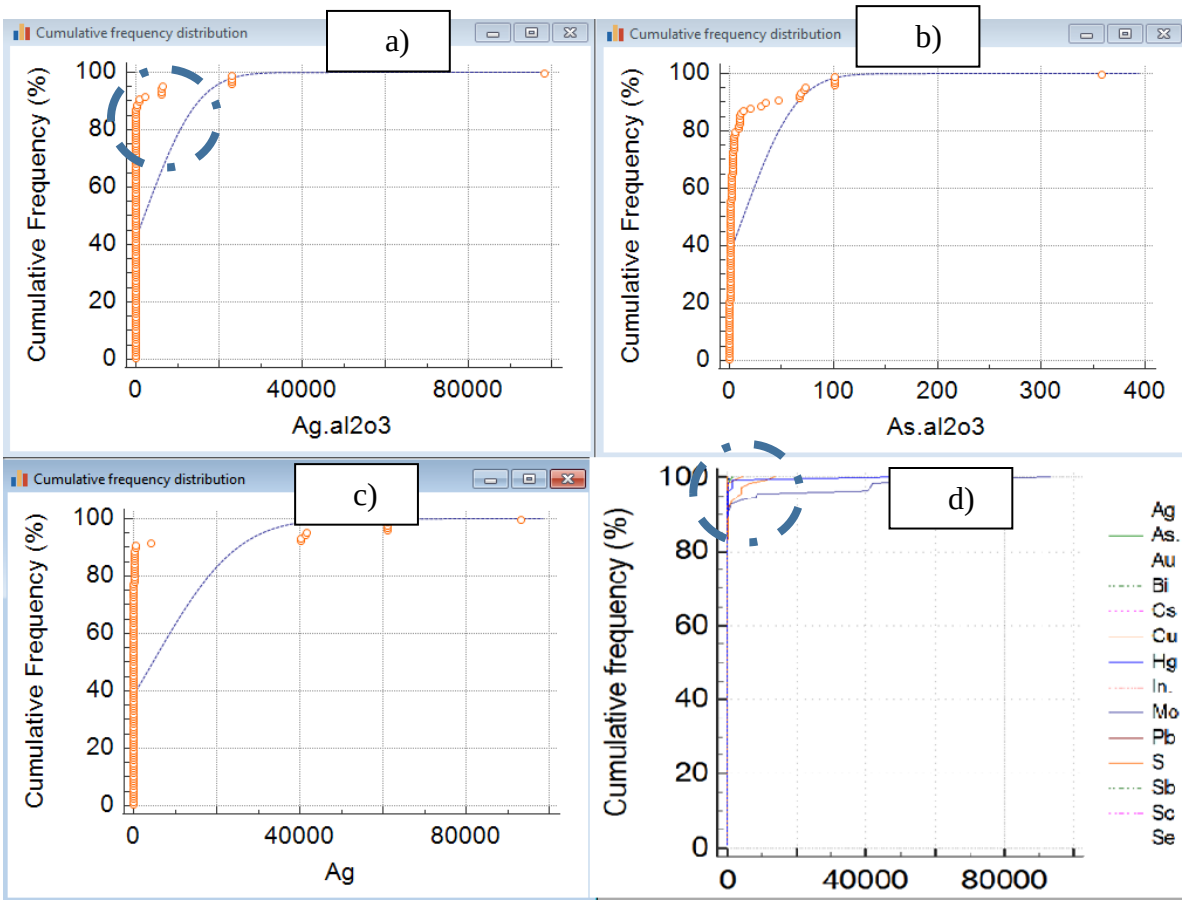
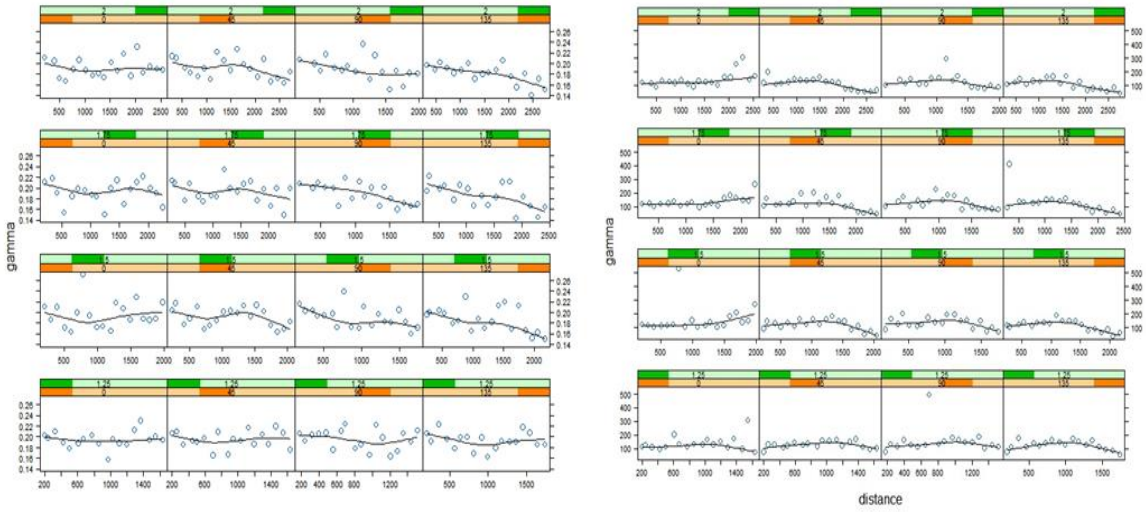


Figura 15

Curvas de análisis de anisotropía geométrica para los elementos Ag (izq.) Y el in (der.)



Nota. Muestran alto grado de correlación espacial bajo condiciones de variación direccional y proporcional. Con el Au se observa muy alto grado de correlación espacial sobre una variación direccional de 90 y ratios de 1,5 y 1,75.

La similitud entre las anomalías no normalizadas y las normalizadas en aluminio discriminan claramente que las anomalías de los elementos guía (pathfinder) son independientes del proceso de intemperismo, en consecuencia, las anomalías determinadas pueden usarse para vectorizar la mineralización de metales preciosos. Se obtuvieron resultados similares para los diferentes elementos guía.

Las concentraciones no normalizadas producen anomalía en zonas de minería artesanal y otras nuevas que podrían despertar interés económico.

La anomalía de oro se normalizó a al_2o_3 para sobrepasar los problemas relacionados con la meteorización química heterogénea. Las concentraciones no normalizadas de Au y

normalizada a al_2o_3 producen una anomalía similar; lo cual vislumbra que la anomalía de los metales preciosos no son anomalías falsas positivas debido a la meteorización diferencial.

Figura 16

Mapa geoquímico de la concentración de Au. Anomalías de oro sin normalizar en Al2O3.

Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).

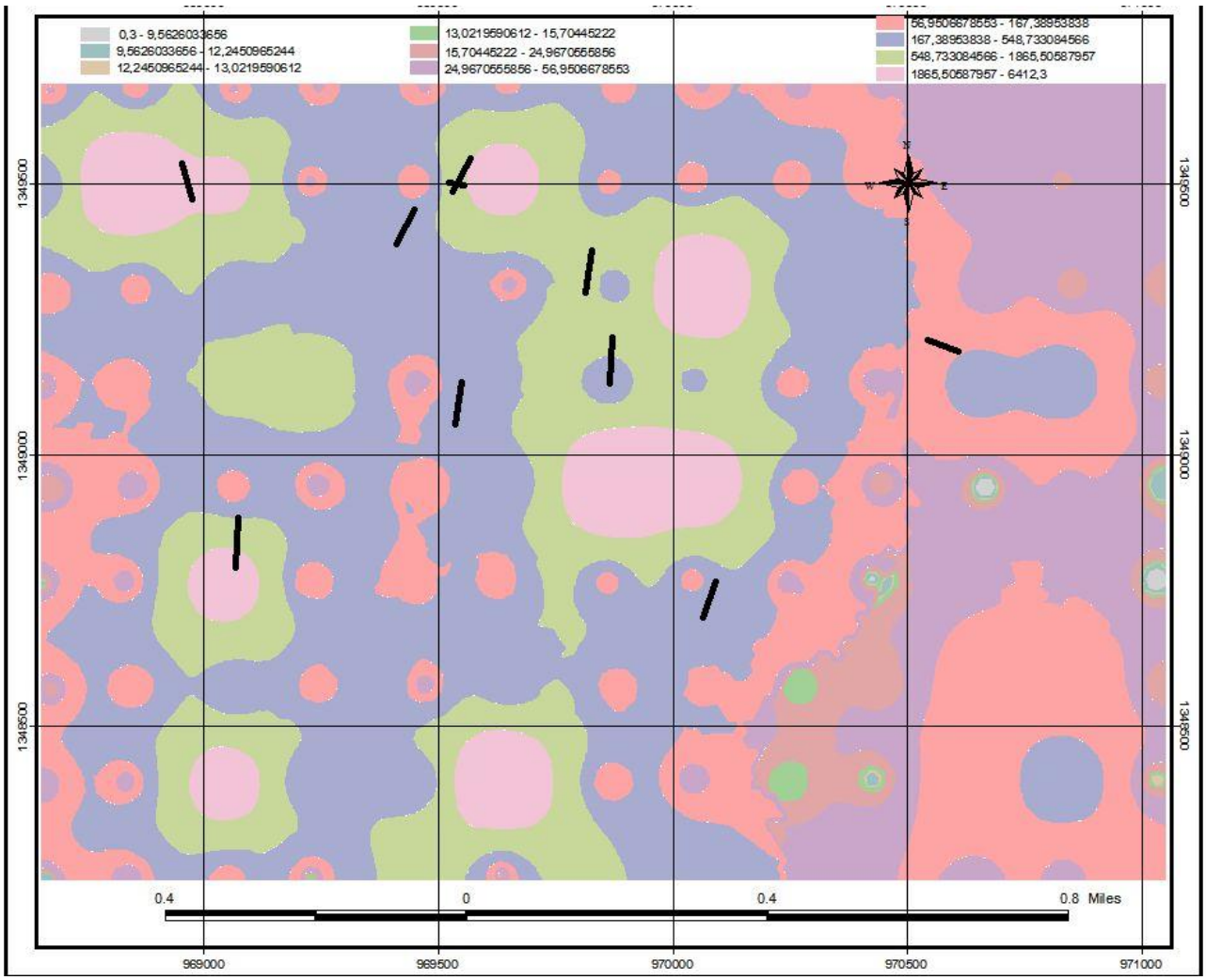


Figura 17

Mapa geoquímico de la relación Au normalizado a Al_2O_3. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).

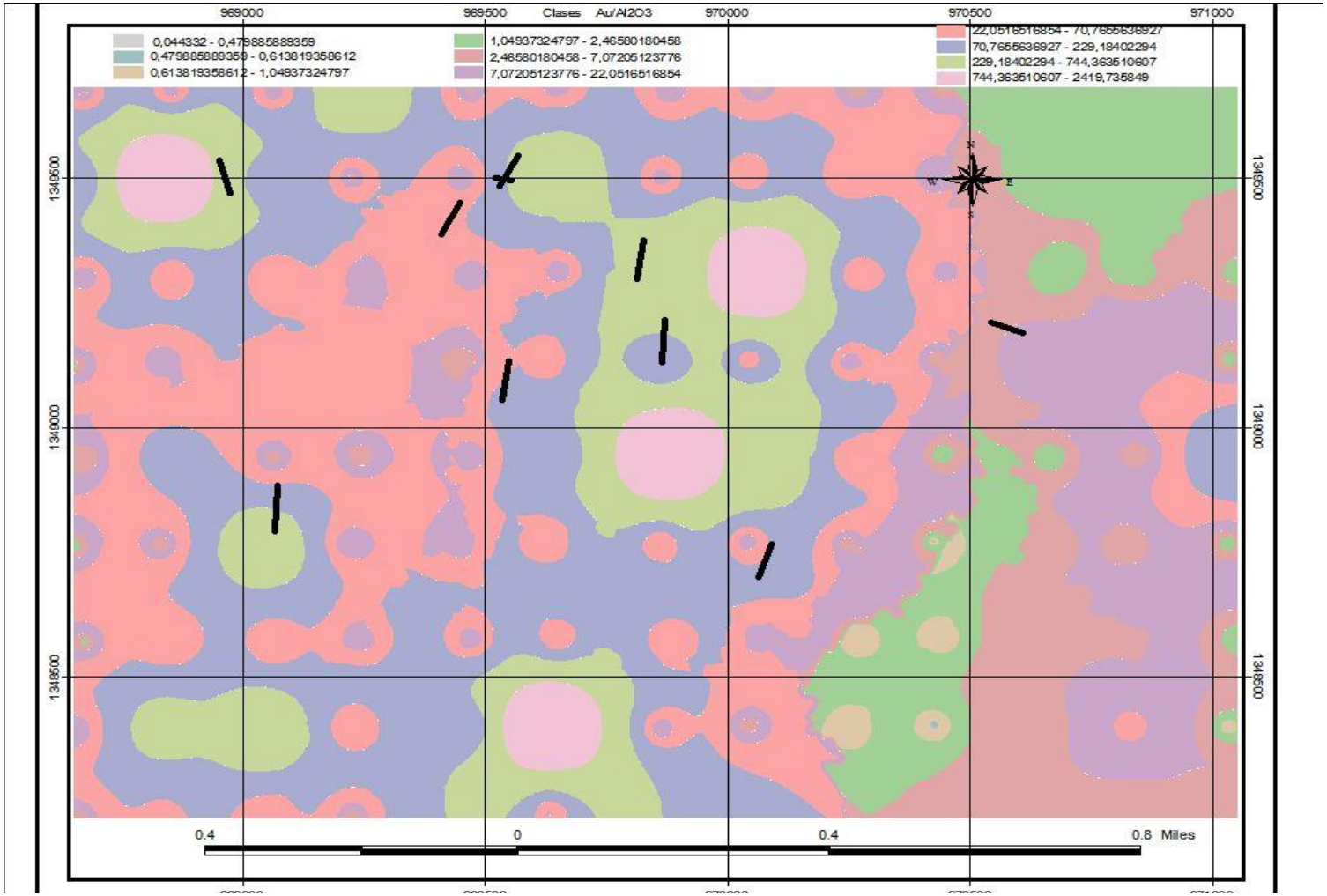


Figura 18

Mapa geoquímico de la concentración de Ag. Anomalías de oro sin normalizar en Al2O3. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).

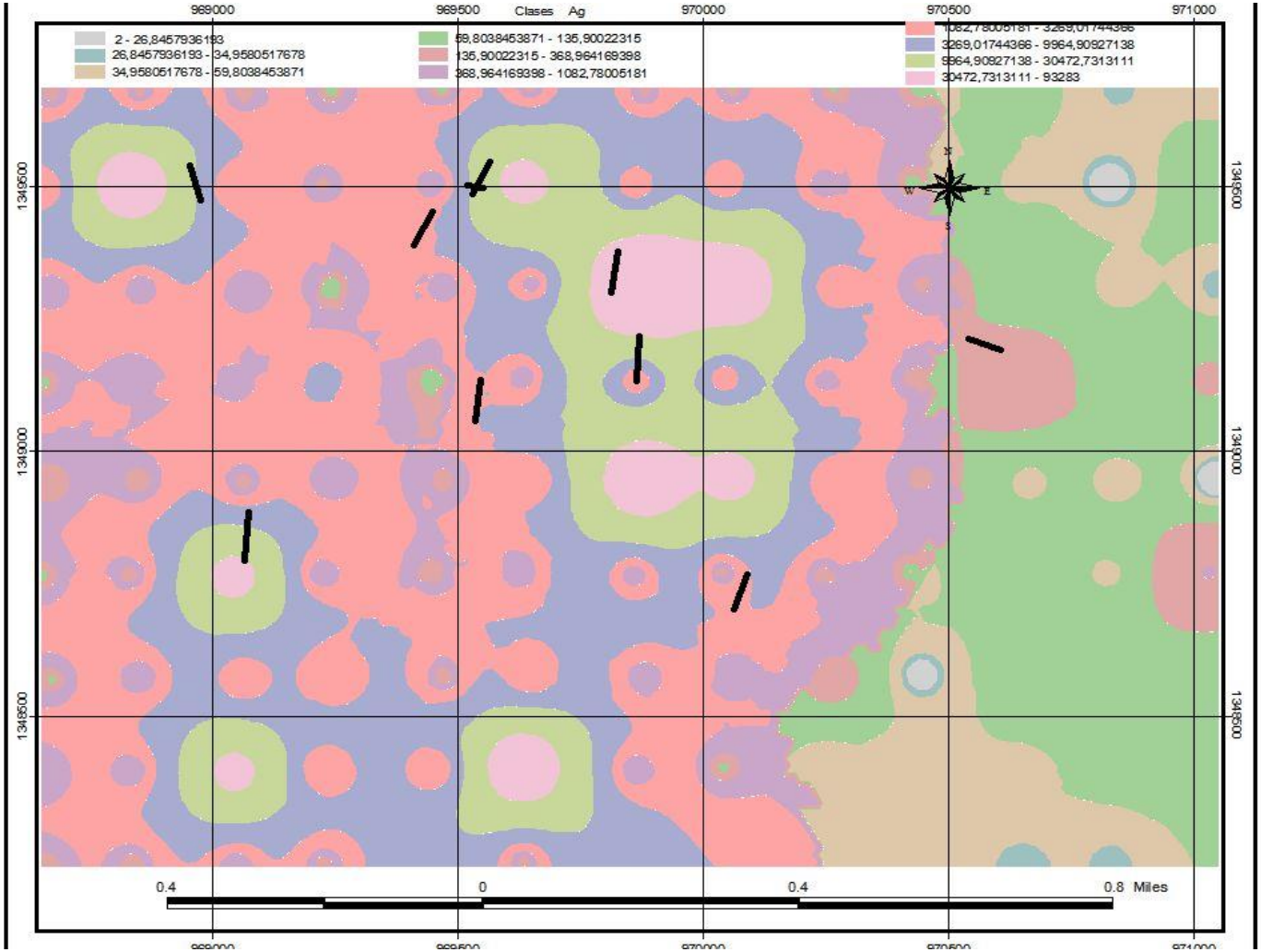
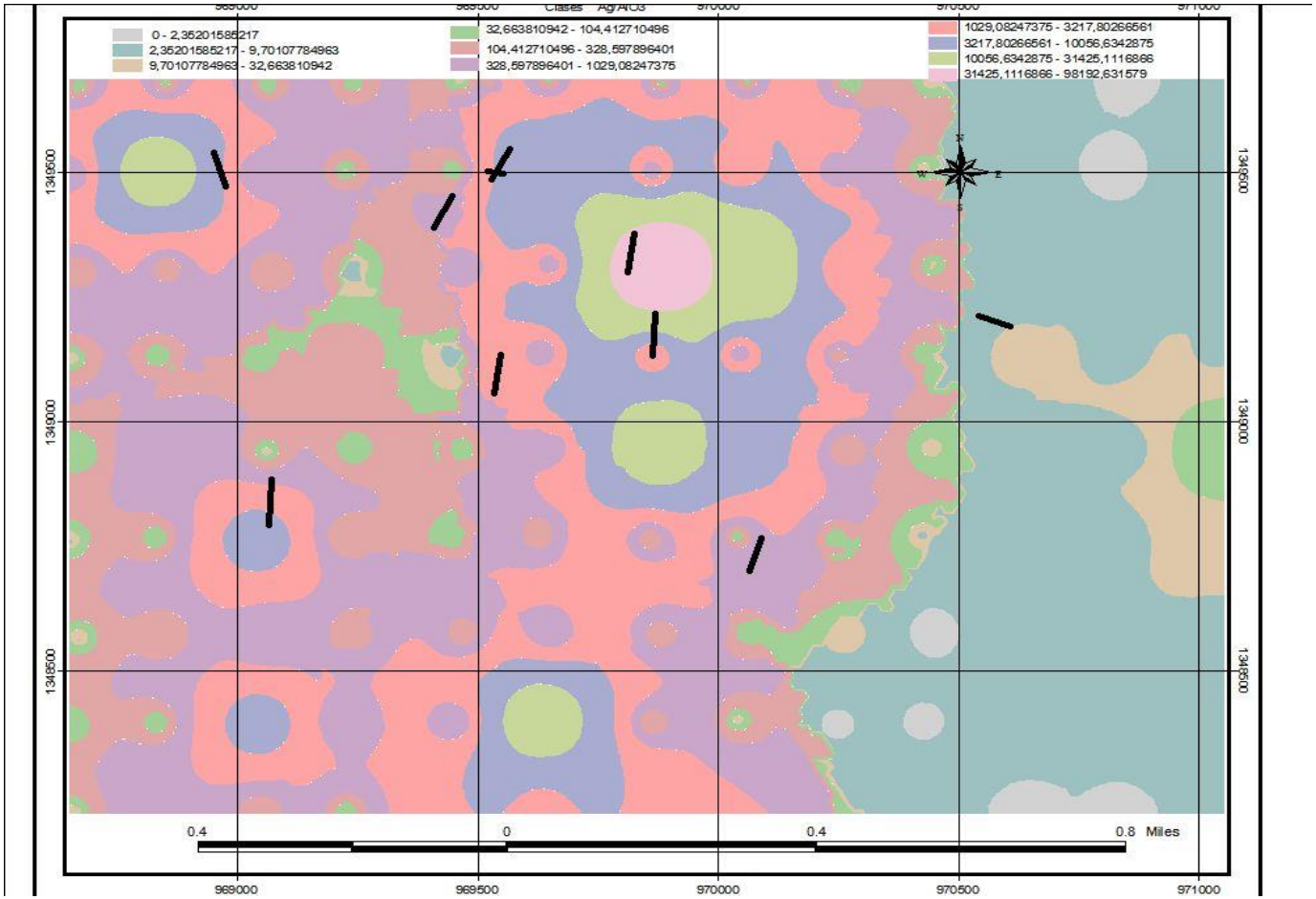


Figura 19

Mapa geoquímico de la relación Ag normalizado a Al_2O_3. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).



Nota La anomalía de oro se normalizó a al_2o_3 para eliminar los problemas relacionados con la meteorización química heterogénea. Las concentraciones no normalizadas de Ag y normalizada a al_2o_3 producen una anomalía similar; lo cual dilucida que la anomalía de los metales preciosos no son anomalías falsas positivas debido a la meteorización diferencial.

5.3 Anomalías multielementales

Los datos geoquímicos son multivariados en forma opuesta a un comportamiento univariado, la geoquímica es una herramienta que provee información más confiable sobre los procesos geológicos cuando las anomalías geoquímicas se modelan como anomalías multielementales en lugar de anomalías monoelementales. Así, bajo condiciones climáticas extremas, algunos elementos pueden ser retenidos, mientras que otros elementos pueden removidos o concentrados. En consecuencia, modelar anomalías a partir de múltiples elementos permite sobrepasar problemas que pueden surgir a partir de fenómenos de movilidad local monoelemental y provee vectores más confiables para la localización de la mineralización.

En el proceso de modelar las anomalías multielementales, ha sido utilizado el método de sumas ponderadas (Garrett y Grunsky, 2001). Este método es una técnica multivariante que reduce varios elementos a una sola variable. A cada elemento se le asigna un factor de importancia. Los factores positivos significan que un valor alto es significativo, y los factores negativos indican que un valor bajo es significativo. Para este trabajo, se ha asignado un factor positivo +1 a cada elemento objetivo y a los elementos guía (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se). Con el propósito de evitar posibles problemas de enriquecimiento elemental por efecto de procesos residuales en perfiles altamente

intemperizados, se asigna un factor negativo de -3 a al_2o_3. Así, las sumas ponderadas de datos multielementales son independientes a la meteorización diferencial.

El análisis de componentes principales permite discriminar grupos de elementos de que presentan una mayor sinergia geoquímica, así se observan los siguientes componentes principales i) In, Pb y Ag; ii) Se, Sn y Te; iii) Te, Hg, Zn, Cd, Mo, S, y Bi y un iv (de todos)). La correlación positiva entre los elementos guía (pathfinder) con los elementos objetivo Au y Ag corrobora que las anomalías de los metales preciosos en sector mina pepo están relacionadas con procesos hidrotermales hipogénicos. Todos los elementos guía (pathfinder) forman anomalías geoquímicas que tienen la misma distribución espacial que las anomalías Au y Ag. (ver figura 20). Los 16 elementos incluidos en el análisis estadístico muestran coeficientes de correlación que varían entre de 0.47 a 0,87 indica correlación moderada a fuerte.

Los resultados de las sumas ponderadas indican claramente que hay una anomalía geoquímica multielemental que comprende 16 elementos objetivo y elementos guía. La anomalía de 16 elementos coincide claramente con las anomalías monoelementales para Au y Ag. El modelo de sumas ponderadas confirma que las anomalías geoquímicas de interés económico son independientes de la meteorización. Por lo tanto, estas anomalías pueden interpretarse con confianza como la firma geoquímica de este sistema mineralizado

Mapa geoquímico de las sumas ponderadas para el grupo de 16 elementos: elementos objetivo y elementos guía (Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se) y Al_2O_3. Todos los elementos objetivo y elementos guía se les asigno un factor de importancia de +1. Al aluminio se le dio un factor de importancia de -3. (b) ver anomalías de

Au como referencia. Hay una anomalía multielemental en la que 16 elementos objetivo y los elementos guía están relacionados con la mineralización de metales preciosos. La anomalía multielemental está asociada a las áreas de minería artesanal.

El análisis de componentes principales permite discriminar grupos de elementos de que presentan una mayor sinergia geoquímica, así se observan los siguientes componentes principales i) In, Pb y Au; ii) Sr, Te, Se, Sb y As; iii) Te, Hg, Zn, Cd, Mo, S, y Bi, iv) Ti, Sc, Rb, Zr, y Te; y un v) (de todos).

Existe una correlación positiva general entre todos los elementos. Esto se interpreta para indicar un vínculo genético con la mineralización de metales preciosos.

Figura 20

Mapa geoquímico de anomalías multielementales. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo).

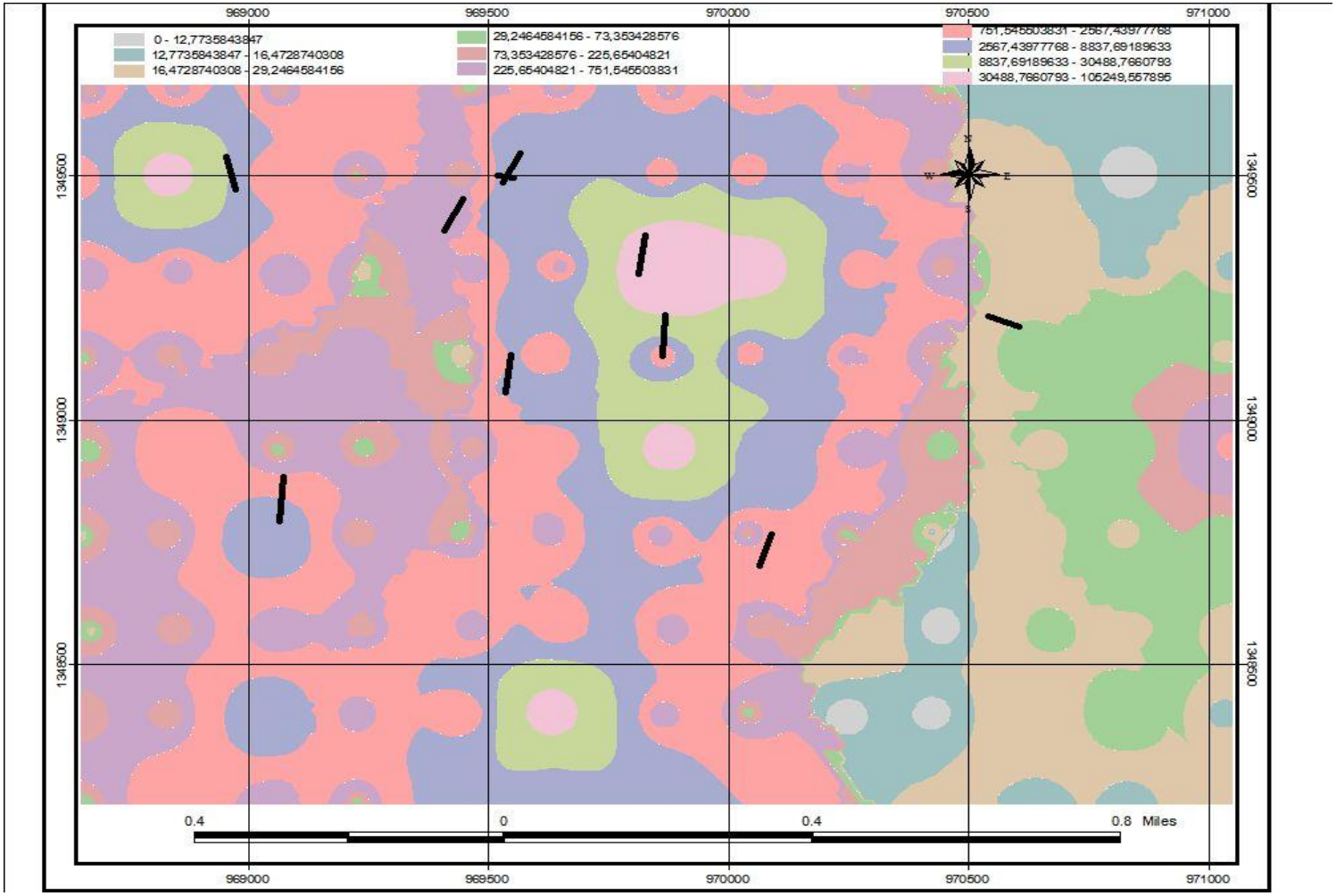
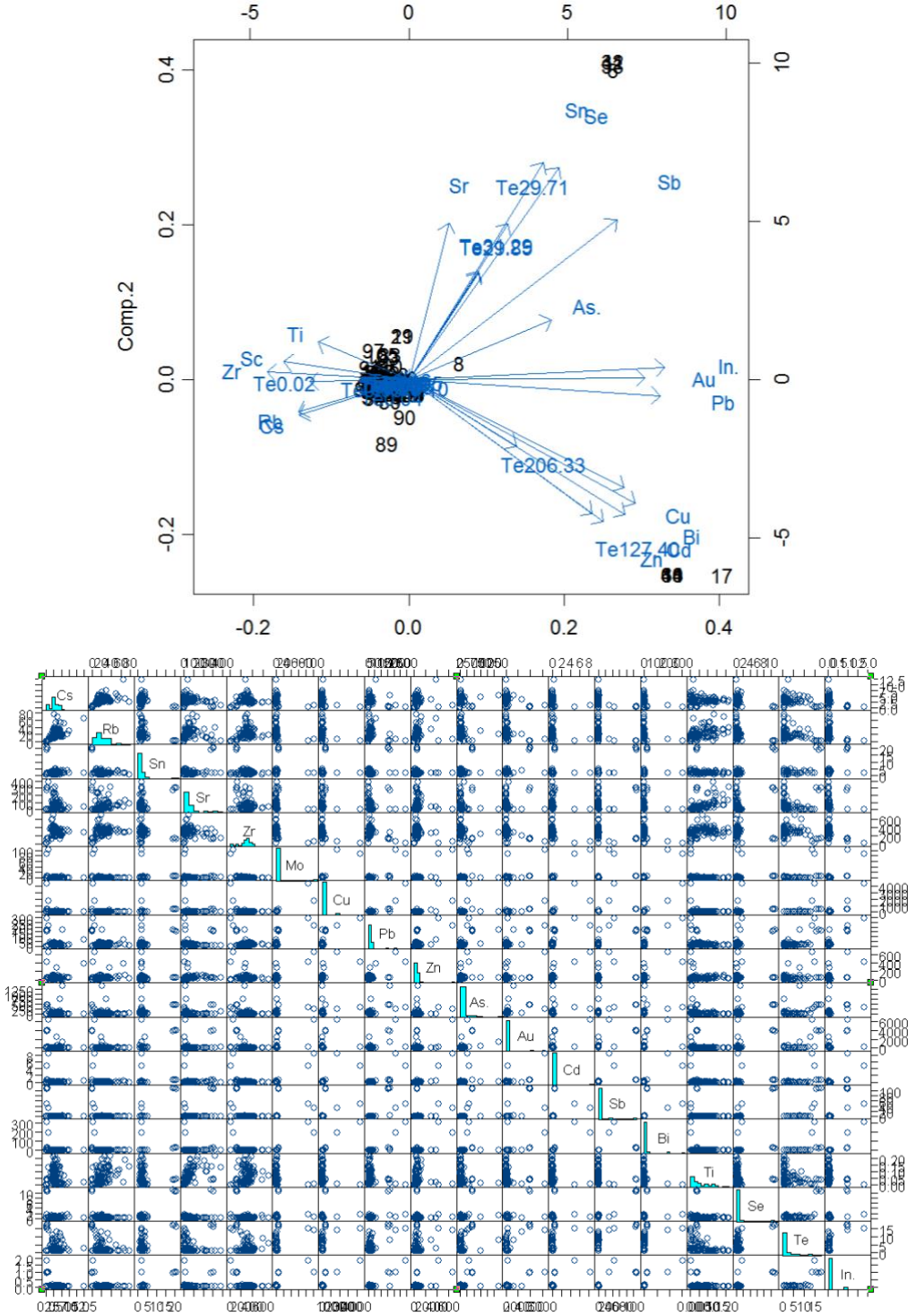


Figura 21

Análisis de componentes.



5.4 Alteración hidrotermal

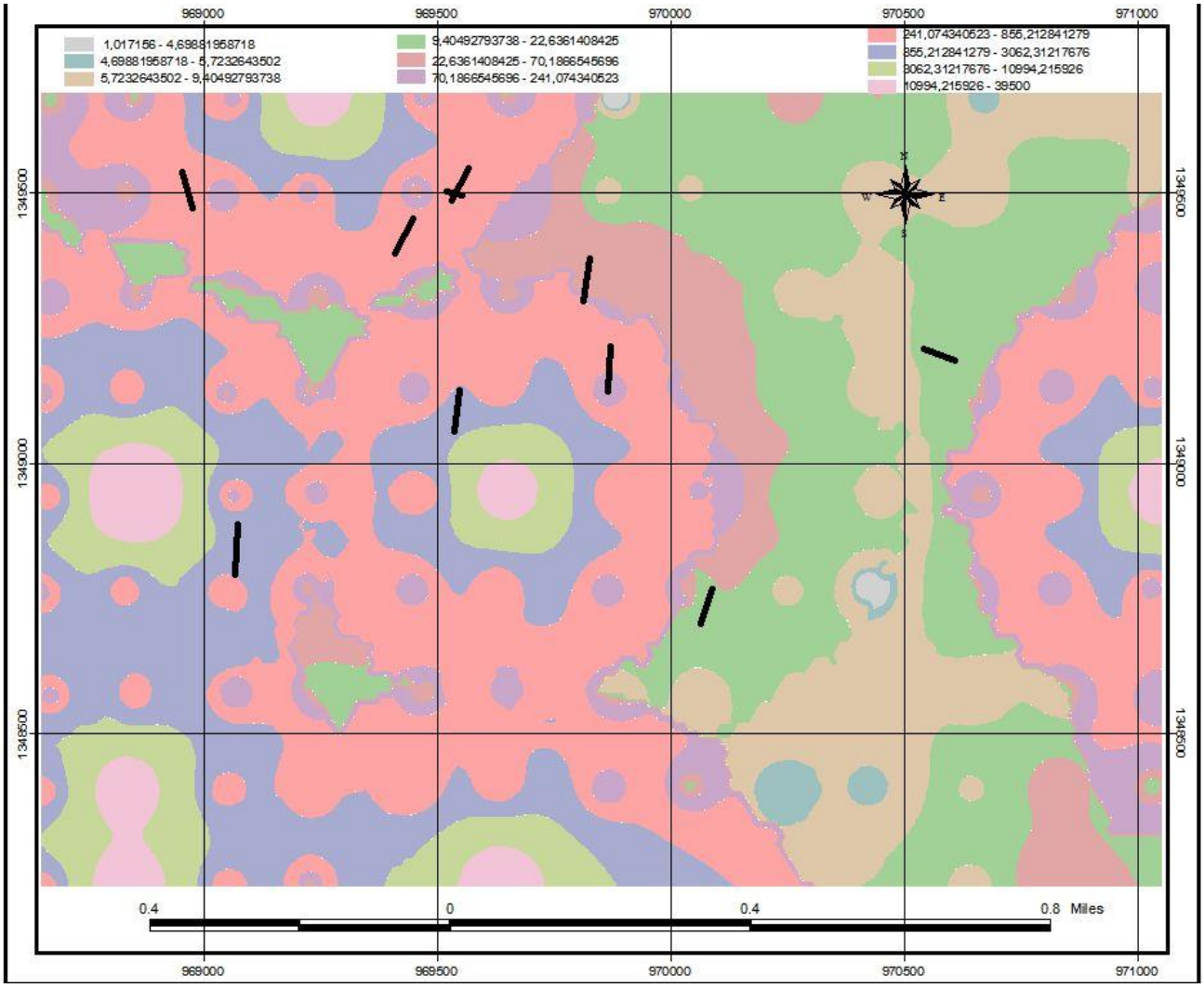
Uno de los principales desafíos de los proyectos de exploración en perfiles fuertemente intemperizados en ambientes tropicales es que las características litológicas y mineralógicas primarias están completamente borradas por la intemperismo químico. En consecuencia, la identificación de campo de la alteración hidrotermal puede ser imposible. Los elementos relacionados con la alteración como Si, Na, K, Ca, Rb y Cs se removilizan durante la intemperie extrema, lo que dificulta el reconocimiento de la alteración hidrotérmica del hipógeno primario en los perfiles alterados. Además, los elementos alcalinos (K2O, Rb y Cs) y la sílice pueden enriquecerse localmente durante la intemperie fuerte haciendo imposible la discriminación geoquímica entre la alteración hidrotermal primaria y el enriquecimiento de supérgeno de elementos alcalinos y sílice.

Se ha realizado un cálculo de sumas ponderadas para SiO_2, K_2O, Rb y Cs con factores de importancia relativa de $2SiO_2$:$1K_2O$:1Rb:1Cs. Los resultados de los cálculos de sumas ponderadas indican que hay una zona de enriquecimiento significativo de sílice y elementos alcalinos. No se puede descartar que el enriquecimiento de elementos alcalinos y sílice podría haber ocurrido durante la intemperie fuerte y, por lo tanto, no está relacionado con la mineralización primaria hipógena. Sin embargo, la siguiente evidencia sugiere que el elemento álcali y el enriquecimiento de sílice representan una alteración hidrotermal potásica-silícea relicta relacionada con la mineralización de metales preciosos: (1) la alteración está relacionada espacialmente con las zonas de minería artesanal de oro y plata, (2) existe una asociación espacial entre la alteración y las anomalías de múltiples elementos definidas por 16 elementos de objetivo y elementos guía, (3) la descripción del campo de los perfiles degradados indica que la presencia de stocks y vetas en muestras sobreimpresas por

esta alteración, y (4) la concentración media de Au, Ag y elementos guía (pathfinder) muestra alteración potásico-silícea, con 2 a 6 veces mayor que la concentración de los mismos elementos en contrapartes que no han sido sobreimpresas por esta. En consecuencia, se concluye que la mineralización de metales preciosos en sector mina pepo está contenida en el núcleo de una zona de alteración potásica-silícica.

Figura 22

Sumas ponderadas calculadas para elementos alcalinos y sílice con factores de importancia relativa de 2sio2: 1k2o: 1rb: 1cs. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo)



La alteración silícico-potásica relicta se preserva a nivel del perfil de suelos desarrollados en sector mina pepo independientemente del grado de intemperismo. El mapa muestra una relación espacial con las anomalías de oro, y se presentan muestras con altas concentraciones de k_2o. La zona de alteración silícico-potásica relicta está espacialmente relacionada con anomalías de metales preciosos y la minería artesanal.

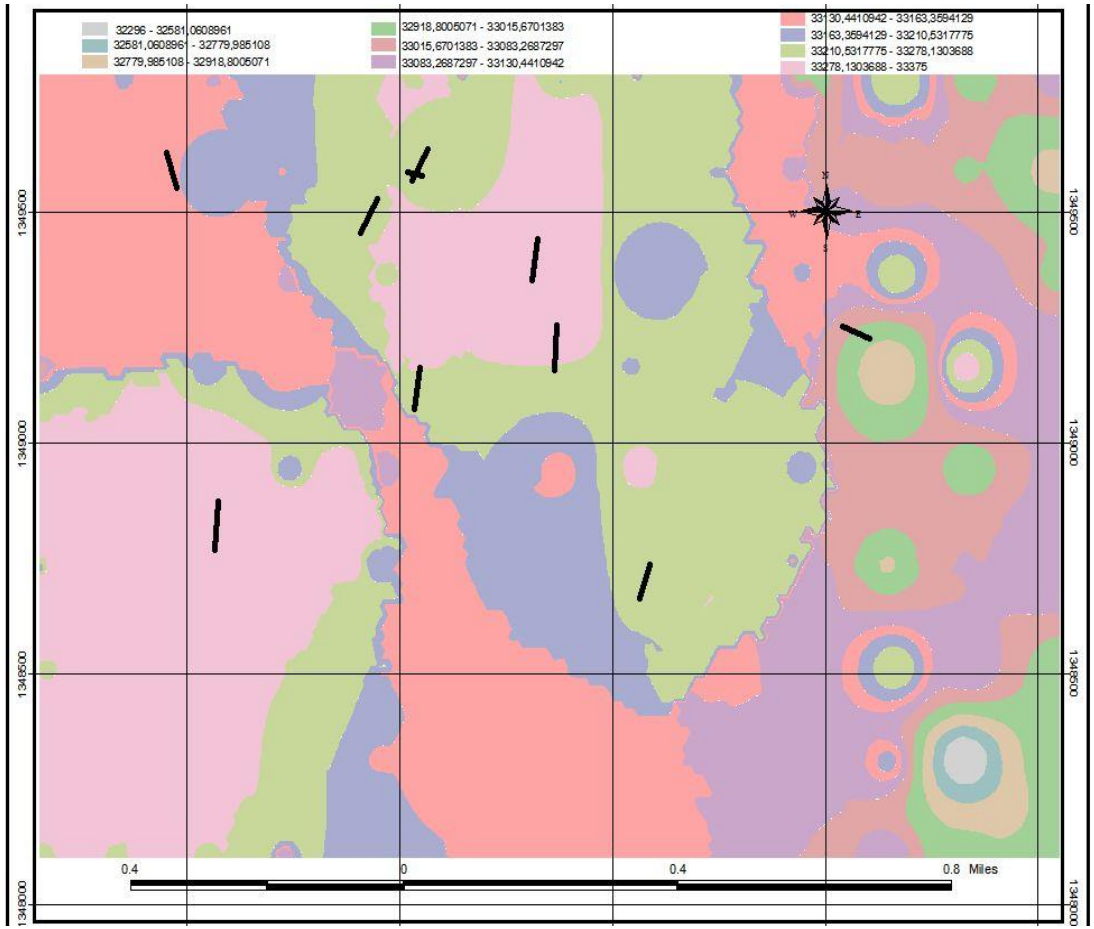
5.5 Magnetometría en terreno

El levantamiento del terreno y los mapas de anomalías generadas presentan una buena resolución y una definición mejorada del objetivo estudiado y sus anomalías detectadas. También permite un mejor análisis y caracterización de los límites y la dirección preferencial de la anomalía. La figura 23 muestra los puntos de medición de la susceptibilidad y las estaciones magnéticas adquiridos en el levantamiento de escala de detalle junto con la ocurrencia y sus límites externos. La figura 23 presenta el mapa de anomalías de campo magnético total (fuentes profundas), respectivamente.

Es importante notar que la mayor parte del área se encuentra cubierta por rocas erosionadas (cobertura del suelo), vegetación y algunas rocas de afloramiento (dioritas y Cuarzodiorita) cerca de las ocurrencias descritas de Au-Ag. Estas características geológicas de superficie y los contrastes magnéticos geofísicos detectados permitieron analizar, interpretar y delinear las estructuras inferidas presentadas en el mapa geológico interpretado, (figura 23). Mantilla o. W (2021).

Figura 23

Mapa de puntos de mediciones de susceptibilidad magnética en el área y la ubicación de ocurrencia de cuerpos con sulfuros auro-argentíferos. Fuente: mantilla o. W (2021, reporte interno mina pepo).



Para lograr los objetivos del estudio, se generó un modelo litogeofísico avanzado (modelo 2.5d) utilizando adicionalmente como propiedades físicas detectadas (anomalía magnética en nt), la parametrización con las litologías realizadas por las mediciones de susceptibilidad de las rocas aflorantes. Sin embargo, al analizar los resultados, se debe considerar que el modelado directo se basa en datos de superficie geológica y parámetros físicos (susceptibilidad magnética). Por lo tanto, es importante considerar la presencia de magnetización remanente en el sitio, causando desviaciones e incongruencias en la geometría y las profundidades propuestas que se muestran en el modelo. Para eso, se pueden aplicar métodos especiales de procesamiento de datos, pero no estaban dentro del alcance de este estudio. Se reconoció en los datos y resultados adquiridos que las observaciones geofísicas, como el campo magnético observado inducido, las frecuencias espaciales residuales y profundas, respaldan la creación de un modelo físico / matemático coherente, Mantilla O. W (2021).

Además, es importante notar que los métodos de inversión que utilizan diferentes algoritmos y el software actualmente disponible no pueden expresar un modelo geológico confiable debido a la no singularidad. Tal enfoque no generó resultados consistentes considerando una no expresiva y la ausencia de datos de medición de susceptibilidad representativos en el área debido a la cobertura del suelo y la vegetación presentes en la mayor parte del área de estudio. Teniendo en cuenta que estos datos están mal aleatorizados espacialmente y se concentran solo donde los afloramientos rocosos (ocurrencia de cobre descrita) se puede generar un modelo más consistente y confiable aplicando información litológica y estructural de superficie directa de manera de producir un mapa geológico más preciso con estructuras inferidas. Estos ajustes e inferencias solo se pueden realizar siguiendo estrictamente las observaciones y características mapeadas en la superficie, Mantilla O. W (2021).

Considerando este contexto de mineralización, se asocian las anomalías magnéticas observadas a los cuerpos ígneos relacionados con la concentración de sulfuros auroargentíferos en estas estructuras, que están localizadas puntualmente. También consideramos que, en el modelo genético de pórfido para mineralizaciones, el enriquecimiento y las concentraciones de elementos Au y Ag están asociados con otros elementos y ocurre a través de venas y fracturas asociados con un stock porfirítico en un proceso hidrotermal predominante (Silitoe, 2010). Este stock, en su porción superior (halo de alteración), ofrece, a partir de las fracturas y restricciones estructurales, la concentración de sulfuros asociados con el Au que forma los depósitos apicales diseminados porfiríticos (Biondi, 2015). Tal configuración es una hipótesis considerando que las concentraciones (anomalías) observadas en las imágenes aéreas, los mapas terrestres y la respuesta del modelo se evidencian a lo largo de la dirección NE – SW, N-S y NNW en menor proporción en el sitio, Mantilla O. W (2021).

5.6 Petrografía y mineralogía

Los mineros laboran en su mayoría las mineralizaciones localizadas en la zona de oxidación y de alteración argólica. Fuertes oxidaciones limo líticas como hematíticas de color marrón oscuro y vetillas oxidadas cuarzo arcilloso con salvandas de color violeta y café en ocasiones motivan a los mineros a iniciar trabajos exploratorios buscando los filones principales.

El oro libre macroscópico relativamente no es frecuente por lo que el yacimiento probablemente sea de piritas auríferas en pulsos (*ore shoots*). Los trabajos subsuperficiales generalmente se dan en monteras de hierro (glosan) locales, de color café oscuro.

El estilo de las alteraciones hidrotermales que predomina en las mineralizaciones (generalmente silicificadas y piritizadas) son del tipo veti-venicontrolada en la cual los minerales

de alteración rellenan fracturas o, la más común en las minas visitadas, como salvandas arcillosas de color gris a gris claro limitando los respaldos de los filones.

También se presentan relleno de cavidades ("vugs") observándose espacios abiertos rellenos por minerales hidratados precipitados por fluidos y soluciones acuosas. En alto porcentaje la salvanda predomina en el respaldo de las superficies más planas de los filones, que en el de las superficies irregulares. De los análisis de laboratorio realizados se puede concluir, que efectivamente la mineralización se puede relacionar con una mineralización tipo pórfido cuprífero, con manifestaciones en superficie de las zonas de alteración fílica y argólica; con presencia de alteración hidrotermal y enriquecimiento supervenido en áreas de alto fracturamiento y alta exposición a agentes atmosféricos. Los datos petrográficos son aportados por mantilla o. W (2019, reporte interno mina pepo).

A continuación se presenta el análisis de las secciones delgadas, realizadas a muestras tomadas en el área de estudio y se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 3

Descripción de la muestra uno

Muestra 1
Tipo de roca: ígnea
Nombre: Riolita
Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía:

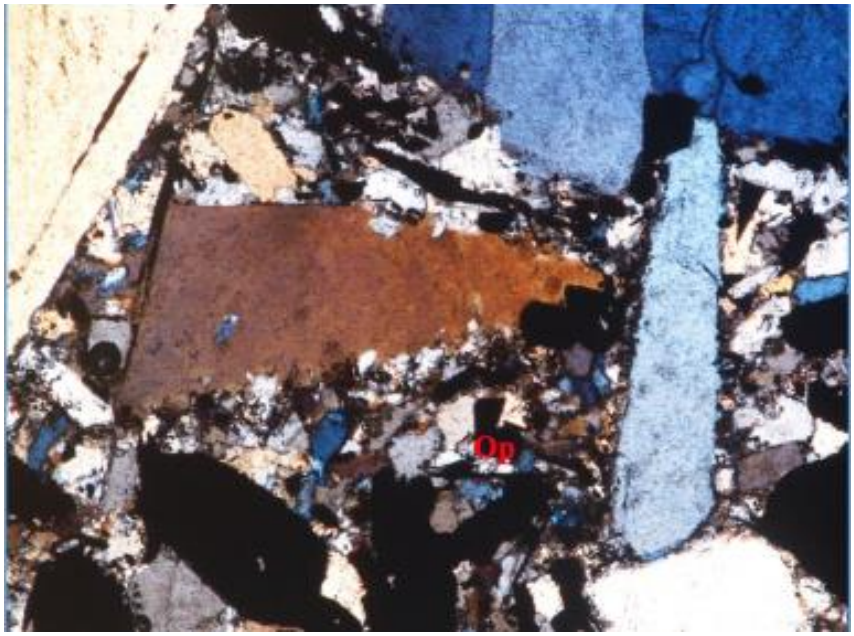
Cuarzo (Qz): individuos incoloros de bajo relieve, inequigranular (tamaño del cristal varia) y anhedrales (no conserva las caras del cristal), los colores de interferencia son de primer orden con extinción ondulosa, la distribución es heterogénea en la muestra, se presenta en la matriz de la roca.

Ortoclasa (Or): se presenta en cristales inequigranulares y subhedrales, los minerales son incoloros de relieve bajo, presenta un grado de fracturamiento moderado, hacia los bordes y en la fracturas del mineral se observa sericita como producto de alteración, la ortoclasa se encuentra distribuida de manera homogénea en la lamina.

Opacos (Op): son oscuros en luz transmitida su presencia en la muestra es heterogénea y moderada, sus formas son subhedrales y aciculares.

Piroxenos (Px): se presenta en cristales inequigranular y anhedrales, los cristales de son incoloros de relieve bajo moderado, con colores de interferencia amarillos de primer orden, presenta un grado de fracturamiento muy bajo, se observa alteración hacia los bordes del mineral.

Mineral	%	Minerales accesorios	Minerales de Alteracion
Cuarzo	15		
Ortoclasa	50		Sericita
Opacos	25		
Piroxeno	10		



Observaciones: la roca ha sufrido alteración hidrotermal con formación de sericita.

Tabla 4

Descripción de la muestra dos

Muestra 2

Tipo de roca: ígnea

Nombre: Foidita

Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía

Ortoclasa (Or): cristales inequigranulares, subhedrales, incoloros, sucios, con colores de birrefrigencia de primer orden, en la fracturas del mineral se observa sericita como producto de alteración, la ortoclasa se encuentra distribuida de manera homogénea y abundante en la lamina.

Plagioclasa (Pl): se presenta totalmente alterada en cristales muy empolvados, se presenta como matriz englobando los otros minerales, su distribución en la muestra es heterogénea.

Rutilo (r): se presenta en cristales de tamaño medio, asociados a feldespato y plagioclasa alterada, de color pardo oscuro, en nicoles cruzados se observa oscuro. Piroxeno (Px): individuos de relieve moderado, fracturados, de color incoloro presenta pleocroísmo a café pálido, con colores de interferencia de segundo orden, su distribución en la roca es heterogénea.

Cuarzo (qz): fenocristales incoloros, limpios, de bajo relieve, inequigranular (tamaño del

cristal varia) y subhedrales, los colores de interferencia son de primer orden, la distribución es heterogénea y escasa en la muestra.

Opacos (Op):son oscuros en luz transmitida su presencia en la muestra es heterogénea y escasa, sus formas son anhedrales y aciculares.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Ortoclasa	5	Biotita	
Rutilo	15		
Opacos	25		
Nefelina	40		
Plagioclasa	15		Sericita

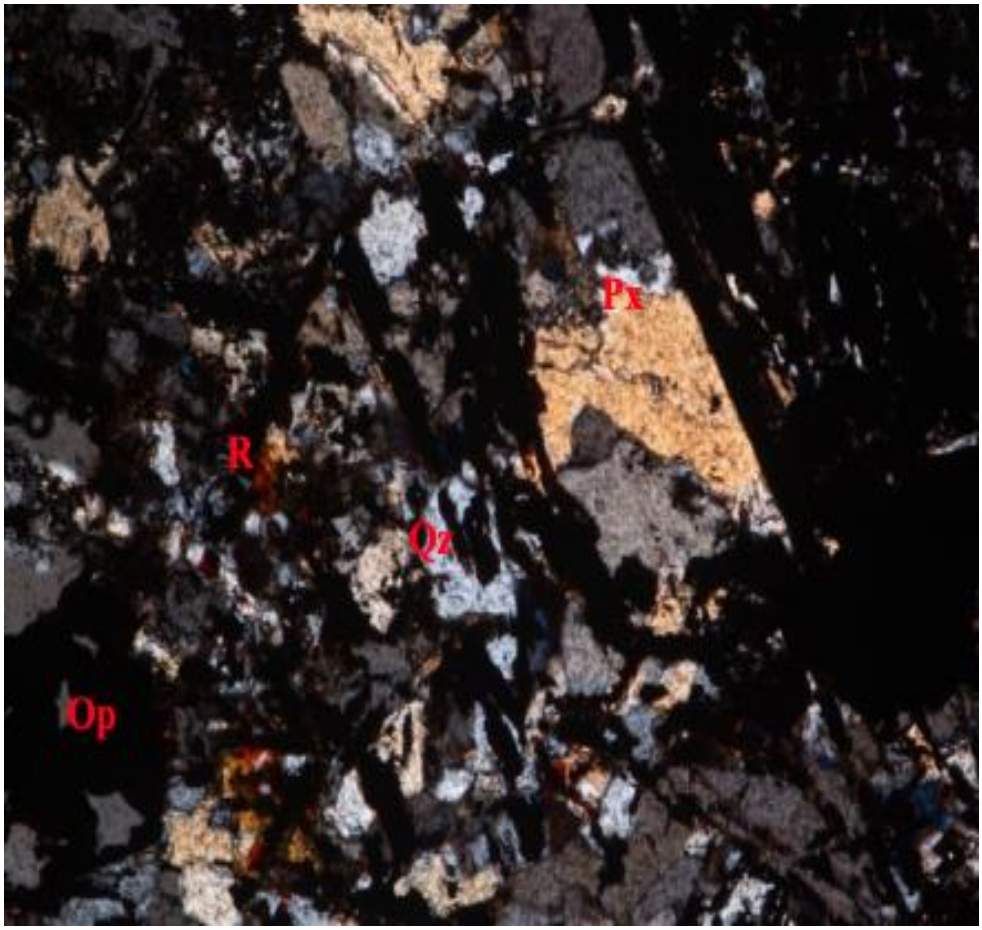

Px
R
Qz
Op

Tabla 5

Descripción de la muestra tres

Muestra 3

Tipo de roca: ígnea

Nombre: Monzonita

Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía :

Ortoclasa (Or): cristales inequigranulares, subhedrales, incoloros, sucios, con colores de birrefrigencia de primer orden, en la fracturas del mineral se observa sericita como producto de alteración, la ortoclasa se encuentra distribuida de manera homogénea y abundante en la lamina.

Plagioclasa (Pl): se presenta totalmente alterada en cristales muy empolvados, se presenta como matriz englobando los otros minerales, su distribución en la muestra es heterogénea. Rutilo (r): se presenta en cristales de tamaño medio, asociados a feldespato y plagioclasa alterada, de color pardo oscuro, en nicoles cruzados se observa oscuro. Piroxeno (Px): individuos de relieve moderado, fracturados, de color incoloro presenta pleocroísmo a café

pálido, con colores de interferencia de segundo orden, su distribución en la roca es heterogénea.

Cuarzo (Qz): fenocristales incoloros, limpios, de bajo relieve, inequigranular (tamaño del cristal varia) y subhedrales, los colores de interferencia son de primer orden, la distribución es heterogénea y escasa en la muestra.

Opacos (Op):son oscuros en luz transmitida su presencia en la muestra es heterogénea y escasa, sus formas son anhedrales y aciculares.

Observaciones : la roca presenta plagioclasas alteradas a sericita, ocasionada por fluidos hidrotermales. En la figura se observa minerales cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, rutilo, piroxenos opacos. La lamina muestra la alteración en los bordes de los cristales de ortoclasa y la plagioclasa alterada.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Ortoclasa	35		
Plagioclasa	25		sericita
Rutilo	5		
Piroxeno	15		
Opacos	10		
Cuarzo	10		

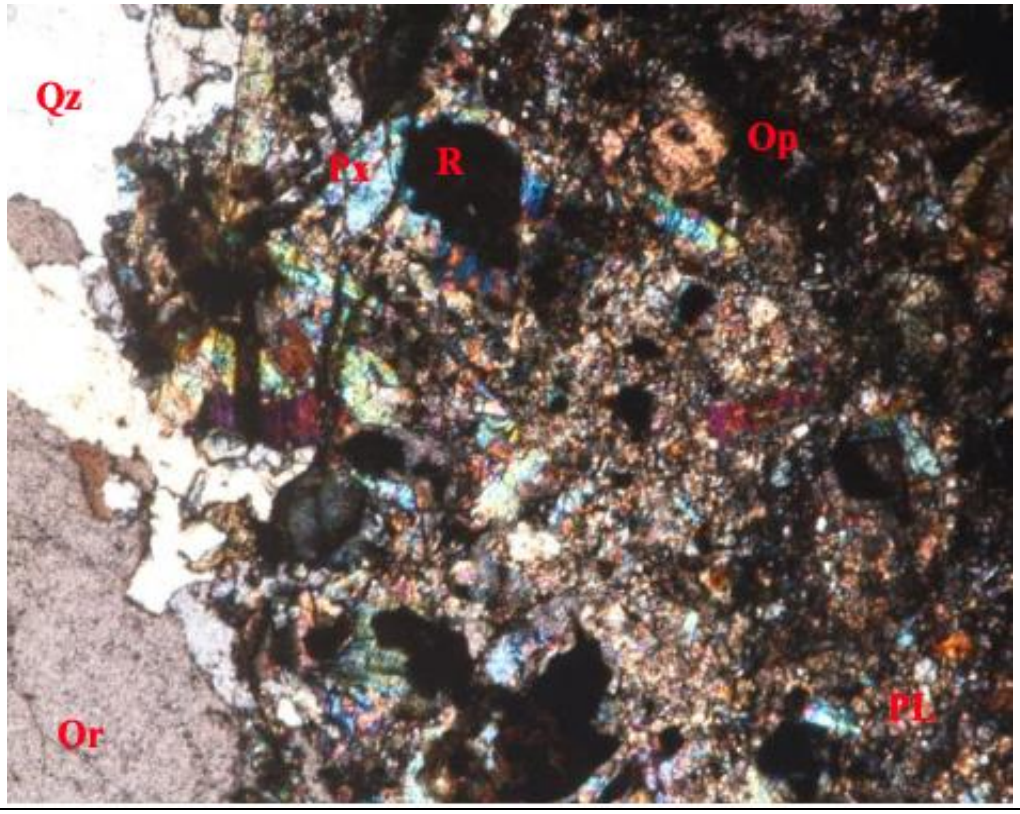


Tabla 6

Descripción de la muestra cuatro

Muestra 4

Tipo de roca: ígnea

Nombre: Foidita

Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Nefelina (ne): cristales incoloros con relieve bajo a moderado, inequigranular, anhedrales, presenta colores de interferencia gris a amarillo de primer orden, su distribución en la muestra es homogénea, presenta fracturas rellenas por minerales opacos.

Ortoclasa (Or): incolora, presenta colores de interferencia de primer orden, se presenta en cristales anhedrales, alterada a sericita y asociada a la nefelina. Opacos (Op): son oscuros en luz transmitida, se presenta de manera heterogénea en la muestra, hay de dos tipos euhedrales y anhedrales.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Nefelina	50		
Opacos	30		
Ortoclasa	20		Sericita

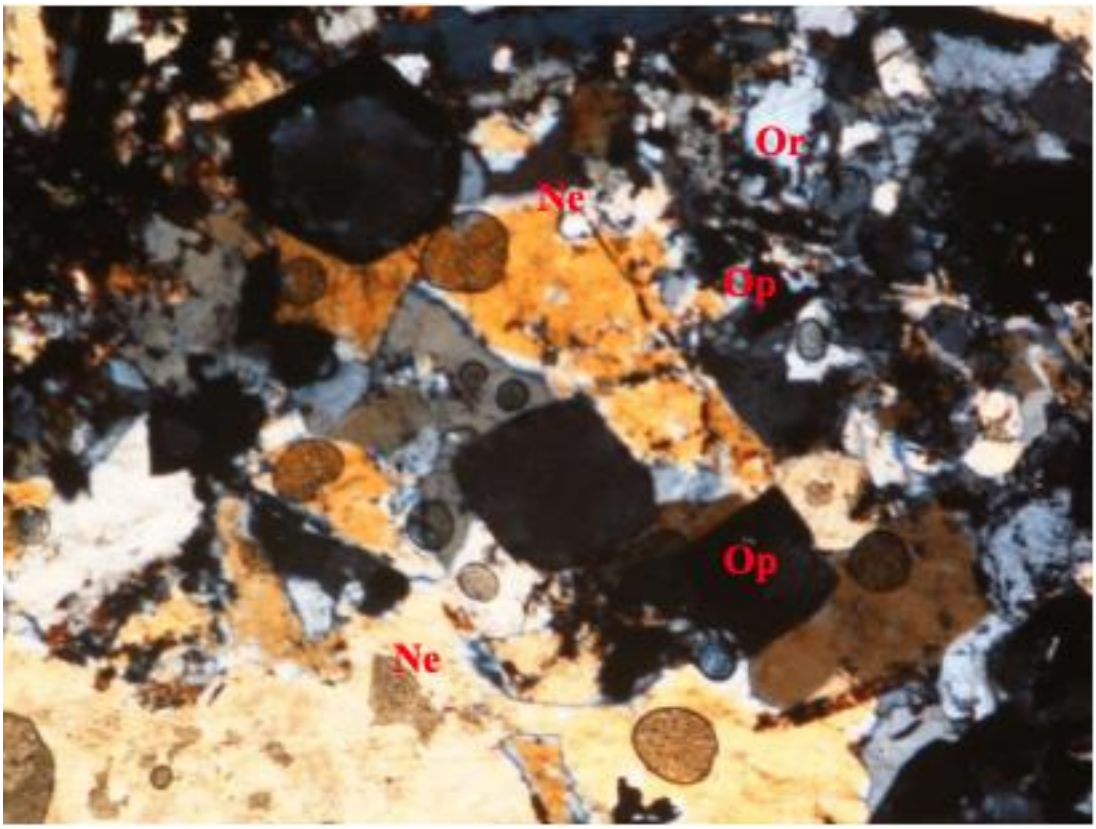


Tabla 7

Descripción de la muestra cinco

Muestra 5

Tipo de roca: ígnea

nombre: granito de feldespato alcalino

Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía:

Cuarzo (qz): cristales anhedrales incoloros, con colores de interferencia de primer orden, presenta contactos netos, se encuentran distribuidos de manera homogénea en la muestra y asociados a la ortoclasa.

Ortoclasa (Or): cristales incoloros, anhedrales alterados a sericita, se presenta de manera heterogénea en la muestra.

Opacos (Op): cristales anhedrales, su distribución en la muestra en heterogénea.

Biotita (Bt): color verde claro, con relieve bajo a medio, presenta colores de interferencia verdes de primer orden, presenta exfoliación perfecta asociado a la ortoclasa.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Cuarzo	40		
Ortoclasa	30		Sericita
Opacos	20		
Biotita	10		

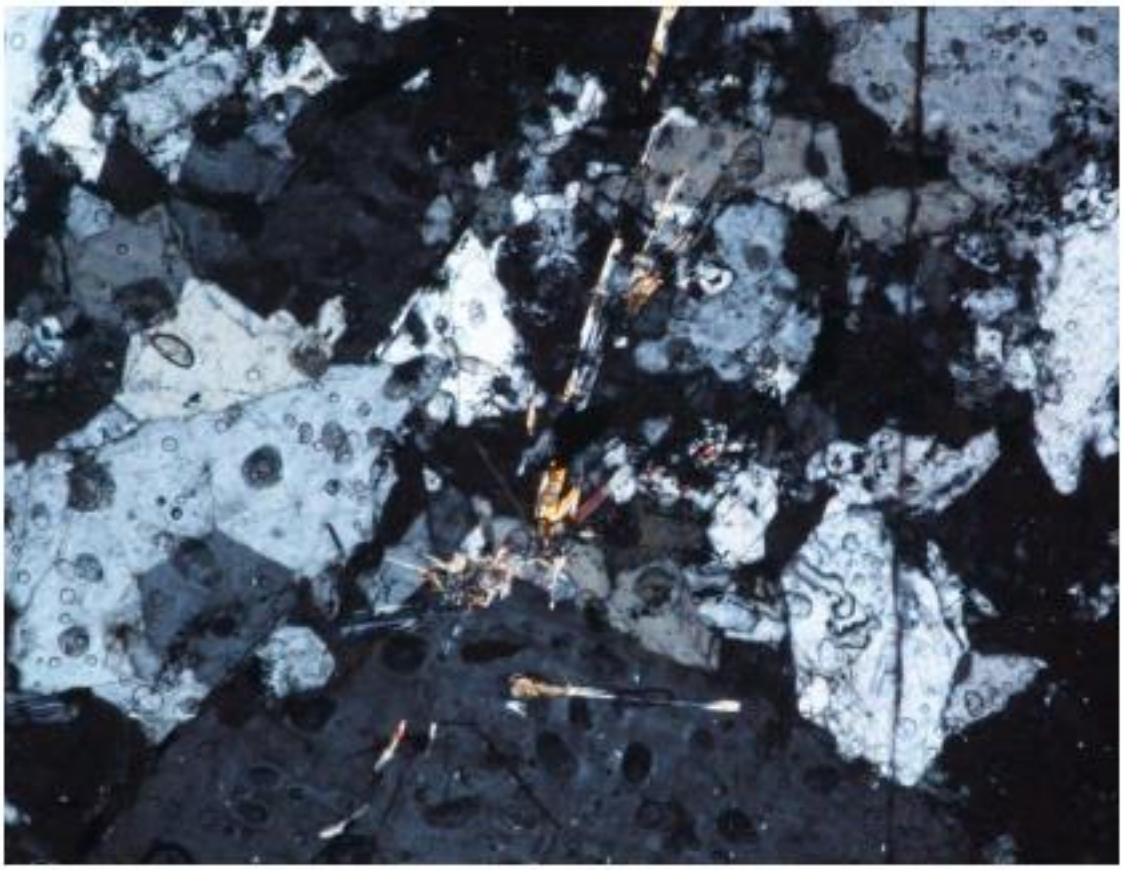


Tabla 8

Descripción de la muestra seis

Muestra 6
Tipo de roca: ígnea
Nombre: Monzogranito
Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía:

Cuarzo (qz): cristales incoloros anhedrales, presenta colores de interferencia de Blanco a gris, y sus contactos son netos.

Ortoclasa (Or): cristales incoloros, de relieve bajo con colores de interferencia de primer orden, hacia los bordes y en las fracturas se encuentra alterados a sericita.

Plagioclasa (Pg): mineral se encuentra todo reemplazado a sericita, y hacen parte de la matriz.

Opacos (Op): cristales anhedrales, se encuentran distribuidos de manera heterogénea en la muestra.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Cuarzo	30		
Ortoclasa	40		sericita
Plagioclasa	20		
Opacos	10		

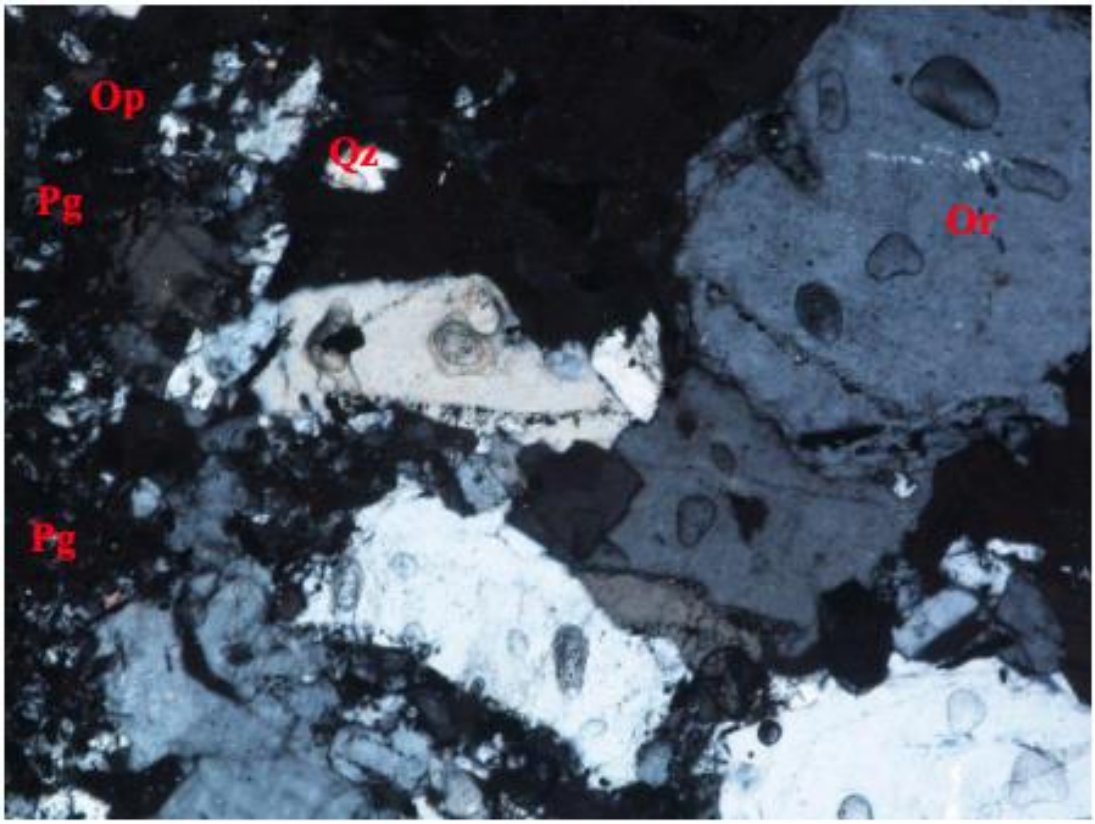


Tabla 9

Descripción de la muestra siete

Muestra 7
Tipo de roca: ígnea
Nombre: granodiorita

Textura: holocristalina

Estructura: masiva

Mineralogía :

Cuarzo (qz): fenocristales incoloros, limpios, de bajo relieve, inequigranular (tamaño del cristal varia) y subhedrales, los colores de interferencia son de primer orden, la distribución es homogénea y abundante en la muestra.

Plagioclasa (Pl): se presenta en cristales anhedrales muy empolvados por alteración, con desarrollo de agregados fino de caolinita, con colores de interferencia grises de primer orden, su distribución en la muestra es heterogénea. Feldespatos (Feld): se presenta en cristales incoloros, de relieve moderado, anhedricos, inequigranulares con birrefringencia de primer orden, con poco desarrollo de maclas, su distribución en la roca es heterogénea y escasa.

Opacos (Op): son oscuros en luz transmitida su presencia en la muestra es heterogénea y moderada, sus formas son anhedrales y aciculares.

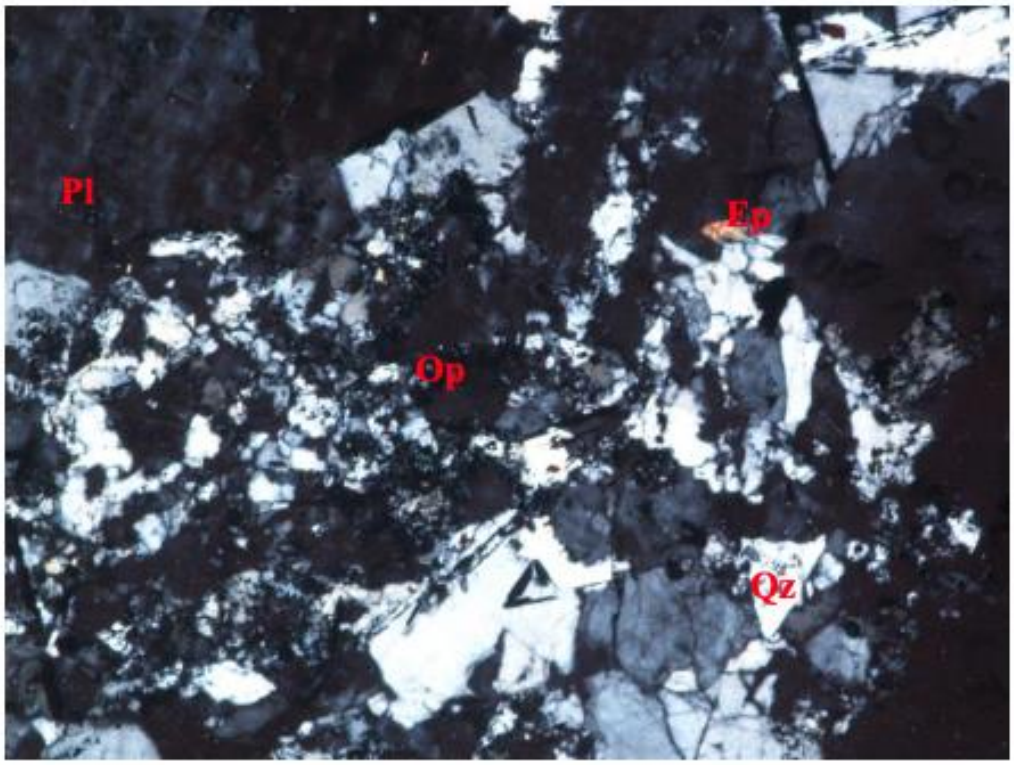
Biotita (Bt): cristales de hábito tabular, de color verde pálido pleocroicos, presenta colores de interferencia verdes de tercer orden.

Epidota (Ep): cristales incoloros, con relieve alto, presenta birrefrigencia de primer orden, se presenta como mineral de alteración de la plagioclasa. Observaciones

La distribución de los minerales opacos es moderada en la sección, por lo tanto para su identificación es necesario el análisis con microscopía reflejada.

La roca presenta plagioclasas alteradas a epidota, ocasionada por fluidos hidrotermales.

Mineral	%	Minerales Accesorios	Minerales de Alteración
Cuarzo	40	Biotita 1	
Plagioclasa	29		Epidota
Feldespato	5		
Opacos	25		



5.7 Modelo geológico y metalogénico

Durante el trabajo de campo realizado en marzo-abril de 2021, fueron identificadas varias zonas de cizalla dextrales frágiles, sub-verticales, con tendencia NNE, N-S y algunas NNW, que sobreimprimen la tendencia regional de rocas plutónicas mesozoicas. Las relaciones estructurales indican que el cizallamiento y la falla regional transcurrente son posteriores al metamorfismo regional y la intrusión de rocas plutónicas en mina pepo. El cizallamiento dextral se relaciona muy probablemente con el estrés dirigido al este en un entorno transpresivo regional.

Para este cuerpo mineral el producto geoquímico los métodos producen las indicaciones más extensas de mineralización de sulfuros y los otros métodos de prospección dan la más precisa ubicación del mineral.

A lo largo de la sección, varias anomalías cientos de metros en dirección NNE asociadas a puntos de actividad minera artesanal. Casi en su totalidad el terreno se encuentra cubierto de una capa entre saprolito y regolito la cual cubre la mineralización presente dentro del área de trabajo. Se presentan fragmentos de venas de cuarzo, sulfuros y vetillas con turmalina de más de tres metros de espesor, en los recorridos realizados hasta ahora no se evidencia la presencia de gossan, pero los datos geofísicos y geoquímicos producen anomalías asociadas a los fragmentos de venas mineralizadas.

El contenido de Au en las muestras de suelo muestra áreas anómalas sobre áreas que se extienden sobre el cuerpo mineral oculto. La pregunta crítica sobre los datos del suelo es si la anomalía puede atribuirse únicamente a los minerales expuestos. Los datos geoquímicos ciertamente favorecerían la exploración en esta área; sin embargo, el área subyacente por el este, el cuerpo mineral forma solo una parte relativamente pequeña del total área cubierta por suelo rico

en Au, que presumiblemente podría considerarse favorable para la exploración sobre la base de los datos geoquímicos y la concurrencia de los resultados de susceptibilidad magnética.

Los datos magnéticos indicaron una fuerte anomalía de aproximadamente 110 metros de ancho sobre el cuerpo de mineral oculto. El ancho de cada anomalía bien podría indicar la presencia de un gran cuerpo magnético en profundidad, y sin duda proporciona una mejor guía para los cuerpos mineralizados en profundidad.

Las investigaciones en el área de interés para el are en intención busca indicios de áreas potenciales con sulfuros auroargentíferos que permitieron el uso de diferentes técnicas de prospección geológica, geofísica y geoquímica. Los métodos geoquímicos son directos; una anomalía de Au en el suelo residual, sin duda, indica la presencia de Au. Sin duda con la ayuda de las técnicas analíticas, como el análisis ICP-OES, brindan la oportunidad de descubrir valiosas concentraciones de elementos raros que de lo contrario podría pasar desapercibido. Debido a que las anomalías geoquímicas son amplias, el muestreo pudo ser realizado a intervalos espaciados y esta área pudo ser investigada en un tiempo relativamente corto.

En contraste con los métodos geoquímicos, los geofísicos son indirecto; las anomalías geofísicas podrían indicar una concentración del mineral buscado o alguna otra roca con propiedades físicas similares, los resultados obtenidos en conjunto con los datos geoquímicos permitieron identificar propiedades de la mineralización en la roca sustrato.

Los datos geológicos son particularmente difíciles de evaluar, con relación al origen de la mineralización, guías de prospección geológica en el proyecto auroargentífero de sector mina pepo están lejos de ser perfectos. Las observaciones geológicas, sin embargo, favorecen una proponer un origen hidrotermal con fallamiento y bifurcaciones locales de las venas. En terreno se observó

una falla local que detuvo el avance de los trabajos en el túnel principal. Este fallamiento explica en gran parte por qué el cuerpo se desapareció a la vista de los mineros y proporciona alguna justificación para explorar en busca de cuerpos ocultos similares en otros lugares. En la zona de la escuela se presenta un cruce del cuerpo mineralizado.

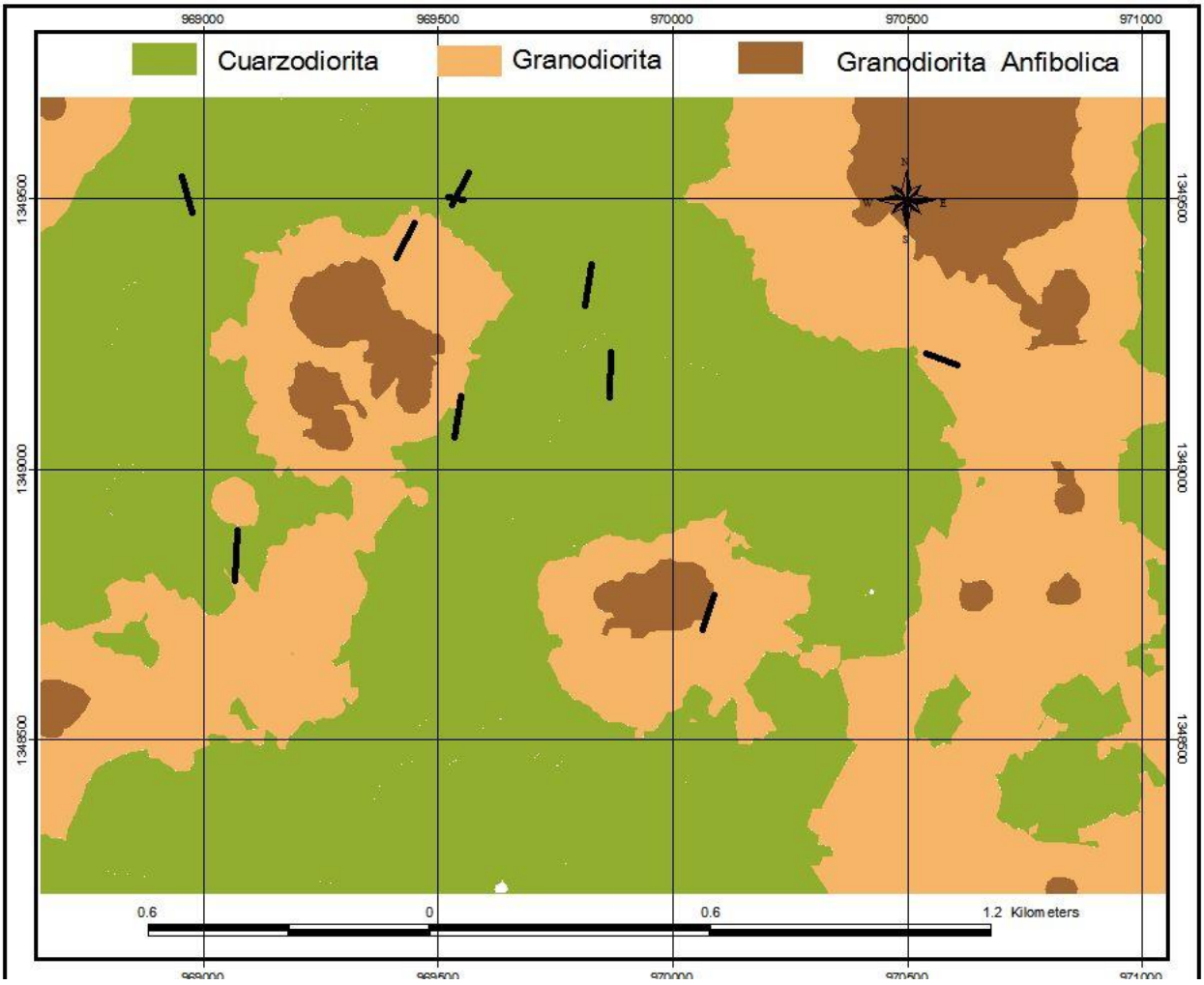
La relación genética entre la tectónica transcurrente dextral, el plutonismo calco-alcalino y la mineralización de metales preciosos en sector mina pepo no está bien establecida aún, es por ahora una interpretación preliminar. El mapeo geoquímico indica que existe una relación espacial entre las dioritas y la mineralización. Las anomalías multi elementales relacionadas con metales preciosos más prominentes siguen a un contacto diorita (fig. 34). Esta relación espacial sugiere dos posibles interpretaciones para el origen de la mineralización de metales preciosos en mina pepo.

En primera instancia, se propone que la mineralización de metales preciosos en sector mina pepo ocurrió durante la evolución magmática de la etapa tardía del complejo plutónico intermedio a félsico. En consecuencia, la mineralización de metales preciosos podría ser el resultado de la circulación hidrotermal a alta temperatura alrededor de las intrusiones dioríticas durante la etapa de enfriamiento del conjunto plutónico principal. Los depósitos de oro diseminados relacionados con intrusiones se alojan comúnmente en fracturas rellenas, diques y zonas fracturadas que representan fases magmáticas relacionadas durante la evolución de los plutones mucho más grandes. Es de destacar que el cuerpo principal de diorita en sector mina pepo tiene una tendencia NNE casi lineal que corta directamente a través de una topografía muy empinada. Además, el margen occidental de la diorita sigue localmente los contornos topográficos. Estas relaciones de contacto, siguiendo la regla de "v" s, indican que la diorita representa un dique casi vertical a escala kilométrica que se inclina abruptamente hacia el oeste. La interpretación de la inclinación hacia el

oeste sugiere que las anomalías geoquímicas multielementales al oeste de la diorita están estratigráficamente por encima de la intrusión. Por lo tanto, las anomalías de elementos múltiples y la alteración potásico-silícea asociada podrían estar relacionadas con un sistema hidrotermal inducido por la intrusión de las dio.

Figura 24

Mapa litogeoquímico. Fuente: Mantilla O. W (2021, reporte interno mina pepo.



Según a la figura anterior, as anomalías de elementos múltiples más prominentes siguen a la diorita a lo largo de su contacto intrusivo y en zonas de actividad minera artesanal. En el noreste, hacia el sur, otro cuerpo de diorita también exhibe una relación espacial con la anomalía de elementos múltiples. Las dioritas y las cuarzodioritas han sido discriminadas usando litogeoquímica. La unidad más rica en biotita ha sido mapeada con base en observaciones de campo y contraste litogeoquímico. Las anomalías de elementos múltiples se estimaron utilizando la técnica de sumas ponderadas para 16 elementos objetivo y elementos guía (pathfinder), incluidos Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se

En segundo lugar, es digno de mención que la mineralización de oro en sector mina pepo se distribuye en las rocas plutónicas siguiendo direcciones preferenciales. Dos anomalías subparalelas en dirección NNE primordialmente en rocas plutónicas. Estas relaciones estructurales sugieren que la mineralización de metales preciosos en sector mina pepo se localiza preferentemente alrededor de variaciones litológicas. Durante la tectónica regional transcurrente, los contactos litológicos se comportan como zonas de máximo contraste reológico a lo largo de las cuales se localiza preferentemente la deformación, el flujo de fluidos y la mineralización. En consecuencia, la mineralización puede ser posterior a la intrusión de la diorita y podría haberse formado durante el cizallamiento dextral regional debido a la reactivación de los contactos litológicos. En esta interpretación alternativa, la mineralización de oro y plata en el sector mina pepo representa un sistema mineral de metales preciosos orogénicos. Los depósitos de oro orogénico se forman durante la deformación de las rocas metamórficas y volcano-plutónicas, se localizan en diferentes niveles de la corte

y se pueden alojar en varias litologías que han estado sometidas a una deformación dúctil y frágil durante los principales episodios de retrabajamiento tectónico

Sin lugar a duda las evidencias de campo son poco densas, por tanto, es difícil formular con precisión el modelo genético para la mineralización en sector mina pepo y los dos modelos descritos anteriormente son probables. Sin embargo, la falta de trabajo estructural detallado deja sin resolver el momento de la deformación en relación con la mineralización.

Independientemente del origen genético de la mineralización, existe una conexión clara entre los contactos litológicos y la mineralización. Es necesario tener en cuenta estas relaciones espaciales durante los estudios geofísicos a escala de distrito, dado que las diferencias en las propiedades magnéticas localizarán las estructuras geológicas y los contactos litológicos; cuales son las zonas con mayor potencial mineral.

Las características geométricas de las anomalías monoelementales y multielementales sugieren la presencia de cuerpos alargados oblongos de algunos cientos de m a lo largo del tren y una cuelga significativa. Estas anomalías probablemente representan sistemas de venas y fracturas rellenas ricas en oro y plata. Los cuerpos elongados están bien indicados por: (1) anomalías de tendencia NNE después del contacto diorita alrededor. Además de las anomalías oblongas, hay anomalías que ocurren en áreas más grandes y pueden indicar mineralización diseminada

Hay dos zonas grandes de diámetros sin definir, pero indicando una dimensión mayor a 200 m, hacia el margen central y occidental del área de muestreo. Estas zonas presentan una firma geoquímica que indica altas concentraciones de fondo para Au-as-Ag y una fuerte alteración de potasio-silicio con valores significativos de b. Estas zonas se bifurcan hacia el oeste y pueden representar la débil respuesta geoquímica de un sistema profundo y expuesto moderadamente con mineralización de metales preciosos alojada en vetas.

Dado que las técnicas de prospección geológica, geofísica y geoquímica cada uno tienen ventajas características, es casi evidente que los mejores resultados para depósitos como este, no se pueden obtener mediante el uso de una técnica en particular, sino mediante el uso de los tres en combinación, aparte de un estudio estructural detallado.

La coordinación de diferentes técnicas de prospección puede ser de considerable importancia para programas de prospección sistemática. Comúnmente, la técnica de reconocimiento se utiliza para cubrir toda el área que se está siendo explorada y para descartar partes de ella que no presenten potencial productivo. En esta fase siguiente se podrán utilizar técnicas de detalle sobre los objetivos de exploración identificados.

6. Conclusiones

A partir de la geología de superficie se determinó que el grupo de estructuras mineralizadas n25°e/75-85°sw es el más importante en el área, corresponde a estructuras continuas que coinciden con la dirección general de los sistemas de fallas la escuela. La analogía entre este grupo de estructuras y las zonas mineralizadas confirmadas a través de información de afloramientos de cuerpos mineralizados georreferenciados, confirma similitud entre la dirección y buzamiento de las estructuras, aunque su litológica y mineralógicamente presenten algunas diferencias; se permite una correlación directa y clara entre ellas.

El comportamiento geoquímico y mineralógico en estas áreas tradicionalmente mineras cercanas al área de interés sugiere que el oro está ligado a anomalías de zinc y plomo con valores de arsénico en menor medida, esta relación mineralógica y geoquímica asimilable a la encontrada en el área de interés, donde los valores importantes de oro están asociados a altos valores de arsénico y en gran medida a valores anómalos el zinc y plomo, lo que sugiere que estos eventos están íntimamente relacionados, además de abrir una nueva frontera exploratoria en el área.

La paragénesis mineralógica refleja tres eventos hidrotermales principales que afectaron el cuerpo rocoso, el primero de ellos se caracteriza por el venilleo de carbonatos, turmalina (mineral de alta temperatura) y cuarzo sin mineralización asociada. Un segundo evento caracterizado por la presencia de venas y venillas de cuarzo y sílice negra (Clorita+Turmalina+Epidota) fuertemente asociados a la aparición de sulfuros como pirita y arsenopirita, en menor medida esfalerita, calcopirita y galena. Finalmente un evento con

Fuerte venilleo de carbonatos irregulares sin presencia de sulfuros, estas venillas caóticas Cortan estructuras anteriores confirmando que es el último evento registrado.

Las características geológicas, los sulfuros y metales asociados, anomalías de arsénico, cobre y plomo y otros, además de la presencia de minerales de alta temperatura (turmalina, magnetita) sugiere como posible clasificación un deposito vetiforme-brechado-hidrotermal epi- mesozonal de media a baja sulfuración, con fuerte control estructural, magmático-hidrotermal, de tipo halógeno rico en boro.

El área de muestreo se encuentra en un régimen de forma de zonas erodadas dominado principalmente por el saprolito residual fuertemente erosionado.

Los datos de campo y geoquímicos indican la aparición de gneises y una suite plutónica intermedia a félsica. La suite plutónica es una intrusión compuesta de dioritas y dioritas de cuarzo.

Durante la fuerte meteorización, la concentración de la mayoría de los elementos objetivo y elementos guía se enriqueció residualmente. Estos elementos incluyen Au, Ag, As, S, Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, Sb, Bi, Hg, Te, In, Sn y Se.

Hay varias anomalías geoquímicas de un elemento y multielemento. Estas anomalías están relacionadas espacialmente con las actividades mineras artesanales locales en mina pepo.

Una evaluación cuidadosa de las anomalías geoquímicas contra el intemperismo indica que las anomalías de los metales preciosos no son anomalías positivas falsas debido al enriquecimiento residual de Au y Ag durante el proceso de intemperismo. Las anomalías normalizadas con aluminio son similares a las contrapartes no normalizadas que indican que las anomalías reflejan la mineralización primaria hipógena.

La concentración anómala de SiO2, K2O, Cs y Rb sugiere la presencia de una alteración hidrotermal potásica y silícea relicta. La silicificación y el enriquecimiento de elementos alcalinos (K, Rb y Cs) son procesos metasomáticos comunes asociados espacialmente con la mineralización del oro.

La alteración de los elementos potásicos-silícicos relictos (se refiere a algo que ha sobrevivido de un periodo anterior o de forma primitiva) se asocia espacialmente con anomalías en los elementos de objetivo y elementos guía. Las muestras sobreimpresas por la alteración potásico-silícica se enriquecen sistemáticamente en los elementos de objetivo y elementos guía, en relación con aquellos que no se ven afectados por esta alteración hidrotermal.

El modelo genético de la mineralización en sector mina pepo sigue siendo controvertido dada a las restricciones geológicas de campo. Un trabajo estructural detallado resolverá este problema.

El estudio geofísico de campo proporciona nueva información sobre la relación entre las anomalías geoquímicas de la superficie y la mineralización potencial en profundidad. El estudio geofísico ayudará a planificar mejor las ubicaciones de los trabajos y sus orientaciones óptimas.

Los insertos de mapeo cokriging son una herramienta útil para el mejorar la definición de los mapas realizados, pues al trabajar a través de correlación espacial con parámetros de ala afinidad, se generan estimadores de valores en sitios que no se conocen, generando clases intermedias que suavizan las graficas resultantes, eliminando los cambios bruscos que se generan en métodos que trabajan únicamente con los datos que se están interpolando.

7. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a ampliar las áreas de exploración, identificar nuevas anomalías geoquímicas y probar las anomalías geoquímicas para la mineralización:

En principio lo más importante es definir la situación administrativa legal del territorio ante las autoridades mineras, anm.

La cuadrícula de muestreo geoquímico debe extenderse hacia el este, el sur y el norte. Con el inconveniente de la extensión y forma del área

Es necesario realizar un estudio detallado de geología estructural de campo en áreas alrededor de sector mina pepo para restringir mejor el modelo de mineralización. Un estudio estructural apropiado (de tres a cuatro semanas) en torno a los afloramientos de buena calidad expuestos al oeste de la red de muestreo proporcionará la información adicional necesaria.

Es prudente, desarrollar el estudio estructural a detalle previo a recomendar sitios específicos de ampliación de la exploración detallada y desarrollo minero.

El mapeo geológico y estructural debe llevarse a cabo en las minas subterráneas disponibles para comprender los mecanismos y el momento de la mineralización.

En concordancia con las actividades que desarrolla la asociación de mineros de mina pepo, es recomendable que la información presente en este trabajo de grado sea socializada en diferentes actividades de modo que la información sea distribuida de manera clara.

Referencias Bibliográficas

Acosta, Leticia, Martínez, Carlos, & Garrido, Hellen. (2015). Métodos geofísicos aplicados a la optimización de diseños en minería: una revisión. *Revista Agunkuyâa*, *5*(1).

Adrián, Guillén Cedeño Rogger. (2020). *Caracterización geológica y geotécnica de los materiales en la cantera de no metálicos AGRE SA, cantón Portoviejo, provincia de Manabí.* Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

Alleva, José R Arce, & Kalinaj, Miroslav. (2017). El Método Geofísico de Polarización Inducida de Señal Completa y en Configuración Distribuida AG-IPDAS, Aplicado al Modelamiento de la Estructura Mineralizada Nazareth, Proyecto Quenamari, Puno.

Andrés, Mario, & Sánchez, Oscar. (2020). Modelado geométrico de hidrofacies aplicado al sector norte de Bucaramanga, Santander, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *11*(4).

Arias, Andrea. (2020). Fortalecimiento de las metas del componente ambiental del municipio Santa Rosa del Sur Bolivar.

Asociación de Mineros de mina pepo. (2020). Descripcion de terreno y actividades del sector solicitado, oro, plata, en sector mina pepo, municipio de santa rosa sur.

Bertuluci, Fernanda Barbosa. (2020). Análise das condições de percolação em barragem de terra a partir do método geofísico da eletrorresistividade.

Buitrago, Jaime Mojica, Pulido, William Andrés, Sánchez, Óscar David Cardona, Hernández, Paulo Duarte, Abueta, Fhilly Mabel, Concha, Harold Iván, . . . Torres, Fuentes. (2019). Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso del mercurio. Zaragoza (Antioquia). *Libros del Servicio Geológico Colombiano*.

Campos, M, Clavijo, R, Mendizabal, F, Zamudio, W, Baraona, Ruth, & Diaz, G. (1996). Infrared spectrum of the bis-(1, 10-phenanthroline) Cu (I) and Cu (II) perchlorate complexes. *Vibrational spectroscopy, 12*(1), 37-44.

Cantarella, Sara Angela. (2020). Applicazione di indagini geofisiche: il sottosuolo e la sua contaminazione. *Authorea Preprints*.

Clavijo, Jairo, Mantilla, Luis, Pinto, Jorge, Bernal, Luís, & Pérez, Adrián. (2008). Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noroeste de la Cordillera Oriental. *Boletín de Geología, 30*(1), 45-62.

Cruz, Felipe Guadalupe, Reza, Michelle, Gabaldón, Aylín Yarely, Márquez, María Guadalupe, & Beltrán, Blanca Gladiana. (2020). Espectroscopía de fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF): Validación y aplicación en suplementos alimenticios. *https://revistatediq. azc. uam. mx/Docs/Revista_TeDIQ_2020. pdf*.

Cruza, Felipe, Castellanosa, David, Serranob, Ibiza, Sánchezc, Víctor H, Ibarrad, Claudia Patricia, Navarrod, Silvia V, & Piñaa, Blanca Gladiana. (2020). MONITOREO AMBIENTAL DE Pb Y Cr EN MUESTRAS MARINAS POR ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR REFLEXIÓN TOTAL (TXRF).

Chuquimia, Rolando René, & Choque, Rigoberto. (2019). *Determinación de la concentración de metales en aguas subterráneas y superficiales del Municipio de Viacha por fluorescencia de rayos X-reflexión total.* Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Ciencias Puras y Naturales ….

De la Cruz, Egim Fernando. (2018). Fluorescencia de rayos X y su aplicación en la determinación de elementos químicos en determinadas muestras.

Díaz, Luis Maria. (2018). Caracterización geológica y geotécnica del subsuelo urbano de Avilés y su entorno.

Duarte, Jalexis Adelaida, Contreras, Manuel Antonio, & Torres, Jairo Alberto. (2020). Caracterización geotécnica del subsuelo en el relleno sanitario regional “la Cortada”, Pamplona (Norte de Santander) a partir de datos geofísicos. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2*(36), 9-17.

Flores, Marizol Giovana, Quintanilla , Jorge, & Castro, Chugara. (2019). *Análisis de aguas empleando la técnica de fluorescencia de rayos X en reflexión total y ensayos fisicoquímicos de aguas, suelos sedimentos y plaguicidas.* Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Ciencias Puras y Naturales ….

Ganampa, David Elard. (2020). Optimización del cálculo de la ripabilidad de un macizo rocoso mediante el método geofísico de refracción sísmica del proyecto “Amalfi–Habilitación Urbana, DPI–Surco”, Lima.

García, Carlos, Correa, Karen, Mantilla, Luis , & Bernal, Luis. (2009). Aspectos petrográficos y geoquímicos de las rocas metamórficas del sector Barranco de Loba (Serranía de San Lucas). *Boletín de Geología, 31*(1), 45-60.

García, Gilberto Zapata, & García, Gabriel Rodríguez. (2011). Basalto de El Botón, arco volcánico mioceno de afinidad shoshonítica al norte de la cordiillera occidental de Colombia Basalto de El Botón, miocene volcanic arc of shoshonitic affinity to the north of cordillera occidental of Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*(30), 77-92.

Guerra, Jesús Alberto Torres, Cáceres, Denis Mejía, Ramos, Patrick Moreyra, Grados, Jairo Oré, & Barrientos, Santos Oscco. (2021). Geometalurgia y el futuro de la minería digital en el Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 24*(47), 163-179.

Hernández, Mayra Fernanda, & Serrato, Oswaldo Francisco. (2020). Aplicación del método geofísico de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) para la caracterización

dinámica del suelo del Proyecto Especial Parque Industrial de Trujillo, ubicado en el sector la Pascona km. 598, distrito de Chicama, provincia de Ascope, departamento La Libertad.

Mamani, Manolo Reinario. (2019). Caracterización geomecánica en minería superficial: un caso de estudio.

Manchego, Ana , & Peña, Geraldine (2018). Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de la vereda Helechal y Guasimal del municipio de Tena departamento de Cundinamarca.

Méndez, Fanger G, & Mora, Yasdey A. (2018). Caracterización geológica-geotécnica entre los municipios Baruta y El Hatillo, Caracas, Distrito Capital.

Méndez, Fanger G, & Mora, Yasdey A. (2019). Caracterización geológica–geotécnica entre los municipios baruta y el hatillo, caracas, distrito capital tomo I.

Menéndez, Ignacio. (2017). *Interación de las arenas en Facies Utrillas en las obras de ingeniería civil: revisión documental y caracterización geológica-geotécnica.* Caminos.

Asociación de Mineros de mina pepo. (2020). Descripcion de terreno y actividades del sector solicitado, oro, plata, en sector mina pepo, municipio de santa rosa sur.

Montenegro, Renán Marcelo. (2018). *Caracterización geológico y geotécnico para la factibilidad avanzada del proyecto represa El Tigre como parte del proyecto hidroeléctrico Guayllabamba.* Quito: UCE.

Mora, Gloria, & Sulbarán, Josué. (2020). Estudio geológico y geotécnico de una zona ubicada entre la Rinconada y Antímano, Distrito Capital.

Morales, Mario Orlando. (2019). Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke.

Muñoz , Carlos Daniel, & Corredor, Andrea Paola. (2018). *Caracterización geológica, geotécnica y geomorfológica para la sectorización por tramos homogéneos: caso de estudio: 19, 7 km*

de la carretera que comunica al municipio de Anorí con la vereda Alto de La primavera, Antioquia. Universidad EAFIT.

Negrete, Jorge Alexander. (2020). *Validación de métodos para la medición de presión de vapor según ASTM D5191 en matriz de gasolina y del contenido de azufre por espectrometría de fluorescencia de rayos-X según ASTM D4294 en matrices de diésel y queroseno.* Quito: UCE.

Ordóñez, Jorge, Auvinet, Gabriel, & Juárez, Moisés. (2015). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería, investigación y tecnología, 16*(3), 453-470.

Ordóñez, Jorge, Auvinet, Gabriel, & Juárez, Moisés. (2019). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería, investigación y tecnología, 16*(3), 453-470.

Orduz Mantilla, W. (2019). *Informe geológico preliminar para solicitud de ARE MINA PEPO. informe interno*. Autor.

Orduz Mantilla, W. (2021). *Caracterización geológica del área en intención de reserva especial (ARE) en MINA PEPO, municipio de SANTA ROSA DEL SUR, BOLIVAR. Informe interno*. Autor.

Ortega, Luis, & Sepulveda, Leidon. (2020). *Determinacion de los perfiles de velocidad de onda cortante en la zona sur oriental de la ciudad de ocaña, ns mediante el metodo geofisico pasivo: remi.*

Pesántez, José Luis. (2017). *Caracterización geológica y geotécnica en el área minera" El Corazón", para el diseño de una relavera.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Quinto Nevárez, Stefania Valeria. (2018). *Caracterización geológica-geotécnica del macizo rocoso del cuerpo mineral del yacimiento Loma Larga.* Quito: UCE.

Rey, Jeisson. (2008). La explotación minero aurífera ilegal en el sur de Bolívar Colombiano; análisis en el distrito minero de Santa Rosa (2002-2008). *Trabajo de pregrado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga*.

Rivera, Sebastian, Gonzalez, Sergio, Viveros, Livaniel, & Mejía, María Victoria. (2020). Identificación y caracterización de la amenaza generada por fenomenos de remoción en masa, dos estudios de caso en el departameto del Huila, Colombía.

Rodríguez, Roberto, García, Cristobal, Zarroca, Mario, Roqué i Pau, Carles, Linares Santiago, Rogelio, & Oldecop, Luciano. (2018). Características geológicas y geotécnicas de los lodos de flotación de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (SE España). © *Boletín Geológico y Minero, 2011, vol. 122, núm. 2, p. 127-144.*

Rojas, Joselyn Roxana. (2018). *Caracterización geológica–geotécnica de los taludes a lo largo del canal de conducción del Proyecto Hidroeléctrico Palmira y su evaluación y medidas de mitigación.*

Sánchez , Eddy Fernando. (2018). *Caracterización geotécnica del centro norte de Quito relacionada con el uso y ocupación del suelo por obras civiles.* PUCE.

Santos, João Vitor Da Silva, Barros, Iara Ribeiro, & Surya, Leandro. (2021). Geofísica como Ferramenta para Sensoriamento Remoto de Sítios Arqueológicos no Semiárido Brasileiro.

Sanz, Ángel, París, Teresa, Pons, Juan, & Videira, Juan. (2019). El descubrimiento del Yacimiento de la Magdalena. Protagonismo de los métodos geofísicos en la exploración de yacimientos tipo sulfuros masivos vulcanogénicos (vms) profundos en la faja pirítica ibérica. *Boletín geológico y minero, 130*(2), 213-230.

Silva Hernández, Ricardo Andrés, & Navas Poveda, Jhoan Sebastián. (2020). Caracterización geotécnica y estudio geológico regional de un suelo arcilloso procedente de la formación Bucaramanga.

Solano, Juan Pablo. (2020). Aplicación de los métodos geofísicos en estudios geotécnicos.

Villarroel, Cristian Daniel. (2019). 1.1 Rol de la Geofísica en la prospección. Su vinculación con la geología. 1.2 Clasificación de los métodos geofísicos de prospección. 1.3 Aspectos generales en la obtención y presentación de información geofísica. 1.4 Criterios de selección de método geofísico a utilizar.

Zinetti, Anna. (2020). Analisi di fattibilità sull'utilizzo di metodi geofisici per lo studio della frana di Piuro (SO).

Apéndices

Apéndice A. Recibo 1 de envío de muestras a exploración geoquímica

SGS

CONFIRMACION DE SOLICITUD DE ANALISIS

Cuando se refiera de sus muestras, por favor citar:

Orden de Trabajo No. GQ2100178

Para:

MANTILLA ORDUZ WILLIAM

CARRERA 17 # 47 - 95

Tel: 3214472984
Fax:

Fecha de Recepción: 18/05/2021

PROYECTO No:
PEPO-Sta Rosa

ALMACENAJE DE CONTRAMUESTRAS:
Las contramuestras finas y gruesas seran almacenadas sin costo los primeros noventa (90) días después de la presentación del Informe de Ensayo.
Despues de los tiempos antes establecidos el costo de almacenaje sera: US$ 0.20\Contramuestra Fina y US$ 0.50\Contramuestra Gruesa por treinta (30) días.
Nota 1: Cada contramuestra gruesa sera almacenada en bolsa de plastico y las mismas seran devueltas dentro de un saco de polipropileno.
Cada contramuestra fina sera almacenada en bolsa de papel y las mismas seran devueltas dentro de una caja de carton.

TIPO DE MUESTRA: Exploration Sample

TIEMPO DE ENTREGA DE RESULTADOS:
PREPARACIÓN: Dos (2) días.
ANÁLISIS: Resultados en Cinco (5) días para análisis de Oro* y nueve (9) días para otros elementos; después de que las muestras hayan sido recepcionadas, verificadas y registradas en el sistema del Laboratorio Geoquímica.
* Excepto análisis de Oro por Separación de Metálicos.

TIEMPO DE ENTREGA DE RESULTADOS URGENTES - RUSH:

PREPARACIÓN: Dos (2) días.
ANÁLISIS: Resultados en Tres (3) días para análisis de Oro* y Seis (6) días para otros elementos; después de que las muestras hayan sido recepcionadas, verificadas y registradas en el sistema del Laboratorio Geoquímica. * Excepto análisis de Oro por Separación de Metálicos.

CODIGOS DE SERVICIOS REQUERIDOS:

DIG12C	DIS94	DIS95	FAA313	FAG303	LOG02	PKP01
PMI_CH	PRP93	PULAD				

AAS12C (Ag)

NUMERO DE MUESTRAS: 11

ID MUESTRAS DEL CLIENTE:

T1	T2	Muestra 3	Muestra 4
Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11 MC-EA	

SGS Colombia S.A.S.
Carrera 52 N° 14 Sur 26 Av. Guayabal - Medellin, Colombia
+57 (4) 3201080
www.co.sgs.com

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

SGS

ACKNOWLEDGEMENT OF ANALYTICAL REQUEST

When referring to the samples, please quote:
Work Order No. GQ2101054

To:

SGS COLOMBIA S.A
Cra. 52 No. 14 sur 26 Medellin - Colombia.

Atn:

Tel: (574) 309 45 08
Fax: +57 (4)

We have received a shipment on 25/05/2021

PROJECT NO:

GQ2100178 (OL74740) William Mantilla Orduz

SAMPLE TYPE: Muestra Exploración Geoquímica y/o Menas

NUMBER OF SAMPLES: 12

Initial Sample: T1

Final Sample: Muestra 3

ANALYTICAL REQUEST:
ICM14B

We thank you for your order.

Juan José Caqui Sotelo
Data Center Minerals

DATED: 25/05/2021

Subject to SGS General Terms and Conditions

SGS del Perú S.A.C
Av. Elmer Faucett 3348 Urb. Bocanegra - Callao, Callao, Perú
+51 (1) 5171900 +51 (1) 5754089 www.sgs.com

Member del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

Apéndice B. Confirmación de solicitud de análisis geoquímico

SGS

CONFIRMACION DE SOLICITUD DE ANALISIS

Cuando se refiera de sus muestras, por favor citar:

Orden de Trabajo No. GQ2100178

Nota 2: Los resultados de análisis pueden ser visualizados y seguidos en tiempo real a través de la pagina web www.qlab.sgs.com

Agradecemos su pedido

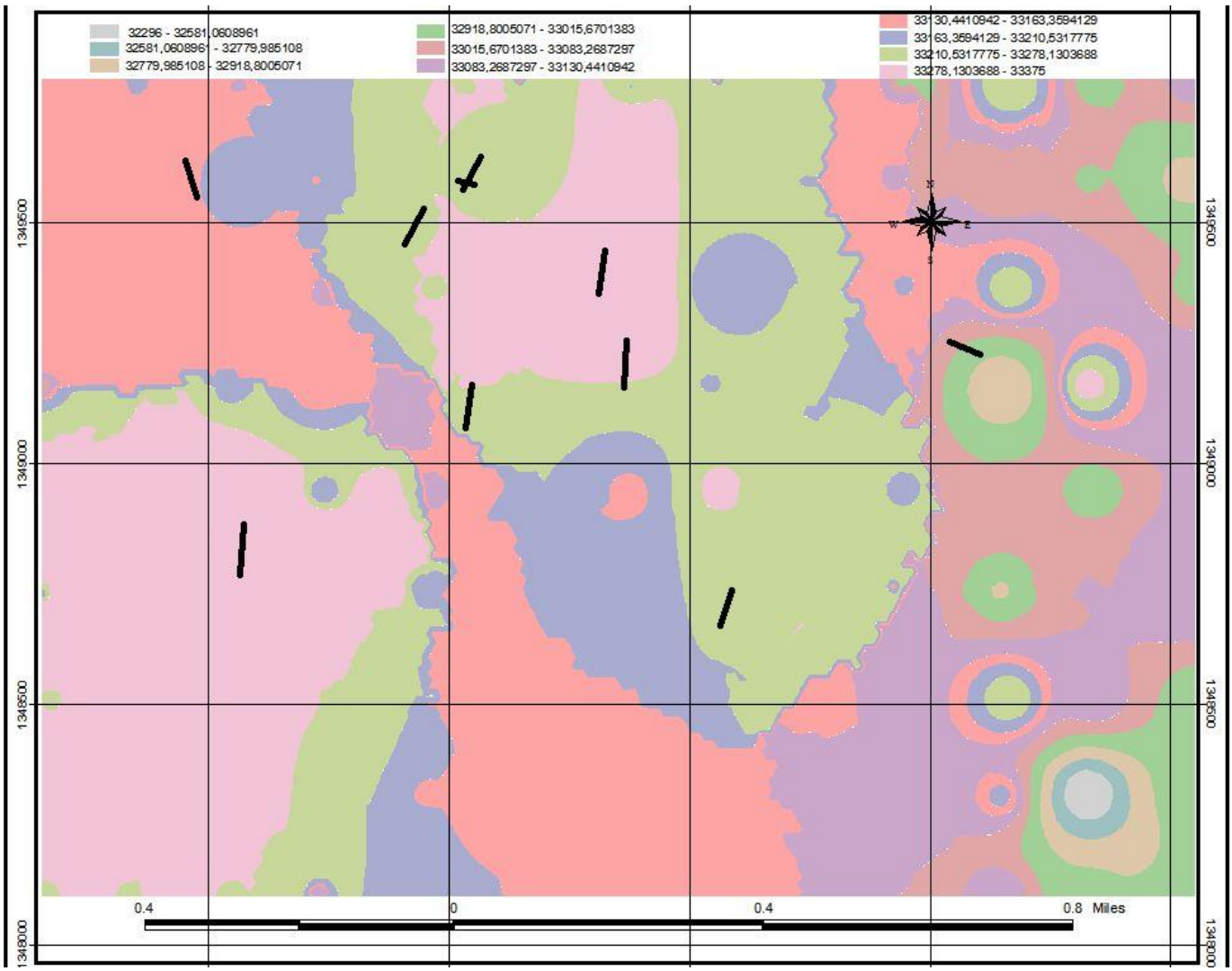
Elaborado por : **Minerals Services** **FECHA:** 26/05/2021

Sujeto a Términos y Condiciones Generales SGS

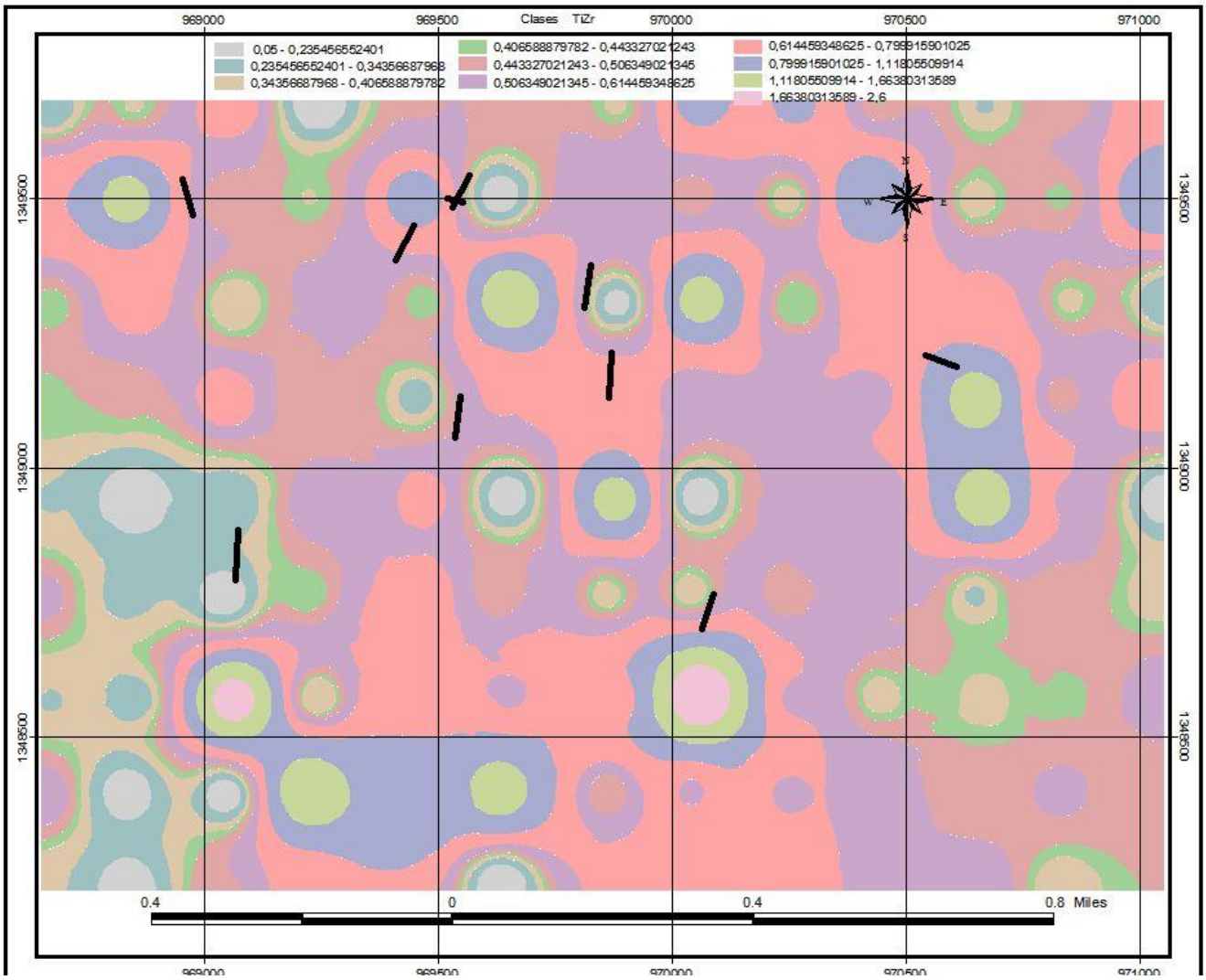
SGS Colombia S.A.S. Carrera 52 N° 14 Sur 26 Av. Guayabal - Medellin, Colombia
+57 (4) 3201080 www.co.sgs.com

Member of the Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

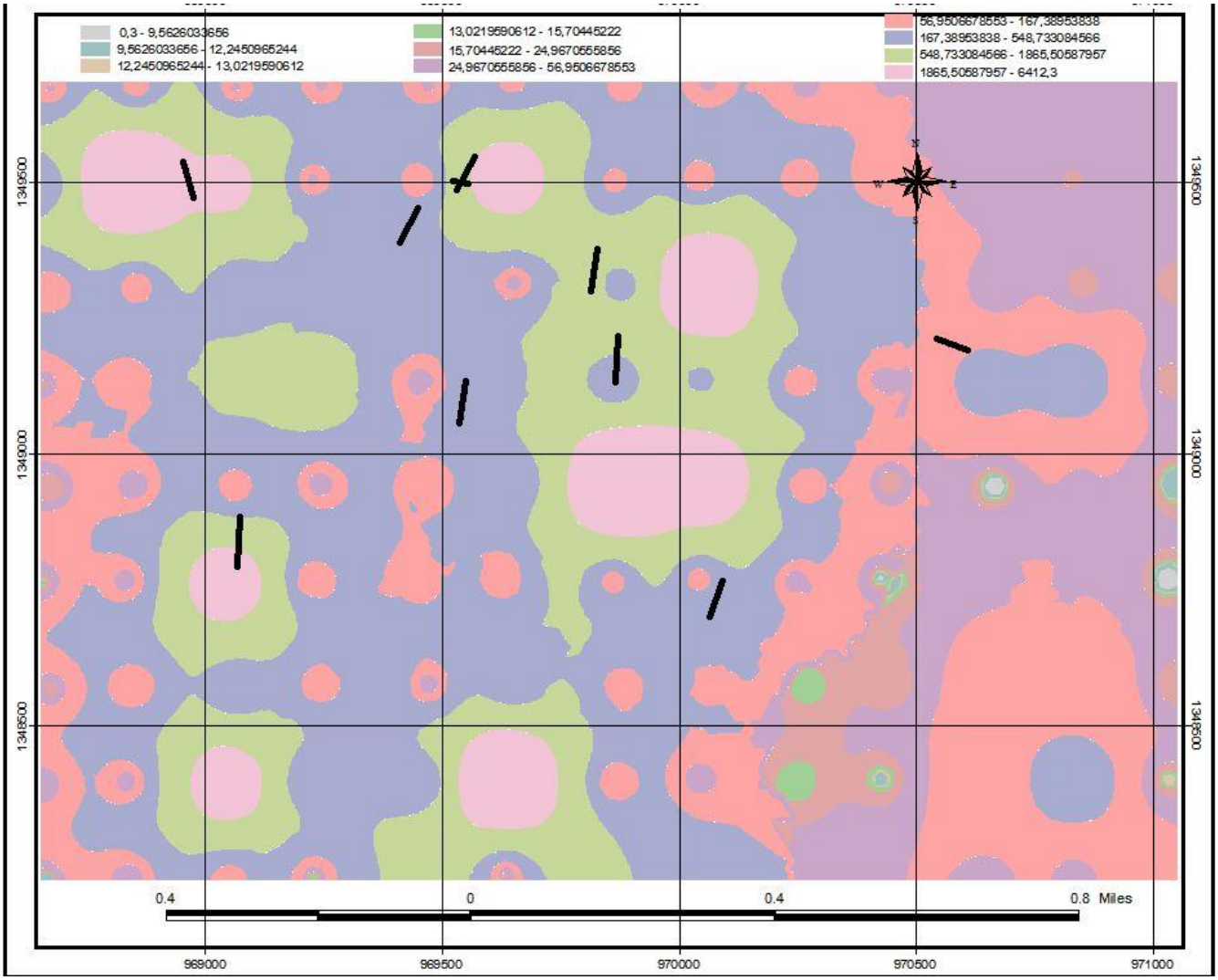
Apéndice C. Mapa de anomalía magnéticas



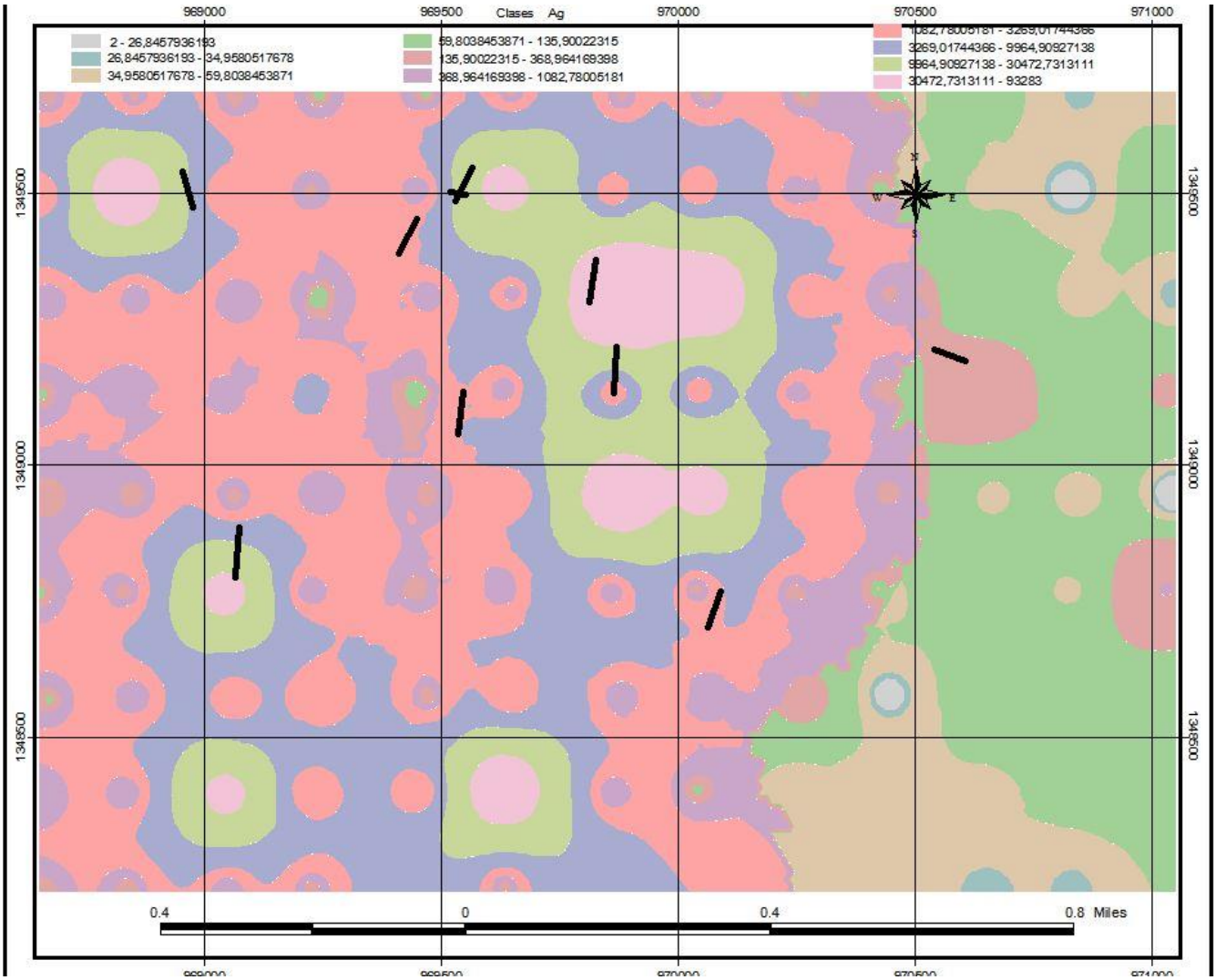
Apéndice D. Anomalías TiZr



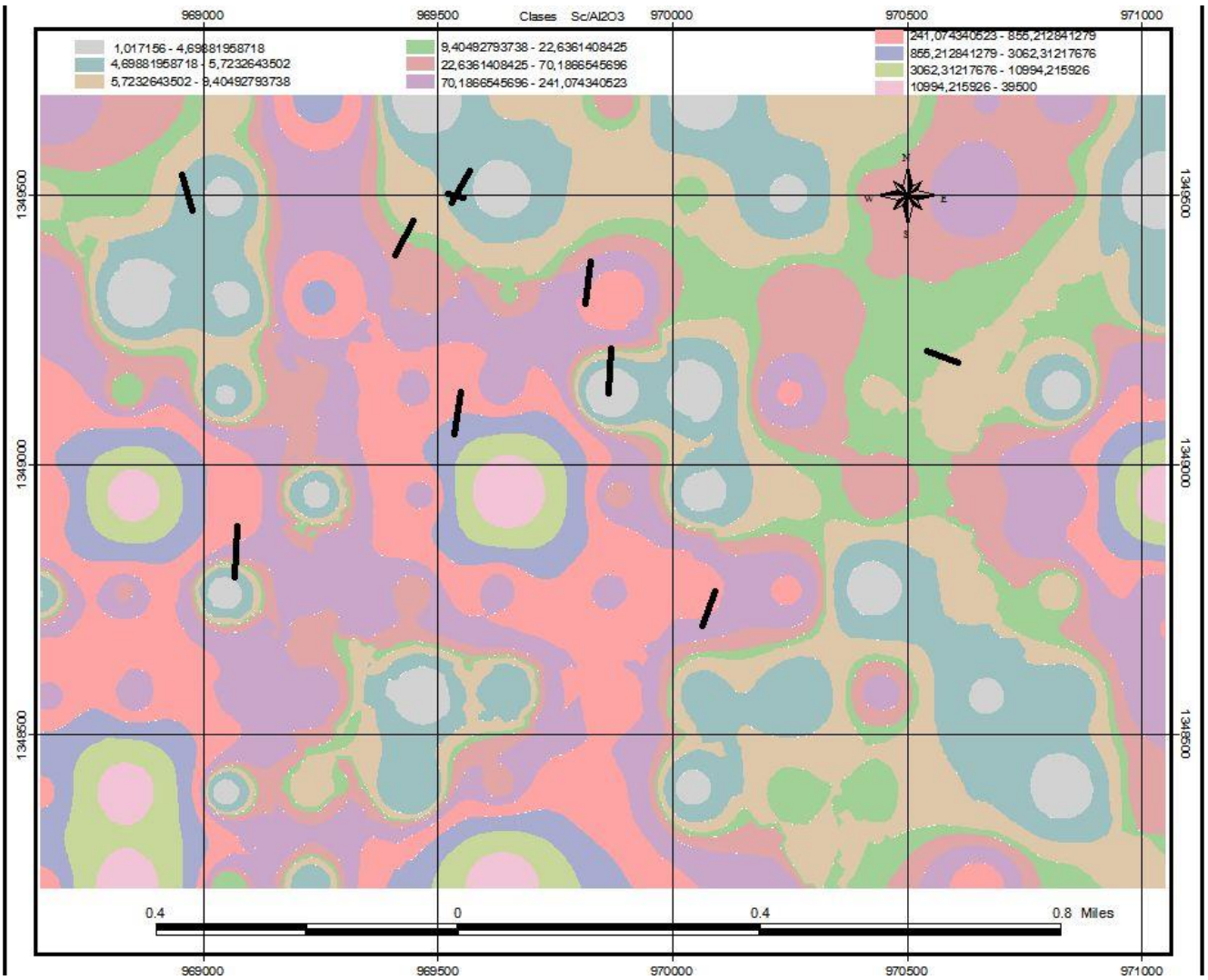
Apéndice E. Anomalías Au



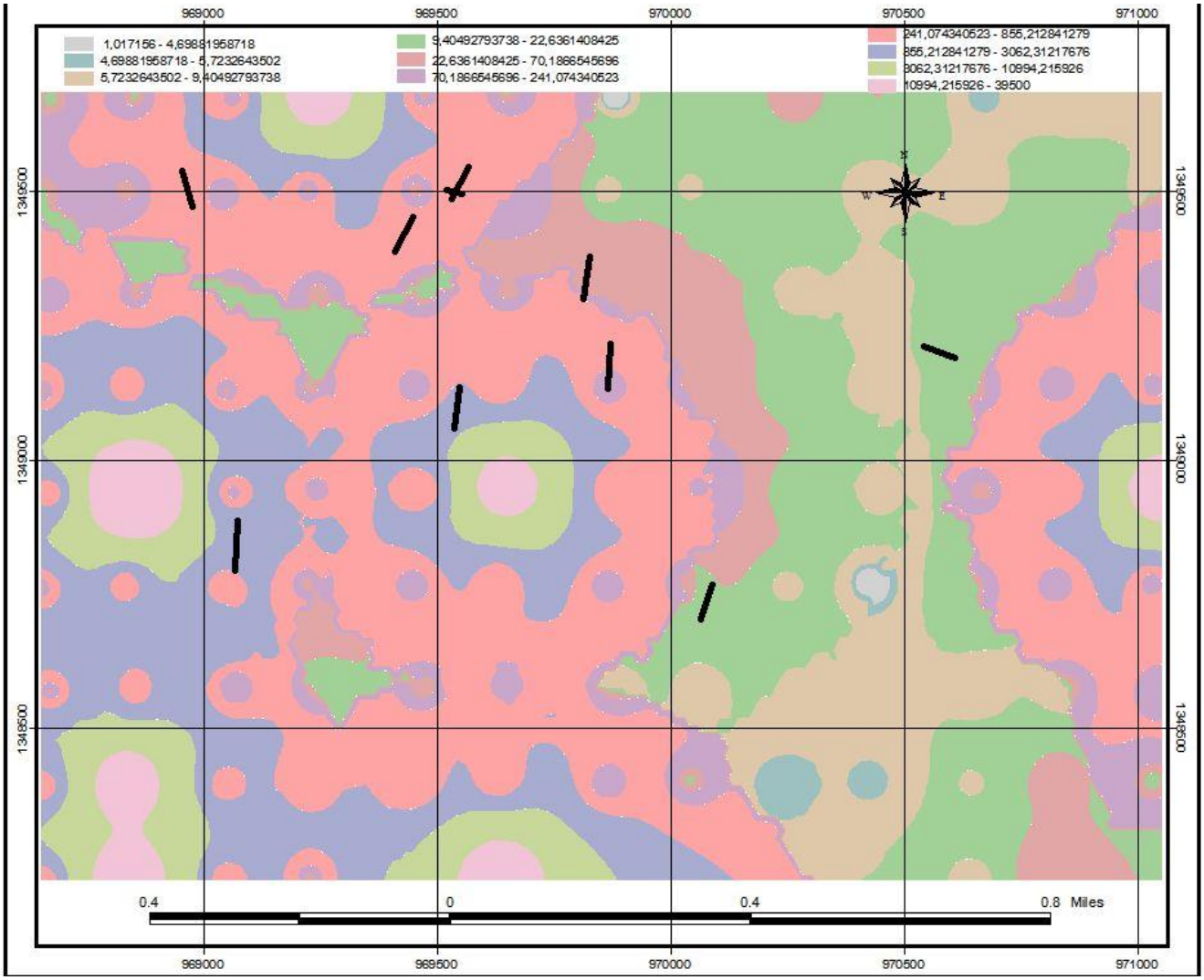
Apéndice F. Anomalías Ag



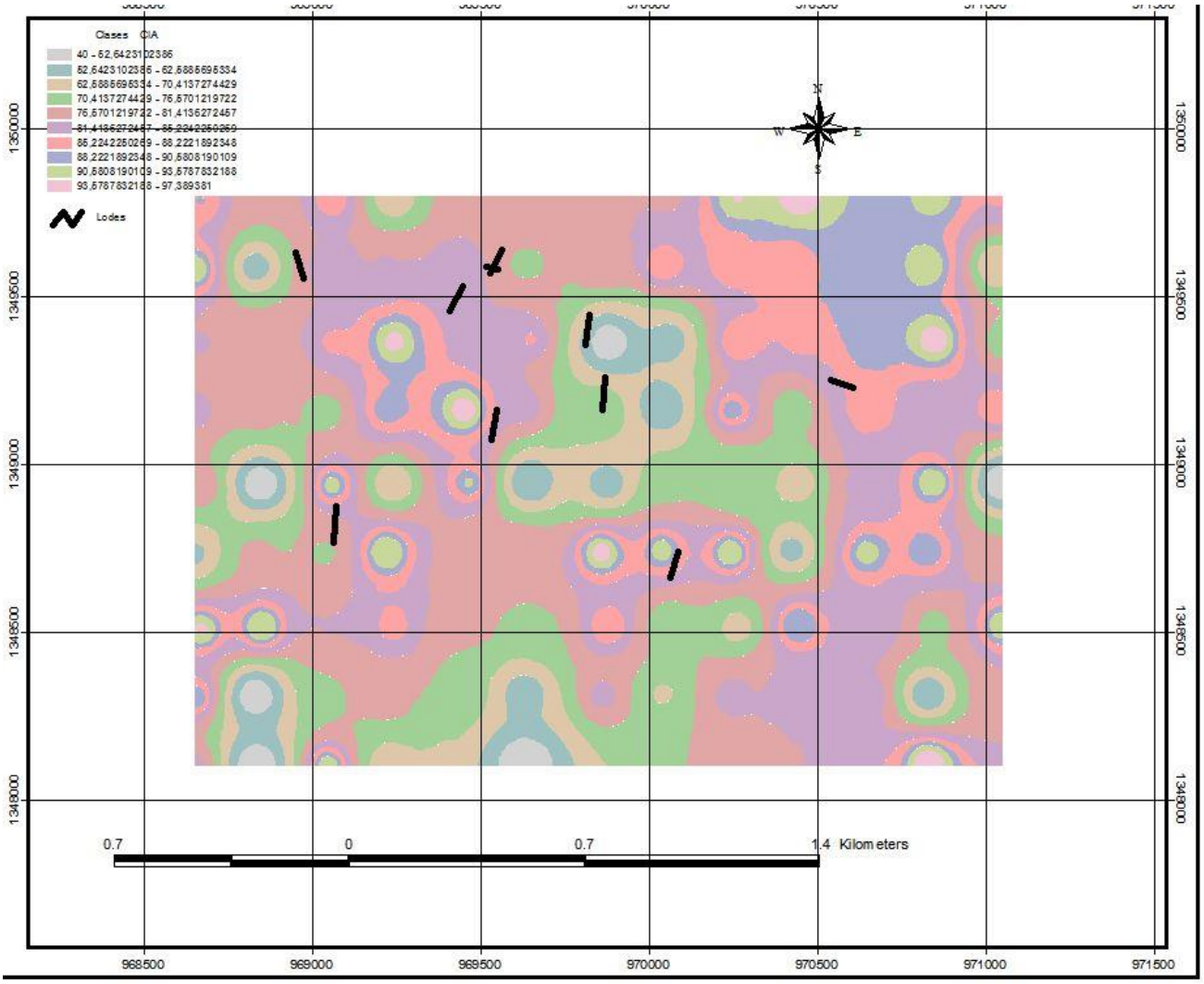
Apéndice G. Mapa relación ScAlO3



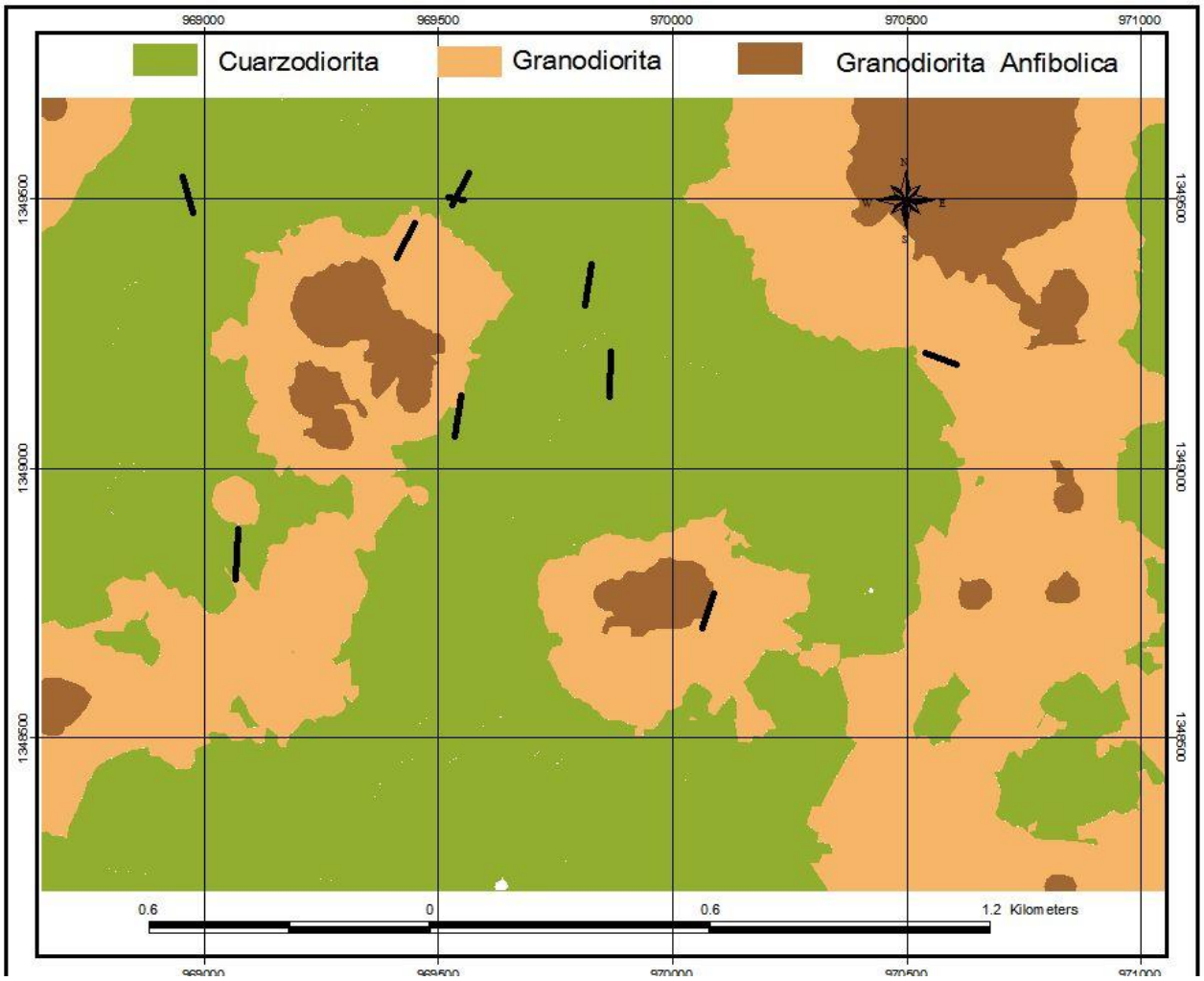
Apéndice H. Análisis de SiO2K2ArBCs



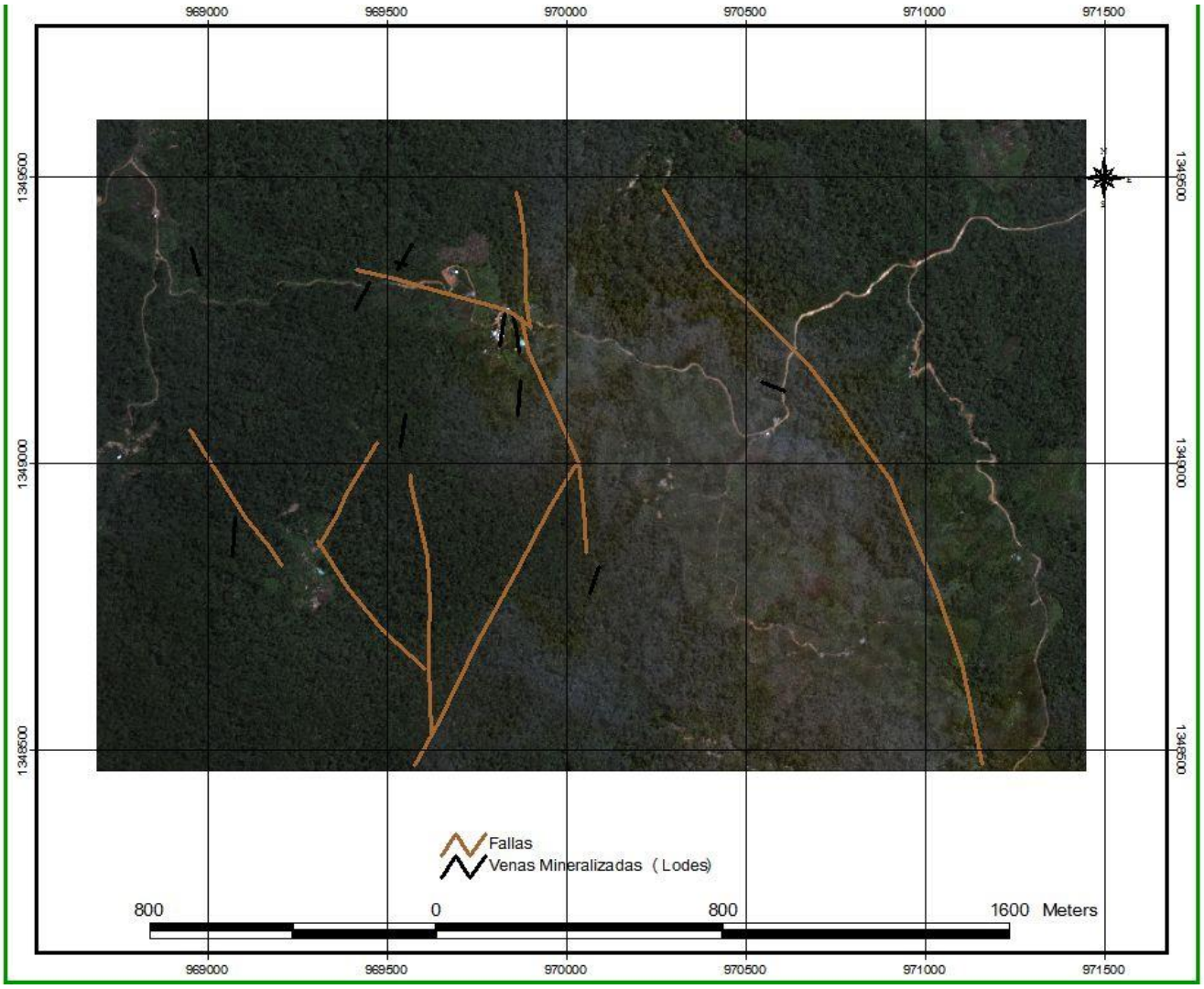
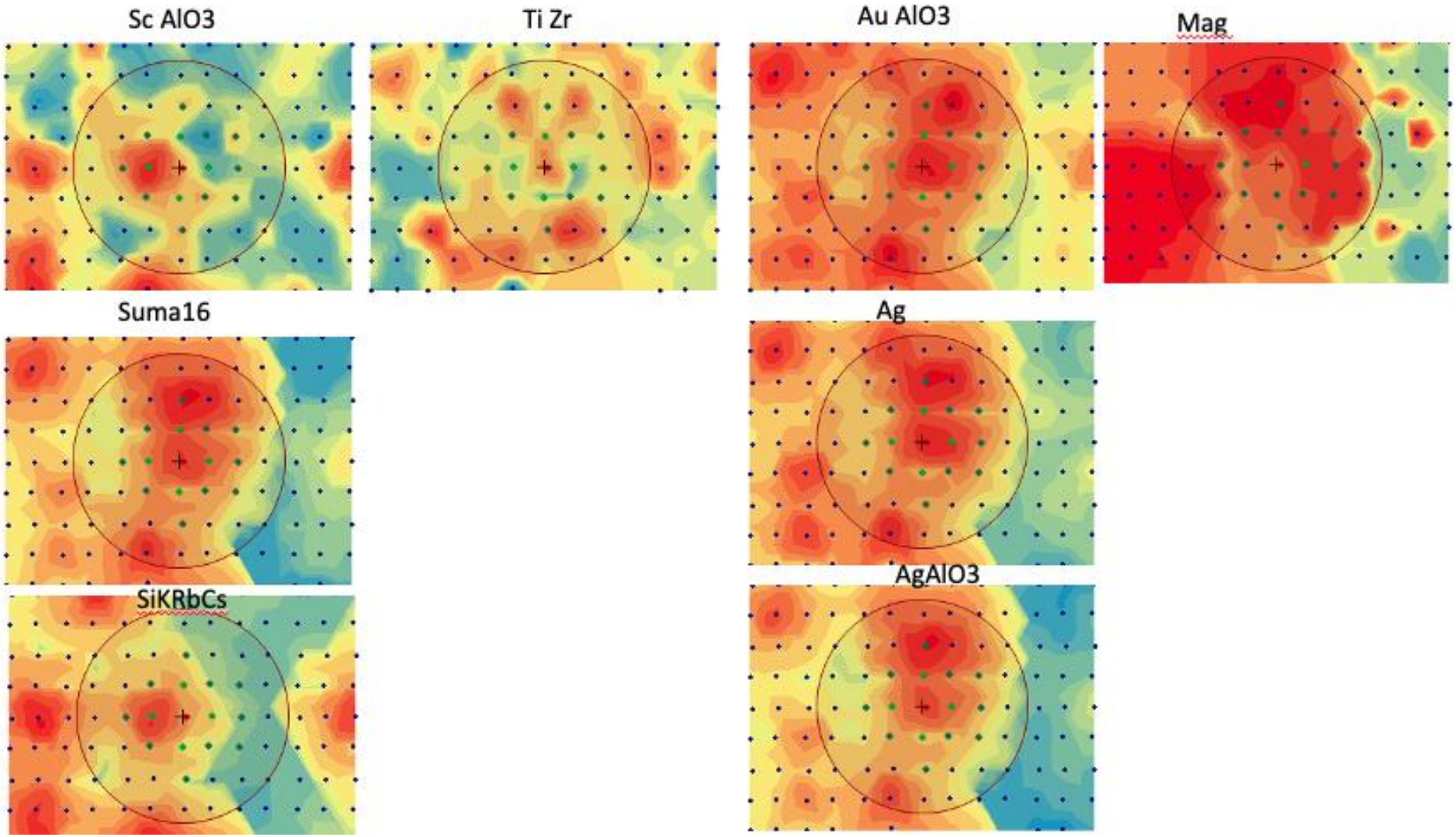
Apéndice I. Índice químico de alteración



Apéndice J. Unidades litogeeoquímicas



Apéndice K. Geología estructural de la zona



Apéndice L. Interpolación método Kriging