



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚNEZ JIMÉNEZ.”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Tesis presentada en Opción al Título Académico de Master en
Geología.

Mención: Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos.

Caracterización petrográfica y mineralógica del sector Santa Rosa, sector
aurífero El Cobre, Santiago de Cuba.

Autor (es): Ing. Roberto Claro Sánchez.

Tutores: Dr.C. José Nicolás Muñoz Gómez.

Ms.C.Olga Reyes Lissabet.

Consultantes: Ing. Iris Méndez Calderón.

Ms.C Martha Gutiérrez Herrero

Moa, enero de 2016

“Año 58 de la Revolución”



Dedicatoria

A mí querida esposa Dayana, quien me ha regalado el tesoro más grande: mi pequeña hija Ashley Camila.

A mis padres, mi hermano, mis suegros, mi familia y mis amigos.



Agradecimientos

Temiendo que alguien quede olvidado doy las gracias de corazón a todas las personas que de una forma u otra, han aportado su grano de arena para la realización de este trabajo y en aras de mi formación como profesional.

Agradecimientos especiales a:

- A mis tutores Dr.C. José Nicolás Muñoz Gómez y Ms.C. Olga Reyes, por su apoyo, ardua labor y persistencia en la culminación de este trabajo investigativo.
- A mi esposa, a mis padres, a mi hermano y a mi familia en general por todo el apoyo que me han brindado.
- Al Departamento Geología del ISMMM y a todos mis compañeros de trabajo que siempre me han apoyado y se han preocupado por mí.
- A la Ing. Iris Méndez Calderón que desde un principio creyó en mí y sin la cual no se habría logrado esta investigación, gracias de todo corazón.
- A Iván Barea Pérez por apoyarme incondicionalmente en la elaboración y revisión de este trabajo.

A todos mi más sincero agradecimiento.



Pensamiento

“Si supiese qué es lo que estoy haciendo, no le llamaría investigación verdad?”

Albert Einstein



Síntesis

El trabajo titulado "*Caracterización petrográfica y mineralógica del sector Santa Rosa, sector aurífero El Cobre, Santiago de Cuba*" fue realizado como parte de un proyecto empresarial llevado a cabo por la empresa "Geominera Oriente" y fue desarrollado con la finalidad de caracterizar petrográfica y mineralógicamente las rocas presentes en la región de estudio con el fin de identificarlas alteraciones hidrotermales y la mineralización aurífera asociada a ellas. La investigación se elaboró en cuatro etapas: el estudio conceptual de la línea de investigación, experimental, analítica y la interpretativa.

En la primera etapa se definieron los marcos teóricos conceptuales y contextuales. Durante la segunda etapa se realizó el cartografiado geológico, la toma de muestra y el análisis de las mismas utilizando diferentes métodos analíticos entre los cuales se encuentran: petrográfico, minerográfico y DRX.

En las etapas finales se elaboraron e interpretaron los principales resultados que están escritos en el cuerpo de la tesis. Se identificaron los tipos de rocas, minerales opacos y las alteraciones presentes en las rocas de las formaciones geológicas cartografiadas además de identificarse las paragénesis minerales.



Summary

The scientific research titled "Petrographic and Mineralogical characterization of Santa Rosa sector, Aurífero El Cobre, Santiago de Cuba" the research was realized as part of the "Geomineras Oriente's" project and were developed in order to characterized Petrographically and mineralogically the presence of the rocks with the aims of identifying the hydrothermal alterations and the associated mineralization in it.

The research was developed in four stages, these are: the conceptual studies of the investigation lines, Experimental, and Analytics and Interpretative.

At the first stage theoretical conceptual and contextual mark were defined.

At the second stage, Geological cartography, Sampling and testing using different analytical methods at where it uses: Petrographic, Mineralographic and XRay

The interpretation of the principals' results that are in the body of thesis were elaborated. The type of rocks, Opac's minerals and the alterations presence in Geological cartographical formations were identified including the minerals parageneses too.



Índice

<i>Dedicatoria</i>	<i>I</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>II</i>
<i>Pensamiento</i>	<i>III</i>
<i>Síntesis</i>	<i>IV</i>
<i>Summary</i>	<i>V</i>
<i>Abreviaturas empleadas</i>	<i>3</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>4</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>4</i>
<i>Introducción</i>	<i>5</i>
<i>Capítulo I: Características generales de la región de estudio</i>	<i>10</i>
1.1 Introducción.	10
1.2 Ubicación geográfica.....	10
1.3 Clima.	11
1.4 Relieve.	12
1.5 Población y vías de comunicaciones.....	12
1.6 Hidrografía.....	13
1.7 Flora y Fauna.....	13
1.8 Características económicas.....	13
1.9 Breve descripción de los trabajos anteriores.....	14
1.10 Características geológicas regionales.....	21
1.11 Características geológicas del área de estudio.	23
1.12 Tectónica.	26



Conclusiones	28
<i>CAPÍTULO II: Materiales y métodos empleados en la investigación.....</i>	29
2.1 Introducción	29
2.2 Metodología de la investigación	29
2.3 Recopilación y procesamiento de la información preexistente.....	29
2.4 Trabajos de Campo.....	32
2.5 Trabajos de Laboratorio	32
2.6 Análisis petrográfico.	33
2.7 Análisis de microscopía de menas con luz reflejada.....	34
2.8 Método de difracción de rayos-X (DRX).....	35
2.9 Etapa de Gabinete.....	36
Conclusión	37
<i>Capítulo III: Petrografía y mineralogía del sector aurífero El Cobre, Santiago de Cuba.</i>	38
3.1 Introducción	38
3.2 Petrografía del sector Santa Rosa.....	38
3.3 Análisis de microscopía de menas en luz reflejada.....	49
3.4. Mineralogía	54
3.5 Paragénesis de alteraciones hidrotermales.	57
Conclusiones.....	62
<i>Conclusiones generales.....</i>	63
<i>Bibliografía.....</i>	66
<i>Anexos</i>	70



Abreviaturas empleadas

Abreviaturas	Significado	Abreviaturas	Significado
N	Norte	Vv	Vidrio volcánico
S	Sur	Px	Piroxenos
E	Este	Ca	Calcita
W	Oeste	Pl	Plagioclasas
Km	Kilómetros	Qz	Cuarzo
C°	Grados Celsius	Ancm	Analcima
AVP	Arco Volcánico del Paleógeno	Mosc	Moscovita
Fm	Formación	Ep	Epidota
ONRM	Oficina Nacional de Recursos Minerales	Min	Minerales Metálicos
ISMMM	Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa	Ran	Rancierita
GPS	Global Position System	Goe	Geothita
mm	Milímetros	Py	Pirita
µm	Micrones	Mg	Magnetita
X°	X grados	ha	Hectárea
Hm	Hematita	Bxy	Bixbyita
rt	Rutilo	Ser	Sericita
Ox	Óxido	Flpt	Feldespatos



Índice de figuras

<i>Figura No 1 Ubicación de los yacimientos de oro en Cuba. (Tomado de Díaz-Martínez, 2010)</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1. 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1. 2 Esquema geológico del yacimiento "El Cobre".</i>	<i>22</i>
<i>Figura No 2. 1 Etapas del desarrollo de la investigación en el sector Santa Rosa, municipio Santiago de Cuba.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura No 2. 2 Medios empleados en la investigación.</i>	<i>34</i>
<i>Figura No 2. 3 Fotografía del equipo de difracción de rayos-X, marca PANalytical modelo X'PERT3</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3. 1 Fotografías de muestra de mano y secciones delgadas de las muestras SRP-17, SRP-18, SRP-19a y SRP-24.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3. 2 Fotografías de afloramientos y secciones delgadas de las muestras SRP-19b y SRP-47.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 3 Microfotografías de las secciones delgadas de las muestras SRP-.27 y SRP-29.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3. 4 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-28.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3. 5 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-44 y SRP-45.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 6 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-46 y SRP-56.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. 7 Microfotografías de los minerales opacos de las muestras de rocas del sector Santa Rosa. ...</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 8 Microfotografía de la muestra SRM-17. Se observan cristales de rutilo dispersos en los minerales de ganga</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 9 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-18.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 10 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-44.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 11 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-27.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 12 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-19a.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 13 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-28.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3. 14 Diagrama SiO₂ vs. (Na₂O + K₂O) de Irvine y Baragar (1971).</i>	<i>59</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 3. 1 Alteraciones hidrotermales identificadas en el área de estudio.</i>	<i>58</i>
--	-----------



Introducción

La minería no llegó a constituir una actividad de primera importancia para la economía cubana, ni siquiera en la primera mitad del siglo XX. La minería en Cuba, data desde inicios del siglo XVI, cuando en 1521 se iniciaron los primeros trabajos en el yacimiento "El Cobre", primera mina en explotación en Cuba. Introducida por los colonizadores españoles con la finalidad de extraer los recursos minerales presentes en toda la isla. El saqueo de los recursos minerales cubanos se iniciaba con la búsqueda del oro por parte de los españoles que utilizaron a los aborígenes como esclavos, siendo aquella la primera actividad económica desarrollada por los colonizadores. El mayor auge en la producción minera en la etapa anterior a 1959 se alcanzó en los periodos de confrontación bélicas cuando se incentivaba la producción minera en Cuba vinculadas a las guerras mundiales y a la de Corea. (L.D Soto-González, 1981) Durante los últimos años novedosas técnicas se han aplicado en la investigación minera, especialmente aquellos yacimientos de mayor interés económico como los metales preciosos. De esta forma, los yacimientos de oro en Cuba no han sido bastante estudiados desde el punto de vista petrográfico, minerográfico y químicos.

El oro es un metal precioso muy usado, entre otras cosas como contravalor de la moneda. El oro en el presente desempeña el rol de reserva de valor y está relacionado con la inversión más segura, existiendo en el mercado la tendencia al alza de los precios de la onza troy de este metal, la que a criterio de algunos expertos se mantendrá así en los próximos años, por lo que el incremento de los recursos de oro debe estar, con seguridad, entre las prioridades de los gobiernos, al constituir la extracción de este metal una fuente de ingresos confiable para los mismos.

En Cuba el oro se conoce desde la época pre-colonial. Se cuenta que el conquistador español Diego Velásquez dijo en 1514 que los indios cubanos obtenían oro lavando las arenas de algunos ríos así como también de las fuentes primarias, el que utilizaban en la elaboración de adornos para el cuerpo,



pero también se lo intercambiaban a los españoles por objetos de escaso valor económico. (Calvache-Dorado, 1944) Según la información existente la extracción total aproximada de oro en Cuba llegó a ser de algunas toneladas de metal, siendo el período de mayor explotación el que se inició a finales del siglo XIX y se extendió, con interrupciones, hasta finales del XX. El oro se extrajo en varias regiones del país ubicándose las más productivas en Holguín, Las Tunas, Santa Clara, Pinar del Río y la Isla de la Juventud, quedando en estas regiones gran parte de estos recursos auríferos por extraer. (Martínez., 2010; Rodríguez-Vega, 2001)

En correspondencia con la modelación geológica de yacimientos minerales (Ariosa-Iznaga, 2002; Ariosa-Iznaga & Díaz-Martínez, 2001; Atkinson, 2003) y sobre la base del incremento del conocimiento geológico de la isla se han elaborado diferentes clasificaciones (López-Kramer et al., 1998; Proenza & Melgarejo, 1998; Rodríguez-Romero, 2001; Rodríguez_Vega & Díaz_Martinez, 2001) y modelaciones (X. Cazañas, Zafra, & Capote, 2010; Lavandero et al., 2001)) relacionadas con la metalogenia del oro en Cuba.

Las mineralizaciones de oro en Cuba se localizan principalmente en una faja metalogenética de aproximadamente 400 km, que se extiende desde la porción sur de Santa Clara hasta el norte de Holguín ver figura No.1.

En base al grado de estudio de estas mineralizaciones se han establecido varios tipos genéticos de depósitos (X. Cazañas et al., 2010; Lavandero et al., 2001), ellos son:

- 1- Placeres auríferos fluviales y marinos tipo playa (ejemplo Río Guáimaro y Río Maclama en Camagüey, Río Arimao en Cuba Central y Santa Lucía, Los Lirios y Mejías en Cuba nororiental).
- 2- Gossan enriquecido en oro en un depósito Sedex de metales bases Zn-Pb-Cu dentro de secuencias terrígenas (ejemplo Castellano en Pinar del Río, Cuba Occidental).
- 3- Gossan enriquecido en oro en un depósito VHMS de Cu-Zn, (ejemplo San Fernando en Santa Clara, Cuba Central).



4- Gossan enriquecido en oro en un depósito epitermal aurífero de alta sulfuración, dentro de secuencias volcánicas cretácicas (ejemplo Golden Hill en Camagüey, Cuba Central).

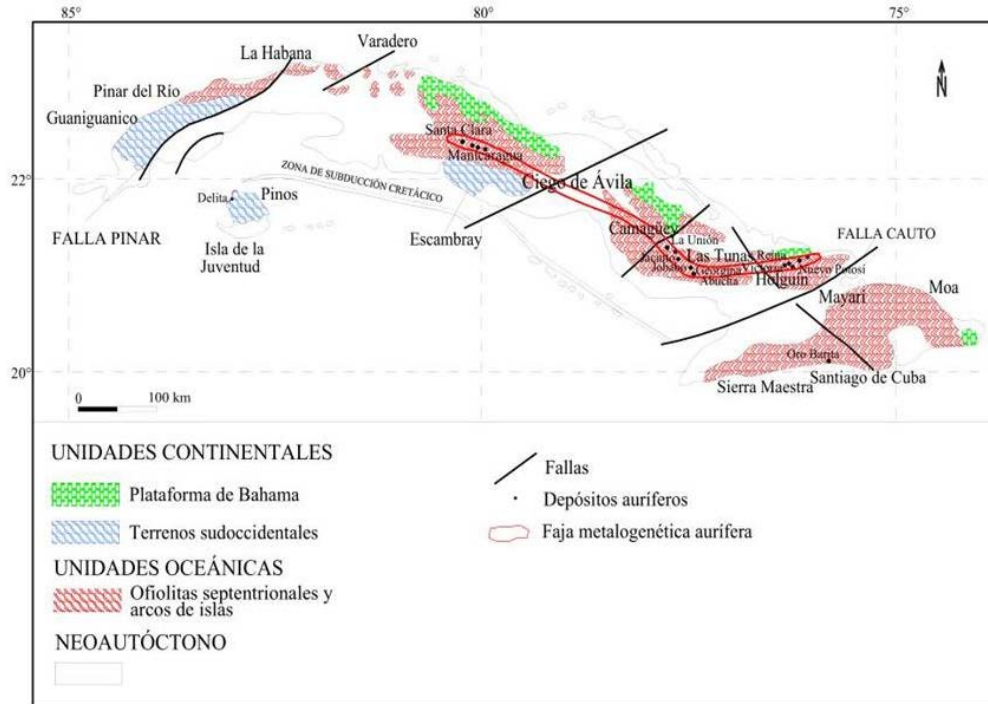


Figura No 1 Ubicación de los yacimientos de oro en Cuba. (Tomado de Díaz-Martínez, 2010)

5- Gossan enriquecido en plata y en menor proporción oro en depósito tipo Sedex dentro de secuencias terrígenas jurásicas de San Cayetano (ejemplo Loma de Hierro en Pinar del Río).

6- Mineralización aurífera relacionada con depósitos VHMS de Cu-Zn dentro de secuencias volcánicas paleogénicas (ejemplo cuerpo mineral Barita dentro del depósito El Cobre (Cu-Zn) e Infierno ambos en Sierra Maestra, Cuba Oriental).

7- Filones mesotermales, posiblemente de tipo orogénico, relacionados con una zona de brechamiento y alteración listvenítica, carbonática y clorítica dentro de las serpentinitas cretácicas (Descanso – Melonera en Cuba Central).

8- Filones auríferos de tipo epitermal de baja sulfuración dentro de rocas volcánicas cretácicas (ejemplo Loma Jacinto y Florencia en Camagüey),



9- Filones mesotermiales de posible origen orogénicos, relacionados con la zona de contacto de diques de rocas básicas con las serpentinitas cretácicas (ejemplo Reina Victoria, Agrupada, Holguinera y Nuevo Potosí, en Holguín, Cuba Oriental).

10- Filones mesotermiales, posiblemente de tipo orogénico, relacionados con una zona de brechamiento y diques intrusivos ácidos, dentro de secuencias jurásicas de margen continental, constituidas por esquistos cuarzo – micáceos, localmente enriquecidas en grafito (ejemplo Delita en la Isla de Juventud, Cuba Occidental).

El yacimiento "Barita", próximo al área de estudio, no es un depósito propiamente aurífero sino una zona enriquecida en oro dentro del depósito vulcanogénico de sulfuros de Cu y metales base tipo Kuroko El Cobre. La mineralización en barita se ubica dentro de determinadas litologías favorables representadas principalmente por brechas volcanoclástica de fragmentos gruesos, pero solo en sectores cercanos a la superficie y al mismo tiempo alejados del sistema de falla El Cobre en donde se aloja la mineralización filoniana cuprífera, donde no hay oro debido a las condiciones de alta temperatura existente durante la formación de estas menas. Dentro de las brechas, el oro, generalmente nativo, en menor proporción en forma de telururos y eléctrum, se distribuye de forma muy irregular, no pudiéndose trazar un cuerpo mineral como tal, pues aparece tanto en las zonas de silicificación de desarrollo limitado, como en las vetas con un espesor de algunos centímetros que abundan en las brechas, y dentro de estas tanto en pirita como en esfalerita. Por el tamaño del grano es oro nativo fino cuyo diámetro oscila alrededor de los 2 μm (X. Cazañas, Alfonso, Melgarejo, Proenza, & Fallick, 2008; X. Cazañas et al., 2010). La experiencia mundial de estas mineralizaciones y otras sulfurosas semejantes es la de extraer el oro y la plata como subproducto del beneficio del cobre y metales base.

Mineralización parecida a "Barita" más o menos enriquecida en oro y con más o menos sulfuros podría descubrirse en regiones aledañas, pues en la actualidad se dispone de información preliminar que dan cuenta de ello (tal es el caso de



Melgarejo, El Pajón, Santa Rosa, La Esperanza y otros). En examen más detallado de la información litológica, estructural, petrográfica-mineralógica, geoquímica y geofísica obtenidas sobre este depósito desde la época de los 70 hasta la actualidad, permiten afirmar que existen zonas potencialmente perspectivas para la explotación de oro, de ahí que surja como situación problemática la necesidad de incrementar el conocimiento de la composición mineralógica y petrográfica de las rocas del sector Santa Rosa para establecer las áreas más favorables de las concentraciones de oro.

Objeto de estudio: Las rocas del sector Santa Rosa.

El objetivo principal radica en establecer los rasgos petrográficos y mineralógicos de las rocas del sector Santa Rosa perteneciente al campo aurífero El Cobre.

Objetivos específicos:

1. Identificar las rocas y minerales presentes.
2. Identificar los tipos de alteraciones hidrotermales.
3. Identificar las paragénesis mineralógicas portadoras de oro.
4. Determinar las áreas más perspectivas.

Hipótesis: Si se logran determinarlos los principales rasgos petrográficos de las rocas, sus alteraciones hidrotermales y las principales fases mineralógicas portadoras de oro, entonces se podrán determinar las áreas de mayor contenido de oro del sector.



Capítulo I: Características generales de la región de estudio.

Introducción.

Ubicación geográfica.

Clima.

Relieve.

Población y vías de comunicación.

Hidrografía.

Flora y fauna.

Características económicas.

Breve descripción de los trabajos antecedentes.

Características geológicas regionales.

Características geológicas del área de estudio.

Tectónica.

Conclusiones.

1.1 Introducción.

En el presente capítulo se exponen los rasgos geográficos, económicos y geológicos fundamentales de la región de estudio, así como las características hidrogeológicas y las particularidades tectónicas regionales que caracterizan la zona de la investigación.

1.2 Ubicación geográfica.

El área de estudio se encuentra enmarcada en el consejo popular El Cobre. Limita al norte con el municipio San Luís y el Poblado de Boniato. Al sur con el municipio Guamá y el Consejo Popular Agüero-Mar Verde. Al este con el Consejo Popular Agüero-Mar Verde, Distrito José Martí y al oeste con el Consejo Popular Dos Palmas. Presenta una superficie constituida principalmente por elevaciones, sabanas y valles. La red hidrográfica es muy pobre y la extensión territorial es de 169,5 km²(Wikipedia., 2014).

La zona de los trabajos se encuentra dentro de la región que ocupa el campo menífero El Cobre, en las estribaciones NE de la Sierra Maestra, correspondiente según la división política administrativa a la provincia Santiago de Cuba, ver figura 1.1 El sector "Santa Rosa" se localiza a unos 17 Km al oeste de Barita en el contacto de la secuencia media con la inferior de



Hongolosongo. El sector se encuentra enmarcado dentro de las siguientes coordenadas:

X- 576 500; Y- 156 000 X- 576 500; Y- 154 000

X- 578 000; Y- 156 000 X- 576 500; Y- 156 000

X- 578 000; Y- 154 000

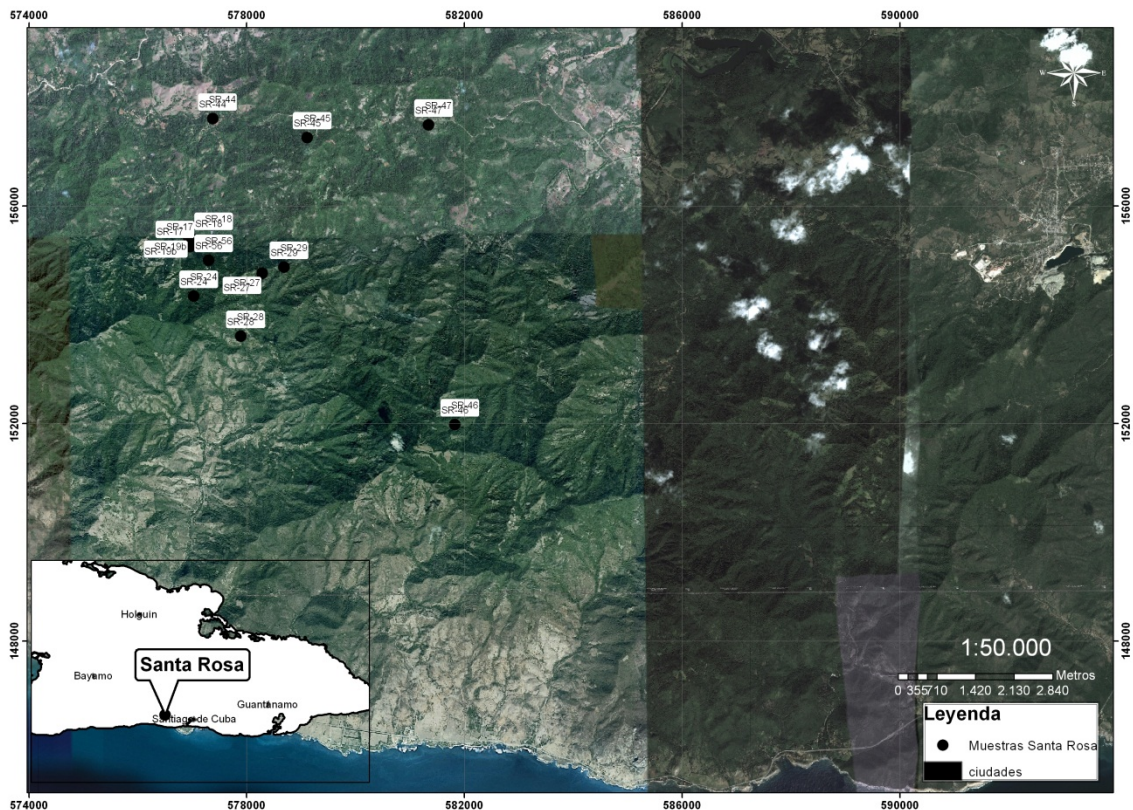


Figura 1. 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.

1.3 Clima.

El clima de la zona es húmedo tropical con temperaturas entre 15° y 35 C°. El régimen de lluvias es irregular, pero con dos temporadas bien definidas entre los meses de mayo-junio y septiembre-octubre. La media anual de precipitación es de 1 400mm.

Los suelos son de formación Sialíticos y Fersialíticos formado por la alteración de rocas vulcanógenas y vulcanógenas sedimentarias. El suelo tiene poca



potencia, de color pardo y composición textural limosa a limoarcillosa. El suelo ha experimentado la influencia de la actividad de la actividad minera y la tala indiscriminada. En la actualidad los suelos son pobres y dan asiento a pastos y matorrales con aislados árboles y zonas estériles con afloramientos de rocas. El poblado se encuentra en una zona de frecuente actividad sísmica. El origen de la misma se asocia a la zona sismo generadora Bartlett-Caimán, ubicada frente a las costas del Sur de la Sierra Maestra y particularmente al Sur de Santiago de Cuba.

La humedad relativa promedio es de 82%, el período de seca abarca los meses de noviembre-abril y el de lluvia mayo-octubre (Wikipedia., 2014).

1.4 Relieve.

El área de estudio presenta un relieve montañoso, destacando la Sierra del Cobre, perteneciente al grupo orogénico Sierra Maestra. Las elevaciones máximas oscilan en cotas entre 600 y 800 metros sobre el nivel medio del mar.

1.5 Población y vías de comunicaciones.

El poblado principal del área lleva el mismo nombre que el sector aurífero "El Cobre", existiendo numerosos barrios o asentamientos como son: Melgarejo, Ermitaño, El Pajón, La Emilia, Hongolosongo, Cojimar, Santa Rosa y otros.

Las vías de comunicación principales desde Santiago de Cuba son al norte la Carretera Central y al sur la carretera de Chivirico, existiendo terraplenes y caminos que unen las carreteras con los poblados y las áreas de estudio.

El poblado El Cobre y sus alrededores constituye un pueblo de tradición minera y parte de su fuerza laboral inactiva y activa están relacionadas con la actividad minera. Al paralizarse la actividad extractiva del yacimiento El Cobre y no existir establecimientos industriales en el poblado, un número considerable de sus habitantes se trasladan a trabajar a Santiago de Cuba, otros trabajan en los servicios del poblado, en el hospital Ambrosio Grillo, la agricultura y la ganadería.



Actualmente se labora en la explotación del yacimiento "Oro Barita" donde laboran habitantes de la zona. La actividad extractiva en este yacimiento es limitada en el tiempo, por lo que es necesario evaluar sus alrededores para incrementar la sustentabilidad económica de este poblado.

1.6 Hidrografía.

La red fluvial está compuesta fundamentalmente por los ríos El Cobre, El Ermitaño, Cañas, Cojímar que corren al norte y al sur del área, así como sus afluentes que parten de los mismos atravesándola de manera intermitente.

Existen varias corrientes fluviales de curso muy corto con gastos poco significativo. La corriente fluvial más importante es el río Cobre con gastos estimados de entre 30 y 60 metros cúbicos por hora y cruza el poblado dividiéndolo en dos. El suministro de agua se realiza por tres vías fundamentales: agua tratada y potabilizada en planta y suministrada por gravedad ríos y manantiales pozos.

1.7 Flora y Fauna.

La vegetación local es poco abundante, la mayor parte está atravesada por matorrales y pastos con aislados parches de vegetación más densa asociado a las elevaciones montañosas o los bordes de corrientes de agua. Hay diversidad de árboles, pero predominan el mango, anoncillo, guácimas y palmas, dentro de los arbustos se destaca el marabú.

1.8 Características económicas.

Las principales fuentes de empleo en el poblado son: agricultura, servicios, salud y la fábrica de pienso. Cuenta con 58 centros laborales, de ellos 44 de carácter económico. Otros centros e instituciones: casa de cultura, unidades de comercio y gastronomía, panaderías, UBPC, CPA, CSS, UEBE, trabajadores sociales, sala de computación, sala de videos, cine, funeraria, acueducto, INDER, acopio, farmacia, librería, registro civil, peluquería, barbería y otros.



1.9 Breve descripción de los trabajos anteriores.

En 2013, el servicio geológico de Cuba (IGP) presenta un informe sobre las potencialidades de oro y metales base en el arco del Paleógeno. En el mismo se señala que el prospecto polimetálico Infierno (VMS Zn, Cu), en Sierra Maestra central, fue descubierto en 1925 y entre ese año y 1955 se abrieron cuatros socavones con longitudes que oscilaron entre 8 y 90 m. La explotación de oro y plata asociado al cobre se reduce a diminutas minas, aunque extendidas por toda la parte central de la Sierra Maestra.

No es hasta el triunfo de la revolución que realmente se acometen trabajos de mayor envergadura en esta zona por parte de diferentes autores (Cazañas, Melgarejo., A., & . 1998; X. Cazañas et al., 2010; Iturralde-Vinent, 1996; Mendez-Calderón, 1997; Rodríguez_Vega & Díaz_Martinez, 2001)

El yacimiento El Cobre se descubrió alrededor de 1530 y sobre 1544 comenzó a explotarse (Ansted, 1856). En América solo se conoce un depósito más antiguo, la mina de oro de Pueblo Viejo, en República Dominicana, que comenzó a operar en 1505 (L.D. Soto-González, 1981) pero la mina El Cobre es la primera de Cu y la mayor fuente de aporte de este metal a España durante el periodo colonial (Lawrence, 1910). El yacimiento El Cobre fue aprovechado durante siglos como un depósito cuprífero, pero las investigaciones de los últimos años (J. A. Luna, 1989; Ramírez, 1994; Ushakov, 1986) revelan la existencia en este yacimiento de una mineralización polimetálica (Zn-Cu-Pb), asociada a la de cobre tradicionalmente explotada, con concentraciones locales de Au y Ag, que se ubica al norte de la mineralización cuprífera. Pese a la importancia económica de estos depósitos se han realizado pocas investigaciones detalladas sobre los mismos, en cambio, existe un gran volumen de información gráfica y descriptiva (Cazañas et al., 1998), y de testigos de pozos, que aportan nuevos elementos acerca de la mineralización la cual es muy compleja en cuanto a estructura y mineralogía.

El grupo volcánico El Cobre está compuesto por rocas volcánicas y volcánicas clásticas. La secuencia volcánica está compuesta por lavas, flujos piroclásticos,



diques subvolcánicos y diques de basamento (Cazañas et al., 1998; Iturralde-Vinent, 1996; Kysar, 2001; Rojas-Agramonte et al., 2006). La mineralización existente en el depósito El Cobre fue atribuida a un origen Mesotermal (Cabrera, Kramer, & Pantaleón, 1983) y un origen Epitermal (Kesler, Levy, & Martín, 1990).

Los primeros trabajos areales en la zona estaban dirigidos al mapeo geológico a escala 1: 50 000 con el fin de estudiar los yacimientos de manganeso (Lewis & Straczek, 1955). Estos trabajos caracterizan petrográficamente el área de estudio, pero no se realizó un estudio profundo de las principales alteraciones hidrotermales presentes. En el año 1961 se realizaron trabajos de exploración y búsqueda en el yacimiento "El Cobre" y sus alrededores (Belostotski, A. Klimov, V. Golovchenko, Escobar, & Zabelin, 1961) dirigidos a la búsqueda de minerales de cobre y en los cuales se obvió la caracterización detallada de la mineralización aurífera encontrada. En 1962 se realizaron trabajos de búsqueda a escala 1: 10 000 en un área de 30 km² alrededor del yacimiento El Cobre, estos se acompañaron por trabajos geofísicos mediante el método de gravimetría, magnetometría y campo eléctrico natural, estos trabajos una vez más fueron dirigidos a localizar mineralización cuprífera y aunque se determinó mineralización aurífera no se recomendó realizar trabajos de prospección detallados. En el año 1967 se comenzaron trabajos de levantamiento geológico a escala 1: 50 000 en la región del yacimiento El Cobre en un área de 300 km² (Grechanik & Norman, 1967-1969)

En 1968 se realizó un informe sobre los resultados del estudio de las manifestaciones de minerales de las áreas de Buey Cabón y Santa Rosa y de los trabajos de búsqueda para cobre realizadas en 1965-1967 en la Sierra Maestra. En este trabajo arrojó que entre las tobas y lavas afiricas existe una zona tectónicamente debilitada de rocas hidrotermalmente alteradas. Dichas alteraciones hidrotermales están representadas principalmente por la cuarcificación y la sericitización y el mineral principal de mena es la piritita con un contenido promedio del 6 por ciento. Se demostró también la existencia de



mineralización de esfalerita, galenita y calcopirita, el trabajo concluyó que esta área no era recomendada para trabajos posteriores de búsqueda más detallados, el trabajo no deja claro si existe mineralización aurífera asociada la zona tectónicamente debilitada de rocas hidrotermalmente alteradas y no se realiza además una caracterización petrográfica y mineralógica detallada de la zona.(E.L.Zikin, Puig, Martínez, & Ferrand, 1968)

En el período 1989-1992 se ejecutaron los trabajos geológicos de Prospección Preliminar y Prospección Detallada en el Campo Menífero El Cobre (J. A. Luna, 1989), en los cuales se realizaron trabajos de perforación, muestreos, laboreos mineros así como trabajos geofísicos y geoquímicos que aunque fueron destinados a la búsqueda de cobre representan una base de información muy valiosa a tener en cuenta para trabajos futuros. Esta información se complementa con algunos trabajos a riesgos de perforación y de muestreo en trincheras y laboreos antiguos realizados por la Asociación Económica Joutel-Geominera S.A. (1994-1998) que han servido de base para la proyección de los trabajos en zonas perspectivas dentro del área de estudio.

En el Campo menífero El Cobre se realizaron laboreos antiguos que datan desde 1954, según datos de los pobladores de la zona y en los años 1965–1967 el geólogo soviético Zikin E, realizó trabajos geológicos, geofísicos y geoquímicos para búsqueda de cobre, reflejando anomalías representadas por los diferentes métodos en la zona conocida como manifestación El Desquite (La Esperanza.). En los años 1967-1969 se realizó un levantamiento geológico a escala 1: 50 000 que cubre en su totalidad toda esta área. La A.E. Geominera S.A.–JoutelResources LTD ejecutó trabajos de muestreos en 1997 confirmando la presencia de oro.

La mineralización se localiza en el Grupo El Cobre específicamente en la secuencia media de Hongolosongo próxima al contacto con la secuencia superior, se observa un predominio de tobas y lavas de composición ácidas con diques de andesitas intercalados. Se observa la zona de alteración hidrotermal



representada por sericitización, limonitización, cuarcificación, piritización y caolinitización.(Grechanik & Norman, 1967-1969)

Durante los trabajos geológicos realizados por la A.E. Geominera S.A. – Joutel Resources LTD (1994-1998) se tomaron muestras de surco de 2 m de longitud en la superficie de la zona de oxidación, en el techo de las entradas de cada laboreo antiguo y al mineral primario oxidado que se encuentra en la escombrera, estos arrojaron contenidos de oro que oscilan entre 0.8 a 12 g/t

Estos trabajos no pudieron caracterizar el comportamiento tectónico en profundidad, además no fueron revisadas las zonas de nudos de fallas longitudinales y transversales que se presentan en el área y que deben ser las más perspectivas para la localización de mineralización filoniana con emplazamiento vetítico diseminado donde los sulfuros con oro nativo están impregnados en las vetas de cuarzo.

En los años 1971-1973 se realizaron trabajos geológicos para la búsqueda y exploración de cobre (Gaev & Guriev, 1971-1973) en el sector El Pajón y un reconocimiento geológico para oro en el año 1996 por la A.E. Geominera S.A.– Joutel Resources LTD, en los mismos se documenta la presencia de rocas volcánicas de la secuencia media próximas al contacto con la secuencia superior de Hongolosongo, los muestreos reflejaron valores de 0.015 a 0.02 g/t de oro, ésta es una zona de argilitización con caolín y abundante piritización, similar alteración se presenta en Barita en la pared de la falla al sur del río Cobre, fuera de la zona mineral. Se observan también vetas de cuarzo con óxido de sulfuro diseminados en zonas de no más de 5 m de potencia, los muestreos realizados para oro reflejaron contenidos de 0.01 a 0.14 g/t.

En el Pajón central es donde se observa el mayor desarrollo de los cuerpos de diorita, limonitizados, con caolinitización, fragmentos silíceos y oxidación de sulfuros muy diseminados. Los pozos perforados en esta zona en los años 70 reflejan diseminación de piritita y escasas vetillas del orden de los milímetros con esfalerita y calcopiritita en tobas de diferente granulometría.



En el Pajón Sur se observa una zona de diorita con intensa oxidación. En el muestreo de jagua hay una muestra con mineralización aurífera cercana a un cuerpo de diorita en la zona de nudo de fallas transversales y longitudinales en la zona de El Pajón Central.

La manifestación La Cuaba fue estudiada por la A.E. Geominera S.A. – Joutel Resources LTD 1996, estos trabajos arrojaron resultados interesantes de oro en superficie en muestreos realizados los cuales arrojaron resultados que oscilan entre 0.38 y 1.82 g/t en vetas de cuarzo con óxido de sulfuros de hasta 30 cm que forman zonas de unos 15 m de ancho con dirección este-oeste, extendiéndose por el rumbo por más de 10 km, de ellos fueron muestreados unos 1 500 m con presencia de oro en toda la zona, ésta zona es cortada por vetas de cuarzo-carbonato de dirección norte-sur en las cuales la presencia de oro es más limitada a los centros de los nudos de intersección.

En la zona de estudio también se realizaron trabajos geológicos durante la Prospección Preliminar de los Flancos y Horizontes Profundos del Campo Metalífero El Cobre(A. Luna, 1982 – 1989) y la Prospección Detallada Zona Sur El Cobre (A. Luna, 1992).Estos trabajos reportaron valores anómalos de zinc, cobre y bario relacionadas con las zonas de alteración hidrotermal y cuarficación, mientras que la geofísica refleja anomalías de polarización inducida, resistividad aparente así como valores mínimos magnéticos de ΔZ , todas éstas relacionadas con zonas de falla que presentan alternancias de cuarficación y argilitización, perspectivas para la búsqueda de oro.

Durante los trabajos geológicos realizados por la A.E. Geominera S.A. – Joutel Resources LTD se tomaron muestras en las trincheras 41 y 6, la trinchera 41 cortó 16.0 m con un contenido medio de 0.33g/t de oro, mientras que la trinchera 6 cortó un intervalo de 5 m con un contenido medio de 0.52 g/t de oro.

En los alrededores del río Gitanilla, el Ing. Mario Estrujo durante los trabajos mineragráficos realizados en el Informe Prospección Preliminar de los Flancos y Horizontes profundos del Campo Metalífero El Cobre describió en el pozo S- 48



a la profundidad 357 m un grano de oro de la variedad electrum y cuatro granos aislados de plata nativa en el pozo S-52 a la profundidad de 78.80 m.

Durante los trabajos geológicos de la Prospección Preliminar en los Flancos y Horizontes Profundos del Campo Metalífero El Cobre se perforaron los pozos S-24, S-31 y S-25 en el Este y Sureste del yacimiento Barita, los cuales arrojaron presencia de tobas brechosas con fuerte oxidación y abundantes fragmentos silíceos, vetas de cuarzo, cloritización y mineralización de calcopirita, fragmentos silicificados en una lava riodacítica con pirita diseminada(A. Luna, 1982 – 1989)

Estos pozos fueron estudiados para la localización de menas cupríferas no siendo así para el muestreo de oro por lo que se necesitaba la evaluación e interpretación de todos aquellos indicadores que nos reflejen las posibilidades de localización de mineralización aurífera.

En la zona sureste de "Barita" próximo al poblado El Cobre existe la presencia de brechas andesíticas, silicificadas con agrietamiento intenso en diferentes direcciones con óxidos de sulfuros, cristales oxidados de pirita y diseminadas vetas de cuarzo. Los pozos 567 y 578 ejecutado por la A.E. Geominera S.A. – Joutel Resources. LTD, año 1996 presentan brechas silicificadas con vetas de cuarzo y sulfuros diseminados con oro nativo.

En el año 2003 se realizaron trabajos de prospección y exploración en la manifestación Loma La Plata – Ermitaño estudiada por el Proyecto Prospección Detallada Oro Loma La Plata(Medina, 2003), la misma estaba dirigida a incrementar los recursos de oro en el área, este estudio arrojó contenidos medios de oro de 0.10 a 0.30 g/t, que no cumplen con el contenido de borde requerido en el cálculo de los recursos de oro en el yacimiento "Oro Barita".

La zona Loma La Plata representa un área característica de stockwork, observándose vetillas de cuarzo con sulfuros oxidados y abundante agrietamiento generalmente relleno de óxidos y limonita en diferentes direcciones. Existencia de oro en afloramientos y trincheras que fueron comprobados con perforaciones, además laboreos mineros también



muestreados y documentados, anomalías geofísicas y geoquímicas que permitieron identificar la presencia del oro y las interpretaciones del método del Complejo Redox.

Especialistas del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) realizaron un Mapa del Escenario Landsat del campo menífero El Cobre hasta Aserradero, observándose que sólo se reflejan de forma intensa los sulfuros del yacimiento El Cobre, los que se encuentran en forma de herradura cortada en Zona Alta por la tectónica que separa el sur del yacimiento El Cobre de Zona Alta.

Zona Alta siempre ha sido valorada como un bloque levantado y la mineralización cuprífera con un grado de erosión intensa, esta idea se corrobora con el informe de Prospección Loma La Plata, pero esta valoración es diferente para el bloque al sur de la cantera El Cobre hasta las proximidades con Zona Alta, donde al revisar algunos datos de análisis aero-espectrales pudieron observar en los pozos de la prospección detallada Zona Sur El Cobre (A. Luna, 2001), se mapearon zonas de silicificación con vetas de cuarzo aisladas en los primeros 100 m, con pirita y esfalerita diseminada con presencia de oro nativo de hasta 1 g/t, la zona mineral se presenta alrededor de los 200m de profundidad y también se denota presencia de oro de hasta 0.1 g/t.

En el 2011 se realiza un trabajo denominado Caracterización, tratamiento y disposición de residuos generados en el procesamiento de minerales “Oro Barita” (Pacheco & Vera, 2011).

Santa Rosa se ha convertido durante los últimos años en un prospecto aurífero muy importante, a esta área se le atribuyen las siguientes concentraciones según trabajos realizados en esta zona: 0,3 - 17,39 % de Cu, 0,37 - 39,48 % de Zn, hasta 1,08 % de Pb, hasta 1 % de Cd y hasta 100 g/t de Ag. En esta área existen tres socavones y un pozo de mina antiguos, muy cerca de uno de esos socavones, una muestra seleccionada con abundante malaquita dio 0,025 g/t de Au, 13,8 g/t de Ag, 9,25 % de Cu y 3,47 % de Zn. En muestras de rocas volcánicas con vetillas de cuarzo se han determinado hasta 1,28 g/t de Au. Los



minerales principales que han sido determinados son: pirita, calcopirita, esfalerita, galena, oro nativo(X. Cazañas et al., 2010)

1.10 Características geológicas regionales.

Petrográficamente se describen fundamentalmente las rocas pertenecientes a los miembros inferiores Caney; Hongolosongo medio y superior, Yarayabo pertenecientes al Grupo El Cobre. El esquema estratigráfico de la región es tomado del levantamiento realizado a escala 1: 50 000(Grechanik & Norman, 1967-1969) ya que es el más detallado que se ha realizado, aunque el mismo presenta algunos aspectos que no se corresponden con el conocimiento geológico actual, por lo cual se utilizó además la información del Léxico Estratigráfico actual.

El campo menífero El Cobre se localiza en la secuencia inferior y media del miembro Hongolosongo(Grechanik & Norman, 1967-1969), mientras que el miembro superior no se relaciona con la mineralización.

La secuencia superior se ubica al norte del campo menífero, está compuesta por rocas sedimentarias, volcánogeno-sedimentarias de composición media y básica donde predominan areniscas tobáceas, conglomerados tobáceos, lavas, tufitas, ignimbritas y diseminados lentes de caliza.

La secuencia media del miembro Hongolosongoestá compuesta por rocas volcánogenas de composición media-ácida, con predominio de tobas andesíticas de fragmentos gruesos y aglomerados, brechas, mantos de lavas andesíticas y dacíticas, en la parte superior del corte lentes de calizas. Esta es la más desarrollada en la región y en esta secuencia se ubican el mayor número de manifestaciones y depósitos minerales del campo menífero, incluyendo los yacimiento El Cobre y Oro Barita.

La secuencia inferior está compuesta por rocas volcánogenas de composición media-ácida, se distribuye en la parte sureste de la región, donde predominan aglomerados tobáceos, lavas, areniscas tobáceas e intercalaciones de tufitas.

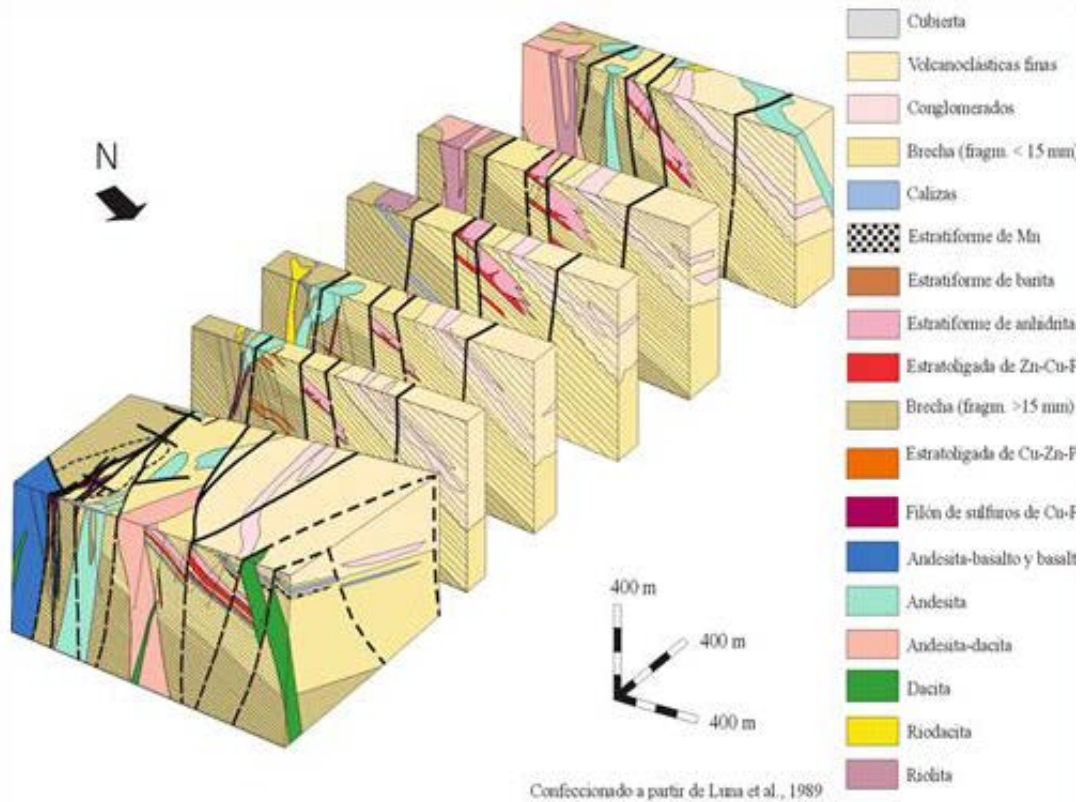


Figura 1. 2 Esquema geológico del yacimiento "El Cobre".

El yacimiento "Oro Barita" se ubica en la secuencia media de Hongolosongo, muy próximo al contacto con la secuencia superior.

En la zona de contacto entre la secuencia media y superior de Hongolosongo, se han encontrado las zonas mineralizadas de oro, tales como Melgarejo, El Cobre Norte, Mina Nueva, Oeste de Barita, El Pajón Norte – Sur, La Esperanza, Santa Rosa, etc. Todas las manifestaciones y zonas mineralizadas tienen algún grado de estudios geológicos con perforaciones y trabajos de superficie (muestreos).

El grupo El Cobre, fue descrito por (Huang, 1972). Cuenta con dos subdivisiones la Fm. El Caney y Fm. Pilón. El Grupo El Cobre está ampliamente distribuido en la Sierra Maestra, provincias de Granma, Guantánamo y Santiago de Cuba. El grupo El Cobre está constituido por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones



alternantes, muy variables, tanto en sentido vertical como lateral. Las transiciones entre las rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias a veces son bruscas y otras graduales y en muchos casos es prácticamente imposible establecer delimitaciones entre ellas. Las rocas más abundantes pertenecientes a este complejo vulcanógeno-sedimentario son: tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesidacítica y dacítica, raramente riolítica, riodacítica y basáltica. Con las rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian a este complejo vulcanógeno-sedimentario cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas.

En el área de estudio están desarrollados ampliamente los depósitos sedimentarios de origen volcánico que forman parte de la Formación "El Cobre", la cual fue destacada y descrita por primera vez por (Taber, 1931). El espesor total de la formación es de 4000-6000 m y su edad como Cretácico superior (?) –Paleoceno (?)– Eoceno. Entre los depósitos sedimentarios de origen volcánico de la formación El Cobre se destacan: tobas de fragmentos gruesos, medianos y finos, aglomerados tobáceos, brechas tobáceas, porfiritas andesíticas y pórfidos dacíticos. Se encuentran capas pequeñas y lentes de areniscas tobáceas, tufitas y calizas. En su composición también participan tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas y vulcanomícticas y grauvacas, ver figura 1.2.

La formación Cobre, fue destacada y descrita por primera vez por Taber en 1931, aunque su descripción más detallada la realizó (Lewis & Straczek, 1955)

1.11 Características geológicas del área de estudio.

La geología del área de estudio está representada por las secuencias rocosas pertenecientes al Grupo El Cobre de edad Paleoceno Eoceno Medio y a las rocas magmáticas vinculadas a la actividad del Arco de Islas Volcánicas del Paleógeno que se desarrolló en esta zona.



La secuencia media de Hongolosongo tiene el mayor desarrollo en el área que se estudia, formando casi totalmente el campo menífero El Cobre, localizándose en la misma los yacimientos "El Cobre" y "Oro Barita", además de numerosas manifestaciones minerales de oro entre las cuales se encuentra Santa Rosa.

Las rocas predominantes en el área pertenecen a las secuencias media y superior de Hongolosongo y están representadas por rocas de composición media y ácida (andesitas hasta riolitas) destacándose tobas andesíticas de diferente granulometría hasta aglomerados, brechas volcánicas, ignimbritas, mantos de lavas andesíticas y dacíticas y lentes de caliza.

El azimut de buzamiento general es noroeste (330°), con un ángulo de buzamiento desde 200° hasta 350° . Se destacan dos tipos de formaciones magmáticas: intrusivas y volcánicas(A. Luna, 2001).

En la parte superior del corte se presentan rocas volcanógenas sedimentarias de la secuencia superior de Hongolosongo representadas por areniscas tobáceas de diferente granulometría, que presentan estratificación de 5° a 30° con azimut de buzamiento al NW.

La secuencia media de Hongolosongo está representada por rocas vulcanógenas con fuerte alteración hidrotermal, observando en la parte alta del corte tobas andesíticas argilitizadas, sericitizadas, con piritita diseminada, grietas y vetillas rellenas de yeso en diferentes direcciones(A. Luna, 2001).

Por debajo, tobas de composición medio-ácidas, brechosas con alto grado de silicificación, vetas de cuarzo, en superficie aparece un tipo de cuarzo muy poroso, sulfuros diseminados (pirita y esfalerita), donde se localiza la mineralización aurífera. En profundidad los pozos que cortan las zonas mineralizadas se presentan en rocas tobáceas, brechosas muy silicificadas, cuarcificadas, con vetas de cuarzo y yeso, la mineralización más frecuente está compuesta por pirita, calcopirita, esfalerita y galena menos abundante.(X. Cazañas, 2000)



Son frecuentes las tobas muy alteradas donde los fragmentos aparecen en una matriz argílica, con frecuencia arcillosa. En otras parte del corte las tobas se presentan muy cloritizadas, sericitizadas y caolinizadas, además abundan las vetas de cuarzo muy rugoso. También se encuentran sulfuros, pirita, esfalerita, calcopirita y óxidos e hidróxidos de hierro.

La mineralización sulfurosa del sector Santa Rosa presenta contenidos variables en forma de vetas, nidos y diseminaciones. Hay vetillas muy finas con aspecto dendrítico. Los contenidos de oro presentes en el área están relacionados con la mineralización cuarzo-sulfurosa. La esfalerita es el sulfuro más abundante y se presenta en forma de vetillas y nidos, en algunas vetas es masiva, la forma de los granos es irregular, predomina la esfalerita de color oscuro.(X. Cazañas, 2000)

La pirita se presenta en cristales, vetillas, relleno de grietas y agregados irregulares. La calcopirita se presenta en vetillas y nidos acompañada por esfalerita y en casos aislados por galena, es la menos difundida, en forma de cristales y agregados irregulares.

En un estudio mineralógico realizado a 18 muestras al yacimiento "Oro Barita"(Rodríguez_Fernandez, 2000) se observó que la mineralización cuarzo-sulfurosa está relacionada con el oro nativo. El 29.9% de los granos de oro observados se asocian al cuarzo en forma de pequeñas inclusiones o vetillas, el 28.2% de los granos están asociados a la esfalerita y el 5.98% se asocian a la pirita muy similar a los resultados obtenidos en muestras analizadas pertenecientes al sector Santa Rosa. En total el 70.09% del total de granos de oro nativo identificados se encuentran asociados a los sulfuros.(A. Luna, 2001) El tamaño de los granos de oro es variable, desde 0.002 mm, hasta 0.020 mm, se considera probable la existencia de oro submicroscópico.

La forma de ocurrencia del oro nativo, así como las características de la mineralización cuarzo-sulfurosa, sugiere la existencia de una estrecha relación genética entre ambos, probablemente con cierto desplazamiento en el tiempo. Las alteraciones hidrotermales fundamentales son: la silicificación, argilitización,



cloritización, sericitización, la alunita aparece muy desarrollada en la zona de oxidación.(A. Luna, 2001)

Sobre la génesis de la manifestación aurífera Santa Rosa existe un criterio compartido por la mayoría de los especialistas ubicándolo en el grupo de los epitermales de metales preciosos, de emplazamiento somero.(A Luna, 2001)

Los criterios de génesis y modelos de mineralización en esta región (campo metalífero El Cobre) han sido y continúan siendo muy controvertidos, pero todos coinciden en que tienen un origen volcanogénico e hidrotermal, con sistemas de fallas profundas y con mayor duración en el tiempo; actividad magmática bimodal (andesita-dacita hasta riolita); manifestaciones minerales que se formaron próximas a la superficie; cuerpos con formas de filones, stockworks, disseminaciones, reemplazos; texturas de rellenos de espacios abiertos y brechas; la mineralización de sulfuros disseminados con oro nativo y plata nativa conocidas se ubican generalmente en la secuencia media de Hongolosongo en rocas volcánicas; del Paleoceno hasta Eoceno medio; las alteraciones hidrotermales son silicificación, argilitización (con caolinita y alunita) y sericitización, son criterios que nos indican el modelo de este yacimiento y de la mineralización de oro presente en el sector aurífero "El Cobre.(X. Cazañas, 2000)

1.12Tectónica.

La tectónica juega un papel importante en el Campo Menífero El Cobre, por su carácter controlador de la mineralización, Las fallas y el intenso agrietamiento constituyen el canal de ascenso de cuerpos subvolcánicos y soluciones hidrotermales mineralizadas, hacia los horizontes superiores, como ejemplos se muestran el yacimiento El Cobre, Zona Alta, Cobre Norte, etc.

La presencia de dos sistemas de fallas (EW y NW) origina estructuras en bloques como el de Barita, cuya edad no sobrepasa el Eoceno Inferior, estas zonas forman nudos estructurales compuestos por concentraciones de rocas intensamente falladas, en las que coinciden complejas zonas lineales de vetas entrecruzadas que controlan las concentraciones más importantes de



mineral.(Proenza & Melgarejo, 1998). Al noroeste de la zona mineralizada (observada en superficie y pozos), aparece una falla con dirección NE-SO que limita la zona mineralizada de oro, donde se observa la zona argílica con piritita diseminada, hasta el contacto con las rocas volcánogeno-sedimentarias del miembro superior de Hongolosongo, sin mineralización alguna.(Rojas-Agramonte et al., 2006)

En el sector Santa Rosa la yacencia de las rocas vulcanogénicas es monoclinal, con un buzamiento al NE y N.NE bajo los ángulos 15° 40° . La tectónica disyuntiva es bastante complicada, por ello existen tres sistemas de estructuras tectónicas. El primer sistema tiene una dirección O-N.O y se determina por la presencia de diques e intrusiones alargadas de porfiritas andesíticas con orientación indicada. El segundo sistema de estructuras está orientado al N-NO en la zona accidental del área de estudio. Existen fracturas tectónicas de hasta 1, 5 metros de espesor que pertenecen a este sistema, por estas fracturas se observan pequeños deslizamientos de rocas vulcanogénicas y porfiritas andesíticas intrusivas. Finalmente el tercer sistema de dirección NE se refiere una serie de pequeñas fracturas tectónicas y una zona de rocas intensamente fracturadas en la parte noreste del área de estudio. Con esta última estructura está relacionada la penetración de una serie de diques de porfiritas andesíticas y microdiabasas. (E.L.Zikin et al., 1968)



Conclusiones

- Las formaciones geológicas en el área de estudio pertenecen a los miembros inferiores Caney; Hongolosongo medio y Yarayabo superior, pertenecientes al Grupo El Cobre.
- En el área de estudio existen tres sistemas de estructuras tectónicas.



CAPÍTULO II: Materiales y métodos empleados en la investigación.

Introducción.

Metodología de la investigación.

Recopilación y procesamiento de los trabajos preexistentes.

Trabajos de campo.

Trabajos de laboratorio.

Análisis petrográficos.

Análisis de microscopía de menas con luz reflejada.

Análisis de DRX.

Etapas de gabinete.

Conclusiones.

2.1 Introducción

El capítulo trata sobre la metodología utilizada durante la investigación con el objetivo de establecer los rasgos petrográficos, mineralógicos y geoquímicos del sector Santa Rosa, así como los métodos, herramientas y materiales que en su conjunto posibilitaron el desarrollo de la investigación.

2.2 Metodología de la investigación

La investigación ejecutada en la zona de Santa Rosa se realizó en cuatro etapas fundamentales, ver figura 2.1, para ello se hizo necesario el empleo de varios métodos, herramientas y materiales. En cada una de las etapas se desarrollaron tareas las que se abordan en detalle a continuación.

Etapa 1: Recopilación y procesamiento de la información preexistente

Etapa 2: Trabajos de campo

Etapa 3: Trabajos de laboratorio

Etapa 4: Trabajos de gabinete

2.3 Recopilación y procesamiento de la información preexistente

Durante esta primera etapa de la investigación se realizó una búsqueda de información bibliográfica. Para ello se realizó una revisión de una serie de



artículos científicos, trabajos investigativos, revistas, tesis de grado, de maestría y doctorales, así como informes relacionados con la temática a tratar.

Para ello se utilizó información del fondo geológico del ISMMM e información suministrada por la empresa Geominera Oriente, así como sitios web del internet especializados en el tema como la página web de la biblioteca de la Sociedad Cubana de Geología (www.redciencia.cu/geobiblio.html). También se realizó una búsqueda en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) en donde se escogieron los informes que se han realizado en el área de estudio por diferentes empresas entre las que destaca la Joutel Resource en colaboración con la Geominera S.A.

Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica, esta fue almacenada en el gestor bibliográfico EndNotex4 para procesar e interpretar los datos obtenidos previamente y posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo.

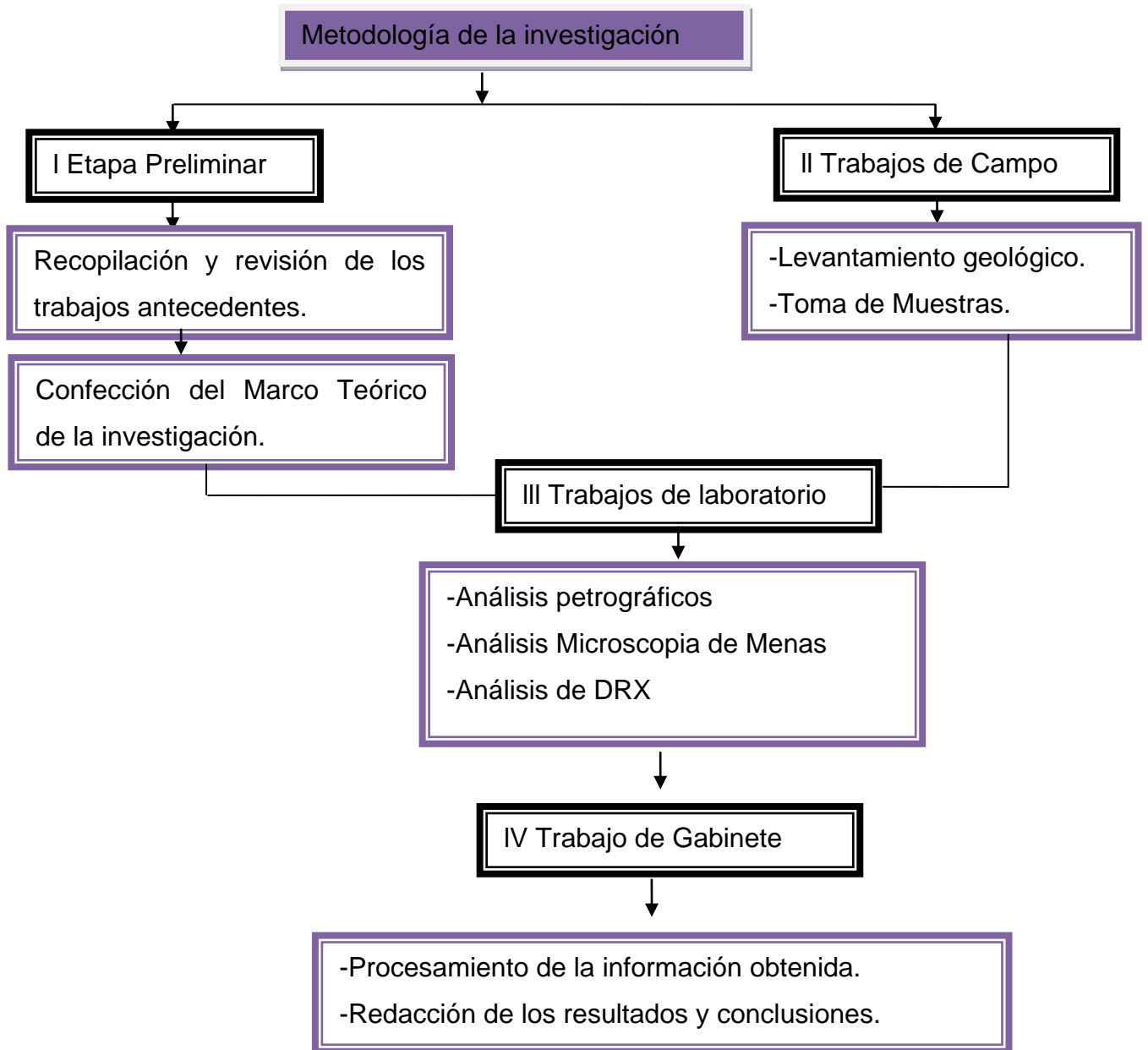


Figura No 2. 1 Etapas del desarrollo de la investigación en el sector Santa Rosa, municipio Santiago de Cuba.



2.4 Trabajos de Campo

El trabajo de campo se planificó teniendo en cuenta lo abordado en las investigaciones precedentes, precisando las áreas dentro de la región de estudio con menor información además de los objetivos de la presente investigación. Las muestras de rocas seleccionadas para el presente trabajo investigativo fueron tomadas previamente en el campo durante los itinerarios geológicos de levantamiento a escala 1:25 000 en el que se aplicaron itinerarios geológicos detallados. Se comprobaron los resultados de la etapa preliminar de los trabajos antecedentes ejecutados por comisiones geológicas, con el objetivo de documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio. Para realizar los trabajos de campo se utilizaron algunos medios que se mencionan a continuación.

- Mochila
- Libreta, lápiz y marcadores permanentes
- Martillo y brújula de geólogo marca Burton, ver figura 2.2 a.
- Ácido clorhídrico diluido al 10%
- Imán, bolsa de polietileno para la toma de muestra, soga de nylon para suturas
- Carta topográfica a escala 1:25 000
- GPS marca Garmin de factura alemana ver figura 2.2 b.
- Cámara fotográfica marca Canon

2.5 Trabajos de Laboratorio

Para el análisis de las muestras de rocas seleccionadas en la investigación fue necesario realizar trabajos de laboratorio que estuvieron dirigidos hacia los análisis petrográficos de luz polarizada y microscopía de menas en luz reflejada para una mayor precisión en las determinaciones mineralógicas de las muestras. También se realizar otros análisis como la DRX, ATD y quimismo.



Las microfotografías fueron tomadas por medio de una cámara digital de video MDCE-5^a, insertada al microscopio para tomar las microfotografías que fueron analizado, ver figura 2.2 i. La cámara digital de video se inserta al microscopio y al puerto USB de la computadora dando una imagen en el monitor del campo visual seleccionado, posteriormente se abre el programa ScopePhoto 2.0, se coloca el objetivo 4X en el microscopio NOVEL y se selecciona la foto. Las secciones pulidas fueron preparadas en el laboratorio de preparación de muestras del ISMMM, ver figura 2.2 d, e y f.

2.6 Análisis petrográfico.

Para la realización de los análisis micro-petrográficos se confeccionaron a partir de las muestra una serie de secciones delgadas en el taller de preparación de muestras de rocas del ISMMM, para luego ser analizadas bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca NOVEL de procedencia China en el laboratorio de petrografía, ver figura 2.2 g. Las descripciones petrográficas se realizaron tanto con nicoles cruzados como paralelos, trabajando con los objetivos 10X y 20X, foco 17.13mm y una distancia de trabajo aproximada de 7.316mm. Para dicho análisis se tuvieron en cuenta la determinación de los parámetros ópticos siguientes: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción, exfoliación, granulometría de los granos e índices de refracción. Además de los parámetros ópticos anteriormente expuestos se determinaron los principales tipos de texturas de las rocas; para lo que las descripciones fueron apoyadas con el uso de bibliografías tales como: Mineralogía óptica(Kerr, 1984), Atlas de asociaciones minerales en láminas delgadas de (Melgarejo, 1998), Metamorphic texture de (Spray, 1999), Atlas of Alteration (Allen, Barrett, & Browne, 1996) , Geología de yacimientos minerales(Smirnov, 1982),entre otras.



Figura No 2. 2 Medios empleados en la investigación.

a) Brújula de geólogo marca Brunton. b) GPS-315 marca Maguellan; c) Molino planetario de bola con crisoles de ágata, d) Máquina esmeriladora (Montasuial); e) Máquina cortadora (Minocecar); f) Máquina pulidora de dos platos (PG-20); g) Microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca Novel; h) Microscopio mineragráfico Jenalab (Pol-U) de la Carl-Zeiss; i) video cámara digital ocular MDCE-5ª

2.7 Análisis de microscopía de menas con luz reflejada.

Para la realización de los análisis de microscopía de menas se confeccionaron a partir de las muestra secciones pulidas en el taller de preparación de muestras de rocas del ISMMM, para luego ser analizadas bajo el microscopio de luz reflejada, modelo Jenalab (Pol-U) de la Carl-Zeiss de la República Federal Alemana en el laboratorio de microscopía de menas de la misma institución, ver figura 2.2 h. Las descripciones se realizaron tanto con nicoles cruzados como paralelos, trabajando con los objetivos 10X, 20X y 50X.



En el análisis de luz reflejada se aplicaron los parámetros ópticos siguientes: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción, exfoliación, granulometría de los granos e índices de refracción(n). Además de los parámetros ópticos anteriormente expuestos se identificaron los principales tipos de texturas presentes en las rocas; para lo cual las descripciones fueron apoyadas con el uso de bibliografías tales como: Mineralogía Óptica de Paul F. Kerr, Atlas de asociaciones de minerales en láminas delgadas de Joan Charles Melgarejo, Metamorphic texture de (Spray, 1999). También se utilizaron resultados de investigaciones anteriores (Simon et al., 1999), (Hamilton, 1998) entre otros.

2.8 Método de difracción de rayos-X (DRX)

Para el análisis de las fases mineralógicas que no se pudieron identificar bajo el microscopio petrográfico se empleó la técnica de difracción de rayos-x (XRD). El método consiste en hacer incidir un haz de rayos-X de radiación monocromática sobre la muestra de roca finamente pulverizada la cual se extiende por la superficie de un vidrio porta usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo (Mariño, 2015). El instrumento está construido de tal manera que el portatestigo, cuando se sitúa en posición, gira sobre un brazo hasta registrar los rayos X reflejados. Las variaciones de intensidad en los rayos reflejados se obtienen gráficamente en un registro denominado difractograma en el cual se ven manifestados los diferentes picos de reflexión provenientes de la muestra. La altura de los mismos son directamente proporcionales a las intensidades de las reflexiones que las provocaron. (Figura 2.3).

La técnica de difracción de rayos-x mediante el método del polvo (por sus siglas en inglés PXRD) es una de las técnicas analíticas más versátiles en la identificación de las fases de un material cristalino (Pérez, 2015)

El análisis de las muestras fueran realizadas en el laboratorio de la empresa CEDINIQ mediante el difractómetro X'PERT³ de PANalytical con las siguientes condiciones: Barrido tipo Gonio en $[\theta]$ registro angular desde 4.0042 hasta 79.9962 con distancia de paso en 2θ de 0.0080 con radiación de Cu y filtro de níquel. La diferencia de potencial es de 40 kV y corriente de 30 mA. La



calibración del equipo se chequea con patrón externo de silicio y el análisis cualitativo de fases se realiza con la utilización del software HighScore de Panalytical.



Figura No 2. 3 Fotografía del equipo de difracción de rayos-X, marca PANalytical modelo X'PERT3

2.9 Etapa de Gabinete

Después de obtenidos los resultados de los análisis realizados durante la ejecución del trabajo, fueron procesados con la ayuda de programas informáticos tales como las herramientas de Office 2010, entre ellas Microsoft Excel y Word, Surfer11, Grapher 10, etc. para luego ser interpretados por medio de tablas y gráficos que forman parte de la memoria escrita.



Conclusión

- De los minerales identificados, a algunos no se le pudieron determinar todas sus propiedades petrológicas, para ello es necesario aplicar métodos analíticos avanzados.
- Se estableció un cronograma por etapas para la realización de la investigación.
- Se aplican métodos para la identificación de las rocas y la mineralización aurífera: petrográfica, microscopía de menas en luz reflejada, DRX, ATD y quimismo.



Capítulo III: Petrografía y mineralogía del sector aurífero El Cobre, Santiago de Cuba.

Introducción.

Petrografía del sector aurífero Santa Rosa.

Minerales metálicos (Mineragrafía)

DRX

Alteraciones hidrotermales.

Paragénesis minerales.

Conclusiones.

3.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los principales rasgos petrográficos y mineralógicos de las rocas del sector aurífero El Cobre, las alteraciones hidrotermales así como las paragénesis minerales de las rocas de la región de estudio.

3.2 Petrografía del sector Santa Rosa.

Desde el punto de vista geológico las rocas estudiadas pertenecen a los miembros Caney, Yarayabo y Hongolosongo que conforman el grupo El Cobre (Grechanik & Norman, 1967-1969; Lavandero et al., 2001; A. Luna, 2001; Rodríguez_Vega & Díaz_Martinez, 2001)

En la región de estudio es característica la presencia de rocas efusivas, las cuales están representadas por basaltos, andesito-basaltos, andesitas, dacitas y riódacitas. También es característico el desarrollo de las rocas piroclásticas con una diferenciación de sus productos que van desde bombas piroclásticas con composición basáltica a riolitas y una composición dominante de sus facies vulcanógenas de andesito-basáltica y andesíticas.(Calderón; Cazañas et al., 1998; X. Cazañas, Melgarejo, & UNA, 2001; Cazañas , Proenza, Lewis, & Melgarejo, 1998; Mendez-Calderón, 1997)

La presencia de dos sistemas de fallas origina estructuras en bloques como el del yacimiento "Oro Barita", cuya edad no sobrepasa el Eoceno Inferior. En



“Barita” existe un intenso agrietamiento que tiene influencia en la limitación o desplazamiento de la mineralización.(Cazañas et al., 1998)

Para el estudio petrográfico de las rocas se seleccionaron en base a la distribución geográfica y a sus características macroscópicas trece muestras que ponen de manifiesto las características geológicas y petrográficas del área investigada, ver Anexo No 1.

En las rocas analizadas en la investigación se identificaron riolitas, andesitas, toba, dacita, basalto, andesito basalto y silicita, cuyas características petrográficas serán tratadas a continuación.

Riolitas.

Las riolitas analizadas presentan una coloración gris con diferentes tonalidades. De las muestras analizadas cuatro corresponden a este tipo de roca y su ubicación dentro del área de estudio se puede observar en el Anexo No.2. Macroscópicamente son rocas que presentan una estructura compacta, ver figura 3.1 a. En general éstas rocas son hipocristalinas donde el mayor por ciento de la superficie está cubierto por sílice microlítica formada a consecuencia de la recristalización, ver figura 3.1 b.

En ocasiones se observa la alteración de minerales como las plagioclasas que han sufrido un proceso de calcificación en casi su totalidad, y donde a apenas se observan algunos fragmentos del mineral primario, aun así se puede distinguir la característica forma de tablilla subhédrica de estos minerales, el tamaño de los cristales promedia los 0.6mm, ver figura 3.1 d. En estas muestras también es posible observar cristales de calcita los cuales se han formado como resultado de la alteración los cuales han adquirido forma de agregado irregular, ver figura 3.1 e. Existe presencia de cuarzo que aparece en cristales euhédricos de tamaño medio regularmente y fenocristales que pueden llegar a medir hasta 4mm, ver figura 3.1 c. Se observan cristales de feldespato alcalino y analcima que aparecen como minerales secundarios, en cristales euhédricos de tamaño medio, ver figura 3.1 c y f. En estas muestras se aprecian además otros minerales como la nefelina con sus característicos cristales prismáticos

hexagonales los cuales poseen un diámetro aproximado de 1mm, los cristales de analcima son subhédricos con un diámetro de 0.5 mm aproximadamente, ver figura 3.1 c. En la muestra SRP 24 se puede apreciar una intensa mineralización metálica y una fuerte oxidación producto a la alteración de los minerales opacos. Se observaron cristales euhédricos de feldespato con un diámetro 0.6mm aproximadamente. En algunos casos la mineralización metálica es muy abundante y se manifiesta tanto en forma de sulfuros como de óxidos e hidróxidos, ver figura 3.1 f, g y h.

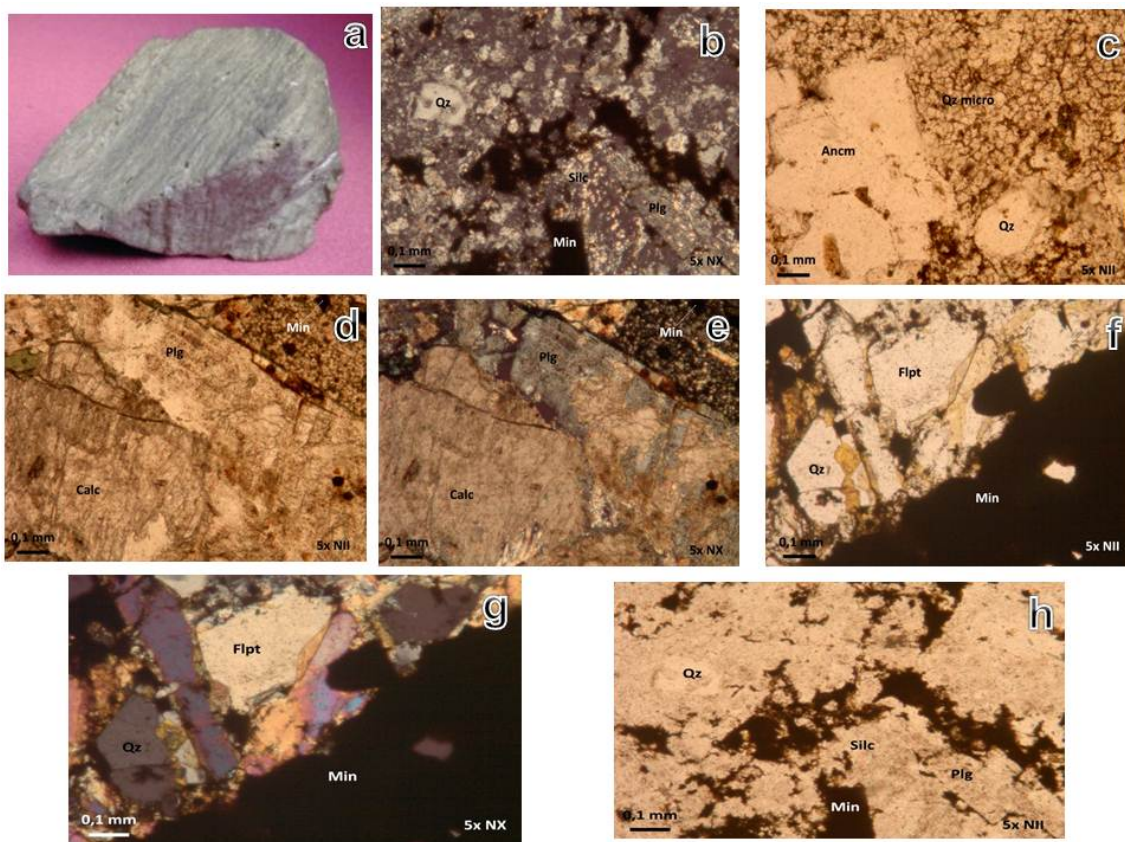


Figura 3. 1 Fotografías de muestra de mano y secciones delgadas de las muestras SRP-17, SRP-18, SRP-19a y SRP-24

a) Fotografía de la muestra de mano SRP-18 .b) Microfotografía de la muestra SRP-18. Plagioclasas (Plg), Cuarzo (Qz) Minerales opacos (Min) c) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles // de la muestra SRP-19 d) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles // de la muestra SRP-17 .e) microfotografía con objetivo 5x y nicoles X de la muestra SRP-17. f) Microfotografía de la muestra SRP-24 con nicoles // Flpt (feldespatos) Cuarzo (Qz) y Minerales opacos (Min) g) Microfotografía de la muestra SRP-24 con nicoles X. h) Microfotografía de la muestra SRP-18 con nicoles //.



Los minerales opacos en estas muestras oscilan entre 5 % y un 11 % llegando a alcanzar un 64 % en la muestra SRP-24, la textura de las rocas es porfídica. Fue posible clasificar esta roca a partir de los porcentajes modales de los minerales presentes en las rocas teniendo en cuenta la clasificación para rocas ígneas volcánicas definida por Streckeisen en 1976. (Anexo 6)

Andesitas.

Las andesitas son rocas volcánicas de composición intermedia, en el área de estudio se documentaron y determinaron este tipo de rocas en dos puntos diferentes (Anexo No 2). Macroscópicamente son rocas de color gris oscuro con tonalidades verdosas, su estructura es generalmente masivas, densa y compacta, ver figura 3.2 a. Estas rocas están formadas por cristales subhédricos y en ocasiones anhédricos de plagioclasas que poseen diámetros variados que oscilan entre 0.04-0.01mm y en ocasiones alcanzan 1.2 mm, ver figura 3.2 b y c. Se observan procesos de alteración donde el carbonato ha sustituido en un 75 % los cristales y fenocristales de plagioclasa las cuales, aun con este grado de alteración, presentan su característico maclado polisintético, ver figura 3.2 c. La matriz de estas rocas está compuesta principalmente por microlitos de plagioclasa y vidrio volcánico desvitrificado, ver figura 3.2 d. Se observan cristales de cuarzo en toda la matriz y en los bordes de las cavidades irregulares presentes en la muestra, dichas cavidades están rellenas de carbonatos. Existe alteración propilítica, representada por una intensa carbonatización y silicificación, también se observan hidróxido de hierro como productos de la alteraciones hidrotermales. Es muy difícil precisar el porcentaje que ocupan las plagioclasas y el carbonato en la muestra debido a la alteración total de los cristales de plagioclasas a carbonato además de los abundantes óxido e hidróxido de hierro. Existe mineralización metálica la cual se encuentra relleno intersticialmente, posee forma irregular, ver figura 3.2 b. Se observan escasos cristales de cuarzo con forma subhédrica y diámetro de 0.02 mm.

La roca fue alterada primeramente por procesos de cuarcificación y posteriormente por carbonatización.

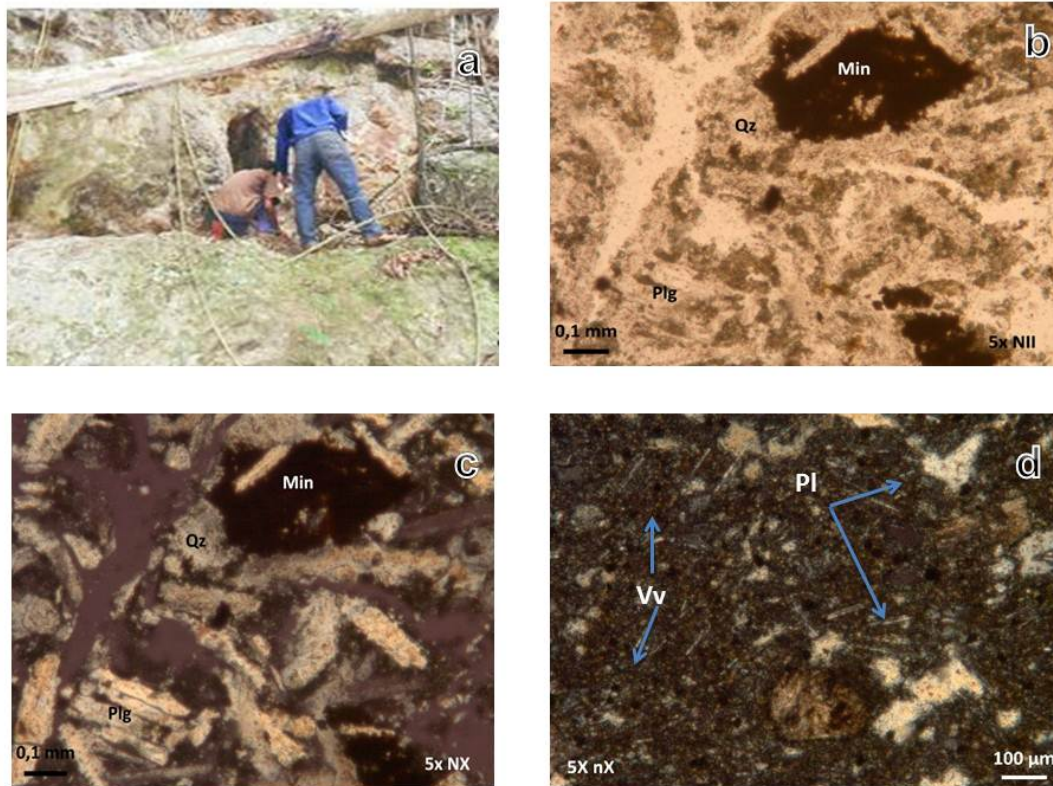


Figura 3. 2 Fotografías de afloramientos y secciones delgadas de las muestras SRP-19b y SRP-47.

a) Fotografía del afloramiento SRP-47. b) Microfotografía de la muestra SRP-19b con objetivo 5X y nicoles paralelos. Cuarzo (Qz) Minerales metálicos (Min) Plagioclasas (Plg). c) Microfotografía de la muestra SRP-19b con objetivo 5X y nicoles cruzados. Cuarzo (Qz) Minerales metálicos (Min) Plagioclasas (Plg) d) Microfotografía de la muestra SRP-47 con nicoles cruzados y objetivo 5X

Fue posible clasificar esta roca a partir de los por cientos modales de los minerales presentes en las rocas teniendo en cuenta la clasificación para rocas ígneas volcánicas definida por Streckeisen en 1976. (Anexo No 6)

Tobas.

En el área de estudio se identificaron dos muestra que fueron clasificada como tobas teniendo en cuenta los por cientos modales de los minerales presentes en



las rocas. Su ubicación dentro del área de estudio se observa en el Anexo No 2. Macroscópicamente se observa que la muestra SRP-27 está muy alterada, fuertemente intemperizada y poco fracturada. Compuesta principalmente por vidrio volcánico (40 %) alterado a cuarzo mediante intensos procesos de cuarcificación y además se ha alterado a minerales arcillosos, ver figura 3.3 b. Se observa mineral metálico del tipo ilmenomagnetita el cual se encuentra muy alterado a un agregado escamoso birrefringente de color amarillo. En los bordes de mineral metálico se puede observar rutilo de color rojo en cristales bien definidos. Se observa alteración propilítica, representada por sericitización y silicificación. La roca es alterada por abundante sericita en cristales y cemento, en algunos sectores llega a formar escamas bien definidas de muscovita que son características de los minerales del grupo de las micas. El cuarzo es de formación posterior a la sericita, se observa en pequeños agregados policristalinos y en crecimiento en el cemento, ver figura 3.3 a. La muestra SRP-29 es una toba vitrocristalolítica compuesta por esquirlas de vidrio volcánico con bordes terminales fibrosa y acanaladas, alteradas por acilla y clorita; cristales de plagioclasas con formas tabulares finas y algunos de cuarzo. Fragmentos líticos de roca volcánica tipo lava de composición media con textura microlítica alterados por arcilla y óxido de hierro. Existe alteración propilítica, representada por clorita y sericita, ver figura 3.3 b. La cloritización representada por clorita pennina la cual altera totalmente cristales de minerales máficos y de forma parcial a las plagioclasas. La sericitización no es abundante se observa en finas escamas en la plagioclasa. Los minerales de alteración presentes son arcilla, clorita, óxidos e hidróxidos de hierro.

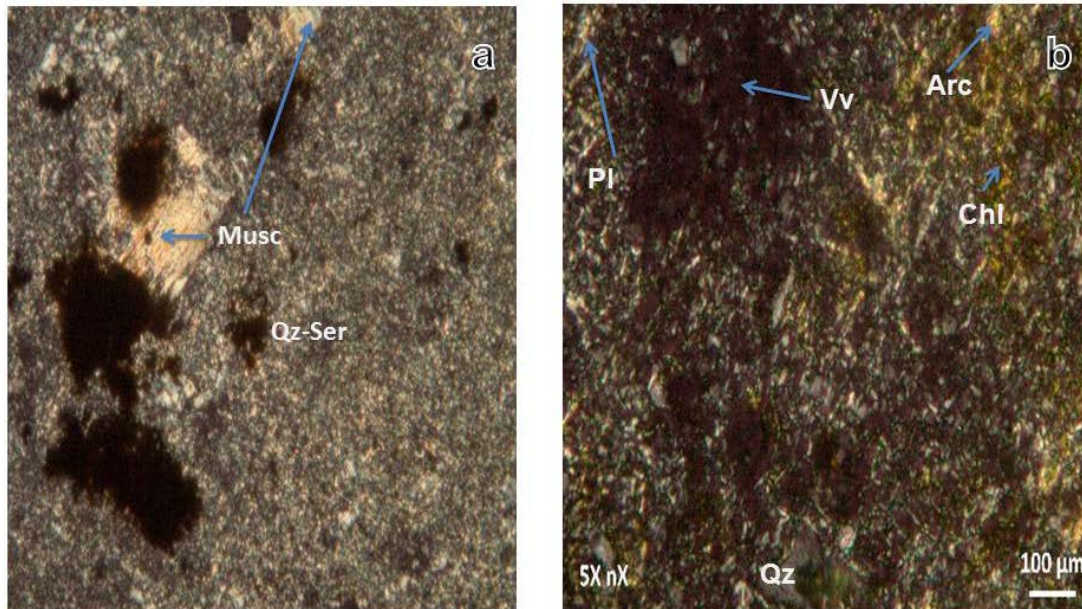


Figura 3. 3 Microfotografías de las secciones delgadas de las muestras SRP-.27 y SRP-29.

a) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles // de la muestra SRP-27, Cuarzo (Qz) Sericita (Ser) y Muscovita (Musc) b) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-29, Cuarzo (Qz), Clorita (Chl), Vidrio volcánico (Vv) Plagioclasa (Pl) y Minerales arcilloso (Arc)

Dacita

En el área de estudio fue identificado un punto cuyas características petrográficas demuestran que la muestra tomada es una Dacita, su ubicación puede observarse en el Anexo No 2, la misma es una roca ígnea volcánica, macroscópicamente presenta una granulometría variada con una coloración pardo verdusca y muy compacta, ver figura 3.4 a y b. Bajo el microscopio se observan fenocristales de plagioclasas muy alterados por minerales secundarios con un diámetro de 0.07 mm a 0.12 mm, ver figura 3.4 d. Existe presencia de cristales equidimensionales de cuarzo corroídos por la matriz alguna de los cuales presentan forma redondeada y presencia de mineral máficos representado por anfíbol que presenta una forma tabular a fibrosa. La muestra consta de una matriz félsica compuesta por cuarzo y vidrio volcánico desvitrificado, ver figura 3.4 c. Se observa mineralización metálica con formas cúbicas disperso por toda la roca, ver figura 3.4 d.

Existe alteración propilítica, representada por epidotización, albitización y silicificación, los minerales de alteración más abundante son la epidota, albita y clinozoisita, se manifiesta en forma de granos anhédricos y cristales tabulares, sustituyendo fenocristales y en los poros de algunos metálicos, ver figura 3.4 d. La silicificación se observa en los cristales de cuarzo y plagioclasa así como en la matriz de la roca, ver figura 3.4 c y d.

La albita es muy abundante y se encuentra en vetillas y en mosaicos con plagioclasa Ca-Na. Existe clorita la cual está asociada a los minerales metálicos.

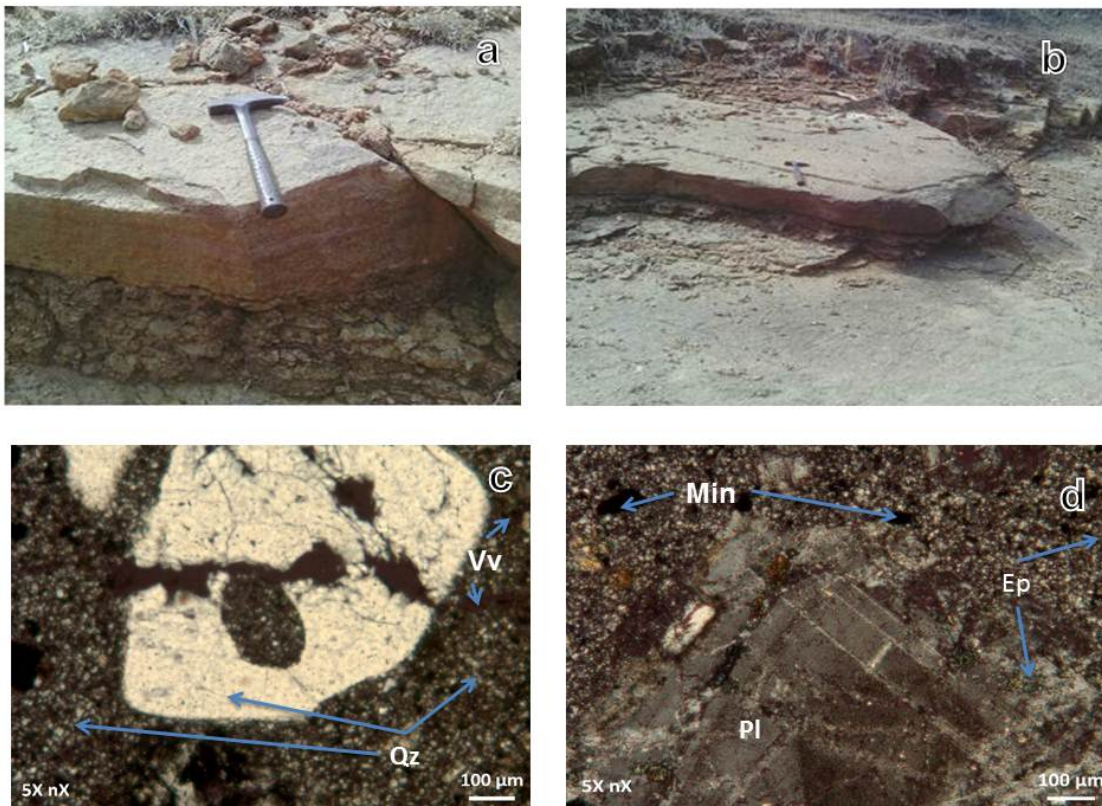


Figura 3. 4 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-28.

a) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-28. b) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-28. c) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-28. Cuarzo (Qz) Vidrio volcánico (Vv) d) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-28. Epidota (Ep), Plagioclasa (Pl) Mineralización metálica (Min)



Fue posible clasificar esta roca a partir de los por cientos modales de los minerales presentes en las rocas teniendo en cuenta la clasificación para rocas ígneas definida por Streckeisen en 1976. (Anexo No 6)

Basalto y Andesito Basalto

En el área de estudio fueron identificadas las muestras SRP- 44 y SRP-45 como basalto y andesito-basalto respectivamente, la ubicación de las muestras tomadas es posible observarlas en el Anexo No 2. La muestra SRP-44 macroscópicamente posee una estructura masiva, bajo el microscopio se observa que su estructura es porfídica-microlítica. La roca está compuesta por fenocristales de plagioclasa tabulares alargados que ocupan el 30 % de la muestra, estos se encuentran zonados y corroídos por material de la matriz, ver figura 3.5 c. Los minerales máficos tienen escasa presencia ocupando aproximadamente el 1 % de la muestra. Se observan minerales metálicos, posiblemente ilmenita y magnetita que se presentan en cristales cúbicos tabulares, ver figura 3.5 c. La matriz está compuesta por microcristales de plagioclasa, piroxeno, granos metálicos y escaso vidrio volcánico, ver figura 3.5 c. La roca está fresca y por lo tanto carece de alteraciones.

La muestra SRP-45(andesito basalto) también presenta estructura masiva pero su textura es mayormente porfídica seriada- amigdaloidal y microlítica orientada. En la muestra se observan cristales de plagioclasa con forma tabular y equidimensionales, ver figuras 3.5 d y e. Se observan cristales cúbicos y tabulares de mineral metálico (ilmenomagnetita?) los cuales se encuentran oxidados, este mineral metálico también se observa en forma de vetillas y ocupa el 4 por ciento de la muestra. La matriz es de microlitos de plagioclasas (ocupa el 53 por ciento) orientados con presencia de cristales de cuarzo y sericita entre ellos. Existe presencia de amígdalas irregulares rellenas de carbonato con presencia de cuarzo y óxidos de hierro en los bordes, ver figura 3.5 e.



Existe alteración propilítica representada por la fase carbonato-sericita y cuarzo, los minerales presentes en la roca son carbonato, cuarzo y sericita.

El carbonato es abundante y se observan dos generaciones: la primera sustituyendo fenocristales de plagioclasa, la segunda en vetillas cortando los fenocristales carbonatizados. La sericita en proporción le sigue al carbonato, se observa en fenocristales y matriz. El cuarzo se observa en la matriz y en vetillas.

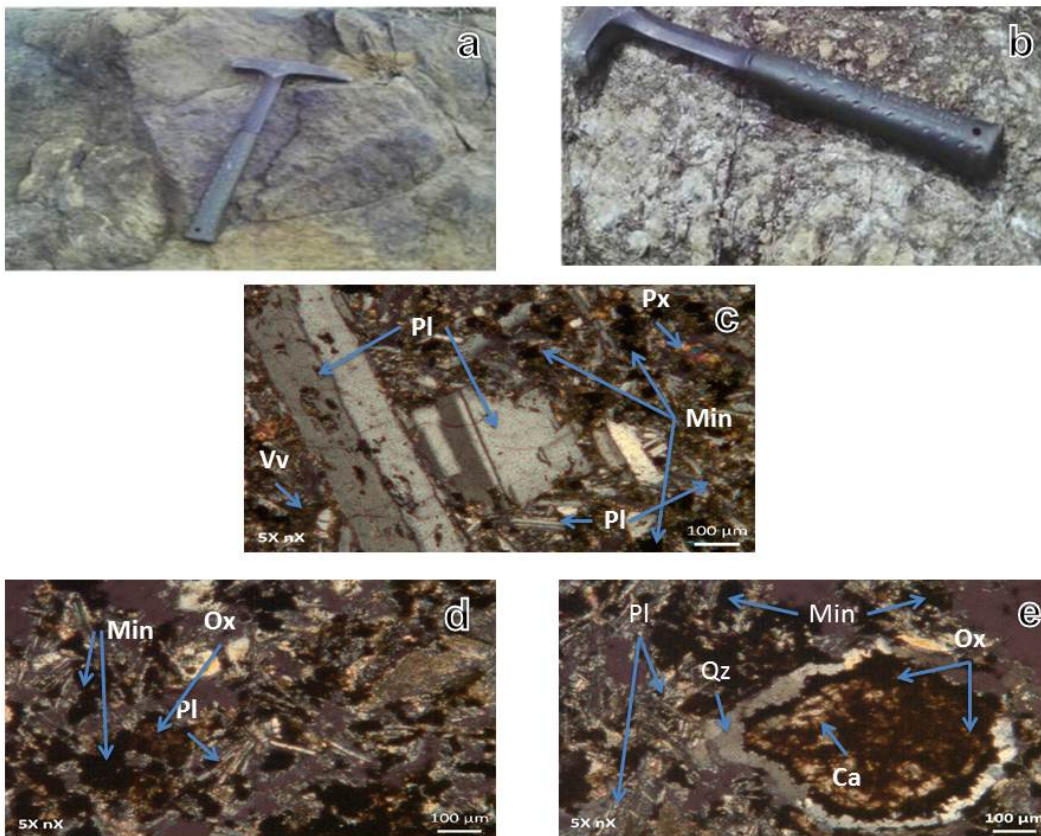


Figura 3. 5 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-44 y SRP-45.

a) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-44. b) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-45. c) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-44. Vidrio volcánico (Vv), Piroxeno (Px), Plagioclasas (Pl), Mineralización metálica (Min). d) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-45. Plagioclasas (Pl), Mineralización metálica (Min), Óxidos de hierro (Ox) e) Microfotografía con objetivo 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-45. Plagioclasas (Pl), Mineralización metálica (Min), Óxidos de hierro (Ox), Cuarzo (Qz) y Carbonato (Ca)



Fue posible clasificar estas rocas a partir de los por cientos modales de los minerales presentes en ellas teniendo en cuenta la clasificación para rocas ígneas definida por Streckeisen en 1976. (Anexo No 6)

Silicita

Las muestras SRP-46 y SRP-56 fueron identificadas como Silicita y Dacita respectivamente y su ubicación en el área de estudio se puede observar en el Anexo No 2. La muestra SRP-46 no posee alteraciones y está formada totalmente por agregados de cuarzo policristalino de tamaño fino a medio cuyos diámetros son menores a 0.05 mm. En general se observan diferente grado de cristalización del silicio, ver figura 3.6 c. No conserva restos de textura primaria y posee una textura cristalina, por sus características petrográficas el autor considera que puede ser una silicita. La muestra SRP-56 posee textura cristalina y está compuesta fundamentalmente por el intercrecimiento de cristales de cuarzo y sericita con diámetros inferiores a 0.01 mm, existe presencia de microcristales de plagioclasas muy aislados con un diámetro menor de 0.02 mm. Existe presencia de minerales hojosos birrefringentes que han sido formados producto de la oxidación los cuales bordean los cristales de los minerales metálicos, estos también se observan relleno de cavidades. Resultó muy difícil precisar la roca primaria pero luego de varios análisis y reinterpretaciones la muestra fue clasificada como una dacita.

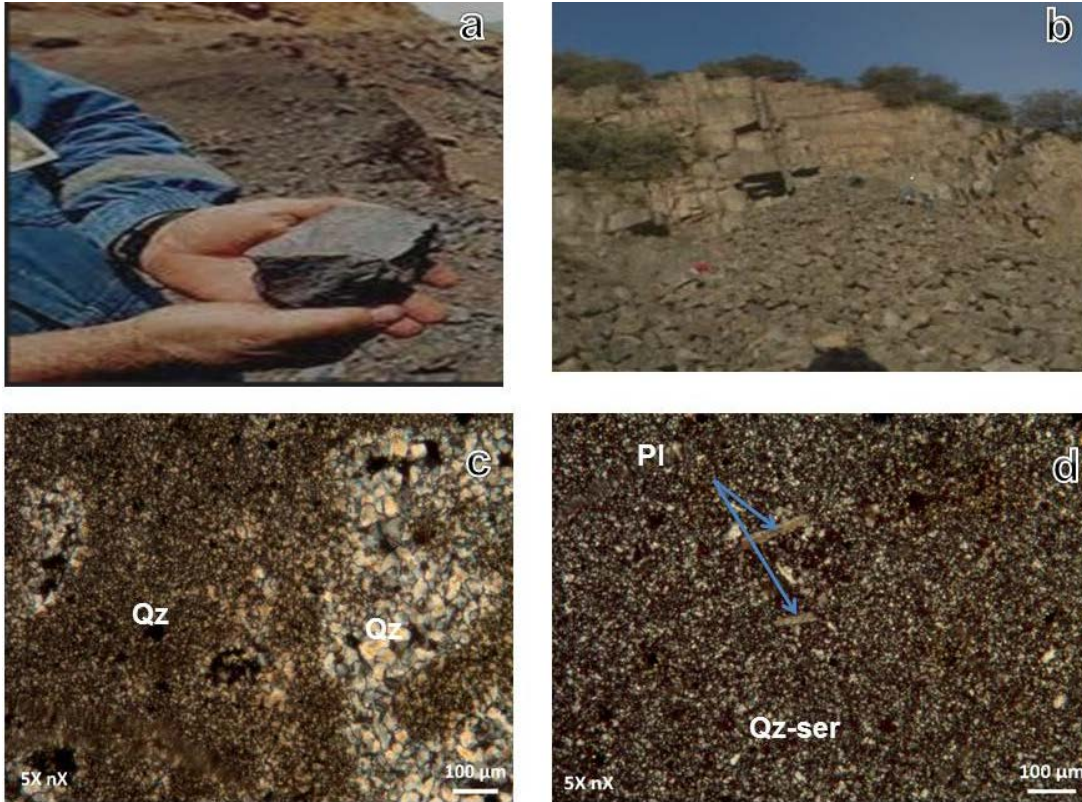


Figura 3. 6 Fotografía de afloramientos y secciones delgadas de la muestra SRP-46 y SRP-56.

a) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-46. b) Fotografía del afloramiento donde se tomó la muestra SRP-56. c) Microfotografía con aumento 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-46. Cuarzo (Qz) d) Microfotografía con aumento 5x y nicoles cruzados de la muestra SRP-56. Intercrecimiento de los cristales de cuarzo-sericita (Qz-ser) Plagioclasa (Pl)

Fue posible clasificar estas rocas a partir de los por cientos modales de los minerales presentes en ellas teniendo en cuenta la clasificación para rocas ígneas definida por Streckeisen en 1976. (Anexo No 6)

3.3 Análisis de microscopía de menas en luz reflejada.

La zona de estudio forma parte del complejo orogénico Sierra Maestra que se extiende al W de la ciudad de Santiago de Cuba en el cual se desarrollan depósitos meso – epitermales de Cu – Ag – Au y depósitos de sulfuros masivos (tipo Kuroko) de Cu – Pb – Zn – Ag – Au asociados al desarrollo del Arco Volcánico Paleógeno el cual presenta numerosas estructuras volcano – tectónicas, cuerpos intrusivos y subvolcánicos. El área es atravesada por fallas de rumbo NW y NE y fallas de rumbo sublatitudinal, entre las que figura la falla



El Cobre, con la que se encuentra asociado el yacimiento de igual nombre en cuyos alrededores se han documentado manifestaciones de oro, nativo, y en menor proporción en forma de telururos y eléctrum por lo cual se ha delimitado una zona prospecta para la prospección y exploración de menas aurífera (X. Cazañas et al., 2010; López-Kramer et al., 1998) ver Anexo No 3.

La mineralización aurífera en el área se encuentra genéticamente relacionada con la secuencia inferior y media del miembro Hongolosongo (Grechanik & Norman, 1967-1969). Durante el análisis minerográfico realizado a las muestras del sector "Santa Rosa" se observó la presencia de varios minerales que se encuentran principalmente en el grupo de los óxidos y sulfuros. La formación de estos minerales se encuentra vinculada con los diferentes fenómenos geológicos que han afectado las rocas como la sericitización, cuarcificación, cloritización, etc.

Ranceita (Ca, Mn) (Mn₄ O₉ 3H₂ O)

Este mineral fue apreciado solamente en la muestra SRM-17 identificada petrográficamente como una Riolita. El mineral tiene una coloración gris plateado, se encuentra en forma de agregados dispersos en la ganga en ocasiones sustituyendo al rutilo y a la magnetita como se puede apreciar en la figura 3.7 a. El tamaño de sus agregados aproximadamente no supera los 0.01 mm. Diagnosticado por microscopía electrónica por C. Toledo 2016.

Bixbyita (Mn Fe)₂ O₃.

Al igual que la ranceita este mineral solamente fue identificado en la muestra SRM-17 identificada petrográficamente como una Riolita. El mineral es isotrópico y posee una dureza de 6 - 6,5 y se observa rellenando finas vetillas de espesor 0.005mm en ocasiones es posible observarlo entrecrecido con la ranceita, ver figura 3.7 b.



Magnetita ($\text{Fe}^{\text{II}} \text{Fe}_2^{\text{III}} \text{O}_4$)

Aparece en 10 de las muestras analizadas por lo cual se puede considerar que junto a la pirita es el mineral metálico más abundante, el mineral es isotrópico con una coloración gris parduzca y carece de reflejos internos. Se observan cristales principalmente alotriomórficos dispersos en los minerales de ganga que en ocasiones son sustituidos por raincieita, pirita y limonita, ver figuras 3.7 c. Los diámetros de estos cristales oscilan entre 0.05mm y 0.25mm con estructura diseminada. También se observan cristales hipidiomórficos los cuales son menos abundantes y aparecen dispersos en los minerales de ganga con diámetro no mayor de 0.05 mm.

Rutilo TiO_2 .

Aparece en 3 de las muestras analizadas (SRM-17, SRM-18 y SRM-19b). El mineral presenta una coloración blanca a grisácea, anisotrópico y no tiene birreflexión. Se pueden observar cristales alotriomórficos que aparecen muy dispersos en los minerales de ganga con dimensiones no mayores de 0.05mm, poseen una estructura diseminada, ver figura 3.8.

Hematita Fe_2O_3

Aparece en 2 de las muestras analizadas (SRM-47 y SRM-24). El mineral tiene un color blanco grisáceo y no tiene birreflexión. Se observan cristales anisotrópico de hematita en forma de agregados alotriomórficos que bordean los granos de minerales de ganga, formando una textura de cemento. En ocasiones forma textura zonal. Puede observarse sustituyendo a la pirita y a los minerales de ganga, ver figura 3.7 d.



Pirita FeS₂

El mineral tiene se característico color amarillo claro, es isotrópico y no tiene reflejos internos. Aparece junto a la magnetita en 10 de las 13 muestras analizadas. Se observan cristales diseminados en la ganga, el diámetro de los cristales oscila entre 0.005mm y 0.05 mm. En ocasiones se le puedo observar sustituida parcial o completamente por la goethita, ver figura 3.7 e. Los granos hipidiomórficos aparecen dispersos en los minerales de ganga con tamaños no mayores de 0.1mm, en un caso se observa sustituyendo a la magnetita como se observa en la figura 3.7. c. Se pueden observar también granos alotriomórficos los cuales aparecen dispersos en los minerales de ganga con diámetros no mayores de 0.05 mm. Poseen una textura diseminada.

Goethita FeO(OH)

Posee coloración gris blanca, birreflexión débil y anisotrópico. Aparece en 2 de las muestras analizadas (SRM-18 y SRM-19b). Forma pequeñas diseminaciones dentro de los minerales de ganga con tamaños no mayores de los 0.05 mm, y sustituyendo por los bordes y fracturas a la pirita, ver figura 3.7 f. En ocasiones se le puede observar sustituyendo a la pirita como se observa en la figura 3.7 e.

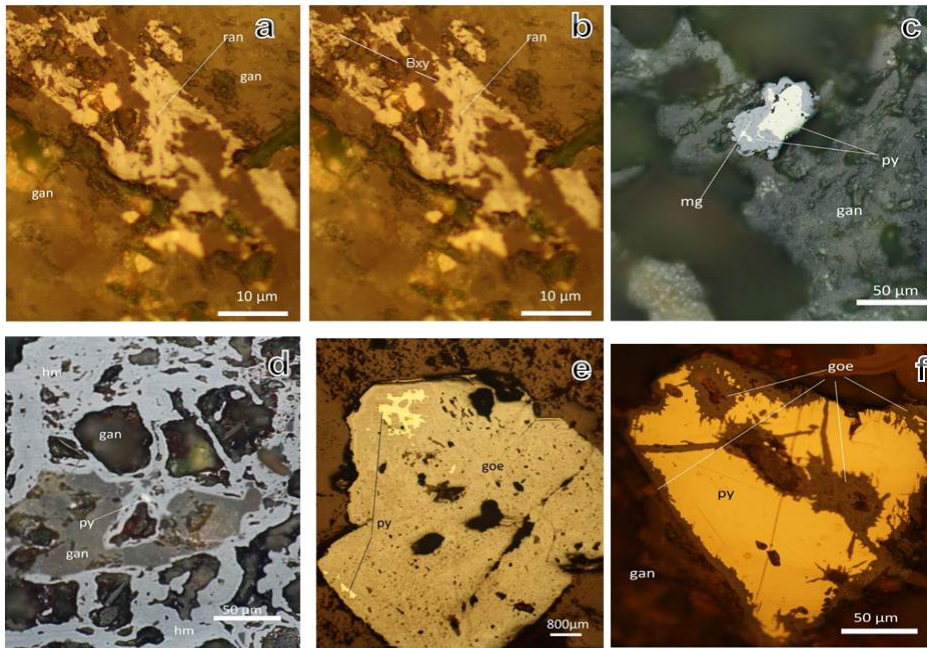


Figura 3. 7 Microfotografías de los minerales opacos de las muestras de rocas del sector Santa Rosa.

a) Microfotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra SRM-17 Diseminaciones de rancieita (ran) en minerales de ganga; b) Microfotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra SRM-17 Cristales de Bixbyita entrecrecido con la rancieita; c) Microfotografía con nicols // de la muestra SRM-28 Pirita (py) sustituyendo a la magnetita (mg) en minerales de ganga (gan) d) Microfotografía con nicols // de la muestra SRM-24 Hematita(hm) sustituyendo a los minerales de ganga y a la pirita(py) e) Microfotografía con nicols // de la muestra SRM-19b Sustitución casi total de goethita(goe) por pirita(py) f) Microfotografía con nicols // de la muestra SRM-18 Grano de pirita(py) fracturado y sustituido por goethita(goe) diseminado en minerales de ganga.

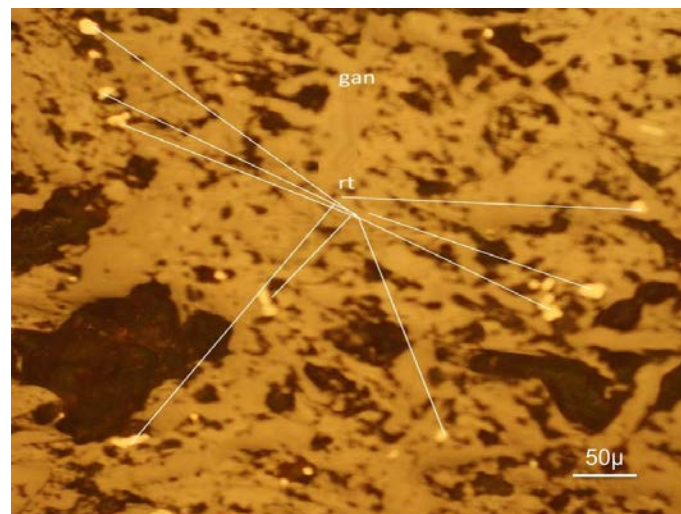


Figura 3. 8 Microfotografía de la muestra SRM-17. Se observan cristales de rutilo dispersos en los minerales de ganga



Difractograma de la muestra SRRX-44

Mediante el análisis petrográfico de la muestra se identificó plagioclasa (30 %) y minerales máficos (piroxeno 1%). La composición mineralogía de la muestra fue corroborada mediante el análisis de DRX como se observa en la figura 3.10 donde algunas de las fases minerales que componen la muestra identificada coinciden con las definidas por el método petrográfico, dichas fases son las siguientes: cuarzo SiO_2 y Moscovita $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$. Con este método fue posible identificar el tipo de plagioclasa presente en la muestra lo cual no pudo ser especificado mediante la petrografía, esta es la Albita ($\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.02}$) ($\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8$). Se determinaron otros minerales que no se observaron bajo el microscopio como el olivino (MgFe) SiO_4 , illita ($\text{K}, \text{H}_3\text{O}$) $\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ y la haloisita $(\text{OH})_8\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3$.

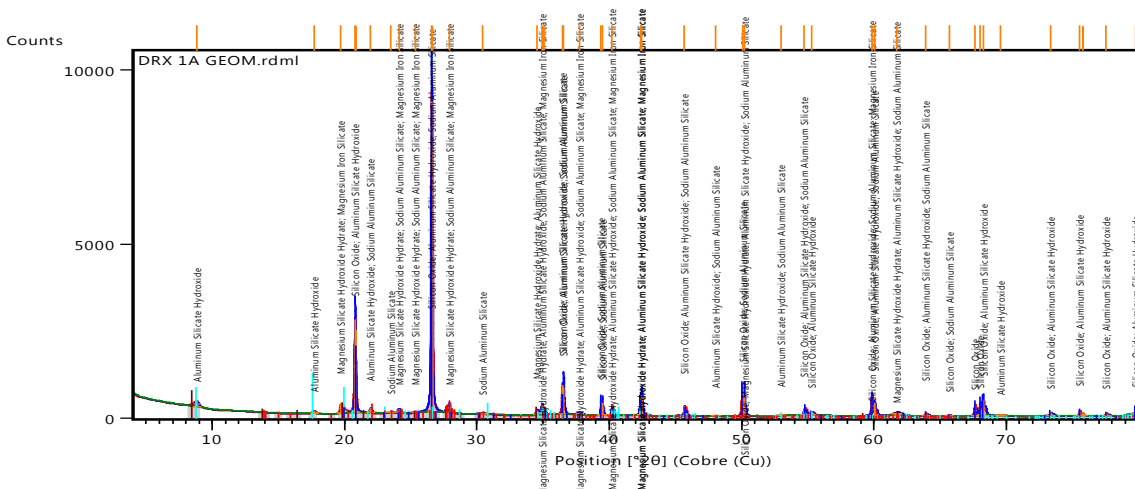


Figura 3. 10 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-44

Difractograma de la muestra SRRX-27

Petrográficamente la muestra está constituida principalmente por vidrio volcánico (40 %) y cristales de plagioclasas (30%), existiendo también presencia de moscovita y rutilo. En el análisis de difracción se corroboró la presencia de estos minerales, como se observa en la Figura 3.11. La fase



mineralógica presentes son: cuarzo SiO_2 , moscovita $(\text{K}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, caolinita-montmorillonita $\text{Na}_{0.3}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_4\text{H}_2\text{O}$.

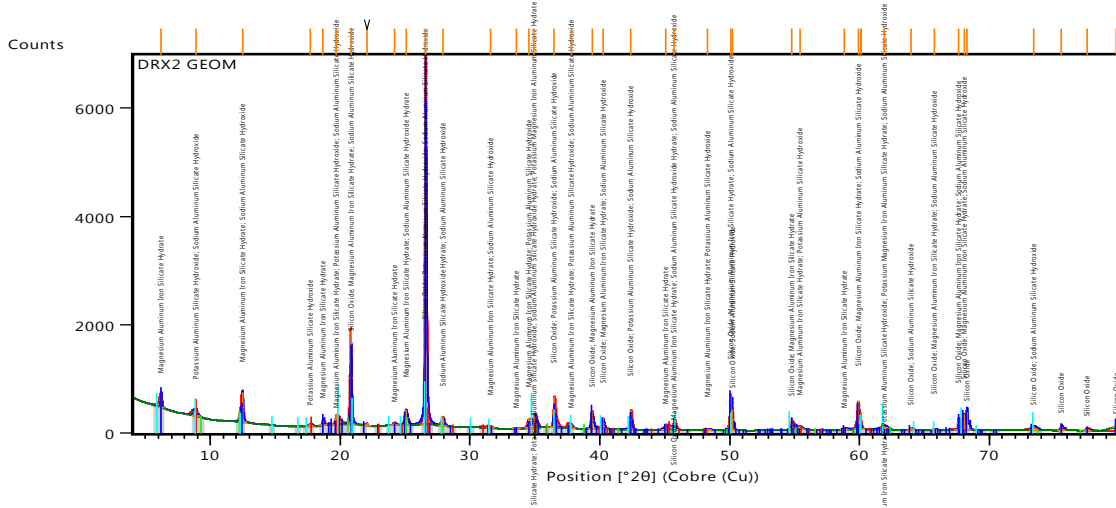


Figura 3. 11 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-27

Difractograma de la muestra SRRX-19a

La sección delgada está integrada por cuarzo (75%), plagioclasa (5%), nefelina (10%) y analcima (3%). En el análisis de DRX se identificaron las siguientes fases minerales: cuarzo SiO_2 , illita $\text{K}_{0.7}\text{Al}_2(\text{Si}-\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, Jacobsita $(\text{Mn}_6\text{Fe}_4)(\text{Mn}_4\text{Fe}_{1.6})\text{O}_4$ y Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4\text{H}_2\text{O}$ como se observa en la figura 3.12.

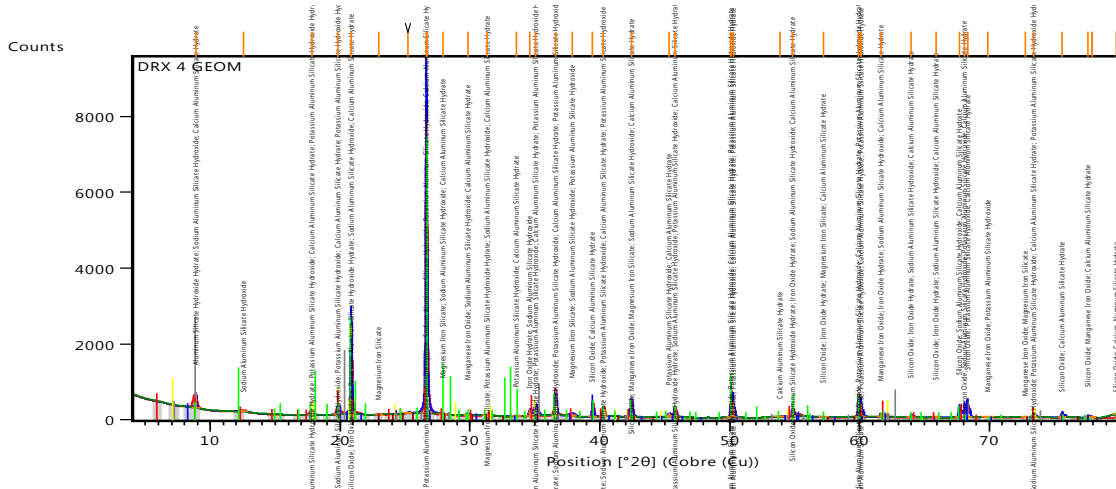


Figura 3. 12 Difractograma de rayos-x de la muestra SRRX-19a.



Las alteraciones hidrotermales que fueron identificadas durante la investigación, se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Alteraciones hidrotermales identificadas en el área de estudio.

Muestra	Roca	Alteraciones hidrotermales			
SR-18	Riolita	calcificación			
SR-17	Riolita	calcificación			
SR-19a	Riolita	Silicificación			
SR-19b	Andesita				
SR-24	Riolita				
SR-27	Toba	Sericitización	Cuarcificación		
SR-28	Dacita	epidotización	albitización	silicificación	Cloritización
SR-29	Toba	Cloritización	Sericitización		
SR-44	Basalto				
SR-45	Andesito-basalto	Cuarcificación	carbonatización	Sericitización	
SR-46	Silicita				
SR-47	Andesita	carbonatización	silicificación		
SR-56	Dacita				

Las paragénesis minerales identificadas en el área de estudio coinciden con otros trabajos elaborados anteriormente entre los que se encuentran (Alonso, Ulloa, & Donet, 2009; Ariosa-Iznaga, 2002; Ariosa-Iznaga & Díaz-Martínez, 2001; Lavandero et al., 2001), ver Anexo No 5.

Las paragénesis minerales y las texturas observadas en las muestras, denotan varios orígenes de formación. Uno asociado con la fase magmática que a su vez tuvo lugar durante la formación del AVP y durante la cual se formaron minerales metálicos como la rancieita, pirita y magnetita en forma de segregaciones magmáticas, ver figura 3.7 y 3.6 d. La segunda etapa de mineralización está asociada con las alteraciones de las rocas primarias a partir del ascenso de fluidos hidrotermales a partir de los cuales se formaron una serie de alteraciones como la silicificación, calcificación, sericitización, epidotización, albitización, cloritización y carbonatización; además de la



formación de diversos minerales metálicos como la pirita, goethita, ver figura 3.6 c y f.(Atkinson, 2003)

El cuarzo, las plagioclasas y los feldespatos alcalinos forman la mayoría de las rocas que componen el AVP, dando lugar a la formación posterior de minerales de alteración tales como la sericita, clorita, epidota, clinozoisita y minerales del grupo de las arcillas tales como la illita, caolinita y la montmorillonita, estas dos últimas formadas a partir de la alteración hidrotermal de la plagioclasa ácida albita.

Consideraciones finales

A partir del análisis de los resultados obtenidos fue posible determinar que el ambiente de formación de las rocas presentes es principalmente subalcalino en donde se formaron rocas tales como riolitas, andesitas, dacitas y basaltos. La muestra SRP-46 denota un ambiente de formación alcalino. Se realizó el diagrama geoquímico para determinar alcalinidad de las rocas(Irvine & Baragar, 1971) a partir de resultados de análisis realizados a algunas de las muestras presentes en el área de estudio, el mismo corrobora la afirmación planteado por el autor, ver figura 3.14.

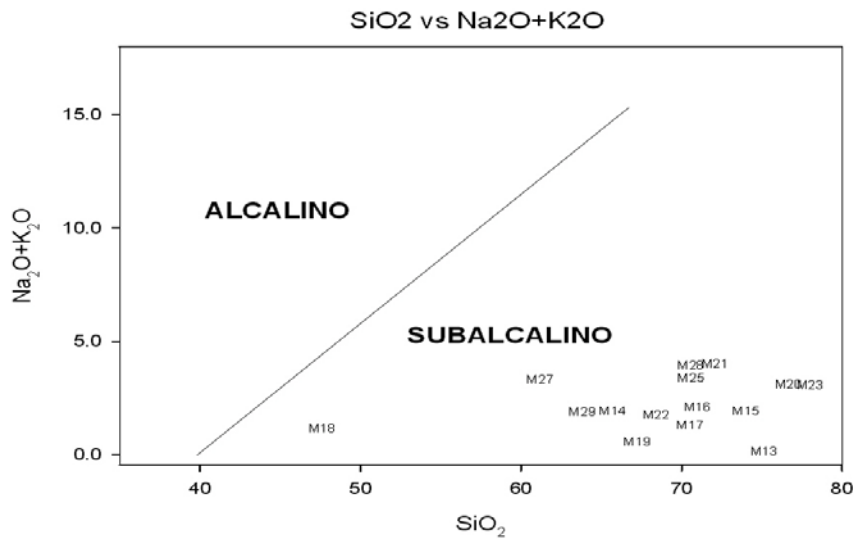


Figura 3. 14 Diagrama SiO₂ vs. (Na₂O + K₂O) de Irvine y Baragar (1971).



En el área de estudio existe un gran desarrollo de minerales arcillosos que se formaron a partir de la alteración hidrotermal de los feldespatos, cuarzo y la albita (plagioclasa ácida) en un medio acuoso alcalino-subalcalino.

Atendiendo la ocurrencia de aparición de los diferentes minerales que han sido descritos durante el trabajo, así como la determinación de las alteraciones hidrotermales presentes en el área de estudio el autor ha realizado una comparación con la tabla elaborada por A. Chica S, ver anexo No 10.

Las paragénesis minerales, así como algunas de las alteraciones hidrotermales asociadas a ellas y determinadas en el área de estudio nos permiten afirmar que estamos en presencia de manifestaciones aurífera de origen mesotermal principalmente cuyos rangos de temperatura varían de 150°C y 300°C , ver anexo No 10. Cada mineral tiene un determinado rango de temperaturas de formación dentro del cual se produce su precipitación; en las muestras estudiadas se determinaron minerales tales como cuarzo, calcita, sericita, pirita y carbonatos(ver anexos 7, 8 y 9 y figura 3.6) ,los cuales son característicos en estos yacimientos, ver anexo No 10

De igual forma se determinaron alteraciones hidrotermales muy comunes en los yacimientos mesotermal como la sericitización la cual es la alteración dominante en las muestras estudiadas, también se determinó calcificación, sericitización, cuarcificación y cloritización. Es muy relevante la gran cantidad de minerales arcillosos que fueron determinados por los métodos petrográficos y DRX y que son también característicos solamente de yacimientos mesotermal, entre estos minerales podemos mencionar los siguientes: illita, montmorillonita y caolinita.

Existen también otros minerales que son característicos de las facies hipotermal como la biotita, moscovita y pirita por lo cual el autor determina que están relacionadas con una zona de transición entre los depósitos mesotermal e hipotermal, ver anexo No 10.



Los feldespatos y los minerales ferromagnesianos fueron los primeros en ser alterados y el cuarzo el último. Las paragénesis más comunes son las siguientes:

- Cuarzo+albita+calcita+analcima+pirita+goethita+rutilo
- Plagioclasa+cuarzo+calcita+analcima+magnetita+rancieita+rutilo
- Plagioclasa+cuarzo+analcima+magnetita
- Plagioclasa+cuarzo+pirita+goethita+rutilo
- Cuarzo+feldespato alcalino+hematita+pirita
- Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita+rutilo
- Cuarzo+anfíbol+albita+clorita+epidota+clinozoisita+pirita+magnetita
- Cuarzo+plagioclasa+clorita+pirita+magnetita
- Albita+piroxeno+pirita+magnetita
- Plagioclasa+cuarzo+pirita+magnetita+carbonato
- Cuarzo+pirita+magnetita
- Plagioclasa+cuarzo+albita+magnetita+hematita
- Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita



Conclusiones.

- ✓ En el presente capítulo se determinaron las rocas y minerales presentes en el área de estudio.
- ✓ Se determinaron las principales paragénesis minerales
- ✓ Se determinaron las alteraciones hidrotermales.



Conclusiones generales.

- ✓ Las formaciones geológicas cartografiadas en el sector El Cobre pertenecen a las secuencias del AVP. Las rocas identificadas son volcánicas efusivas: basaltos, dacitas y andesitas.

- ✓ Se identificaron alteraciones hidrotermales tales como la sericitización, cloritización, calcificación, silicificación, epidotización, cuarcificación, albitización y carbonatización.

- ✓ Se identificaron los minerales opacos siguientes: magnetita $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$, pirita FeS_2 , rutilo TiO_2 , goethita $\text{FeO}(\text{OH})$, raincieita, bixbyita y hematita FeO .

- ✓ Se identificaron las paragénesis minerales siguientes:
 - Cuarzo+albita+calcita+analcima+pirita+goethita+rutilo.
 - Plagioclasa+cuarzo+calcita+analcima+magnetita+raincieita+rutilo.
 - Plagioclasa+cuarzo+analcima+magnetita.
 - Plagioclasa+cuarzo+pirita+geothita+rutilo.
 - Cuarzo+feldespatos alcalinos+hematita+pirita.
 - Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita+rutilo.
 - Cuarzo+anfíbol+albita+clorita+epidota+clinozoisita+pirita+magnetita.
 - Cuarzo+plagioclasa+clorita+pirita+magnetita.
 - Albita+piroxeno+pirita+magnetita.
 - Plagioclasa+cuarzo+pirita+magnetita+carbonato.
 - Cuarzo+pirita+magnetita.
 - Plagioclasa+cuarzo+albita+magnetita+hematita.
 - Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita.



- ✓ Se concluye que aun cuando no se detectó mineralización aurífera, Santa Rosa constituye un sector prospectivo para exploraciones futuras, lo que se fundamenta en la presencia de aureolas de alteración hidrotermal y las paragénesis minerales identificadas.
- ✓ Las paragénesis minerales, así como algunas de las alteraciones hidrotermales determinadas en el área de estudio nos permiten afirmar que estamos en presencia de manifestaciones auríferas de origen mesotermales (150°C a 300°C) y de la zona de transición entre los depósitos mesotermales e hipotermales (250°C a 350°C).



Recomendaciones

- ✓ Realizar un análisis químico detallado a las muestras, con el fin de profundizar en la génesis de las alteraciones identificadas.
- ✓ Analizar los cristales y agregados de magnetita, pirita y rutilo identificados, con técnicas analíticas más modernas (técnica de microsonda electrónica de barrido)
- ✓ Realizar perforaciones de prospección en el área de estudio.



Bibliografía.

- Alonso, J., Ulloa, & Donet. (2009). La unión, una manifestación muy perspectiva de Au ± Cu de tipo pórfido. *III Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología*, 1-8.
- Allen, Barrett, & Browne. (1996). Atlas of Alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. Vancouver, British Columbia: Alpine Press Limited.
- Ansted, D. T. (1856). The El Cobre(copper) of Santiago de Cuba. *Proceedings of the Geological Society of London*, 12, 145-153.
- Ariosa-Iznaga. (2002). La modelación descriptiva de yacimientos minerales en Cuba. *Moa, Cuba, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Tesis doctoral*.
- Ariosa-Iznaga, & Díaz-Martínez, R. (2001). Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. *Revista Minería y Geología*, 18, 3-14.
- Atkinson, W. (2003). Geoquímica de los depósitos de oro: evidencias geológicas, modos de transporte hidrotermal para la depositación de oro y sus aplicaciones en la exploración: Cajamarca, Perú. *Universidad de Cajamarca, Taller Internacional*.
- Belostotski, V., A.Klimov, V.Golovchenko, Escobar, E., & Zabelin, V. (1961). Informe sobre los trabajos de exploración y búsqueda en el yacimiento "El Cobre" y sus alrededores.
- Cabenses, A., & Scarrow, J. H. (2012). Estudio mineralógico cuantitativo mediante difracción de rayos-x de rocas potásicas de la región volcánica neógena del sureste de España: lamproitas anómalas. *Geogaceta*, 52, 3.
- Cabrera, R., Kramer, J., & Pantaleón, G. (1983). Vinculación del magmatismo y los yacimientos meníferos de Cuba. *Cienc Tierra Espac*, 9, 47-56.
- Calderón, I. M. Apuntes sobre el vulcanismo del paleoceno en la región Sierra Maestra y características de su composición química.
- Calvache-Dorado, A. (1944). Historia y desarrollo de la minería en Cuba. *La Habana, Neptuno*, 170
- Cazañas, Melgarejo., A., L., & ., B. H. (1998). El depósito volcanogénico de Cu-Zn-Pb-Au El Cobre. *Cuba Oriental: estructura y mineralogía Acta Geol Hisp*, 33, 277-333.
- Cazañas, X. (2000). Depósitos Volcanógenos del Arco Paleógeno de la Sierra Maestra.
- Cazañas, X., Alfonso, P., Melgarejo, J. C., Proenza, J. A., & Fallick, A. E. (2008). Geology, fluid inclusion and sulphur isotope characteristics of the El Cobre VHMS deposit, Southern Cuba.
- Cazañas, X., Melgarejo, J. C., & UNA, J. A. L. (2001). El yacimiento volcanogénico de Cu-Zn-Pb (Au + Ag) El Cobre: Estructura y mineralogía.
- Cazañas , X., Proenza, J. A., Lewis, J., & Melgarejo. (1998). Rocas volcánicas de las series inferior y media del Grupo El Cobre en la Sierra Maestra (Cuba Oriental): Volcanismo generado en un arco de isla tholeítico.
- Cazañas, X., Zafra, J. L. T., & Capote, C. (2010). Depositos de oro y plata en Cuba., 118.
- E.L.Zikin, Puig, R., Martínez, A., & Ferrand, O. (1968). Informe de los trabajos geólogo-geofísicos de búsqueda en las áreas de Buey Cabón y Santa Rosa.
- Gaev, & Guriev. (1971-1973). Informe sobre los trabajos de Búsqueda y Exploración para cobre realizados en el campo metalífero El Cobre y en el sector El Pajón.



- Grechanik, & Norman. (1967-1969). Inventario - 1736 Informe sobre los trabajos geológicos de Levantamiento a escala 1:50 000 que se realizaron en la cuenca de los Ríos Cobre, Cañas y Cauto . Provincia de Oriente. .
- Hamilton. (1998). Grado de estudio geológico de los yacimientos de oro en Cuba., *Moa, Cuba, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Trabajo de diploma, 66 p.*
- Huang, W. (1972). Petrología (Vol. 1). Habana: Pueblo y Educación.
- Irvine, & Baragar. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. . *Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.*
- Iturralde-Vinent. (1996). El archipiélago volcánico Paleoceno-Eoceno medio. *In: Iturralde-Vinent MA (ed) Cuban ophiolites and volcanic arcs. IGCP, Miami, FL, USA, 364, 231–246.*
- Kerr, P. (1984). Mineralogía óptica.
- Kesler, S., Levy, E., & Martín, C. (1990). Metallogenic evolution of the Caribbean region. . *In: Dengo G, Case JE (eds) The geology of North America . Geological Society of America, Boulder, CO, (vol. H: the Caribbean region), 459–482.*
- Kysar, G. (2001). The role of Paleogene magmatism in the evolution of the northern Caribbean margin. The Sierra Maestra (southern Cuba). *Unpublished Ph.D. Thesis. George Washington University, 187.*
- Lavandero, Moreira, J., Torres, J., L., S., A., M., J., M., A., . . . Pantaleón, G. (2001). Potencialidades de recursos minerales para metales preciosos y base en la región oriental de Cuba (resumen), *en IV Congreso Cubano de Geología y Minería: La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología, 1-10.*
- Lawrence, B. B. (1910). Two Cuban mines. *Jour.Can.Min.Inst, 13, 91-106.*
- Lewis, G., & Straczek, E. (1955). Geology of south_central oriente, Cuba.
- López-Kramer, J., M., J., P., G.J., L., R.M., M., J., & Cruz-Martín, J. (1998). Tipos mineralógicos de algunos yacimientos auríferos de Cuba (resumen), *en III Congreso Cubano de Geología y Minería: La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología, 371-374.*
- Luna, A. (1982 – 1989). Informe Prospección Preliminar de los Flancos y Horizontes profundos del Campo Metalífero El Cobre.
- Luna, A. (1992). "Prospección Detallada Zona Sur El Cobre".
- Luna, A. (2001). Exploración Detallada Oro Barita.
- Luna, A. (2001). Perspectivas de mineralización aurífera en la región El Cobre. (resumen), *en IV Congreso cubano de geología: La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología, 172-176.*
- Luna, A., Medina-Batista, A., & Falero-Salgado, R. (2003). Resultados de los trabajos de exploración en el depósito Oro Barita y las perspectivas de encontrar nuevos recursos.
- Luna, J. A. (1989). Informe Geológico de prospección preliminar de los flancos horizontales profundos del campo metalífero "El Cobre" a escala 1: 10 000. *La Habana, archivos de la ONRM(inédito), 218.*
- Luna., A. (1994-1998). Inventario - 5410 Prospección Oro El Cobre Norte y Campo Menífero El Cobre.
- Mariño, Y. V. (2015). Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur.
- Martínez., D. (2010). La pequeña minería del oro en Cuba historia, metalogenia y perspectiva.
- Medina, A. (2003). Proyecto Prospección Detallada Oro Loma La Plata.
- Melgarejo, J. C. (1998). Atlas de asociaciones minerales en láminas delgadas.



- Mendez-Calderón. (1997). Apuntes sobre el vulcanismo del paleogeno en la región de la sierra maestra y las características de su composición química., 444.
- Pacheco, P., & Vera, P. (2011). Caracterización, tratamiento y disposición de residuos generados en el procesamiento de minerales. Oro Barita.
- Pérez, I. B. (2015). Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín.
- Proenza, J. A., & Melgarejo, J. C. (1998). Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Geológica Acta*, 33, 89-131.
- Ramírez. (1994). "Informe cancelado tematico-productivo y metalogenico experimental Oro-Barita Oriental", Santiago de Cuba. *Archivos de la ONRM(inédito)*.
- Rodríguez-Romero, M. (2001). Clasificación tipológica de los depósitos de oro en Cuba. (resumen), en *III Congreso Cubano de Geología y Minería: La Habana, Cuba, Sociedad Cubana de Geología*, 188-197.
- Rodríguez-Vega, A., Díaz-Martínez, R. (2001). La mineralización aurífera en Cuba. en *Espí, J.A. (ed.), El libro de la minería del Oro en Iberoamérica: Madrid, CYTED*, 249-264.
- Rodríguez, A. C. (2010). Características Petrográficas y Mineralógicas de las rocas de diques de Yaguaneque, Moa, Holguín.
- Rodríguez_Fernandez, R. (2000). *Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofilíticas portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Sagua-Moa*. (Maestría Master), Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, Moa.
- Rodríguez_Vega, A., & Díaz_Martinez, R. (2001). La mineralización aurífera en Cuba: Clasificación y rasgos geologo-geoquímicos para la prospección. *Geología y Minería*, 16(1), 20.
- Rojas-Agramonte, Neubauer, F., Bojar, A., Hejl, E., Handler, R., & Garcia-Delgado. (2006). Geology, age and tectonic evolution of the Sierra Maestra Mountains, southeastern Cuba. *Geológica Acta*, 4, 123–150.
- Simon, Kesler, Russell, Hall, Bell, & Pinero. (1999). Epithermal gold mineralization in an old volcanic arc: the Jacinto deposit, Camaguey District, Cuba. *Economic Geology*, 487-506.
- Smirnov, V. I. (1982). Geología de yacimientos minerales.
- Soto-González, L. D. (1981). Apuntes sobre la historia de la minería cubana. *Santiago de Cuba, Editorial Oriente*, 121.
- Soto-González, L. D. (1981). puntos sobre la historia de la minería cubana. *Santiago de Cuba, Editorial Oriente*, 121.
- Spray, A. (1999). Metamorphic texture.
- Ushakov. (1986). Informe de la Exploración Orientativa hasta elhorizonte 300, en los sectores Mina Blanca, Mina Grande y gitanilla del yacimiento, El Cobre La Habana. *Archivo de la ONRM*, 135
- Wikipedia. (2014). Santiago <http://es.wikipedia.org>.



Anexos

<i>Anexo No 1. Muestras analizadas en el sector Santa Rosa, Santiago de Cuba.</i>	<i>71</i>
<i>Anexo No 2 Ubicación de los puntos de muestreo dentro del área de estudio.</i>	<i>72</i>
<i>Anexo No 3 Territorio de la Sierra Maestra con los polígonos propuestos como prospectos auríferos.</i>	<i>73</i>
<i>Anexo No 4 Esquema de las principales alteraciones hidrotermales en la región de estudio.</i>	<i>75</i>
<i>Anexo No 5 Paragenesis minerales presentes en el área de estudio.....</i>	<i>76</i>
<i>Anexo No 6 Diagrama triangular de clasificación QAP para las rocas ígneas volcánicas según la proporción modal de minerales presentes (plagioclasas, Q (Cuarzo)) y A feldespatos.....</i>	<i>77</i>
<i>Anexo No 7 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-45.....</i>	<i>78</i>
<i>Anexo No 8 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-27.....</i>	<i>79</i>
<i>Anexo No 9 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-29.....</i>	<i>80</i>
<i>Anexo No 10 Ocurrencia de minerales en los yacimientos hidrotermales.....</i>	<i>81</i>

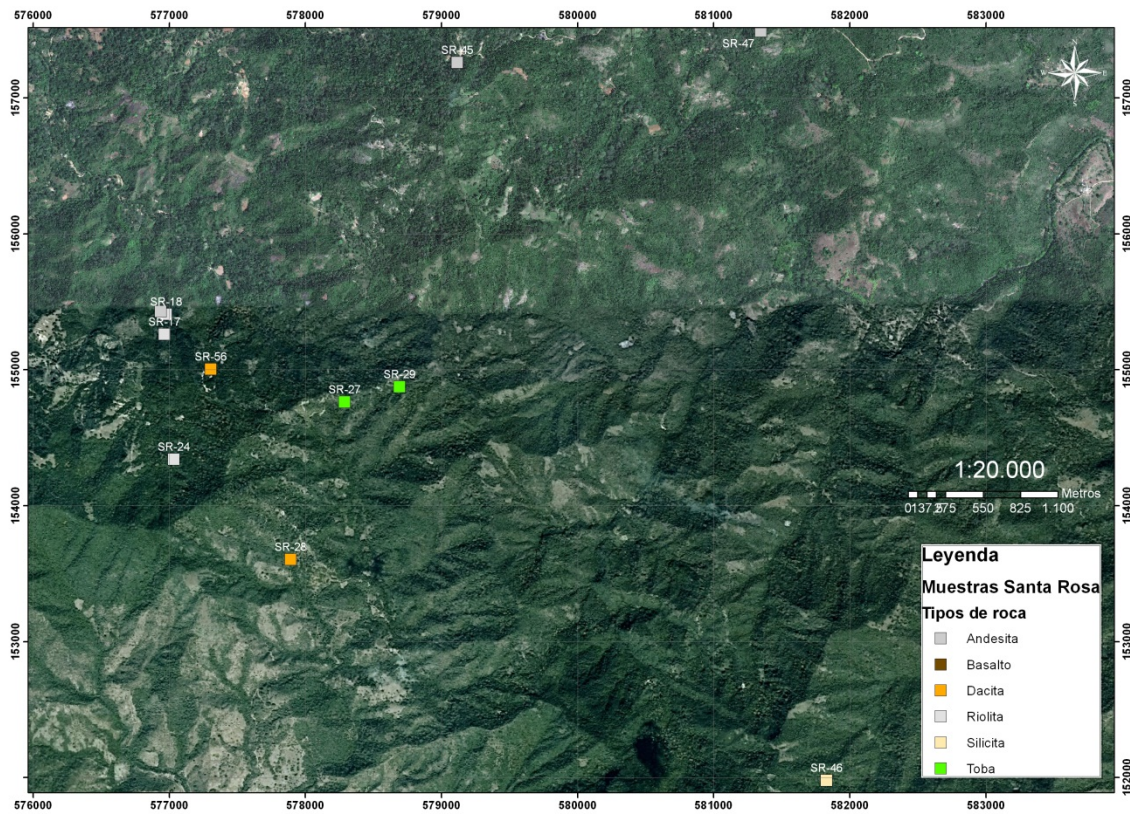


Anexo No 1. Muestras analizadas en el sector Santa Rosa, Santiago de Cuba.

No	Muestra	Petrografía	Minerografía	DRX
1	SR-18	Riolita	x	x
2	SR-17	Riolita	x	
3	SR-19a	Riolita	x	x
4	SR-19b	Andesita	x	
5	SR-24	Riolita	x	
6	SR-27	Toba	x	x
7	SR-28	Dacita	x	x
8	SR-29	Toba	x	
9	SR-44	Basalto	x	x
10	SR-45	Andesito-basalto	x	
11	SR-46	Silicita	x	
12	SR-47	Andesita	x	
13	SR-56	Dacita	x	

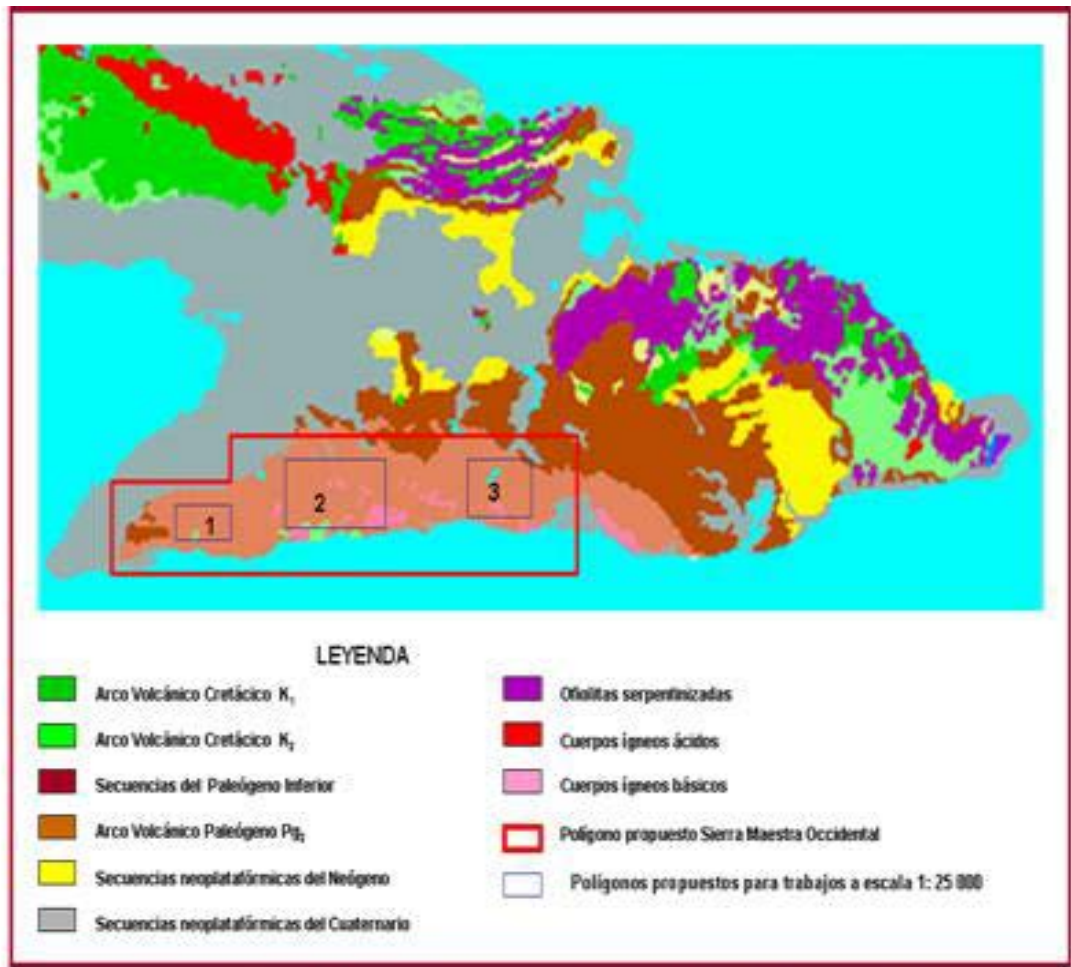


Anexo No 2 Ubicación de los puntos de muestreo dentro del área de estudio.





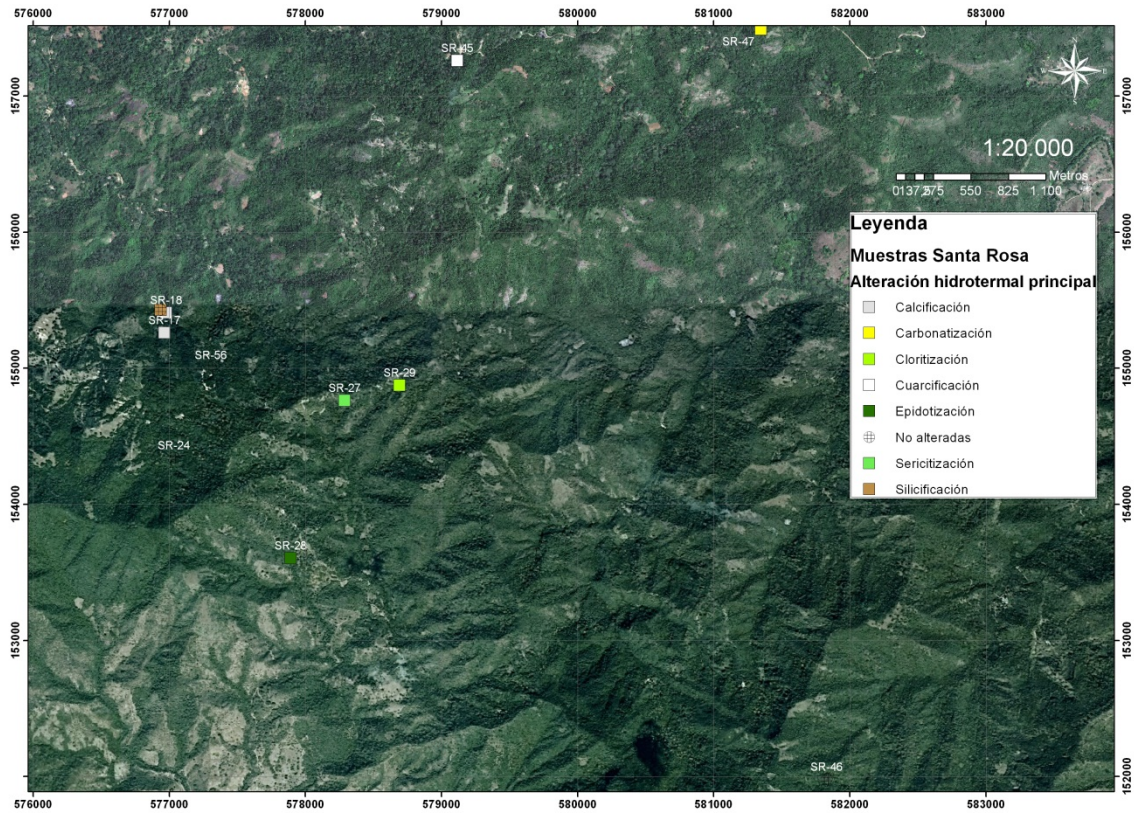
Anexo No 3 Territorio de la Sierra Maestra con los polígonos propuestos como prospectos auríferos.







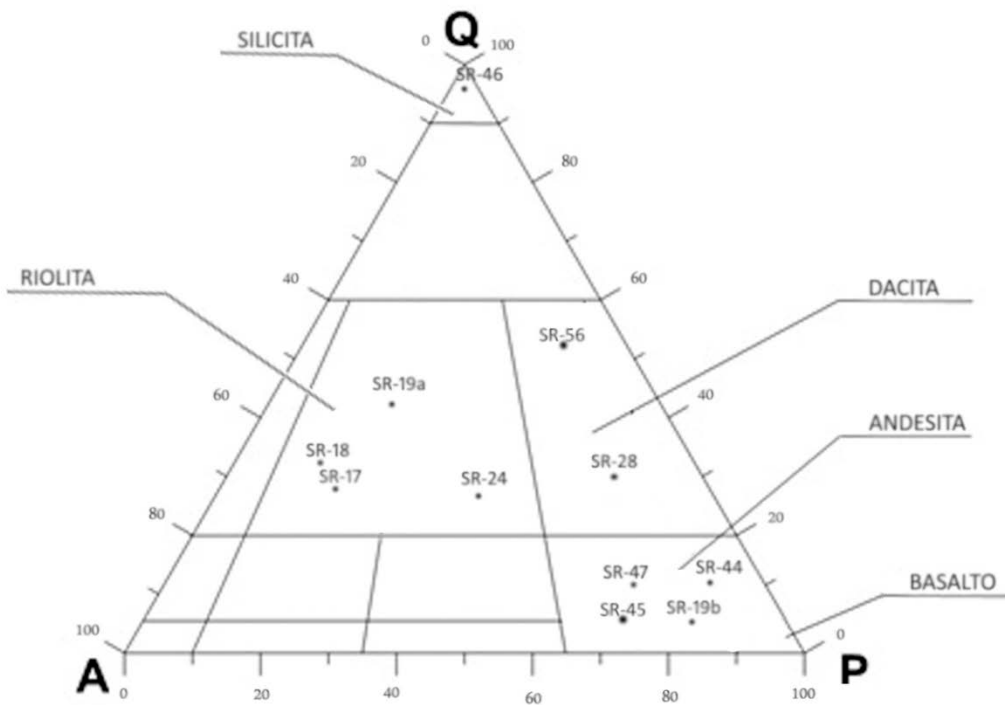
Anexo No 4 Esquema de las principales alteraciones hidrotermales en la región de estudio.



Anexo No 5 Paragenesis minerales presentes en el área de estudio

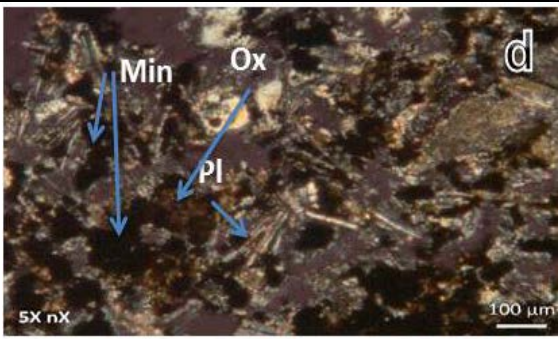
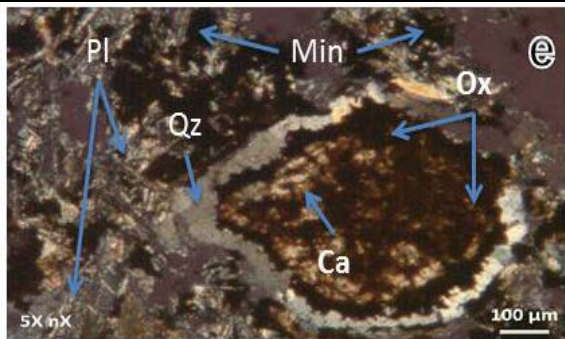
Muestra	Minerales primarios	Minerales de alteración	Minerales metálicos	Paragénesis
SR-18	Albita+cuarzo+feldespatos alcalinos	calcita+analcima	pirita+goethita+rutilo	Cuarzo+albita+calcita+analcima+pirita+goethita+rutilo
SR-17	Plagioclasa+cuarzo+feldespatos alcalinos	calcita+analcima	raincyeita+bixbyita+magnetita+rutilo	Plagioclasa+cuarzo+calcita+analcima+magnetita+raincyeita+rutilo
SR-19a	Plagioclasa+cuarzo+nefelina	analcima	magnetita	Plagioclasa+cuarzo+analcima+magnetita
SR-19b	Plagioclasa+cuarzo		pirita+goethita+rutilo	Plagioclasa+cuarzo+pirita+goethita+rutilo
SR-24	Cuarzo+feldespatos alcalinos	cuarzo secundario	hematita+pirita	Cuarzo+feldespatos alcalinos+hematita+pirita
SR-27	Plagioclasa+muscovita+vidrio volcánico	cuarzo secundario+sericita	pirita+magnetita+rutilo	Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita+rutilo
SR-28	Albita+cuarzo+anfíbol+vidrio volcánico	epidota+clinozoisita+clorita	pirita+magnetita	Cuarzo+anfíbol+albita+clorita+epidota+clinozoisita+pirita+magnetita
SR-29	Vidrio volcánico+cuarzo+plagioclasa	clorita+arcilla+óxidos	pirita+magnetita	Cuarzo+plagioclasa+clorita+pirita+magnetita
SR-44	Albita+vidrio volcánico+piroxenos		pirita+magnetita	Albita+piroxeno+pirita+magnetita
SR-45	Plagioclasa+cuarzo	sericita+carbonato+cuarzo secundario	pirita+magnetita	Plagioclasa+cuarzo+pirita+magnetita+carbonato
SR-46	Cuarzo		pirita+magnetita	Cuarzo+pirita+magnetita
SR-47	Plagioclasa+vidrio volcánico	carbonato+cuarzo secundario	magnetita+hematita	Plagioclasa+cuarzo+albita+magnetita+hematita
SR-56	Cuarzo+plagioclasa	sericita	pirita+magnetita	Cuarzo+plagioclasa+pirita+magnetita

Anexo No 6 Diagrama triangular de clasificación QAP para las rocas ígneas volcánicas según la proporción modal de minerales presentes (plagioclasas), Q (Cuarzo) y A feldespatos.



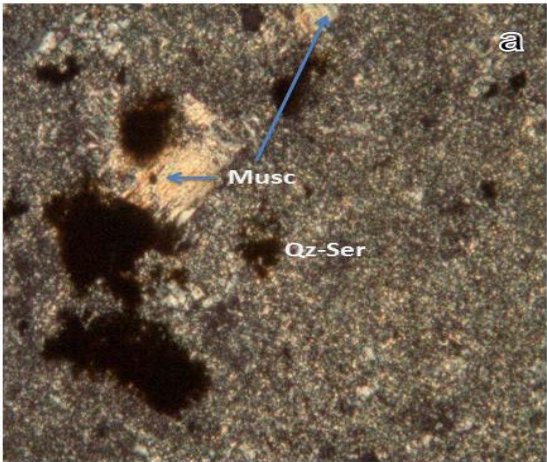


Anexo No 7 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-45

1. DESCRIPCIÓN GENERAL	
No. Muestra: SRP-45	
Coordenadas: X: 579117,04 Y: 157261,13	
Tipo de laboreo: Itinerario Geológico	
Nombre de la roca: andesito basalto	
Textura: Porfídica seriada- amigdaloidal, microlítica orientada	
Estructura:	
Color:	
Composición general: fenocristales de plagioclasa 30%, metálico 4%, óxidos e hidróxido 6%, matriz 53%.	
DESCRIPCIÓN DE DETALLE: En la muestra se observan listones de plagioclasa tabulares estrechos de variados tamaños, algo orientados con tendencia a la textura traquítica. Se observan cristales cúbicos y tabulares de mineral metálico (ilmenomagnetita) los cuales se encuentran oxidados y están bordeados por minerales hojosos. Este mineral metálico también se observa en forma de vetillas cortas. La matriz es de microlitos de plagioclasas orientados con cuarzo y sericita entre ellos. Existe presencia de amígdalas de carbonato irregulares con presencia de cuarzo en los bordes y después óxidos de hierro.	
Existe alteración propilítica representada por la fase carbonato-sericita y cuarzo, los minerales de alteración presentes en la roca son carbonato, cuarzo y sericita. El carbonato es abundante y se observan dos generaciones: 1ª sustituyendo fenocristales de plagioclasa, 2ª en vetillas cortando los fenocristales carbonatizados. La sericita en proporción le sigue al carbonato, se observa en fenocristales y matriz. El cuarzo se observa en la matriz y en vetillas.	
	
Nicoles X	Nicoles X
Andesito basalto con microlitos de plagioclasa (plag) orientados.	Amígdalas rellena por cuarzo en los bordes, metálico y carbonato en el centro.

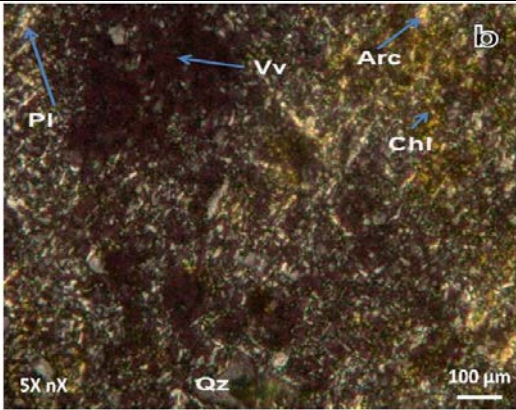


Anexo No 8 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-27

2. DESCRIPCIÓN GENERAL	
No. Muestra: SRP-27	
Coordenadas: X: 578288,82 Y: 154763,41	
Tipo de laboreo: Itinerario Geológico	
Nombre de la roca: Toba alterada	
Textura: Vitrocristalina	
Estructura:	
Color:	
Composición general: vidrio volcánico 40%, cristales de plagioclasas 30%, minerales metálicos 2% y el cemento ocupa el 27%	
DESCRIPCIÓN DE DETALLE: Roca muy alterada compuesta por vidrio volcánico con formas curvas alterados a minerales arcillosos y cuarzo. Se observan diferentes minerales de alteración como la sericita, cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro. Se observa mineral metálico del tipo ilmenomagnetita el cual se encuentra muy alterado a un agregado escamoso birrefringente amarillo. En los bordes de mineral metálico se puede observar rutilo de color rojo en cristales bien definidos. Se observa alteración propilítica, representada por sericitización y silicificación. La roca es alterada por abundante sericita en cristales y cemento, en algunos sectores llega a formar escamas bien definidas de muscovita. El cuarzo es de formación posterior a la sericita, se observa en pequeños agregados policristalinos y en crecimiento en el cemento.	
	
Nicoles paralelos	
Toba alterada, obsérvese las escamas de muscovita (Musc).	



Anexo No 9 Descripción petrográfica detallada de la muestra SR-29


3. DESCRIPCIÓN GENERAL	
No. Muestra: SRP-29	
Coordenadas: X: 578692,25 Y: 154875,98	
Tipo de laboreo: Itinerario Geológico	
Nombre de la roca: Toba vitrocristalolítica.	
Textura: Vitrocristalina	
Estructura:	
Color:	
Composición general: vidrio volcánico 60%, cristales 20%, litos 2%, cemento 15%.	
DESCRIPCIÓN DE DETALLE: Roca formada por esquirlas de vidrio volcánico con bordes terminales fibrosa y acanaladas, alteradas por acilla y clorita; cristales de plagioclasas con formas tabulares finas y algunos de cuarzo. Fragmentos líticos de roca volcánica tipo lava de composición media con textura microlítica alterados por arcilla y óxido de hierro. Existe alteración propilítica, representada por clorita y sericita. La cloritización representada por clorita pennina la cual altera totalmente cristales de minerales máficos y de forma parcial a las plagioclasas. La sericitización no es abundante se observa en finas escamas en la plagioclasa. Los minerales de alteración presentes son arcilla, clorita, óxidos e hidróxidos de hierro.	
	
Nicoles X	
Toba vitrocristalolítica. Obsérvese presencia de minerales arcillosos, cristales de plagioclasas, vidrio volcánico y clorita.	



Anexo No 10 Ocurrencia de minerales en los yacimientos hidrotermales.

(Resumen de varios autores elaborado por A. Chica S.)

OCURRENCIA DE MINERALES EN LOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
Resumen de varios autores elaborado por A. Chica S.

TIPO DE YACIMIENTO	DEPOSITAC.	FILON IDEAL	EMPLAZAMIENTO	MENAS	GANGAS	ALTERACIONES		
50°C ↑ EPITERMAL	Sulfuros de Antimonio y Mercurio ↓ Metales Nativos y Telururos.	1. ESTERIL		Pollbasita Stephanita Pearceita Pirargirita Proustita	Cuarzo Calcedonia Adularia Calcita Dolomita Rodocrista Baritina Fluorita	Clorita Sericita Alunita Zeolitas Arcillas Adularia Sílice Pirita La Propilitización es el proceso dominante.		
		2. MERCURIO		Sulfoantimonuros y Sulfoarseniuros de Plata				
		3. ANTIMONIO		Petzita Silvanita Krennerita Calaverita Hesita			Telururos de Oro y Plata	
		4. ORO-PLATA		Estibina . . . Sb ₂ S ₃ Acanthita . . . Ag ₂ S Cinabrio y Hg . . . HgS				
200°C ↑ MESOTERMAL	Sulfosales de Cobre, Plomo y Plata ↓ Sulfuros de Zinc, Plomo, Plata y Cobre-Hierro	6. PLATA		Calcopirita . . . CuFeS ₂ Enargita . . . Cu ₃ As ₄ Bornita . . . Cu ₃ FeS ₄ Tetraedrita . . . (Cu, Fe, Zn, Ag) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	Cuarzo Sericita Pirita Carbonatos	Sericita Cuarzo Calcita Dolomita Pirita Ortosa Clorita Min. Arcillosos La Sericitización es el proceso dominante.		
		7. PLOMO		Tennantita . . . (Cu, Fe, Zn, Ag) ₁₂ As ₄ S ₁₃				
		8. ZINC		Esfalerita . . . ZnS				
		9. COBRE		Galena . . . PbS				
		10. COBRE		Calcosita . . . Cu ₂ S				
		11. ORO		Productos Importantes (Cobre, Plomo, Zinc, Molibdeno, Plata, Oro)				
		12. ARSENICO		Oro, Wolframita . . . (Fe, Mn) WO ₄				
300°C ↑ HIPOTERMAL	Sulfuros y Arseniuros de Hierro, Níquel, Cobalto y Molibdeno. ↓ Oxidos	13. BISMUTO		Scheelita . . . CaWO ₄ Pirrotita . . . Fe _{1-x} S * Pentlandita . . . (Fe, Ni)S Pirita . . . FeS ₂ Arsenopirita FeAsS ₂ Löllingita . . . FeAs ₂	Turmalina negra Δ Flogopita Moscovita Biotita Zinnwaldita Topacio Δ Apatito Hedenbergita Hornblenda Δ Tremolita Actinolita Cummingtonita Espinela, Cromita Feldespatos	Los mismos minerales de Ganga. * Presentes en la zona Mesotermal. Δ No aparecen en las otras zonas superiores.		
		14. WOLFRAMIO		Calcopirita . . . CuFeS ₂ *				
		15. ESTANO		Esfalerita . . . ZnS *				
		500°C ↑ HIPOTERMAL		ESTERIL			15. ESTANO	Galena . . . PbS *
							16. ESTERIL	Estannina . . . Cu ₂ FeSn ₄ Casiterita . . . SnO ₂ Bismutina . . . Bi ₂ S ₃ Uraninita . . . Complejo * Arseniuros de Co y Ni