

CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIÓN Y FASES INTRUSIVAS PARA EL PROSPECTO "STOCK DE PIEDRA SENTADA" (VEREDA SANTA LUCÍA) CAUCA, COLOMBIA

(Characterization of alteration zones and intrusive phases for the prospectus "stock of Piedra Sentada" (Saint Lucia) Cauca, Colombia)

Diego Felipe Gómez Gutiérrez*, Juan Carlos Molano Mendoza**

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia.
*diegomez656@gmail.com, **jcmolanom@unal.edu.co

(Recibido el 19 de mayo de 2009 y aceptado el 18 de junio de 2009)

<p>Resumen: El stock porfirítico de Santa Lucía se encuentra localizado en el Departamento del Cauca, en el flanco occidental de la cordillera central, específicamente en la vereda Santa Lucía, del municipio de La Sierra. Corresponde a un cuerpo hipoabisal de edad miocénica, que intruye basaltos del complejo Barroso - Amaime, y que probablemente se encuentra inclinado en dirección predominantemente NE. Esta caracterización se basa en el logueo de 5 sondeos verticales realizados y localizados por la <i>Japan International Cooperation Agency</i> (JICA), de acuerdo con las anomalías geofísicas reportadas para el área de estudio.</p> <p>El stock presenta características mineralógicas y de alteración hidrotermal propias de depósitos porfiríticos Au-Cu, y se encuentra relacionado genéticamente al emplazamiento de 4 pulsos intrusivos de composición variable entre dacita-andesita. Estos se agrupan en dos fases intrusivas: una fase temprana caracterizada por presentar alteración potásica-biotítica dominante y vetilleo típico de alta temperatura (tipo M, A, EB, B), que presenta el mayor interés económico en el sistema; y una fase postmineral con alteración propilitica dominante y vetilleo típico (tipo B, D, Cl+Ep) localizado hacia el interior del depósito.</p> <p>El Stock porfirítico presenta sobreimposición de sistemas vetiformes hacia el sur del depósito, que corresponden preliminarmente a rasgos epitermales de baja sulfuración.</p> <p>Dadas las características presentes en el depósito, se asocia su presencia con una faja metalogénica del mioceno presente hacia el suroccidente de Colombia.</p>	<p>Abstract: The Santa Lucia porphyritic stock is located in Cauca department, in the western flank of the central cordillera, specifically in the Santa Lucia rural settlement of La Sierra municipality. It corresponds to a hypoabyssal body from the Miocene age which intrudes basalts from Barroso - Amaime complex; it is probably inclined in predominant northeast direction. This characterization is based on the log of 5 vertical drillings made and located by the Japan International Cooperation Agency (JICA), in agreement to the reported geophysical anomalies for the area of study.</p> <p>The stock presents mineralogical and hydrothermal characteristics proper of porphyritic gold-copper deposits, and it is genetically related to the emplacement of 4 intrusive pulses of variable composition between dacite-andesite. They are contained in 2 intrusive phases: an early phase characterized by presenting dominant potassic- biotitic alteration and veinlet typical of high temperature (type M, A, EB, B) which presents the major economic interest in the system; and a postmineral phase with dominant propylitic alteration and typical veinlet (type B, D, Cl+Ep) located in the interior part of the deposit.</p> <p>The porphyritic stock presents overprint of veiniform systems in the south of the deposit; they correspond preliminarily to low-sulfidation epithermal features.</p> <p>Given the present characteristics in the deposit, its presence is associated to the metallogenic miocene belt existing in the southwestern part of Colombia.</p>
<p>Palabras clave: alteración hidrotermal, fases intrusivas, logueo, pórfido, Santa Lucía.</p>	<p>Key words: hidrotermal alteration, intruding phases, log, porphyry, Santa Lucia.</p>

1. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos porfiríticos terciarios localizados al suroccidente de la cordillera central de Colombia han sido objeto de pocos estudios detallados y, dadas sus características mineralógicas, constituyen una de las franjas metalogénicas mas prospectivas en la región.

En la actualidad, existen muy pocos trabajos publicados sobre el tipo de depósito y mineralización existente en el área de Piedra Sentada, específicamente en el área anómala de Santa Lucía, conocida por la existencia de manifestaciones de oro y presencia de minería a pequeña escala.

El cuerpo presente en la zona y objeto de estudio se denominará stock porfirítico de Santa Lucía, y se encuentra localizado en la vereda del mismo nombre, en el Municipio de La Sierra. Fue objeto de estudio por la Japan International Cooperation Agency (J.I.C.A), entre

los años 1984-1987, período en el cual se realizaron cinco pozos de exploración (CJM-1, CJM-2, CJM-3, CJM-4, CJM-5), con el fin de establecer el tipo de depósito allí situado.

Para el desarrollo de este artículo se trabajó con los núcleos de perforación de JICA, pretendiendo aportar información detallada sobre el stock porfirítico de Santa Lucía, en relación con la caracterización de zonas de alteración, mineralizaciones y vetilleo, buscando identificar y definir detalladamente cada uno de estos cuerpos y sus fases intrusivas, y encontrar posibles zonas mineralizadas.

Los datos base e información interpretada utilizada como soporte en el presente artículo son el resultado del proyecto de investigación, "Socialización y delimitación de prospectos en las áreas Piedra Sentada y Dominical, departamento del Cauca, Colombia" desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, en asocio con la empresa CARBOANDES S.A. y, por políticas del

mismo, no se publicaran datos de interés económico obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación, asociados a este tipo de depósito.

2. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en el departamento del Cauca, suroccidente colombiano, en el municipio de La Sierra, específicamente en la vereda Santa Lucía, tal como se observa en la Figura 1. Se puede tener acceso al área por medio de la vía panamericana o troncal de occidente, carretera que atraviesa de norte a sur el departamento, se extiende hacia el norte con el departamento del Valle del Cauca, y hacia el sur con Nariño. Esta vía corta una pequeña parte de la esquina noroccidental del área de estudio, permitiendo acceso a la altura del sector conocido como El Mango, en la vereda La Depresión, del municipio de La Sierra. En esta zona se desprende un carreteable que conduce hacia la cabecera municipal de La Sierra y que atraviesa el área de estudio de occidente a oriente, permitiendo un buen acceso a la vereda Santa Lucía.

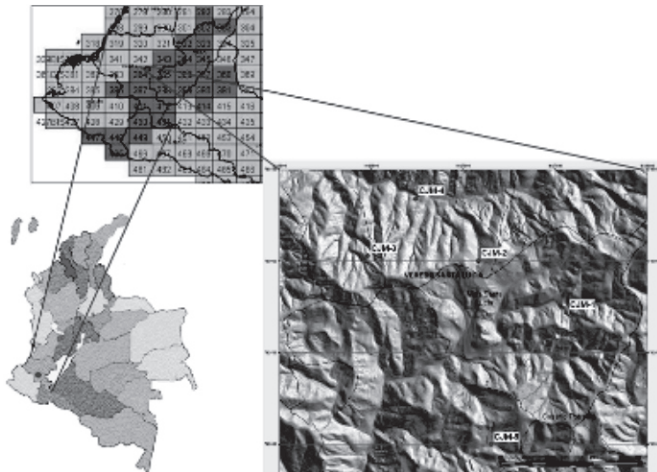


Figura 1. Localización del área de estudio.

3. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se adoptó una metodología basada en fases secuenciales, que permitió sistematizar con coherencia la información colectada, así como realizar correlaciones y caracterizaciones adecuadamente, así:

Fase 1 (Trabajo de campo): se realizó el reconocimiento geológico y la ubicación de los cinco sondeos realizados por JICA en la zona.

Fase 2 (Logueo): se realizó la caracterización de 1.656m de núcleos de perforación, pertenecientes a cinco sondeos, de acuerdo con la metodología mostrada en la figura 2.

Fase 3 (Trabajo de laboratorio): consistió en el análisis e interpretación de secciones delgadas pulidas, tomadas de algunos sectores de los núcleos de perforación, con el fin de confirmar tipo de roca, alteración y vetilleo.

Fase 4 (Informe final): etapa en la que se realizó la interpretación de la información, formulación del modelo del depósito y redacción del artículo.

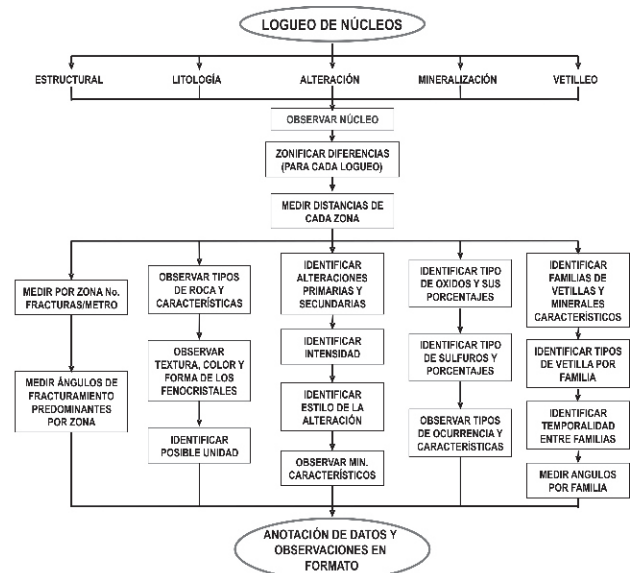


Figura 2. Diagrama de flujo de las fases metodológicas apropiada para el logueo de núcleos.

4. GEOLOGÍA

Geológicamente, el área de interés se localiza en el mega terreno geológico denominado Cauca-Romeral, ubicado entre la falla del río Cauca, al oeste, y el sistema de fallas de Romeral, al este. Esta mega estructura indica el límite o sutura entre las placas tectónicas del Pacífico, al oeste, y la placa suramericana, al este. "El terreno Cauca-Romeral se encuentra conformado de escamas o fragmentos de corteza oceánica de arcos de islas, depósitos de fosa, fragmentos de corteza continental y fragmentos de manto acrecentados, emplazados y yuxtapuestos en tiempos diversos y distintos procesos" (Etayo Serna, 1983).

El área de estudio se caracteriza por presentar una mezcla de diferentes ambientes geológicos con contrastes en litología y en edad y composición. Las unidades litológicas tienen en común un estilo tectónico, y han sido afectadas por eventos magmáticos que tuvieron lugar durante el triásico-turásico, cretáceo, paleógeno y el neógeno. Al oriente, la zona comprende rocas de la cordillera central, de edad paleozoica y mesozoica, y al este, rocas de afinidad oceánica de la cordillera occidental (ver figura 3), del mesozoico al cenozoico (INGEOMINAS, 2004).

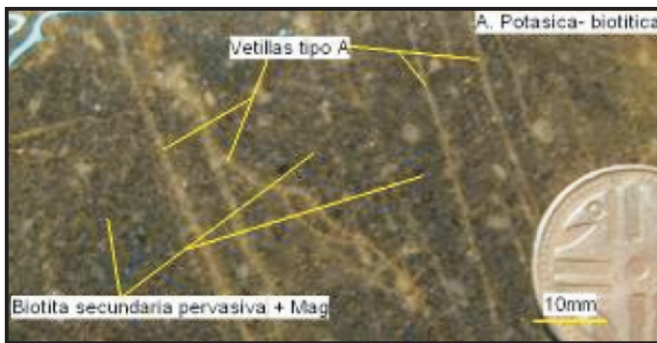


Figura 3. Andesita de primera fase con alteración potásica-biotítica. Nótese la biotita secundaria finogranular, en forma diseminada y pervasiva asociada con magnetita, dándole a la roca una coloración café. Sondaje CJM-1 a 175,8m

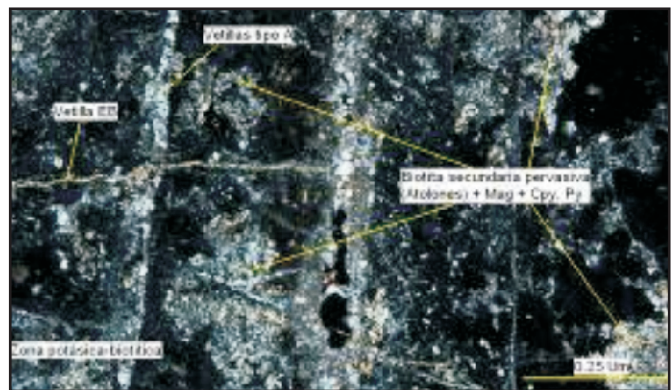


Figura 4. Microfotografía de zona de contacto andesitas, pertenecientes a primera fase, con basaltos (xenolitos). Nótese la textura de la biotita formando atolones y el arreglo aleatorio de los finos cristales en la matriz. Sondaje CJM-4 a 42.2m.

En la zona de estudio, el modelo tectónico está caracterizado por continuas reactivaciones de los sistemas de fallas desde el cretácico, y un evento magmático regional de tipo subvolcánico a tipo hipoabisal, con cuerpos intrusivos del mioceno-plioceno, de composición andesítica a dacítica, que intruyen rocas metamórficas, sedimentarias, y a los complejos ofiolíticos, suprayacidos por rocas volcanosedimentarias (desde aglomerados hasta cenizas volcánicas) del cenozoico superior al cuaternario.

En lo concerniente a la geología local, importa señalar que en el área de estudio y en los núcleos de perforación se observan rocas volcánicas básicas del Complejo Barroso-Amaime (Kia) de edad cretácico, rocas sedimentarias siliciclásticas de la formación Esmita (Nge) de edad mioceno superior, rocas ígneas hipoabisales del pórfido dacítico andesítico (Ngda) y, finalmente, rocas volcanoclásticas de la formación Popayán (NgQpg) de edad plio-pleistoceno.

Las siguientes descripciones son basadas en el informe UNAL-CARBOANDES S.A. (2008).

4.1 Complejo Barroso Amaime (Kiba).

Se conoce con este nombre a una secuencia de rocas básicas que incluyen basaltos, piroclastitas y diques; y rocas sedimentarias variadas (ORREGO y ACEVEDO, 1993).

En la zona, este conjunto se encuentra conformado principalmente por rocas oscuras, con textura afanítica, que corresponden a rocas volcánicas básicas de carácter submarino, clasificadas petrográficamente como basaltos y microgabros (ver figura 4).

Las rocas presentan morfología abrupta a escarpada en la margen derecha del río Guachicono, y se encontraron como cuerpos irregulares con morfología de colinas y cerros denudados, asociados a formas circulares de antiguos cuellos volcánicos.

4.2 Formación Esmita (Nge)

Se conoce con este nombre una secuencia sedimentaria constituida por limolitas fosilíferas, areniscas con intercalaciones de limolitas (ver)

4.3 Pórfido Dacítico - Andesítico (Ngda)

Afloran en gran parte del área de estudio. Su morfología de montañas y colinas de laderas abruptas y filos agudos caracterizan esta unidad. Estas rocas, de origen hipoabisal, se componen principalmente de dacitas y andesitas porfíricas con matriz afanítica de color gris claro y gris verdoso, y fenocristales blancos de plagioclasa y algunos máficos como anfíboles.

En general, estas rocas se observan en los lechos frescos a poco meteorizados de las quebradas y sobre las cimas montañosas, muy alterados a suelos residuales moteados de color rojo y blanco. Composicionalmente, están constituidas por fenocristales de plagioclasa y cuarzo, como minerales esenciales, además de biotita y hornblenda. Los fenocristales de plagioclasa son subhedral, generalmente; los cristales de cuarzo son anhedral, la hornblenda se observa en formas prismáticas, y la biotita es tabular. Los minerales metálicos presentes son pirita y calcopirita, y se encuentran diseminados y en vetillas, en asociación con cuarzo y epidota

5. CARACTERIZACIÓN DEL STOCK PORFIRÍTICO DE SANTA LUCÍA

Mediante la observación de 1.500 mts de núcleos de perforación, se realizó la caracterización litológica, zonas de alteración hidrotermal, mineralizaciones y vetilleo, para las rocas situadas en las áreas de de Santa Lucía (Departamento del Cauca) teniendo como fin identificar y definir detalladamente cada uno de estos cuerpos, y sus fases intrusivas, y encontrar posibles zonas

mineralizadas. Para ello, se trabajó con el material recolectado por la Japan International Cooperation Agency (JICA en cinco perforaciones (ver tabla 1) realizadas en el área de Santa Lucía entre 1985-1986.

Tabla 1. Nombres y ubicación, en coordenadas UTM, con origen en Buenaventura; altura sobre el nivel del mar (asnm) y profundidad de cada perforación (Prof.).

Área Santa Lucía				
Núcleo	Norte	Este	asnm	Prof
CJM-1	732.720	1.027.560	1321	301.08
CJM-2	733.000	1.027.080	1285	351.4
CJM-3	733.030	1.026.480	1247	300.6
CJM-4	733.340	1.026.740	1220	351.2
CJM-5	732.000	1.027.150	1280	350.6

En relación con las litologías encontradas, se remiten éstas a basaltos pertenecientes al complejo Barroso-Amame, que son las rocas más antiguas del área y representan la roca caja donde fue emplazado el cuerpo hipoabisal llamado Stock Porfirítico de Santa Lucía (Ngda), que se compone básicamente de rocas de composición dacita-andesita, cuya agrupación se hace dentro de dos fases intrusivas (Sillitoe 2000), de acuerdo con criterios tales como el tipo de alteración dominante, densidad y tipo de vetillas, o como las órdenes de intrusión. Se encontraron brechas magmáticas relacionadas al emplazamiento de los diques andesíticos tempranos, por lo que es común encontrarlos hacia los contactos de los mencionados diques, con la roca caja.

Por otro lado, las alteraciones hidrotermales son el resultado de la interacción de fluidos de origen magmático y de aguas de origen formacional o meteóricas (Camus 2003), presentándose en la roca caja y en el stock porfirítico. Son importantes porque, como su nombre lo indica, reflejan el ambiente hidrotermal de su generación (Allen et al, 1996). Su morfología, distribución y mineralización se encuentran en función de la cantidad de variables que las afectan, como los controles estructurales, la litología, la evolución magmática, la permeabilidad, la disponibilidad y la distribución espacial de los fluidos (Camus, 2003). Se trabajó con la litología y las mineralizaciones presentes. En el material se encontraron claramente identificables cinco tipos de alteración hidrotermal (Alteración potásica-biotítica, alteración propilitica, alteración clorítica, alteración argílica y silicificación), con asociaciones mineralógicas que muestran una zonación típica para depósitos porfiríticos. Dichas alteraciones son importantes para la clasificación, arquitectura y mineralización del pórfido, y se describen a continuación:

5.1 Alteración potásica-biotítica

Este tipo de alteración representa el estado primario de la formación del depósito, por lo que es la zona que tuvo la

mayor temperatura en los depósitos porfiríticos ricos en oro. Está estrechamente relacionada al emplazamiento de intrusivos portadores de la mineralización de cobre y oro en los sistemas porfiríticos. (Gustafson y Hunt 1975; Sillitoe, 2000).

Es un evento que se produce, inicialmente, en condiciones de temperatura superiores a 300°C, a partir de fluidos altamente salinos (menor 35-40% en peso equivalente de NaCl) con altas razones K/H y en un régimen de alta fugacidad de oxígeno y actividad de azufre (Beane y Tittley, 1981).

En el área de Santa Lucía, la alteración potásica es representada como la asociación de biotita secundaria + magnetita + sulfuros (Cpy, Py), observada a manera de aglomerados en sección delgada pulida, como diseminada aleatoriamente, lo que genera un particular oscurecimiento acaramelado de la roca original.

Este tipo de alteración suele presentarse en dacitas y andesitas pertenecientes a la primera fase intrusiva, siendo mayor la intensidad en las andesitas. (ver figura 6), como respuesta a una mayor proporción de minerales máficos (Biotitas primarias, hornblendas, etc.) y magnetita primaria, que hace más susceptible a la roca para reaccionar ante el fluido mineralizante.

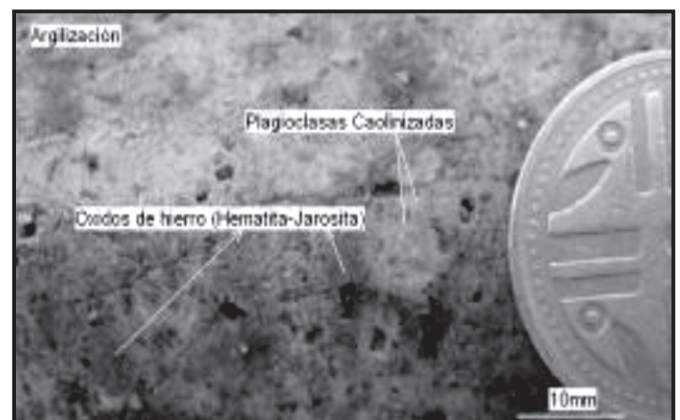


Figura 6. Dacita con alteración argílica (asociado a falla). Nótese la pérdida de la textura y la descomposición de los minerales primarios a minerales típicos de alteración supérgena. Sondaje CJM-4 a 11.9m.

También es común encontrar zonas de alteración potásica-biotítica de intensidad fuerte, en sectores donde entran en contacto andesitas de primera fase con xenolitos (basaltos) pertenecientes al complejo Barroso-Amame (?), generándose impregnación pervasiva de magnetita y biotita secundaria, dándole un color negro a dichos basaltos. Dichas zonas presentan valores anómalos en valores de metales tales como oro y cobre en análisis elementales realizados por la JICA, lo que nos indica la existencia de zonas mineralizadas, tras realizarse su respectiva caracterización durante este

proyecto, se catalogan como zonas potásicas biotíticas fuertes (ver figura 7).



Figura 7. Contacto andesita (primera fase) con basalto. Nótese la zona de roca silicificada, antecedendo la zona de alteración potásica- biotítica (Roca oscura). Sondeo CJM-3 a 56.3m.

5.2 Alteración propilítica

Se desarrolla contemporáneamente con la alteración potásica, con la diferencia de ser una fase de menor temperatura, por lo que generalmente define los límites externos del sistema porfírico. También es muy común observarla en los intrusivos pertenecientes a fases intraminerales tardías.

Se desarrolla por la introducción de calcio y magnesio en la roca, afectando a los minerales ferromagnesianos. Se define por la asociación de minerales como epidota (mayor su presencia entre más cerca se encuentre del centro intrusivo), clorita, magnetita y, en ocasiones, calcita, reemplazando minerales primarios como plagioclasas, biotitas y hornblendas (ver figura 8). Para el depósito, se definió una roca con alteración propilítica, cuando presentaba como mínimo la asociación epidota (Ep) + clorita (Cl).

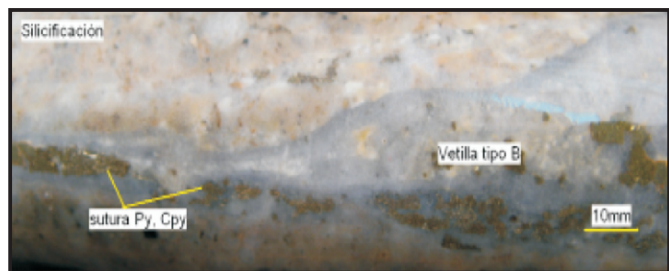


Figura 8. Dacita con silicificación. Nótese la pérdida textural de la roca y la coloración blanquecina, producto de vetillosos tipo B, con fuertes densidades. Sondaje CJM-2 a 310m.

Por lo general, se encuentra asociada con grandes cantidades de Py (2-3%) diseminada, y se presenta como un gran halo que afecta con una intensidad alta a los basaltos del complejo Barroso-Amaime (?) (roca caja), dándoles una coloración verde que, cuando es catalogada como propilítica, efervesce al contacto con HCl, y cuando no es catalogada como cloritización (ver tabla 2), afecta en una intensidad moderada-fuerte a los cuerpos porfíricos de fases posminerales, y con una intensidad

débil-moderada a los cuerpos pertenecientes a fases tempranas a manera de sobreimposición.

Tabla 2. Esquema de vetillo típico para depósitos porfíricos ricos en oro. Tomado de Sillitoe (2000).

Tipo de Vetilla	Composición	Forma	Tipo de halo	Estructura	Fase intrusiva	Zona de alteración	Zona sobreimposición
Vetilla tipo EB	Biotita Secundaria	Paralela	No presenta	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo M	(+)Magnetita, (-) Gz	Paralela, Sinuosa	No presenta	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo A	(+)Gz (-) Mag, Sulf	Sinuosa	No presenta	Discontinua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo A	(+)Gz (-) Mag, Sulf	Paralela	Biotita Secundaria	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla cuarzo Bandedo	(+)Gz (-) Gz+ Mag	Paralela	No presenta	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo B	Gz, Sutura Py	Paralela	Biotita Secundaria	Continua	Intramineral	Propilítica, Filica	Potásica (K)
Vetilla tipo D	(+)Py (-) Cpy, Mo	Paralela	Sericta	Continua	Intramineral	Filica, Argilica	Potásica (K) Propilítica,

5.3 Alteración clorítica

Esta alteración no se distingue dentro de la mayoría de esquemas representativos de pórfidos (e.g. Sillitoe, 2000; Camus, 2003; Seedorff et al, 2005) y se puede inferir que se encuentra implícita dentro de la alteración propilítica, ya que el arreglo y representación de esta alteración se encuentra por lo general asociada a la alteración propilítica. Sin embargo, en el área de estudio se le ha extraído, ya que no cuenta con las asociaciones y/o magnitudes propias de una alteración propilítica.

En este trabajo se toma la alteración clorítica como aquella con un alto contenido de clorita y en ocasiones calcita, pero nunca con epidota. Los minerales accesorios se encuentran en pequeño porcentaje, y al realizar la caracterización en muestra de mano de esta alteración, se distinguen características similares a las de alteración propilítica, pero con la diferencia de que, en la cloritización, la ausencia de calcita es marcada y la coloración característica de la epidota se pierde.

De igual manera que en la alteración propilítica, en la que la clorita se presenta diseminada en la roca, también se puede observar como reemplazo de las biotitas y las hornblendas. Este mineral es el principal generador del color verde característico que se observa en las rocas que presentan esta alteración.

5.4 Alteración argilica

Se encontró en sectores aislados de los núcleos de perforación, siendo su presencia exclusiva a zonas de falla, donde el alto grado de fracturamiento asociado y el proceso de infiltración de aguas meteóricas por estos conductos generan argilización (intermedia) supérgena, que puede profundizarse por cientos de metros. Ni en la cartografía de alteración, ni en la caracterización de los núcleos de perforación, se encontraron grandes zonas o recubrimientos de rocas alteradas o "litocaps" sobre el sistema porfírico (Sillitoe, 1995a), por lo que se cree que dicho horizonte de alteración argilica avanzada posiblemente ya no existe, debido a que ha sido removido

por los intensos eventos erosivos que permitieron la exhumación del cuerpo.

Como asociaciones mineralógicas típicas de esta alteración, observadas en los núcleos, se encontraron plagioclasas, pasando a caolinita y sericita, y sulfuros (Py- Cpy), alterando a Iarosita y hematita, lo que da a la roca una tonalidad blaquescina, acompañada de parches de hematita - jarosita, que en algunos sectores pueden llegar al 30%.

5.5 Silicificación

Se trata de una alteración de fuerte temperatura, proximal, en la cual se presenta adición de sílice, lixiviación de álcalis y lixiviación de aluminio. Los minerales característicos son cuarzo, calcedonia y jaspe, aunque en ocasiones la sílice no presenta estructura definida.

Se observa como una sobreimposición en la textura original de la roca, y se presenta siempre asociada a tres particularidades encontradas en los núcleos de perforación.

El primer caso, y el más común, es asociado a zonas donde entran en contacto andesitas involucradas en primeras fases intrusivas con xenolitos de basaltos y microgabros del complejo Amaime-Barroso(?), en donde se forma una zona de reacción y enriquecimiento en magnetita, Cpy, Py y biotita secundaria, iniciando esta zona de reacción con fuerte silicificación que impregna la roca, y generando pérdida de textura y coloración blanquecina, que puede variar de acuerdo al tamaño de la zona de enriquecimiento, lo que se observa muy bien en los sondeos CJM-3 y CJM-4.

En el segundo caso, este tipo de alteración se observa en sectores donde existe gran densidad de vetillas tipo B, lo que genera, en apariencia, una zona silicificada (ver figura 9). Como último, como consecuencia del proceso de alteración de plagioclasas a sericita y caolinita en zonas argílicas, se produce exceso de sílice, que produce ocasionalmente silicificación notable, asociada a zonas argílicas en dominios fallados.

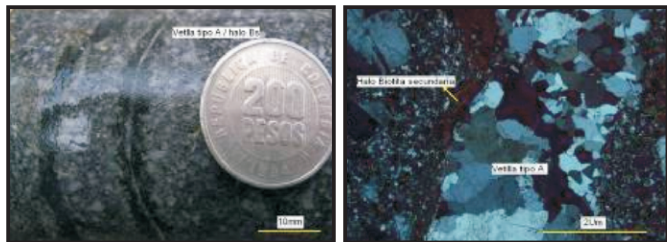


Figura 9. a. Vetilla tipo A con halo de biotita secundaria. Nótese la forma paralela y el grosor del halo de reacción que genera la vetilla. b. Microfotografía de una vetilla tipo A con halo de biotita secundaria. Nótese el cuarzo tipo mosaico y la biotita secundaria envolviendo la vetilla. Sondeo CJ M-2 a 277m.

6. VETILLAS

Durante el proceso de emplazamiento de cada una de las fases intrusivas, los fluidos hidrotermales, formados como resultado de la ebullición retrógrada de estos magmas en proceso de cristalización, y separación de fases volátiles (acuosas), son inyectados en la roca a manera de vetillas (Burnham y Ohmoto, 1980), que pueden variar en textura, composición y forma, de acuerdo con variables como presión, temperatura, estado de oxidación, composición de las soluciones inyectadas y grado de estabilidad fisicoquímica de la solución hidrotermal con respecto a la fase intrusiva (Gustafson y Hunt, 1975). Su importancia radica en que sus características (mineralogía, localización, abundancia, orientación y texturas, entre otras), dan valiosa información acerca de la evolución en espacio y tiempo del flujo y composición de los fluidos (Seedorf et al, 2005), lo que nos acercará a la evolución del cuerpo y su mineralización. Tanto en los cuerpos porfiríticos como en los basaltos, dichas vetillas suelen presentarse a manera de estoverca (Stockwork) multidireccionales, (mayoritariamente en vetillas compuestas principalmente por sulfuros u óxidos de hierro con poca presencia de sílice, en zonas con alteración hidrotermal de tipo pervasivo) o subparalelo, asociadas a zonas con fuerte control estructural durante los períodos de emplazamiento.

Se clasificaron las vetillas observadas de acuerdo con la síntesis elaborada por Sillitoe (2000), para una secuencia de formación típica para pórfidos ricos en oro-Cu, en donde se designan los tipos A a vetillas con cuarzo en mayor proporción; B, a vetillas de cuarzo con sutura de sulfuros; D, a vetillas mayoritariamente de sulfuros; M a vetillas de magnetita; EB, cuando son constituidas por biotita secundaria hidrotermal, mayoritariamente, y vetillas de cuarzo bandeado, definidas por Muntean y Einaudi (2000).

En casos en los que las vetillas presentaban características composicionales y texturales propias, se denominaron nombrando sus constituyentes principales y se encontraron sus respectivas relaciones de corte con las vetillas nombradas por Sillitoe (2000).

6.1 Sistema de Vetillas en el Stock Profirítico de Snta Lucía

6.1.1 Vetillas tipo M: fue el primer sistema de vetillas que fue emplazado; se presentan, por lo general, cuando están las vetillas tipo A y EB en los intrusivos tempranos (fase 1) de la etapa tardimagmática o potásica, aunque se han encontrado también en fases posteriores acompañados de vetillas tipo B y D, lo que evidencia que existieron dos inyecciones para dichas vetillas.

Son frecuentes en los pozos CJM-3, CJM-4 y CJM-5, en el sector de Santa Lucía, acompañadas de magnetita pervasiva (roca oscura) en los sectores donde entran en contacto los basaltos (xenolitos) con los cuerpos porfíricos, siendo más fuerte su presencia cuando los pórfidos son de composición andesítica.

Las vetillas anteriormente descritas conforman, en conjunto, lo que se conoce como zona de alteración potásica biotítica típica para pórfidos ricos en oro, en las que tenemos un aumento importante de magnetita, superando el 10% en volumen, indicativo de un estado de oxidación con fuertes razones fo₂/fs₂ (Sillitoe y Gappe, 1984; Perello y Cabello, 1989; Vila y Sillitoe, 1991), y siendo el contenido de feldespato potásico significativamente menor.

6.1.2 Vetillas tipo A: muy comunes en zonas donde existe alteración potásica biotítica pervasiva, que están constituidas por cuarzo granular, siendo en sección delgada típica la textura mosaico.

Suelen presentarse en dos formas en el depósito: en el primer grupo se caracterizan por ser sinuosas y discontinuas, sin halo de alteración, indicando equilibrio con los intrusivos que las contienen, deduciendo de esta manera que los magmas asociados se encontraban en estado plástico al momento de formación de éstas, no totalmente cristalizados, siendo este comportamiento anterior al proceso de fracturamiento frágil (Fournier, 1999), donde se emplazarán las vetillas que las procederán.

En ocasiones contienen piritita, calcopiritita y magnetita diseminadas en la vetilla, siendo siempre el cuarzo el principal componente.

En el segundo grupo, las vetillas se caracterizan por ser continuas y menos sinuosas, presentan halo de alteración de biotita secundaria, lo que indica desequilibrio con los intrusivos, generando zona de reacción, y se ubican en zonas cercanas a la de mayor temperatura (donde están ubicadas las vetillas "A", más sinuosas). Fueron formadas en un estadio inmediatamente posterior al comportamiento cuasi-frágil de la roca.

Como consecuencia de la intersección de estas vetillas tipo A y sus halos de alteración (ver figura 10, página siguiente) se presenta un enriquecimiento en biotita secundaria en las rocas porfíricas, siendo común observarla de manera pervasiva en la roca. Estas vetillas presentan como minerales accesorios contenido de piritita, calcopiritita y magnetita.

Se observa que estas vetillas siempre cortan vetillas tipo M y se encuentran cortadas por las vetillas tipo B y posteriores. Se encuentran de manera importante en los

núcleos CJM-2 y CJM-4 y en algunos sectores de los núcleos CJM-1, CJM-3 y CJM-5

6.1.3 Vetillas tipo EB: son muy comunes en zonas de alteración potásica biotítica y, por relaciones de corte, se pudo establecer que la inyección de dichos fluidos en el depósito no fue anterior al vetilleo tipo A, tal como lo describe Sillitoe (2000), sino que ocurrió después del vetilleo tipo A y del vetilleo tipo B. Se observan, en la mayoría de casos, clorita reemplazando la biotita secundaria que compone dichas vetillas, tal como lo reportan Carten (1987) y Dilles y Einaudi (1992), por lo que son fácilmente reconocibles, al generar un color verde azulado.

En muchos casos se presentan como vetillas de aproximadamente 1mm de diámetro, a manera de stockwork, oscureciendo totalmente la roca. Por lo general están acompañadas de magnetita, piritita y calcopiritita, diseminadas. Siempre son cortadas por vetillas tipo D. Se presentan en el área de Santa Lucía, en los lugares con alteración potásica moderada- fuerte.

6.1.4 Vetillas tipo B: evidencian los efectos retrógrados causados por el descenso de la temperatura y la incorporación de fluidos meteóricos al sistema (Gustafson y Hunt, 1975). En el depósito aparecen en las dos fases intrusivas encontradas, corta las vetillas tipo A y M en la zona potásica.

Se observan acompañadas casi siempre de piritita, calcopiritita y magnetita y, por lo general, la molibdenita que existe en el depósito aparece como diseminada en estas vetillas, por lo que se cree que el mayor aporte de este mineral ocurre durante la inyección y emplazamiento de estas vetillas.

Presentan halos de clorita, no siempre continuos, por lo que es común relacionar su presencia junto con las vetillas D y M (ocasionalmente) a zonas donde los núcleos presentan alteración propilítica (Cl+ Ep).

6.1.5 Vetillas tipo D: se caracterizan por desarrollarse en el depósito, a manera de finas vetillas (máx. 2mm de diámetro), continuas, con emplazamiento muy denso en los basaltos (en muchas zonas se observa como vetillas finas de óxidos de hierro por alteración de la Py) y menor densidad en rocas porfíricas (ver figura 11, página siguiente).

Una característica de estas vetillas es su superposición a las fases de alteración precedentes (telescoping); es decir, en zonas de vetillas de mayor temperatura. Por lo general, aparecen sin halo sericítico, siendo éste solamente reconocible en el pozo CJM- 1 hacia los 155, 5 m en adelante, es mucho más común el halo clorítico.

Composicionalmente se caracterizan por la asociación Py + Cpy y, en ocasiones, molibdenita.

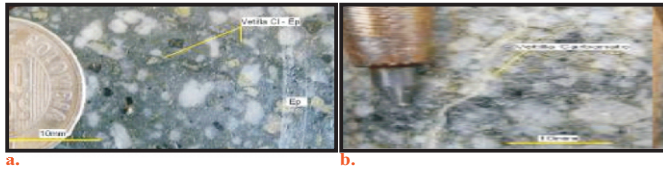


Figura 10. Vetilleo de última generación. **a.** vetilla de Clorita (Cl) - Epidota (Ep). Nótese cómo la epidota aparece donde la vetilla corta las plagioclasas, remplazándolas. **b.** Vetilla de carbonato. Sondaje CJM-2 a 270m.

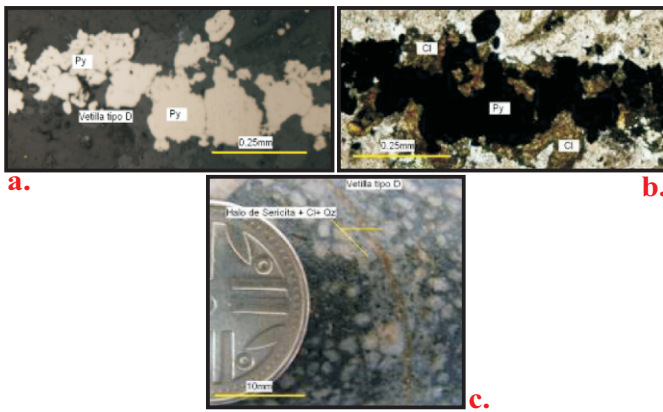


Figura 11. **a.** Vetilla paralela tipo D. Nótese los contactos irregulares entre los cristales de Py y la roca. **b.** Vetilla de tipo D (Py). Nótese los halos de clorita de alteración. **c.** Vetilla tipo D. Nótese el halo sericitico con cristales de clorita diseminada. . Sondaje CJM-5 a 43.97m.

Los dos tipos de vetillas mencionadas anteriormente son emplazados en fases posteriores a la etapa tardimagmática o potásica en el depósito (Fase intraminal - posmineral), en condiciones de rocas ya cristalizadas, con comportamiento netamente frágil, menores presiones, temperaturas y débiles salinidades, con lo que se deduce que existe ya una influencia de aguas meteóricas y una mezcla de ellas con fluidos magmáticos en esta etapa tardía del sistema (Camus, 2003).

6.1.6 Otras vetillas: se observaron vetillas de composición clorita - epidota, relacionadas a zonas con alteración propilitica (Cl + Ep) y cortando todo el vetilleo, a excepción de las vetillas de carbonato. Estas últimas son el vetilleo más reciente en el área, se superponen y cortan a las vetillas nombradas anteriormente, en todas las zonas de alteración hidrotermal reconocidas. Su grosor varía, desde pocos milímetros hasta centímetros, y su composición es básicamente calcita o siderita donde rellena anteriores vetillas D (oxidadas).

6.1.7 Ocurrencia de Oro: la mayor parte de la mineralización de oro se introduce junto con el cobre durante la formación de la alteración K (Potásica), por lo que su correlación es muy buena con zonas de fuerte densidad de vetillas tipo A y cuarzo bandeado. (Sillitoe,

2000). Es así como las andesitas y dacitas pertenecientes a la primera fase intrusiva son un claro objetivo para la mineralización de metales básicos como cobre y oro, dado el tipo de alteración potásico-biotítica con asociación típica biotita secundaria - magnetita y Py, Cpy encontrada, sumada al tipo de vetilleo asociado (Tipo A, M y EB) y en muy buenas densidades.

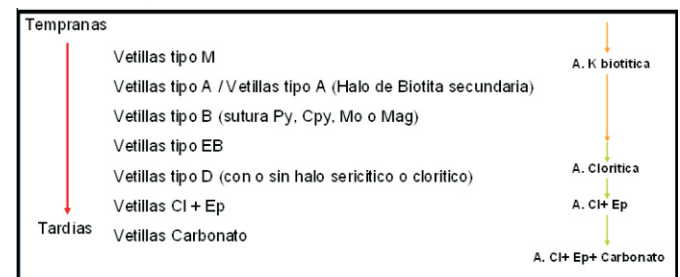
No se observó oro libre en 36 secciones delgadas pulidas analizadas en detalle, debido a que el oro, en los depósitos porfiríticos, en parte se presenta como partículas muy finas (comúnmente tamaños menores a 20 micras, generalmente menores a 100 micras) albergadas en sulfuros (Cpy, Py, marcasita), y teluros.

Es así como es más probable, dadas las características de la asociación de minerales típicos en la zona potásico-biotítica, que el oro se encuentre en los sulfuros (Py, Cpy) asociados a los estados tempranos de alteración y mineralización, y por su abundancia encontrada.

Como consecuencia del pequeño tamaño del oro en el stock porfirítico, su presencia en el área de estudio se establece como resultado de análisis químicos realizados por la JICA.

6.1.8 Cronología vetillas Stock Porfirítico de Santa Lucía: a partir de estas asociaciones observadas, se puede concluir que los órdenes de aparición de las vetillas reportadas en esta zona son los siguientes: vetillas tipo M, siendo cortadas por vetillas tipo A; vetillas tipo B cortan estas mencionadas anteriormente, convirtiéndose en una segunda fase de vetilleo y, posterior a éstas, se encuentran las vetillas tipo D, cortadas por una fase posterior de vetillas de calcita, siendo esta fase la última en el área (ver tabla 3).

Tabla 3. Cronología vetilleo, Stock Porfirítico de Santa Lucía (Cauca).



6.1.9 Fases intrusivas Stock Porfirítico de Santa Lucía: se lograron identificar dos fases intrusivas muy bien diferenciadas; una fase temprana integrada por dos cuerpos intrusivos porfiríticos tempranos, uno de composición dacítica, caracterizado en general por presentar biotita secundaria moderada y cloritización subordinada, que son intruídas por andesitas porfiríticas observadas en los sondajes a manera de diques (prom 5m) en su mayoría en los pozos CJM- 1, CJM-5 y como

cuerpos de mayor magnitud en los pozos CJM-2, CJM-3, CJM-4. Presentan biotita secundaria pervasiva y magnetita mayor que en las dacitas, debido a su composición primaria más máfica, lo que favorece la mayor aparición de biotita secundaria al reaccionar con fluidos de las primeras etapas del sistema.

Luego se observa la aparición de una segunda fase intrusiva (posmineral), compuesta por dos cuerpos porfiríticos de composición dacita-andesita, que intruyen cuerpos porfiríticos pertenecientes a la fase temprana. Son reconocibles por presentar alteración propilítica y cloritización, como alteración dominante; presentan, en su mayoría, contactos netos, con ausencia de zona de reacción rica en biotita secundaria y magnetita; contienen vetilleo tipo B, D y Cl+ Ep característico, en densidades menores (ver figura 13), siendo mencionados intrusivos muy comunes en el sondeo CJM-1.

Cabe aclarar que la separación de fases y el agrupamiento de los intrusivos encontrados en ellas, se hizo con base en las asociaciones comunes en textura, vetilleo, mineralización y alteración, sin tener en cuenta valores geoquímicos de metales tales como oro y cobre, que aportará nuevas herramientas confiables para determinar con veracidad la existencia de las mencionadas fases y la ubicación de ellas en lugares donde no fue fácil determinarlas.

7. MODELO DE DEPÓSITO

La historia de formación, emplazamiento, mineralización y tipos de alteración encontradas en el depósito son el producto de la evolución de un sistema dinámico, en el que sucesivas intrusiones (Fases intrusivas), cargadas cada una de fluidos magmáticos, van desarrollando las zonas de alteración de acuerdo con un patrón espacial relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y lugares. En el Stock Porfirítico de Santa Lucía es posible resumirla de la siguiente manera:

7.1 Etapa Temprana:

Se desarrolla el emplazamiento de los intrusivos tempranos en la roca caja (Basaltos del complejo Barroso-Amame (?)) reconocidos por presentar alteración potásica-biotítica dominante y vetilleo típico de alta temperatura (tipo M, A, EB, y B). Estos cuerpos son clasificados como pertenecientes a la primera fase intrusiva, siendo el intrusivo (A) dacitas, y los intrusivos (B) andesitas, observados a manera de diques que cortan dacitas (A) y xenolitos de roca caja (Basaltos). Probablemente, los diques mencionados son originados como respuesta al emplazamiento de una fase intramineral que no fue posible diferenciar durante el logueo de los sondeos.

Dichas alteraciones son el producto de la evolución de un sistema dinámico, en el cual sucesivas intrusiones (Fases intrusivas), cargadas cada una de fluidos magmáticos, van desarrollando las zonas de alteración de acuerdo a un patrón espacial relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y lugares del depósito. (ver figura 12, página siguiente)

7.2 Etapa posmineral:

Se desarrolla el emplazamiento de los intrusivos pertenecientes a la fase posmineral sobre rocas pertenecientes a la anterior fase, generándose la hinchazón del stock y la intensificación y aumento del halo propilítico en el sistema (ver figura 13, página siguiente). Esta fase posmineral está constituida por dos cuerpos intrusivos de composición dacita-andesita, que presentan alteración propilítica dominante y baja densidad de vetillas tipo B, D y Cl-Ep. Por lo general, los contactos son netos (ausencia de zona de reacción), con rocas pertenecientes a la etapa temprana.

7.3 Posible etapa actual:

En la actualidad, tenemos un sistema tipo pórfido, en el sector de Santa Lucía, en el que aflora en superficie su núcleo de alteración potásica-biotítica hacia el sector donde fue perforado el sondeo CJM-4, y sus flancos de alteración propilítica hacia los sondeos CJM-3 y CJM-2. (ver figura 14, página siguiente).

No es preciso definir el grado de erosión que ha sufrido el pórfido, pero teniendo en cuenta que hay ausencia de zonas de alteración argílica avanzada y no existe un "litocap" en la zona, se cree que el nivel de erosión ha sido tal que una parte del núcleo potásico ya se encuentra en superficie, hecho evidenciado en la cartografía detallada, realizada durante el desarrollo del proyecto, por lo que el mayor porcentaje de esta zona de alteración potásica posiblemente se encuentra todavía a profundidad, siendo potencialmente una zona de enriquecimiento de metales. También es posible pensar que, dada la geometría inclinada que presenta el cuerpo en la zona, puede existir un flanco de alteración potásica biotítica situado debajo de los cuerpos posminerales propilíticos encontrados en la mayoría de los sondeos, de manera que sólo uno de los flancos de alteración potásica biotítica aflora hacia el sector del sondaje CJM-4.

Hacia el sector sur del área de estudio (sondaje 5), se descarta la presencia de grandes cuerpos porfiríticos pertenecientes a la fase temprana mineralizante. Más claramente, se presenta una superposición de sistemas vetiformes sobre cuerpos porfiríticos pertenecientes a la fase posmineral, que corresponden preliminarmente a rasgos epitermales de baja sulfuración.

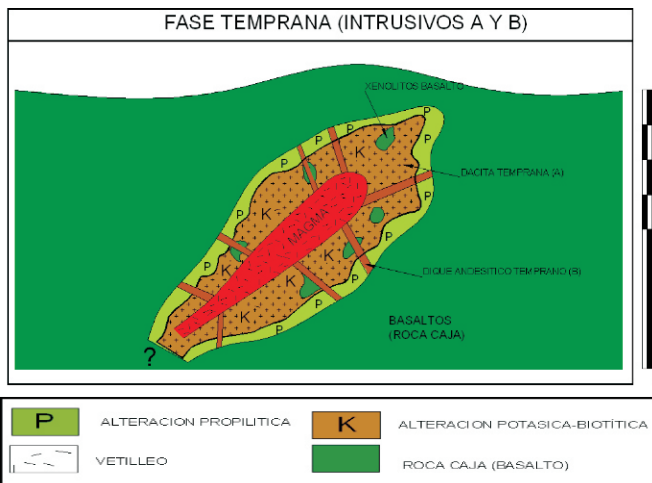


Figura 12. Etapa temprana, Stock Porfírico de Santa Lucía. (Corte esquemático).

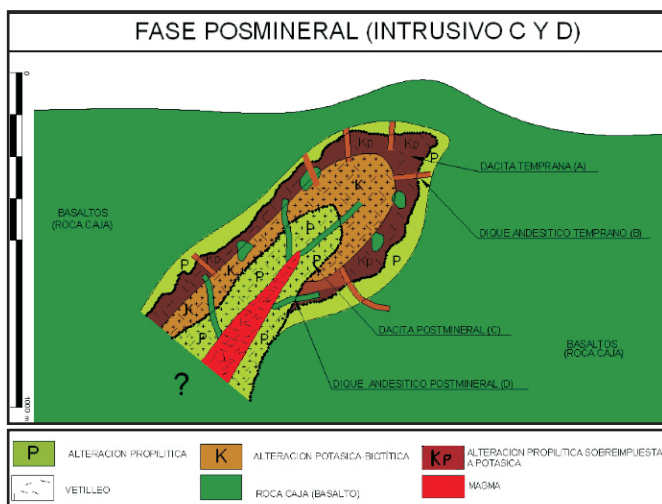


Figura 13. Etapa posmineral, Stock Porfírico de Santa Lucía. (Corte esquemático).

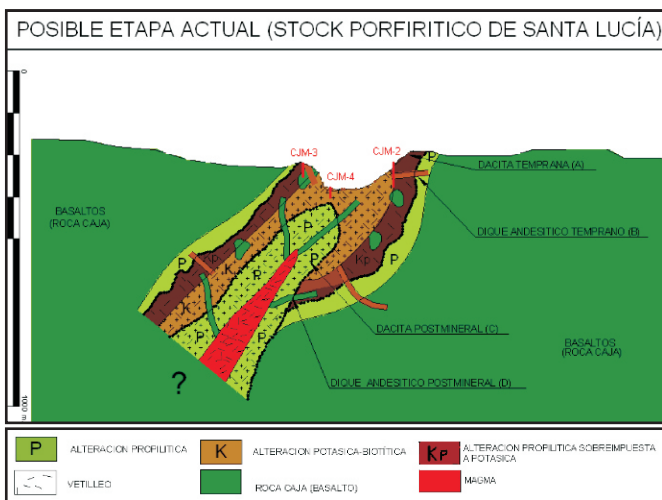


Figura 14. Estado actual, Stock Porfírico de Santa Lucía. (Corte esquemático).

8. CONCLUSIONES

El Stock Porfírico de Santa Lucía está constituido por cuatro cuerpos intrusivos que pueden agruparse teniendo

en cuenta características como tipo dominante de alteración hidrotermal, vetilleo, mineralización y litología. Según estos parámetros, se dividieron en dos fases intrusivas: una fase temprana constituida por dos cuerpos de composición dacita-andesita, y una fase posmineral compuesta igualmente por dos cuerpos porfíricos de composición dacita-andesita.

La mineralización más importante encontrada en el Stock Porfírico de Santa Lucía se encuentra representada como sulfuros (Py, Cpy, Molibdenita,) observados de manera diseminada, y en vetillas tipo A, B, D y M.

Las zonas de alteración encontradas en el Stock Porfírico de Santa Lucía están representadas por alteración potásica en los intrusivos pertenecientes a la fase temprana, alteración propilítica a manera de halos concéntricos en los intrusivos pertenecientes a la fase posmineral y en la roca caja (Basaltos) y como sobreimposición a la alteración potásica en los intrusivos tempranos, mostrando una zonación hidrotermal típica para depósitos tipo pórfido rico en Au-Cu, de acuerdo con el modelo planteado por Sillitoe (2000).

Se observó alteración argílica supérgena, asociada exclusivamente a zonas de falla, y silicificación como producto de densos vetilleos tipo B en zonas de contacto entre andesitas de primera fase y basaltos.

La alteración potásica-biotítica está representada en el depósito como la asociación de Biotita secundaria + Magnetita + Cpy, Py; éstos se encuentran diseminados en la matriz, a manera de aglomerados, o como halo en el vetilleo tipo A paralelo y, en menor grado, en vetilleo tipo B. Andesitas pertenecientes a la fase temprana presentan la mayor intensidad de alteración potásica y densidad de vetilleo tipo A, M y EB. Éstas generan, al entrar en contacto con xenolitos originarios de la roca caja, una zona de alteración potásica con alto contenido de magnetita, que se asocia con biotita secundaria y sulfuros. Estos diques representan, dentro de la fase temprana, zonas altamente prospectivas en el depósito tipo pórfido en el área de Santa Lucía.

Dadas las características composicionales, texturales, genéticas, y el tipo de mineralización presente con sulfuros y óxidos de manera diseminada y en vetillas, junto con los tenores presentes de oro y cobre en la zona de mena (J.I.C.A, 1987), el Stock Porfírico de Santa Lucía puede clasificarse preliminarmente como un depósito tipo pórfido rico en oro y, como subproducto, cobre (Sillitoe, 2000)

Existen, en la parte sur del área de estudio, vetas que evidencian una posible sobreimposición de un sistema epitermal de baja sulfuración (sondeo CJM-5, 243m en

adelante) en un sector del cuerpo porfirítico, correlacionable con sistemas vetiformes de semejantes características reportados en el sector entre las quebradas Zo Grande y Macho Viejo, en la vereda Santa Lucía.

Teniendo en cuenta las características presentes en el Stock Porfirítico de Santa Lucía, e información colectada durante el desarrollo del proyecto hacia el sector de Dominical (Vereda Hueco Hondo), donde se encontró un depósito tipo pórfido de similares características, se confirma la existencia, como lo reporta Sillitoe (1982) de la faja metalogénica del mioceno hacia el suroccidente de Colombia, siendo estos depósitos parte de ésta.

9. REFERENCIAS

- Burnham, C.W.; Ohmoto, H (1980) Late-stage processes of felsic magmatism. In *Granitic magmatism and related mineralization* (Ishibara, S.; Takenouchi, S.; editors). *Mining Geology, Special Issue, No. 8*, p. 1-11.
- Camus, F. (2003): Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile.
- Carten, R.B., (1987): Sodium- Calcium metasomatism: Chemical, temporal, and spatial relationships at the Yerington, Nevada, Porphyry copper deposit: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 81, p. 1174-1186.
- Dilles, J.I., and Einaudi, M.T., (1992) Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposits, Nevada: A 6 Km vertical reconstruction: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 87, p. 1963-2001.
- García, C.A., (2007): Caracterización petrográfica y metalográfica del prospecto pórfido aurífero Dos Quebradas - la Cumbre, Quinchía, Risaralda. Tesis de grado de geología, Universidad de Caldas.
- Gustafson, L.B., and Hunt, J.P., (1975): The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, v. 70, Canada.
- Etayo, F. et al. (1983): Mapa de terrenos geológicos de Colombia. INGEOMINAS. *Publicación Geológica Especial*, 14 (I): 1-235. Bogotá.
- Heinrich, C.A., Driesner, T., Stefansson, A., Seward, T.M., (2004): Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits. *Geology*, v. 32, No 9, p. 761-764, United States.
- Hubach, E., (1955): El Cauca: las unidades geográficas y geológicas del departamento y los recursos del suelo y del subsuelo. I-1107, INGEOMINAS, Colombia.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería: Estudio geológico integral para la búsqueda de recursos minerales en el sector Buriticá (Antioquia) - Viterbo (Risaralda) Colombia. INGEOMINAS, 2004. 157 p.
- Japan International Cooperation Agency (JICA), (1987): Informe sobre exploración de minerales del área de Almaguer, Departamento del Cauca, Colombia. *Compilación Fases I, II y III*.
- Jaramillo, L. y Escobar, R., (1980): Cinturones de pórfidos cupríferos en las cordilleras colombianas. I-1801. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- Kerr, P. (1965): *Mineralogía óptica*. Mc.GrawHill. Madrid.
- Marulanda, N. (1976): Geología y geoquímica del área de Piedra Sentada, Municipio de El Bordo, Cauca. I-1703 INGEOMINAS. Popayán, Colombia.
- Marulanda, N., (1978): Geología y prospección geoquímica del área mineralizada La Vega y Almaguer. I-1762, INGEOMINAS. Popayán, Colombia.
- Molano, J.C., Londoño, S.E., Mojica, J., y otros. (2003): Catálogo de las propiedades mineralógicas, físicas y químicas de los yacimientos auríferos primarios de los departamentos Cauca, Nariño y Valle del Cauca. INGEOMINAS. Cali, Colombia.
- Muntean, J. and Einaudi, M., (2000): Porphyry gold deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol 95, p. 1445-1472. Canada.
- Orrego, A. Acevedo, A. (1993): Geología de la plancha 364-Timbío, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- Perelló, J.; Cabello, J. (1989): Pórfidos cupríferos ricos en oro; una revisión. *Revista geológica de Chile*, Vol. 16, No. 1, p. 73-92
- Seedorff, E. *et al.*, (2005): Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene Features. Society of economist Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Canada.
- Sillitoe, R., (2000): Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *Reviews in Economic Geology*, Volume 13. Canada.
- Sillitoe, R. and Perello, J., (2005): Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. Society of Economist Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Canada.
- Simmons, S., White, N. and John, D., (2005): Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. Society of Economist Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary*, Canada.
- Paris, G. y Marín, P., (1979): Generalidades acerca de la geología del Departamento del Cauca. INGEOMINAS. Popayán, Colombia.
- Vila, T. and Sillitoe, R., (1991): Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 86. Canada.
- Unal-Carboandes S.A. (2008): Socialización y delimitación de prospectos en las áreas Piedra Sentada y Dominical, Departamento del Cauca, Colombia. Informe interno, UNAL y CARBOANDES S.A. Bogotá, Colombia.