

---

---

## Evaluación de zonas de alteración hidrotermal y fases intrusivas, para el prospecto “Stock Porfirítico de Piedra Sentada” (Vereda Santa Lucía) Cauca, Colombia

## Evaluation of hydrothermal alteration zones and intrusive phases for the prospect “Piedra Sentada Porphyritic Stock” (Vereda Santa Lucia) Cauca, Colombia

---

---

DIEGO FELIPE GÓMEZ-GUTIÉRREZ<sup>1</sup>

JUAN CARLOS MOLANO-MENDOZA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geólogo.

E-mail: [diegomez656@gmail.com](mailto:diegomez656@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

E-mail: [jcmolanom@unal.edu.co](mailto:jcmolanom@unal.edu.co)

GÓMEZ-GUTIÉRREZ, D.F. & MOLANO-MENDOZA, J.C. (2009): Evaluación de zonas de alteración hidrotermal y fases intrusivas, para el prospecto “Stock Porfirítico de Piedra Sentada” (Vereda Santa Lucía) Cauca, Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 34, pp. 75-94, 29 Figs., Bogotá.

### 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 del Mioceno, el cual intruye basaltos del Complejo Barroso – Amaime. Esta caracterización se basa en el logueo de 5 sondeos verticales realizados y localizados por J.I.C.A de acuerdo a las anomalías geofísicas reportadas para el área de estudio.

El stock presenta características mineralógicas y de alteración hidrotermal propios 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) el cual presenta el mayor interés económico en el sistema; y una fase postmineral con alteración propilítica dominante y vetilleo típico (tipo B, D, Cl+Ep) localizado hacia el interior del depósito.

El Stock porfirítico presenta sobreimposición de sistemas vetiformes hacia el sur del depósito, que corresponden preliminarmente a rasgos epitermales de baja sulfuración.

Dadas las características presentes en el depósito, se asocia su presencia con una faja metalogénica del Mioceno presente hacia el Suroccidente de Colombia.

Palabras Clave: *Alteración hidrotermal, Fases intrusivas, Logueo, Pórfido, Santa Lucía.*

### ABSTRACT

The Santa Lucia porphyritic stock is located in Cauca Department, in the western flank of the Central Cordillera, in the Santa Lucia rural settlement of La Sierra Municipality. It corresponds to a hypoabyssal body of Miocene age which intrudes basalts from Barroso – Amaime Complex.

This characterization is based on the logging of five vertical drillings made and located by J.I.C.A. in agreement with the reported geophysical anomalies for the study area.

The stock presents mineralogical and hydrothermal characteristics typical of porphyry Au-Cu deposits, and it is genetically related to the emplacement of four intrusive pulses of variable composition between dacite – andesite. They are contained in two intrusive phases: an early phase characterized by presenting dominant potassic- biotitic alteration and veinlets 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 deposit interior.

The porphyritic stock presents overprint of veiniform systems in the south of the deposit; they correspond preliminarily to low-sulfidation epithermal features.

Given the present characteristics in the deposit, its presence is associated to the Metallogenic Miocene Belt presented in the southwestern part of Colombia.

Key words: *Hidrotermal alteration, intruding phases, log, porphyry, Santa Lucia.*

## INTRODUCCION

Los cuerpos porfíricos 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 más 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 porfírico 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, periodo en el cual se realizaron 5 pozos de exploración con el fin de establecer el tipo de depósito allí situado.

El término stock usado en este artículo tiene la connotación que se le da en los trabajos de SILLITOE (2000) y GARCÍA (2007), y en ningún momento se refiere a la extensión areal del cuerpo mineralizado.

Para el desarrollo de este artículo se trabajó con los núcleos de perforación de J.I.C.A. pretendiendo aportar información detallada sobre el stock porfírico de Santa Lucía en relación a la caracterización de zonas de alteración, mineralizaciones y vetilleo, buscando identificar y definir detalladamente cada uno de estos cuerpos, 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 de 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.

## 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 de 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.

## METODOLOGIA

Para la elaboración del presente trabajo se adoptó una metodología de trabajo, basada en fases secuenciales, que permitieron llevar una sistemática y coherencia en la información colectada, permitiendo a la vez, realizar correlaciones y caracterizaciones de manera adecuada.

**Fase 1** (Trabajo de Campo): Se realizó el reconocimiento geológico, y la ubicación de los 5 sondeos realizados por (J.I.C.A) en la zona.

**Fase 2** (logueo): Se realizó la caracterización de 1656m de núcleos de perforación, pertenecientes a 5 sondeos, de acuerdo a 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.

## MARCO GEOLOGICO

### Contexto geológico regional

Geológicamente el área de interés se localiza en el mega terreno geológico denominado Cauca Romeral,

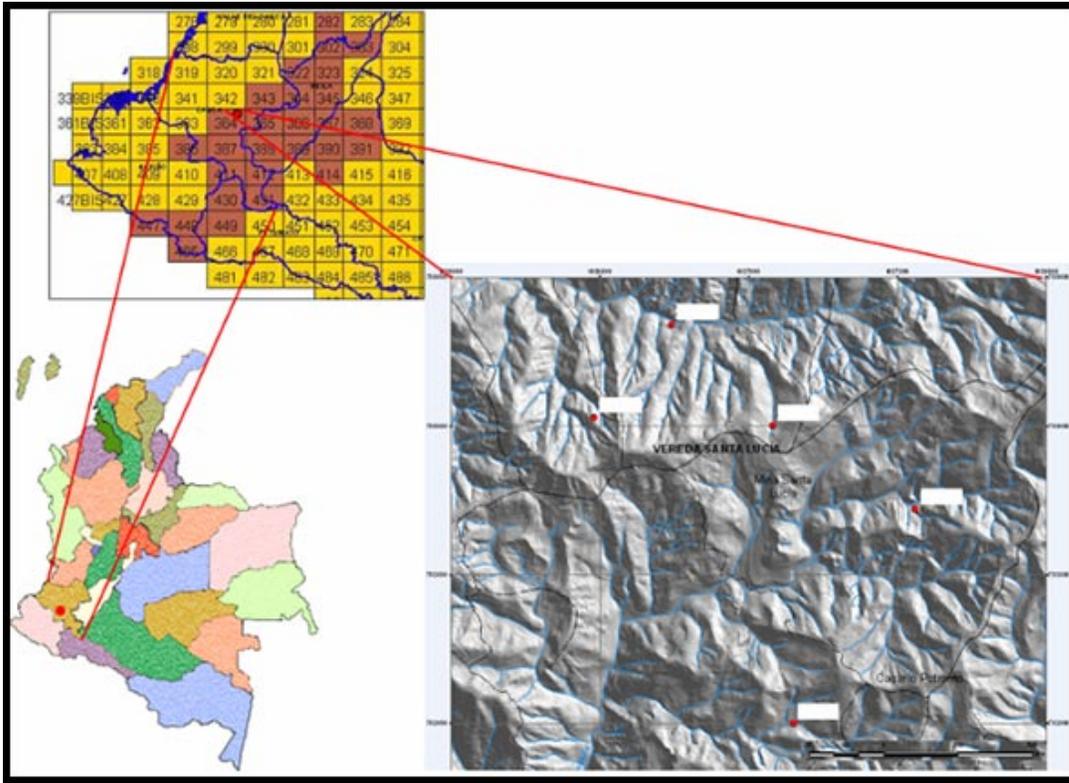


Fig. 1. Localización del área de estudio.

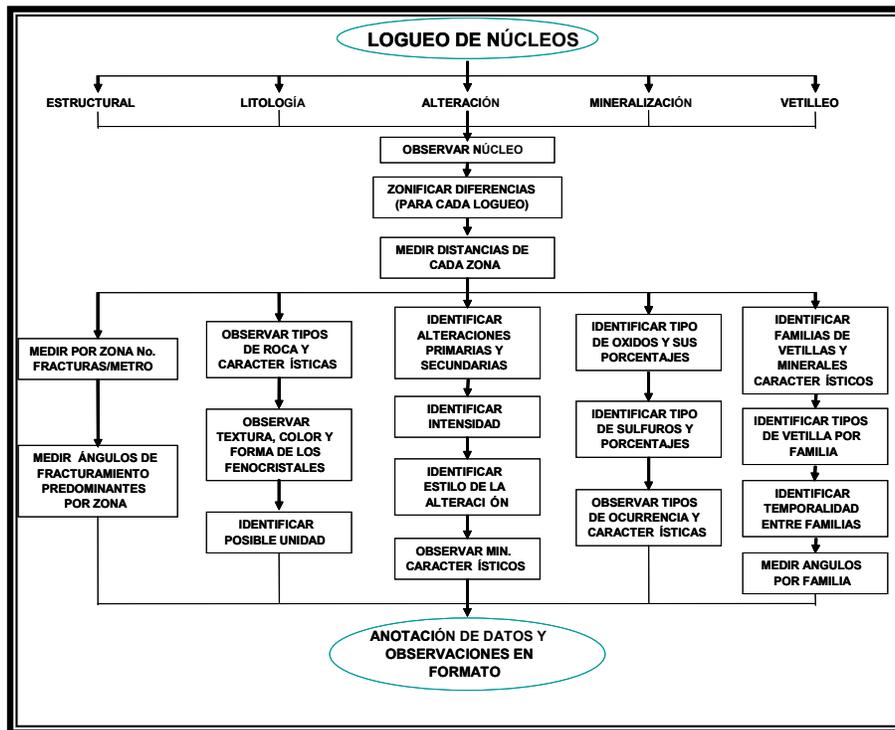


Fig. 2. Diagrama de flujo de las fases metodológicas apropiada para el logueo de núcleos.

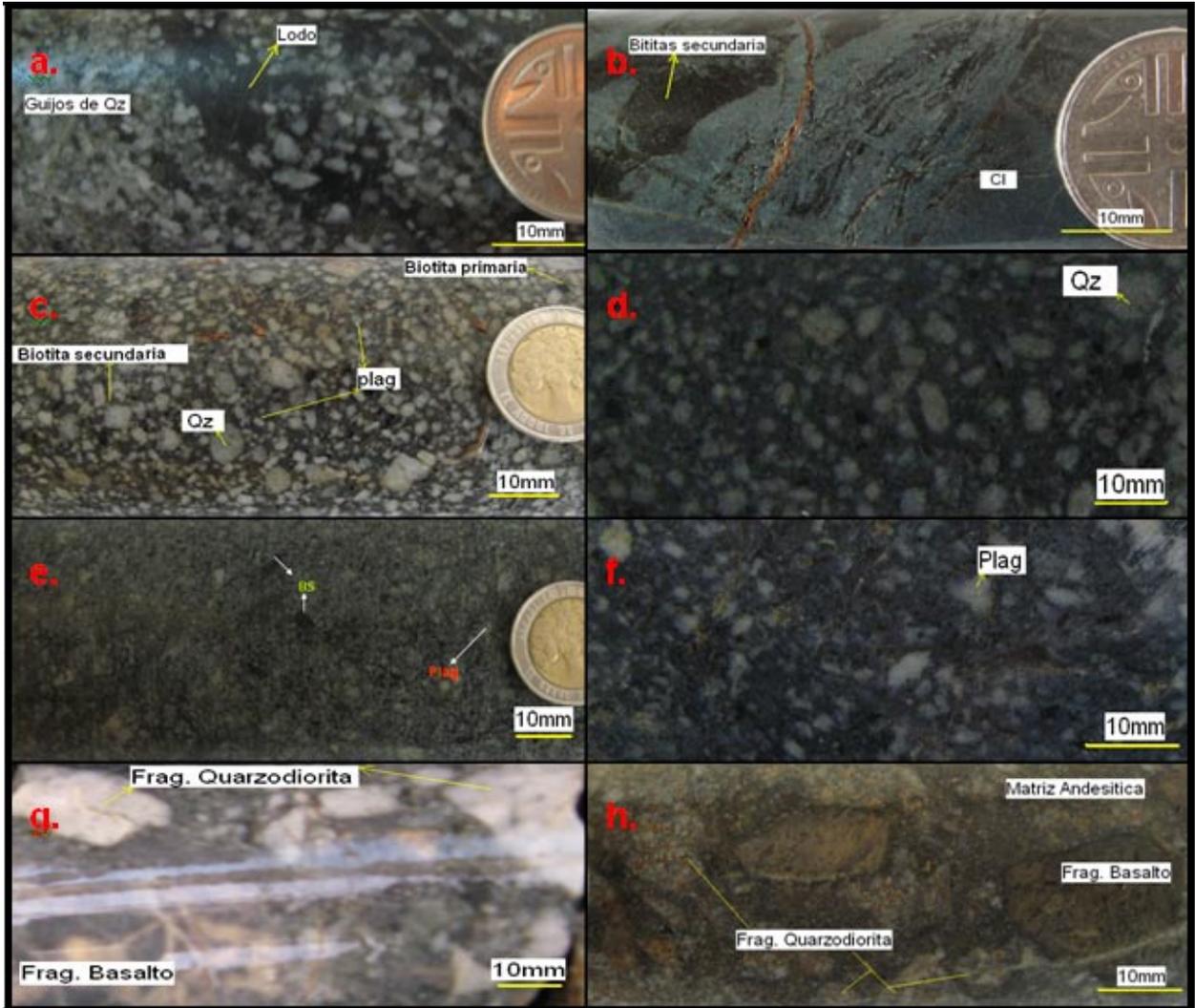


Fig. 3. Litologías. a. Conglomerado b. Basalto con alteración Potásica-Biotítica. c. Dacita Temprana. d. Dacita Postmineral. e. Andesita Temprana. f. Andesita Postmineral. g y h. Brechas magmáticas polimigíticas.

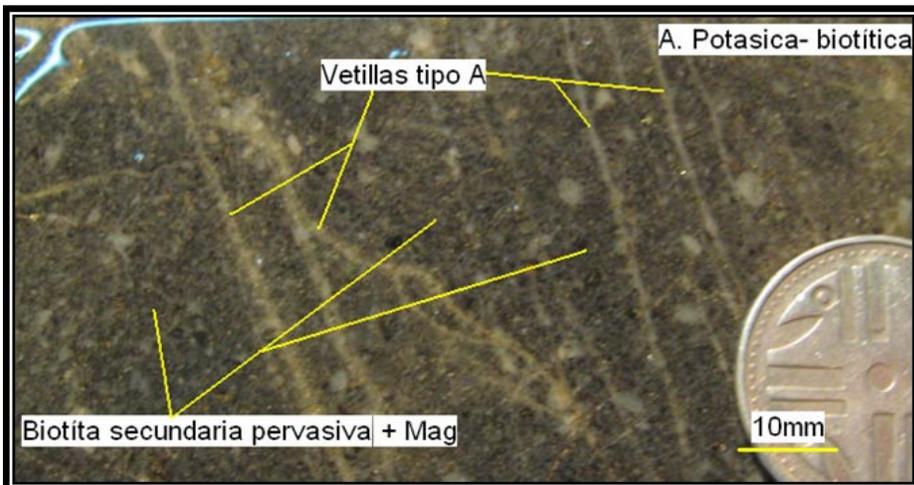


Fig. 4. Andesita de primera fase con alteración potásica-biotítica. Nótese la biotita secundaria finogranular, en forma disseminada y pervasiva asociada con magnetita, dándole a la roca una coloración café.

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).

### **Geología local**

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 vulcanoclásticas de la Formación Popayán (NgQpg) de edad Plio-Pleistoceno. Las siguientes descripciones son basadas en el informe UNAL-CARBOANDES S.A. (2008).

#### **Complejo Barroso Amaime (Kiba)**

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

En la zona este conjunto, se encuentra conformado principalmente por rocas oscuras, con textura afanítica, las cuales corresponden a rocas volcánicas básicas de carácter submarino clasificadas petrográficamente como basaltos y microgabros.

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 y asociadas a formas circulares de antiguos cuellos volcánicos.

#### **Formación Esmita (Nge)**

Se conoce con este nombre una secuencia sedimentaria constituida por limolitas fosilíferas, areniscas con intercalaciones de limolitas y conglomerados oscuros polimícticos, de espesor promedio de unos 3000 y hasta 5000 m y definida así por LEÓN *et al.* (1973, PARÍS & MARÍN 1979). La unidad aflora tanto en los flancos de las cordilleras Central y Occidental como en la cuenca del Patía, y se extiende hacia el sur en el Departamento de Nariño. Con base en estudios de microfósiles su edad es

Mioceno Superior.

#### **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 porfiríticas 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 de las quebradas frescos a poco meteorizados 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 piritita y calcopiritita, los cuales se encuentran diseminados y en vetillas en asociación con cuarzo y epidota.

#### **CARACTERIZACIÓN DEL STOCK PORFIRÍTICO DE SANTA LUCÍA**

Mediante la observación 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, sus fases intrusivas y encontrar posibles zonas mineralizadas. Para ello se trabajó con el material recolectado por la Japan International Cooperation Agency (J.I.C.A.) en 5 perforaciones realizadas en el área de Santa Lucía entre 1985-1986.

Dichos núcleos de perforación a pesar del tiempo que tenían de haber sido colectados, se encontraban completos y ordenados en su mayor parte, por lo que la información tomada de ellos, para efectos de reconocimiento e interpretación en esta fase del proyecto, resulta confiable. Se evidencian algunos problemas de contaminación, estos como consecuencia de la manera y condiciones en las que fueron almacenados dichos sondeos, punto a tener en cuenta a la hora de consultar futuros resultados de análisis químicos.

## LITOLOGIAS ENCONTRADAS

Basaltos pertenecientes a el Complejo Barroso-Amaime (?), son las rocas mas antiguas del Área, y representan la roca caja donde fue emplazado el cuerpo hipoabisal llamado Stock porfirítico de Santa Lucía (Ngda), el cual están se compone básicamente de rocas de composición Dacita-Andesita las cuales pueden ser agrupadas dentro de dos fases intrusivas (SILLITOE 2000) de acuerdo a criterios como tipo de alteración dominante, densidad y tipo de vetillas, como ordenes de intrusión.

Se encontraron brechas magmáticas relacionadas al emplazamiento de los diques Andesíticos tempranos, por lo que son comunes encontrarlos hacia los contactos de mencionados diques con la roca caja figura 3.

## ALTERACIONES HIDROTERMALES

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 tanto en la roca caja como en el Stock porfirítico, son importantes ya que estas, como su nombre nos indica, nos reflejan el ambiente hidrotermal de su generación (ALLEN *et al.* 1996). Su morfología, distribución y mineralización se encuentra en función de cantidad de variables como son los controles estructurales, la litología, evolución magmática, permeabilidad, disponibilidad y distribución espacial de los fluidos (CAMUS 2003). En este capitulo en especial se trabajo con la litología, la relación que se presenta entre ellas y las mineralizaciones presentes.

En el material se encontraron claramente identificables 5 tipos de alteración hidrotermal, con asociaciones mineralogicas que muestran una zonación típica para depósitos porfiríticos, dichas alteraciones son importantes para la clasificación, arquitectura y mineralización del Pórfido. Estas son:

- Alteración Potásica - Biotítica
- Alteración Propilítica
- Alteración Clorítica
- Alteración Argílica
- Silicificación

A continuación se describirá cada una de ellas en detalle.

### Alteración Potásica – Biotítica

Este tipo de alteración representa el estado primario

de la formación del depósito, por ello es la zona que tuvo la mayor temperatura en los depósitos porfiríticos ricos en oro. Esta estrechamente relacionada al emplazamiento de intrusivos portadores de la mineralización de cobre y oro en los sistemas porfiríticos (GUSTAFSON & 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 & TITLEY 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 cual genera un particular oscurecimiento acaramelado de la roca original.

Este tipo de alteración suele presentarse tanto en Dacitas como Andesitas pertenecientes a la primera fase intrusiva, siendo mayor la intensidad en las Andesitas. (Ver Fig. 4). Esto como respuesta a una mayor proporción de minerales maficos (Biotitas primarias, hornblendas etc.) y magnetita primaria, que hace mas susceptible a la roca de reaccionar ante el fluido mineralizante.

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-Amaime (?), 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 (J.I.C.A.). Lo que nos indica la existencia de zonas mineralizadas, los cuales tras realizarse su respectiva caracterización durante este proyecto, se catalogan como zonas potásicas biotíticas fuertes (Ver Fig. 5).

### 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 porfirítico, también es muy común observarla en los intrusivos pertenecientes a fases intraminerales tardías.

Se desarrolla por la introducción de calcio y magnesio

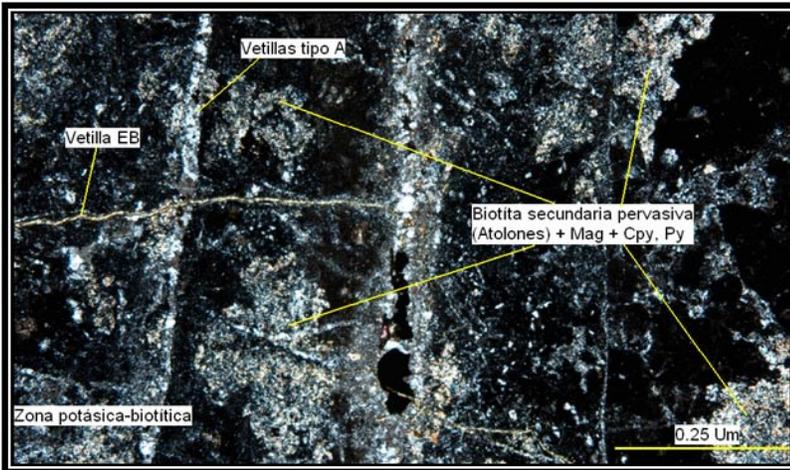


Fig. 5. Microfotografía de basalto (xenolito), en zona de contacto con andesitas pertenecientes a primera fase, Nótese la textura de la biotita formando atolones y el arreglo aleatorio de los finos cristales en la matriz.

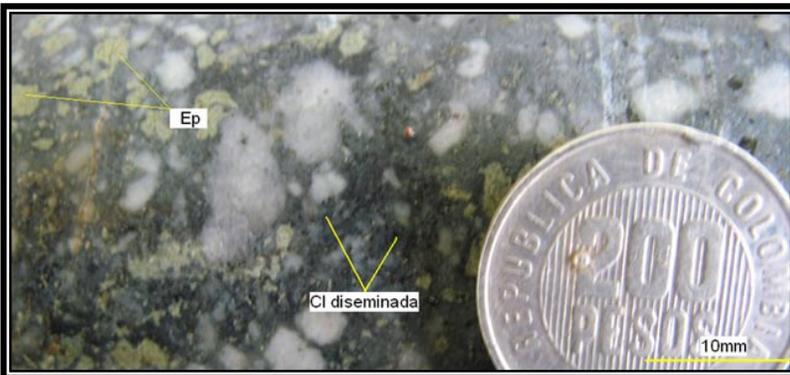


Fig. 6. Dacita con alteración Propilítica. Nótese Epidotas (Ep) Reemplazando parcialmente a Plagioclasas y Cloritas (Cl) Reemplazando Biotitas primarias y Hornblendas en la matriz.



Fig. 7. Contacto Dacita postmineral con basaltos del Complejo Barroso-Amaime (?). Ejemplo de alteración propilítica en basaltos, y en rocas porfíricas (Dacita).



Fig. 8. Alteración Clorítica.

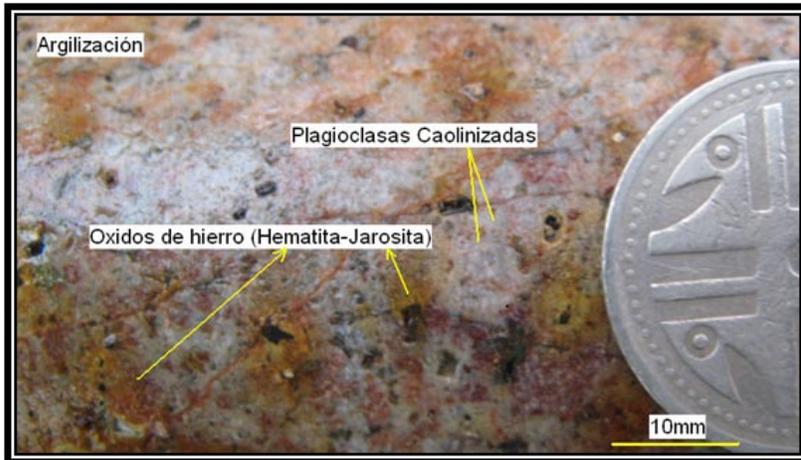


Fig. 9. Dacita con alteración Argilica (asociado a falla). Nótese la pérdida de la textura y descomposición de los minerales primarios a minerales típicos de alteración supérgena.



Fig. 10. Contacto Andesita (primera fase) con basalto. Nótese la zona de roca silicificada, antecedendo la zona de alteración potásica- biotítica (Roca oscura).



Fig. 11. Dacita con silicificación. Nótese la pérdida textural de la roca y la coloración blanquecina, producto de vetilleos tipo B con fuertes densidades.

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, (-) Qz	Paralela, Sinuosa	No presenta	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo A	(+)Qz (-) Mag, Sulf	Sinuosa	No presenta	Discontinua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo A	(+)Qz (-) Mag, Sulf	Paralela	Biotita Secundaria	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla cuarzo Bandeado	(+)Qz (-) Qz+ Mag	Paralela	No presenta	Continua	Temprana	Potásica (K)	
Vetilla tipo B	Qz, Sutura Py	Paralela	Biotita Secundaria	Continua	Intramineral	Propilítica, Fílica	Potásica (K)
Vetilla tipo D	(+)Py (-) Cpy, Mo	Paralela	Sericita	Continua	Intramineral	Fílica, Argílica	Potásica (K) Propilítica,

**Fig. 12. Tipos de vetillas, en depósitos tipo pórfido. Según SILLITOE (2000) y MUNTEAN & EINAUDI (2000). Adaptadas al stock de Santa Lucía.**

en la roca afectando a los minerales ferromagnesianos. Se define por la asociación de minerales como Epidota (mayor su presencia entre mas cerca se encuentre del centro intrusivo), Clorita, Magnetita y en ocasiones Calcita, reemplazando minerales primarios como Plagioclasas, Biotitas y Hornblendas (Fig. 6). Para el depósito se definió una roca con alteración Propilítica cuando presentaba como mínimo la asociación Epidota (Ep) + Clorita (Cl) + Calcita (Ca).

Por lo general se encuentra asociado 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-Amalme (?) (roca caja). Dándoles una coloración verde que cuando es catalogada como propilítica, efervesce al contacto con HCl (ver Fig. 7) y cuando no es catalogada como Cloritización y afecta en una intensidad moderada-fuerte a los cuerpos porfiríticos de fases postminerales y con una intensidad débil-moderada a cuerpos pertenecientes a fases tempranas a manera de sobreimposición.

#### 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 esta 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 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 la Clorita se presenta diseminada en la roca, también se puede observar como reemplazamiento 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 (Fig. 8).

#### Alteración Argílica

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. Tanto en la Cartografía de Alteración como en la caracterización de los núcleos de perforación, no se encontraron grandes zonas o recubrimientos de rocas alteradas o "litocaps" sobre el sistema porfirítico (SILLITOE 1995a). Por lo que se cree que dicho horizonte de alteración Argílica avanzada posiblemente ya no existe, debido a que han sido removidos 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, Sulfuros (Py-Cpy) alterando a Jarosita y Hematita. Lo que da a la roca una tonalidad blanquecina acompañada de parches de Hematita – Jarosita (ver Fig. 9). Los cuales en algunos sectores pueden llegar al 30%.

### 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 asociado 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, generando pérdida de textura y coloración blanquecina que puede variar de acuerdo al tamaño de la zona de enriquecimiento (ver Fig. 10).

En el segundo caso este tipo de alteración se observa en sectores donde existe gran densidad de vetillas tipo B, lo cual genera en apariencia una zona silicificada (Fig. 11), y 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, esta asociada a zonas Argílicas en dominios fallados.

### VETILLAS

Durante el proceso de emplazamiento de cada una de las fases intrusivas, los fluidos hidrotermales, formados como resultado de la ebullición retrograda de estos magmas en proceso de cristalización, y separación de fases volátiles (acuosas), son inyectados en la roca a manera de vetillas (BURNHAM & OHMOTO 1980).

Estas pueden variar en textura, composición y forma de acuerdo a 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 & HUNT 1975) y su importancia radica en que sus características como

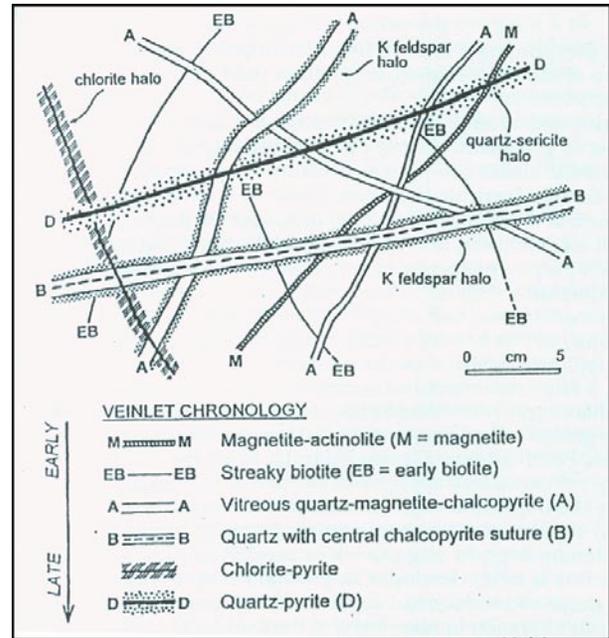


Fig. 13. Esquema de vetilleo típico para depósitos porfiríticos ricos en oro. Tomado de SILLITOE (2000).

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 acercara 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) multidireccional, (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 asociados a zonas con fuerte control estructural durante los periodos de emplazamiento.

Se clasificaron las vetillas observadas de acuerdo a la síntesis elaborada por SILLITOE (2000) para una secuencia de formación típica para pórfidos ricos en Oro-Cu (ver Fig. 12), 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 estas últimas definidas por MUNTEAN & EINAUDI (2000).

En casos donde las vetillas presentaban características composicionales y texturales propias, se denominaron nombrando sus constituyentes principales y se encontraron

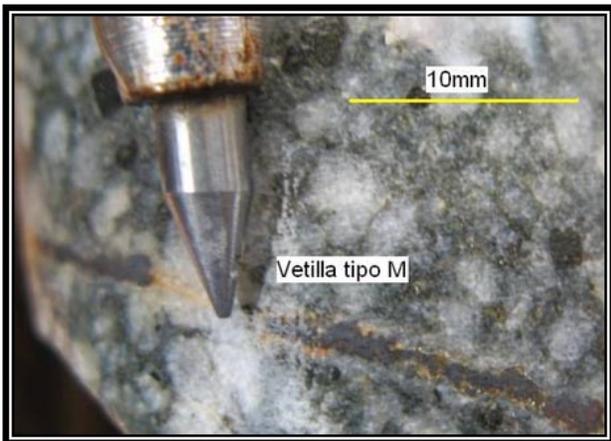


Fig. 14. Vetilla paralela tipo M.



Fig. 15. Vetilla tipo A. Nótese la forma sinuosa y la ausencia de halo de alteración (Reacción).

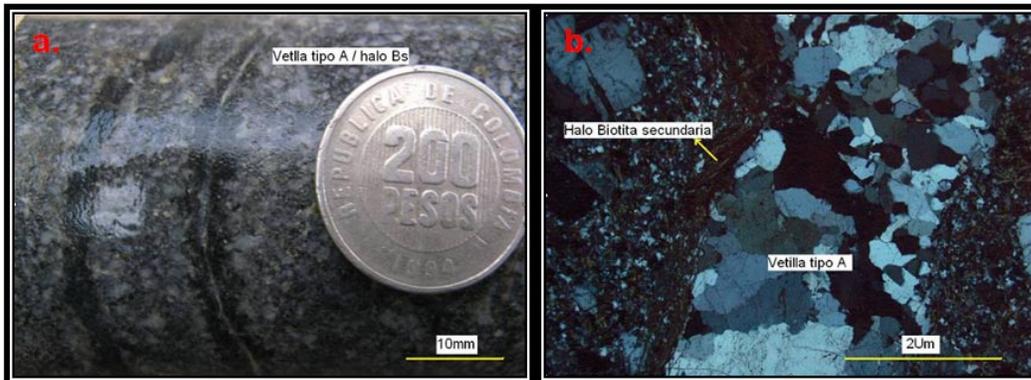


Fig. 16. a. Vetilla tipo A con halo de biotita secundaria. Nótese la forma paralela y el grosor del halo de reacción que genera la vetilla. b. Microfotografía de una vetilla tipo A con halo de biotita secundaria. Nótese el cuarzo tipo Mosaico y la biotita secundaria envolviendo la vetilla.

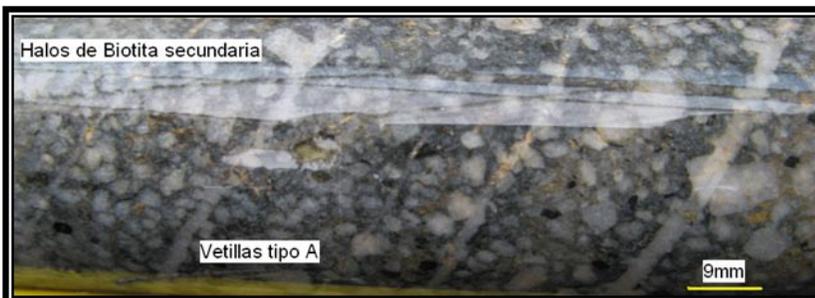


Fig. 17. Vetillas tipo A con halo de Biotita secundaria. Nótese la presencia de Biotita secundaria Pervasiva por sobre imposición de halos.

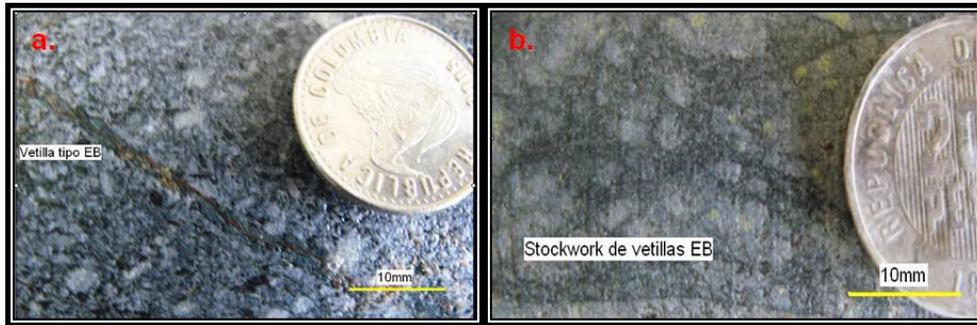


Fig. 18. a. Vetilla paralela tipo EB. Nótese el tinte verde-azulado, cuando la clorita reemplaza la biotita secundaria, (se alcanzan a distinguir vestigios de biotita secundaria). b. Stockwork de Vetillas EB. Nótese como se oscurece la roca.

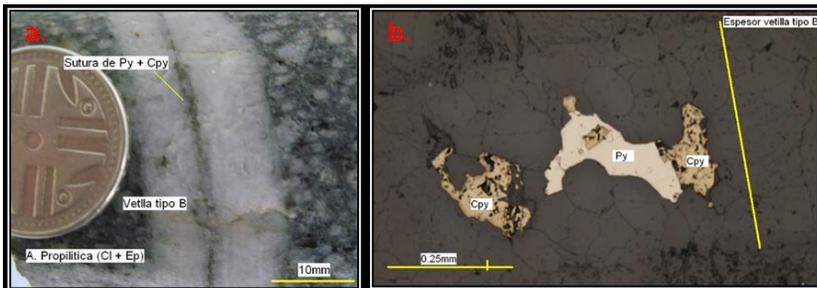


Fig. 19. a. Vetilla paralela tipo B. Nótese la sutura de sulfuros paralela a la vetilla y la roca con alteración propilitica (Cl+Ep) a su alrededor. b. Microfotografía de vetilla tipo B. Nótese la sutura de Py + Cpy. 10x. luz reflejada.

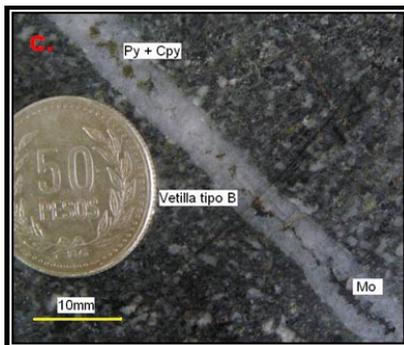


Fig. 20. Vetilla tipo B. Nótese la sutura discontinua, paralela y compuesta de Mo, Py y Cpy.

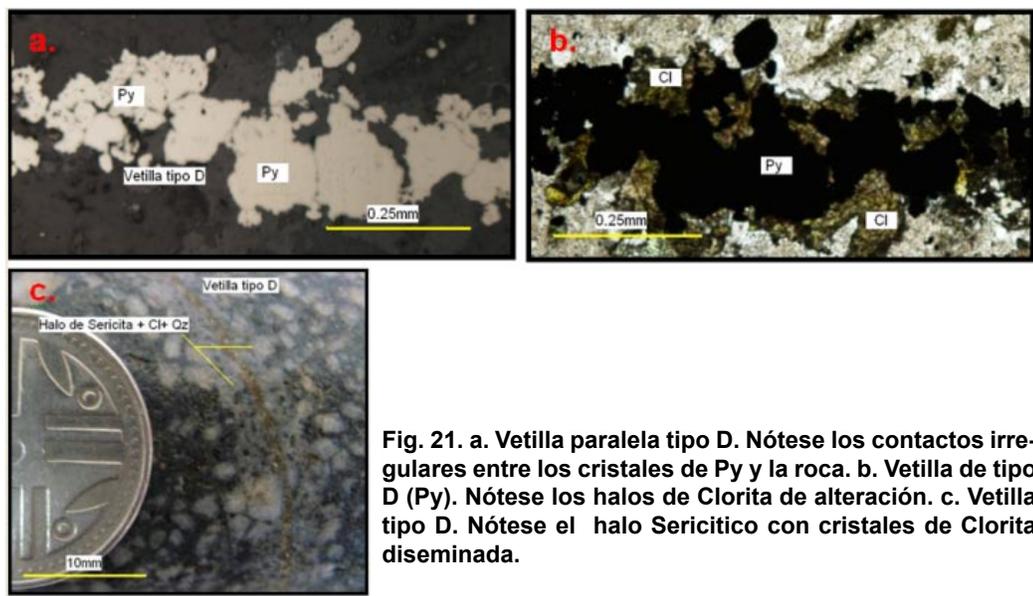


Fig. 21. a. Vetilla paralela tipo D. Nótese los contactos irregulares entre los cristales de Py y la roca. b. Vetilla de tipo D (Py). Nótese los halos de Clorita de alteración. c. Vetilla tipo D. Nótese el halo Sericítico con cristales de Clorita diseminada.

las respectivas relaciones de corte en las vetillas según la secuencia de orden de corte nombradas por SILLITOE (2000) (ver Fig. 13).

## **SISTEMA DE VETILLEO EN EL STOCK PORFIRÍFICO DE SANTA LUCÍA**

### **Vetillas tipo M**

Fue el primer sistema de vetillas que fue emplazada, 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 (ver Fig. 14). aunque se han encontrado también en fases posteriores acompañados de vetillas tipo B y D, lo cual evidencia que existieron dos inyecciones para dichas vetillas.

Son frecuentes en algunos pozos, En el sector de Santa Lucía la presencia de estas vetillas acompañadas de magnetita pervasiva (roca oscura) en los sectores donde entran en contacto los basaltos (xenolitos) con los cuerpos porfiríticos, siendo más fuerte su presencia cuando los pórfidos son de composición andesítica.

Las vetillas anteriormente descritas, en conjunto conforman lo que se conoce como zona de alteración potásica biotítica típica para pórfidos ricos en oro, en donde tenemos un aumento importante de magnetita, superando el 10% en volumen, indicativo de un estado de oxidación con fuertes razones  $f_{O_2}/f_{S_2}$  (SILLITOE & GAPPE 1984, PERELLO & CABELLO 1989, VILA & SILLITOE 1991), y siendo el contenido de feldespato potásico significativamente menor.

### **Vetillas Tipo A**

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

Suelen presentarse en 2 formas en el depósito, el primer grupo se caracterizan por ser sinuosas y discontinuas, sin halo de alteración (Fig. 15), 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 estas no totalmente cristalizados, siendo este comportamiento anterior al proceso de fracturamiento frágil (FOURNIER 1999) donde se emplazaran las vetillas que las procederán

En ocasiones contienen Pirita, Calcopirita y Magnetita diseminadas en la vetilla siendo el cuarzo siempre el principal componente.

El segundo grupo de 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 (ver Figs. 16-17), 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 se presenta un enriquecimiento en biotita secundaria en las rocas porfiríticas, siendo común observarla de manera pervasiva en la roca. Estas vetillas presentan como minerales accesorios contenido de Pirita, Calcopirita y Magnetita.

Se observa que estas vetillas siempre cortan vetillas tipo M y se encuentran cortadas por las vetillas tipo B y posteriores.

### **Vetillas Tipo EB**

Son muy comunes en zonas de alteración potásica biotítica y por relaciones de corte se pudo establecer que la inyección de dicho fluido en el depósito no fue anterior al vetilleo tipo A tal como lo describe (SILLITOE 2000), ocurrió después del vetilleo tipo A y al 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 & EINAUDI (1992), por lo que son fácilmente reconocibles al generar un color verde – azulado (Fig. 18).

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, Pirita y Calcopirita diseminadas. Siempre son cortadas por vetillas tipo D. Se presentan en el área de Santa Lucía, en los lugares con alteración potásica moderada- fuerte.

### **Vetillas tipo B**

Vetillas que evidencian los efectos retrógrados causados, por el descenso de la temperatura y la incorporación de fluidos meteóricos al sistema (GUSTAFSON & 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 Pirita, Calcopirita y Magnetita (ver Fig. 19) y por lo general la Molibdenita que existe en el depósito (ver Fig. 20) 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).

#### **Vetillas tipo D**

Se caracterizan por desarrollarse en el depósito a manera de finas vetillas (máx. 2 mm 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.

Una característica de estas vetillas es su sobreimposición a las fases de alteración precedentes (telescoping), es decir, en zonas de vetillas de mayor temperatura.

Por lo general aparecen sin halo sericítico, es mucho más común el halo clorítico.

Composicionalmente se caracterizan por la asociación Py + Cpy y en ocasiones Molibdenita (Fig. 21).

Los dos tipos de vetillas mencionadas anteriormente, son emplazadas en fases posteriores a la etapa tardimagmática o potásica en el depósito (Fase intraminal-postmineral), 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 mezcla de ellas con fluidos magmáticos en esta etapa tardía del sistema (CAMUS 2003).

#### **Otras vetillas**

Se observaron vetillas de composición Clorita – Epidota relacionadas a zonas con alteración propilítica (Cl + Ep) (ver Fig. 23a) y cortando todo el vetilleo a excepción de las vetillas de carbonato. Estas últimas son el vetilleo más reciente en el área (ver Fig. 22), se sobre imponen y cortan en todas las zonas de alteración hidrotermal reconocidas a las vetillas nombradas anteriormente. Su grosor varía desde pocos milímetros hasta centímetros y su composición es básicamente Calcita o Siderita donde rellena anteriores vetillas D (Oxidadas).

#### **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, sumado a el tipo de vetilleo asociado (Tipo A, M y EB) y en muy buenas densidades.

No se observo Oro libre en 36 secciones delgadas pulidas analizadas en detalle, esto debido a que el oro en los Depósitos porfíricos en parte se presenta como partículas muy finas (comúnmente tamaños menores a 20 micras, generalmente menores 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 porfírico, su presencia en el área de estudio se establece como resultado de análisis químicos realizados por (J.I.C.A.).

#### **Cronología Vetillas stock porfírico de Santa Lucía**

A partir de estas asociaciones observadas (ver Figs. 23-24-25) se puede concluir que secuencia paragenética de las vetillas reportadas en esta zona son las siguientes:

Vetillas tipo M siendo cortadas por vetillas tipo A, vetillas tipo B cortan estas mencionadas anteriormente convirtiéndose en una segunda fase de vetilleo, posterior a estas se encuentran las vetillas tipo D las cuales se encuentran cortadas por una fase posterior de vetillas de Calcita siendo esta fase la última en el área.

Como particularidad, se presenta en un sondeo, una serie de vetas con textura brechoide o con bandeamiento simétrico (ver Fig. 26); de composición silicea y carbonatada, siendo común cristales con textura blade, los cuales son genéticamente relacionadas a fluidos en ebullición. Se presentan drusas regularmente asociadas a cristalización en espacios abiertos, estas vetas ocurren en cercanías del contacto entre el cuerpo porfírico y la roca caja (basaltos), lo que indica una posible sobreimposición de un sistema epitermal en un sector del stock porfírico,

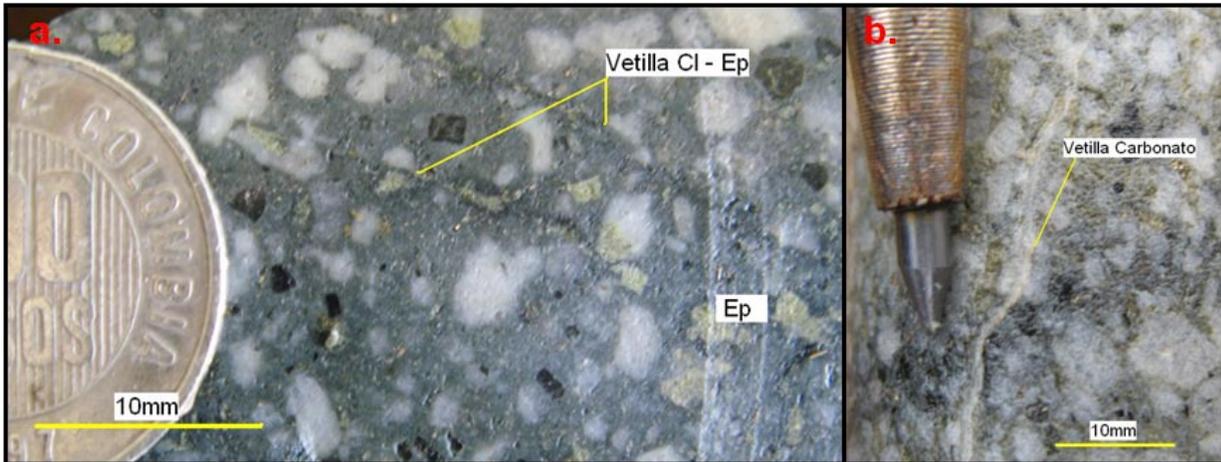


Fig. 22. Vetilleo de última generación. a. vetilla de Clorita (Cl) – Epidota (Ep). Nótese como la epidota aparece donde la vetilla corta las plagioclasas, rempazándolas. b. Vetilla de carbonato.

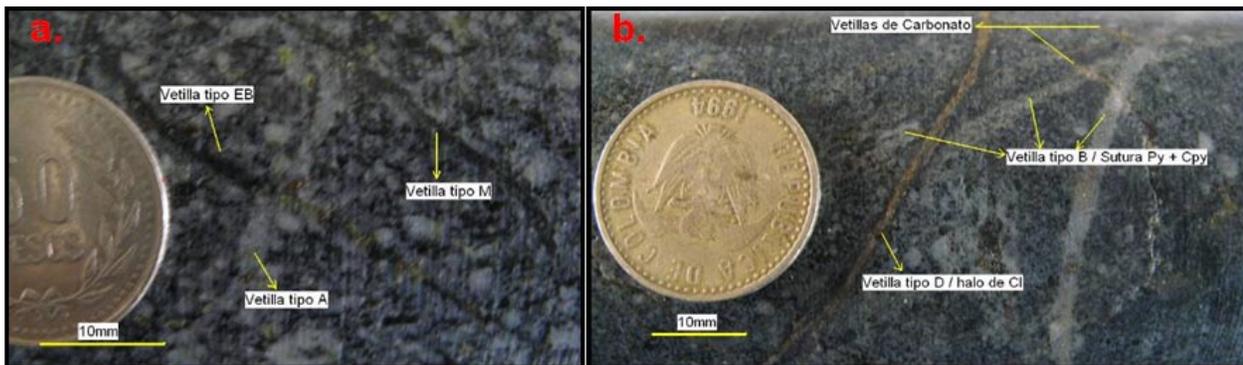


Fig. 23. a. Vetillas en zona potásica-biotítica. Nótese el orden de corte; vetilla tipo M cortada por vetilla tipo A (sin halo de Biotita Secundaria) y estas a su vez cortadas por vetilla tipo EB. b. cortes de vetillas típicos en zona propilitica (Cl + Ep). Nótese el orden de corte; Stockwork de vetillas tipo B cortadas por vetilla tipo D, y todas a su vez cortadas por vetillas de carbonato.

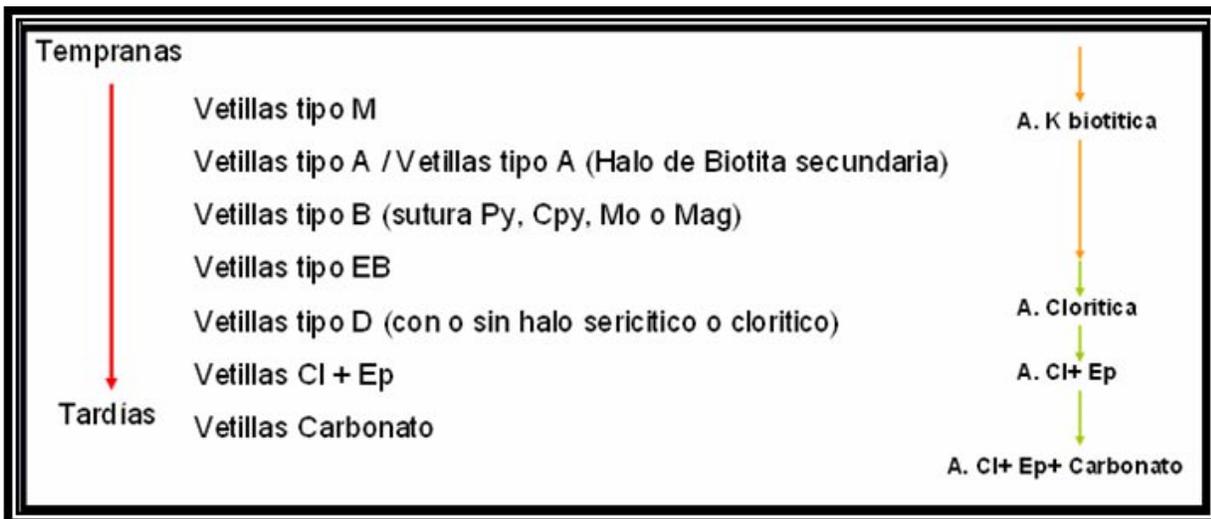


Fig. 24. Cronología vetilleo, Stock Porfírico de Santa Lucía (Cauca).

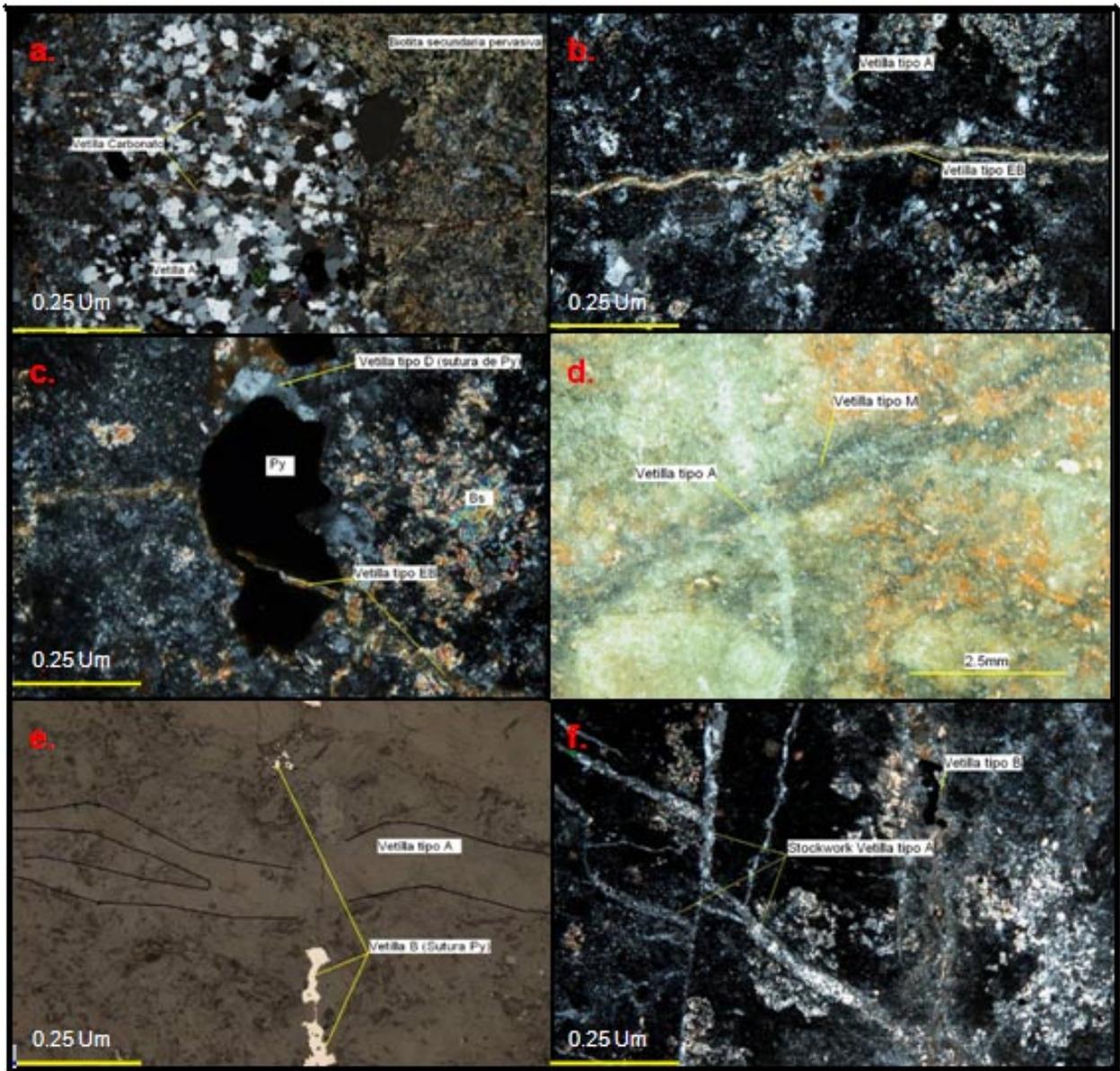


Fig. 25. Relaciones de corte de vetillas a. Vetilla tipo A cortada por Vetillas de carbonato. b. Vetilla tipo A cortada por vetilla tipo EB. c. Vetilla B cortada por vetilla EB. d. Vetilla tipo M cortada por vetilla tipo A. e. Vetilla tipo A cortada por vetilla B. f. Stockwork de vetillas tipo A cortada por vetilla tipo B.



Fig. 26. Tipos de vetas. a. Veta brechoide. b. Veta bandeada.

lo cual es correlacionable con datos obtenidos en superficie, durante el desarrollo del proyecto, hacia el sector comprendido entre las quebradas Zo Grande y Machoviejo, donde fue reportada la presencia de dichas vetas tanto en roca porfírica como en basaltos del Complejo Barroso-Amaimé (?).

**Clasificación Fases Intrusivas**

El modelo para sistemas tipo pórfido rico en oro, parte de la existencia de tres tipos de fases intrusivas, catalogadas de acuerdo a su orden de aparición en el desarrollo del sistema en fases intrusivas tempranas, fases intraminerales y fases post minerales o tardías (SILLITOE 2000).

Dichas fases no hacen referencia específicamente a un tipo de roca sino a asociaciones de grupos de intrusivos, vetillas, y alteraciones, los cuales conforman un complejo diferenciable y con cualidades propias en cuanto a tipo de mineralización y grado de enriquecimiento en metales tales como oro y cobre.

La diferenciación de fases, en casos donde las rocas no eran claramente diferenciables textural y composicionalmente, se hizo en base a criterios desarrollados por SILLITOE (2000) y en casos donde si eran diferenciables los cuerpos, se tomaron los criterios para definir ordenes de fases (Fig. 27).

**Fases Intrusivas Stocks Porfíricos de Santa Lucía**

Se lograron identificar 2 fases intrusivas muy bien diferenciables. Una fase temprana integrada por dos cuerpos intrusivos porfíricos tempranos. Uno de composición Dacítica, caracterizado en general por presentar Biotita secundaria moderada y Cloritización subordinada, las cuales son intruidas por Andesitas porfíricas (ver figura 28).

Presentan biotita secundaria pervasiva y magnetita mayor que en las Dacitas, esto debido a su composición primaria mas máfica, lo cual 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 (postmineral), compuesta por dos cuerpos porfíricos de composición dacita-andesita, los cuales intruyen cuerpos porfíricos pertenecientes a la fase temprana, son reconocibles por presentar alteración Propilítica y Cloritización como alteración dominante. Presentan en su mayoría contactos netos, con ausencia

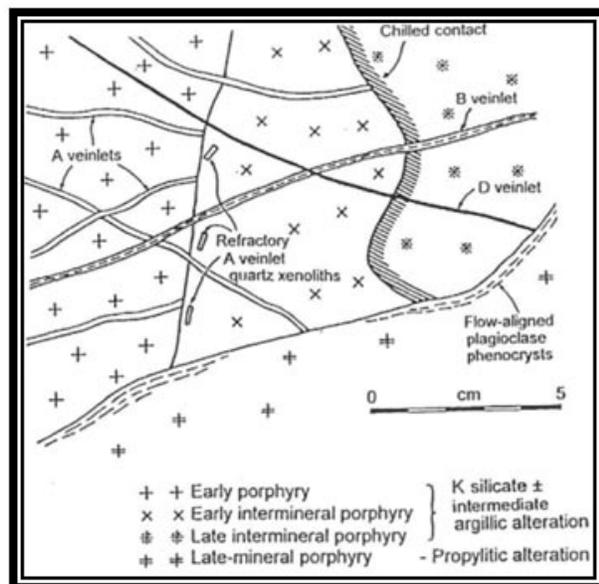
de zona de reacción rica en Biotita secundaria y Magnetita, contienen vetilleo Tipo B, D y Cl+ Ep característico, en densidades menores (ver Fig. 29).

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

**DESARROLLO DEL DEPÓSITO**

La historia de formación, emplazamiento, mineralización y tipos de alteración encontradas en el deposito 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. Es si como en el stock porfírico de Santa Lucía, es posible resumirla de la siguiente manera:

**Etapas Temprana:** Se desarrolla el emplazamiento de los intrusivos tempranos en la roca caja (Basaltos del complejo Barroso-Amaimé (?)) reconocidos por presentar alteración potásica-biotítica dominante y vetilleo típico



**Fig. 27. Criterios de diferenciación de Ordenes de Fases Intrusivas. (Tomado de SILLITOE 2000).**

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 tanto dacitas (A) como 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.

**Etapas postmineral:** Se desarrolla el emplazamiento de los intrusivos pertenecientes a la fase postmineral sobre rocas pertenecientes a la anterior fase, generándose tanto la hinchazón del stock, como intensificación y aumento del halo propilítico en el sistema.

Esta fase postmineral está constituida por dos cuerpos intrusivos de composición Dacita-Andesita, las cuales presentan alteración propilítica dominante y baja densidad de vetillas tipo B, D y Cl-Ep. Por lo general los contactos son netos (ausencia zona de reacción) con rocas pertenecientes a la etapa temprana.

## CONCLUSIONES

- El Stock porfirítico de Santa Lucía, está constituido por 4 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 postmineral compuestas igualmente por dos cuerpos porfiríticos de composición Dacita-Andesita.

- La mineralización mas importante encontrada en el Stock porfirítico 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 porfirítico 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 postmineral 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 al modelo planteado por SILLITOE (2000).

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

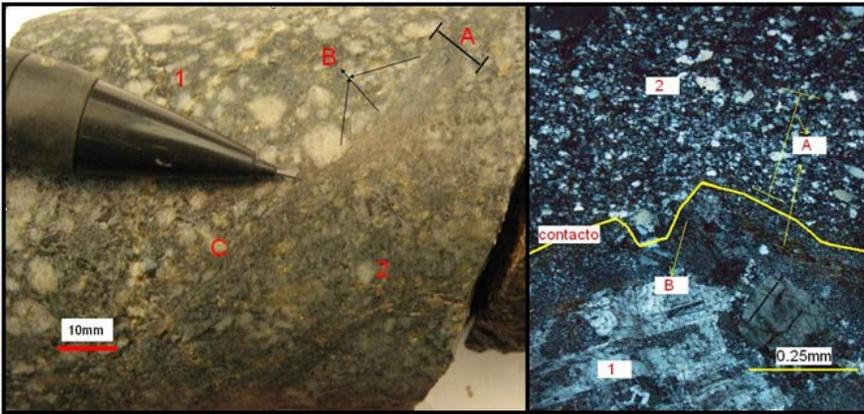
- La alteración Potásica-Biotítica esta representada en el depósito, como la asociación de Biotita secundaria + Magnetita + Cpy, Py; estos se encuentran diseminados en la matriz, a manera de aglomerados, o como halo en el vetilleo tipo A paralelo y en menor grado en vetilleo tipo B.

- Andesitas pertenecientes a la fase temprana presentan la mayor intensidad de alteración potásica y densidad de vetilleo tipo A, M y EB. Estas generan al entrar en contacto con xenolitos originarios de la roca caja una zona de alteración potásica con alto contenido de magnetita, la cual 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.

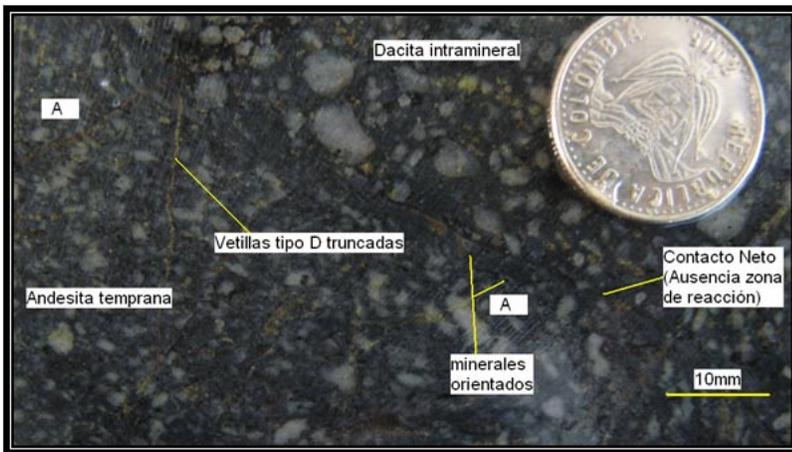
- Dadas las características composicionales, texturales, genéticas, y el tipo de mineralización presente con sulfuros y óxidos de manera diseminada y en vetillas, junto con los tenores presentes de Oro y Cobre en la zona de mena (J.I.C.A. 1987), el stock porfirítico de Santa Lucía puede clasificarse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

- Existe en la parte sur del área de estudio, vetas que evidencian una posible sobreimposición de un sistema epitermal de baja sulfuración 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



**Fig. 28. Limite de intrusivas 1 y 2 en primera fase. Criterios de separación entre intrusivos. Obsérvese en cada una de las fotografías las siguientes zonas: Zona de enfriamiento con minerales orientados (A) (en este ejemplo clara orientación de biotita secundaria), cristales de minerales truncados (B). Contacto entre cuerpos intrusivos porfíricos (C).**



**Fig. 29. Contacto entre Andesita pertenecientes a fase temprana y Dacita perteneciente a fase postmineral. Nótese la ausencia de zona de reacción, y truncamiento de vetilleo anterior al emplazamiento de intrusivo postmineral. Minerales orientados (A).**

la faja metalogénica del Mioceno hacia el suroccidente de Colombia, siendo estos depósitos parte de esta.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto de investigación “Socialización y Delimitación de Prospectos en las áreas Piedra Sentada y Dominical, Departamento de Cauca, Colombia” desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia en asocio con la empresa CARBOANDES S.A. Los autores agradecen tanto a la institución educativa como a la empresa privada y a todas aquellas personas que colaboraron en el desarrollo de los estudios, correcciones del manuscrito y permitieron esta publicación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVAREZ, A., (1979): Geología de la Cordillera Central y el occidente colombiano, y petroquímica de los intrusivos granitoides mesozoicos. I-1773, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia

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.II., 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 para optar el título de geólogo, Universidad de Caldas.

GUSTAFSON, L.B., & HUNT, J.P., (1975): The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology V. 70, Canada.

GUSTAFSON, L.B., & QUIROGA, J., (1995): Patterns of mineralization and alteration below the Porphyry copper orebody at El Salvador, Chile. Economic Geology V. 90, Canada.

- ETAYO-SERNA, 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. Popayán, Colombia.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA: "Estudio geológico integral para la búsqueda de recursos minerales en el sector Buritica (Antioquia) – Viterbo (Risaralda) Colombia. INGEOMINAS, 2004. 157 p.
- JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), (1987): Informe sobre Exploración de minerales del área de Almaguer, Departamento de Cauca, Colombia. Compilación Fases I, II y III.
- JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), (1985): Informe sobre Exploración de minerales del área de Almaguer, Departamento de Cauca, Colombia. Fase I.
- JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), (1986): Informe sobre Exploración de minerales del área de Almaguer, Departamento de Cauca, Colombia. Fase II.
- JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), (1987): Informe sobre Exploración de minerales del área de Almaguer, Departamento de Cauca, Colombia. Fase III.
- JARAMILLO, L. & ESCOBAR, R., (1980): Cinturones de pórfidos cupríferos en las cordilleras colombianas. I-1801. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- KERR, P. (1965): Mineralogía Óptica. Ed. Mc.Graw - Hill. Madrid, España.
- MARULANDA, N. (1976): Geología y geoquímica del área de Piedra Sentada, Municipio de El Bordo, Departamento del 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., & 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. & EINAUDI, M., (2000): Porphyry gold deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol 95, p 1445-1472. Canada.
- MUNTEAN, J. & EINAUDI, M., (2001): Porphyry-epithermal transition: Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 96. Canada.
- ORREGO, A. & ACEVEDO, A. (1993): Geología de la plancha 364-Timbio, INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- PARIS, G. & MARIN, P., (1979): Generalidades a cerca de la geología del Departamento del Cauca. INGEOMINAS. Popayán, Colombia.
- PERELLÓ, J. & CABELLO, J. (1989): Pórfidos cupríferos ricos en Oro; una revisión. *Revista geologica 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., & GAPPE, I.M.Jr., (1984) : Philippine porphyry copper deposits: Geologic settings and characteristics: Bangkok, Thailand, United Nations. ESCAP, CCOP Technical Publication 14, 89 p.
- 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. & PERELLÓ, 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. & JOHN, D., (2005): Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits. Society of Economist Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Canada.
- UNAL-CARBOANDES S.A. (2008): Socialización y Delimitación de Prospectos en las Áreas Piedra Sentada Y Dominical, Departamento del Cauca, Colombia. Informe interno, Universidad Nacional de Colombia & CARBOANDES S.A. Bogotá, Colombia.
- VILA, T. & SILLITOE, R., (1991): Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 86. Canada.

Manuscrito recibido Septiembre 2009; aceptado Diciembre 2009.