



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **ESTUDIO METALOGENÉTICO DE LAS MINERALIZACIONES AURÍFERAS DEL ÁREA DE GINEBRA Y ZONAS ALEDAÑAS, VALLE DEL CAUCA**

**Bibiana Paola Rodríguez Ramos**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias  
Bogotá, Colombia  
2012



# **Estudio metalogenético de las mineralizaciones auríferas del área de Ginebra y zonas aledañas, Valle del Cauca**

**Bibiana Paola Rodríguez Ramos**

Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencias-Geología**

Director:

MSc. Juan Carlos Molano Mendoza  
Universidad Nacional de Colombia

---

Codirector:

MSc. Francisco Velandia Patiño  
Universidad Industrial de Santander

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias  
Bogotá, Colombia  
2012



*A mis dos amores.....*

*Mi Mamá*

*y Cami*



## **Agradecimientos**

Gracias al proyecto suscrito entre la Universidad Nacional de Colombia y COLCIENCIAS, “Anteproyecto de investigación metalográfica, microtermométrica, geoquímica e isotópica para algunos yacimientos minerales en Colombia”, se culminó este trabajo de investigación; que en sus inicios fue apoyado por el proyecto “Asesoría y ejecución de ensayos de laboratorio para la elaboración del Mapa Metalogénico de Colombia” suscrito entre la Universidad Nacional de Colombia e INGEOMINAS. Gracias a todos sus integrantes.

Al profesor Juan Carlos Molano (Universidad Nacional de Colombia), por su apoyo incondicional y desinteresado durante el inicio de mi vida profesional y académica, persona quién con sus conocimientos y dedicación me incentivo el gusto por la Geología Económica.

A Francisco Velandia (Universidad Industrial de Santander), por su ser un guía constante y una persona dispuesta a colaborar y a compartir sus conocimientos. Gracias por su amistad.

Al profesor Reinaldo Brito (Universidade de Brasilia), por haberme enseñado Geología y sobre todo cosas importantes para mi vida.

Al profesor Colombo Tassinari (Universidade de São Paulo), por efectuar los análisis de Pb incluidos en esta investigación.

A GEMAS S.A.S por su apoyo en la elaboración de algunos análisis isotópicos de este proyecto.

Al Centro de Desarrollo Tecnológico de la Esmeralda Colombiana (CDTEC), por permitir los análisis de espectroscopía Raman.

A Sonia Rojas, por los análisis de difracción de rayos X y espectroscopía Raman y al Servicio Geológico de los Estados Unidos por permitir su realización.

A Paulo Duarte, por algunas muestras importantes suministradas para esta investigación.

A Eliana Mejía, por sus comentarios y recomendaciones acerca de la Geología Estructural.

A Cindy, Jenny y Rafa, y todos los que de una u otra manera me apoyaron en la ejecución de este proyecto. Gracias!!

Y por último, pero no menos importante a mi mamá y a mi esposo por su amor incondicional, comprensión, dedicación, apoyo y enseñarme a salir a delante a pesar de las dificultades. Camilo gracias por tus enseñanzas y compartir tus conocimientos conmigo.



## Resumen

Las mineralizaciones auríferas de Ginebra se ubican en el flanco occidental de la Cordillera Central de los Andes Colombianos. El basamento de esta región está constituido por rocas oceánicas del Mesozoico Superior, acrecionadas al borde continental de la Cordillera Central entre el Mesozoico y Cenozoico.

Las unidades hospedantes corresponden a gabros y gabros hornbléndicos de la Formación Amaime, gabros del Macizo Ofiolítico de Ginebra, tonalitas, granodioritas y dioritas del Batolito de Buga y una serie de cuerpos hipoabisales de composición dacítica reportados por primera vez en esta investigación.

En la zona se presentan varios estilos de mineralización, vetiforme y diseminado. El vetiforme corresponde a vetas, venas y vetillas discontinuas, anastomosadas y sinuosas, compuestas principalmente por cuarzo lechoso y baja proporción de minerales de mena (oro, pirita, calcopirita, galena). La mineralización diseminada está relacionada a procesos magmáticos primarios y a procesos hidrotermales, para el primero la mineralogía consiste de pirita, calcopirita, pirrotina e ilmenita-magnetita, para el segundo pirita, calcopirita, magnetita, molibdenita y wolframita.

Estudios microtermométricos y de espectroscopía Raman de inclusiones fluidas efectuados en las mineralizaciones vetiformes indican fluidos acuo-carbónicos ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \pm \text{N}_2$ ), con salinidad entre 0.75 y 9.3 Wt% NaCl equiv. y temperatura y presión mínima de entrapamiento para el fluido hidrotermal entre 252.8 y 268.4 °C y 307 – 423 MPa. respectivamente. Los fluidos fueron reducidos y con un pH casi neutro, indicando que el mecanismo de transporte más probable para el oro, fue en forma de complejo bisulfurado ( $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ ) y su depósito pudo deberse a un proceso de mezcla de fluidos y/o

sulfidización de las rocas caja. Por otra parte, la composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta\text{D}$  para el fluido hidrotermal, es concordante con fluidos de tipo metamórfico.

La mineralogía, composición de los fluidos hidrotermales y firma isotópica de las mineralizaciones vetiformes de Ginebra, sugieren que estas corresponden a un depósito tipo oro orogénico, sin embargo, no es claro el papel de los cuerpos porfiríticos encontrados, por lo que no se descarta una superposición de eventos en la zona.

**Palabras clave:** Mineralógico, microtermométrico, espectroscópico, isotópico, vetiforme, disseminado, hidrotermal, Ginebra.

## Abstract

Ginebra gold mineralization is located on the western flank of the Colombian Andes Central Cordillera. At this region, the basement consists of Upper Mesozoic oceanic rocks, accreted to the continental edge of the Central Cordillera between the Mesozoic and Cenozoic times.

Mineralization is hosted in Amaime's Formation gabbros and hornblende gabbros, gabbros of Ginebra Ophiolitic Massif and tonalities, granodiorites and diorites of Buga Batholith and dacitic porphyries reported by the first time herein.

In the area, two different mineralization styles were recognized, vein and disseminated. The veined one corresponds to discontinuous, anastomosing and sinuous seams, veins and veinlets, composed mainly of milky quartz and low proportion of ore minerals (gold, pyrite, chalcopyrite, galena). Disseminated mineralization is related to primary magmatic and hydrothermal processes. The first style mineralogy consists of pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite and ilmenite-magnetite, and for the second one pyrite, chalcopyrite, magnetite, molybdenite and wolframite.

Microthermometric and Raman spectroscopic fluid inclusions analysis made for the vein mineralization style indicate carbonic aqueous fluids ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \pm \text{N}_2$ ), salinity between 0.7 and 9.3 Wt% NaCl equiv, and temperature and pressure between 252.8 - 268.4 °C and 307 - 423 MPa. respectively. The fluids were reduced and near neutral pH, indicating that the most likely mechanism for gold transport was as bisulfide complexes ( $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ ) and its destabilization could be related with wall rocks sulfidation and/or fluid mixing

processes. Moreover, the isotopic composition of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  for hydrothermal fluid is consistent with metamorphic fluids.

Mineralogy, hydrothermal fluids composition and isotopic signature of the Ginebra vein mineralization style, suggest that it corresponds to an orogenic gold deposit type, however, it remains unclear the role of porphyritic bodies founded, not discarding an events superimposition at the area.

**Key words:** Mineralogical, microthermometric, spectroscopic, isotopic, vetiform, disseminated, hydrothermal, Ginebra.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XXV</b>
<b>Lista de anexos</b> .....	<b>XXVI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Objetivos.....	1
1.1.1    Objetivo General .....	1
1.1.2    Objetivos específicos .....	2
1.2    Localización.....	2
1.3    Antecedentes.....	3
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>7</b>
2.1    Recopilación y análisis de información .....	7
2.2    Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales .....	7
2.3    Trabajo de Campo .....	8
2.4    Trabajo de laboratorio.....	8
2.5    Manejo, análisis de la información obtenida y elaboración de informe final.....	9
<b>3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	<b>10</b>
3.1    Introducción .....	10
3.2    Unidades Geológicas.....	11
3.2.1    Formación Amaime ( <i>Ka</i> ) .....	11
3.2.2    Macizo Ofiolítico de Ginebra ( <i>Koga - Kogu</i> ) .....	11
3.2.3    Batolito de Buga ( <i>Kcd-t</i> ) .....	13
3.2.4    Formación La Paila ( <i>Tmp</i> ).....	14
3.2.5    Depósitos Recientes ( <i>Qca - Qd</i> ).....	15
3.3    Geología Estructural .....	15
3.3.1    Estructuras longitudinales NNE .....	15
3.3.2    Estructuras Transversales NW .....	18
3.3.3    Estructuras Transversales NE .....	18
<b>4. GEOLOGÍA LOCAL</b> .....	<b>19</b>
4.1    Introducción .....	19

4.2	Metodología .....	19
4.3	Observaciones de campo y petrografía .....	21
4.3.1	4 Formación Amaime ( <i>Ka</i> ) .....	22
4.3.2	Macizo Ofiolítico de Ginebra ( <i>Koga - Kogu</i> ) .....	25
4.3.3	Batolito de Buga ( <i>Kcd-t</i> ) .....	29
4.3.4	Pórfidos dacíticos .....	33
4.4	Geología Estructural .....	38
4.4.1	Corredores estructurales .....	42
4.4.2	Análisis estructural .....	48
<b>5.</b>	<b>MINERALIZACIÓN Y ALTERACIONES HIDROTERMALES .....</b>	<b>51</b>
5.1	Introducción .....	51
5.2	Metodología .....	52
5.3	Mineralizaciones .....	52
5.3.1	Sectores mineralizados .....	53
5.3.2	Secuencia paragenética .....	68
5.4	Tipos de Alteración hidrotermal .....	73
5.4.1	Alteración propilítica-cloritización-epidotización .....	76
5.4.2	Alteración potásica de biotita secundaria .....	78
5.4.3	Sericitización .....	79
5.4.4	Silicificación .....	79
5.5	Análisis de Difracción de Rayos X .....	80
<b>6.</b>	<b>INCLUSIONES FLUIDAS .....</b>	<b>86</b>
6.1	Introducción .....	86
6.2	Metodología .....	86
6.3	Petrografía de inclusiones fluidas .....	88
6.3.1	Inclusiones Tipo I (FIA I) .....	88
6.3.2	Inclusiones Tipo II (FIA II) .....	90
6.3.3	Inclusiones Tipo III (FIA III) .....	90
6.3.4	Inclusiones Tipo IV (FIA IV) .....	91
6.4	Microtermometría de inclusiones fluidas .....	92
6.4.1	Inclusiones Tipo I (FIA I) .....	92
6.4.2	Inclusiones Tipo II (FIA II) .....	98
6.4.3	Inclusiones Tipo III (FIA III) .....	100
6.5	Espectroscopía Raman de inclusiones fluidas .....	100
6.6	Salinidad, densidad, volumen molar y presión de entrapamiento de inclusiones fluidas .....	102
6.6.1	Salinidad, densidad, volumen molar .....	102
6.6.2	Presión de entrapamiento .....	107
6.7	Condiciones fisicoquímicas de los fluidos mineralizantes y su relación con el mecanismo de transporte y depósito del oro .....	107
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS ISOTÓPICOS .....</b>	<b>112</b>
7.1	Introducción .....	112
7.2	Metodología .....	112
7.3	Isótopos de azufre .....	114
7.4	Isótopos de oxígeno y deuterio .....	116
7.5	Isótopos de plomo .....	118
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>121</b>

---

<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>126</b>
<b>10. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>

## Lista de figuras

- Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. El recuadro amarillo representa la zona de estudio.....3
- Figura 2. Mapa Geológico de la zona de Ginebra. El recuadro amarillo enmarca la zona de estudio. Modificado de Nivia (2001). ..... 17
- Figura 3. A. Xenolitos de basaltos de la Formación Amaime envueltos por tonalitas del Batolito de Buga. Sector La Cecilia. B. Contacto intrusivo entre el Batolito de Buga y la Formación Amaime, obsérvese amígdalas rellenas por zeolitas. Sector La Cecilia. C. Afloramiento de la Formación Amaime. Sobre Río Flautas. D. Basaltos fuertemente meteorizados de la Formación Amaime en una zona de inestabilidad producida por fallas geológicas en la zona. Sector Portugal. ....23
- Figura 4. A y B. Cristales de clinopiroxeno (Cpx) (augita), cuarzo (Qz) secundario, hornblenda (Hb) y clorita (Chl), PPL y PPX. Sector Cominal. C. Cristales de plagioclasa (Pg) sericitizados, cuarzo (Qz) y clinopiroxeno (Cpx) (augita). PPX. Sector Cominal. D. Cristales de clinopiroxeno (Cpx) (augita), plagioclasa (Pg) sericitizada y clorita (Chl). PPL. Sector Cominal. E. Cristales de hornblenda (Hb), plagioclasa (Pg) y clorita (Chl). PPX. Sector La Cecilia. F. Cristales de plagioclasa (Pg), clorita (Chl) y epidota (Ep). PPL. Sector La Cecilia .....24
- Figura 5. Diagrama de clasificación modal para la Formación Amaime. Modificado de Le Bas & Streckeisen (1991). .....25



Figura 6. A. Afloramiento del MOG sobre la vía La Floresta – Valledupar. B. Afloramiento del MOG sobre la vía Cominal – El Jardín. C y D. Detalle textura cumúlítica presente en las rocas del MOG, sobre la vía Cominal – El Jardín..... 27

Figura 7. A y B. Cristales de hornblenda (Hb) y plagioclasa (Pg). Obsérvese boudings de cuarzo. PPL y PPX respectivamente. Sector Valledupar. C y D. Cristales de hornblenda (Hb) y plagioclasa (Pg). Obsérvese textura poikilítica de hornblenda en plagioclasa. PPX. Sector Valledupar. E. Textura nematoblástica. PPX. Sector Santa Rosa. F. Cristales de hornblenda (Hb) y plagioclasa (Pg). Obsérvese textura nematoblástica. PPX. Sector Santa Rosa. .... 28

Figura 8. Mapa geológico y localización de muestras a escala 1:70.000 levantada en el área de estudio en el que observa la prolongación del Batolito de Buga hacia el sur lo que difiere de la cartografía propuesta por McCourt *et al.* (1985). Cartografía geológica modificada de Nivia (2001)..... 30

Figura 9. A. Contacto intrusivo entre el Batolito de Buga y el Macizo Ofiolítico de Ginebra (MOG). Vía Valledupar - Flautas. B. Aspecto de roca fuertemente meteorizada perteneciente al Batolito de Buga con xenolitos del Macizo Ofiolítico de Ginebra (MOG). Vía Valledupar - Flautas. C. Contacto fallado entre rocas del Batolito de Buga y el Macizo Ofiolítico de Ginebra. Sobre Río Flautas. D. Xenolitos de basaltos de la Formación Amaime envueltos por rocas del Batolito de Buga. Sobre Río Flautas. .... 31

Figura 10. A. Textura mirmequítica - cristales de plagioclasa (Pg) con intercrecimientos de cuarzo (Qz). PPX. Sector Cominal. B. Cristales de plagioclasa (Pg) que se están sericitizando y epidotizando. PPX. Sector Cominal. C. Textura gráfica- cristales de feldespato potásico (FK) con intercrecimientos de cuarzo (Qz). PPX. Sector Cominal. D. Cristales de cuarzo (Qz). PPX. Sector Cominal. E. Cristales de hornblenda (Hb), plagioclasa (Pg) y biotita (Bt) alterándose a clorita (Chl). PPL. Sector La Cecilia. F. Cristales de plagioclasa (Pg) que se están sericitizando y epidotizando y cristales de hornblenda (Hb). PPX. Sector Cueva Loca. .... 32

---

Figura 11. Diagrama de clasificación modal para el Macizo Ofiolítico de Ginebra (círculos amarillos) y el Batolito de Buga (círculos rojos). Modificado de Le Bas & Streckeisen (1991). .....	34
Figura 12. A y B. Contacto intrusivo (línea roja) entre pórfido dacítico y el Macizo Ofiolítico de Ginebra. Sector La Esperanza. C. Pórfidos dacíticos deformados. La roca se encuentra deformada. Río Flautas. ....	35
Figura 13. A. Fenocristal de plagioclasa (Pg) de textura poikilítica de hornblenda y matriz microcristalina. PPX. Sector La Esperanza. B. Cristales de plagioclasa (Pg) maclados y zonados. PPX. Sector La Esperanza. C. Fenocristales de cuarzo (Qz) envueltos en matriz microcristalina. PPX. Sector La Esperanza. D y E. Fenocristales de plagioclasa (Pg) sericitizados, cristales de cuarzo (Qz) y clorita (Chl). PPX. Sector Cominal. F. Fenocristal de plagioclasa sericitizándose y epidotizándose. Obsérvese vetilla de calcita. PPX. Sector El Castillo.....	37
Figura 14. Diagrama de clasificación modal para los cuerpos porfiríticos. Modificado de Le Bas & Streckeisen (1991).....	38
Figura 15. Diagramas rosa para venas y diaclasas de la zona de estudio. ....	39
Figura 16. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente, donde se incluyen todos los datos. ....	40
Figura 17. Corredor Cueva Loca –El Retiro. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente. ....	42
Figura 18. Corredor relacionado a la falla Puente Piedra. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente.....	45
Figura 19. Corredor Valledupar. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente.....	46

- 
- Figura 20. Corredor relacionado a la falla Juntas. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente..... 46
- Figura 21. Corredor río Flautas. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente..... 47
- Figura 22. Corredor El Castillo. Diagramas de diedros rectos y sombra de diedro rectos respectivamente..... 48
- Figura 23. Modelo estructural con dirección de esfuerzos y vetas por corredores analizados. Igualmente se muestran los diagramas de sombras de diedros rectos y diagramas rosa. Los cuadrantes de compresión se encuentran en color rojo. Cartografía geológica modificada de Nivia (2001). ..... 49
- Figura 24. A. Vena sinuosa de cuarzo lechoso de aproximadamente 30 cm de espesor, la roca caja corresponde al Macizo Ofiolítico de Ginebra. B y C. Venas de cuarzo lechoso de aproximadamente 10 cm de espesor, obsérvese desplazamiento de venas. La roca caja corresponde al Macizo Ofiolítico de Ginebra. D y E. Venas de cuarzo lechoso sinuosas y discontinuas. La roca caja corresponde al Batolito de Buga. .... 54
- Figura 25. A. Secuencia paragenética para las mineralizaciones del sector El Retiro–Cueva Loca–La Cecilia. A. Estilo diseminado y B. Estilo vetiforme. Estadio hipogénico. I. Corresponde a procesos magmáticos primarios. II. Corresponde al episodio primer episodio de mineralización y alteración hidrotermal asociada. III. Corresponde al segundo evento de mineralización y alteración hidrotermal asociada. Estadio supergénico. IV. Corresponde a procesos de oxidación secundaria. La línea roja corresponde a un evento de fracturamiento. \*Se tuvieron en cuenta adicionalmente estudios anteriores (Molano *et al.* 2000 y Cervera & Garcés, 2005). ..... 70
- Figura 26. A. Secuencia paragenética para las mineralizaciones del sector La Esperanza-La Selva. A. Estilo vetiforme y B. Estilo diseminado. Estadio hipogénico. I. Corresponde a procesos magmáticos primarios. II. Corresponde al episodio primer episodio de mineralización. III. Corresponde al segundo evento de mineralización y alteración hidrotermal asociada. IV. Corresponde a mineralización y alteración hidrotermal asociada

a los cuerpos porfiríticos. Estadio supergénico. V. Corresponde a procesos de oxidación secundaria. La línea roja corresponde a un evento de fracturamiento. \*Se tuvieron en cuenta adicionalmente estudios anteriores. (Molano *et al.* 2000) ..... 71

Figura 27. A. Secuencia paragenética para El Castillo. Estadio hipogénico. I. Corresponde a procesos magmáticos primarios. II. Mineralización y alteración hidrotermal asociada a los cuerpos porfiríticos. III. Episodio de fracturamiento y posterior vetilleo. Estadio supergénico. IV. Procesos de oxidación secundaria. La línea roja corresponde a un evento de fracturamiento. \*Corresponde a observaciones de campo..... 72

Figura 28. Minerales de mena diseminados en la roca caja (Estadio I). A. Pirita (Py) con inclusiones de calcopirita (Ccp). B. Cristales de pirrotina (Po) y calcopirita (Ccp). C. Cristales de ilmenita (Il) – magnetita (Mt). D. Cristales de magnetita (Mt). ..... 73

Figura 29. Minerales de mena del segundo y tercer estadio. A. Obsérvese cuarzo (Qz) con textura masiva y en mosaico, este ultimo asociado a pirita (Py) euhedral y biotita secundaria (Bt Sec.). B. Calcita (Cal) euhedral asociada a cuarzo (Qz) masivo. Obsérvese cuarzo (Qz) en mosaico asociado a calcita producto de alteración hidrotermal. C. Galena (Gn) relleno de fracturas de cristales de pirita (Py) y cuarzo (Qz) masivo. D. Galena (Gn) y calcopirita (Ccp) relleno de fracturas de cristales de pirita (Py). E. Oro (Au) incluido en cristales de cuarzo (Qz). F. Cristal de oro (Au) incluido en galena (Gn). Sector La Selva..... 74

Figura 30. Estadios asociados a los cuerpos porfiríticos (Estadio II para El Castillo, Estadio IV para La Esperanza-La Selva). A. Pirita (Py) hematitizada diseminada en los pórfidos. B. Vetilla de molibdenita (Mo). C. Cristales de wolframita (Wo). Obsérvese calcopirita (Ccp) relleno de fracturas de los cristales de pirita (Py). D. Pirita (Py) fractura asociada a calcopirita y wolframita..... 75

Figura 31. Estadio supergénico. A. Cristales de galena (Gn) y calcopirita (Ccp), este último con alteración supergénica a covelita (Cv). B. Pirita (Py) hematitizada parcialmente. .... 75

Figura 32. Mapa geológico del área de estudio mostrando la distribución de alteraciones hidrotermales a partir de petrografía y observaciones de campo. Cartografía geológica modificada de Nivia (2001). ..... 77

Figura 33. A. Cristales de calcita (Cal), epidota (Ep) y clorita (Chl). Cristales de sericita (Ser) a partir de plagioclasa (Pg). PPX. Sector Cominal. B. Cristales de calcita (Cal), epidota (Ep), clorita (Chl) y cuarzo secundario (Qz). PPX. Sector Cominal. C. Vetilla de epidota (Ep). Cristales de hornblenda (Hb). PPX. Sector Cominal. D. Clorita (Chl) reemplazando cristales de biotita (Bt). Cristales de hornblenda (Hb) y cuarzo (Qz). PPX. Sector La Cecilia. E. Cristales de epidota (Ep) y sericita (Ser) a partir de plagioclasa (Pg). PPX. Sector Cominal. F. Cristales de epidota (Ep) y clorita (Chl) a partir de cristal de clinopiroxeno. PPX. Sector Cominal. .... 81

Figura 34. A. Cristales de cuarzo (Qz) y vetillas de biotita secundaria (Bt Sec.). PPX. Sector Cominal. B. Cristales de biotita secundaria (Bt Sec.), clorita (Chl) y apatito (Ap). PPL. Sector Cominal. C. Cristales de biotita secundaria (Bt Sec.) diseminados asociados a clorita (Chl). PPX. Sector La Esperanza. D. Vetilla de Clorita (Chl) y biotita secundaria (Bt Sec.). Plagioclasa (Pg) sericitizada y cristales de epidota (Ep). PPL. Sector Cominal. E y F. Vetilla de cuarzo (Qz) asociada con biotita secundaria (Bt Sec). PPL y PPX. Sector La Selva – Cascabel. .... 82

Figura 35. A. Alteración sericítica. Asociación sericita (Ser) - cuarzo (Qz). PPX. Sector El Retiro. B. Alteración pervasiva y extrema de sericita (Ser) - cuarzo (Qz). Cristales de pirita (Py) euhedral. PPX. Sector El Retiro. C. Cristales de sericita (Ser) a partir de plagioclasa (Pg). Cristales de epidota (Ep). PPX. Sector La Esperanza. D. Cristales de sericita (Ser) a partir de plagioclasa (Pg). Cristales de epidota (Ep) a partir de anfíbol. PPX. Sector Cominal. E y F. Vetilla de cuarzo (Qz) asociada con sericita (Ser). PPL y PPX. Sector La Selva – Cascabel. .... 83

Figura 36. A. Silicificación (Qz). Obsérvese vetillas de epidota (Ep). PPX. Sector La Esperanza. B. Silicificación (Qz). Cristales de plagioclasa (Pg). PPX. Sector La Esperanza. C. Silicificación (Qz). Obsérvese alteración propilítica calcita (Cal)-epidota (Ep)-clorita (Chl) y sericitización (Ser). Cristal de apatito (Ap). PPX. Sector El Castillo. D. Silicificación (Qz). Cristal de clorita (Chl) a partir de anfíbol (Am). PPX. Sector La

Esperanza. E. Silicificación (Qz). Cristales de moscovita (Ms) y biotita secundaria (Bt Sec.).PPX. Sector Cominal. F. Silicificación (Qz). Obsérvese carbonatación (Cal). Cristales de clorita (Chl). PPX. Sector El Retiro. ....84

Figura 37. Difractogramas para identificación de minerales en A. Polvo desorientado y B. Lámina orientada. Sector El Retiro. Los minerales arcillosos corresponden a illita (Ill-Ms) (9.971 Å) y cuarzo (Qz) (3.3214 Å). ....85

Figura 38. A y B. Inclusiones primarias tipo I, con tres fases a temperatura ambiente. Sector La Selva. C. Inclusiones primarias tipo I, con dos y tres fases a temperatura ambiente. Sector La Selva. D. Inclusiones tipo I (grande) y tipo II (pequeña) coexistiendo. Sector La Selva. E. Inclusión primaria tipo I, con tres fases a temperatura ambiente. Sector La Selva. F. Inclusiones primarias tipo I, con tres fases a temperatura ambiente. Sector La Cecilia. ....89

Figura 39. A. Inclusiones pseudosecundarias tipo II, bifásicas ricas en líquido alineadas. Sector La Selva. B. Inclusión pseudosecundaria tipo II, bifásica rica en líquido. Sector El Castillo. C. Inclusión pseudosecundaria tipo II, bifásica rica en líquido. Sector La Cecilia. D. Inclusión pseudosecundaria tipo II, bifásica rica en líquido. Sector La Selva. ....91

Figura 40. A y B. Inclusiones secundarias tipo III y IV alineadas, bifásicas y monofásicas respectivamente. Sectores La Esperanza y El Castillo respectivamente. ....92

Figura 41. Histogramas de frecuencia para la temperatura de fusión del CO<sub>2</sub> (TmCO<sub>2</sub>) por sectores. A. Sector La Cecilia. B. Sector La Esperanza. C. Sector La Selva. ....94

Figura 42. Histogramas de frecuencia para la temperatura de primera fusión del hielo o eutéctica (Te) por sectores. A. Sector La Cecilia. B. Sector La Esperanza. C. Sector La Selva. D. Sector El Castillo. ....94

Figura 43. Histogramas de frecuencia para la temperatura de fusión final del hielo (TmIce) por sectores. A. Sector La Cecilia. B. Sector La Esperanza. C. Sector La Selva. D. Sector El Castillo. ....95

- 
- Figura 44. Histogramas de frecuencia para la temperatura de fusión de los clatratos (TmCla) por sectores. A. Sector La Cecilia. B. Sector La Esperanza. C. Sector La Selva. D. Sector El Castillo. .... 96
- Figura 45. Histogramas de frecuencia para las inclusiones tipo I de temperatura de homogenización de las fases carbónicas (ThCO<sub>2</sub>) por sectores. Están discriminadas por fase de homogenización. A. Sector La Cecilia. B. Sector La Esperanza. C. Sector La Selva. .... 97
- Figura 46. Histogramas de frecuencia para las inclusiones tipo I de temperatura de homogenización (Th) y temperatura de decrepitación (Tdec) por sectores. A y B. Th y Tdec. Sector La Cecilia. C y D. Th y Tdec. Sector La Selva. E. Th. Sector El Castillo. F. Tdec. Sector La Esperanza. Cartografía geológica modificada de Nivia (2001)..... 99
- Figura 47. Espectro Raman de inclusiones tipo I, en los que se identifica la presencia de CO<sub>2</sub> en la fase de vapor. Sector La Selva. ....101
- Figura 48. Espectro Raman de inclusiones tipo I, en los que se identifica la presencia de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en la fase de vapor. Sector La Selva. ....101
- Figura 49. Histogramas de frecuencia de salinidad para las inclusiones tipo I y tipo II por sectores. A. Sector La Esperanza. B. Sector La Cecilia. C. Sector La Selva. D. Sector El Castillo. Cartografía geológica modificada de Nivia (2001).....106
- Figura 50. Diagrama de fugacidad de oxígeno vs temperatura para un pH=5.5 a 300 MPa (modificado de Jia *et al.*, 2000).El estado de oxidación de los fluidos hidrotermales de Ginebra se calculó a partir de las temperaturas de homogenización total, por debajo del buffer hematita (Hem) - magnetita (Mag) y entre CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> (Py-Po), de acuerdo a la mineralogía presente en Ginebra y los resultados microtermométricos y espectroscópicos.....110
- Figura 51. Diagrama Th vs Salinidad para las inclusiones tipo I, II y III, en el que se observa para las inclusiones tipo I y II una tendencia lineal de los valores de salinidad en un rango restringido de temperaturas de homogenización, mientras que para inclusiones

tipo III, la salinidad se encuentra en un rango de temperatura mayor. La tendencia de las inclusiones tipo I y II se interpreta como el producto de un proceso de mezcla isotermal de fluidos. Modificado de Wilkinson (2001). ..... 111

Figura 52. Mapa geológico con la ubicación de muestras de isótopos estables de O, D, S y Pb/Pb. Cartografía geológica modificada de Nivia (2001)..... 115

Figura 53. Diagrama de composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta\text{D}$  para el fluido hidrotermal de las mineralizaciones auríferas de Ginebra, calculadas a una temperatura de 300 °C en equilibrio con moscovita hidrotermal. Modificado de Sheppard, 1986. .... 118

Figura 54. Diagrama plumbotectónico donde se muestra la evolución uranogénica de plomo para distintos reservorios isotópicos según Zatman & Doe (1981). Muestra de galena (triángulo amarillo), muestra plagioclasa del Macizo Ofiolítico de Ginebra (círculo verde) y muestra de plagioclasa del cuerpo porfirítico (cuadrado naranja)..... 120

Figura 55. Diagrama plumbotectónico donde se muestra la evolución toriogénica de plomo para distintos reservorios isotópicos según Zatman & Doe (1981). Muestra de galena (triángulo amarillo), muestra plagioclasa del Macizo Ofiolítico de Ginebra (círculo verde) y muestra de plagioclasa del cuerpo porfirítico (cuadrado naranja)..... 120



## Lista de tablas

Tabla 1. Datos de estrías de falla medidos en la zona de estudio. ....	42
Tabla 2. Datos de diaclasas medidos en la zona de estudio. ....	43
Tabla 3. Datos de venas medidos en la zona de estudio. ....	43
Tabla 4. Tipos de inclusiones fluidas identificadas en las mineralizaciones auríferas de Ginebra. ....	88
Tabla 5. Salinidad, densidad y volumen molar de las inclusiones tipo I, obtenidas con el programa Q <sub>2</sub> (Bakker, 1997; Bakker & Brown, 2003). ....	104
Tabla 6. Salinidad, densidad y volumen molar de las inclusiones tipo II, obtenidas con el programa ICE (Bakker, 1997; Bakker & Brown, 2003). ....	105
Tabla 7. Salinidad, densidad y volumen molar de las inclusiones tipo III, obtenidas con el programa BULK (Bakker, 1997; Bakker & Brown, 2003). ....	108
Tabla 8. Resultados de los valores de $\delta^{34}\text{S}$ obtenidos en sulfuros. ....	114
Tabla 9. Resultados de isótopos de oxígeno y deuterio. ....	117

## **Lista de anexos**

ANEXO 1. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO 2. ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

ANEXO 3. DATOS MICROTERMOMÉTRICOS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

ANEXO 4. ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA RAMAN





# 1.INTRODUCCIÓN

En el área se han realizado estudios ambientales, mineros, metalúrgicos y geológicos, encaminados en su mayoría a diagnosticar el desarrollo y control de la minería en la zona, a pesar de ello, no se ha identificado, ni caracterizado el tipo de depósito ni la relación de éstas con sus unidades encajantes o la influencia de cuerpos porfíricos encontrados en la zona, esto en parte se debe a la falta de integración entre la información petrográfica, metalográfica y microtermométrica existente.

En la actualidad, el área de Ginebra corresponde a una zona con poca información técnica referente a los modelos de mineralización, por lo que el conocimiento geológico obtenido mediante la caracterización petrográfica, metalográfica, de relaciones de campo e isotópica permitirá entender los procesos químicos, físicos y tectónicos que condujeron a la formación de este depósito y enmarcarlo dentro de un tipo particular de yacimiento, lo que a su vez, permitirá definir otras zonas con posibilidades exploratorias que presenten características geológicas similares.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo General

Realizar un modelo descriptivo y genético de las mineralizaciones auríferas del área de Ginebra y zonas aledañas, en el Valle del Cauca, ubicándolas dentro de un contexto geológico.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Determinar la mineralogía de las mineralizaciones auríferas del área de Ginebra y zonas aledañas, tanto de mena como de alteración.

Determinar cuáles son los principales rasgos estructurales en la zona de estudio y establecer su relación con la forma de emplazamiento de las mineralizaciones.

Establecer, mediante análisis microtermométricos de inclusiones fluidas y espectroscopía Raman, la composición, salinidad y temperatura - presión mínima de entrapamiento del fluido responsable de las mineralizaciones de Ginebra.

Establecer por medio análisis de isótopos estables el tipo de fluido hidrotermal involucrado en la generación de las mineralizaciones de Ginebra.

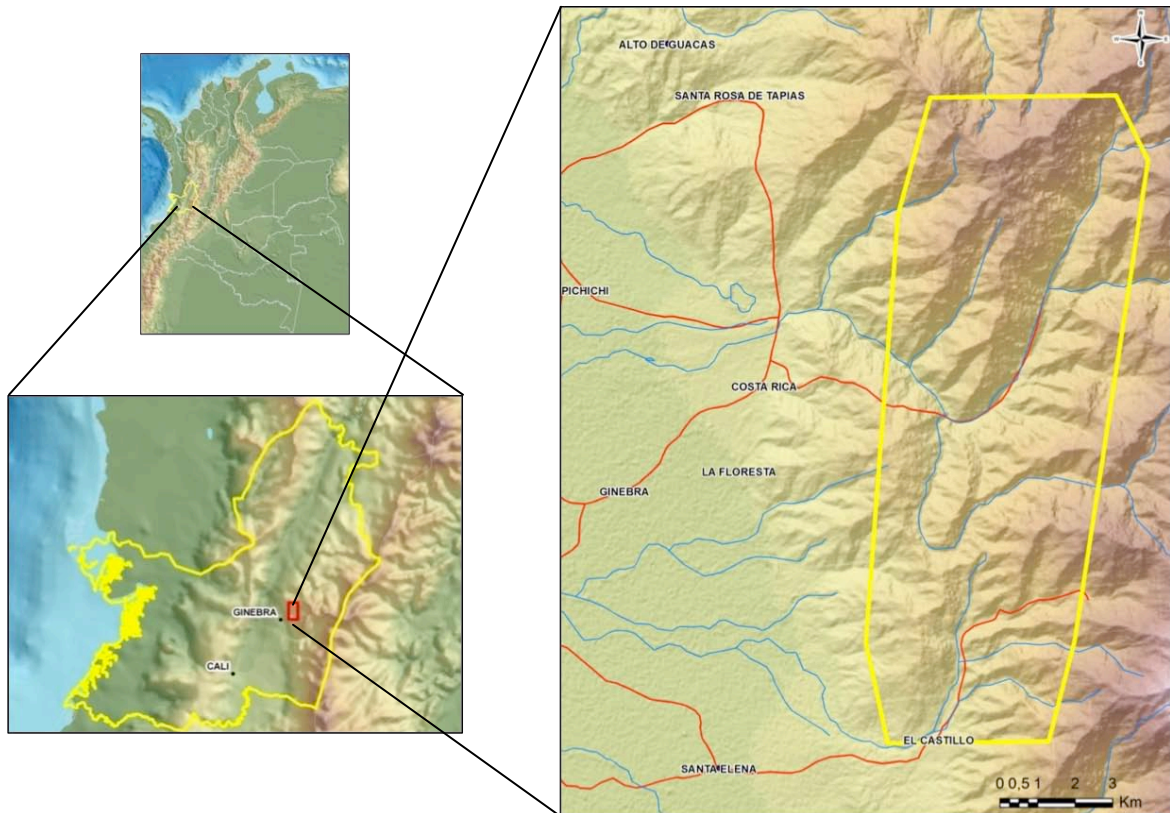
## **1.2 Localización**

El depósito aurífero de Ginebra se localiza en el flanco occidental de la Cordillera Central, al suroccidente colombiano. El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de lo que se denomina “Distrito minero de Ginebra”, en jurisdicción de los municipios de Ginebra, Guacarí y Buga (Valle del Cauca). Geográficamente se encuentra ubicado aproximadamente entre las coordenadas planas (origen oeste)  $X_1$ : 1'098.175 y  $X_2$ : 1'101.278 sentido Este y sentido Norte  $Y_1$ : 914.232 y  $Y_2$ : 897.000, corresponde a la plancha topográfica 280 del IGAC (Figura 1).

El área de estudio se ubica en una zona montañosa con altitudes entre los 2.000 y 2.700 m.s.n.m., fisiográficamente corresponde a relieves planos ondulados del piedemonte de la Cordillera Central y a relieves fuertemente ondulados en la franja cordillerana. Las principales cuencas hidrográficas del área de influencia son las del río Guadalajara al norte y del río Guabas al sur y este.

La zona se caracteriza por tener vías de bajas especificaciones técnicas, hacia el norte de la zona se accede por el municipio de Ginebra vía al corregimiento de Costa Rica por

una vía pavimentada, a partir de este sitio se desprenden los carreteras que comunican a los diferentes sitios. Para acceder a la zona sur se entra igualmente por el Municipio de Ginebra vía al corregimiento de El Castillo por una vía pavimentada, de este punto se desprende un carretera hacia las distintas zonas.



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio. El recuadro amarillo representa la zona de estudio.

### 1.3 Antecedentes

A continuación se reportan algunos de los trabajos geológicos existentes para el área de estudio:

McCourt, W, (1984). Realiza la cartografía geológica del Departamento del Valle del Cauca, publicando el mapa geológico a escala 1:100.000 de la plancha 280 del IGAC, donde describe las unidades geológicas aflorantes (Formación Amaime, Macizo Ofiolítico de Ginebra, Batolito de Buga y Formación La Paila).

McCourt, Millward & Espinoza, (1985), describen la geología general de la plancha 280 Palmira, destacan las ocurrencias de oro de placer, asociadas a la zona de contacto entre el Batolito de Buga y los metabasaltos del Macizo Ofiolítico de Ginebra ubicadas al E del Corregimiento de Costa Rica.

De Armas (1986), realiza una exploración geoquímica regional a partir de sedimentos activos y muestras de roca, determinando la presencia de elementos anómalos en el Macizo Ofiolítico de Ginebra y el Batolito de Buga, mostrando altas concentraciones de Ni, Cr, Co y Zn. Las principales áreas de mineralización se encuentran en la secuencia ofiolítica de Ginebra.

Molano *et al.*, (2000), determinan para los sectores de la Victoria y Los Lulos una mineralogía compuesta principalmente por cuarzo, silicatos y algo de siderita, con manifestaciones menores de pirita y en menor proporción de galena, esfalerita y calcopirita; el oro es de tipo electrum. Como minerales de ganga adicionales al cuarzo se encuentran clorita, sericita, calcita, magnetita y hematita y algunos silicatos (anfíbol, turmalina, epidota).

Nivia, A., (2001), en la memoria explicativa del mapa geológico del Departamento del Valle del Cauca, compila la cartografía geológica realizada mediante un convenio de cooperación entre INGEOMINAS y el Servicio Geológico Británico e información aportada por otros autores. Este trabajo describe las unidades geológicas, geología estructural, evolución geológica, potencial minero y amenazas geológicas presentes en el Valle del Cauca.

Pulido, W., (2005), realiza la caracterización geológica - minera del depósito aurífero del área de El Retiro, donde de acuerdo a las características geométricas y mineralógicas de las vetas y filones, infiere un modelo epitermal que combina características de alta y baja sulfuración.

Cervera, J. & Garcés, A., (2005), realizan un estudio metalográfico de las mineralizaciones auríferas de Cueva Loca y El Retiro, orientado al mejoramiento del proceso de beneficio, en el que se identificaron minerales de mena (oro electrum, pirita,



calcopirita) y minerales de ganga (cuarzo, carbonatos, sericita), determinando relaciones texturales y tipo de oro presente en el depósito.

Ballén, H., (2005), realiza el estudio geológico-minero del depósito aurífero del área de Cueva Loca sobre el Batolito de Buga, donde las mineralizaciones no se encuentran en filones bien definidos sino de forma diseminada. Por las características encontradas tales como: texturas de los minerales, forma del yacimiento y composición, el autor clasifica de manera preliminar el depósito de Cueva Loca como de tipo epitermal de baja sulfuración, a temperaturas entre 150 °C y 350 °C.

Ossa, C., (2006), realiza la petrogénesis de las rocas del Macizo Ofiolítico de Ginebra entre las veredas La Honda (Ginebra) y El Diamante (Buga), donde concluye que las rocas del Macizo son el producto de un magma único y de acuerdo a los diagramas de discriminación geotectónica, así como de las relaciones de los elementos considerados, determina que las rocas fueron generadas en una dorsal meso-oceánica y que sus fuentes provienen del segmento MORB-N en el manto superior.

Gordillo, M., (2006), realiza la caracterización petrográfica de las unidades encajantes del yacimiento aurífero de Ginebra, estableciendo que el Macizo Ofiolítico de Ginebra está compuesto principalmente por gabros alterados hidrotermalmente, algunos de ellos con metamorfismo dinámico sobreimpuesto. En cuanto al Batolito de Buga lo clasifica como una tonalita hornbléndica, con pocas variaciones composicionales dentro del área estudiada.

Cervera *et al.*, (2007), realizan el estudio geológico-minero y ambiental de los sectores de Cueva Loca (Buga) y El Retiro (Ginebra), efectuando la caracterización metalúrgica de las plantas de beneficio, la mineralogía y química de los relaves y la caracterización geoquímica ambiental de las quebradas con mayor influencia de estos dos sectores. Determinando que el mineral de ganga de los relaves está constituido por cuarzo y menor proporción por clorita y moscovita, para el sector de Cueva Loca adicionalmente chelita y epidota, en cuanto a los minerales de mena se encuentran pirita principalmente, galena, calcopirita y esfalerita en baja cantidad y como minerales secundarios por alteración supérgena hematita y goethita. En cuanto a las partículas de oro, en su

mayoría se presentan en estado libre aunque para el sector de El Retiro también se encuentra asociado a la pirita.

Castro, M., (2007), determina a partir de análisis de difracción de rayos X tres zonas alteración hidrotermal (silicificación, sericítica y filica), en el sector de El Retiro.

Duarte, P., (2009), realiza el estudio microtermométrico de los depósitos auríferos del área de Ginebra, determinando para el fluido mineralizante una temperatura mínima de entrapamiento (temperatura final de homogenización) en un rango entre 316.7 °C a 374.7 °C y asignando al depósito preliminarmente como un depósito de oro orogénico.

Brito *et al.*, (2010), a partir de análisis U-Pb en circón, reportan una edad para el Batolito de Buga de 96.79 Ma. y lo correlacionan el evento magmático que dio origen a la intrusión del Batolito Antioqueño.

## **2.METODOLOGÍA**

Este proyecto de investigación se desarrolló mediante diferentes fases que incluyen recopilación bibliográfica, visitas de campo al área de estudio, análisis de laboratorio y posterior interpretación de los resultados. La metodología usada para cada etapa se amplía en cada uno de los capítulos.

### **2.1 Recopilación y análisis de información**

Esta fase se llevó a cabo por medio de la compilación, revisión y análisis de la información bibliográfica referente a los temas específicos a tratar durante esta investigación, enfocado a geología regional, tectónica, mineralogía, inclusiones fluidas, espectroscopía Raman, isótopos estables y radiogénicos, así como su utilización en yacimientos minerales y modelos de depósitos. Adicionalmente, se analizó la cartográfica geológica preexistente sobre la zona de estudio.

### **2.2 Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales**

Se realizó una interpretación estructural a partir de imágenes de satélite y fotografías aéreas con lo que se obtuvo una aproximación al terreno y se definieron los rasgos geológico-geomorfológicos y estructurales principales de la zona de estudio.

Se digitalizaron los mapas concernientes a las planchas topográficas 280-II-A, 280-II-C, 280-IV-A y 280-IV-C (escala 1:25.000) y el mapa geológico de la zona de estudio (Nivia, 2001).

## **2.3 Trabajo de Campo**

Los objetivos principales de esta fase fueron: validarla cartografía geológica existente, reconocer rasgos estructurales y geomorfológicos, relaciones litológicas, contacto entre las unidades aflorantes, adquisición de datos estructurales como: dirección de venas, diaclasas, estrías de falla y determinar la presencia y tipo de alteraciones hidrotermales, también incluyó observaciones en las labores mineras. Este levantamiento se realizó a una escala 1:25.000.

Adicionalmente, se colectaron tanto muestras de las rocas caja (Macizo Ofiolítico de Ginebra, Formación Amaime, Batolito de Buga y cuerpos porfíricos) como de la mineralizaciones con el objetivo de realizar secciones delgadas pulidas (petrografía y metalografía), secciones delgadas doblemente pulidas (microtermometría) y para realizar análisis de isótopos (H, O, S y Pb/Pb). Todas las muestras fueron debidamente empacadas y rotuladas, registrándolas en una libreta de muestreo.

## **2.4 Trabajo de laboratorio**

En esta etapa se elaboraron secciones delgadas pulidas para análisis petrográficos y metalográficos correspondientes a vetas y roca caja, así como secciones delgadas doblemente pulidas para petrografía de inclusiones fluidas y posterior medición de parámetros microtermométricos y de espectroscopía Raman.

El trabajo de petrografía de mena, ganga y alteraciones, permitió identificar las muestras propicias para realizar los análisis isotópicos de O y H. También se prepararon muestras para isótopos de S y Pb/Pb mediante "picking".

Las muestras para análisis de isótopos estables fueron enviadas a los laboratorios de la Universidad de Salamanca (España) y al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Las muestras para isótopos radiogénicos (Pb/Pb) fueron analizadas en el laboratorio de Geocronología de la Universidad de Sao Paulo, Brasil.

---

## **2.5 Manejo, análisis de la información obtenida y elaboración de informe final**

En esta fase se realizó la compilación de los datos obtenidos en campo y en laboratorio, los cuales se procesaron y analizaron. Finalmente, se realizó la integración, discusión e interpretación de la información para obtener un modelo descriptivo y genético para las mineralizaciones auríferas del área de Ginebra y zonas aledañas, en el Valle del Cauca.

## 3.CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 3.1 Introducción

Las mineralizaciones auríferas de Ginebra se ubican en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los Andes Colombianos, el basamento de esta región está constituido por secuencias de rocas oceánicas del Mesozoico Superior, acrecionadas al borde continental de la Cordillera Central entre el Mesozoico y Cenozoico (McCourt *et al.*, 1984; Aspden & McCourt, 1986; Restrepo & Toussaint, 1988), y que se han interpretado de varias maneras, inicialmente como pertenecientes a un arco de islas (Paris & Marín, 1979) y posteriormente como una corteza oceánica normal (Bourgeois *et al.*, 1982). Algunos trabajos posteriores basados en datos geoquímicos (ej. Nivia, 1987. En Nivia, 2001; Kerr *et al.*, 1996; Kerr *et al.*, 1997), plantean que una gran parte de las rocas ígneas básicas que conforman el basamento del Valle del Cauca, la Cordillera Occidental y el flanco occidental de la Cordillera Central corresponden a basaltos de meseta afines a la Placa Caribe. Esta asociación de rocas corresponde a lo que Nivia (1987. En Nivia, 2001) define como Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO), que corresponde a un terreno alóctono que se acrecionó a la margen continental pacífica, constituida principalmente por rocas máficas y ultramáficas, rocas volcánicas y rocas sedimentarias de afinidad oceánica de edad Cretácica, emplazada como consecuencia de la deriva de la Placa Caribe hacia el E y NE.

## 3.2 Unidades Geológicas

### 3.2.1 Formación Amaime (Ka)

El nombre Formación Amaime fue asignado por McCourt (1984) y hace referencia a las rocas volcánicas básicas que afloran en el flanco occidental de la Cordillera Central, está conformada por basaltos y diabasas con intercalaciones sedimentarias menores (Mccourt, 1984), localmente se han reportado lavas ultramáficas (Spadea *et al*, 1989. En Nivia, 2001).

Mccourt (1984), describe basaltos de color verde oscuro, hialinos a holocristalinos, con pequeños fenocristales de clinopiroxeno comunes en muestras microcristalinas, que junto con la plagioclasa evidencian textura subofítica. Los clinopiroxenos corresponden a augita y las plagioclasas a labradorita.

Esta serie volcánica está limitada en ambos costados por fallas regionales de tendencia NNE, su límite oriental corresponde a la falla Cauca-Almaguer que la pone en contacto con rocas metamórficas del Cretácico (Complejo Arquía) y el occidental a la falla Guabas-Pradera que lo pone en contacto con el Macizo Ofiolítico de Ginebra y el Batolito de Buga (Figura 2).

La edad de la Formación Amaime no es clara, aunque de acuerdo a la edad de la intrusión del Batolito de Buga, de  $94 \pm 4$  Ma. (de Souza *et al*. 1984. En Nivia, 2001), se sugiere sería de edad Jurásico Superior - Cretáceo Temprano.

### 3.2.2 Macizo Ofiolítico de Ginebra (Koga - Kogu)

El Macizo Ofiolítico de Ginebra fue propuesto por Espinosa (1984. En McCourt *et al.*, 1984), hace referencia al bloque de rocas ultramáficas, que aflora en el flanco occidental de la Cordillera Central, con dirección N-S y de 40 Km. de largo y 8 Km. de ancho aproximadamente.

McCourt (1984), propone una secuencia que de base a tope está compuesta de peridotitas, gabros estratificados y cumúlitos, diques de diabasa, metabasaltos y diques de plagiogranito.

De Armas (1986), plantea que el Macizo está conformado por una secuencia que de base a techo presenta peridotitas, gabros cúmulos y estratificados, diques de doleritas, metabasaltos, plagiogranitos y microbechas de tobas. Además, considera los metabasaltos o anfibolitas las rocas predominantes en la zona.

Nivia (1987. En Ossa, 2006), considera que desde el punto de vista textural, las anfibolitas poseen tamaño de grano de medio a fino y están constituidas por hornblenda, plagioclasa, cuarzo, minerales opacos (principalmente ilmenita) y en menor proporción apatito y epidota. Texturas relicto confirman que estas rocas son principalmente metadoleritas, aunque todos los piroxenos originales han sido convertidos a anfíboles. Texturas subofíticas bien preservadas y texturas intergranulares se presentan en estas rocas.

Nivia (2001), propone que el bandeamiento magmático de las rocas cumúlitas está bien desarrollado y que está enfatizado por la meteorización diferencial de las unidades ricas en olivino, además afirma que el Macizo Ofiolítico de Ginebra está constituido en su mayor parte por anfibolitas producidas por metamorfismo de microgabros y basaltos (Nivia, 1987. En Ossa, 2006).

Según Ossa (2006), el Macizo Ofiolítico de Ginebra está compuesto por tres grupos principales de rocas: anfibolitas, rocas gabroicas y rocas ultrabásicas (piroxenitas y peridotitas), en general presentan una textura granular fina a media, con el desarrollo de minerales sobreimpuestos, texturas intergranulares y ofíticas.

Con base en diagramas de discriminación geotectónica a partir de geoquímica de elementos mayores, menores y traza, Ossa (2006) determina que el Macizo Ofiolítico de Ginebra se formó en una dorsal meso-oceánica en el segmento N del manto superior (MORB-N) y al realizar el análisis conjunto con los datos geoquímicos de los basaltos de la Formación Amaime, concluye que estas dos unidades se encuentran relacionadas genéticamente y que parecen constituir una secuencia ofiolítica incompleta que podría



corresponder a un basamento geológico más antiguo y diferente a la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO), propuesta por Nivia (1987. En Ossa, 2006).

Los límites orientales y occidentales de esta unidad corresponden respectivamente a las fallas Guabas-Pradera y Palmira-Buga, la primera lo coloca en contacto con los basaltos de la Formación Amaime hacia el norte y con las rocas graníticas del Batolito de Buga hacia el sur, mientras que la segunda lo separa de las sedimentitas miocenas de la Formación La Paila (Nivia, 1987. En Nivia, 2001). Gran parte de esta unidad se encuentra en contacto intrusivo con el Batolito de Buga y debido a los efectos transcurrentes de la falla Guabas-Pradera en algunos sectores el contacto con esta unidad es fallado (Figura 2).

No se ha establecido con certeza la edad de esta unidad. De acuerdo a las relaciones de contacto establecidas entre las rocas del macizo y el Batolito de Buga (McCourt, 1984; McCourt *et al.*, 1985), que intruye tanto éstas como a las de la Formación Amaime, implican una edad mínima del Cretácico Inferior para el Macizo ofiolítico de Ginebra, teniendo en cuenta las edades obtenidas para el Batolito de Buga alrededor entre 90 - 96 Ma. (Brito *et al.*, 2010; Villagómez *et al.*, 2011).

### **3.2.3 Batolito de Buga (*Kcd-t*)**

Aflora en los municipios de Buga, San Pedro y Tuluá formando las estribaciones occidentales de la Cordillera Central. Según Aspen *et al.*, (1987. En Nivia, 2001), corresponde a un granitoide calco-alcálico cuya composición varía de cuarzodiorita hornbléndica a tonalita con variaciones a diorita hornbléndica en sus contactos.

Presenta textura hipidiomórfica con cristales de tamaño medio subhedrales de plagioclasa, hornblenda, cuarzo anhedral grueso y biotita subhedral. La plagioclasa se presenta zonada y su composición varía de labradorita – andesina a oligoclasa, la hornblenda está asociada con glomeropórfidos de cuarzo. El batolito no está foliado aunque presenta una zona bandeada rica en xenolitos a lo largo del contacto occidental en la Quebrada Negra (Nivia 2001).

Este cuerpo se presenta en contacto intrusivo afectando las rocas del Macizo Ofiolítico de Ginebra y de la Formación Amaime, a lo largo del trazo de la Falla Guabas–Pradera (Nivia, 2001) (Figura 2).

Toussaint *et al.* (1978. En Nivia, 2001), reportan una edad K/Ar en hornblenda de  $113 \pm 10$  Ma.; Brook (1984. En Nivia, 2001) obtuvo una edad Rb-Sr en biotita de  $99 \pm 4$  Ma.; Brito *et al.* (2010), reportan una edad de 96.79 Ma., a partir de análisis U-Pb (Shrimp) en circón y Villagómez *et al.* (2011) a partir de análisis U-Pb en circón asigna una edad de entre  $90.6 \pm 1.3$  y  $92.1 \pm 0.8$  Ma.

### **3.2.4 Formación La Paila (TMP)**

Según Van der Hammen (1958. En Nivia, 2001), la Formación La Paila fue propuesta por Keiser, Nelson & Van der Hammen en 1955. Corresponde principalmente a intercalaciones de conglomerados y tobas dacíticas. Nelson (1957. En Nivia, 2001) divide ésta unidad en dos, la unidad inferior corresponde a tobas dacíticas de aproximadamente 200 m. de espesor y la superior a una secuencia clástica principalmente conglomerática, cuyo espesor varía entre 400 y 600 m.

Los horizontes de origen clástico varían entre conglomerados polimícticos de cantos a areniscas grueso granulares a conglomeráticas, su composición refleja la geología general de la Cordillera Central (basaltos, tonalita, diorita, metamorfitas, cuarzo) (Nivia, 2001). Interstratificados con los conglomerados y tobas dacíticas ocurren areniscas de grano grueso a medio, cuya composición sugiere una contribución volcano-clástica importante (Nivia, 2001).

Esta unidad presenta contacto fallado con el Macizo Ofiolítico de Ginebra al oriente y está cubierta parcialmente por depósitos aluviales y coluviales hacia el occidente (Figura 2).

De acuerdo con datos palinológicos Van der Hammen (1958. En Nivia, 2001) sugiere una edad miocena para esta unidad, aunque McCourt (1984) sugiere que esta unidad puede ser más antigua probablemente oligocena.

### 3.2.5 Depósitos Recientes (Qca - Qd)

Comprenden conos aluviales y depósitos aluviales, los primeros compuestos de gravas y gravas arenosas con capas delgadas de arena. Las partes proximales de los conos carecen de estratificación interna, sin embargo distalmente presenta un decrecimiento del tamaño de grano hacia el tope (Nivia, 2001).

Los depósitos aluviales son comunes a lo largo de los ríos principales y consisten en depósitos clásticos gruesos a muy gruesos, de gravas estratificadas y relativamente bien seleccionadas, gravas arenosas y arenas con unidades locales de limo (Nivia, 2001).

## 3.3 Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra influenciada principalmente por tres sistemas de fallas, el sistema longitudinal NNE (fallamiento N-S y N20°-30°E), el sistema transversal NW (fallamiento N40°-50°W) y sistema transversal NE (fallamiento N60°-70°E) (Romero *et al.*, 2005).

El área de estudio es una zona estructuralmente compleja en la que se identifica un rasgo morfotectónico particular denominado "Saliente de Buga" por López (2006; 2009). Aunque existen estudios regionales acerca del sistema de fallas del flanco occidental de la Cordillera Central, no parece existir consenso acerca de la vergencia de la Falla Guabas-Pradera, uno de los rasgos estructurales más importantes.

### 3.3.1 Estructuras longitudinales NNE

Estas estructuras se caracterizan por presentar una dirección general N-S hasta N30°E y han sido activas desde el Mesozoico (Romero *et al.*, 2005). A este sistema hacen parte las fallas Guabas-Praderas y Palmira-Buga, presentes en la zona de estudio (Figura 2) y que han sido asociadas al trazo más occidental de la falla Cauca-Almaguer del sistema de fallas Romeral (sensu Maya & González, 1995). Según Sauret *et al.* (1993). En López, 2006) en el sistema de fallas Romeral en el Departamento del Valle del Cauca, cerca de la población de Amaime, se encuentran tendencias principales de rumbo y secundarias

inversas, aunque Page (1986. En López, 2006), atribuye para este mismo sector principalmente un componente inverso.

### **Falla Guabas-Pradera**

La falla Guabas-Pradera tiene una dirección promedio N15°E, geomorfológicamente se evidencia por drenajes desviados, lo que ha permitido definirla como una falla con componente horizontal de movimiento lateral derecho (Romero *et al.*, 2005), aunque Paris *et al.* (2000), proponen un carácter inverso. A partir de geofísica se ha interpretado esta falla como de cabalgamiento con vergencia al W (Bermúdez *et al.*, 1985; Alfonso, 1993. En Romero *et al.*, 2005), aunque Moreno-Sánchez & Pardo-Trujillo (2003) determinan que tiene vergencia al este en el límite occidental de los sedimentos de la Formación Nogales (Kn).

Esta estructura presenta evidencias de actividad reciente, teniendo en cuenta que hacia el sector de Corinto y Pradera se encuentran una serie de escarpes rectilíneos que afectan conos y abanicos cuaternarios (Romero *et al.*, 2005).

En la zona de estudio pone en contacto el Batolito de Buga al W con la Formación Amaime al E (norte zona de estudio) y el Macizo Ofiolítico de Ginebra al W con la Formación Amaime al E (sur zona de estudio) (McCourt *et al.*, 1985).

### **Falla Palmira-Buga**

La falla Palmira-Buga tiene una dirección NNE-SSW, se caracteriza por presentar trazas de falla alineadas y entrelazadas, con una inclinación aproximada de 35° hacia el E (Romero *et al.*, 2005). En el área de estudio marca el límite occidental entre las rocas de Macizo Ofiolítico de Ginebra con la Formación La Paila. Hacia el sur de la zona, esta falla se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. Su continuidad y carácter inverso con vergencia hacia W, ha sido interpretado a partir de métodos geofísicos (Bermúdez *et al.*, 1985; Alfonso, 1993. En Romero *et al.*, 2005) y a su vez se ha demostrado su importancia a nivel regional.

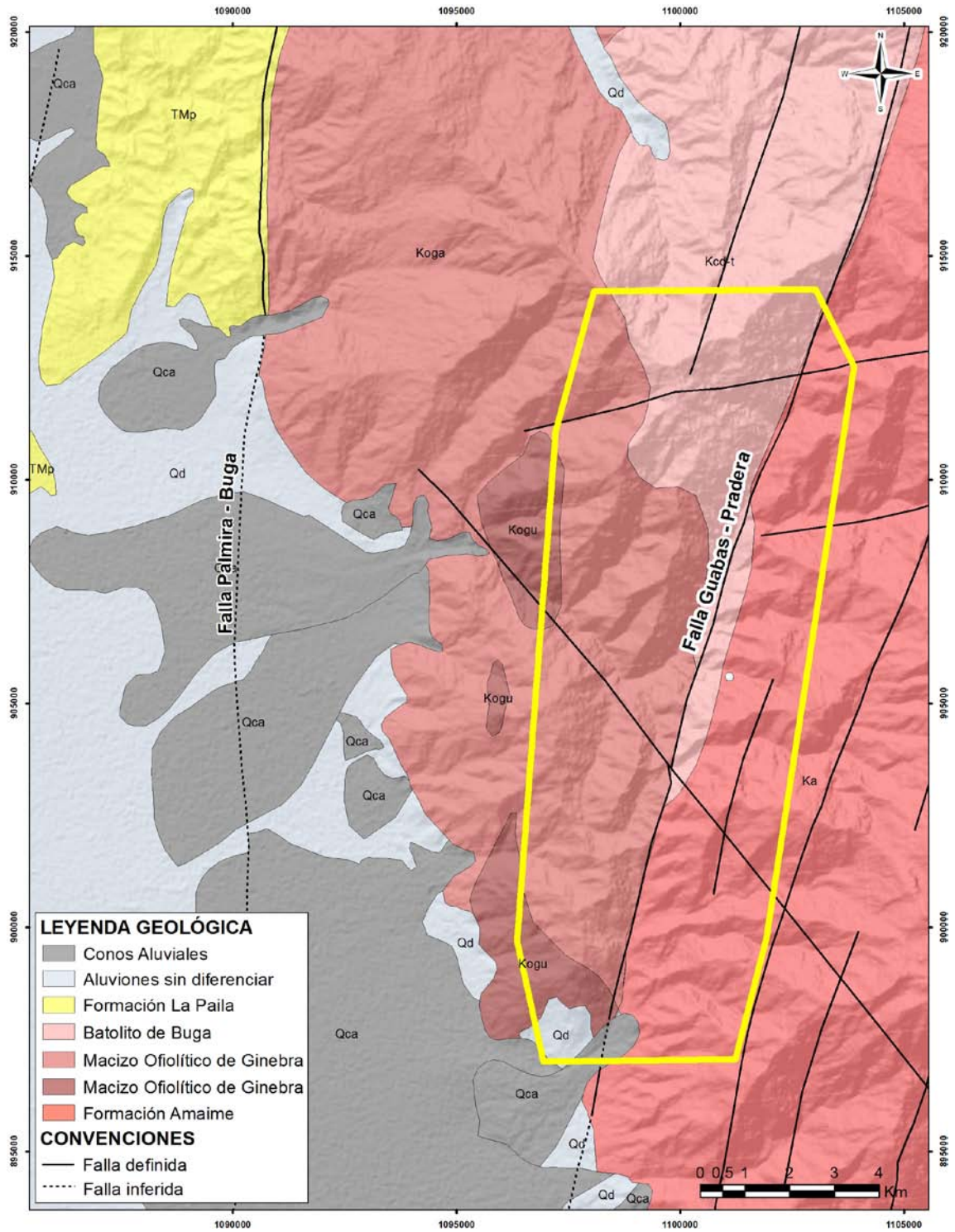


Figura 2. Mapa Geológico de la zona de Ginebra. El recuadro amarillo enmarca la zona de estudio. Modificado de Nivia (2001).

### **3.3.2 Estructuras Transversales NW**

Estas estructuras con dirección NW fueron propuestas por Lozano & Murillo (1983. En Romero *et al.*, 2005), se caracterizan por segmentar la Cordillera Central en forma de bloque levantados y hundidos, son citadas como lineamientos regionales o fallas de basamento y han sido relacionadas con la presencia de mineralizaciones y volcanismo básico reciente (Lozano & Murillo, 1983; Lozano, 1985; Gómez, 1991; Ujueta, 1993 y 1999; Velandia & Komuro, 1998; Velandia *et al.*, 2001b y Bohórquez *et al.*, 2003. En Romero *et al.*, 2005).

### **3.3.3 Estructuras Transversales NE**

Corresponden a trazos lineales con dirección entre N55°E y N80°E, se encuentran afectando las fallas longitudinales, en ocasiones desplazándolas de forma dextral. Por su relación con la fallas longitudinales NNE y las transversales NW, estas estructuras han sido interpretadas como el sistema más reciente, actuando desde el Eoceno-Paleoceno hasta la actualidad (Romero *et al.*, 2005).