

CARACTERIZACION METALOGRÁFICA DE LAS MANIFESTACIONES DE MINERAL DE HIERRO, PAIPA (BOYACÁ, COLOMBIA)

Sandra R. Manosalva S.¹ & Wilson E. Naranjo M.²

- 1. Docente, Escuela de Ingeniería Geológica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*
- 2. Estudiante, Maestría Geología, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia
srmanosalva@hotmail.com*

Recibido para evaluación: 16 de Abril de 2007 / Aceptación: 15 de Junio de 2007 / Recibida versión final: 19 de Junio de 2007

RESUMEN

Existen en Paipa, Colombia, importantes manifestaciones de óxidos de hierro, en forma de concentraciones residuales sobre el terreno. Muestras superficiales fueron analizadas metalográficamente con el propósito de identificar los minerales presentes, su paragénesis y origen. Los resultados metalográficos permitieron establecer una asociación mineralógica de: Goethita, hematita y lepidocrocita, cuya depositación se encuentra asociada a la actividad volcánica que a finales del Neógeno afectó la zona. Producto de la actividad hidrotermal el hierro fue atrapado en forma de óxidos que se caracterizan por texturas coloiformes y como hidróxidos con texturas de remplazamiento en ambientes de aguas estancadas.

PALABRAS CLAVES: Hierro, Texturas, Goethita, Hematita, Paipa, Boyacá, Colombia, Metalografía, Depósitos Minerales.

ABSTRACT

There are important manifestations of iron oxides, in the Paipa area (Colombia), by means of residual concentrations on the land. Samples of outcrop were analyzed with the purpose of identifying the present minerals and their origin. The metallographic results allowed establishing a mineralogical association of: Goethite, hematite and lepidocrocite, whose deposit is related with the volcanic activity that affected the area at the end of the Neogene. Due to the hydrothermal activity the iron was caught in form of oxides that area characterized by coloiformes textures and hydroxides with textures of replacement in stagnated waters environments.

KEY WORDS: Ironstone, Textures, Goethite, Hematite, Paipa, Boyacá, Colombia, Metalography, Mineral Deposits.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una descripción metalográfica de las manifestaciones de hierro aflorantes en el sector La Capilla (Paipa, Boyacá), materia prima utilizada en la fabricación de acero a nivel nacional e internacional.

Existe información sobre el vulcanismo de Paipa e identificación en el área de los depósitos minerales de: Hierro, puzolana, caolín y bentonitas (Alvarado, 1988; Hernández & Osorio, 1990; Garzón, 2003; Pardo & Alfaro, 2005). Sin embargo análisis sobre caracterización del mineral de hierro no se tienen referenciados, por lo que este estudio fundamenta las bases para el conocimiento de la mineralogía y aspectos texturales de este material en el área, punto de partida para una posterior exploración a detalle, explotación y beneficio.

A nivel mundial existe información acerca del proceso de precipitación del hierro, que permiten explicar el origen hidrotermal de los yacimientos de Paipa (Stanton, 1972). El análisis metalográfico se realizó bajo el microscopio de luz reflejada, permitiendo determinar que el mineral constituyente principal es goethita (porcentajes mayores al 90%), seguido por hematita y lepidocrocita. Texturalmente presentan textura coloiforme muy evidente en algunas muestras macroscópicas, mientras que en el análisis al microscopio la textura predominante es de remplazamiento, generándose contactos en caries y reemplazos centrípetos, centrífugos y pseudomórficos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Localización del área de estudio

La manifestación de hierro, se encuentran localizada en la parte alta de la Cordillera Oriental, al sur del municipio de Paipa (departamento de Boyacá), en el sector denominado La Capilla; presenta una extensión superficial de 2,5Ha. El área de estudio se ubica en la plancha topográfica 171-IV-D-1, a escala 1:10.000, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), dentro de las coordenadas, con origen Bogotá: 1°120.000 -1°123.000 Norte y 1°106.000 - 1°110.000 Este (Figura 1).

2.2. Metodología

Identificada la manifestación de mineral de hierro y establecido su contexto geológico, se procedió a realizar el reconocimiento en campo y toma de muestras en el sector La Capilla (Paipa, Boyacá).

El método utilizado para la recolección consistió en la elaboración de una trinchera, de 2.5 m de frente por 1 m de profundidad, en donde se tomaron cinco muestras de base a techo. El tipo de muestreo fué de afloramiento aleatorio, recolectándose cinco muestras. Las muestras fueron codificadas de base a techo, como: Paipa-1, Paipa-2, Paipa-3, Paipa-4 y Paipa-5. Se realizaron probetas pulidas para cada muestra, de tamaños promedio de 3x2x1cm.

Para la descripción metalográfica se empleó el microscopio de luz reflejada, OLYMPUS BX51, del laboratorio de Petrografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, el cual posee objetivos de aceite de 4, 60 y 100 aumentos; permitiendo una identificación clara de los minerales, su textura, color, anisotropía, pleocroísmo y reflexiones internas.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Marco geológico

Regionalmente las manifestaciones de hierro en Paipa están asociados a la actividad volcánica que se presentó a finales del Neógeno en la cordillera Oriental de Colombia (Garzón, 2003; Pardo & Alfaro, 2005). Los cuerpos volcánicos se encuentran en un sector donde predominan rocas sedimentarias del Cretáceo, Paleógeno y Neógeno, al sur del Macizo de Floresta y al noreste del Sinclinal de Tunja, entre la fallas Boyacá al occidente y Soapaga al oriente (Renzoni, 1981).

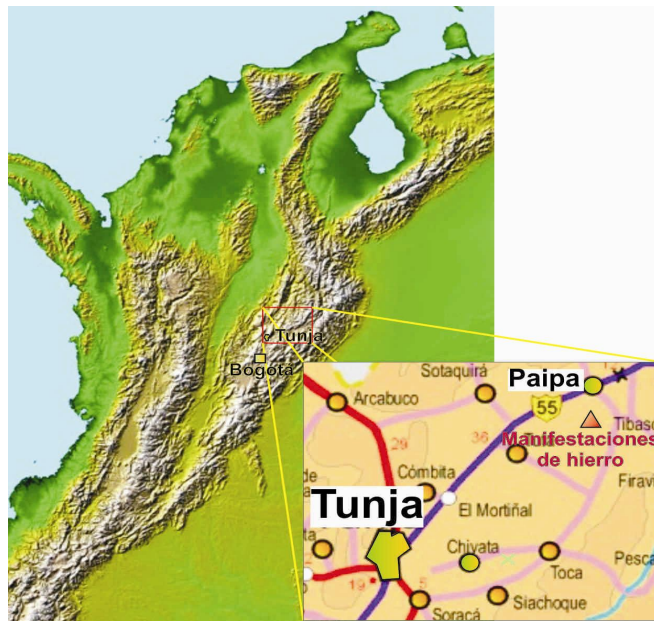
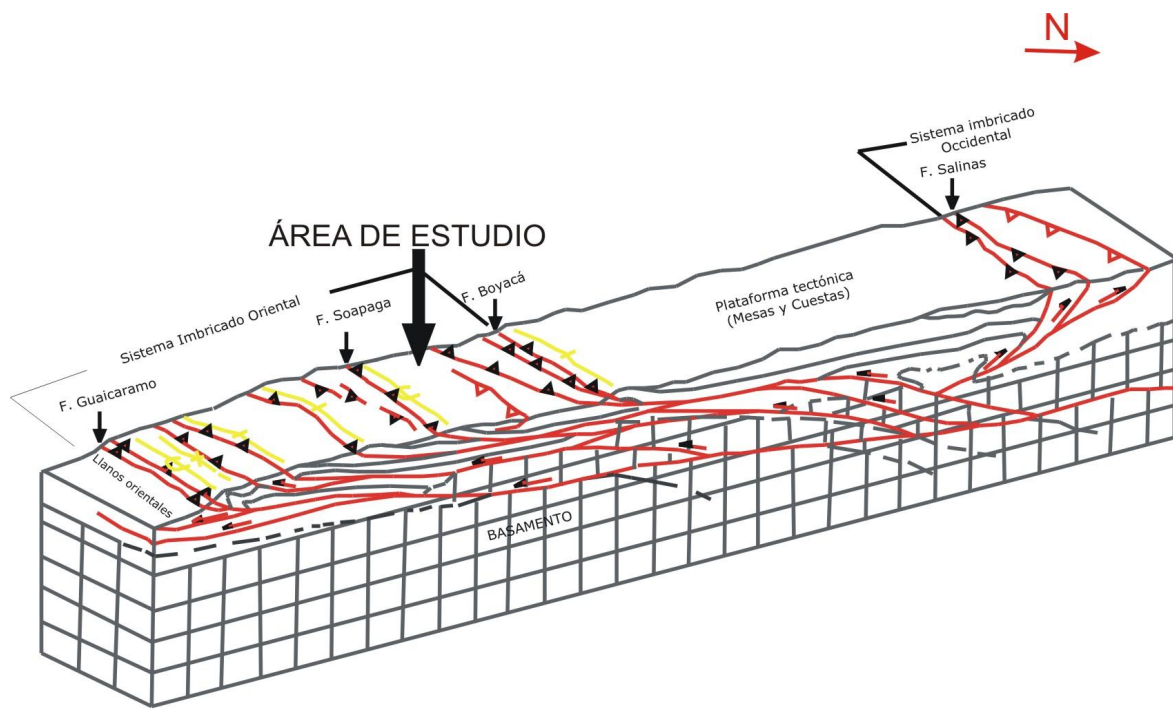


Figura 1. Localización de la manifestación de hierro, área de estudio.

La falla de Boyacá separa dos provincias morfoestructurales distintas; hacia el noroccidente un bloque tectónicamente levantado, compuesto por rocas de edad Jurásico y Cretácico que conforman estructuras amplias, como: el anticlinal de Arcabuco y el sinclinal de Los Medios; y hacia el suroriente un bloque tectónico hundido (área de estudio), de paisaje ondulado, correspondiente a la depresión del Chicamocha, en donde son notorios los plegamientos cortos y estrechos, frecuentemente volcados por acción de la gravedad (Farelo & Parra, 2004). El límite oriental, la falla de Soapaga, separa la zona al oriente del macizo de Floresta, que corresponde a una zona compleja levantada de edad Cambro-ordovícico, en donde se identifica el anticlinal de Tibasosa (Figura 2).



Modelo estructural de cordillera. Según Reyes (2001)

Figura 2. Modelo tectónico de la cordillera Oriental.

Estructuralmente las capas sedimentarias del cretáceo presentan un patrón dominante NE con buzamientos suaves hacia el NW, La manifestaciones de mineral de hierro están relacionadas con sistemas de fallas E-W, que permitieron la migración de fluidos y formación de estos depósitos (Figura 3).

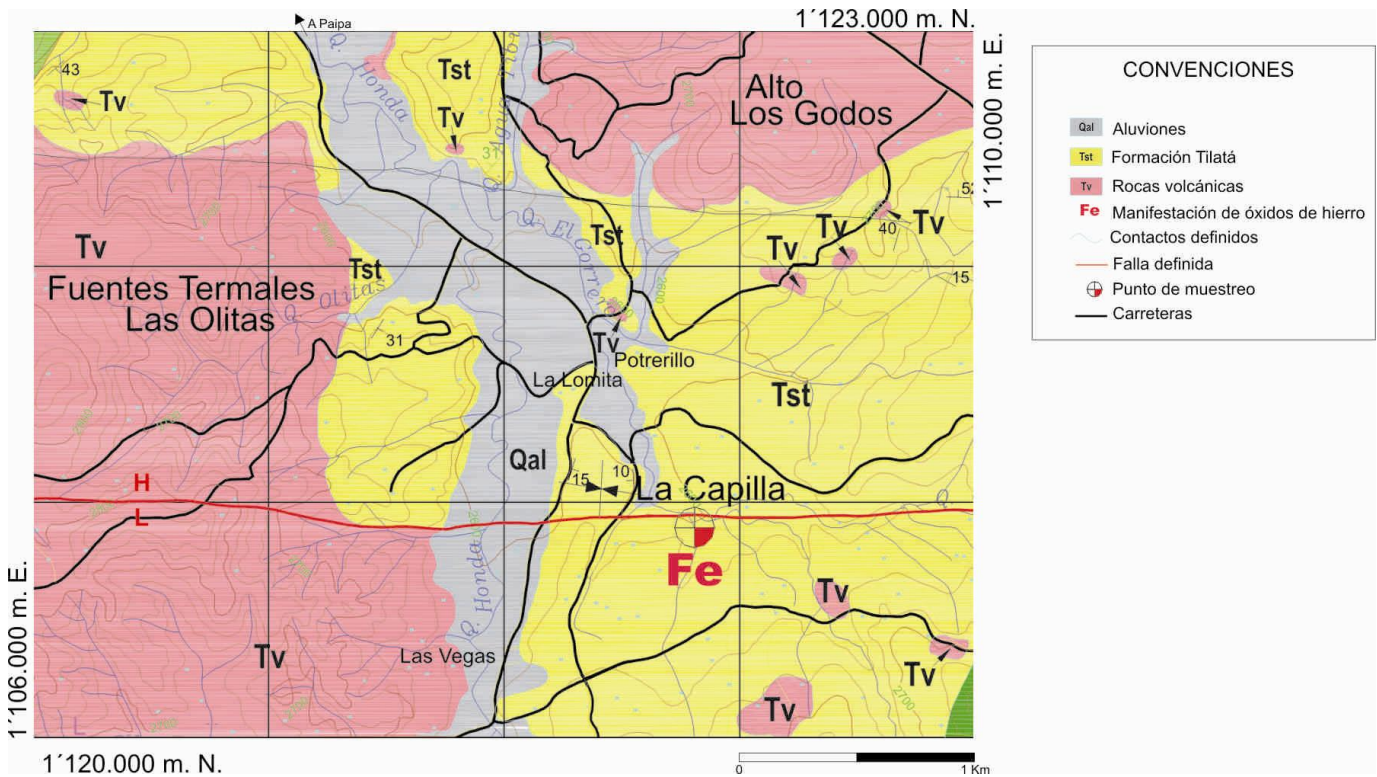


Figura 3. Mapa geológico. Modificado de Garzón, 2003

Las unidades geológicas presentes en el área son: Rocas volcánicas (Tv) y rocas sedimentarias de la Formación Tiltatá (Tst). Las rocas volcánicas comprenden riolitas de afinidad alcalina y calcoalcalina altas en potasio, así como traquitas alcalinas. La Formación Tiltatá está compuesta por una secuencia de gravas, arenas, arcillas, con algunos mantos de lignito.

3.2. Mineral de hierro

El hierro se presenta en casi todas las rocas sedimentarias en bajos porcentajes, pero cuando éstos son mayores al 30% representan un interés industrial. En cuanto a su origen se han explicado dos fuentes principales: meteorización y actividad volcánica, que permiten que el hierro sea segregado por procesos sedimentarios de tipo químico (Carozzi, 1993).

Hematita y magnetita son los minerales de hierro cuantitativa y económicamente más importantes, junto con ellos se encuentra una amplia variedad de especies minerales que incluyen óxidos e hidróxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros.

La nomenclatura y clasificación de los yacimientos de hierro no es sistemática. Existe gran variedad de propuestas para su clasificación como la de Stanton, 1972, que propone tres categorías de clasificación de los yacimientos de hierro: (1) Formaciones de Hierro (Iron Formations), (2) Rocas Ferríferas (Ironstones) y (3) Menas de Hierro de Pantano (Bog Iron Ores). Cada uno de estos yacimientos se caracteriza y distingue de los otros por diferencias en el ambiente geológico, edad, forma, mineralogía y modo de depositación.

En el análisis microscópico de minerales opacos, su determinación, depende en gran parte de la observación de los colores. En la observación con nicols paralelos los principales criterios ópticos fueron la reflectancia y el pleocroismo, mientras que con nicols cruzados se observa principalmente su anisotropía y reflejos internos. Para el mineral de hierro estudiado, los minerales identificados fueron: goethita, hematita y lepidocrocita, teniendo en cuenta los siguientes criterios para su clasificación (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de minerales opacos.

MINERAL	GOETHITA	HEMATITA	LEPIDOCROCITA
COMPOSICIÓN	FeO.OH	Fe ₂ O ₃	FeO.OH
SISTEMA	Ortorrómico	Hexagonal	Ortorrómico
REFLECTANCIA	Y		
COLOR	Bajo: Blanco a grisáceo, muchos tienen tinte azuloso	Medio: Blanco a grisáceo con tinte azuloso	Bajo: blanco grisáceo
% REFLECTANCIA	15.5 _ 17.5	26.1_ 30.2	11.6 _ 18.4
DUREZA	Dura: 5_ 5.5	Dura: 5_ 6	Media: 5
PLEOCROISMO	Débil	Ortorrómico	Moderado: gris a pardo grisáceo
ANISOTROPISMO	Moderado: Azul a gris, gris a amarillo, gris verdoso.	Moderado: Gris azuloso, gris verdoso, pardo claro	Fuerte: gris y blanco.
REFLEXIONES INTERNAS	Abundantes: pardo amarillentas a pardo rojizas.	Común: rojo profundo.	Común: roja.
MINERALES ASOCIADOS	Hematita, lepidocrocita, magnetita, pirita, esfalerita.	Goethita, rutilo, esfarelita, ilmenita, magnetita.	Goethita, pirita, y muchos minerales de zona de oxidación
CRITERIOS IDENTIFICACIÓN	DE Textura coloforme, anisotropía azulosa, abundantes reflexiones internas, común en bandas de poros coloformes, con textura fibrosa radial o con poros pseudomorficos .	Reflectancia media, dificultad para pulirlo, anisotropía definida y reflexiones internas rojizas son características, comúnmente aparece como agregados radiales y maclada.	Pleocroismo moderada, anisotropía intensa e incolora, baja reflexion y asociada a goethita son características.

Fuente: *Economics Geology*, 1987.

4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La manifestación de hierro analizada corresponde al sector de La Capilla, al sur del alto de Los Godos. Esta mineralización se caracteriza por presentar como componente principal goethita (FeO.OH), formada por procesos químicos en ambientes oxidantes y precipitada directamente en cuencas cerradas (el denominado hierro de pantanos). Goethita formada a partir de fluidos volcánicos ácidos que transportaron el hierro en solución a través de fracturas, precipitando por oxidación como hidróxido.

Asociado a la goethita pero en menor cantidad se encuentra la lepidocrocita (FeO.OH) y la hematita (Fe₂O₃), cada vez en menor proporción, producto del reemplazamiento por los hidróxidos de hierro. La hematita es un mineral accesorio común en ambientes hidrotermales, que requiere de un ambiente oxidante para precipitar. La lepidocrocita es un constituyente común junto con la goethita de ambientes de pantano.

4.1. Descripción macroscópica

Las muestras analizadas macroscópicamente, presentan textura principalmente coloiforme botroidal, fibrosilado, efecto de la tensión superficial en un material viscoso y indicativas de un origen coloidal (Roger, 1971). El color es gris oscuro a negro, en menor proporción rojo a pardo rojizo, con locales patinas de oxidación amarillentas; brillo submetálico y

localmente terroso; color de la raya desde rojo indio a marrón y amarillo ocre. Internamente presenta cámaras vacías de forma irregular (Figura 4).

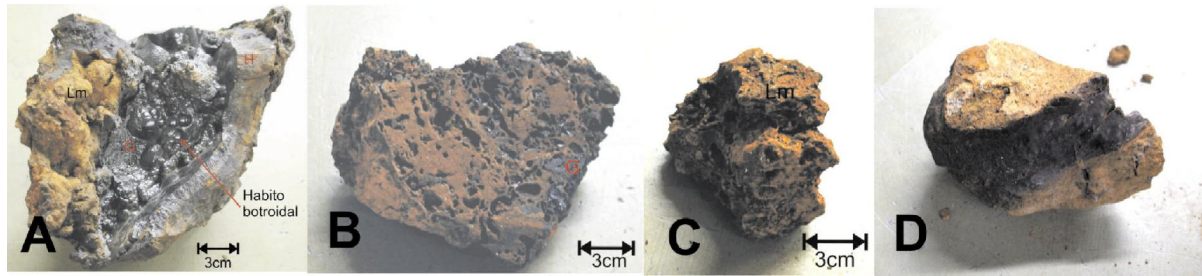


Figura 4. Muestras macroscópicas del mineral de hierro. **A. (muestra Paipa-1)** Goethita (G) de color gris oscuro con patinas amarillo ocre de limonita (Lm) y algunas tonalidades rojizas de hematita (H). Brillo submetálico. Textura coloiforme, botroidal, fibrosilado. **B. (muestra Paipa-2)** Textura porosa, abundante goethita. **C. (muestra Paipa-3)** Textura porosa, abundante limonita. **D. (muestra Paipa-4)** Textura masiva. Banda de goethita central rodeada de limonita.

4.2. Descripción microscópica

4.2.1. Aspectos texturales

La textura presente es coloiforme, generada en algunos casos por cristalización directa en espacios abiertos y otras por reemplazamiento y recrystalización (Figuras 5 y 6).

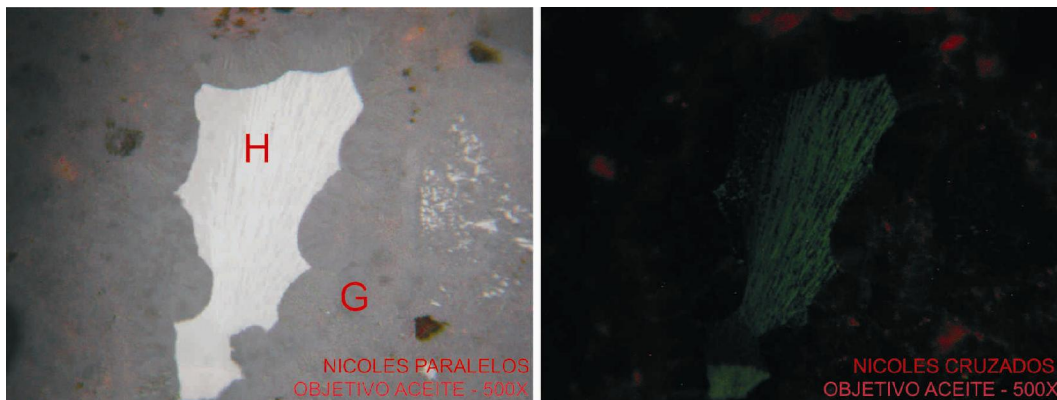


Figura 5. Muestra Paipa-1, se observa el hábito botroidal de la goethita (G) producto de reemplazamiento de la hematita (H), es notorio el contacto en caries.

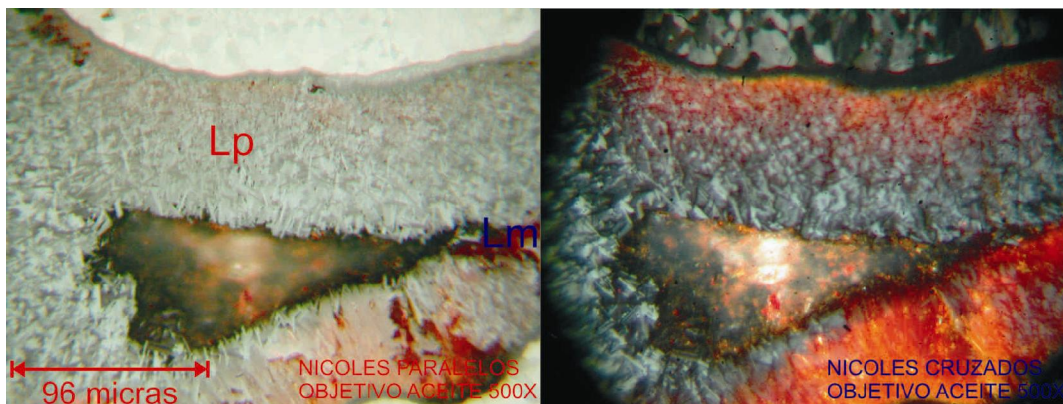


Figura 6. Muestra Paipa-1, Se observa el hábito botroidal de la goethita (G) producto de reemplazamiento de la hematita (H), es notorio el contacto en caries. B1-B2. Muestra Paipa 3. Lepidocrocita a manera de drusa en espacios abiertos.

Dentro de la textura coloiforme se encuentran esferulitas, que son agregados de minerales esféricos con estructura radiada. Es muy común en la goethita y en la lepidocrocita, en ésta última producto de la recristalización de agregados (Figura 7).

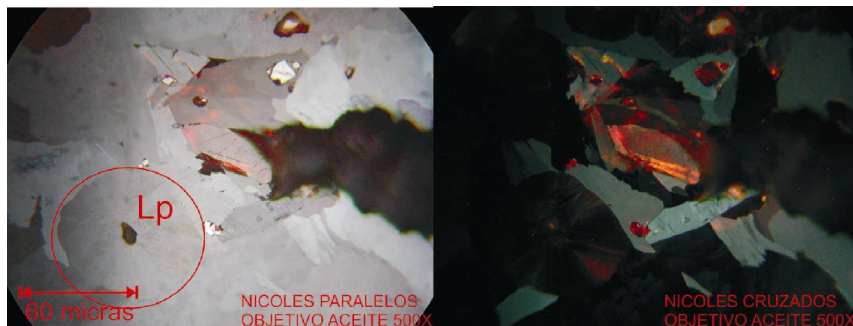


Figura 7. Muestra Paipa 3. Esferulita de lepidocrocita.

Microscopicamente las texturas más representativas son las de reemplazamiento, las cuales están definidas como la disolución de un mineral y la depositación simultanea de otro mineral, donde la solución y depositación se producen juntas y la sustitución no involucra cambios de volumen (Schouten, 1943). En el análisis se determinó que se presenta un reemplazamiento de hematita por goethita y lepidocrocita, generándose contactos en caries, en la que el mineral reemplazante (goethita) desarrolla un contacto convexo hacia el mineral hospedante (hematita) (Figura 8).

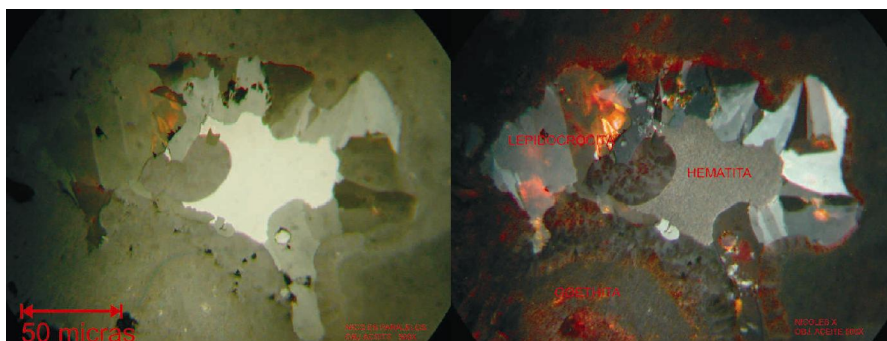


Figura 8. Textura de reemplazamiento, de la hematita por lepidocrocita y de esta ultima por goethita. Contactos en caries, borde convexo del mineral reemplazante hacia el mineral reemplazado.

Los tipos de texturas de reemplazo encontradas fueron masivo y automórfico; en el primer caso, se presentaron reemplazos de la hematita por goethita, de tipo centrípeto, centrífugo y pseudomórfico. El reemplazo automórfico se observó distribuido en agregados fibrosos radiados de la lepidocrocita en el mineral hospedante hematita.

Texturas de reemplazo masivo. Se evidenció principalmente en el contacto entre la hematita (mineral hospedante) y la goethita (mineral reemplazante), donde el reemplazo se produce desde el borde del mineral, desarrollando frentes redondeados. En el análisis se determinaron tres tipos de reemplazamiento masivo:

- (1) Reemplazo centrípeto. La goethita avanza desde el borde externo de la hematina (Figura 9-A).
- (2) Reemplazo centrífugo. La goethita crece desde el centro de la hematina (Figura 9-B).
- (3) Reemplazo pseudomórfico. Se observó de manera local, por reemplazamiento de la hematita por goethita, conservando la forma de posibles estructuras orgánicas (Figura 10).

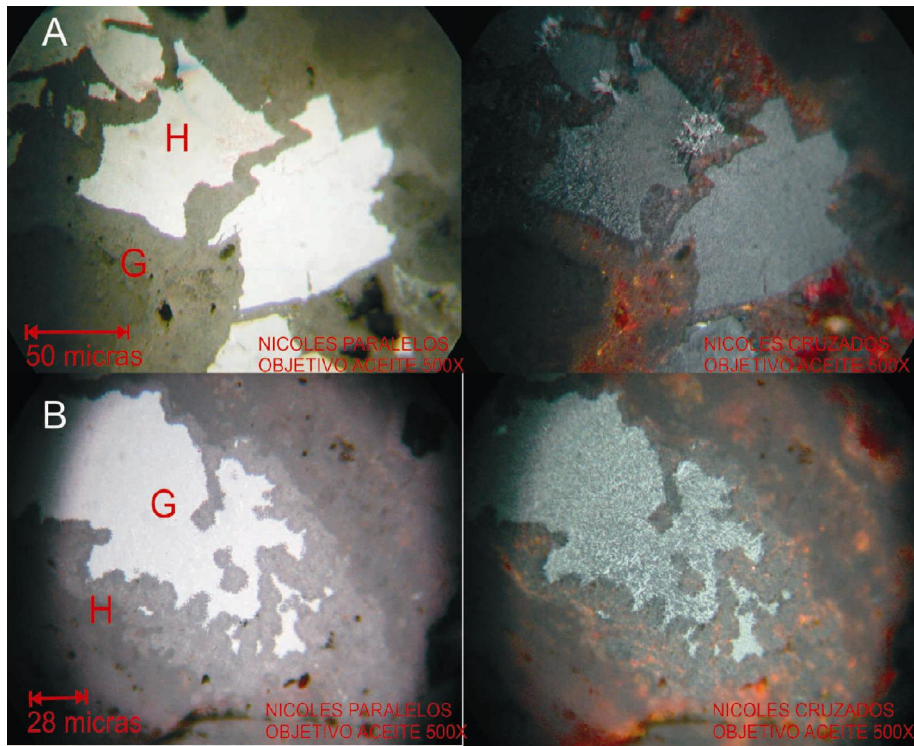


Figura 9. A. La forma convexa de la goethita (G) en el borde de la hematita (H), muestra el contacto en caries y reemplazamiento centrípeto. **B.** Reemplazamiento centrípeto y centrífugo de la hematita por goethita, en nicoles cruzados se destaca la goethita por sus abundantes reflexiones internas.

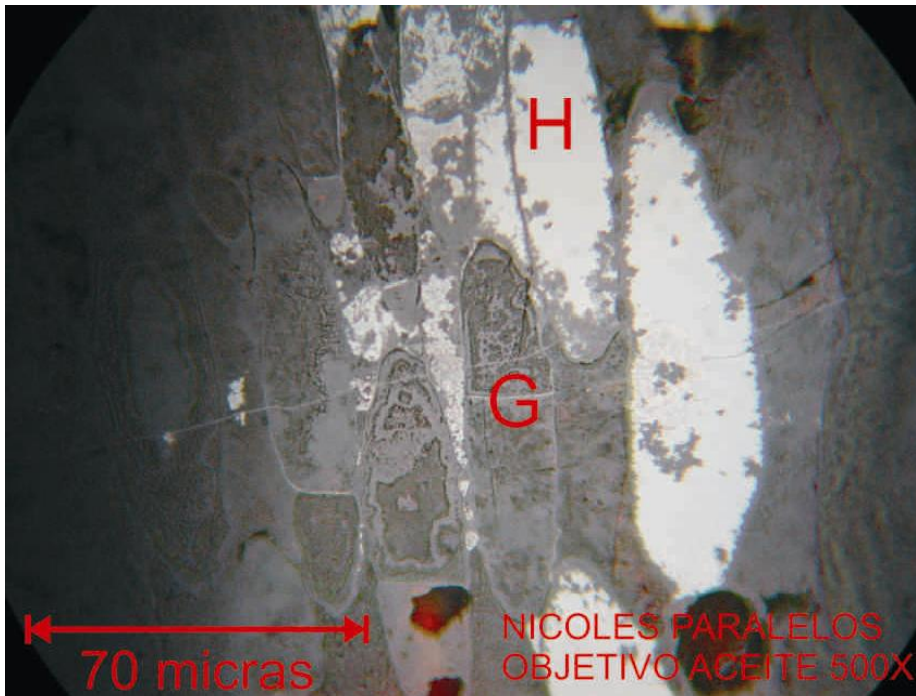


Figura 10. Reemplazo pseudomórfico de hematita por goethita, en donde se conserva la forma de la estructura original; en este se conjugan los reemplazamientos centrípeto (de afuera hacia adentro) y centrífugo (de adentro hacia fuera).

Texturas de reemplazo automórfico. Es característica en el reemplazamiento de la hematita por lepidocrocita, en donde ésta última desarrolló formas cristalinas propias, aciculares a tabulares, concéntricas y a manera de bandas, generando una distribución en agregados fibroso-radiados (Figura 11).

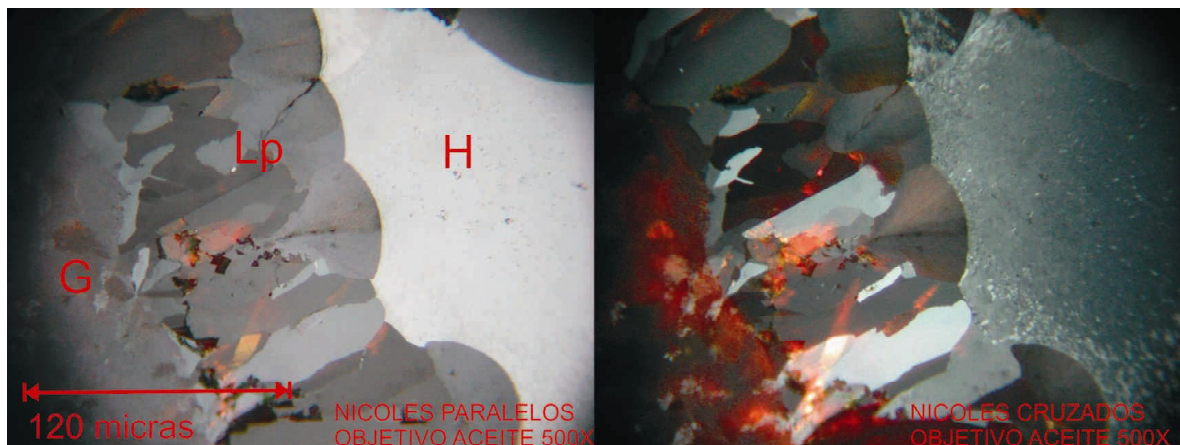


Figura 11. En la imagen se observan metacrystalos de lepidocrocita, cuya base está formada por agregados de grano fino, xenomórficos, en el contacto con la goethita. Se destaca el contacto en caries entre la lepidocrocita y la hematita.

4.2.2. Descripción mineralógica

Se realizó un conteo de 500 puntos, en cada una de las muestras analizadas. De acuerdo con los resultados se estableció que el depósito es homogéneo composicionalmente, presentando goethita con un 90%, seguido de hematita con un 6% y lepidocrocita con un 4%. En todas las muestras se presenta costras de oxidación de limonita. Se hizo una descripción a cada mineral identificado, como sigue:

Goethita. En todas las muestras analizadas es el mineral más abundante, se presenta masiva y en agregados radiales, posee coloraciones gris medio a oscuro, con frecuentes reflexiones internas de color rojo amarillento. Esta reemplazando la hematita (Figura 12-A).

Hematita. Se destaca por su color blanco y reflectancia moderada a alta, en todas las muestras analizadas presenta reemplazamiento por lepidocrocita y goethita, principalmente de afuera hacia adentro. En la mayoría de los casos se presenta masiva, ocasionalmente se puede observar fibrosilada y raras veces cristalina tabular (Figura 12-B).

Lepidocrocita. Fácilmente identificable por su buena cristalización y marcada anisotropía de blanco, gris y negro; con hábitos aciculares a tabulares, en agregados radiales y en forma de drusa, relleno espacios vacíos; frecuentemente alterada a limonita (Figura 12-C).

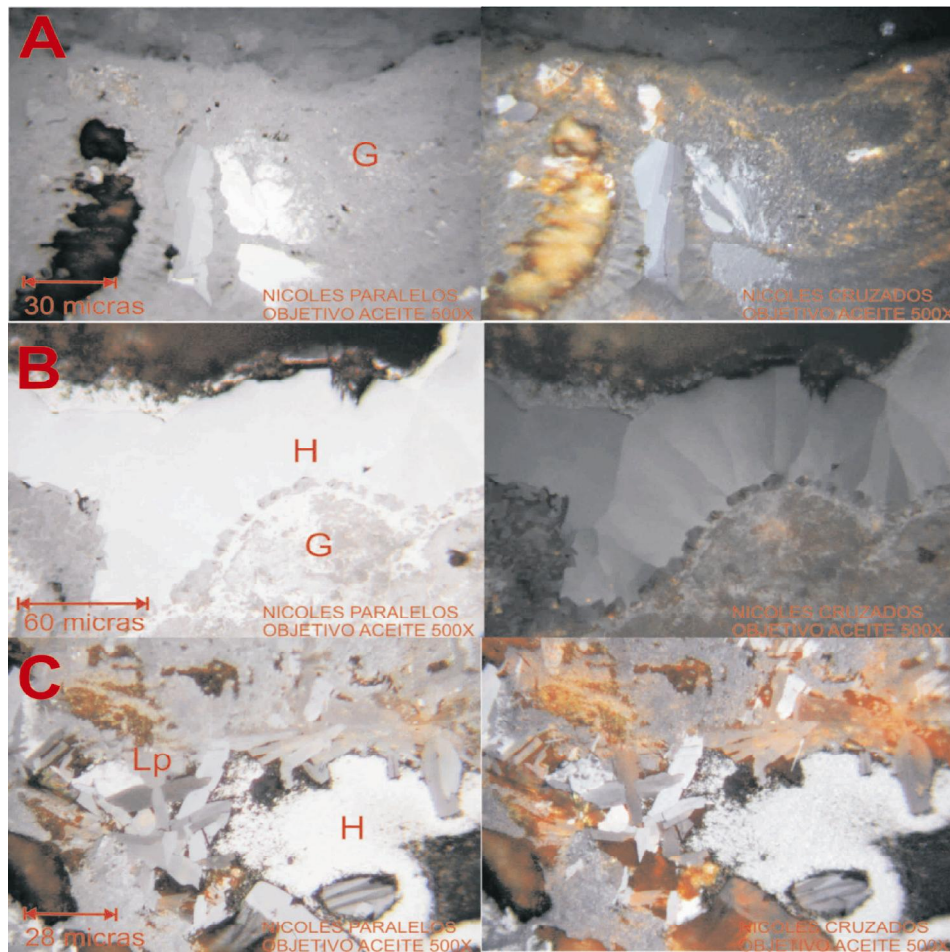


Figura 12. A. Paipa 1. En esta imagen el mineral abundante es goethita, en nicoles cruzados se observan las abundantes reflexiones internas de colores rojas a amarillentas. **B.** Paipa 3. Se observa el reemplazamiento de la hematita por goethita. Se diferencia la hematita de la goethita, por el color blanco y mayor reflectancia de la primera. **C.** La lepidocrocita se caracteriza por su buena cristalización, habito tabular y frecuentes reflexiones internas.

5. CONCLUSIONES

El análisis metalográfico permitió determinar que el constituyente principal en la manifestación de hierro en Paipa (Boyacá, Colombia) es la goethita en proporciones del 90%, seguido por hematita (6%) y lepidocrocita (4%). Todas las muestras presentan alteraciones superficiales a limonita.

Macroscópicamente es evidente la textura coloiforme, observada también microscópicamente, en especial en la goethita y lepidocrocita, minerales que se caracterizan por presentar texturas de reemplazamiento en el mineral hospedante hematita.

Las texturas de reemplazamiento son de tipo masivo, subdivididas en reemplazos centrípetos, centrífugos y pseudomórficos, de la goethita por hematita y de tipo automórfico, de la lepidocrocita por hematita, generándose un contacto en caries convexo hacia el mineral hospedante.

Las manifestaciones de hierro de Paipa, están asociadas a fluidos volcánicos ácidos que llevaron el hierro en solución y precipitaron por oxidación directa como hematita, en una primera etapa y por cambios en las condiciones del medio se presentó sustitución por hidróxido (goethita y lepidocrocita) para una segunda etapa.

6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido realizado gracias al apoyo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por el grupo de investigación de Ingeniería Geológica, con la participación en especial del técnico de laboratorio de Petrografía Carlos Vargas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, B. 1988. Notas sobre yacimientos de hierro en Colombia. INGEOMINAS. 152 P.
- Garzón, T. 2003. Geoquímica y potencial minero asociado a cuerpos volcánicos en la región de Paipa, departamento de Boyacá, Colombia. Tesis (Maestría Geología). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá. 107 P.
- Hernández, G y Osorio, O. 1990. Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del suroccidente de Paipa (Boyacá, Colombia). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá. 100 P.
- Malvicini, L y Saulnier, M. 1979. Texturas de depósitos minerales. Asociación Argentina de mineralogía, petrografía y sedimentología.
- Ortiz, F. 1992. Geología de los depósitos minerales metálicos. Universidad Nacional de Medellín. 217 P.
- Pardo, N y Alfaro, C. 2005. Caracterización de cenizas volcánicas por microscopía electrónica para determinar mecanismos eruptivos. Caso Volcán de Paipa, Boyacá. X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- Renzoni, G. 1981. Geología del cuadrángulo J - 12 Tunja. En: Boletín Geológico. Vol. 24, No. 2. Ingeominas: Bogotá; 31-48 P.
- Renzoni, G.; Rozas; H. y Etayo, F. 1983. Mapas geológicos plancha 171-Duitama, 191-Tunja. Escala 1: 100000. Ingeominas.
- Roeder, D. y Chamberlein, R. 1995. Eastern Cordillera of Colombia: Jurassic – Neogene Crustal Evolution. En AAPG Petroleum basing of south America, memoria 60. 645 P.
- Stanton, R. 1972. Ore Petrology. Ed McGraw Hill, New Cork. 558 P.
- Schouten, C. 1943. Structures and textures of synthetic replacements in open spaces. Ed Econ. 653 P.

