



REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA  
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

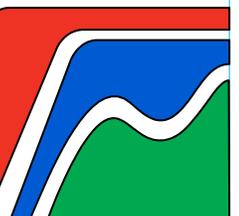
*Título: Caracterización mineralógica de las formaciones de rocas ferríferas-sílicatadas (tipo BIFs) del área de Vipongos por Difracción de Rayos - X.*

*Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga*

**Autor (a):** Loide Aurora António Calíata

**Tutor:** Dr. C Arturo Rojas Purón.

Moa, 2018  
“Año 60 de la Revolución”



## *Pensamientos*



*"Basta con asomarse a las puertas de la ciencia Contemporánea y moderna para preguntarnos si es posible vivir y conocer la ciencia del futuro sin un enorme caudal de formación y conocimiento".*

**Fidel Castro Cruz.**



*"La mayor gloria en la vida no consiste en no caer, sino en levantarnos cada vez que caemos. Debemos usar el tiempo sabiamente y darnos cuenta de que siempre es el momento oportuno para hacer las cosas bien".*

**Nelson Mandela.**



*"Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias, haz cosas ordinarias extraordinariamente bien".*

**Ernesto Che Guevara.**

***Dedicatoria***

*Dedico a mi familia porque han se esforzado en concederme la oportunidad de estudiar, por sus consejos paciencia y toda la ayuda que me brindaron para concluir mis estudios, su constante apoyo a lo largo de mi vida mi padre Rebello Samuel Calíata por estar siempre presente en mi vida dándome lo más importante de la vida el amor y la atención, mi madre María Madalena António por ser mi espejo, mi amuleto, mi luz, mujer batalladora que siempre me hace tener más fuerzas para continuar luchando.*

## *Agradecimientos*

*Primeramente vengo a dar gracias a Dios por permitirme tener la fuerza para terminar mi carrera, por cada detalle y momento durante la realización de mi tesis, gracias a él por ser la base de mi moral, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que también me permitió continuar con salud, fuerzas y empeño; para que con cada avance durante mi vida, cada experiencia y momento en mi vida, fuera solo un momento de aprendizaje, un momento mediante el cual crecí como persona.*

*Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a tí que esta meta está cumplida. Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mí persona.*

*Cada momento en vivido durante todos estos años, son simplemente únicos, cada oportunidad de corregir un error, la oportunidad de que cada mañana puedo empezar de nuevo, sin importar la cantidad de errores y faltas cometidas durante el día anterior.*

*Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi padre Rebello Samuel Calíata y mi madre María Madalena António por desearen y anhelaren siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida. Gracias a Dios por la vida de mis padres, también porque cada día bendice mi vida con la*

*hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más me aman, y a las que yo sé que más amo en mi vida, gracias a Dios por permitirme amar a mis padres.*

*Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí.*

*No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia mi hermana Denise Iracelma António Calíata, mis hermanos Edmilson Teotónio António Calíata y Henderson Rebello António Calíata.*

*Agradezco a mi novio, mi apoyo en Cuba, mi compañero, gracias por todos estos años de compañerismo.*

*Agradezco a mis tíos y tías en especial Anabela Calíata y Celeste Tembo.*

*Agradezco a mis primas.*

*Agradezco a mis hermanos, insoportables, chatos, compañeros de aula pasamos los 5 años de dificultad, percas de sueño, peleas, desentendimiento pero mismo así fuimos más fuertes que todo eso*

*conseguimos alcanzar los objetivos y concluir la meta de una de las etapas más importantes de nuestra vida... Albino Ramos, Geoveth Correia, Tomas Francisco, Leonor Villalón, Celia Rosa. Ustedes son inolvidables.*

*Agradezco también mis compañeros en Cuba Celmira, Anna, Dumíla, Wime, Mariza, Virginia, Alainé, Dulce, Salléte, Aldemiro, Ing. Miguel, Dr. Zeila, Ing. Custodia, Ing. Eliane, Ing. Clotilde, Ing. Irina.*

*El termino gratitud, no siempre es asociado o familiarizado con los profesores, estos en la mayoría de ocasiones son vistos con desprecio y asociados con personas que castigan o nos obligan a realizar actividades extracurriculares que causan banalidad en la optimización de nuestro tiempo; pero la realidad es que estas personas son sumamente importantes en nuestro desarrollo como personas, agradezco a los profesores que impartirán clases durante estos 5 años.*

*Quiero agradecer a mi tutor por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, por la caridad y exactitud, Dr. C Arturo Rojas Purón, gracias por haberme permitido el desarrollo de esta tesis y confiar en mí. Además agradezco al Ing. Luis Alberto Pérez García, Ing. Keilín Matos Pérez.*

*Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.*

## **RESUMEN**

El presente trabajo aborda la problemática mineralógica de las formaciones de rocas bandeadas ferríferas-silicatadas (conocidas como formaciones de tipo BIF) en el área de Vipongos, municipio Virei, provincia de Namibe, Angola. El principal objetivo es la caracterización mineralógica por medio de difracción de Rayos-X (DRX). Para dar solución a este problema se utilizaron como técnicas analíticas la Difracción de Rayos-X (DRX), Fluorescencia de Rayos-X (FRX) y el Recálculo Mineralógico. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que en el sector noroeste del área de estudio, se caracteriza por la presencia de rocas carbonatadas, conglomerados carbonatados-silíceos, bloques de chert y esquistos verdes micáceos. En el sector central es el de principal de aflorabilidad de las rocas bandeadas ferrosas-silicatadas con paragénesis fundamentales: hematita, magnetita, cuarzo, calcita, esquistos verdes micáceos (biotita y moscovita), plagioclasa y piroxenos. En el sector sudeste se prolongan las rocas silicatadas carbonatadas ferríferas bandeadas con mayor predominio de los esquistos verdes micáceos - cloríticos.

**Palabra claves:** Angola, chert, Difracción de Rayos - X (DRX), Formación de hierro bandado (BIF), Grupo de mena de hierro arqueozoico, hematita.

## **SUMMARY**

The present work deals with the mineralogical problems of ferriferous-silicate banded rock formations (known as BIF type formations) in the Vipongos area, Virei municipality, Namibe province, Angola. The main objective is the mineralogical characterization by means of X-ray diffraction (XRD). To solve this problem, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and the Mineralogical Recalculation were used as analytical techniques. From the results obtained it can be concluded that in the northwest sector of the study area, it is characterized by the presence of carbonate rocks, carbonate-siliceous conglomerates, chert blocks and green micaceous schists. In the central sector, it is the main source of outcrop of ferrous-silicated banded rocks with fundamental paragenesis: hematite, magnetite, quartz, calcite, green micaceous schists (biotite and muscovite), plagioclase and pyroxenes. In the southeastern sector the carbonated ferriferous silicate rocks banded with greater predominance of the green shales micáceos - cloríticos are prolonged.

Keyword: Angola, chert, X-ray diffraction (XRD), banded iron formation (BIF), archaeozoic iron ore group, hematite.

## **ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
Fases de óxidos.....	5
Fases de carbonatos .....	5
Fases de silicatos .....	5
Fases de sulfuros .....	6
Marco teórico contextual de la investigación.....	8
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FISICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE NAMIBE. ....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Ubicación geográfica.....	13
1.4 Vegetación .....	14
1.5 Hidrografía .....	15
1.6 Economía.....	16
1.7 Geología Regional .....	17
1.8 Geología Local.....	22
1.9 Geomorfología .....	25
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPLEADOS.....	27
Introducción .....	27
• Preparación de muestras.....	29
Zona de Estudio.....	30
2.3 Trabajos de campo y métodos de muestreo .....	31

2.4. Método de investigación mineralógica .....	34
Microscopía Óptica .....	34
Análisis de Fluorescencia de Rayos X.....	34
Análisis de la Técnica de Difracción de Rayos -X (DRX).....	35
Método de Recalculo Mineralógico .....	39
CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	40
Composición química de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF en Vipongos.....	64
Discusión de los resultados.....	67
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	70
Bibliografía.....	71
Anexos .....	1
Muestra P1.....	1
Muestra P5.....	2
Muestra P6.....	4
Muestra P7.....	6
Muestra P9.....	8
Muestra P11.....	9
Muestra P12.....	10
Muestra P14.....	12
Muestra P33.....	13
Muestra P34.....	15
Muestra P36.....	17
Muestra P41.....	19

*Trabajo de diploma*

Muestra P44.....	21
Muestra P45.....	23

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo aborda la problemática de caracterizar mineralógicamente las formaciones rocosas ferríferas-silicatadas del área de Vipongos, provincia Namibe, Angola, las cuales presentan mineralización metálica (hematítica) lo que indican que pueden ser formaciones de hierro bandeada, tipo BIF (Banded Iron Formation).

El hierro es el metal duro más usado, con el 95% en peso de la producción mundial de metal. El hierro puro (pureza a partir de 99,5%) no tiene demasiadas aplicaciones, salvo excepciones para utilizar su potencial magnético. El hierro tiene su gran aplicación para formar los productos siderúrgicos, utilizando éste como elemento matriz para alojar otros elementos aleantes tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material. Se considera que una aleación de hierro es acero si contiene menos de un 2,1% de carbono; si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición. El acero es indispensable debido a su bajo precio y tenacidad, especialmente en automóviles, barcos y componentes estructurales de edificios. Las aleaciones férreas presentan una gran variedad de propiedades mecánicas dependiendo de su composición o el tratamiento que se haya llevado a cabo. En la industria de la construcción se utiliza como piedra de fábrica, utilizado para pisos, peldaños de escaleras, bordes y marcos de las ventanas en la arquitectura se utiliza áridos decorativos, casas, piedra pavimentada, edificios de oficinas.

El término Formación Ferrífera (Iron Formation) se originó en la región Lago Superior (América del Norte-EUA) a partir de la contracción formación portadora de hierro (Iron Bearing Formation) (Van Hise & Leith, 1911; Sá da Silva, 2012).

Fue formalmente definida como una roca sedimentaria química, típicamente bandeada o laminada, contenido 15% o más del hierro, y presentando comúnmente, pero no necesariamente, bandeadas de chert (James 1954, Sá da Silva, 2012).

Actualmente son consideradas como formaciones ferríferas silicatadas, las rocas sedimentarias químicas que contienen cerca de 30% de hierro y 50% de sílice, una vez que 90% de las rocas así denominadas en campo presentan hierro entre 25 a 35%. (Trendall, 2002).

Ellas constituyen los depósitos metálicos más grandes de la tierra y constituyen las rocas fuentes del 95% de los recursos de hierro del planeta; son rocas sedimentarias metalíferas silíceas bandeadas (bandas ricas en Fe alternadas con bandas silíceas de chert) que constituyen enormes depósitos singenéticos por precipitación química y se presentan en secuencias estratigráficas del Precámbrico que alcanzan hasta cientos de metros de potencia y cientos a miles de metros de extensión lateral. Una buena parte de estas formaciones ferríferas son utilizables directamente como mena de hierro de baja ley y otras han sido productoras de depósitos de alta ley de Fe (particularmente cuando procesos supergenos han enriquecido el contenido de Fe del mineral por lixiviación de la sílice). Las menas de baja ley se benefician mediante molienda fina y separación magnética y/o gravitacional para concentrar magnetita y hematita, en forma de pellets con 62 – 65% Fe.

Se distinguen dos tipos de BIF que son: las bandas férricas, que están compuestas por minerales de hierro (óxidos e hidróxidos, normalmente magnetita – $\text{Fe}_3\text{O}_4$ – y hematites – $\text{Fe}_2\text{O}_3$ –) y son de color plateado a negro, y las bandas no férricas, por lo general de color rojizo, que están constituidas por lutitas y/o sílex.

Estos depósitos estratiformes de Fe se conocen generalmente como BIF formaciones de hierro bandeado (“Banded Iron Formations”), pero las rocas ferríferas bandeadas con jaspe o chert ferruginoso reciben el nombre de **Taconitas** en Norteamérica, **Jaspilitas** en Australia e **Itabiritas** en Brasil.

Las reservas de hierro en formaciones de hierro bandeado son enormes y estas se depositaron en el período comprendido principalmente entre los 2.500 y 1.900 Ma. El hierro depositado en ese período y todavía preservado es de  $10^{14}$  t y

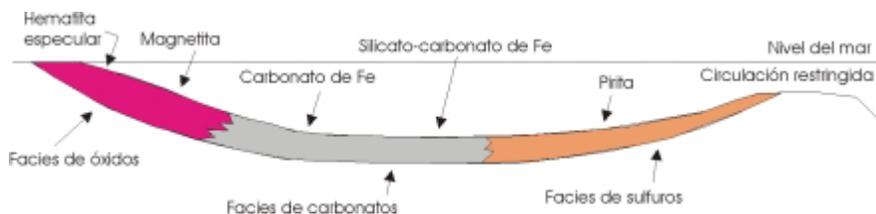
posiblemente de  $10^{15}$  t. En menor medida también se depositó Fe en el Proterozoico Medio a Superior (1.600 – 570 Ma). El consumo mundial de Fe actualmente alcanza a  $10^9$  t/año, por lo que las reservas de Fe en los BIF son realmente enormes. La región del Lago Superior al norte y centro de los Estados Unidos y sur de Canadá es la más productiva de mineral de hierro en el mundo a partir de formaciones de hierro bandeado; en América del Sur Brasil es el mayor productor de hierro seguido de Venezuela a partir del mismo tipo de depósitos sedimentarios.

Las formaciones de hierro bandeado se caracterizan por una laminación fina. Las capas son generalmente de 0,5 a 3 cm de potencia y, a su vez, están laminadas a escala milimétrica a fracciones de milímetro. Las bandas consisten en capas de sílice (chert o sílice cristalina) alternando con capas de minerales de Fe. La más simple y común es la alternancia de chert y hematita. Sin embargo, el Fe se presenta en **magnetita** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), **hematita** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), **limonita** ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), **siderita** ( $\text{FeCO}_3$ ), **clorita** ( $(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mg})_3(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), **greenalita** ( $\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), **minnesotaíta** ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), **estilpnomelana** ( $(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})_{0,6}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_6\text{Si}_8\text{Al}(\text{O}, \text{OH})_{27} \cdot 2-4\text{H}_2\text{O}$ ), **grunerita** ( $(\text{Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), **fayalita** ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) y **pirita** ( $\text{FeS}_2$ ) Esta laminación fina de óxidos de Fe y de sílice se interpreta como una precipitación cíclica que pudo estar relacionada a variaciones estacionales (invierno – verano), las que influyeron ya sea en las condiciones físico-químicas de los mares de la época o bien en variación de condiciones favorables para el desarrollo de bacterias u otros organismos que pudieron contribuir a la precipitación del hierro.

Existe consenso que el hierro de los BIF fue precipitado químicamente o con participación biogénica en forma subacuática (sedimento químico). En el BIF de Gunflint de Ontario, Canadá se han identificado algas azules-verdes y hongos fósiles, algunos de los cuales se parecen a bacterias que actualmente pueden crecer y precipitar hidróxido férrico en condiciones reductoras, sugiriendo la participación de organismos en la precipitación del Fe.

Por otra parte, tampoco existe consenso respecto al origen del Fe de los BIF: una escuela de pensamiento considera que proviene de la erosión de masas terrestres (meteorización de minerales ferromagnesianos: olivino, piroxenos, anfíboles, biotita), mientras que otra plantea que provendría de actividad exhalativa volcánica (actividad hidrotermal subacuática relacionada a vulcanismo). Lo que parece claro es que las condiciones ambientales de la tierra (a nivel planetario) en el Precámbrico eran distintas a las actuales, existían océanos más someros, mayor actividad volcánica y la atmósfera terrestre era rica en CO<sub>2</sub>, pero deficiente en oxígeno, por lo que se supone que en los mares y lagos de esa remota época existía un ambiente esencialmente reductor y se ha sugerido que el pH del mar era algo más bajo que el actual.

Las formaciones de hierro bandeado presentan Fases de óxidos, carbonatos, sulfuros y silicatos las cuales gradan entre sí y se han interpretado como resultado de precipitación de los minerales en distintas secciones de cuencas marinas someras precámbricas gracias a la disponibilidad de iones en las aguas. Las fases de óxidos son las relevantes como mena de hierro. La depositación de cada Fases estuvo controlada por condiciones de Eh y pH del medio dentro de las cuencas de sedimentación, especialmente por el potencial de oxidación – reducción relacionado al contenido de oxígeno del agua. Valores relativamente bajos de Eh y pH favorecen la precipitación de pirita, mientras que valores altos favorecen la precipitación de óxidos; los carbonatos y silicatos precipitaron en condiciones de Eh y pH intermedias.



**Figura 1.** Zonación de fases en formaciones de hierro bandeado producto de depositación en una cuenca ideal en la cual precipitan compuestos de hierro.

Entonces se pueden definir como principales componentes mineralógicos los siguientes (James, 1954):

**Fases de óxidos:** son las más importantes, puesto que constituyen la mena de hierro explotable, y pueden subdividirse en subfases de hematita y de magnetita, entre las cuales existe una completa gradación. La hematita en los BIF menos alterados se presenta en forma de especularita gris a gris azulada. Existen comúnmente texturas oolíticas sugiriendo depositación en aguas someras, pero en otros casos la hematita es granular sin estructura. El “chert” varía desde material criptocristalino de grano fino a granos de cuarzo entre crecidos (producto de recristalización de sílice amorfa). En las subfases menos comunes de magnetita, se presentan capas de magnetita alternando con capas de silicatos o carbonatos de Fe y capas silíceas. Las Fases de óxidos tienen entre 30-35% Fe y esas rocas son explotables con concentración magnética o gravitacional de los minerales de hierro.

**Fases de carbonatos:** contienen siderita o ankerita como constituyentes principales ellas poseen en la alternancia de chert y siderita (carbonato de Fe) en proporciones iguales. Puede gradar a través de rocas con magnetita – siderita – cuarzo a las fases de óxidos y por la adición de pirita a fases de sulfuros. La siderita parece haberse acumulado como barro fino debajo del nivel de la acción de oleaje y no presenta texturas oolíticas o granulares.

**Fases de silicatos:** Es más compleja y depende en gran medida del grado de metamorfismo post-deposicional. En condiciones metamórficas de grado relativamente bajo, en la zona de biotita y menor, pueden estar presentes greenalite, minnesotaite, stilnomelano, chamosita, ripidolita (clorito de Fe), riebeckita y ferriannita. En grados más altos, cummingtonite, grunerita, piroxeno, granate y fayalita pueden ocurrir, generalmente se asocian con magnetita, siderita y chert, los cuales forman capas alternadas. Las Fases de carbonatos y silicatos

de los BIF típicamente tienen 25-30% Fe, lo cual es bajo para ser de interés económico y presenta problemas en su beneficio.

**Fases de sulfuros:** Estas consisten en arcillas carbonosas con pirita caracterizadas por estar finamente laminadas con contenido de materia orgánica y carbón de hasta 7-8%. El sulfuro principal es pirita muy fina.

Existen tres tipos principales de formaciones de hierro bandeado (BIF) que son:

**BIF Tipo Algoma:** Este tipo es característico de fajas de rocas verdes del Arcaico (esquistos verdes) y en menor medida del Proterozoico. Muestran una asociación volcánica con grauvacas que sugiere un ambiente de cuenca extensional (rift). Presentan las Fases de óxido, carbonato y sulfuros; los silicatos de Fe se presentan en las Fases de carbonatos. Su potencia es desde pocos centímetros a cientos de metros y es raro que sean continuas más allá de unos pocos kilómetros de corrida. La asociación con volcanitas ha hecho que se favorezca un origen volcanogénico exhalativo para este tipo de formaciones de hierro bandeado. Entre las formaciones de hierro bandeado se intercalan rocas máficas y félsicas, grauvacas volcanoclásticas y pizarras.

**BIF Tipo Superior:** Estas son rocas finamente bandeadas en su mayor parte correspondientes a las Fases de óxidos, carbonatos y silicatos. Usualmente están libres de material clástico. Una característica prominente de estos BIF es un bandeamiento rítmico de capas ricas en Fe y capas silíceas pobres en Fe, las cuales normalmente varían en espesor desde un centímetro a un metro aproximadamente. Este bandeamiento es distintivo y permite la correlación de BIF por distancias considerables (Ej. en Australia occidental el Hamersley Brockman BIF puede correlacionarse sobre 50.000 km<sup>2</sup>).

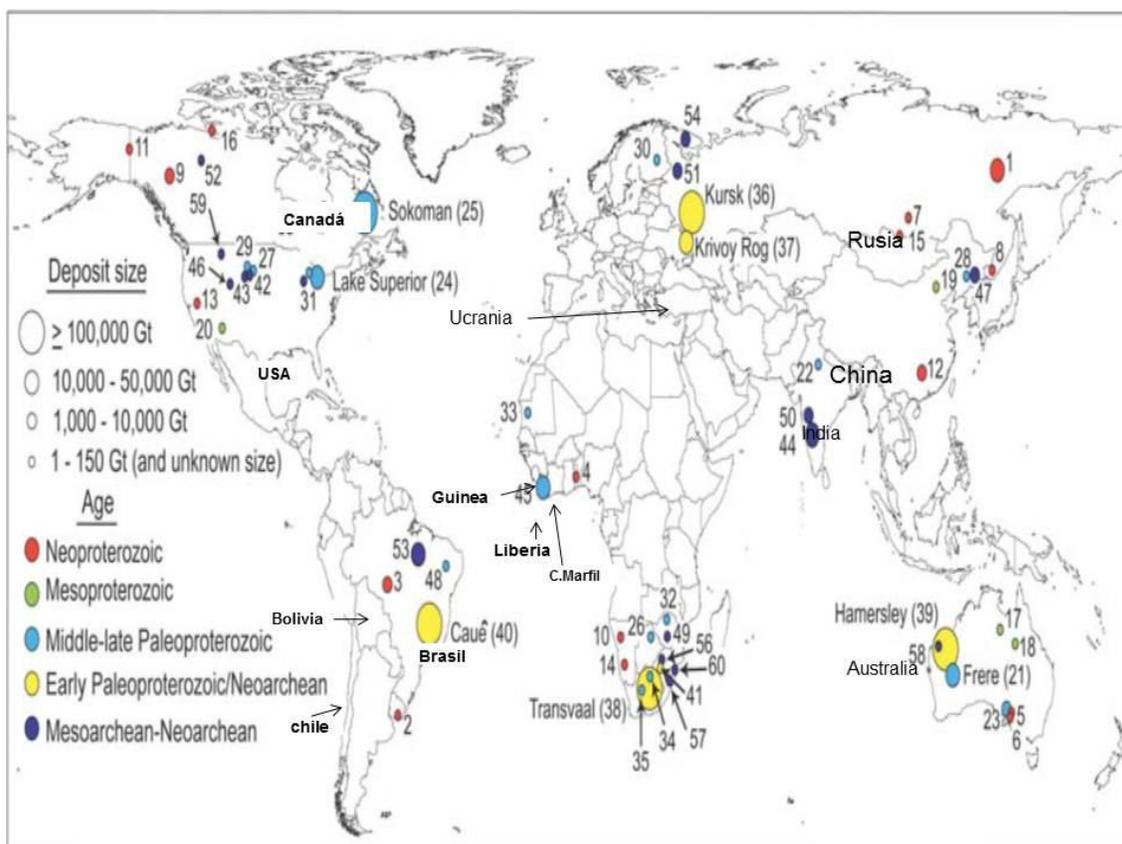
Los BIF tipo Superior están asociados a rocas como cuarcitas, y lutitas carbonosas, así como con secuencias de dolomitas, arcosas, conglomerados,

pizarras negras, chert masivo y arcillolitas. Las rocas volcánicas no siempre están asociadas con este tipo de BIF, pero frecuentemente pueden estar presentes en la columna estratigráfica. Los BIF tipo Superior pueden extenderse lateralmente por cientos de kilómetros y variar su espesor desde decenas de metros a centenas de metros. Las secuencias en las que se presentan estos BIF se presentan en general discordantes sobre un basamento con alto grado metamórfico y los BIF, por lo general, están presentes en la porción inferior de la secuencia.

Las estructuras sedimentarias de los BIF tipo Superior indican que ellos se formaron en aguas someras en plataformas continentales, en cuencas evaporíticas cerradas por barras, zonas costeras planas o en cuencas intracratónicas.

**Tipo Rapitan:** las formaciones de hierro de este tipo son las menos abundantes. Son de edad Proterozoico tardío (800-600 millones de años), y se asocian a depósitos de tipo Su mineralogía es muy sencilla, estando formadas básicamente por hematites y cuarzo.

Las principales unidades estratigráficas donde se localizan las formaciones rocosas tipo BIFs en el mundo son:



**Figura 2.** Formaciones rocosas tipo BIFs en el mundo (según Bekker, 2010).

### **Marco teórico contextual de la investigación.**

Las rocas tipo **BIF** que se encuentran en el registro geológico hace unos 3.800 Ma, a comienzos del eón Arcaico, si bien la mayor parte de ellas tienen una edad comprendida entre hace 2.500 y 1.800 Ma (comienzos del Proterozoico), estando directamente relacionadas con el evento conocido como la Gran Oxidación. Después de esto, las formaciones de hierro bandeado desaparecen del registro hasta hace unos 800 – 600 Ma, momento en que vuelven a depositarse en grandes cantidades, al parecer en relación a ambientes glaciales (Geofrik, 2013).

El origen de las formaciones de hierro bandeado es, a día de hoy, motivo de discusión, no existiendo todavía un consenso claro. No obstante, existen tres factores importantes aceptados por la gran mayoría de la comunidad científica (Geofrik, 2013):

1. Son resultado de los ambientes de la antigua superficie terrestre, y requieren de unas condiciones redox y unas vías de transporte del hierro muy diferentes a las que hay en la actualidad (Trendall, 2002; Klein, 2005).
2. La ausencia de elementos detríticos en estas rocas indica que se depositaron por debajo del nivel de base del oleaje (Benedetto, 2010).
3. Para su formación se requiere la presencia de  $Fe^{2+}$  (hierro en estado reducido) disuelto en el agua, por lo que es muy importante conocer las fuentes del mismo (actualmente, tanto la magnetita como la siderita son los mayores proveedores de  $Fe^{2+}$ , (Klein & Beukes, 1992).

El mineral de hierro, uno de los principales recursos minerales de Angola, ya no se extraía desde finales de la década de 1980 debido a la guerra civil y los subsiguientes problemas de seguridad y transporte. Desde mediados de la década de 1950 hasta 1975, el mineral de hierro fue extraído en las provincias de Malanje, Bié, Huambo y Huila, y la producción alcanzó un promedio de 5.7 millones de toneladas por año entre 1970 y 1974. La mayor parte del mineral de hierro fue enviado a Japón, Alemania Occidental y Gran Bretaña, y obtuvo casi 50 millones de USD al año en ingresos de exportación. Después de la independencia, la reactivación de la minería de hierro es parte de los planes del gobierno. Por lo tanto, el gobierno estableció una compañía estatal, la Compañía Nacional de Hierro de Angola (Empresa Nacional de Ferro de Angola - Ferrangol) para la exploración, extracción, procesamiento y comercialización de mineral de hierro. El distrito de hierro de Cassinga contiene al menos 500,000,000 toneladas métricas de mineral explotable con un contenido de hierro superior al 35%. Los controles geológicos con los que deben tener en cuenta la planificación de la mina y la decisión de preparación del mineral son, principalmente, unidades mineralógicas después de estratigráficas. Las investigaciones geológicas concluyeron que el distrito de Cassinga Iron tiene un potencial económico definido y que se justifica una investigación más detallada.

En la provincia Huila, el distrito de Cassinga Iron, es un área en la extensa meseta del Huila, en el centro-sur de Angola. En general, los depósitos BIF se agrupan en

dos grupos: un grupo, cerca de la ciudad de Jamba, se conoce como North Cassinga, y el otro, cerca de Tchamutete, como South Cassinga. La región de Cassinga se caracteriza por estrechos pliegues sinclinales y anticlinales con un eje de pliegues generalmente norte-sur, que es paralelo a la foliación regional, comúnmente se hunden hacia el sur a 10 o 30 grados.

Las rocas más antiguas en la región de estudio son gneises graníticos precámbricos metamorfoseados a facies de anfibolitas. Las rocas volcano-sedimentarias más jóvenes (Grupo Jamba) que cubren los tipos de granito son de importancia económica como fuente primaria de hierro y otros elementos económicos. Esta secuencia volcanosedimentar considerada por medios estratigráficos de más de 2.5 Ga, se puede dividir en tres zonas distintas. Una anfibolita basal metamorfoseada y una zona andesítica lava almohadilla dominada con potencial no comprobado para depósitos de cobre, manganeso y hierro. Una zona intermedia, económicamente más prospectiva, con pequeños complejos de andesitas y riolitas se asocia con jasperlita que contiene rocas detríticas volcánicas, se asocia con depósitos de BIF. La fases de óxido es dominante aunque existen facies locales de silicato y sulfuro. Brechas volcánicas y tobas constituyen la zona superior de la secuencia volcanosedimentar. Una secuencia predominantemente terrígena se superpone a la secuencia volcanosedimentar. Los granitos sinorogénicos con diques de dolerita asociados son las rocas más jóvenes en la región de Cassinga. Cahen et al. (1984) fecharon a aproximadamente 2.15 Ga un proceso de este tipo, que fue seguido por intrusiones graníticas tardías y post-orogénicas, y anógenas, y actividad volcánica entre 2.05 y 1.75 a 1.65Ga. En el depósito de Cateruca, un sinclinal contiene una formación de hierro bandeado compuesta de sulfuro basal y facies de silicato superpuestas clasificadas en una facies de óxido de unos 200 m de espesor. La litología dominante se caracteriza por la intercalación regular de capas ricas en cuarzo, magnetita y hematita ricas desde menos de un milímetro hasta 15 cm de espesor con contactos agudos entre las capas de magnetita y cuarzo y deformación incluyendo bandas onduladas, pliegues isoclinales y cuarzo Boudins.

Después del plegado, las fallas severas produjeron tres conjuntos estructurales principales. Los diques fueron emplazados en estas estructuras. Más tarde, el depósito fue levantado, erosionado y oxidado.

Hasta el momento no existe reporte en el territorio de Angola de las formaciones de rocas ferríferas bandeadas tipo BIF. El grupo tipo BIF pueden ser correlacionable con el Supergrupo Transvaal (Cratón Kaapvaal) existente en Sudáfrica.

Luego, el problema a resolver, puede estar enfocado en lo siguiente:

### **Problema científico**

El insuficiente conocimiento de la composición mineralógica que presenta las rocas de formación de hierro bandeado (tipo BIFs) en el área de Vipongos, Virei, Namibe, Angola.

### **Objeto de estudio**

Las rocas bandeadas ferríferas - silicatadas, conocidas como tipo BIFs, existente en el área de Vipongos, Virei, Namibe, Angola.

### **Campo de acción**

Caracterización mineralógica de las formaciones de rocas ferríferas-silicatadas (tipo BIFs) del área Vipongos, Virei, Namibe, Angola.

### **Objetivo general**

Caracterizar mineralógicamente las formaciones rocosas ferríferas-silicatadas bandeadas (tipo BIFs) del área del Vipongos utilizando técnicas de Difracción de Rayos – X (DRX).

### **Objetivos específicos**

1. Argumentar la necesidad de caracterizar mineralógicamente las formaciones rocosas de hierro bandeado, tipo BIFs, en el área de Vipongos.
2. Exponer las características geológicas de las formaciones rocosas tipo BIFs, desde el punto de vista regional como local del área de Vipongos.
3. Declarar los materiales y métodos empleados en la caracterización mineralógica de las formaciones rocosas tipo BIFs en el área de Vipongos.
4. Caracterizar mineralógicamente las formaciones rocosas tipo BIFs en el área de Vipongos.

### **Hipótesis**

Si se determinan las secuencias de rocas con características atribuibles a las formaciones rocosas de hierro bandeado, tipo BIF y se valoran sus aspectos mineralógicos por Difracción de Rayos X, se podrá precisar la composición mineralógica de estas rocas.

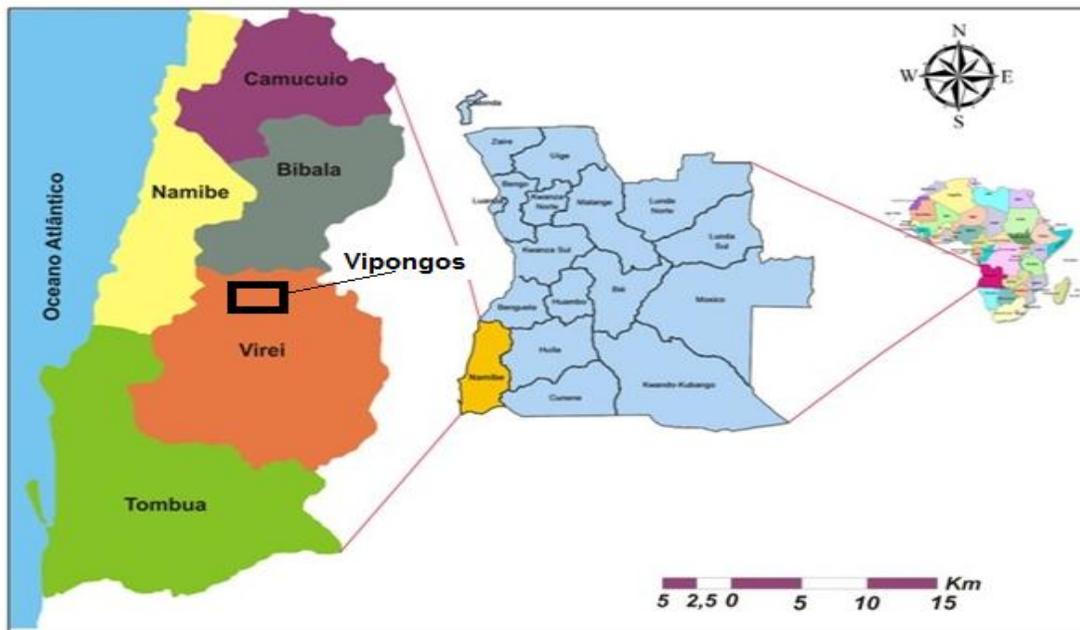
# CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE NAMIBE.

## 1.1. Introducción.

En el presente capítulo se exponen los principales aspectos físicos, geográficos, climáticos y geológicos del sector analizado, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del área de estudio.

## 1.2. Ubicación geográfica

Namibe es una de las dieciocho (18) provincias de Angola, país que se sitúa en la región austral del continente africano, con una extensión territorial de 1.246.700 km<sup>2</sup>, limitado al norte pela República del Congo y la República Democrática del Congo, al Leste por Zambia, al sur por Namibia y al oeste con Océano Atlántico. El área de estudio Vipongos se encuentra ubicado en el municipio Virei, provincia Namibe (con un área aproximada de 57 091 km<sup>2</sup>), situado en el litoral sur de Angola (figura 1.1), está 42 km al sur del Camino de hierro de Mosamedes a NE de Namibe.



**Figura 1.1** Ubicación geográfica del área de Vipongos, provincia de Namibe, Angola (Hortênsio Bondo, 2012)

### **1.3 Clima**

A pesar del clima desértico, la corriente fría de Benguela modifica esta realidad. La temperatura media de la ciudad de Namibe (actual ciudad de Mosamedes, volviendo al nombre utilizada en el período colonial, recordando que la provincia continúa llamándose Namibe, sólo el municipio es que volvió a llamarse Mosamedes) es de 23°C siendo las temperaturas bajas en la estación seca y altas en la estación del frío. Entre marzo y mayo son los meses donde ocurren con mayor frecuencia las lluvias. Junio y julio son los meses más fríos, con eventuales heladas. Los meses más cálidos son diciembre, enero y febrero las temperaturas más bajas pueden llegar a los 8 ° C y las más altas a los 32 ° C.

### **1.4 Vegetación**

La vegetación predominante en esta región es de desierto, poblada de pequeños arbustos en estepa. Se destaca la hermosa planta exótica *Welwitschia Mirabilis*. Las formaciones desérticas comprenden diversas especies herbáceas arbustivas y subarbustivas, siendo las especies *Cistus* y *Welwitschia mirabilis* las más representativas (figura 1.2).

- Durilignosa;
- Hiemilignosa del tipo *Berlinia-Brachystegia-Combretum* Se extiende desde las mundas de la hambada hasta Cainde (*Virei*). Aún de Cainde hacia el norte están representadas también las formaciones dominadas por *Adansonia digitata*. A lo largo de algunos cursos de agua, se encuentran galerías forestales;
- Mato de elementos varios con diversas especies del género *Acacia* diseminadas (Hiemilignosa);
- En el caso de que se produzca un cambio en la calidad de vida de la población, se debe tener en cuenta que, en el caso de las especies de peces, como la *Spirostachys africana*;

De acuerdo con Bettencourt y Cotta (1962), la zona semi-desértica o marginal estaba compuesta por plantas gramíneas (con destaque para las especies semi-terminales), leguminosas (plantas más apetecidas por el ganado).



**Figura 1.2** Planta propia de la vegetación de la región de estudio, conocida como *Welwitschia mirabilis*.

### **1.5 Hidrografía**

La ciudad de Namibe tiene en sus proximidades el Río Bero que se encuentra seco la mayor parte del año. El río separa los barrios del Sacomar, Kambongue y Barrio de la Juventud del resto de la ciudad.

Los principales ríos que corren en la provincia de Namibe (figura 1.3), (PDIPN) son, desde del sur al norte:

- Curoca, nace en la meseta de la Huila, su curso superior es conocido por Pocolo y su principal el afluente es el Otchifengo. Desagua en la bahía Pinda, municipio del Tômbua;
- Río Flamingos;
- Cunene, no corriendo dentro del territorio de la provincia, sirve de límite sur de la misma, en la frontera con la República de Namibia. Nace en el

Huambo, atravesando la Huila, recorre la frontera sur de la provincia de Namibe y desemboca en el océano Atlántico al sur del Tômbua;

- Cangala y Catara, no limita al norte de la provincia.
- Carunjamba, nasce en Quéria y drena en el municipio de Lucira;
- Inamangandu, drena al sur de Lucira;
- Bentiaba, nasce en la sierra S-SW de lá comuna de Lola y desemboca en la localidade del Bentiaba;
- Giraul, nasce en la región de Bibala;
- Bero, nasce en la provincia da Huila y desagua en la bahía de Namibe;

Con excepción de Cunene, todos los otros ríos son de curso intermitente, permaneciendo seco por parte del año.



**Figura 1.3** Localización de las principales cuencas hidrográficas de la provincia de Namibe. (José Fernandes, 2014).

## **1.6 Economía**

- Minerales: oro, cobre, manganeso, cromo, estaño, lignito y mucho mármol.
- Principales Producciones: cítricos, olivos, vid, guayaba, masilla.
- Ganadería: ovinos Caraculo, caprinos.

La pesca es otro medio de sustento para el pueblo de Namibe. El pueblo de la provincia los Cuval, pastores por naturaleza, descienden del grupo Herero. La ciudad de Tômbua dista a 93 km de la ciudad de Namibe. Es el mayor centro pesquero de la provincia y quizá del país. En el desierto del Namibe se puede ver la rara planta *Welwitschia mirabilis*, y también el Parque Nacional del Iona. El desierto del Namibe ocupa un área de 310 000 km<sup>2</sup>.

El aeropuerto Yuri Gargarine y el Puerto Comercial, son las dos fuerzas que se asocian al transporte por carretera para la importación y exportación de los productos.

### **1.7 Geología Regional**

Desde el punto de vista geológico, se establece en la zona de Namibe dos grandes e importantes distinciones entre los materiales constituyentes: los del Precámbrico (piso inferior) y los del Fanerozoico (piso superior). Los primeros representan el basamento Cristalino, constituido por el complejo litológico-estructural del Arcaico y del Proterozoico precoz, modelado a base de sucesiones de orogenias Precámbricas. Los segundos materiales, del Fanerozoico, que están representados por la cobertura del tipo plataforma, generalmente subhorizontal, no metamorfizada y muy poco afectados por basculamiento y constituidos por los complejos del Proterozoico tardío, Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (Araújo & Guimarães, 1992 y Gonçalves, 2007).

- **Rocas del basamento Cristalino**

En la mayoría de los casos, las rocas del basamento cristalino son de edad precámbrica y están representadas por tres (3) unidades: Arcaico Superior, Proterozoico Inferior y Proterozoico Superior.

- **Arcaico Superior**

En el Arcaico superior, a lo largo del ciclo Limpopo-Liberiano (2900-2600 Ma) se desarrollaron en la región Sudoeste del Escudo de Angola varias secuencias

litológicas, de la base a la cima, cuarcitos, mármoles y esquistos. Estas rocas son intruidas por pequeños macizos granitoides de composición diorítica, granitos porfiroblásticos y leucocráticos en las zonas de contacto entre el Arcaico Superior y la secuencia metamórfica del Grupo Superior del Arcaico Inferior.

Las secuencias de cuarcitos y mármoles (500-700 m de espesor) forman importantes relieves. El corte más completo que las representa, se observa en la Sierra de la Luna, en la zona de Namibe y está compuesto por tres unidades fundamentales:

- La unidad inferior, formada por cuarcitos, esquistos con biotita, gneises con biotita y anfibolitos (165 m en total);
- La unidad media está constituida por rocas terrígenas, carbonatadas, con alternancia de metagrauvas, cuarcitos, mármoles y dolomitas (capas de 5-40 m de espesor) y esquistos, con un espesor total de 300 m.
- La unidad superior está formada principalmente por cuarcitos así como por algunas intercalaciones de rocas carbonatadas, esquistos con biotita y anfibolitas, con un espesor total de unos 705 m (Gonçalves, 2007).

En la misma zona, se pueden distinguir tres formaciones compuestas por rocas metamórficas de grado bajo a alto (Carvalho, 1988):

- Formación Caiombo, compuesta por arenitas;
- Formación Ovipaca, compuesta por esquistos de composición variable con intercalaciones de cuarcitos, brechas, conglomerados y anfibolitas en las zonas con manifestación de metamorfismo de grado medio, aunque en la zona con metamorfismo de alto grado afloran esquistos con granada, antofilita y estaurolita. Los esquistos forman grandes afloramientos en toda la región;
- Formación Muva-Ancole, compuesta por cuarcitos sericíticos y arenitas rojizos.

En el sudoeste de Angola existen áreas de esquistos y mármoles que llegan a ser muy importantes que representan la serie del Mesoarcaico en el Escudo de

Angola; este conjunto de materiales se agrupa en una gran unidad regionalmente importante en el sur de Angola denominada de Complejo esquisto-anfibolítico, probablemente superior a 3000 Ma (Carvalho, 1984; Carvalho y Alves, 1990; Gonçalves, 2007). Ocurren fenómenos anatécnicos, se generando migmatitas de composición diorítica-granodiorítica y plagiogranitos (Silva y Mata, 1974; Carvalho, 1983; Gonçalves, 2007). Como ocurre en otras regiones Precámbricas del planeta, hay en los materiales del Arcaico de la región SW de Angola, la representación de áreas de "GreenstoneBelts- Cinturones de Rocas Verdes" (Gonçalves, 2007).

- **Proterozoico**

En el territorio angoleño, las rocas del Proterozoico, se subdividen en dos grupos de edad Proterozoico inferior y superior y ambos están separados por el límite de edad correspondiente a  $1650 \pm 50$  M.a.

- **Serie del Proterozoico inferior**

En ese primer grupo, aparecen rocas metamórficas que son muy diferentes de las del Arcaico Superior. En estas, se reconoció muy complejas: a) a las fábricas de Troughs, con series Vulcano-sedimentarias espesas, dentro de las depresiones tectónicas afectadas por metamorfismo de grado bajo, en fábricas de esquistos verdes; b) Arqueamientos Regionales, con series poco espesadas, discontinuas y esencialmente terrígenas englobando de las estructuras arcaicas (cinturones de las rocas verdes y bloques de la corteza continental primitiva).

Las rocas verdes y depresiones aparecen evidentemente en la parte NE de Namibe y están constituidas por rocas vulcanosedimentar de grandes espesores, en (1933) los montes de Oendolongo, situados a la SW de la ciudad de Huambo, en los interflúvios de los ríos Catumbela y Cunhoñamua, en las zonas de Oendolongo e individualizado por Mouta y O'Donnel (1933), está representada en la zona de Namibe por el Sistema Oendolongo que según Carvalho y Alves (1993) es equivalente a la Formación Chela de la zona del Lubango.

Considerando este Sistema, Mouta (1954) en dos (2) grupos: o Grupo inferior, con conglomerados, grauvacas y esquistos, y un Grupo superior, silíceo.

Reconoce además, intrusiones ígneas en este sistema como riolitas, habiéndose observado impregnaciones de cobre a lo largo de estos grupos.

Silva y Pasi3n (1974), Gonçalves (2007) estudian tambi3n esta formaci3n, concluyeron que est3 compuesta de la base a la cima por conglomerados basales (2-30 m), rocas vulcanosedimentar y volc3nicas 3cidas, seguidos por arenitas y arcosas (p. 100-150 m), grauvacas, itabiritos, conglomerados y areniscas (hasta 200 m).

En las partes este y nordeste de la zona de Namibe, la formaci3n en referencia est3 constituida por rocas Vulcanosedimentar y volc3nicas 3cidas (dacitas, riolitas) medias e incluso b3sicas con proporciones variables de metaconglomerados, BIF y mica. La edad proterozoica inferior de las rocas vulcanosedimentar de esta formaci3n es confirmada, por las fechas isot3picas existentes (Rb-Sr) (Torquato y Oliveira, 1977; Felizardo y Patricio, 2012).

Se distinguen varios diques del Proterozoico Inferior en los granitoides del Arc3ico y Proterozoico:

Diques de composici3n media (dioritas, dioritas cuarcitas y microdioritas) y diques de composici3n 3cida (pegmatitas).

Los diques est3n representados por actinolitas con paso a piroxenos anfibol3ticos o hornblenditas (Ara3jo, 1988).

Aparecen en esta edad, intrusiones de granitos biot3ticos porfiroides, con mega cristales de feldespato pot3sico que afloran en el rio Bero en el 3rea afecta pelo campo pegmat3tico de Gira3l y que merecen especial atenci3n por su car3cter alcalino, as3 como por la presencia de minerales accesorios como zirc3n, titanio, apatito e fluorita. Estos granitos se agrupa dentro de los granitos de Caraculo-Bibala a NE de la Ciudad de Namibe y est3n relacionados con las zonas de

cinturones móviles que sufrieran activación Precámbrica, (Carvalho, 1984; Gonçalves, 2007).

- **Proterozoico Superior**

Dentro de los límites del Escudo de Angola, el Proterozoico superior está constituido por rocas terrígenas-carbonatadas (esquisto grasoso y en menor promedio por pizarra calcárea).

Esta roca, en la zona de Namibe es evidente en el área de la Espinilla cuyas rocas se atribuyen al Grupo Chela que se divide en dos formaciones de edad diferente: Humpata, es inferior y constituida por materiales terrígenos; y Leba que es superior, constituida por materiales carbonatados (Carvalho, 1971). Las rocas de las formaciones arriba mencionadas son cortadas por numerosos umbrales y diques doleríticos del rifeño medio al tardío (Correia, 1976).

- **Formación Humpata**

Esta formación se basa en una clara discordancia estructural sobre la superficie erosionada de las antiguas rocas metamórficas del Arcaico y sobre las rocas magmáticas del Proterozoico inferior. Su espesor varía, de un área a otra, de 200 a 500 m. En la región de la Humpata, en las proximidades de la ciudad de Lubango, el corte de la formación, de abajo hacia arriba, presenta la siguiente sucesión: conglomerados, cuarcitos y gres, argilitas, gres cuarzoso, siltitos y argilitas (Vale, 1973).

- **Formación Leba**

Según algunos autores, la formación Leba se encuentra en desacuerdo sobre las rocas de la formación Humpata. Esta formación tiene un espesor de 60 m y está representada por rocas carbonatadas constituidas por calcáreos gris-azulados y dolomitas macizas, con intercalaciones de materiales silíceos, calcáreos estromatolíticos y oolíticos (Correia, 1976).

## **1.8 Geología Local**

Vipongo está a 42 km al sur del ferrocarril de Mosamedes a NE de Namibe. Geológicamente presenta rocas antiguas (Cristalinas), esquistos, granitos, cuarcitos, mármoles, anfibolitas, gneises o metagranitos, etc. Se encuentran también andesitas y traquitas del Mesozoico a lo largo del camino entre Vipongo y Piedra Grande (Granítica) formando una llanura montañosa de andesita. Los esquistos tienen direcciones N 20° - 40° W e inclinaciones de 60° - 70° SW.

Se localizan, a nivel de afloramientos, vetas y lentes de cuarzo que contienen minerales de cobre (calcopirita, bornita, calcosina y alguna malaquita).

Del Km 28 en adelante aparecen afloramientos de esquistos y granitos (granito Caraculo) en montículos y en bloques. Curiosamente estos cuerpos graníticos presentan cavidades almacenadoras de agua de las lluvias, localmente denominadas por Cacimbas. La mayor de ellas es la Cacimba del Nacimiento con 8x12 m y una profundidad de 7 m, que en la estación seca es salvación para los habitantes del desierto. Estas Cacimbas están formadas por disolución y alargadas a lo largo de los tiempos por procesos intempéricos que actúan en estos granitos, en una época que había lluvia abundante.

El área de estudio (Vipongos) se inserta dentro de un complejo Arcaico superior y Proterozoico precoz del Sudoeste de Angola, en la parte Oeste de la Sierra de la Chela y cerca de la zona de contacto por fallas, con la Depresión Periocéánica (Cuenca de Mosamedes) de rocas sedimentarias de edad Cretácica inferior a la Cuaternaria.

Los afloramientos del complejo arriba mencionado están compuestos por rocas metamórficas muy antiguas. Son frecuentes gneises, migmatitas, granitoides, pegmatitas, rocas metavolcánicas y volcánicas ácidas (dacitas, riolitas) de medias hasta básicas y una secuencia metasedimentaria significativa conocida como el complejo metamórfico esquistoso-cuartzítico-anfibolítico que incluye capas de mármol (común en Caraculo). Son frecuentes en el área, los fenómenos de chertificación.

Segundo Pereira et al. (2011) expone que la tendencia estructural de gneises, migmatitas y del complejo metasedimentario es principalmente WNW-ESSE, en las áreas no afectadas por el episodio tectono metamórfico Eburneano (2.1-1.8 G.a).

El área de estudio presenta afloramientos con series de metatufitas, series metasedimentarias, metavulcanicas básicas, metacherts, metacherts con BIF's, psamito y conglomerados. Estas series son todas intruidas por filones cuarzo-feldespático.

Las rocas son mayoritariamente esquistosas de coloración pardusco y gris-verdosa que se caracterizan por presentar una asociación mineral de cuarzo + sericita + clorita + biotita / moscovitas ± epidota. Las laminaciones son muy finas cuando en esta asociación predomina biotita / moscovitas ± clorita y donde predomina el cuarzo, las laminaciones son más gruesas. El color marrón y verdoso que estos esquistos presentan, es debido, a la epidotización del feldespato, cloritización de la biotita ya la alteración del material rico en óxido de hierro. Los esquistos cuarzo-sericíticos, son grises pálidos.

Los esquistos en referencia se encuentran intercalados principalmente con cherts, BIF, pegmatitas, mármoles y basaltos.

Aflora en la parte Centro y NE del área de estudio, un arenisca de constitución variada, es decir, conteniendo grano de cuarzo, esquistos, hematites, feldespatos, etc. esta arenisca se encuentra en desacuerdo, con las rocas del basamento.

En la parte oriental del área, brechas carbonatadas ligadas por un cemento, esencialmente, carbonatado confirmado a través de la efervescencia con HCl, así como guijarros y fragmentos de granitos y granitoides encontrados en las vertientes de los montes.

Según Carvalho (1969), los granitos que afloran en el área son alcalinos y calco-alcalinos. Poseen características intrusivas y en el contacto con las formaciones

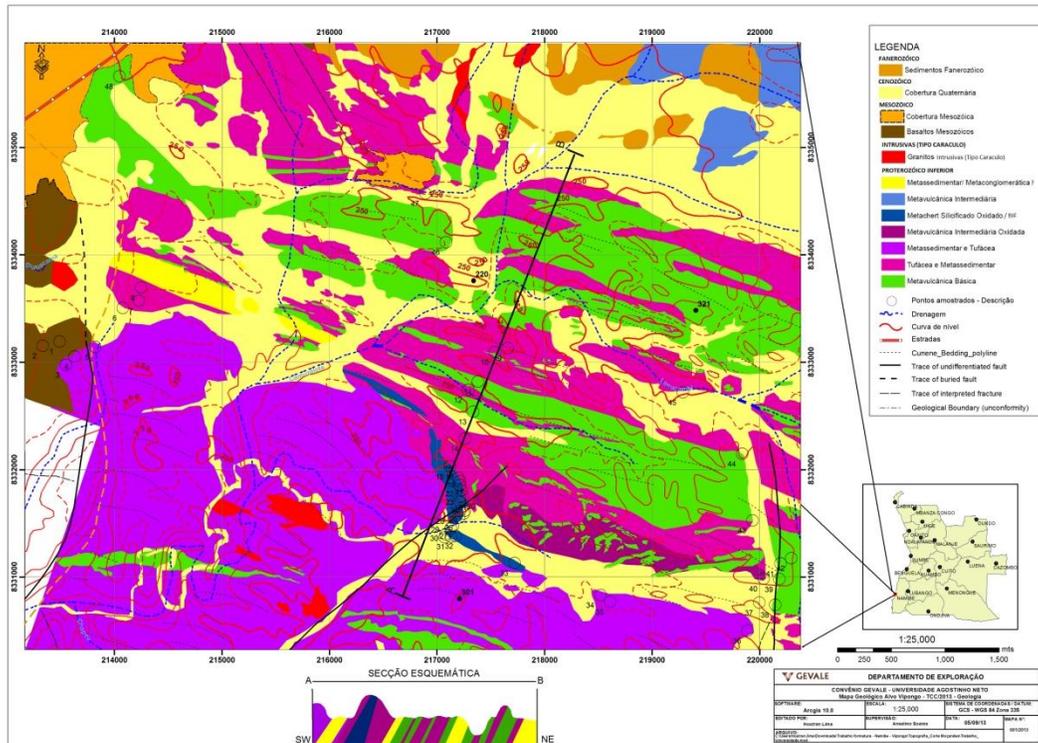
calcáreas que existen en el área aparecen, minerales y rocas de metamorfismo de contacto, (hornfels).

La ocurrencia de rocas ricas en hierro se destaca en la topografía local, en la parte Central y Sudeste del área de estudio, formando pequeñas series de cerros alargados en la dirección NNW-SSE, donde la cima de estas series es sostenida por laderas contienen bloques y fragmentos angulosos resultantes de la fractura, desagregación e intemperismo de las formaciones ferríferas silicatadas.

El área de estudio presenta una diversidad geológica, que va desde el Proterozoico Inferior al Cuaternario (figura 1.4).

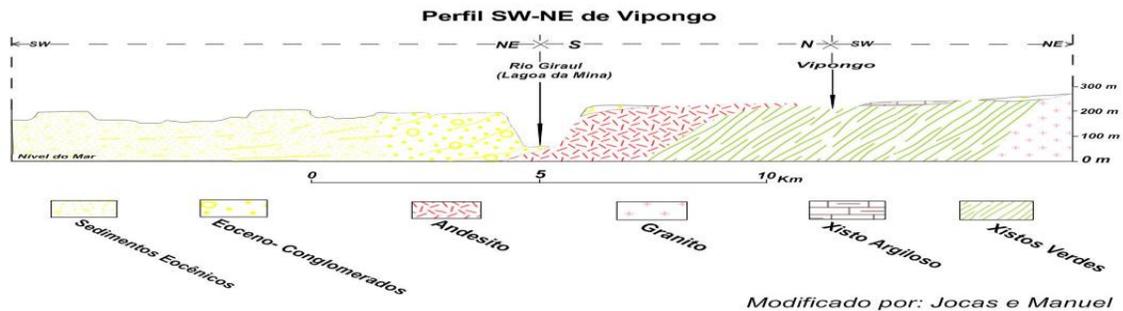
Las rocas del Proterozoico Inferior que afloran en el área son: metavulcánicas básicas (esquistos), tufáceas y metasedimentarias, metavulcánicas intermedias oxidadas, metacherts silicificados oxidados (BIFs) y metaconglomerados.

Las rocas del Mesozoico que afloran en el área son: intrusiones graníticas, basaltos, andesitas y rocas de coberturas de la misma edad.



**Figura 1.4** Mapa geológico da área de Vipongos, al nordeste de la ciudad de Namibe. Escala 1:25.000. Fuente: Departamento de Exploración de Gevale, 2012.

El área de estudio según el perfil A-B, revela un relieve prácticamente aplanado con una altitud que varía entre 200 y 250 metros en relación al nivel medio del mar. El área presenta las siguientes litologías (variando del suroeste al noreste) andesitas, granitos, esquistos arcillosos y esquistos verdes y granitos (figura 1.5).



**Figura 1.5** Perfil geológico sudoeste-nordeste da área de Vipongos (según Faber, 1926).

## 1.9 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, según la Misión de Pedología de Angola (1963), se consideran cinco zonas distintas, distribuidas en el sentido interior-costa de la siguiente forma:

a) Montaña marginal- corresponde al macizo montañoso conocido por sierra de la Chela, se encuentra en el límite oriental de la provincia y se extiende entre la región norte de la Bibala hasta cerca del río Cunene, ocupando cerca del 7% del territorio;

b) La zona transitoria, comprendida entre 700 y 1100 m- constituye un nivel de aplanación con pocos kilómetros de ancho entre Bibala y Río Curoca, pero se encuentra bien desarrollado al norte de la Bibala y en la parte sur de la provincia, entre los ríos Curoca y Cunene;

La región central, de cuotas comprendidas entre 250 y 700 m, comprende una vasta zona constituida fundamentalmente por formaciones antiguas, que corresponden a cerca del 50-60% del territorio. Se caracteriza por la presencia de las llamadas «islas de rocas», originadas por el descenso de la superficie, como resultado de la erosión;

d) Zona planáltica costera - constituida por formaciones sedimentarias recientes que, en ciertos casos, se prolonga hasta la costa;

e) Zona litoral, de cotas inferiores a 100 m- aquí se distingue dos terrazas de abrasión cuaternarias, con una extensión variable.

## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPLEADOS.

### Introducción

Por las características físicas y la naturaleza de los minerales estudiados, se hizo necesario el uso de la técnica instrumental moderna de análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y químicas empleando FRX y Recalculo Mineralógico, para la determinación de los principales constituyentes de los BIF. La siguiente investigación se realizó en tres etapas fundamentales como se ilustra en el flujograma (figura 2.1). Una primera etapa dedicada a la revisión bibliográfica, una segunda etapa dedicada a los trabajos de muestreo, preparación de muestras y laboratorio, y una tercera etapa dedicada al trabajo de gabinete donde se interpretaron los registros de Difracción de Rayos X.



Figura 2.1 Flujograma ilustrativo de las etapas fundamentales de la investigación.



**Figura 2.2** Imagen de satélite utilizada para la planificación del trabajo de campo indicando los trayectos seguidos en el estudio de los afloramientos. Fuente: Google earth, 2012.

En cada uno de los puntos observados fueron escogidos cerca de dos (2) kilogramos de roca para estudios posteriores en laboratorios. Para la conservación de las muestras se utilizaron bolsas de plástico resistentes y cuerdas de cincel para atarlos, como se indica en la figura 2.3.

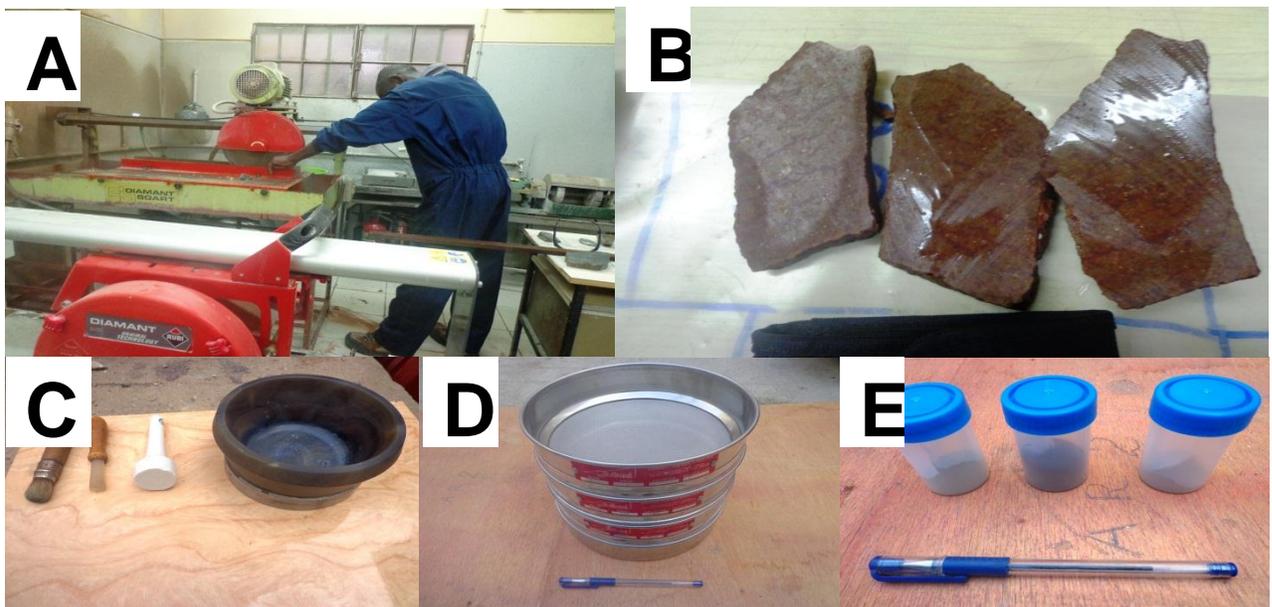


**Figura 2.3** Sacos de plásticos y cuerdas de Cincel usados en muestras durante la fase de campo en el área de estudio, Vipongos.

## 2.2 Fase de Laboratorio

### • Preparación de muestras

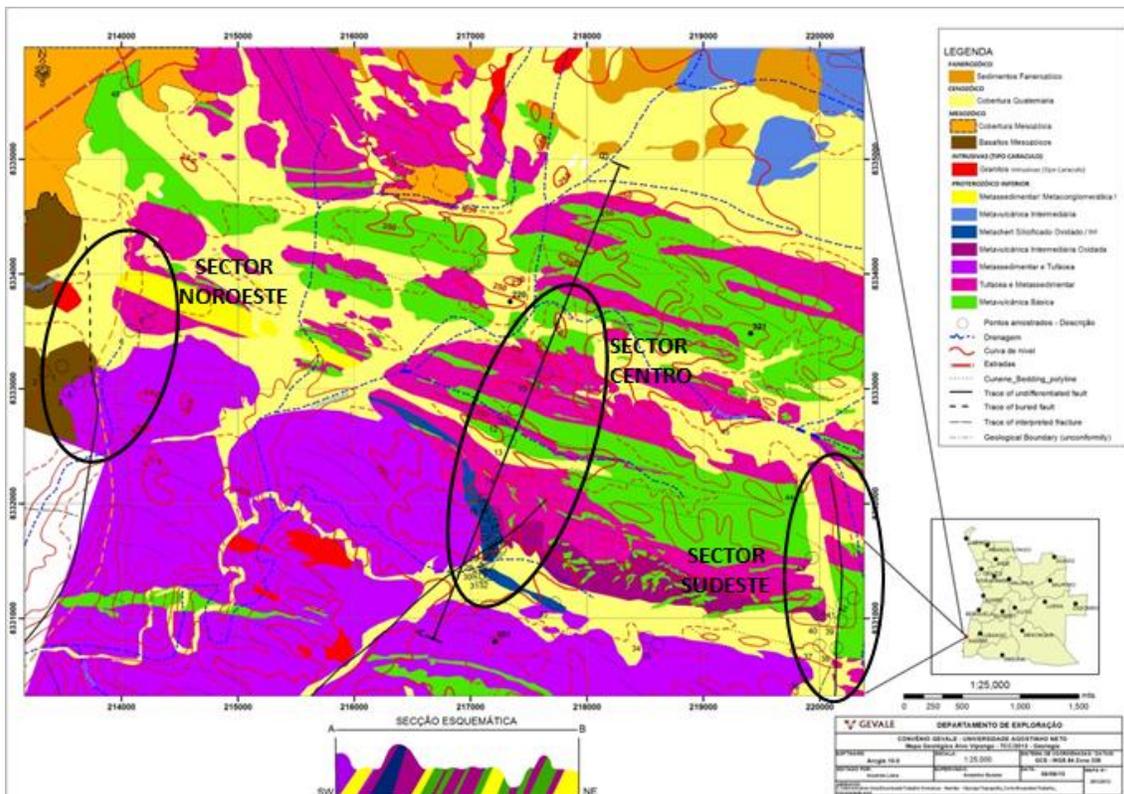
En el conjunto de las muestras de rocas recolectadas sobre el terreno, cada una de las muestras se lavó con agua y tallada en el sector de corte del laboratorio pertenencia del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Agostinho Neto. A continuación, se separaron las muestras recortadas de manera que se obtuvieran (secciones) de las mismas. Una parte destinada a la descripción macroscópica y para el análisis químico por la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX). La otra parte de ellas está tierna y tamizada para ser usada para análisis mineralógicos por Técnica de Difracción de Rayos - X (DRX). (figura 2.2.1)



**Figura 2.2.1** Ilustración de los pasos seguidos en el laboratorio para el proceso de análisis. Sector de corte de muestras (A); Muestra recortada (B); Almohada y sus accesorios utilizados a escala de laboratorio en la preparación de muestras para análisis (C); Cribas de varios diámetros (D); Recipiente plástico para la colocación de las muestras en polvo (E).

## Zona de Estudio

De acuerdo al propósito de caracterizar mineralógicamente las formaciones rocosas ferríferas silicatadas que afloran en el área de Vipongos y tomando como base la existencia de magníficos afloramientos detectados en la etapa de reconocimiento geológico de esta área, se establecieron (3) sectores previamente trazados por el geólogo al servicio de la región GEVALE, Empresa Minera, para que los trabajos de campo fueran dirigidos en estos sectores. Se estableció el Sector Noroeste, el Sector Centro y el Sector Sudeste, conforme nos indica la figura abajo.



**Figura 2.2.2** - Mapa geológico del área de Vipongos en el noreste de la ciudad de Namibe en la escala 1: 25.000 indicando los tres (3) sectores noroeste, centro y sureste que fueron objeto de toma de muestras. Fuente: Departamento de Exploración de Gevale, 2012.

Los afloramientos en cada uno de los sectores elegidos fueron observados y descritos como se indica a continuación.

### **2.3 Trabajos de campo y métodos de muestreo**

En el estudio de las formaciones ferríferas - silicatadas en el área de Vipongo se pudo constatar una tendencia o predominio de determinados tipos litológicos, al desplazarnos del noroeste (NW), hacia el centro y finalmente sudeste (SE) del área, por lo que es adecuado caracterizar según estos tres sectores.

#### **Sector Noroeste**

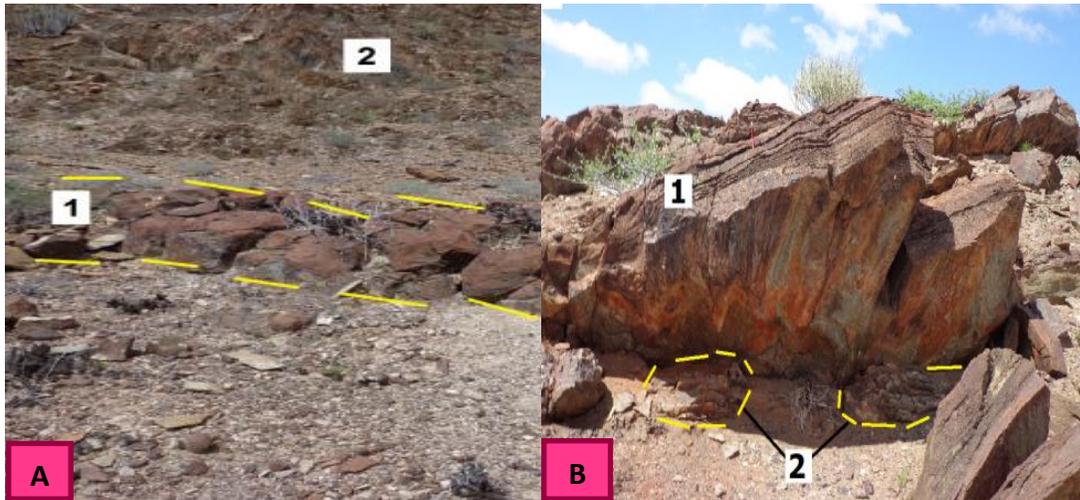
El sector noroeste (NW) se caracteriza fundamentalmente por rocas silicatadas carbonatadas con cuarzo, conglomerados formados por sílice, plagioclasa (albita), micas (biotita), aparecen en el mismo sector esquistos verdes (micáceo) estratificados y exfoliados con una mineralización cuarzosa, además bloques de rocas silicatadas carbonatadas con cuarzo y dolomita (chert).



**Figura 2.3.1** Afloramientos de rocas silicatadas ferruginosas bandeadas, tipo BIF A: Rocas carbonatadas; conglomerados blancos; B: bloques de chert con cuarzo asociados a esquistos micáceos estratificados y exfoliados.

#### **Sector Central**

En este sector central es donde se localizan los grandes afloramientos de rocas silicatadas ferruginosas bandeadas, tipo BIF, donde aparecen los grandes cuerpos de rocas duras, compactas, parduzcas, bandeada, compuesta principalmente de cuarzo, plagioclasas, micas, magnetita y hematita, de color grisáceo rojizo.



**Figura 2.3.2** Afloramientos de rocas silicatadas ferruginosas bandeadas, tipo BIF A: Diques de rocas volcánicas alteradas (1) que intruye a secuencias de esquistos micáceos (2); B: Rocas silicatadas ferruginosas bandeadas, tipo BIF (1), asociado en su parte inferior (2) material micáceo.

### Sector Sudeste

Es un sector donde la asociación de las rocas silicatadas ferríferas bandeadas (BIF) con los esquistos verdes. Existiendo hacia su porción septentrional cuerpos rocosos tipo BIF mejor desarrollados, aunque ya en ellos se observan componentes micáceos y cloríticos en un mismo afloramiento.



**Figura 2.3.3** Afloramientos de rocas silicatadas ferruginosas bandeadas, tipo BIF Rocas tipo BIFs A: Rocas silicatadas carbonatada - ferríferas bandeadas con esquistos verdes

micáceos; B: Rocas bandeadas ferruginosas. Existe predominio de esquistos verdes (micáceos y cloríticos), que abundan más hacia el extremo este.

**Tabla 2.1** Distribución de los puntos de afloramientos por sectores en el área de Vipongos, provincia de Namibe.

<b>Sector de Estudio</b>	<b>Puntos de afloramientos</b>	<b>Observaciones:</b>
Noroeste (NW)	P1, P5, P6, P7.	<b>Rocas carbonatadas; conglomerados</b> blancos; bloques de <b>chert</b> con cuarzo asociados a esquistos micáceos estratificados y exfoliados.
Centro	P9, P11, P12, P14, P33, P34.	<b>Diques de rocas volcánicas</b> alteradas. <b>Rocas tipo BIFs:</b> silicatadas - carbonatadas - ferríferas bandeadas. <b>Esquistos verdes</b> (micáceos) asociados a BIF. <b>Mineralización de hierro</b> asociada esquistos verdes.
Sudeste (SE)	P36, P41, P44, P45.	<b>Rocas tipo BIFs:</b> silicatada – carbonatada - ferríferas bandeadas con esquistos verdes micáceos. Existe predominio de <b>esquistos verdes</b> (micáceos y cloríticos), que abundan más hacia el extremo este.

## **2.4. Método de investigación mineralógica**

### **Microscopía Óptica**

Las muestras colectadas tuvieron un reconocimiento mineralógico elemental empleando el microscopio binocular marca COLEMAN, tomando como base las propiedades físicas diagnósticas (color, brillo, morfología cristalina, clivaje, dureza) de los granos minerales, lo que permitió un reconocimiento elemental de la composición mineralógica de las muestras.

### **Análisis de Fluorescencia de Rayos X**

La espectrometría por Fluorescencia de Rayos-X (FRX) corresponde a una técnica de control biométrico para determinar la composición química de diversos materiales, esencialmente, materiales geológicos como rocas y suelos. Es una técnica de análisis cuantitativo. Es una técnica de amplificación de detección, que cubren un número considerable de elementos en concentraciones que varían de algunas ppm al 100%.

Para esa tarea, se seleccionaron algunas muestras que fueron debidamente preparadas y sometidas a lecturas a través, de un portátil de fluorescencia pertinente a la Empresa Nacional de Hierro de Angola (Ferrangol E.P). El aparato se denomina EDX-Pocket iii del modelo EDX-P730-Skyray. Es un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X, especialmente, desarrollado para el campo y en el lugar de análisis. El EDX-P730 es de pequeño volumen, peso ligero y portátil. La lectura se realiza de forma directa en la que el usuario se asegura el instrumento con una de las manos por un tiempo aproximado de cinco (5) minutos.

Los resultados se pueden editar directamente en el sitio a través de un PDA / APD (Asistente de personal digital) acoplado en el instrumento después, estos datos pueden ser almacenados en un PC, ser salvos en el programa Excel y posteriormente ser impresos.

Se destacan en este equipamiento algunas especificaciones técnicas que son:

- Detector: Si-PIN de 13 milímetros;
- Límite de detección: 0.001% ~ 0.01%;
- Número probado simultáneamente: 26 elementos químicos;
- Tipo de muestra: sólido, líquido o en polvo;
- Tiempo de detección: 10 a 200 Segundos;
- Fuente de excitación: mini-tubo de rayos X de 40 kV / 50MA con ánodo de Ag;
- Peso: 1, 35 Kg.



**Figura 2.4.1** Imagen que ilustra el momento en que lo hace con la unidad portátil de fluorescencia de rayos X, EDX-bolsillo III en Ferrangol E.P, para leer la composición química de las muestras.

Estos análisis se realizaron, determinaron los elementos químicos en estas muestras y su posterior interpretación. En este proceso, cerca de nueve (9) elementos menores (V, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, (Zr, Pb) y cuatro (4) elementos trazas (Ag, In, Ta, y Se).

### **Análisis de la Técnica de Difracción de Rayos -X (DRX)**

Para la caracterización mineralógica de las muestras, el tamaño de las mismas, moliéndolas y tamizándolas hasta adquirir las dimensiones granulométricas adecuadas para la ejecución de los análisis. El objetivo de la muestra en forma de

polvo es garantizar que todos los planos cristalinos se parezcan y asimilan todas las reflexiones posibles a partir de los planes para que se revelen las múltiples fases mineralógicas. Para que tal condición sea la adecuada, es de capital importancia que la muestra posea una granulometría de cerca de 5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), siendo que partículas de tamaño inferior pueden llevar a la formación de fases amorfas. (Formoso, (1984) y Silva, 2013). Las cantidades para ese fin tenían que ser representativas del afloramiento muestreado.

Los análisis por Difracción de Rayos X (DRX) se realizaron en el Laboratorio de Rayos X del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Agostinho Neto. Las muestras previamente molidas y homogeneizadas, fueron prensadas en porta-muestras múltiples preparadas para el procesamiento.

El aparato utilizado para la realización de los análisis fue el difractómetro X'PertPRO de la marca PANalytical configurado en la geometría vertical  $\theta$ - $\theta$ , con tubo de rayos x de cobre, soporte para muestras y detector a gas del tipo proporcional (figura 2.4.2). Todas las muestras preparadas fueran sometidas a las resoluciones de medidas del difractómetro tal como se describe en la Tabla 2.2



**Figura 2.4.2** Difractómetro X'Pert PRO de la PANalytical existente, en el DEI-Geología de la Facultad de Ciencias Universidad Agostinho Neto (FCUAN).

**Tabla 2.2** Condiciones de medida del Difractómetros a las muestras en el momento del procesamiento.

Parámetros	Condiciones
Radiación	Cu K $\alpha$ ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ )
Tensión	40 kV
Corriente	45 mA
Rango angular de barrido ( $2\theta$ )	5 a $90^\circ$
Paso angular ( $2\theta$ )	$0,02^\circ$
Tiempo de barradura por paso	0,5 s
Tempo de barradura total	35 minutos
Fenda soller (óptica primaria)	0,04 rad
Fenda soller (óptica secundaria)	0,04 rad
Fenda de divergencia (pulgada)	$1^\circ$
Fenda receptora (pulgada)	$1^\circ$
Máscara 15 mm	Máscara 15 mm

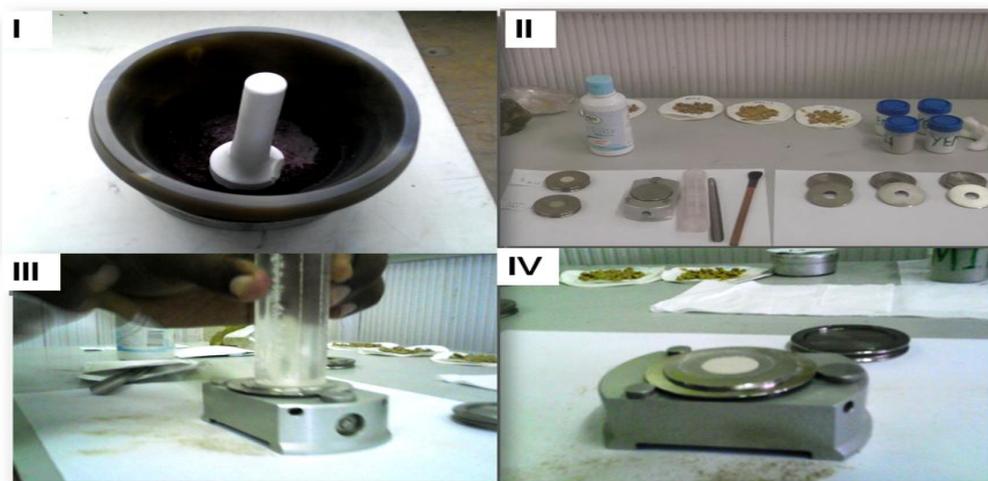
Los datos de las muestras tomadas por el difractómetro, durante la lectura de los mismos, fueron recogidos, procesados y almacenados por el software Data Collector PANalytical. Estos datos recolectados por la decantación en la forma de difractogramas interpretados por el software en epígrafe (figura 2.4.3).

Los análisis de los resultados de las muestras se realizaron con el uso del software HighScore Plus 3.0 de PANalytical que presentaba un avanzado de búsqueda automática a la base de datos de difracción e incluyendo incluso los análisis cristalográficos y los fundamentos para el análisis cuantitativo de fases, que fue un gran desafío. Los análisis realizados por medio de la comparación de

los difractogramas de los grupos de referencia organizados en fichas, disponibles en la base de datos International Centre for Diffraction Data (ICDD) y Power Diffraction File (PDF) destinados a los datos es del 2010.

En el procesamiento de las muestras se observaron los siguientes pasos como se describe a continuación:

- 1- Enumerar la muestra (hacer referencia);
- 2- Pulverizar la muestra;
- 3- Preparar en el porta muestras;
- 4- Colocar (prensar) la muestra de la porta-muestra;
- 5- Pegar muestra importa-muestra;
- 6 - Llevar y colocar muestra en el soporte de muestras del Difractómetro de Rayos-X.



**Figura 2.4.3** conjunto de imágenes que ilustran los procedimientos de preparación laboratorio de las muestras en el laboratorio de Rayos-X. (I), accesorios usados para la preparación de las Porta-Muestras (II), momento de aplicación del polvo en la Porta-Muestras (III) y Porta-Muestras con el polvo nivelado y preparado para el Difractómetro (IV).

### **Método de Recalculo Mineralógico**

Es un método que permite calcular la cantidad de minerales presentes en una muestra, a partir de la composición química de la muestra. De otro modo, conociendo la composición mineralógica cuantitativa de la muestra se puede determinar el contenido estimado de los principales componentes químicos de la muestra.

### **CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

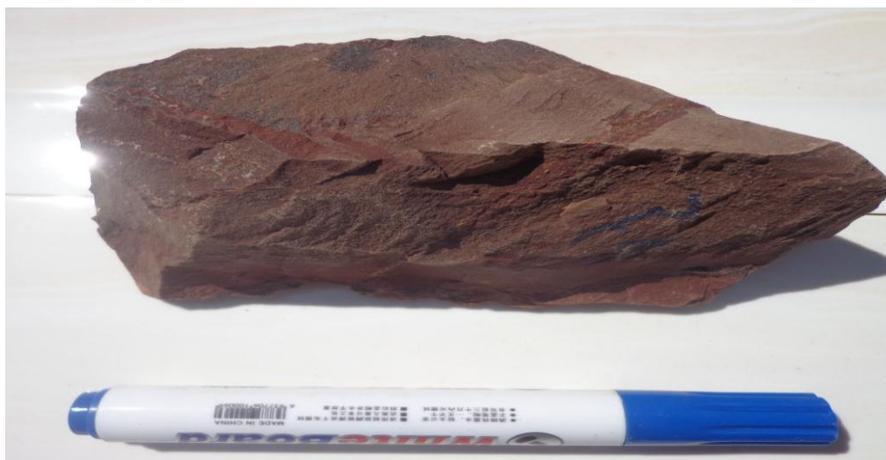
**Determinación de la composición mineralógica de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF, empleando Técnicas de Difracción de rayos X (DRX).**

#### **1-Sector Noroeste**

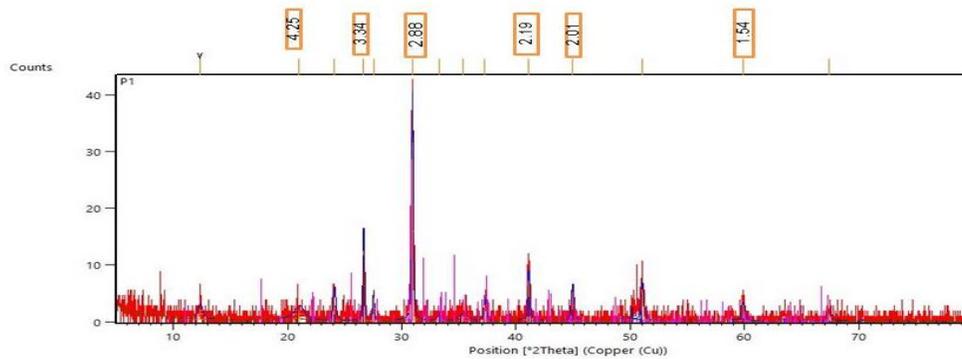
En este sector se realizaron DRX en cuatro (4) muestras donde se logró hacer la interpretación de los difractogramas de Rayos X y se encontraron minerales abundantes como las micas (moscovita ( $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ ), biotita ( $K(Mg,Fe^{2+})_3(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ ), flogopita ( $K(Mg,Fe,Mn)_3Si_3Al_10(F,OH)_2$ )), cuarzo ( $SiO_2$ ) se pudo observar además los carbonatos (dolomita( $CaMg(CO_3)_2$ ), anquerita( $CaFe(CO_3)_2$ ) y calcita ( $CaCO_3$ ); además albita ( $NaAl_3SiO_8$ ).

#### **Muestra P 1**

Roca de coloración castaña con granulometría fina, composición mineralógica de dolomita, anquerita y cuarzo.

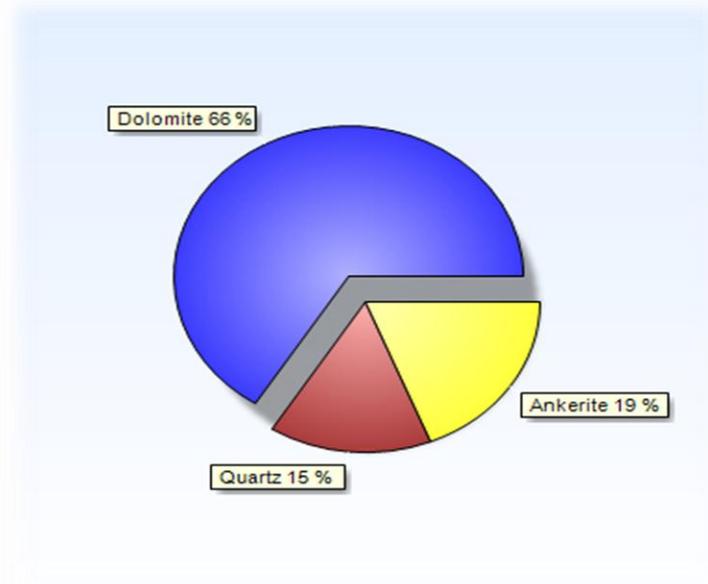


**Figura 3.1** Roca carbonatada - silíceas, compuesta por dolomita, anquerita y cuarzo.



**Figura 3.2** Difractograma de Rayos-X de la muestra P1. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En el difractograma de la muestra P1 se encontraron picos principales con reflejos difractométricos: 2.88 Å; 2.19 Å; 2.01 Å, distintivos para el componente carbonatado, dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) que ocupa el 66% de la muestra y ankerita ( $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ) que ocupa el 19% de la muestra. Además, aparece los reflejos: 4.25 Å; 3.34 Å; 1.54 Å del cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa el 15% de la muestra.



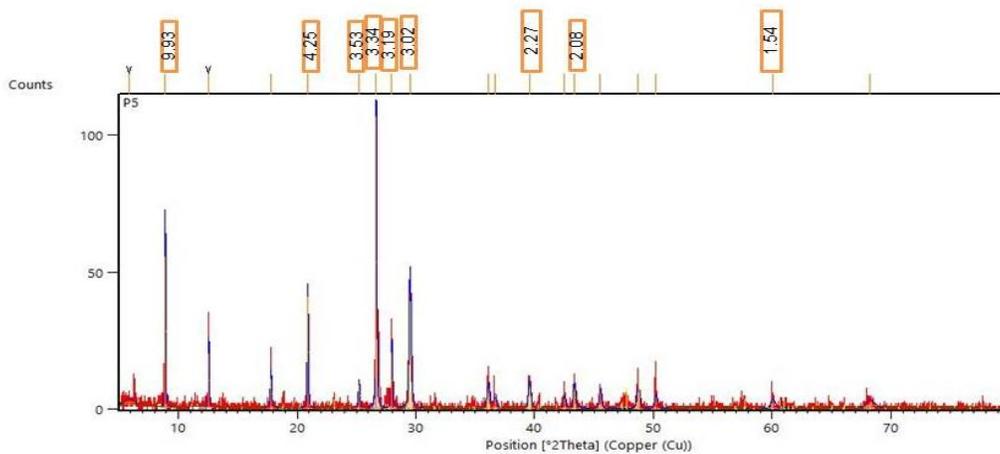
**Grafico 3.3** Porcentaje de los minerales de la muestra P1.

### Muestra P5

Es un conglomerado amarillento con cuarzo, calcita, albita, biotita, pliogopita y matriz carbonatada. Coloración clara, densidad media, hace efervescencia con ácido clorhídrico.



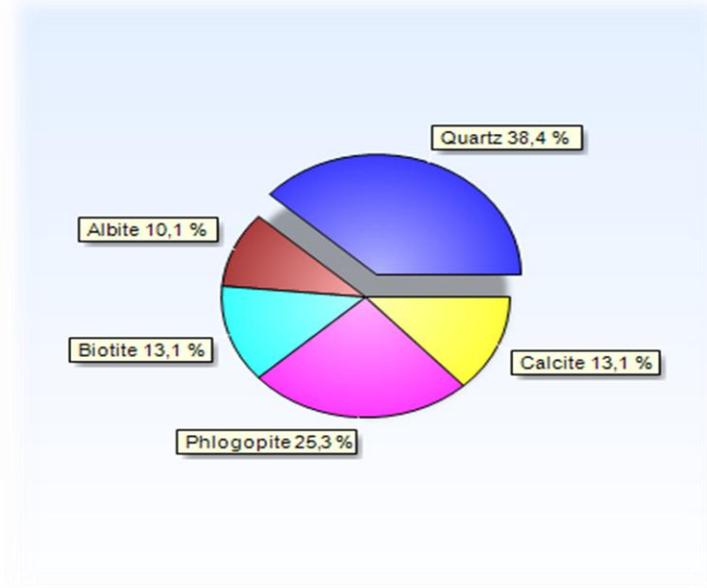
**Figura 3.4** Conglomerado compuesto por con cuarzo, calcita, albita, biotita, pliogopita y matriz carbonatada.



**Figura 3.5** Difractograma de Rayos-X de la muestra P5. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En el difractograma de la muestra P5 los picos de los reflejos fundamentales son: 4.25 Å; 3.34 Å; 1.54 Å, se asignaron al cuarzo (SiO<sub>2</sub>) que ocupa un 38,4% en la muestra, además los reflejos: 3.02 Å; 2.27 Å; 2.08 Å de calcita (CaCO<sub>3</sub>) que ocupa un 13,1% en la muestra. Además aparecen fases como biotita (K(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>), según los reflejos: 9.93Å que ocupa 13,1% en la

muestra, flogopita ( $K(Mg, Fe, Mn)_3Si_3Al_{10}(F,OH)_2$ ) y albita ( $NaAlSi_3O_8$ ) con los siguientes reflejos:  $3.53 \text{ \AA}$  y  $3.19 \text{ \AA}$ ; ocupan 25,3% y 10,1% en la muestra.



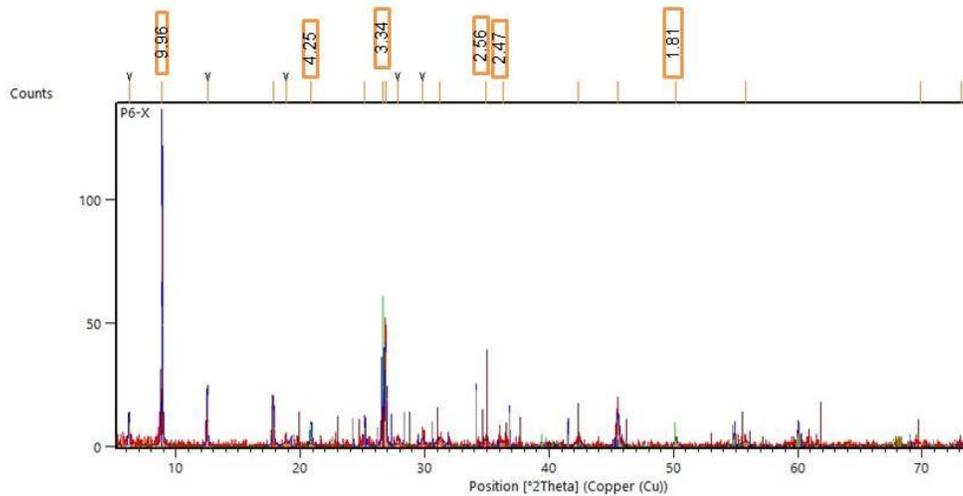
**Grafico 3.6** Porcentaje de los minerales de la muestra P5.

### Muestra P6

Esquisto verduoso con mineralización cuarzosa: micas con cuarzo (vetilla o porción silicificada).

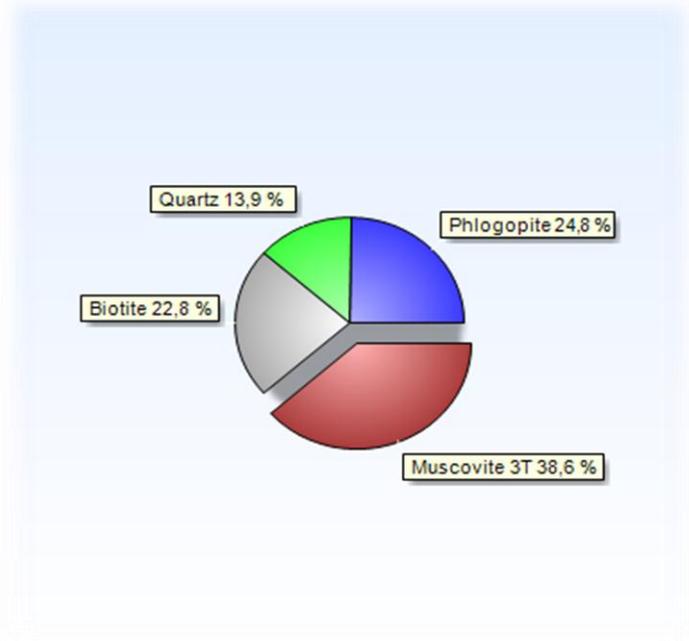


**Figura 3.7** Roca de composición micácea con cuarzo.



**Figura 3.8** Difractograma de Rayos-X de la muestra P6. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

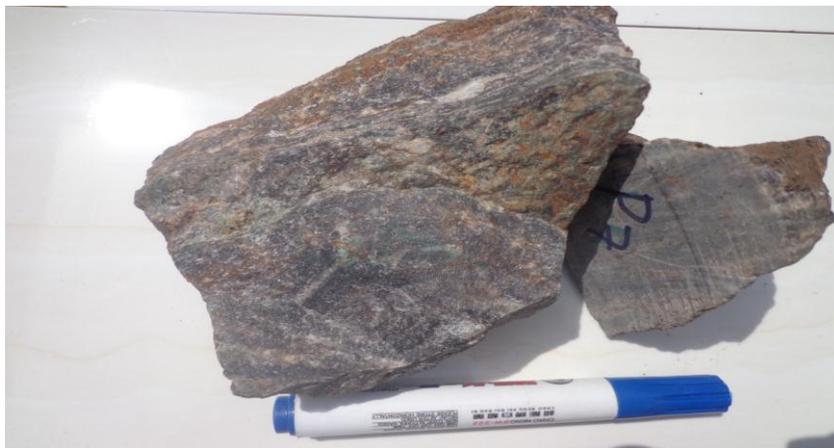
En la muestra se pudieron identificar las siguientes fases minerales micas (moscovita ( $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ ), biotita ( $K(Mg,Fe^{2+})_3(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ ), flogopita ( $K(Mg,Fe,Mn)_3Si_3Al_{10}(F,OH)_2$ )) con el siguiente reflejo: 2.47 Å, 2.56 Å, 9.96 Å que ocupan un 38,6 %, 22,8% y 24,8% en la muestra además la secuencia de cuarzo ( $SiO_2$ ) con los principales reflejos: 4.25 Å; 3.34 Å; 1.81 Å que ocupan un 13,9% en la muestra.



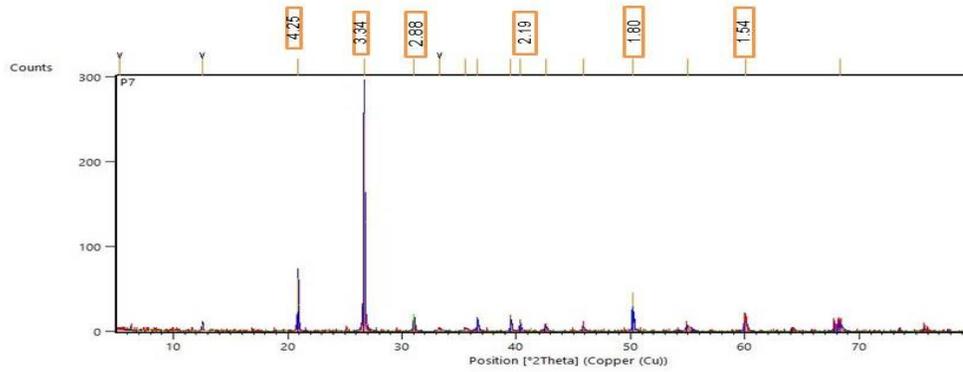
**Grafico 3.9** Porcentaje de los minerales de la muestra P6.

### Muestra P7

Chert con cuarzo y dolomita.

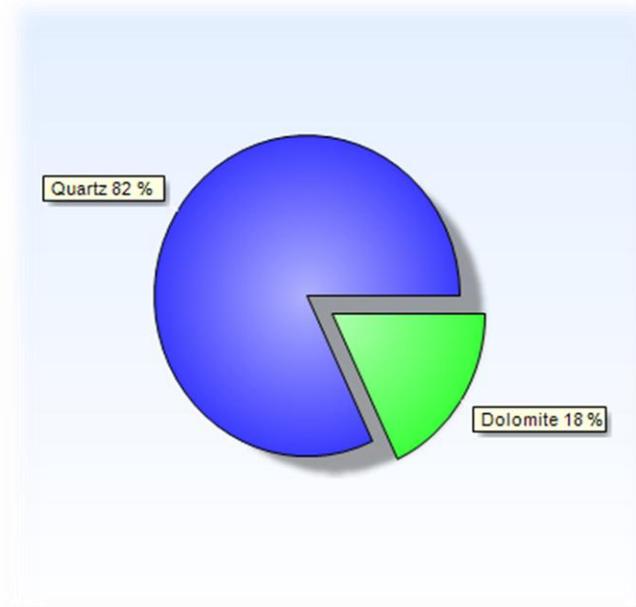


**Figura 3.1.2** Roca tipo Chert con cuarzo y dolomita.



**Figura 3.1.3** Difractograma de Rayos-X de la muestra P7. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P7 se pudieron identificar las siguientes fases minerales: con los principales reflejos: 4.24 Å, 3.34 Å, 1.54 Å de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 82% en la muestra y los reflejos: 2.88 Å, 2.19 Å, 1.80 Å de dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) que ocupa un 18% en la muestra.



**Gráfico 3.1.4** Porcentaje de los minerales de la muestra P7.

## **2- Sector central**

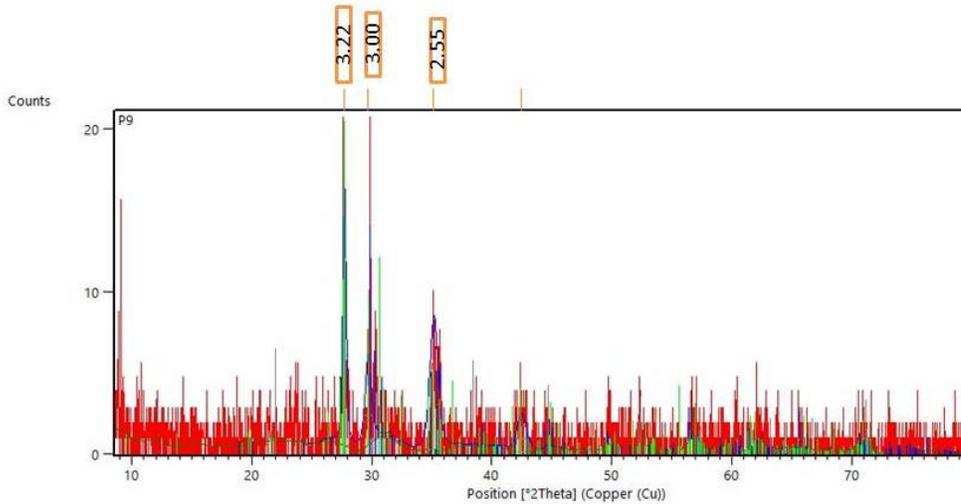
En este sector las fases minerales más abundantes son la micas (moscovita ( $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ ), biotita ( $K(Mg,Fe^{2+})_3(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ ), flogopita ( $K(Mg,Fe,Mn)_3Si_3Al_{10}(F,OH)_2$ )) además la secuencia de enstatite ( $MgSiO_3$ ), diopside ( $MgCaSi_2O_6$ ), augite ( $(Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_6$ ), anortoclase ( $Al_2Si_6NaKO_{16}$ ), cuarzo ( $SiO_2$ ), hematita ( $Fe_2O_3$ ), magnetita ( $Fe_3O_4$ ), albita ( $NaAlSi_3O_8$ ), calcita ( $CaCO_3$ ) y anortita ( $CaAl_2Si_2O_8$ ).

### **Muestra P9**

Roca volcánica (estantite, diopside, augite, anortoclase) de dique que intruye a secuencias de esquistos verdes (micáceo). Esta muestra es bastante compacta, densa y dura.

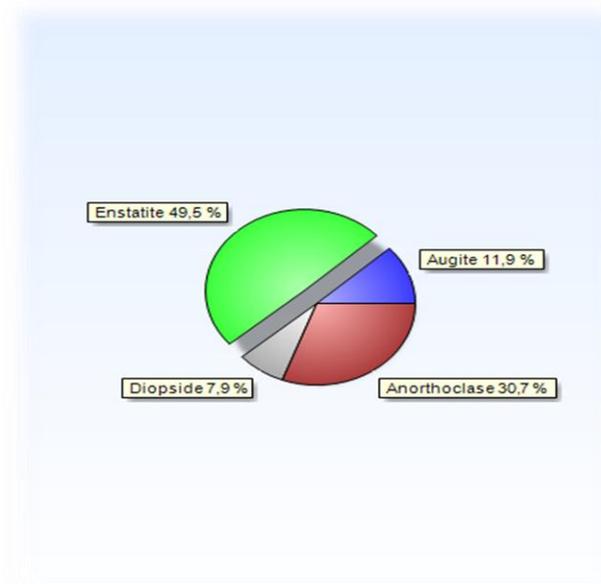


**Figura 3.1.5** Roca volcánica (estantite, diopside, augite, anortoclase) con secuencias de esquistos verdes (micáceo).



**Figura 3.1.6** Difractograma de Rayos-X de la muestra P9. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P9 se pudieron identificar las siguientes fases minerales con los siguientes reflejos: 2.55 Å<sup>o</sup> 3.00 Å<sup>o</sup> coincide con la enstatita ( $MgSiO_3$ ) que ocupa un 49,5% en la muestra, anortoclase ( $Al_2Si_6NaKO_{16}$ ) que ocupa un 30,7% en la muestra, los principales reflejos: 3.22 Å<sup>o</sup> coincide con diópsido ( $MgCaSi_2O_6$ ) que ocupa un 7,9% en la muestra y augite ( $Ca,Mg,Fe)_2(Si,Al)_2O_6$ ) que ocupa un 11,9% en la muestra.



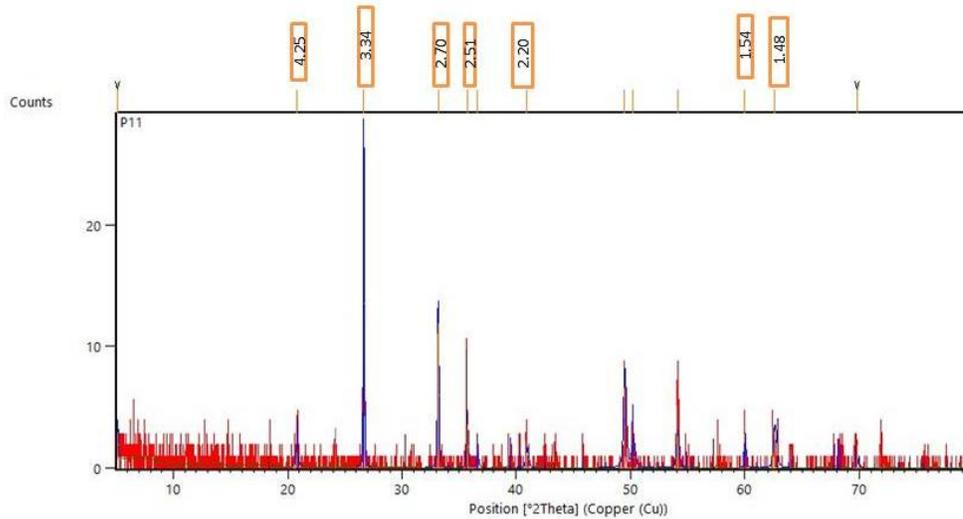
**Grafico 3.1.7** Porcentaje de los minerales de la muestra P9.

**Muestra P11**

Roca tipo BFI, compuesta básicamente por cuarzo, hematita y magnetita. De un cuerpo de rocas silicatadas ferrosas estratificado, se observa una significativa mineralización de Fe, en forma de hematita (grisácea).

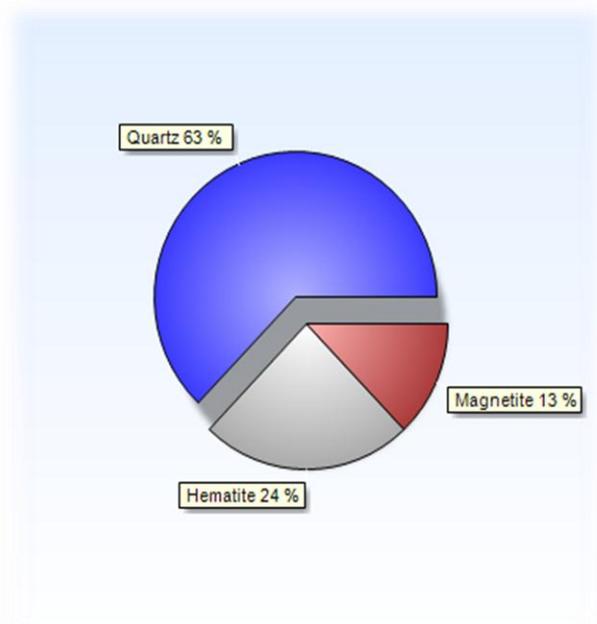


**Figura 3.1.8** Roca compuesta por cuarzo, hematita y magnetita.



**Figura 3.1.9** Difractograma de Rayos-X de la muestra P11. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En el difractograma de la muestra P11 los picos fundamentales:  $4.25 \text{ \AA}$ ;  $3.34 \text{ \AA}$ ;  $1.54 \text{ \AA}$  se asignaron al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 63% en la muestra, además se encontraron otros principales reflejos:  $2.70 \text{ \AA}$ ;  $2.51 \text{ \AA}$ ;  $2.20 \text{ \AA}$  de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que ocupa un 24% en la muestra, los reflejos:  $1.48 \text{ \AA}$  en la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que ocupa un 13% en la muestra.



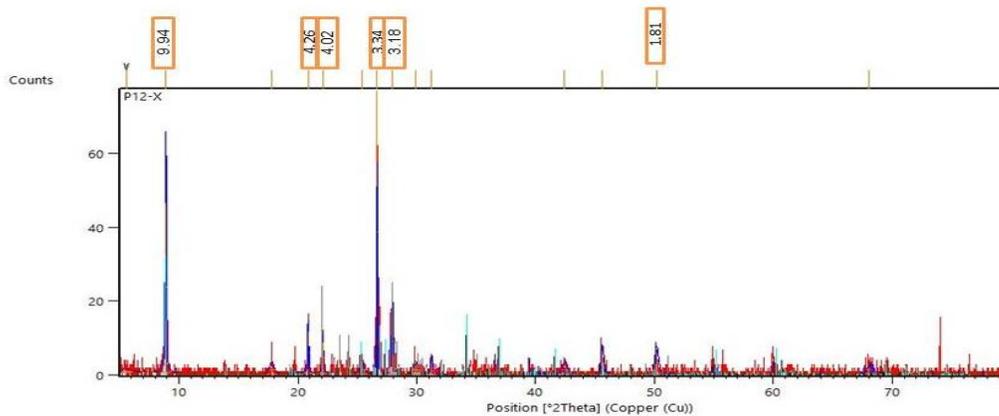
**Grafico 3.2.1** Porcentaje de los minerales de la muestra P11.

### **Muestra P12**

Es una roca compuesta por esquistos verdes micaceos, albita y cuarzo, micas como: biotita y phlogopita.

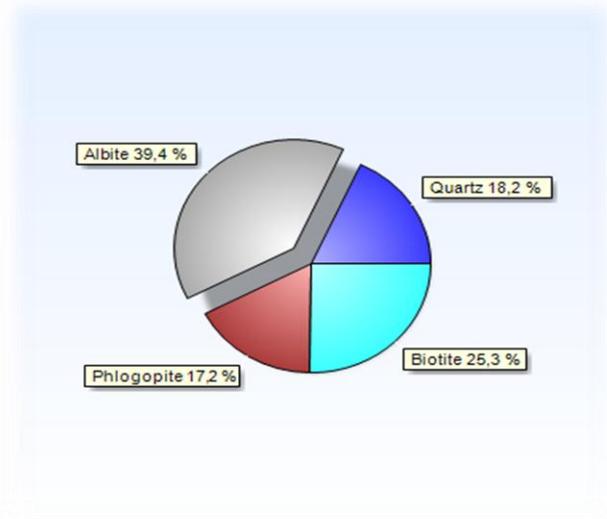


**Figura 3.2.2** Roca compuesta por esquistos verdes albita y cuarzo.



**Figura 3.2.3** Difractograma de Rayos-X de la muestra P12. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P12 se encontraron picos principales con reflejos: 4.26 Å<sup>0</sup>; 3.34 Å<sup>0</sup>; 1.81 Å<sup>0</sup> se asignó al cuarzo (SiO<sub>2</sub>) que ocupa un 18,2% en la muestra además la secuencia de los reflejos: 3.18 Å<sup>0</sup>, 4.02 Å<sup>0</sup> de albita (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) que ocupa un 39,4% en la muestra, biotita (K(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>) que ocupa un 25,3% en la muestra y los reflejos: 9.94 Å<sup>0</sup> de flogopita (K(Mg,Fe,Mn)<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>Al<sub>10</sub>(F,OH)<sub>2</sub>) que ocupa un 17,2% en la muestra.



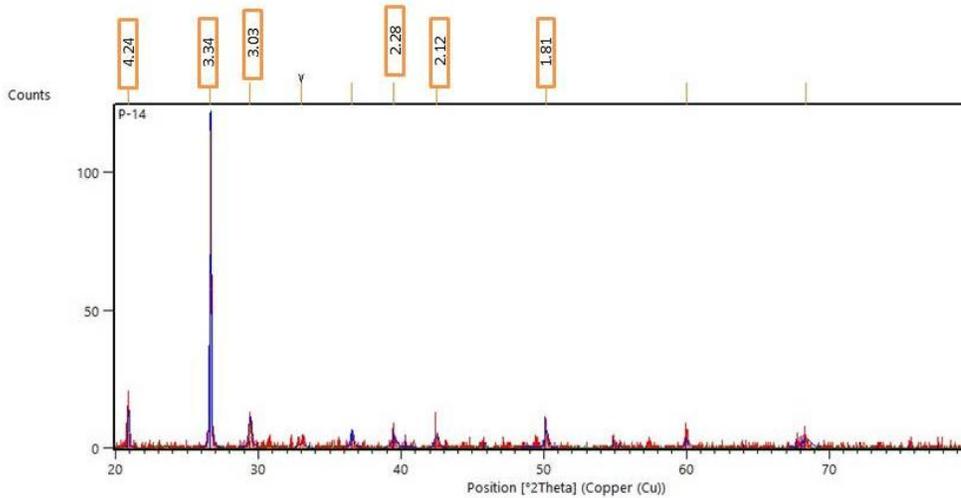
**Grafico 3.2.4** Porcentaje de los minerales de la muestra P12.

### Muestra P14

Un BIF (formación ferrífera bandada) con cuarzo, calcita.

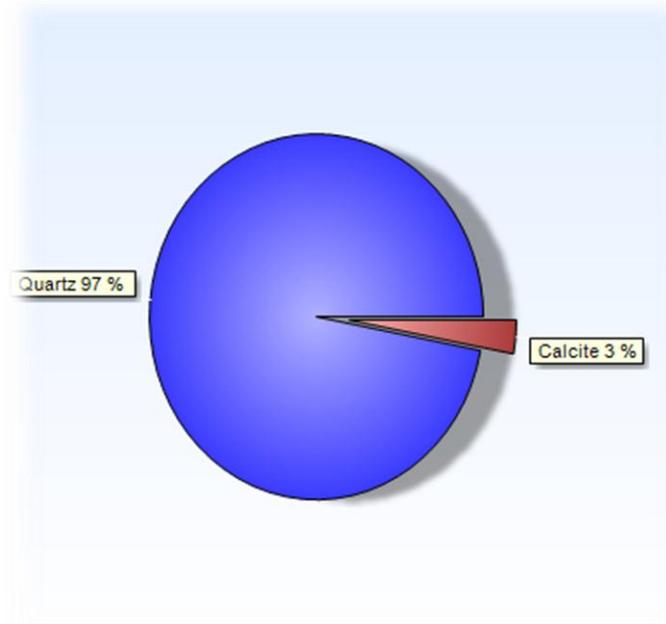


**Figura 3.2.5** Compuesta por cuarzo y calcita.



**Figura 3.2.6** Difractograma de Rayos-X de la muestra P14. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P14 se pudieron identificar las siguientes fases minerales: con los principales reflejos  $4.24 \text{ \AA}$ ,  $3.34 \text{ \AA}$ ,  $1.81 \text{ \AA}$  de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 97% en la muestra y  $3.03 \text{ \AA}$ ,  $2.28 \text{ \AA}$ ,  $2.12 \text{ \AA}$  de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa un 3% en la muestra.



**Grafico 3.2.7** Porcentaje de los minerales de la muestra P14.

### Muestra P33 C

Se trata de un esquistó micáceo: con cuarzo.



Figura 3.2.8 Roca compuesta por muscovita, phlogopita, biotita y cuarzo.

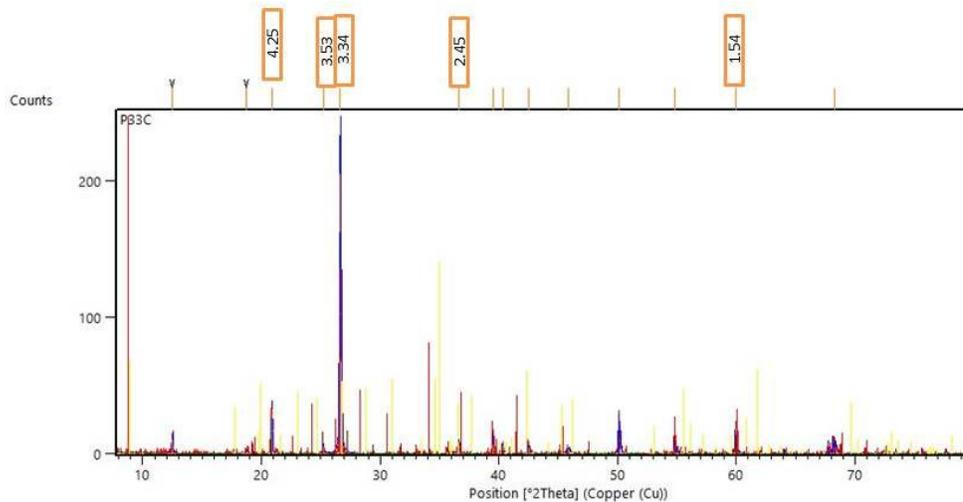
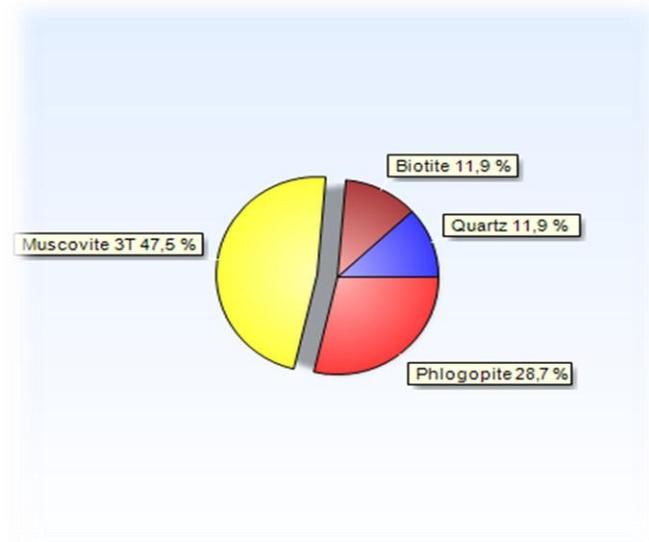


Figura 3.2.9 Difractograma de Rayos-X de la muestra P33. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P33 se encontraron picos principales con reflejos (4.25 Å, 3.34 Å, 1.54 Å) se asignó al cuarzo (SiO<sub>2</sub>) que ocupa un 11,9% en la muestra además a la secuencia de los reflejos: 2.45 Å de muscovita (KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>) que ocupa un 47,5% en la muestra, biotita (K(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>) que ocupa un 11,9% en la muestra y los reflejos: 3.53 Å de flogopita (K(Mg, Fe, Mn)<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>Al<sub>10</sub>(F,OH)<sub>2</sub>) que ocupa un 28,7% en la muestra.



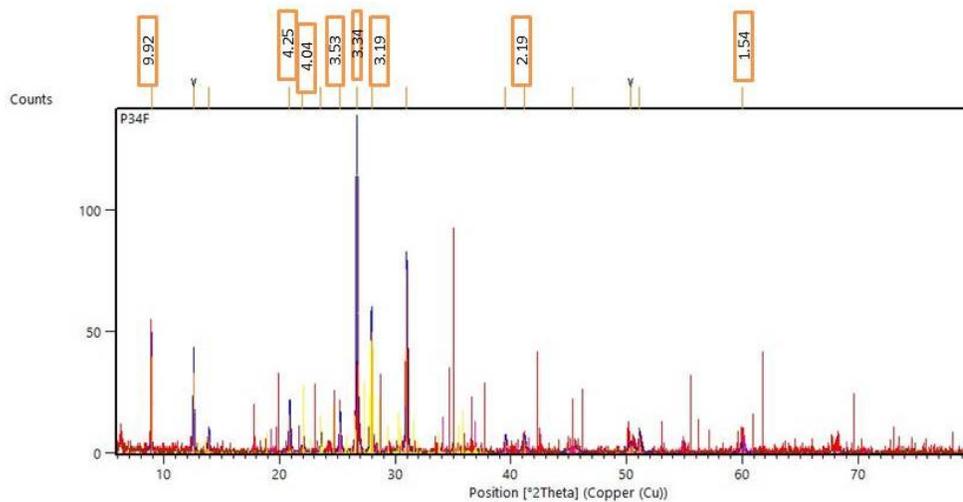
**Grafico 3.3.1** Porcentaje de los minerales de la muestra P33.

### **Muestra P34 F**

Un cuerpo rocoso tipo BIF, en la muestra analizada se encontró cuarzo, moscovita, anortita, biotita y phlogopita.

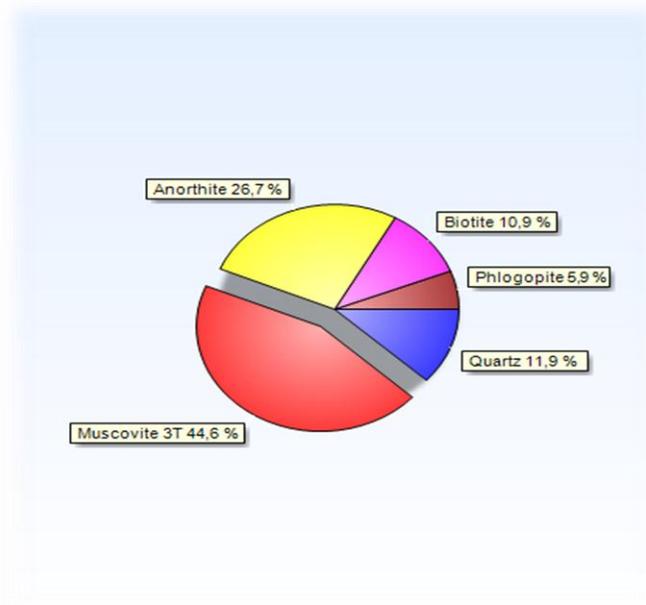


**Figura 3.3.2** Compuesta por cuarzo, moscovita, anortita, biotita y phlogopita.



**Figura 3.3.3** Difractograma de Rayos-X de la muestra P34. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P34 se pudieron identificar las fases minerales siguen el patrón de muestras anteriores y se mantienen fases con reflejos: 4.25 Å, 3.34 Å, 1.54 Å se asignó al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 11,9% en la muestra además los reflejos: 2.19 Å que coincidió con la moscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) que ocupa un 44,6% en la muestra y biotita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ) que ocupa un 10,9% en la muestra, los reflejos: 9.92 Å, 3.53 Å coincidieron con la flogopita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_3\text{Al}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ ) que ocupa un 5,9% en la muestra y los reflejos: 4.04 Å, 3.19 aparece a la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) con un 26,7% en la muestra.



**Grafico 3.3.4** Porcentaje de los minerales de la muestra P34.

### 3- Sector Sudeste

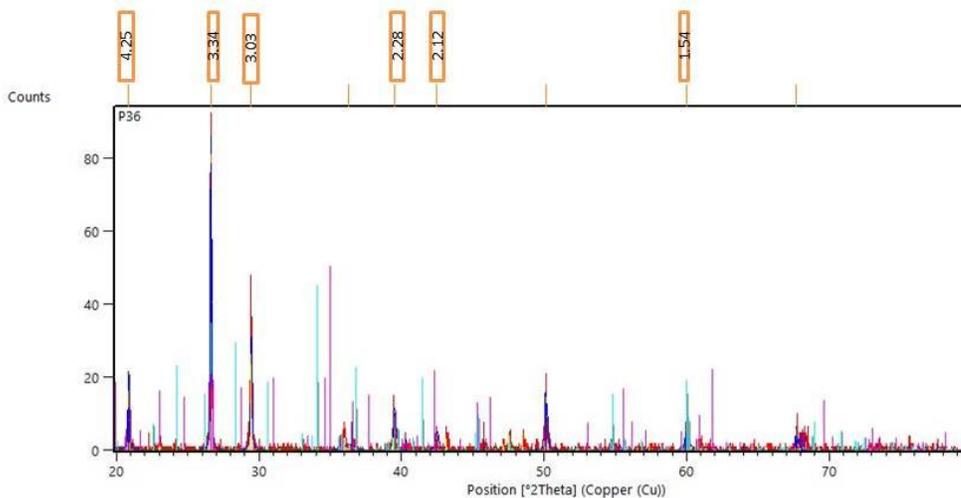
En este sector las fases minerales más abundantes fueron los esquistos cloríticos como (clinocloro  $(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Al}((\text{OH})_8/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}))$ ) y micáceos como (moscovita  $(\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ , biotita  $(\text{K}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2)$ , flogopita  $(\text{K}(\text{Mg, Fe, Mn})_3\text{Si}_3\text{Al}_{10}(\text{F,OH})_2)$ ) además la secuencia de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) y calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

### Muestra P36

En la muestra se detectó componente micáceo y calcita con cuarzo. Que hace suponer que es un cuerpo con buena presencia de componente carbonatado, sílice y micas, se debe a los esquistos intruidos por el cuerpo silicatado – carbonatado de los BIF.

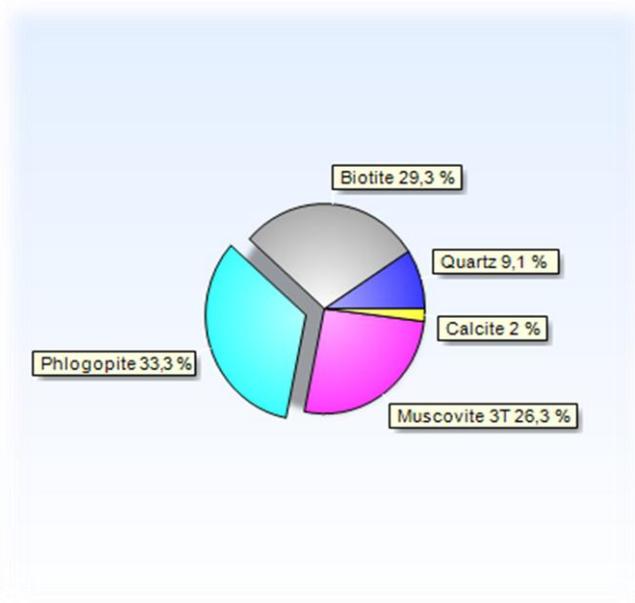


**Figura 3.3.5** Muestra Compuesta por calcita con cuarzo y componente micaceo.



**Figura 3.3.6** Difractograma de Rayos-X de la muestra P36. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En el difractograma de la muestra P36 los picos fundamentales:  $4.25 \text{ \AA}$ ,  $3.34 \text{ \AA}$ ,  $1.54 \text{ \AA}$  se asignó al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 9,1% en la muestra además a la secuencia moscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) que ocupa un 26,3% en la muestra, biotita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ) que ocupa un 29,3% en la muestra y flogopita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_3\text{Al}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ ) que ocupa un 33,3% en la muestra y aparece reflejos:  $3.03 \text{ \AA}$ ,  $2.28 \text{ \AA}$ ,  $2.12 \text{ \AA}$  calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa 2% en la muestra.



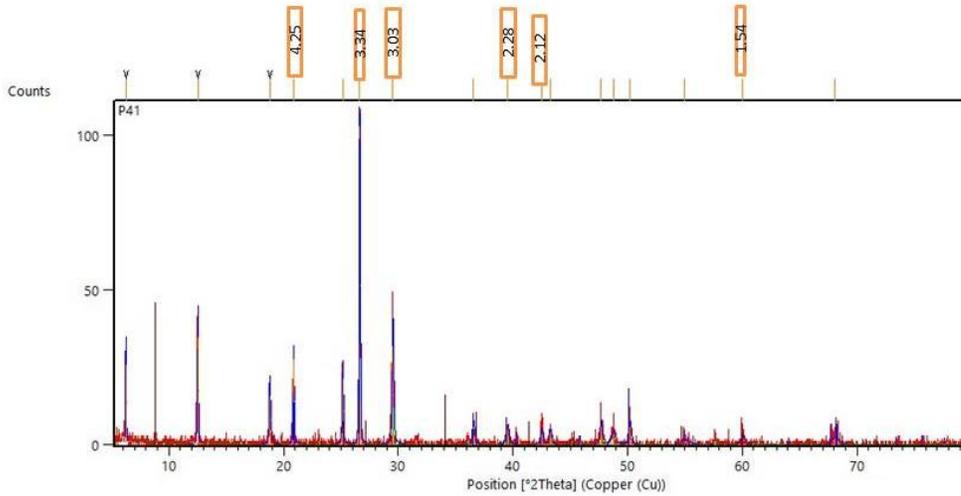
**Grafico 3.3.7** Porcentaje de los minerales de la muestra P36.

### Muestra P41

Esquisto micáceo (biotita) con cuarzo y carbonato (calcite).

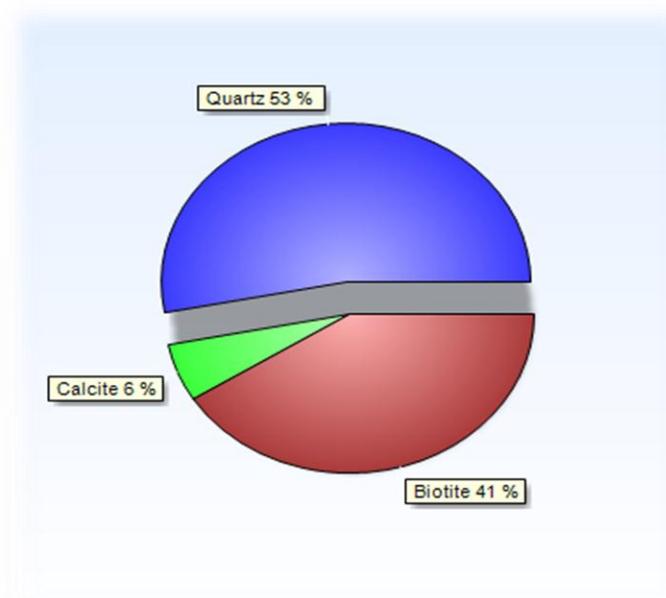


**Figura 3.3.8** Compuesto por calcita, biotita y cuarzo.



**Figura 3.3.9** Difractograma de Rayos-X de la muestra P41. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P41 se pudieron identificar las siguientes fases minerales: con los principales reflejos: 4.25 Å, 3.34 Å, 1.54 Å de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 53% en la muestra, biotita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ) que ocupa un 41% en la muestra y los reflejos 3.03 Å, 2.28 Å, 2.12 Å de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa un 6% en la muestra.



**Grafico 3.4.1** Porcentaje de los minerales de la muestra P41.

### Muestra P44-X

Esquisto verde micáceo - clorítico: moscovítico, clinocloro, cuarzo.



Figura 3.4.2 Compuesto por Esquisto verde micáceo – clorítico y cuarzo.

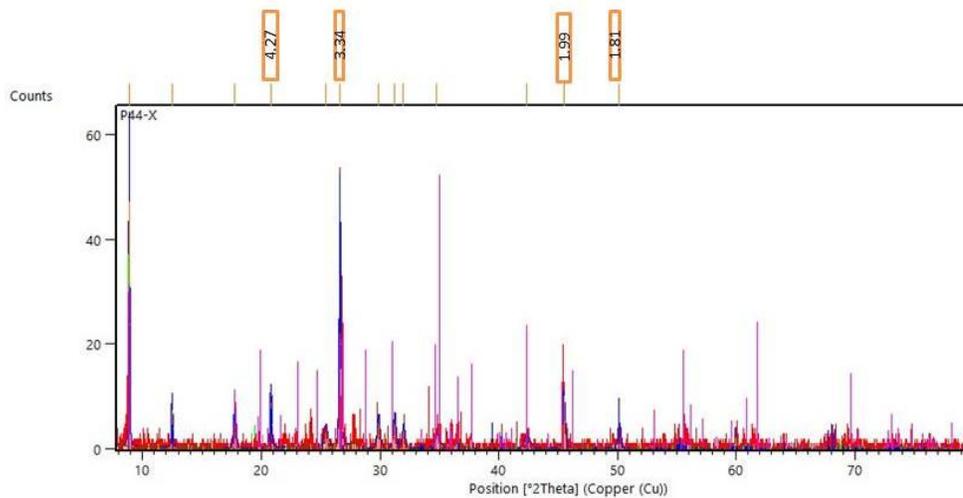
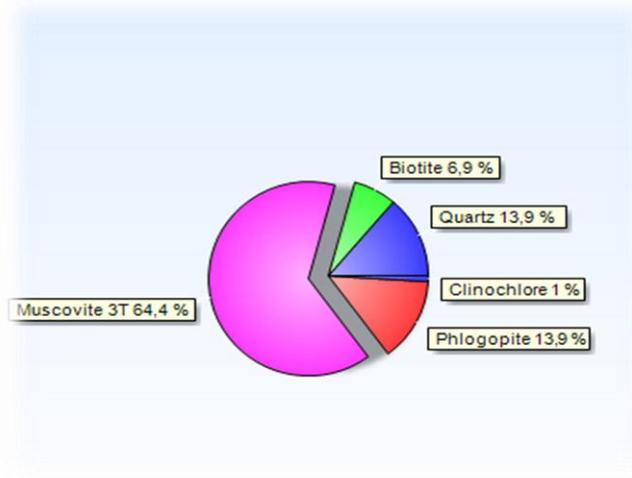


Figura 3.4.3 Difractograma de Rayos-X de la muestra P44. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P44 se pudieron identificar las fases minerales con reflejos:  $4.27 \text{ \AA}^{\circ}$ ;  $3.34 \text{ \AA}^{\circ}$ ,  $1.81 \text{ \AA}^{\circ}$  se asignó al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 13,9% en la muestra además a la secuencia moscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) que ocupa un 64,4% en la muestra, biotita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ) que ocupa un 6,9% en la muestra y flogopita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_3\text{Al}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ ) que ocupa un 13,9% en la muestra y

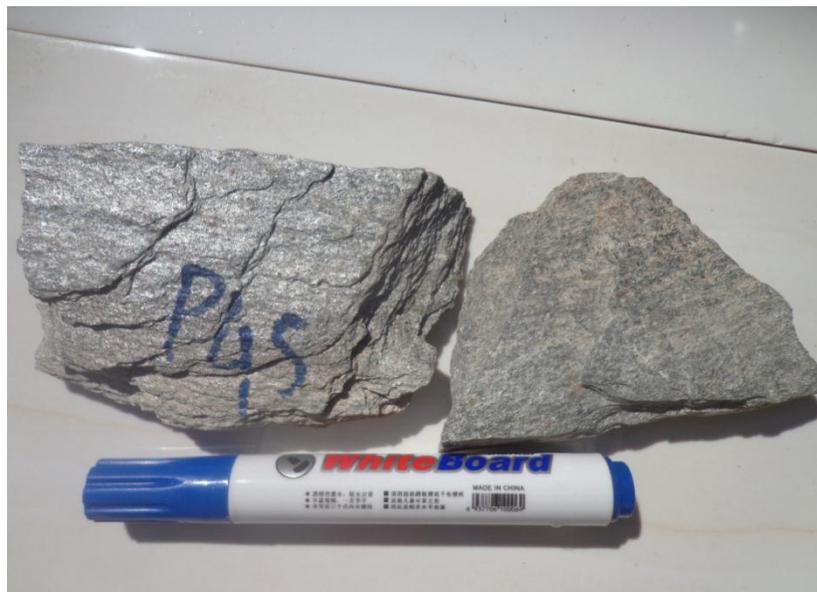
aparece los reflejos: 1.99 A° de clinocloro ( $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Al}((\text{OH})_8/\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ ) que ocupa 1% en la muestra.



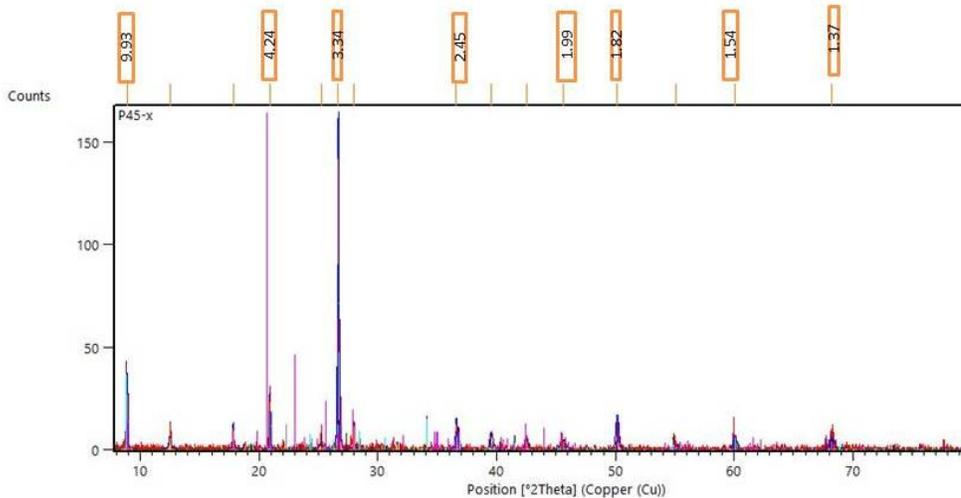
**Grafico 3.4.4** Porcentaje de los minerales de la muestra P44.

### Muestra P45-X

Es un esquisto micáceo - clorítico, con moscovita, clinocloro, cuarzo y albita de color verde claro.

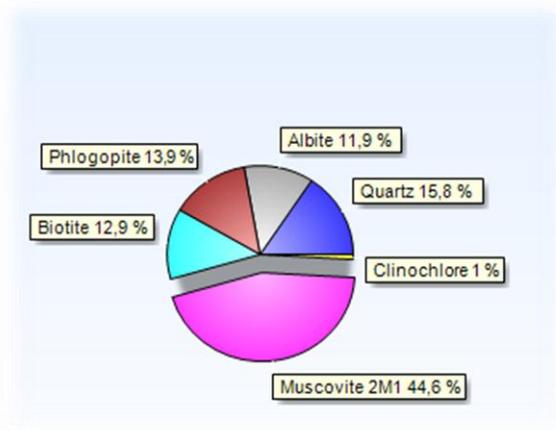


**Figura 3.4.5** Compuesto por micas, clinocloro, cuarzo y albita.



**Figura 3.4.6** Difractograma de Rayos-X de la muestra P45. En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra P45 se pudieron identificar las fases minerales siguen el patrón de muestras anteriores y se mantienen fases con reflejos: 4.24 Å°, 3.34 Å°, 1.82 Å° se asignó al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa un 15,8% en la muestra además a la secuencia con los reflejos: 2.45 Å° de la moscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) que ocupa un 44,6% en la muestra, reflejo: 9.93 Å° de biotita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ ) que ocupa un 12,9% en la muestra y flogopita ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_3\text{Al}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ ) que ocupa un 13,9% en la muestra y aparece la otros reflejos: 1.99 Å°, 1.54 Å°, 1.37 Å° de clinocloro ( $\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Al}((\text{OH})_8/\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ ) que ocupa 1% en la muestra y albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) que ocupa un 11,9% en la muestra.



**Grafico 3.4.7** Porcentaje de los minerales de la muestra P45.

### **Composición química de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF en Vipongos**

A partir de los resultados mineralógicos se pudo estimar la composición química de los elementos mayores (tabla 3.1), que componen las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF, aplicando el método del recálculo mineralógico, mediante la correlación que este método permite, cuando ya conoce los minerales presentes en una muestra.

Las rocas carbonatadas predominan en el sector NW, fundamentalmente en su parte más septentrional, llegando hasta un 25,23 % de CaO, el mayor contenido en toda el área, en tanto en el sector central es más rico en sílice con contenidos que van desde 50 hasta un 62 % de SiO<sub>2</sub>, dado el predominio de las rocas silicatadas, que se extienden hasta el SE. El hierro está distribuido en toda área, principalmente en el sector central por los cuerpos tipo BIF predominante en este sector. El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (entre un 13 y un 28 %) se evidencia asociada a Na<sub>2</sub>O (con valores que van de un 0,14 a 4,4 %) y K<sub>2</sub>O (entre 4 y un 10%) con la presencia de los feldspatos, piroxenos y micas, siendo predominante hacia el centro sur del área.

Como elementos menores (tabla 3.2) se destaca la presencia del V, Co, Cu, Zn y Rb, en particular se localizan en los cuerpos BIF, lo que sugiere seguir estudiando y valorar la paragénesis entre ellos, lo cual puede esclarecer o contribuir a la génesis de las formaciones ferrosas y una posible correlación con las del Supergrupo Transvaal del territorio sudafricano.

Los elementos trazas (tabla 3.3) detectados fueron Ag, In, Ta y Se. La Ag y In son significativos en la zona de contacto entre los diques de rocas volcánicas y las secuencias de esquistos verdes; además entre el contacto de los cuerpos ferrosos

tipo BIFs y los esquistos micáceos-cloríticos. Aspecto que se debe seguir estudiado en el futuro.

**Tabla 3.1**

Composición química estimada (elementos mayores) de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF en la región de Vipongos\*.

Muestra	Contenido en %												
	SiO <sub>2</sub>	CaO	CO <sub>2</sub>	MgO	FeO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Total
P1	15	25,23	39,6	15,53	3,96	0,63							99,95
P5	61,51	7,43	5,76	10,33	1,08		6,65	1,13	4,26	1,01			99,16
P6	51,49			12,44	1,89		20,49		9,8	2,97			99,08
P7	82	5,47	8,59	3,93									99,99
P9	59,62	4,25		23,16	0,72		6,64	0,15	5,19			0,4	100,13
P11	63				4,03						32,96		99,99
P12	62,51	0,42		10,83	2,09		13,07	4,4	4,67	1,28			99,27
P14	97	1,68	1,31										99,99
P33	50,64			11,03	0,98		23,9		10,11	2,97			99,63
P34	50,97	5,12		4,23	0,9		28,65	0,14	7,1	2,32			99,43
P36	48,1	1,12	0,87	16,4	2,42		17,56		10,01	2,84			99,32
P41	70,04	3,36	2,63	9,52	3,39		4,82		4,45	1,49			99,7
P44	52,11			5,85	0,72		27,37		9,9	3,28			99,23
P45	55,57	0,12		7,24	1,21		22,89	1,33	8,22	2,68			99,26

\*: Composición química estimada según el método del Recálculo mineralógico.

**Tabla 3.2**

Composición química (elementos menores) de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF en la región de Vipongos.

Muestras	Contenido (en ppm)								
	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
P1	108,80	115,70	0,00	17,40	42,00	75,60	116,80	0,00	0,00
P5	214,20	28,60	0,00	128,40	16,80	26,90	236,50	0,00	16,50
P7	77,30	36,10	0,00	0,00	0,00	21,70	0,00	0,00	0,00
P9	331,80	114,40	145,90	107,40	149,60	103,50	397,50	177,30	0,00
P11	287,10	701,20	0,00	100,00	42,70	80,30	0,00	0,00	0,00
P12	156,60	14,10	0,00	0,00	15,30	133,70	155,60	12,00	0,00
P14	71,40	0,00	0,00	44,20	56,70	31,70	58,90	0,00	0,00
P33 C	139,60	0,00	0,00	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P34 F	106,80	13,60	0,00	1744,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P36	285,30	0,00	173,80	540,80	108,30	21,50	79,20	0,00	0,00
P45	296,60	82,70	56,80	158,80	27,10	57,00	67,80	329,00	0,00

**Tabla 3.3**

Composición química (elementos trazas) de las rocas asociadas a las formaciones tipo BIF en la región de Vipongos.

Muestras	Contenido (en ppm)			
	Ag	In	Ta	Se
P1	0,00	37,20	0,00	5,29
P5	19,81	37,20	0,00	0,00
P7	0,00	37,20	0,00	0,00
P9	55,75	34,30	45,00	0,00
P11	2,82	37,20	0,00	0,00
P12	0,00	26,10	0,00	9,32
P14	0,00	13,80	0,00	0,00
P33 C	25,34	37,20	0,00	0,00

P34 F	31,56	37,20	0,00	2,13
P36	58,05	18,80	2,60	0,00
P45	61,16	37,20	0,00	3,18

## **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

El sector noroeste se caracteriza por la presencia rocas carbonatadas con sílice (cuarzo), en la que se destacan dolomita y anquerita, esta con cierta cantidad de Fe. Además se encuentran conglomerados formados por sílice (cuarzo), carbonatos de Ca (calcita) y silicatos de Fe y Mg, como biotita y la plagioclasa (albita). Más hacia el sur de este sector se detectó la presencia de esquistos verdes micáceos (moscovita y biotita), con una mineralización cuarzosa. En el sector se observaron bloques de chert, formado por carbonato de Ca y Mg (dolomita) y material silíceo (cuarzo). La presencia de hierro queda justificada con los minerales de anquerita y biotita.

El sector central se caracteriza por la presencia predominante de formaciones rocosas silicatadas - carbonatada ferríferas bandeadas, conocidas como tipo BIFs, en la que se determinan cuarzo, calcita y minerales de Fe: hematita y magnetita, asociados a estos cuerpos ferrosos se encuentran secuencias de esquistos verdes micáceos (biotita y flogopita), con plagioclasa (albita) y ocasionalmente sílice (cuarzo). Además, existen diques de rocas volcánicas (con enstatita, diópsido, augita, anortoclasa) parcialmente meteorizadas, que intruyen secuencias de esquistos verdes micáceos. En este sector es donde mejor se observan las rocas bandeadas ferrosas- silicatadas con carbonatos (tipo BIFs), con bandas de cuarzo, hematita, calcita y ankerita; la mineralización de Fe se evidencia con la presencia de hematita (en su mayoría roja) y anquerita (parduzca), estas formaciones ferrosas son grandes cuerpos estratificados (afloramientos P11 y P14) de unos 12 a 15 m de largo y con una potencia de rocas observables de unos 4 a 6 m, como promedio.

En el sector sudeste se prolonga los afloramientos de rocas silicatadas carbonatada ferríferas bandeadas (BIFs), pero en menor cantidad y siempre asociados a los esquistos verdes micáceos (moscovita, biotita y flogopita). Es en este sector donde se encuentran los esquistos verdes micáceos y cloríticos mejor expresado, compuesto por micas y cloritas, con cierta presencia de hierro.

## **CONCLUSIONES**

- De acuerdo a los resultados obtenidos, desde el punto de vista mineralógico y químico, se demostró y se argumentó la necesidad de estudiar las rocas silicatadas de hierro bandeado, del área de estudio.
- El sector noroeste se caracteriza por la presencia de rocas carbonatadas y silicatadas, conglomerados carbonatados – silíceos y bloques de chert y esquistos verdes micáceos.
- El sector central es el principal, en aflorabilidad de las rocas bandeadas ferrosas- silicatadas con carbonatos (tipo BIF), y mineralizaciones de Fe según la presencia de hematita (en su mayoría roja) y anquerita (parduzca). Asociados a estos cuerpos ferrosos se encuentran secuencias de esquistos verdes micáceos (biotita y moscovita).
- En el sector sudeste se prolongan las rocas silicatadas carbonatadas ferríferas bandeadas (BIF), de forma subordinada, pues es un área con mayor predominio de los esquistos verdes micáceos y cloríticos.
- Los contenidos más significativos de los elementos menores (V, Co, Cu, Zn y Rb) y elementos trazas (Ag, In, Ta y Se) se localizan en zona de contacto de los cuerpos ferrosos tipo BIFs y la secuencia de esquistos verdes.
- Se identificó como paragénesis general la compuesta por: hematita + magnetita + dolomita + calcita + ankerita + moscovita + flogopita + biotita + clinocloro. Con minerales accesorios como: albita + cuazo + enstatita + augita + diópsido.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda hacer estudios estratigráficos y paleontológicos que permitan tener evidencias para correlacionar las formaciones de rocas ferrosas bandeadas tipo BIFs de Angola, provincia Namibe con la región de Sudáfrica del Supergrupo Transvaal (Cratón Kaapvaal).

Se recomienda profundizar en los aspectos petrográficos y geoquímicos para completar el estudio de las formaciones de rocas ferrosas bandeadas, tipo BIFs, en particular con la presencia de los elementos menores y trazas.

## **BIBLIOGRAFIA**

Araújo, A.G & Guimaraes, F. (1992). "Geologia de Angola: Notícia Explicativa da Carta Geológica de Angola a escala 1: 1000.000". Serviço Geológico de Angola, Luanda.

Bekker, A., Slack, J.F., Planavsky, N., Krapež, B., Hofmann, A., Konhauser, K.O., Rouxel, O.J., 2010. Iron formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric processes. *Economic Geology* 105, 467–508.

Bontognali, Tomaso R.R; Woodward W. Fischer; Karl B. Föllmi: Siliciclastic associated banded iron formation from the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research* 226 (2013) 116– 124.

Caema Fernandes José Benjamim, (2014): As pinturas do abrigo do tchitundu-hulu mucai um contributo para o conhecimento da arte rupestre, mestrado em arqueologia pré-histórica e arte rupestre.

Carvalho, H. & Alves, P (1993): The precambrian of SW Angola and NW Namibia. General Remarks. Correlation analysis. *Economic geology*. Em : *Comunicações*. Instituto de Investigación Tropical.

Correia, H. (1976). O Grupo Chela e a Formação Leba como Novas Unidades Litostratigraficas Resultantes da Redefinição da "Formação da Chela" na Região do Planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Vol. 20, pp 65-130.

Geofrik's Blog (2013): Blog dedicado a la divulgación de las distintas ramas de la ciencia. Formación de Hierro Bandeado.

Geoscience Frontiers 7 (2016) 927 e 936. Production and hosting by Elsevier B.V. Open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Gonçalves, António Olímpio (2007): Caracterización Mineralógica, Geoquímica y Petrogenética das Pegmatitas Granítica de Giraul, Namibe, Angola. Tese de Doutoramento. Universide de Barcelona, Barcelona.

Ignacio Subias, Isabel Fanlo y Jose Manuel (2011) Geology and mineralogy of the Cateruca BIF deposit (Huila province, Angola).

International Journal of Geosciences, (2012),: Banded Iron Formations (BIFs) and Associated Sediments Do Not Reflect the Physical and Chemical Properties of Early Precambrian Seas <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.31026>.

James, H.L. (1954): Sedimentary Facies in Iron-formation; *Economic Geology*, Volume 49, pages 235-293. Disponível em <<http://books.google.com.br>

Li, Yi-Liang: Micro- and nanobands in late Archean and Palaeoproterozoic banded-iron formations as possible mineral records of annual and diurnal depositions. Y.-L. Li / *Earth and Planetary Science Letters* 391 (2014) 160–170. Published by Elsevier B.V.

Por Reston e. Cloud, JR., y Gerald r. Licari, (1968): Microbiotas de las formaciones de hierro banded departamento de geología, universidad de california (santa barbara, los ángeles).

Sá, José Haroldo da Silva (2012): “Origem e evolução das formações ferríferas bandadas no Sudoeste do Estado de Minas Geras”. IGEO/UFBA.

Santos, Elenir Sousa Et al (2013): Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Determinación de Espécies Químicas in: Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer.

Singh Mahima, Jayant Singhal, K. Arun Prasad, V.J. Rajesh, Dwijesh Ray, Priyadarshi Sahoo: Spectral characteristics of banded iron formations in Singhbhum craton, eastern India: Implications for hematite deposits on Mars.

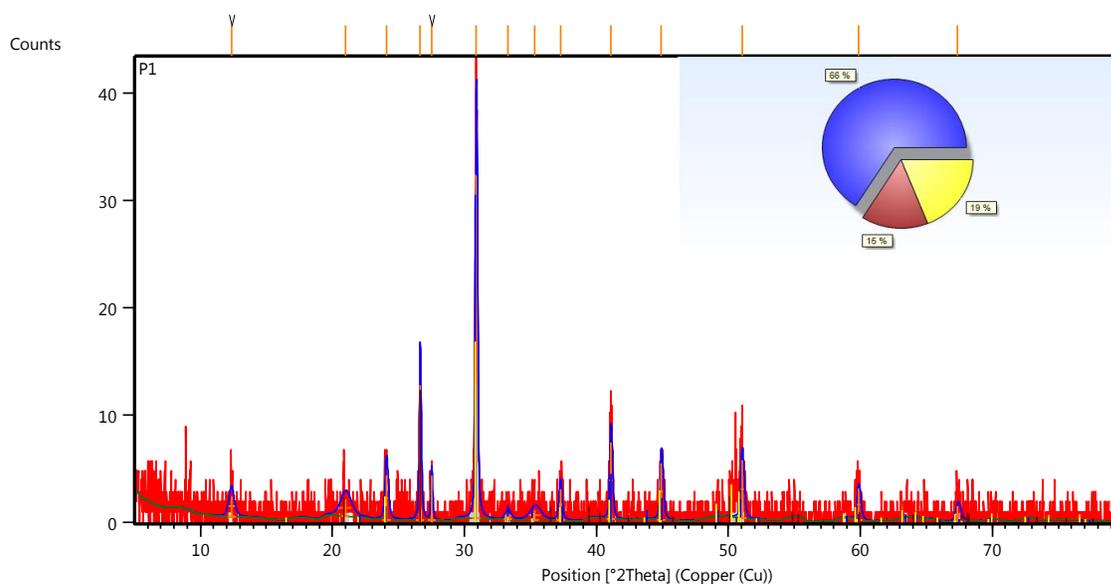
Smith, Albertus J.B.; Nicolas J. Beukes; Jens Gutzmer: The Composition and Depositional Environments of Mesoarchean Iron Formations of the West Rand Group of the Witwatersrand Supergroup, South Africa. (2013) Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, v. 108, pp. 111–134.

Soares, Anselmo (2012). “Contexto Geológico da área Vipongo (Angola) ”. Relatório de Campo da Gevale S.A. Luanda.

## ANEXOS

Datos difractométricos de los difractogramas de Rayos-X, empleados en la zona de Vipongos, Namibe, Angola.

### Muestra P1



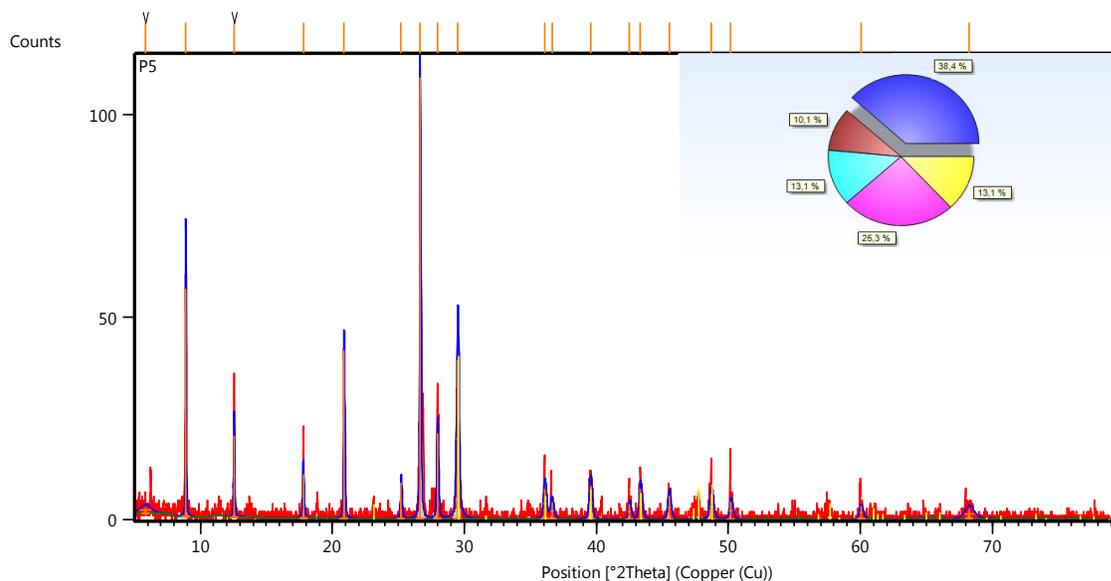
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12,3573	1,89	0,4723	7,16292	5,90
21,0127	1,62	0,9446	4,22791	5,04
24,1013	4,12	0,2755	3,69265	12,86
26,6494	12,59	0,1574	3,34508	39,32
27,5176	4,13	0,1181	3,24147	12,89
30,9111	32,02	0,1574	2,89292	100,00
33,2770	0,63	0,4723	2,69246	1,97
35,3581	0,92	0,9446	2,53861	2,86
37,2644	2,88	0,2362	2,41301	9,00
41,0992	7,12	0,1968	2,19629	22,25
44,9275	5,25	0,2362	2,01764	16,39
51,0444	5,44	0,2362	1,78930	16,99
59,8645	2,88	0,2362	1,54504	8,99

Trabajo de diploma

67,3805      1,38      0,3936      1,38982      4,32

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-3523	40	Dolomite	0,000	0,693	Ca3.00 Mg3.00 C6.00 O18.00
*	96-900-9667	18	Quartz	0,000	0,278	Si3.00 O6.00
*	96-900-1247	29	Ankerite	0,000	0,378	Ca3.02 Fe1.63 Mg1.35 C6.00 O18.00

**Muestra P5**



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
--------------	--------------	-------------------	---------------	---------------

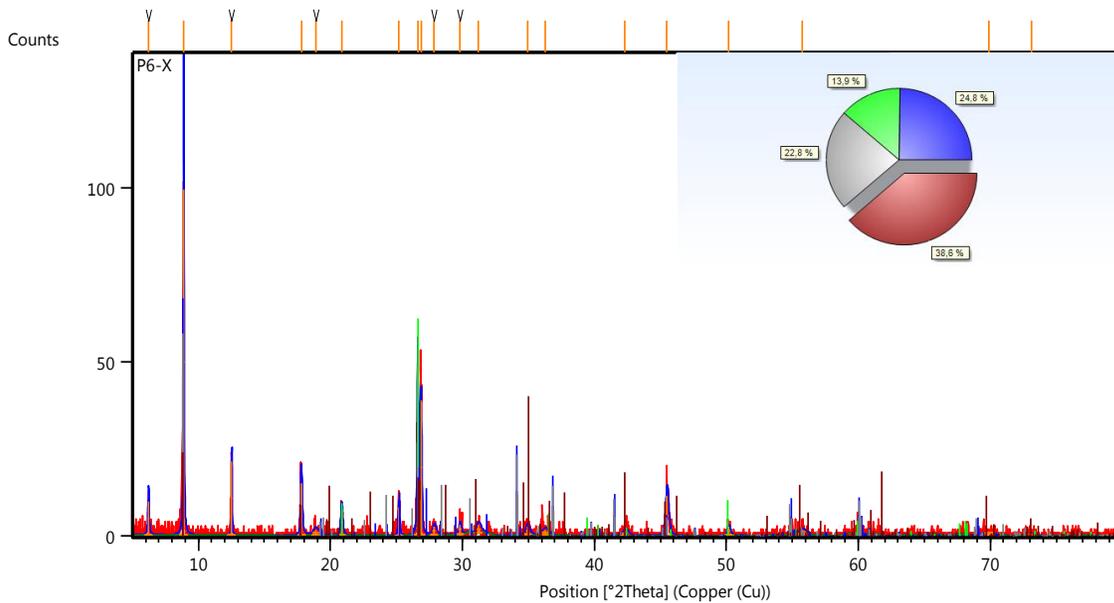
*Trabajo de diploma*

5,8300	1,51	0,9446	15,15975	1,38
8,9022	56,11	0,0590	9,93369	51,55
12,5621	20,09	0,0787	7,04662	18,45
17,7944	10,83	0,1181	4,98466	9,95
20,8911	41,59	0,0787	4,25225	38,21
25,2094	8,83	0,1181	3,53279	8,11
26,6553	108,85	0,0787	3,34435	100,00
27,9651	21,01	0,1181	3,19061	19,31
29,4989	39,25	0,1968	3,02812	36,06
36,0970	7,40	0,2362	2,48832	6,80
36,6390	4,12	0,2362	2,45275	3,79
39,5597	8,25	0,2362	2,27814	7,58
42,5173	3,74	0,1968	2,12626	3,43
43,3434	7,48	0,2362	2,08763	6,87
45,5156	5,85	0,2362	1,99293	5,37
48,7127	6,28	0,2755	1,86934	5,77
50,1922	4,32	0,2362	1,81766	3,97
60,0334	3,19	0,2362	1,54110	2,93
68,2108	2,36	0,7872	1,37491	2,17

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
	96-500-0036	29	Quartz	0,000	1,014	Si3.00 O6.00
	96-900-1632	3	Albite	0,000	0,056	Na2.00 Al2.00 Si6.00 O16.00
	96-900-2307	5	Biotite	0,000	0,234	Si5.28 Al3.80 Fe2.88 Mg1.68 Ti0.32

					Na0.10
					K1.90
					O24.00
96-901-0186	8	Phlogopite	0,000	0,363	K3.72
					Na0.24
					Mg5.76
					Fe4.32
					Ti1.32
					Al5.08
					Si11.52
					O48.00
* 96-900-1298	24	Calcite	0,000	0,348	Ca5.62
					Mg0.38
					C6.00
					O18.00

**Muestra P6**



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,2207	9,54	0,1181	14,20836	9,62

*Trabajo de diploma*

8,8785	99,20	0,0787	9,96011	100,00
12,5228	21,19	0,0590	7,06861	21,36
17,8076	14,94	0,1378	4,98098	15,06
18,8829	1,51	0,4723	4,69970	1,52
20,8516	7,17	0,1574	4,26022	7,23
25,1803	8,09	0,1181	3,53681	8,16
26,6149	48,47	0,0984	3,34933	48,86
26,8661	38,81	0,0787	3,31859	39,13
27,8744	2,29	0,3149	3,20079	2,31
29,8179	2,69	0,1968	2,99645	2,71
31,2269	2,12	0,3936	2,86439	2,14
34,9455	2,28	0,3149	2,56763	2,30
36,2575	1,47	0,6298	2,47767	1,48
42,3310	1,39	0,4723	2,13519	1,40
45,4951	11,52	0,2362	1,99378	11,62
50,1596	2,40	0,2362	1,81876	2,42
55,7623	1,07	0,4723	1,64857	1,08
69,8912	0,14	0,6298	1,34591	0,14
73,1230	0,37	0,7872	1,29420	0,37

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-0185	10	Phlogopite	0,000	0,488	K3.72 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.64 Si11.36 O48.00
*	96-900-9667	21	Quartz	0,000	0,447	Si3.00 O6.00
*	96-900-1352	5	Biotite	0,000	0,415	Si5.47

Al2.54 K1.83

Ca0.01

Na0.03

Mg2.95

Cr0.01

Fe1.88

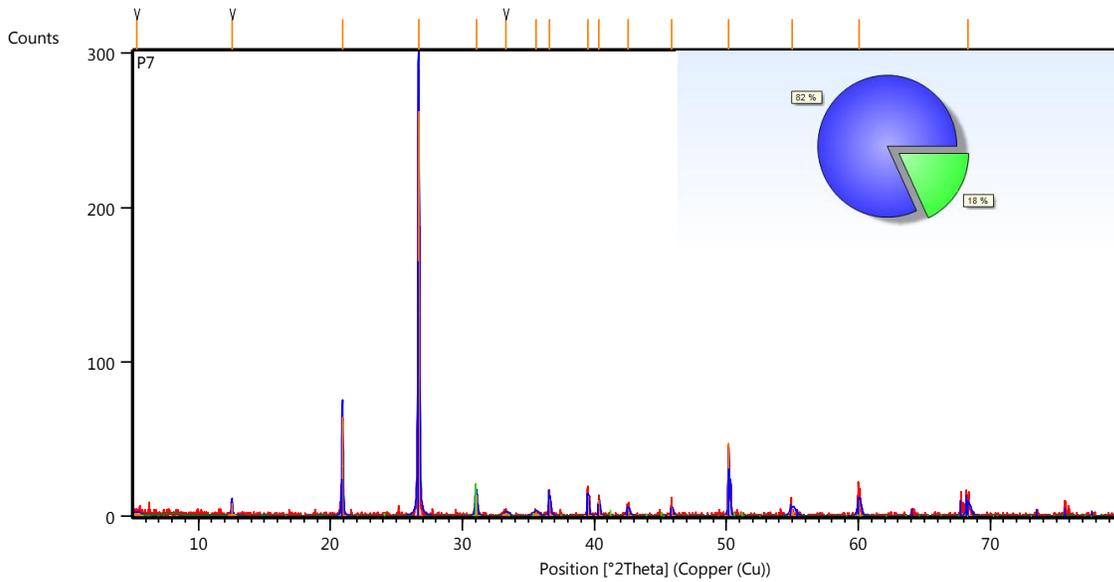
Mn0.05

Ti0.78

O24.00

*	96-110-1033	6 Muscovite 3T	0,000	0,286	Al8.73
					Fe0.27
					K3.00
					O36.00
					Si9.00 H0.00

**Muestra P7**



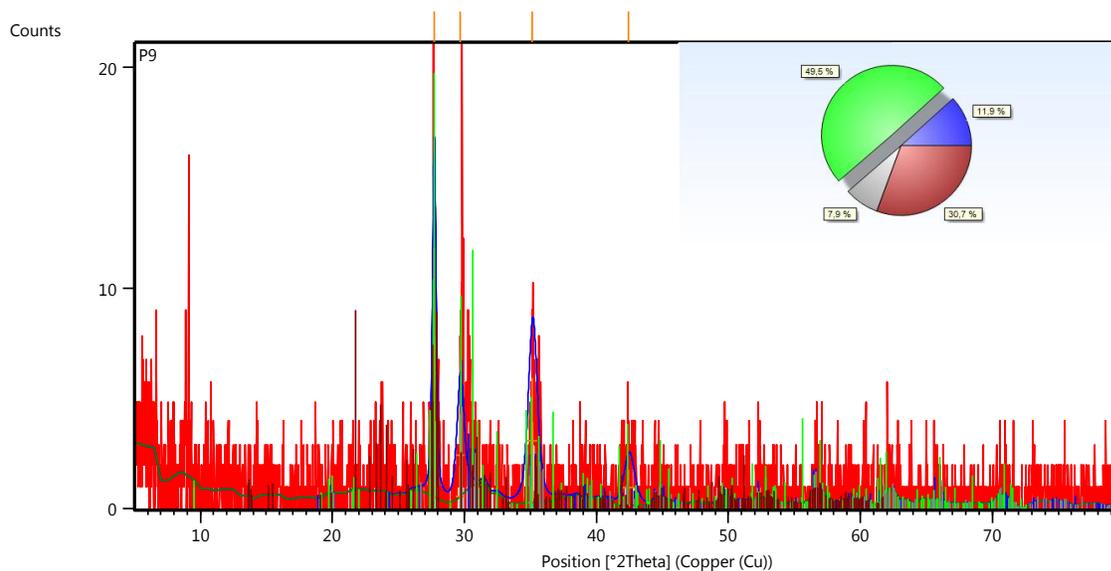
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5,3311	1,19	0,4723	16,57708	0,45

*Trabajo de diploma*

12,5378	8,33	0,1181	7,06021	3,18
20,9033	63,92	0,0787	4,24980	24,38
26,6750	262,15	0,0984	3,34192	100,00
31,0498	13,66	0,1574	2,88032	5,21
33,3013	2,16	0,4723	2,69055	0,82
35,5564	2,61	0,4723	2,52490	1,00
36,6080	10,91	0,1574	2,45476	4,16
39,5236	13,35	0,1181	2,28014	5,09
40,3428	10,34	0,1181	2,23571	3,94
42,5554	4,58	0,2362	2,12444	1,75
45,8806	5,33	0,1181	1,97792	2,03
50,1757	47,47	0,0720	1,81671	18,11
54,9940	4,49	0,4723	1,66977	1,71
60,0407	10,52	0,2362	1,54093	4,01
68,3114	7,17	0,3149	1,37313	2,74

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-500-0036	62	Quartz	0,000	0,545	Si3.00 O6.00
*	96-900-3516	13	Dolomite	0,000	0,071	Ca3.00 Mg3.00 C6.00 O18.00

Muestra P9

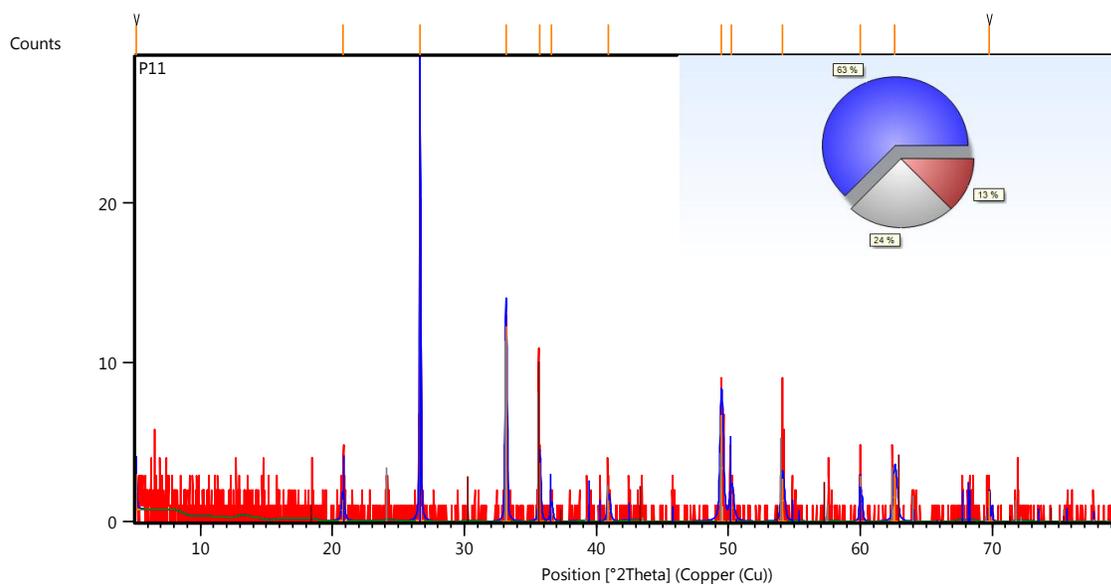


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
27,7045	11,28	0,3149	3,22004	100,00
29,6918	3,72	0,6298	3,00889	32,99
35,1656	5,67	0,7872	2,55206	50,25
42,4610	1,61	0,9446	2,12895	14,28

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-9665	16	Augite	0,000	0,286	Ca4.00 Mg2.96 Fe1.00 Si8.00 O24.00
*	96-900-1646	20	Enstatite	0,000	0,909	Mg12.02 Fe3.98 Si16.00 O48.00

*	96-900-4955	4 Diopside	0,000	0,188	Ca2.80 Mg5.20 Si8.00 O24.00
*	96-900-0858	17 Anorthoclas e	0,000	0,397	Al2.00 Si6.00 Na1.50 K0.50 O16.00

### Muestra P11



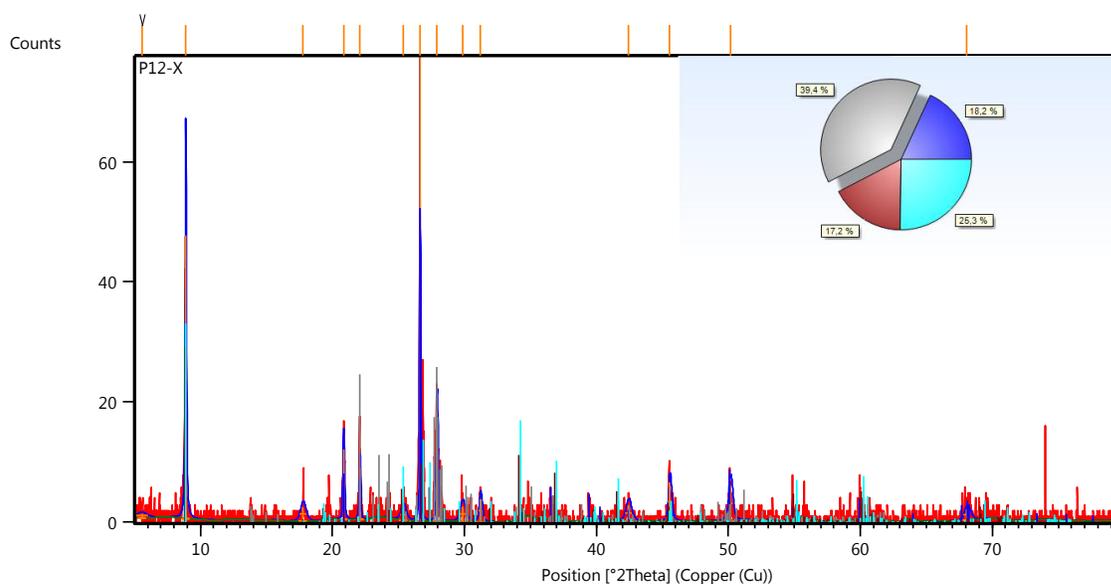
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5,1213	2,24	0,1181	17,25570	8,13
20,7951	1,31	0,2362	4,27166	4,75
26,6368	27,59	0,0787	3,34663	100,00
33,1447	12,25	0,1181	2,70290	44,40
35,6816	3,71	0,1574	2,51633	13,43
36,5886	0,94	0,1968	2,45601	3,39
40,9168	1,31	0,2362	2,20566	4,76

Trabajo de diploma

49,4664	6,69	0,2362	1,84261	24,26
50,2177	1,73	0,3149	1,81679	6,28
54,0899	2,67	0,2362	1,69553	9,67
59,9852	2,89	0,1181	1,54222	10,48
62,6051	3,01	0,2755	1,48383	10,90
69,7907	1,94	0,0984	1,34761	7,02

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-500-0036	31	Quartz	0,000	0,979	Si3.00 O6.00
*	96-900-0140	27	Hematite	0,000	0,387	Fe12.00 O18.00
*	96-900-2320	7	Magnetite	0,000	0,341	Fe24.00 O32.00

Muestra P12



Trabajo de diploma

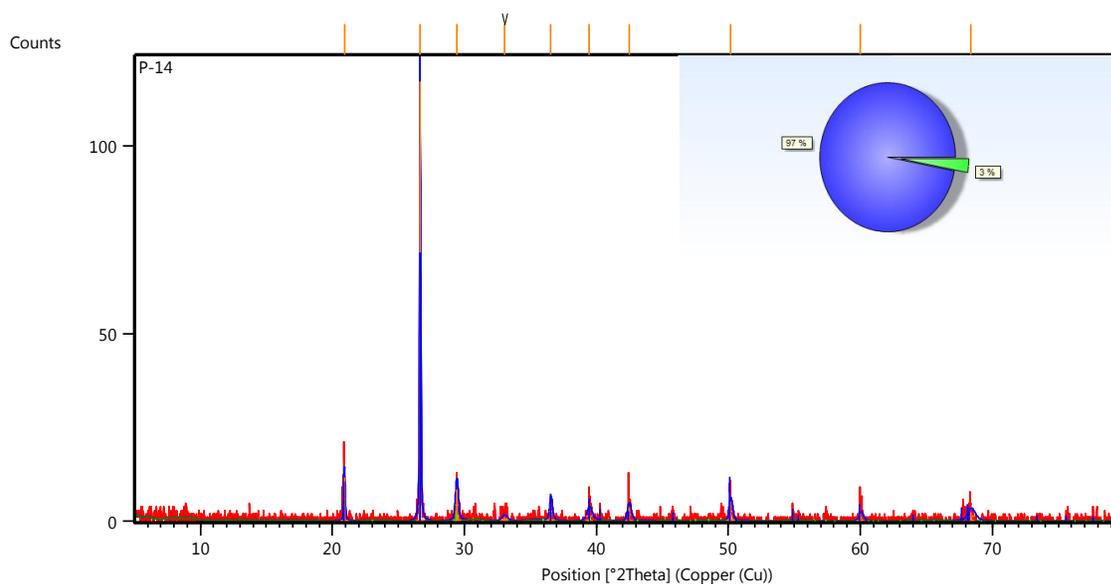
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5,5532	0,63	0,9446	15,91462	0,80
8,8904	47,07	0,1181	9,94690	59,98
17,7869	2,33	0,4723	4,98674	2,97
20,8506	11,71	0,1181	4,26041	14,93
22,0792	8,63	0,1181	4,02604	11,00
25,3817	1,92	0,4723	3,50920	2,45
26,6329	78,47	0,0590	3,34710	100,00
27,9379	18,29	0,1181	3,19366	23,30
29,8718	2,47	0,4723	2,99116	3,15
31,2306	3,68	0,2362	2,86405	4,69
42,4350	2,60	0,4723	2,13019	3,31
45,5682	6,48	0,2362	1,99075	8,26
50,1521	5,87	0,3149	1,81902	7,48
68,0781	1,83	0,4723	1,37727	2,33

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-9667	36	Quartz	0,000	0,669	Si3.00 O6.00
*	96-900-1632	15	Albite	0,000	0,330	Na2.00 Al2.00 Si6.00 O16.00
*	96-901-0171	9	Phlogopite	0,000	0,368	K3.72 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.80 Si11.20 O48.00

*	96-900-0844	6 Biotite	0,000	0,417 Mg6.55
				Fe3.46
				Al5.29
				Ti1.34
				Si11.36
				K4.00
				O48.00

---

**Muestra P14**



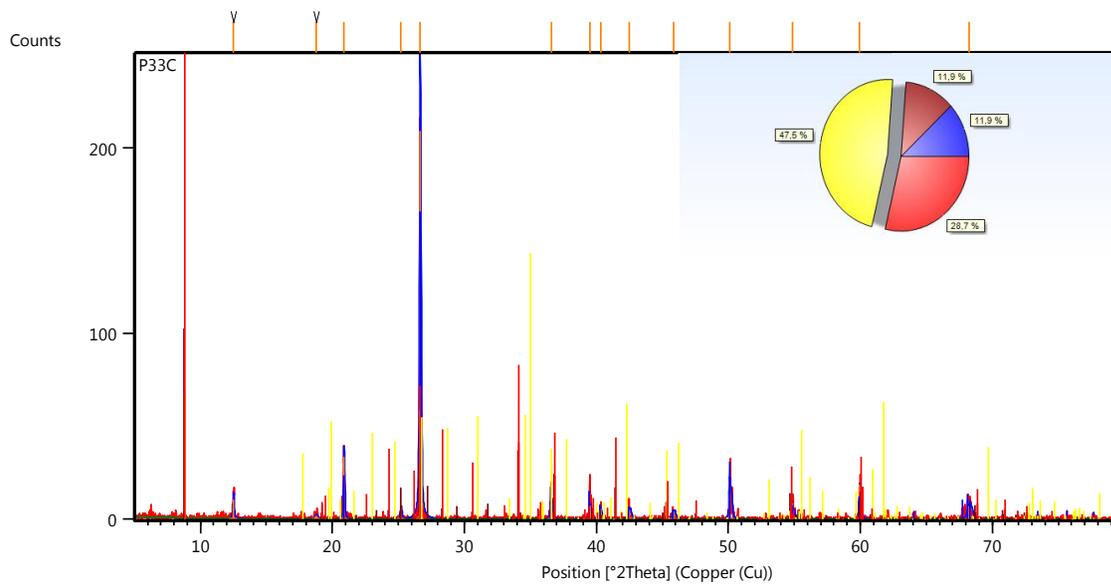
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20,9061	11,58	0,0984	4,24924	9,88
26,6367	117,29	0,0787	3,34664	100,00
29,4179	8,34	0,2362	3,03627	7,11
33,0202	1,08	0,4723	2,71280	0,92
36,5483	4,64	0,2362	2,45863	3,95
39,4693	2,53	0,4723	2,28314	2,16
42,4796	3,53	0,3149	2,12806	3,01
50,1726	4,92	0,2362	1,81832	4,20

Trabajo de diploma

60,0214	2,04	0,3149	1,54138	1,74
68,3632	2,40	0,6298	1,37222	2,05

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-9667	49	Quartz	0,000	0,575	Si3.00 O6.00
*	96-900-9668	11	Calcite	0,000	0,021	Ca6.00 C6.00 O18.00

Muestra P33



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12,5066	10,19	0,1181	7,07774	4,87
18,7774	1,85	0,2362	4,72585	0,89
20,8850	33,32	0,0787	4,25348	15,94

*Trabajo de diploma*

25,2029	5,81	0,1181	3,53369	2,78
26,6462	209,05	0,1181	3,34546	100,00
36,5975	8,54	0,1574	2,45543	4,09
39,5278	7,52	0,1181	2,27990	3,60
40,3207	5,63	0,1181	2,23688	2,69
42,5072	4,82	0,2362	2,12674	2,30
45,8591	3,78	0,2362	1,97880	1,81
50,1239	20,46	0,1574	1,81997	9,79
54,8605	8,74	0,1181	1,67352	4,18
59,9541	18,89	0,1181	1,54294	9,03
68,2639	7,01	0,3149	1,37397	3,35

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-2601	62	Quartz	0,000	0,659	Si3.00 O6.00
*	96-900-1584	3	Biotite	0,000	0,406	Si11.14 Al4.86 Fe4.86 Mg6.18 Mn0.07 Ti0.90 K3.78 Na0.13 O48.00
*	96-110-1032	2	Muscovite 3T	0,000	0,569	K3.00 Al9.00 Si9.00 O36.00 H0.00
*	96-901-0174	2	Phlogopite	0,000	1,077	K1.80 Na0.12 Mg2.70 Fe2.40

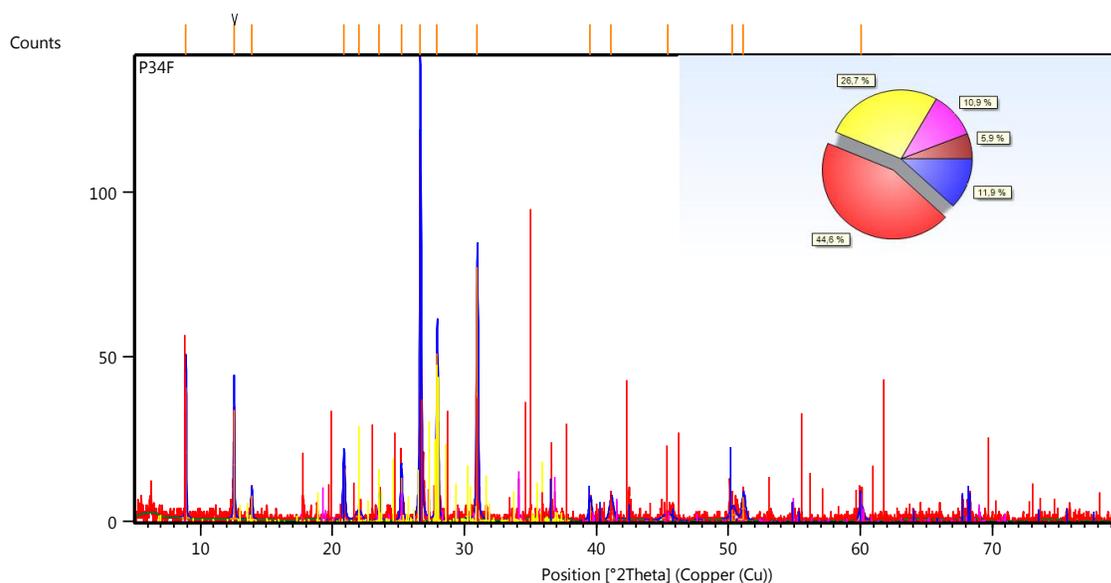
Ti0.54

Al1.88

Si5.68

O24.00

### Muestra P34



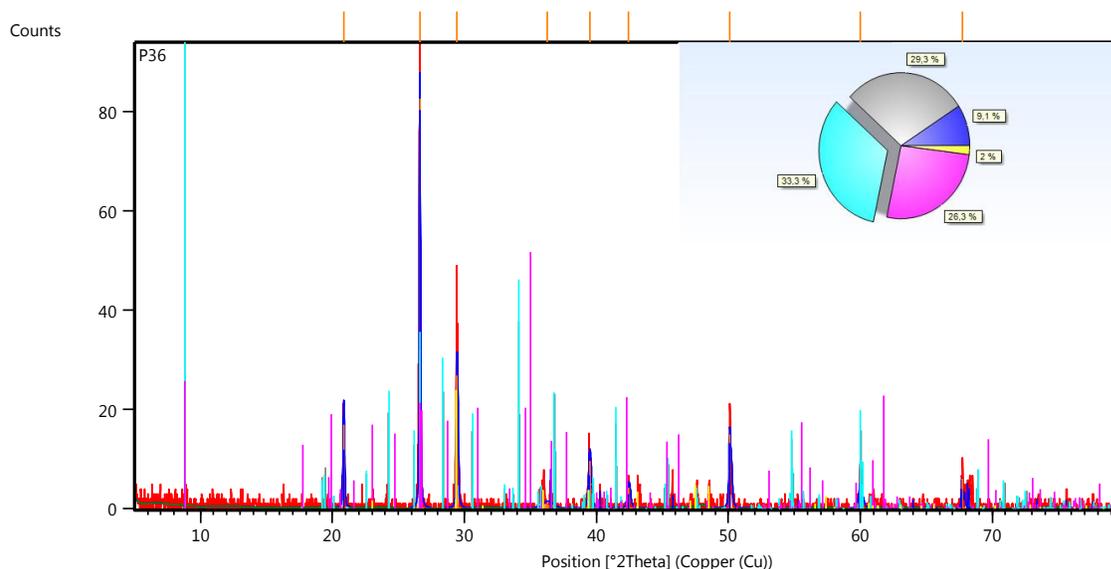
Pos. [ $2\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [ $2\theta$ .]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
8,9085	39,77	0,0590	9,92671	34,11
12,5558	33,20	0,0787	7,05015	28,47
13,8912	7,28	0,1181	6,37524	6,24
20,8671	16,04	0,1574	4,25708	13,75
21,9821	2,20	0,4723	4,04360	1,89
23,5592	6,76	0,1181	3,77636	5,79
25,2180	13,00	0,1574	3,53161	11,15
26,6627	116,61	0,1181	3,34344	100,00
27,9370	50,65	0,1181	3,19376	43,44
30,9817	76,72	0,0984	2,88649	65,80
39,5255	5,36	0,2362	2,28003	4,60

*Trabajo de diploma*

41,1168	5,33	0,3149	2,19539	4,57
45,3824	1,52	0,9446	1,99847	1,30
50,3110	3,09	0,4723	1,81364	2,65
51,1361	7,03	0,2362	1,78630	6,02
60,0316	3,88	0,3149	1,54114	3,33

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-0171	8	Phlogopite	0,000	0,230	K3.72 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.80 Si11.20 O48.00
*	96-900-0469	2	Biotite	0,000	0,313	Mg8.00 Al8.00 K2.00 Si12.00 O48.00
*	96-100-0035	12	Anorthite	0,000	0,333	O64.00 Ca8.00 Si16.00 Al16.00
*	96-110-0016	4	Muscovite 3T	0,000	0,660	Al8.73 Fe0.27 K3.00 O36.00 Si9.00 H0.00
*	96-500-0036	28	Quartz	0,000	0,838	Si3.00 O6.00

**Muestra P36**



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20,8537	16,73	0,1181	4,25979	20,27
26,6179	82,55	0,0787	3,34897	100,00
29,4477	26,87	0,1181	3,03327	32,56
36,2910	1,02	0,9446	2,47547	1,23
39,4902	9,51	0,1968	2,28198	11,52
42,4469	4,16	0,2362	2,12962	5,04
50,1098	14,98	0,1574	1,82045	18,14
59,9867	3,35	0,3149	1,54218	4,06
67,7065	5,95	0,1181	1,38392	7,21

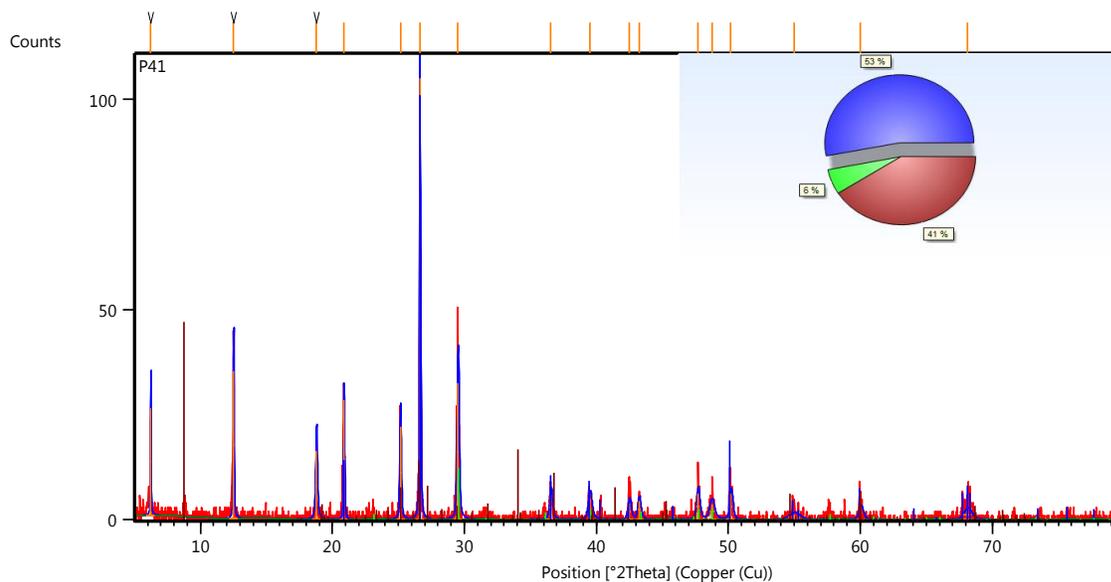
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-9667	49	Quartz	0,000	0,853	Si3.00 O6.00
*	96-900-1352	1	Biotite	0,000	1,528	Si5.47 Al2.54 K1.83

*Trabajo de diploma*

					Ca0.01
					Na0.03
					Mg2.95
					Cr0.01
					Fe1.88
					Mn0.05
					Ti0.78
					O24.00
*	96-901-0397	1 Phlogopite	0,000	1,484	K2.00
					Mg3.96
					Fe2.04
					Si7.95
					O24.00
					H2.66
*	96-110-0015	1 Muscovite 3T	0,000	0,548	K3.00 Al9.00
					Si9.00
					O36.00
					H0.00
*	96-900-9668	21 Calcite	0,000	0,254	Ca6.00
					C6.00
					O18.00

---

**Muestra P41**

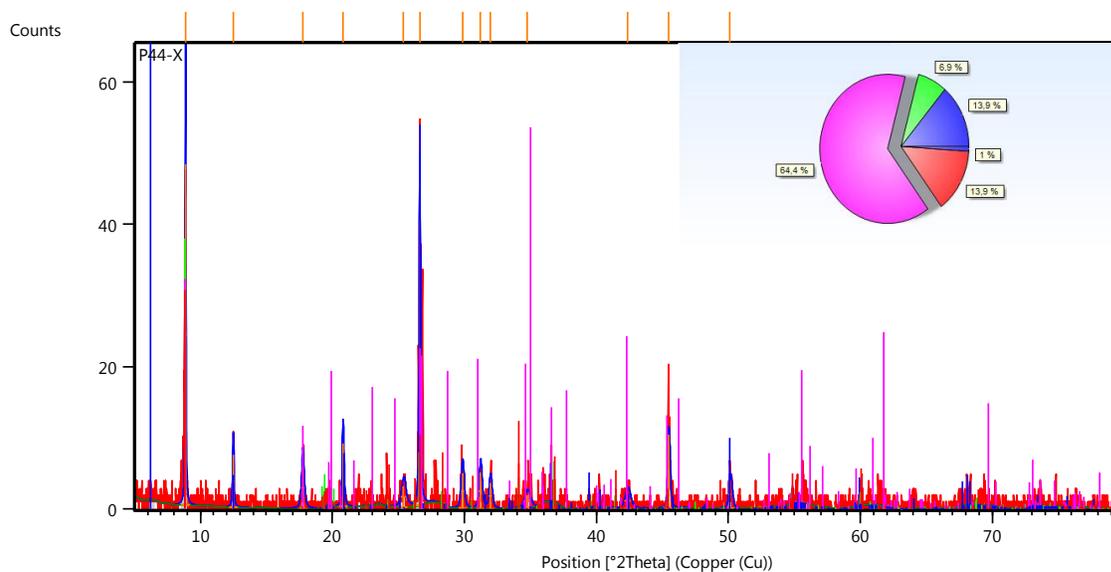


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,2466	25,36	0,0590	14,14949	24,16
12,5240	35,04	0,0787	7,06795	33,39
18,7993	16,23	0,1574	4,72040	15,46
20,8769	28,34	0,0787	4,25511	27,00
25,1567	21,96	0,1181	3,54007	20,93
26,6322	104,96	0,0787	3,34720	100,00
29,5212	32,42	0,1574	3,02588	30,89
36,5571	5,67	0,2362	2,45806	5,40
39,5189	4,90	0,3149	2,28039	4,67
42,5028	3,89	0,2362	2,12695	3,71
43,2410	4,29	0,2362	2,09234	4,09
47,6995	6,13	0,2362	1,90666	5,84
48,7456	3,60	0,3936	1,86816	3,43
50,1945	6,03	0,2362	1,81758	5,75
54,9786	1,17	0,9446	1,67020	1,11
60,0139	2,75	0,3149	1,54155	2,62
68,1009	1,98	0,6298	1,37686	1,89

*Trabajo de diploma*

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacemen t [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-2601	49	Quartz	0,000	0,908	Si3.00 O6.00
*	96-900-1298	19	Calcite	0,000	0,111	Ca5.62 Mg0.38 C6.00 O18.00
*	96-900-1584	3	Biotite	0,000	0,416	Si11.14 Al4.86 Fe4.86 Mg6.18 Mn0.07 Ti0.90 K3.78 Na0.13 O48.00

Muestra P44



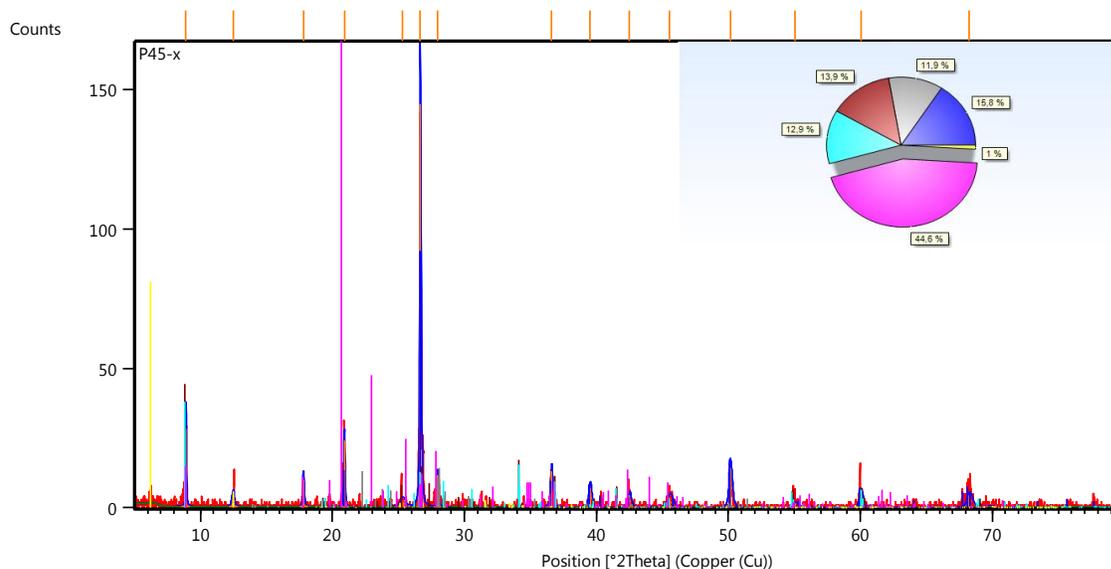
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,8659	47,86	0,0787	9,97432	100,00
12,4803	7,42	0,1181	7,09260	15,51
17,7556	5,89	0,2362	4,99545	12,31
20,8030	8,92	0,1574	4,27006	18,65
25,3980	2,95	0,3936	3,50698	6,16
26,6143	40,39	0,1181	3,34941	84,39
29,8548	4,96	0,2362	2,99283	10,37
31,2226	5,02	0,2362	2,86477	10,48
31,9725	3,55	0,2362	2,79927	7,42
34,7867	1,73	0,4723	2,57899	3,61
42,3677	2,12	0,4723	2,13342	4,42
45,4725	10,30	0,1574	1,99472	21,51
50,1347	4,02	0,2362	1,81961	8,41

Visible	Ref. Code	Score	Compound	Displacemen	Scale Factor	Chemical
---------	-----------	-------	----------	-------------	--------------	----------

*Trabajo de diploma*

		Name	t [°2Th.]		Formula
*	96-901-2601	32 Quartz	0,000	0,814	Si3.00 O6.00
*	96-900-1583	13 Biotite	0,000	0,570	Si5.62 Al2.41 Fe0.80 Mg1.02 Mn0.01 Ti0.13 Na0.07 K3.81 O24.00
*	96-110-0016	6 Muscovite 3T	0,000	0,813	Al8.73 Fe0.27 K3.00 O36.00 Si9.00 H0.00
*	96-901-0178	7 Phlogopite	0,000	0,461	K1.86 Na0.14 Mg2.94 Fe2.28 Ti0.48 Al2.86 Si5.44 O24.00
*	96-900-2231	0 Clinochlore	0,000	1,177	Mg5.94 Al1.98 Si6.08 O24.00 I24.00

Muestra P45



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,9053	27,70	0,0787	9,93020	19,14
12,4771	4,18	0,2362	7,09443	2,89
17,8057	9,65	0,1181	4,98152	6,67
20,9046	23,87	0,0787	4,24953	16,49
25,3083	2,46	0,4723	3,51921	1,70
26,6558	144,73	0,0984	3,34429	100,00
27,9738	11,48	0,1181	3,18965	7,93
36,6057	12,81	0,1574	2,45490	8,85
39,5246	6,97	0,2362	2,28008	4,82
42,5097	4,33	0,2362	2,12663	2,99
45,5673	3,55	0,4723	1,99079	2,46
50,1370	14,32	0,2362	1,81953	9,89
55,0778	1,37	0,4723	1,66743	0,94
60,0315	6,03	0,2362	1,54114	4,16
68,2482	4,24	0,3936	1,37425	2,93

*Trabajo de diploma*

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-2601	52	Quartz	0,000	0,549	Si3.00 O6.00
*	96-900-1634	3	Albite	0,000	0,083	Na2.00 Al2.00 Si6.00 O16.00
*	96-901-0171	12	Phlogopite	0,000	0,262	K3.72 Na0.28 Mg6.00 Fe4.44 Ti1.56 Al4.80 Si11.20 O48.00
*	96-900-1352	7	Biotite	0,000	0,225	Si5.47 Al2.54 K1.83 Ca0.01 Na0.03 Mg2.95 Cr0.01 Fe1.88 Mn0.05 Ti0.78 O24.00
*	96-101-1050	3	Muscovite 2M1	0,000	1,507	Si12.00 Al12.00 K4.00 O48.00 H0.00
*	96-900-2231	1	Clinochlore	0,000	0,474	Mg5.94 Al1.98 Si6.08

O24.00

I24.00

---