

## Caracterización petrográfica de las unidades litológicas del grupo khoabendus y la serie granítica fransfontein de Kamanjab, Namibia\*

**Mtundeni Ndafyaalako**

Carrera: Ingeniería geológica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**Resumen:** Se realizó un estudio geológico acerca de las características mineralógicas, texturales y estructurales de las rocas que afloran en el sector 1914CB Kamanjab, con el objetivo de esclarecer, desde el punto de vista petrográfico, las unidades litológicas del grupo Khoabendus, la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab, al noroeste de Kamanjab, Namibia. Se emplearon diferentes técnicas analíticas tales como el análisis petrográfico, métodos de fluorescencia de rayos-X, y a partir de estos últimos se obtuvieron los valores de los óxidos. Los resultados principales están referidos a: las asociaciones minerales principales y el tipo de roca, representación gráfica del complejo granitoides y rocas sedimentarias así como los posibles protolitos de las rocas metamórficas.

**Palabras clave:** Análisis petrográfico; unidades litológicas; sector 1914cb Kamanjab.

---

\* Trabajo tutorado por la Dra. María Margarita Hernández Sarlabous.  
Recibido: 28 julio 2013 / Aceptado: 3 septiembre 2014.

## **Petrographical characterization of lithological units of the khoabendus group and fransfontein granitic series in the 1914cb Kamanjab, Namibia**

**Abstract:** A geological survey was carried out to describe the mineralogical, textural and structural characteristics of the rocks, which crop out in the 1914CB Kamanjab sector with the objective to clarify, from the petrographical point of view, the lithological units of the Khoabendus group, and the granitic series in the 1914CB Kamanjab sector to the northeast of Kamanjab, Namibia. Various analytical techniques such as petrographical analysis and x-ray fluorescence methods were implemented. The values of oxides were obtained by applying x-ray fluorescence methods. The investigation results mainly lie on: main mineral associations and the type of rock, graphical representation of the granitoids complex and sedimentary rocks as well as potential protoliths of metamorphic rocks.

**Key words:** Petrographic analysis; lithological units; 1914cb Kamanjab sector.

## Introducción

Namibia es uno de los países más ricos en depósitos y recursos minerales, razón por la cual varias empresas reconocidas a nivel mundial como Rössing y De Beers tienen operaciones mineras en él (Kondja, 2012). Las rocas existentes en el país reflejan más de 2 600 millones de años de la historia de la Tierra, con edades que varían desde el arcaico hasta el fanerozoico. Los yacimientos minerales existentes han sido identificados a lo largo de toda la columna estratigráfica y son objeto de prospección y exploración, ejemplo de ello lo constituyen las rocas del Mesozoico al Neoproterozoico que contienen yacimientos extensos de cobre; y los intrusivos graníticos calco-alcalinos de la misma edad que son favorables para mineralizaciones de cobre porfírica e hidrotermal; además de mineralización de oro en venas. El área de Kamanjab está constituida por las rocas paleoproterozoicas y sus intrusivos asociados denominados Kamanjab Inlier (Ventana tectónica Kamanjab), las cuales son, principalmente, vulcano sedimentarias, series graníticas y complejos metamórficos.

Numerosas zonas de mineralización de plomo y zinc han sido observadas alrededor del sector 1914CB Kamanjab, (Miller, 2008). El área también es prospectiva para depósitos de sulfuros masivos (formación Otjovazandu); mineralización de estilo porfírica (formación West End); skarn y mineralización de tipo porfírica y de cobre-oro-óxido de hierro asociados a los intrusivos de la serie Granítica Fransfontein (George & Penner, 2002).

La caracterización petrográfica de las asociaciones litológicas dentro del sector 1914CB Kamanjab, permite conocer aún más sobre su constitución geológica y contribuir al conocimiento geológico de la zona que permita delimitar las áreas perspectivas para la prospección y exploración.

Es por ello que el objetivo de trabajo es caracterizar desde el punto de vista petrográfico las unidades litológicas del grupo Khoabendus y la serie granítica Fransfontein en el sector 1914CB Kamanjab, Namibia.

La ventana tectónica de Kamanjab (Kamanjab Inlier) fue estudiada por varios investigadores desde la década de los sesentas, tal como Frets (1969), Porada (1974), George & Penner (2002), Becker *et al.* (2006), Miller (2008) y Wilsky (2010), que describieron su geología regional y reconocieron las tres unidades litológicas que la

forman: grupo Khoabendus, serie granítica Fransfontein y el complejo metamórfico Huab.

Porada (1974) investigó las rocas del grupo Khoabendus, mapeó y describió esta unidad como una formación y la dividió en dos miembros compuestos por rocas vulcano sedimentarias y meta sedimentarias: West End en la parte inferior (ignimbrite porfírica, rocas piroclásticas, lavas, dacitas y riocitas, cuarcitas con laminación cruzada) y Otjovazandu en la parte superior (calizas, dolomitas, chert, areniscas, esquistos de areniscas, mármol, tobas, filitas, *iron formation*, ortocuarcitas y esquistos sericíticos). Además, propuso que sus litologías fueron depositadas en una cuenca de rift que sufrió varios ciclos de transgresión-regresión y notó la falta de evidencia de depósitos de evaporitas.

George & Penner (2002) interpretaron datos geofísicos aeromagnéticos y gravimétricos y reconocieron estructuras características de depósitos de óxido de hierro-cobre-oro en la zona. Proponen que el área también es prospectiva para depósitos de sulfuros masivos (formación Otjovazandu); mineralización de estilo porfírica (formación West End); skarn y mineralización de tipo porfírica y de cobre-oro-óxido de hierro asociados a los intrusivos de la serie Granítica Fransfontein.

Becker *et al.* (2006) subdividió la formación Otjovazandu, previamente descrito por Porada (1974), en tres miembros desde la parte superior Ombonde, Eendrag y Bruno, respectivamente. Además, propone más de 10 tipos de granitos pertenecientes a la serie granítica Fransfontein (dos tipos Kaross y Kamdescha están presentes en el área de estudio). Estos mapeos de reconocimientos se concentraron en la comprobación y ampliación de los rasgos previamente estudiados.

Muvangua (2006) analizó la geoquímica y petrología de los granitos, entre otros, Franken, Kamdescha y Kaross pertenecientes a la serie granítica. A través de los diagramas de los elementos trazas inmóviles (Ta, Yb, Th and Hf) propuso que el régimen tectónico activo durante la formación de estas rocas es de carácter margen continental activo y calculó las composiciones mineralógicas normativas de la serie.

Miller (2008) escribió un artículo sobre la geología de las rocas del Arcaico al Mesoproterozoico en Namibia, publicados por el servicio geológico de Namibia, que cubre las tres unidades de la ventana tectónica de Kamanjab. Se describió la

estratigrafía, la geología y la petrogénesis de la zona. Su trabajo cubrió, de forma sintetizada, los grupos de rocas meta vulcano sedimentarias y plutónicas de las formaciones West End, Otjovazandu y los granitoides Fransfontein. En adición, el mismo autor notó la manifestación de un metamorfismo regional de bajo grado en las unidades vulcano sedimentarias, marcado por presencia de mármol, crecimientos de biotita en tobas y filitas cloríticas, sausrutización fuerte de plagioclasas cálcicas y alteración de hornblenda a agregados de epidota, clorita y magnetita.

Wilsky (2010) realizó trabajos con fines de caracterizar geoquímicamente y determinar las edades de los granitoides de la ventana tectónica de Kamanjab. Se reconocieron todas las unidades geológicas anteriormente señaladas en el área y concluyen que la edad de los granitoides de esta serie es de  $1879 \pm 8,9$  Ma.

### Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio está geográficamente ubicada en la parte noroeste de Namibia, en la región Kunene, situada a 55 km, aproximadamente, al noroeste de la ciudad de Kamanjab. El área se encuentra en la hoja 1914CB Kamanjab del mapa topográfico nacional a escala 1:250 000, comprendido entre las coordenadas geográficas A.  $19^{\circ}35'12.250''S$  hasta  $19^{\circ}37'48.250''S$  B.  $14^{\circ}21'04.500''E$  hasta  $14^{\circ}24'13.500''E$ . Su extensión es, aproximadamente,  $25 \text{ km}^2$  y abarca las granjas Atlanta, Eendrag y Oortrek.

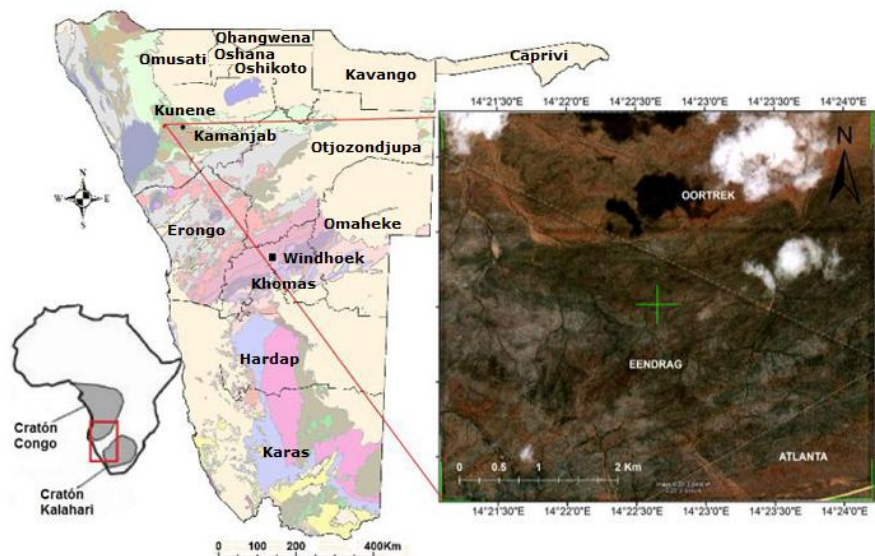


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

## Estructura

La estructura de las rocas en esta área está dominada por dos principales sinclinorias de tendencia NE-SW (Miller, 2008). Esto se evidencia en los afloramientos que presentan foliación con excepción de las unidades en el centro y en los cambios bruscos en esta tendencia en el extremo norte de la granja Eendrag. Valores de buzamiento próximos a lo vertical predominan en los afloramientos comúnmente con dirección NW-SE. Plegamientos locales se observan en las cuarcitas en el sector sur.

Varias fallas se reportan, la mayoría en dirección NE-SW. Dos fallas extensas que atraviesan el sector sur se asocian a la mineralización de epidota en los esquistos cuarzosos. Se reporta una falla inversa en sector SW.

La simbología utilizada en las microfotografías es la siguiente:

Qz –Cuarzo Mgt –Magnetita Sc –Sericita Bi –Biotita  
Car –Carbonato Ru –Rutilo Mu –Muscovita Cl –Clorita  
Mic –Microclina Zc –Circón Cld –Calcedonia Cal –Calcita  
Esf –Esfena Gr –Grafito.

## Materiales y Métodos

Las muestras destinadas para las secciones delgadas fueron preparadas según los procedimientos internos del laboratorio del Servicio Geológico de Namibia y posteriormente fueron enviadas a Cuba y estudiadas. Para ello se utilizó un microscopio óptico polarizante modelo NP-400B marca NOVEL disponible en el laboratorio de Petrología del Instituto Minero Metalurgico de Moa. Se preparó el microscopio para observaciones ortoscópicas, utilizando tanto nicoles cruzados como paralelos, objetivo 10X, foco 17,13 mm, a una distancia de trabajo aproximada de 7,316 mm, se determinaron los parámetros ópticos, como: color, pleocroísmo, relieve, forma, índice de refracción, colores de interferencia y ángulo de extinción. Además de los parámetros ópticos anteriormente mencionados se cuantificaron los porcentajes volumétricos de los minerales presentes en las secciones delgadas utilizando el método de Diagrama de porcentaje y fueron determinados: el tamaño de los minerales, los principales tipos de texturas presentes en las rocas.

Las microfotografías fueron tomadas por medio de la inserción al microscopio de la cámara fotográfica digital, modelo Power Shot A360, de 8.0 megapíxel con zoom

óptico de aproximación 4x, con ocular especial diseñado para cámaras Canon de 52 mm y de la video-cámara digital, modelo MDCE-5ª.

### **Análisis químico (fluorescencia de rayos-X)**

Se trituraron las muestras en dos fases: 1) en la máquina trituradora hasta una granulometría de <2mm y 2) en la máquina pulverizadora hasta una granulometría de <0,07mm.

El método de fluorescencia de rayos-X consiste en hacer incidir un haz de rayos-X con energía suficiente para excitar los diferentes elementos que componen la muestra. Los átomos excitados al pasar al estado normal emiten radiaciones X, cuya longitud de onda va a ser característica de cada elemento, y la intensidad de su fluorescencia es proporcional al contenido de dicho elemento en la muestra. El espectrómetro es capaz de separar las diferentes longitudes de onda y determinar su intensidad. Mediante la resolución de un sistema de ecuaciones se calcularon los contenidos de los diferentes elementos, a través de la correspondencia con una serie de muestras patrones con las que se calibra el equipo. Se determinaron los siguientes elementos: Si, Fe, Al, Ca, Mg, K, Ti, Mn, Cr, V, S, Ba, Cu, Sr, Zr, As, Zn y Ni.

### **Trabajo de gabinete**

Durante esta etapa se procesó toda la información primaria obtenida de las etapas anteriores e información adicional brindada desde el Servicio Geológico de Namibia. Se realizó la digitalización de los datos para confeccionar los mapas y se hicieron cálculos de conversión de porcentos de elementos mayores a los porcentos de los óxidos de los mismos, obtenidos en el análisis químico. Se emplearon los siguientes Software en esta etapa: los componentes ArcMap y ArcView de programa del ArcGIS para la digitalización, edición y confección de los mapas; Quantum GIS para la digitalización adicional y topológico de los mapas; Excel y PowerPoint para generar las tablas y gráficos.

## Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

### Grupo Khoabendus

#### Formación Otjovazandu Filitas, cuarciarenitas, calizas y mármol

Muestra: 9

Coordenadas: 14.3725E; 19.6084S

Nombre de la roca: Filita

Estructura: Esquistosa (fina)

Color: Pardo rojizo

Textura: microlepidogranoblástica

Composición general: sericita + cuarzo + mena metálica

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 57,01; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,06; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 22,51; CaO: 0,38; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 6,05; TiO<sub>2</sub>: 0,80

Descripción de detalle: La roca está representada por bandas de sericita hasta el azul de I orden alternando con bandas de cuarzo de granulometría fina con lineación. La sericita escamosa en escamas muy finas mientras que el cuarzo se encuentra en cristales de tamaño fino (0,01 mm). Se encuentra abundante mena metálica de forma cúbica y agregados irregulares siguiendo la lineación de la roca. La roca está teñida de óxido de hierro. Probable protorito es de composición pelítica a cuarzosa.

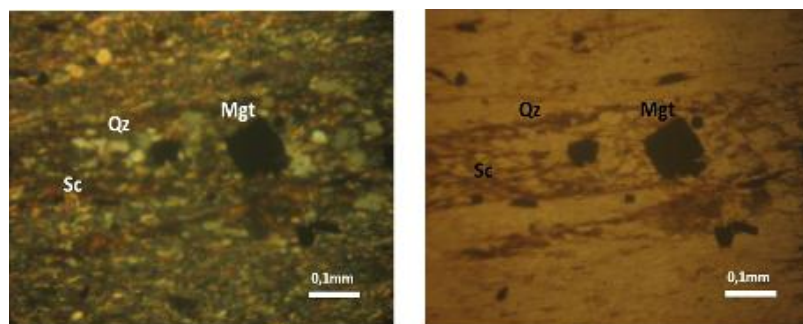


Figura 2. Fotomicrografía de roca esquistosa. a) con nicoles cruzados (NX) y aumento de 10X; b) nicoles paralelos (N//) y aumento de 10X.

Muestra: 7

Coordenadas: 14.3620E; 19.6175S

Nombre de la roca: Cuarciarenita

Estructura: Masiva

Color: blanco rojizo



Textura: Psamítica o arenácea

Composición general: cuarzo, mena metálica

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 100,35; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,67; Al<sub>2</sub>O: 1,42; CaO: 0,54; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 0,31; TiO<sub>2</sub>: 0,05

Descripción de detalle: En la sección se observa cuarzo (97 % del volumen total de la roca), formando un mosaico cristalino con cemento silíceo. Los clastos de cuarzo tienen diferente formas: redondeados a sub-redondeados y en menor proporción angulosos. El tamaño de los clastos es fino 0,01-0,02 mm. Se presentan, además, cristales irregulares de carbonato pero en escasa cantidad, al igual que diminutas escamas de sericita. Se observa mena metálica representada por un cristal de alto relieve, birrefringencia elevada como mineral accesorio y contenido menor del 1 %.

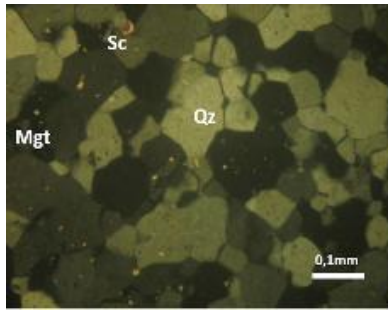


Figura 3. Cuarziarenita con textura psamítica o arenácea. NX, 10X.

Muestra: 15

Coordenadas: 14.3726E; 19.6103S

Nombre de la roca: Metacuarziarenita

Estructura: Masiva sin foliación

Color: Pardo oscuro

Textura: Psamítica o arenácea relíctica con material clorítico

Composición general: cuarzo, clorita, sericita, mena metálica + circón

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 54,87; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 21,67; Al<sub>2</sub>O: 12,42; CaO: 0,81; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 1,06; TiO: 2,14

Descripción de detalle: La muestra está representada por granos de cuarzo de formas irregulares distribuidos en una masa de composición clorítica. Se observan pequeñas escamas de sericita y cristales irregulares de mena metálica. Están presentes pequeños cristales de circón como accesorio. La roca parece haber sufrido un metamorfismo de bajo grado por la cantidad de clorita que se observa en la sección delgada por lo que se denomina metacuarziarenita, posible protolito cuarcita.

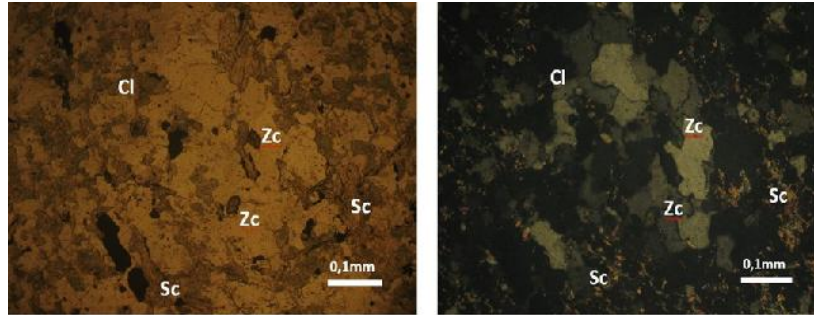


Figura 4. Clorita en metacuarcarenita con sericita y cristales de circón. a) N//, 10x. b) NX

Muestra: 3

Coordenadas: 14.3634E; 19.6186S

Nombre de la roca: Caliza (Esparita según Folk (1962))

Estructura: Masiva Color: Rosado parduzco

Textura: Cristalina

Composición general: carbonato (calcita), cuarzo, sericita, muscovita, mena.

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 22,10; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2,82; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3,04; CaO: 31,93; MgO: 6,91; K<sub>2</sub>O: 0,46; TiO<sub>2</sub>: 0,13

Descripción de detalle: La roca está teñida de óxido de hierro. Está constituida fundamentalmente por carbonato (calcita), formando granos irregulares, en ocasiones, en agregados, este mineral constituye aproximadamente el 90 % del volumen total de la roca. Algunas veces se encuentra recrystalizada presentando maclas polisintéticas. Junto con el carbonato se localizan pequeños cristales de cuarzo, sericita de forma escamosa y muscovita.

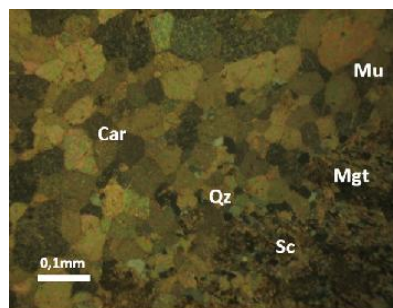


Figura 5. Roca carbonatada teñida de óxido de hierro en parte recrystalizada. NX, 4x.

Muestra: 14

Coordenadas: 14.3675E; 19.6218S

Nombre de la roca: Mármol

Estructura: Masiva

Color: Rosado

Textura: Granoblástica

Composición general: Calcita + cuarzo + mica muscovita ± sericita

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 9,35; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 4,92; I<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,79; CaO: 25,24; MgO: 18,02; K<sub>2</sub>O: 0,00; TiO<sub>2</sub>: 0,07,

Descripción de detalle: Se observan cristales de calcita con maclas polisintéticas, formando un mosaico y cristales con más o menos de igual forma y tamaño (de hasta 1 mm), acompañados de cuarzo y mica muscovita. El cuarzo en cantidades subordinadas y hasta un 2 % de la roca se encuentra diseminado y en vetas. La mica muscovita en cristales prismáticos pequeños alta birrefringencia y extinción recta con disposición heterogénea en la sección delgada. La roca en parte está recrystalizada donde se observan grandes cristales de carbonato con textura granoblástica. La calcita abarca alrededor del 90 % de la roca. Posible protolito: roca carbonatada.

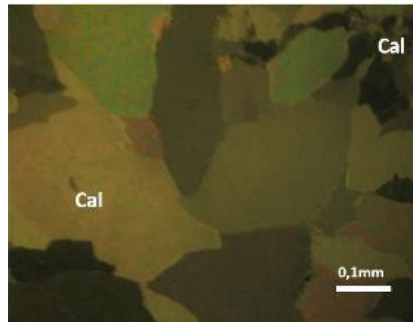


Figura 6. Mármol; cristales de calcita formando un mosaico, textura granoblástica. NX, 4x.

Muestra: 5

Coordenadas: 14.3648E; 19.6187S

Nombre de la roca: Caliza micrítica en parte gráfica

Estructura: Masiva

Color: Negro

Textura: criptocristalina

Composición general: mena metálica, carbonato, cuarzo

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 37,31; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,56; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 6,29; CaO: 18,15; MgO: 12,73; K<sub>2</sub>O: 3,69; TiO<sub>2</sub>: 0,52,

Descripción de detalle: La roca está representada por un mineral negro tanto con nicoles paralelos como cruzados y se ha descrito grafito con duda. Rodeando los espacios vacíos de la mena se encuentra un agregado criptocristalino de carbonato (calcita) dando un aspecto a la muestra como un enjambre. Diseminados granos de

cuarzo de granulometría fina acompañan al carbonato. Se observa un fragmento de roca carbonatada de forma alargada la cual también presenta la misma mena metálica.

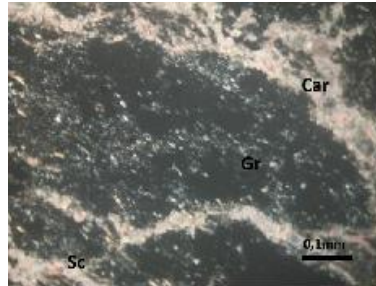


Figura 7. Mena metálica y grafito en pequeños granos y escamas color negro cuyos espacios vacíos e intersticios están rellenos de carbonato. NX, 10x.

### **Formación West End. Cuarzitas, cuarciarenitas y esquistos cuarzosos**

Muestra: 11

Coordenadas: 14.3517E; 19.6185S

Nombre de la roca: Cuarzita sericítica

Estructura: masiva, bandas estrechas de mena metálica

Color: Pardo claro con bandas negras

Textura: Granoblástica

Composición general: cuarzo + sericita + magnetita

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 83,54; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10,51; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,62; CaO: 0,31; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 2,29; TiO<sub>2</sub>: 1,30,

Descripción de detalle: Roca representada por abundancia de cuarzo y sericita. Se observan grandes cristales de cuarzo con zonación (extinción zonal). El cuarzo constituye aproximadamente el 75-80 % de la roca y se presenta en cristales irregulares, en ocasiones alargados. El tamaño de los granos de cuarzo varía entre fino a gruesos (0,8-1 mm). La mena metálica magnetita en cristales cúbicos e irregulares y forman bandas estrechas en la roca. La roca parece ser una roca metamorfizada, no presenta lineación de los minerales aunque sí de la mena, indicando un origen posterior de esta última. La roca en parte está teñida de óxido de hierro, el cual se presenta en pequeñas escamas diminutas. El posible protolito es una cuarciarenita u ortocuarzita.

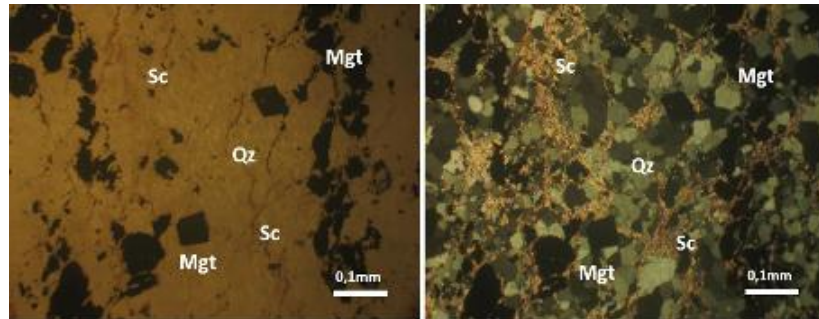


Figura 8. Cristales cristales de hábito isométricos de magnetita en cuarcita sericítica. a) N//, 10X. b) NX, 10X.

Muestra: 10

Coordenadas: 14.3871E 19.6231S

Nombre de la roca: Mena (Magnetita)

Estructura: Masiva

Color: Negro, magnética

Composición general: magnetita, cuarzo, sericita, esfena, epidota

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 26,16; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 73,72; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 14,04; CaO: 0,50; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 2,25; TiO<sub>2</sub>: 6,32

Descripción de detalle: La sección delgada está representada por cristales octaédricos, cúbicos e irregulares de magnetita. En los poros o huecos, entre la magnetita, se observa sericita haciendo el papel como de un material cementante. Además de estos minerales se observan clastos de cuarzo y, en menor proporción, epidota y esfena. La magnetita alcanza más del 85 % de la muestra. Al incidir sobre la sección delgada de luz reflejada se observó el brillo metálico de la mena.

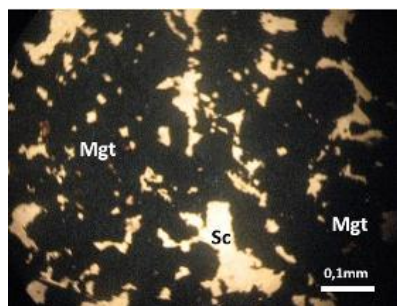


Figura 9. Cristales de magnetita con brillo metálico en luz reflejada. N//, 4x.

Muestra: 1

Coordenadas: 14.3704E; 19.6242S

Nombre de la roca: Cuarciarenita

Estructura: Masiva

Color: Gris blancuzco

Textura: Psamítica o arenácea

Composición general: cuarzo, calcedonia, mena metálica, carbonato

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 97,61; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,90; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,77; CaO: 0,36; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 0,08; TiO<sub>2</sub>: 0,03

Descripción de detalle: Roca constituida por más de 90 % de cuarzo, con granulometría fina (<1 mm), junto con el cuarzo se observa un agregado criptocristalino, al parecer, de calcedonia (de granulometría extremadamente fina). Los clastos de cuarzo están bien trabajados con un cemento de composición silícea. El agregado fino de calcedonia constituye bandas en la roca, indicando como una pseudo estratificación. Se observa mena metálica como accesoria. La estructura de la roca es psamítica o arenácea.

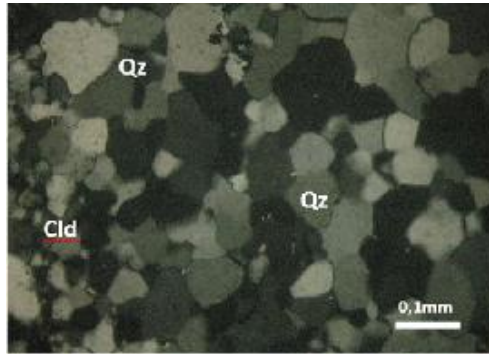


Figura 10. Calcedonia en cuarciarenita. NX, 10x.

Muestra: 2

Coordenadas: 14.3710E; 19.6276S

Nombre de la roca: Esquisto cuarzo-sericítico

Estructura: Esquistosa, grosera

Color: Grisáceo, teñida de óxido de hierro

Textura: Granolepidoblástica

Composición general: cuarzo + sericita

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 65,82; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2,82; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 19,73; CaO: 0,67; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 0,43; TiO<sub>2</sub>: 0,55

Descripción de detalle: Roca metamórfica representada por abundante cuarzo y láminas finas de sericita, las cuales constituyen los minerales principales de la sección delgada. Se observan bandas de cuarzo de granulometría fina y bandas escamosas de sericita con birrefringencia de hasta azul de I orden. En el contacto de las bandas de

sericita y cuarzo se observan hilos de mena metálica. Aparecen diseminados en la roca pequeños cristales de mena metálica (magnetita). El protolito posible de esta roca es cuarzo-feldespático.

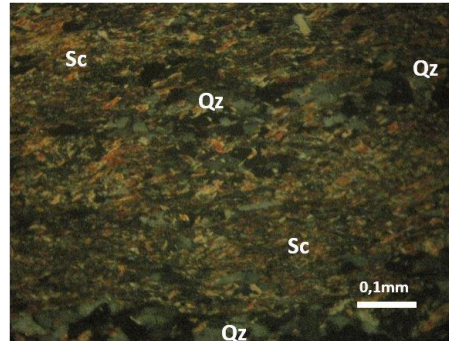


Figura 11. Esquisto cuarzo-sericítico con textura granolepidoblástica. NX, 10x.

Muestra: 4

Coordenadas: 14.3889E; 19.6259S

Nombre de la roca: Esquisto cuarzo-sericítico

Estructura: Groseramente esquistosa

Color: Blanco grisáceo

Textura: Granolepidoblástica

Composición general: cuarzo + sericita + magnetita

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 86,85; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2,20; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 7,05; CaO: 0,35; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 2,20; TiO<sub>2</sub>: 0,38

Descripción de detalle: La sección delgada está representada por bandas de cuarzo y bandas de minerales escamosos (sericita). Se observa abundante mena metálica (magnetita) en cristales cúbicos e irregulares. La mena metálica alcanza aproximadamente el 5 % de la roca por lo que se pudiera añadir el nombre magnetítico a la roca. Se observa, además, escasos cristales de feldespatos potásicos sin maclado. El protolito de esta roca, al parecer, es una cuarciarenita o subarcosa.

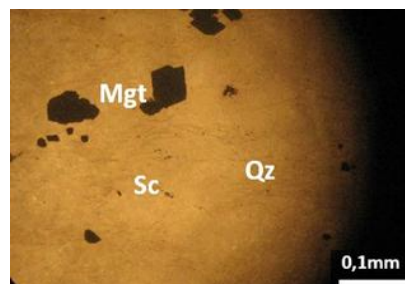


Figura 12. Cristales cúbicos de magnetita en esquisto cuarzo-sericítico. N//, 10x.

Muestra: 6

Coordenadas: 14.3857E; 19.6203S

Nombre de la roca: Esquisto clorítico-calcareo epidótico

Estructura: foliación grosera

Color: Verde oscuro

Textura: Lepidoblástica

Composición general: clorita + carbonato + epidota + cuarzo + plagioclasas

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 37,41; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 16,48; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12,47; CaO: 8,44; MgO: 10,01; K<sub>2</sub>O: 0,00; TiO<sub>2</sub>: 1,57

Descripción de detalle: La roca está constituida por una masa escamosa de clorita de color verde, la cual constituye el mayor por ciento de la roca (80 %), se subordina el carbonato en cristales irregulares distribuidos sin lineación en la roca, constituyendo alrededor del 15 %. La epidota en agregados pequeños, irregulares, alta birrefringencia. Las plagioclasas se encuentran en poca cantidad, formando prismas alargados, el cuarzo en pequeños cristales diseminados en la roca. Se observa mena metálica como mineral accesorio de color rojizo pardo, alto relieve en formas de agregados esqueléticos. Posible protolito roca básica o máfica.

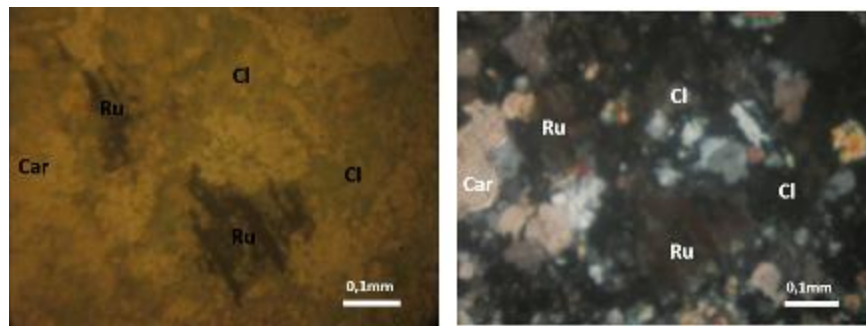


Figura 13. Clorita (color verde) y rutilo (color pardo rojizo y alto relieve) Esquisto clorítico-calcareo-epidótico con rutilo. a)N//, 10x b) NX, 10x.

### **Serie granítica Fransfontein. Granitos biotíticos (Kaross) y granodioritas biotíticas (Kamdescha)**

Muestra: 8

Coordenadas: 14.3666E; 19.5914S

Nombre de la roca: Granito biotítico

Estructura: Porfírica

Color: Rosado parduzco

Textura: Alotriomorfica en parte hipidiomorfica



Composición general: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas (sericitizadas), biotita, esfena, mena metálica

Composición química (%): SiO<sub>2</sub>: 77,65; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3,77; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 12,38; CaO: 1,35; MgO: 0,00; K<sub>2</sub>O: 4,42; TiO<sub>2</sub>: 0,65

Descripción de detalle: Cristales alotriomórficos de microclina con maclado de forma en red o rejilla. En ocasiones presentan inclusiones de cuarzo y biotita, dando una textura poiquilítica. El tamaño de los cristales de microclina alcanza hasta 1 mm. La microclina ocupa el 50 % del volumen total de la roca. El cuarzo, de forma también irregular o alotriomórfico, con superficie fresca, limpia, blanco gris de primer orden, en cristales grandes de hasta 1,5 mm, constituye alrededor del 35 %. Las plagioclasas, de forma prismática, están totalmente sericitizadas, observándose en raras ocasiones su maclado polisintético característico y representa alrededor del 5-8 %. La biotita (5 %) en cristales tabulares y prismáticos en ocasiones cloritizadas, a veces en inclusiones en la microclina. La biotita presenta inclusiones de mena metálica. La esfena como mineral accesorio en grandes cristales en forma lenticular, a veces rotos, fracturados y su tamaño alcanza hasta 1 mm y más (1,5 %). Se observa además en la roca mena metálica (magnetita) en 1 %.

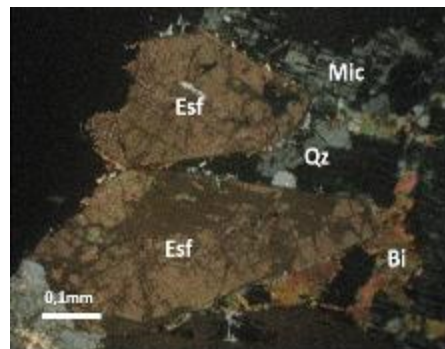


Figura 14. Granito con esfena como accesorio y microclina (rejillas). NX, 4X.

Muestra: 13

Coordenadas: 14.3892E; 19.6300S

Nombre de la roca: Granodiorita bitotítica

Estructura: porfírica

Color: Blanco con tonalidad rosada

Textura: Hipidiomorfica en parte porfírica

Composición general: microclina, cuarzo, plagioclasas, biotita, mena metálica, circón, clinozoicita, epidota, leucoxeno

Composición química (%):  $\text{SiO}_2$ : 74,44;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 3,76;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15,40;  $\text{CaO}$ : 1,38;  $\text{MgO}$ : 0,00;  $\text{K}_2\text{O}$ : 5,31,  $\text{TiO}_2$ : 0,57

Descripción de detalle: En la sección se observan cristales alotriomórficos e hipidiomórficos de microclina a veces con maclado en red o rejilla, otras veces está intercrecido con cuarzo formando mirmequita. El tamaño de los granos es de fino a medio (0,5-0,9 mm). La microclina alcanza el 35 %. El cuarzo, en forma de agregados, rodeando o en el contacto de los feldespatos, rara veces en cristales individuales, dando un aspecto porfírico a la roca, a veces con estructura zonal. El cuarzo alcanza el 20 % de la roca. Las plagioclasas, de forma alargada, ipidiomófica, en ocasiones completamente sericitizadas, en otras se observan sus maclados característicos, midiendo su máximo ángulo de extinción ( $15^\circ$ ) se determinó que es albita, utilizando la curva de los ángulos de máxima extinción de las maclas de la albita (Kerr, 1984). Las plagioclasas constituye en alrededor del 25 %. La mica biotita con su color pardo característico, birrefringencia alta, relieve alto en cristales prismáticos casi aciculares. La distribución de la biotita alcanza un 10 % de la roca. La epidota y la clinozoicita formando agregados con alto relieve, birrefringencia elevada la primera mientras la segunda llega hasta el amarillo del segundo orden y alcanzan un 4 % de la muestra. La mena metálica representada por magnetita en cristales perfectos, cúbicos, a veces octaédricos, y también en agregados y constituyen el 3 %.

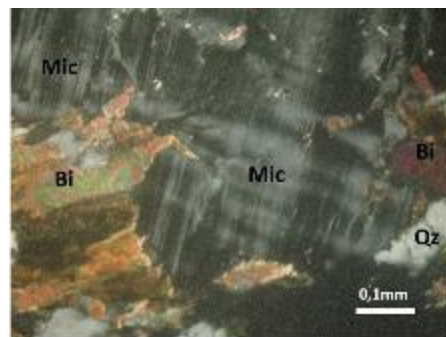


Figura 15. Granodiorita con microclina y biotita. NX, 4X.

### Interpretación de los análisis de fluorescencia de rayos-X

Por los análisis de fluorescencia de rayos-X realizados al total de 14 muestras se obtuvieron los datos de porcentajes de elementos mayores presentes en las unidades litológicas (Tabla 1), a partir de los cuales se calcularon los óxidos. La mayoría de las muestras analizadas presentan altos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  que reflejan las menas observadas en las secciones delgadas. En la Figura 16 se observa la correspondencia

entre ambos óxidos. Los óxidos mayores, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, se corresponden sus valores con la composición mineralógica de las secciones analizadas.

Tabla 1. Composición química de las secuencias litológicas

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	97,61	0,90	0,77	0,36	0,00	0,08	0,03	0,01	0,01
2	65,82	2,82	19,73	0,67	0,00	6,43	0,55	0,05	0,01
3	22,10	2,82	3,04	31,93	6,91	0,46	0,13	0,63	0,00
4	86,85	2,20	7,05	0,35	0,00	2,20	0,38	0,04	0,01
5	37,31	0,56	6,29	18,15	12,73	3,69	0,52	0,01	0,03
6	37,41	16,48	12,47	8,44	10,01	0,00	1,57	0,28	0,03
7	100,35	0,67	1,42	0,54	0,00	0,31	0,05	0,01	0,01
8	77,65	3,77	12,38	1,35	0,00	4,42	0,65	0,08	0,03
9	57,01	8,06	24,51	0,38	0,00	6,05	0,80	0,04	0,03
10	26,16	73,72	14,04	0,50	0,00	2,25	6,32	0,04	0,10
11	83,54	10,51	8,62	0,01	0,00	2,29	1,30	0,03	0,01
13	74,44	3,76	15,40	1,38	0,00	5,31	0,57	0,06	0,03
14	9,35	4,92	0,79	25,24	18,02	0,00	0,07	1,07	0,01
15	54,87	21,67	12,42	0,81	0,00	1,06	2,14	0,46	0,04

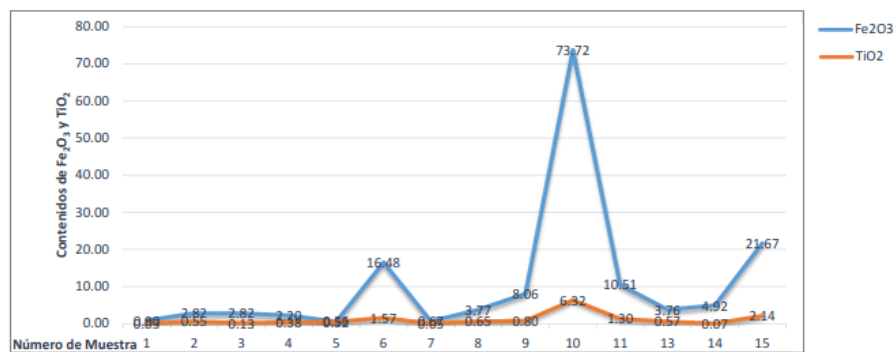


Figura 16. Relación de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> en las muestras analizadas.

### Conclusiones

A partir de los análisis petrográficos que se realizaron y los resultados obtenidos del análisis químico de fluorescencia de rayos-X se establece que las rocas del sector 1914CB Kamanjab están representadas por:

- Calizas, cuarciarenitas, metacuarciarenitas, filitas y mármol correspondientes a la Fm. Otjovazandu del Grupo Khoabendus.
- Cuarciarenitas, cuarcitas sericíticas, esquistos sericíticos y esquistos calcáreo-epidóticos representantes de la Fm. West End del Grupo Khoabendus.
- Granitos biotíticos y granodioritas biotíticas de la serie granítica Fransfontein.

Las paragénesis minerales determinadas son las siguientes:

- Filita: sericita + cuarzo + mena metálico
- Cuarciarenita: cuarzo, carbonato, mena metálica
- Metacuarciarenita: cuarzo, clorita, sericita, mena metálica, circón
- Caliza esparita: carbonato (calcita), cuarzo, sericita, muscovita, mena
- Mármol: Calcita + cuarzo + mica muscovita ± sericita
- Caliza micrítica: mena metálica, carbonato, cuarzo
- Cuarcita sericítica: cuarzo, sericita, magnetita
- Cuarciarenita: cuarzo, calcedonia, menas, carbonato
- Esquisto cuarzo-sericítico: cuarzo + sericita
- Esquisto-calcareo epidótico: clorita + carbonato + epidota + cuarzo + plagioclasas
- Granito biotítico: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas (sericitizada), biotita, esfena, mena metálica
- Granodiorita bitotítica: microclina, cuarzo, plagioclasas, mica biotita, mena metálica, clinozoicita, epidota, leucoxeno.

Según la mineralogía y las texturas observadas mediante los análisis petrográficos y las estructuras en afloramientos, durante los trabajos de campo, se manifiesta una afectación de metamorfismo de bajo grado hacia el sur.

La presencia de mena metálica en la mayoría de las muestras constituidas por magnetita y rutilo evidencia la posible existencia de un yacimiento de hierro (*iron formation*).

### Referencias bibliográficas

- BECKER, T.; SCHREIBER, U.; KAMPUNZU, A. B. & ARMSTRONG, R. 2006: Mesoproterozoic rocks of Namibia and their plate tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences* 46(1-2): 112-140.
- FRETS, D. 1969: Geology and structure of the Huab-Welwitschia area South-West Africa. *Bulletin of Precambrian Research* 5: 235. University of Cape Town, Sudáfrica.
- GEORGE, C. & PENNER, D. F. 2002: Geological report on the Tevere Project. Boulder Mining Corporation, Namibia, 33 p.

- KERR, P. 1984: *Mineralogía óptica*. Pueblo y Educación, La Habana, 433 p.
- KONDJA, K. 2012: Petrography and Geochemistry of the Naruchas Iron Deposit. BSc Hons. University of Namibia, 65 p.
- MILLER, R. 2008: *The Geology of Namibia*. Vol. 1. Archaen Mesoproterozoic. Ministry of Mines and Energy. Geological Survey Namibia. ISBN 086976733X, 9780869767337.
- MUVANGUA, E. 2006: *Petrology and Geochemistry of the Khoabendus Group and the Fransfontein Suite in the Kamanjab Area, Northwestern Namibia*. Trabajo de Diploma. University of Stellenbosch, Sudáfrica. 52 p.
- PORADA, H. 1974: The Khoabendus Formation in the Area Northwest Kamanjab and in Southeastern Kaokovelt, South West Africa. Department of Mines, Geological Survey.
- WILSKY, F. 2010: *Geochemical characterization & age determination at granitoids and orthogneisses of the Kamanjab inlier (Namibia)*. Trabajo de Diploma. Georg-August-Universität, Göttingen. 129 p.