



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

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL DEPÓSITO  
CARBONATADO-ARCILLOSO DE CACUACO SUMINISTRADO  
A LA EMPRESA DE CEMENTO NOVA CIMANGOLA SARL  
LUANDA-ANGOLA**

**Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo**

**Autor: Emanuel Da Silva**

**Tutores: Dr. C. Arturo Luis Rojas Purón  
Ing. Luis Alberto Pérez García**

**Moa, 12 de junio del 2017  
“Año 58 de la Revolución”**



## PENSAMIENTO

No debes añorar una doctrina perfecta, sino la perfección de ti mismo, la divinidad está en ti, no en conceptos y libros.



Hermann Karl Hesse

“Un revolucionario lo que tiene es que luchar por desarrollar el país, por acabar con la pobreza, por disponer de los medios y recursos para satisfacer sus necesidades espirituales y materiales”.



Fidel Castro Ruz

## **DEDICATORIA**

A mi abuela Bebiana por su sabiduría. A mis madres Marcelina y Emilia Da Silva, tíos, hermanos, primos, mujer e hijos que sin ellos no hubiese logrado pasar esta etapa de mi vida y a todos que de una forma directa o indirecta aportaron todo su empeño para lograr mi objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

En principio quiero agradecer a Dios que iluminó mi camino durante esta larga trayectoria.

A la hermandad Cuba–Angola por sus lazos históricos por permitirme esa formación académica.

En el presente trabajo de Diploma quiero dejar constancia de agradecimiento particularmente a dos personas en especial: Dr. Arturo Rojas Purón, tutor del presente trabajo y al compañero Luis Alberto Pérez García, quienes me brindaron su apoyo en todo momento. Ustedes merecen toda mi gratitud.

Al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, en especial a los profesores Andrés Salazar y Yurisley Valdes quienes me ayudaron con sus críticas y sugerencias.

A mis compañeros de aula, por hacerme comprender que todo se puede.

A mi familia en especial a mis tíos; Dres. Domingos Neto, Antonio Domingos y Ana Domingos Da Silva por todo cuanto han hecho por mí.

A mis madres por el amor que me llenan ante los desafíos de la vida.

A mis hermanos por el apoyo incondicional, aprecio y cariño.

Y toda instancia aquí en Cuba se lo agradezco a mi familia cubana, especialmente a mi esposa y madre de mis hijos que estuvo en momentos buenos y malos conmigo, su comprensión y amor me hizo más fuerte. Vos quiero mucho mis amores.

A todos que hicieron posible la realización de este trabajo. Muchas Gracias.

## **RESUMEN**

En años anteriores se realizó un trabajo geológico conjunto, por parte del profesor Arturo Luis Rojas Purón, del Departamento de Geología del ISMM de Moa y funcionarios de la fábrica de cemento Nova Cimangola, Luanda, Angola, con el objetivo de caracterizar la mineralogía del depósito de Cacucaco.

Se documentaron dos áreas para los horizontes carbonatados y arcillosos. La zona de muestreo, permitió establecer que para los minerales arcillosos afloran fundamentalmente en el horizonte superior (nivel 1) del área 1 y en el horizonte inferior (nivel 2) del área 2. Para los minerales carbonatados permitió establecer que afloran fundamentalmente en el horizonte medio (nivel 2) y en el horizonte inferior (nivel 3) del área 1 así como en el horizonte superior (nivel 1) del área 2.

El análisis de las litologías de las áreas de la zona de explotación minera del depósito de Cacucaco asociado a la fábrica Nova Cimangola por medio del método de Difracción de Rayos X permitió definir como paragénesis principal: cuarzo + calcita + dolomita + caolinita + illita.

## **ABSTRACT**

Some years ago Arturo Luis Rojas Purón, of the department of geology from the ISMM of Moa and workers and officials of the cement factory Nova Cimangola, Luanda, Angola, with the objective to characterize the mineralogy of Cacucaco deposit.

The areas were documented carbonated and clayey the showed zone permit it to establish that for clayey minerals they surface fundamentally in the superior horizon (level 1) of area 1 and the inferior horizon (level 2) of the area 2. For carbonated minerals permitted to establish that they surface fundamentally in the half horizon (level 2) and in the inferior horizon (level 3) of the area 1 just as in the superior horizon (level 1) of area 2.

The lithology's analysis of the areas of the zone of mining operation of associated to Nova Cimangola factory by mean of the Diffraction of X-Rays method it allowed to define as main paragenesis: quartz + calcite + dolomite + kaolinite + illite.

## INDICE

Introducción.....	9
CAPÍTULO I. ASPECTOS FISICO-GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE LUANDA.....	13
1.1. Introducción .....	13
1.2. Aspectos físico-geográficos .....	13
1.3. Clima.....	14
1.4. Hidrografía .....	15
1.5. Vegetación.....	16
1.6. Relieve .....	16
1.7. Economía.....	17
1.8. Características geológicas de la región de Luanda .....	18
1.8.1. Introducción .....	18
1.8.2. Formación Cacuaco.....	19
1.8.3. Formación Luanda.....	19
1.8.4. Formación Quifangondo .....	19
1.8.5. Formación Quelo "Arenas Rojas del Musseque" .....	20
1.8.6. Estratigrafía .....	20
1.8.7. Hidrogeología .....	21
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN EMPLEADOS...	22
2.1. Generalidades sobre los métodos de investigación.....	22
2.2. Revisión bibliográfica .....	23
2.3. Trabajos de campo y métodos de muestreo.....	23
2.4. Método de preparación de muestras en laboratorio.....	24
2.5. Métodos de análisis químico.....	26

2.6. Análisis de muestras por Difracción de Rayos X (DRX).....	28
2.6.1. Preparación de la Lámina .....	29
2.7. Selección de las muestras para realizar análisis de Rayos X .....	30
2.8. Análisis de los difractogramas de Rayos X (DRX) .....	31
Capitulo III: Análisis y discusión de los resultados .....	32
3.1. Introducción .....	32
3.2. Análisis de la muestra A-1.1 .....	33
3.3. Análisis de la muestra A-1.6 .....	35
3.4. Análisis de la muestra A-1.6a .....	37
3.5. Análisis de la muestra A 1.7.....	39
3.6. Análisis de la muestra A-1.10 .....	41
3.7. Análisis de la muestra A-1.12 .....	43
3.8. Análisis de la muestra A-1.15 .....	45
3.9. Análisis de la muestra A-1.16 .....	47
3.10. Análisis de la muestra A-1.17 .....	49
3.11. Análisis de la muestra A-1.19 .....	51
3.12. Análisis de la muestra A-1.22 .....	53
3.13. Análisis de la muestra A-2.2 .....	55
3.14. Análisis de la muestra A-2.3 .....	57
3.15. Análisis de la muestra A-2.5 .....	59
3.16. Análisis de la muestra SP.01 .....	61
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFIA .....	65

## Introducción

El presente trabajo consiste en una caracterización mineralógica del material mineral de los horizontes carbonatados y arcillosos del depósito de Cacuaco, ubicado en el municipio de Cacuaco, región de la provincia Luanda que pertenece al extremo noroeste del territorio angolano, pues actualmente se explota la mena de estos yacimientos con el fin de obtener la materia prima para suministro de la industria local, Nova Cimangola SARL, una compañía de cemento de propiedad estatal presente en el mencionado municipio.

Por tanto, este trabajo se realiza porque permitirá conocer mejor las características composicionales y geológicas de la materia prima y luego las paragénesis de los minerales en estos horizontes del yacimiento Cacuaco, los cuales se consideran minerales diversos de mayor importancia económica tales como las calcitas y las arcillas, esenciales materia prima o subproducto, el Clinker, que adicionado al yeso resulta en la elaboración del cemento portland a la empresa Nova Cimangola SARL, que mantiene sus niveles de producción definidos en 1,8 millones de toneladas de cemento anuales para la satisfacción de la población, desacelerando así los elevados precios del cemento al mercado, debido al aumento de la demanda ocasionado por obras de reconstrucción y al país en constante evolución.

De punto de vista geológico, el depósito de Cacuaco representa en la región uno de los principales yacimientos de tipo carbonatado–arcilloso de la franja costera del litoral angolano, formado a partir de rocas sedimentarias constituidas por las formaciones de Quifangondo, Cacuaco, Luanda, y Quelo (Torquato, 1969). En él han sido detectados contenidos apreciables de minerales que llevan a la necesidad de conocer las formas mineralógicas de presentarse en este depósito o cantera, en los cuales las fases minerales de los mismos no han sido identificadas plenamente. Prácticamente no hay registros escritos que atestiguan la composición mineralógica y química de esa materia prima mineral, existiendo sólo unos pocos trabajos referidos a este tema.

Según Torquato (1969) la formación de Luanda está constituida inicialmente por margas de coloración carmelita oscura, con foraminíferos, rápidamente sucedidas por arenas litorales y deltaicas con intercalaciones de arcillas en mezcla con plantas, al terminar el ciclo sedimentario miocénico que sucediera la emersión oligocena.

El ciclo sedimentario miocénico engloba las formaciones de Cacuaco de edad Burgaliano, Quifangondo de edad Aquitaniana, y de Luanda, de edad Burdigaliana. El espesor de las capas que constituyen la formación Luanda es de algunos centenares de metros.

Estudios más recientes (Sgrosso et al, 2000) consideran que la litología más difusa de esa formación en la región es la arcillosa. Caracterizadas por climas alterados húmedos y calientes, intermediarios entre los climas templados y los tropicales húmedos (Torquato y Rocha, 1969). En la carta geológica de Luanda, se hace una interpretación reelaborada, se considera que estos sedimentos recubren las formaciones geogénicas subyacentes y a su vez están constituidos por arenas esencialmente cuarzosas de color rojo pardo con granulometría media a fina, con bajo porcentaje de arcilla formada por caolinita, alita, con abundante pigmentación de hematita y goethita que forma a veces concreciones ferruginosas. Puede ser considerado como un producto de reelaboración en ambiente continental, pudiendo corresponder a la presencia de varios eventos en el área, aunque no identificados, debido probablemente a diferentes fases de aplanamiento e incisiones verticales (Sgrosso, et al., 2000).

De punto de vista social, el gobierno de Angola aún se enfoca en la reconstrucción nacional, luego de años de guerra civil (1975–2002).

El Gobierno angoleño tiene la necesidad de adoptar “medidas que pretendan reducir la importación innecesaria de cemento, defendiendo la producción y la industria nacional”, apoyando las posturas de la Comisión del Sector del Cemento y la Asociación de la Industria de Cemento de Angola (AICA). Según Boletín Noticias, Embajada de Angola, 2014.

En los últimos años, Angola multiplicó las inversiones en el sector del cemento, con el objetivo de activar la construcción civil en el país, tanto para obras públicas como para obras privadas. Por ahora Angola es autosuficiente en la producción de cemento desde finales de 2014, momento en el que las cinco fábricas nacionales tales como: CIF que es la mayor fábrica de cemento, al frente de Nova Cimangola (Luanda), FCKS (Cuanza Sul), Secil (Benguela) y Cimenforte (Benguela) alcanzando la cifra de ocho millones de toneladas, para un consumo de 5.022.000 toneladas en 2014.

No obstante se conoce poco sobre las características mineralógicas de este depósito de Cacuaco, y el hecho que este yacimiento de rocas carbonatadas y arcillosas constituya la principal fuente de materia prima mineral para una de las principales fábricas de cemento de Angola, hace muy necesario elevar el grado de estudio de la mena de Cacuaco, lo que permitirá en un futuro explorar otras áreas adyacentes para su explotación, incrementando de este modo, mayor empleo a la población por el aumento de los niveles de producción, y de exportación e importación de cemento, como también la posible utilización de estos yacimientos para otros fines industriales.

Luego, desde el punto de vista mineralógico constituye una situación problemática resolver la identificación de las fases minerales en este yacimiento y además permitirá valorar la correlación de determinados elementos asociados a la materia prima mineral presente en estos horizontes del depósito de Cacuaco y a la vez contribuir en la realización del cálculo de sus reservas y ampliar las áreas de explotación del yacimiento, tornándose de este modo auto suficiente en relación a la materia prima para el proceso fabril sobre las condiciones actuales de producción y exportación de cemento, y permitir mayor consumo interno, beneficiado por el aumento del empleo. Por tal motivo hemos designado como:

**Problema de la investigación:** Necesidad de esclarecer las características mineralógicas de la materia prima carbonatada-arcillosa del depósito de Cacuaco, asociado a la empresa de cemento Nova Cimangola SARL, Luanda-Angola.

**Objeto de estudio:** La materia prima presente en el depósito carbonatado-arcilloso del yacimiento de Cacuaco, Luanda-Angola.

**Campo de acción:** Mineralogía de las rocas carbonatadas – arcillosas.

**Objetivo General:** Caracterizar mineralógicamente la materia prima carbonatado-arcillosa presente en el depósito que suministra al proceso de producción de cemento a la empresa Nova Cimangola del municipio de Cacuaco, Luanda-Angola, empleando técnicas de Difracción de Rayos X (DRX).

**Objetivos Específicos:**

1. Argumentar la necesidad de caracterizar mineralógicamente la materia prima carbonatada-arcillosa del depósito de Cacucaco.
2. Caracterizar la zona de estudio, la representatividad de los horizontes así como su composición mineralógica.
3. Determinar los aspectos composicionales de la materia prima mineral del depósito de Cacucaco, empleando principalmente la Técnica de Difracción de Rayos X (DRX).
4. Caracterizar mediante DRX la materia prima presente en el depósito de yeso usado en la fabricación del cemento.

**Hipótesis:** Si se identifican las principales fases minerales a partir de la interpretación de los diferentes difractogramas de Rayos X realizados a las muestras del depósito Cacucaco, se podrá profundizar en el grado de conocimiento que se tiene acerca de la mineralogía y composición de la materia prima en cuestión, que permita su utilización en la fabricación de cemento.

# CAPÍTULO I. ASPECTOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE LUANDA

## 1.1. Introducción

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

## 1.2. Aspectos físico-geográficos

El yacimiento Cacuaco se encuentra en la zona Cimangola dentro del municipio Cacuaco, región de la provincia Luanda, ubicado en el extremo noroeste del territorio angolano. El municipio Cacuaco tiene un límite de 571 km<sup>2</sup> y tres comunas: Cacuaco (sede), Kicolo y Funda. Limita al sur con los municipios Cazenga y Viana, al norte y al este con la provincia Bengo, al oeste con el océano Atlántico. (Ver figura 1.1).

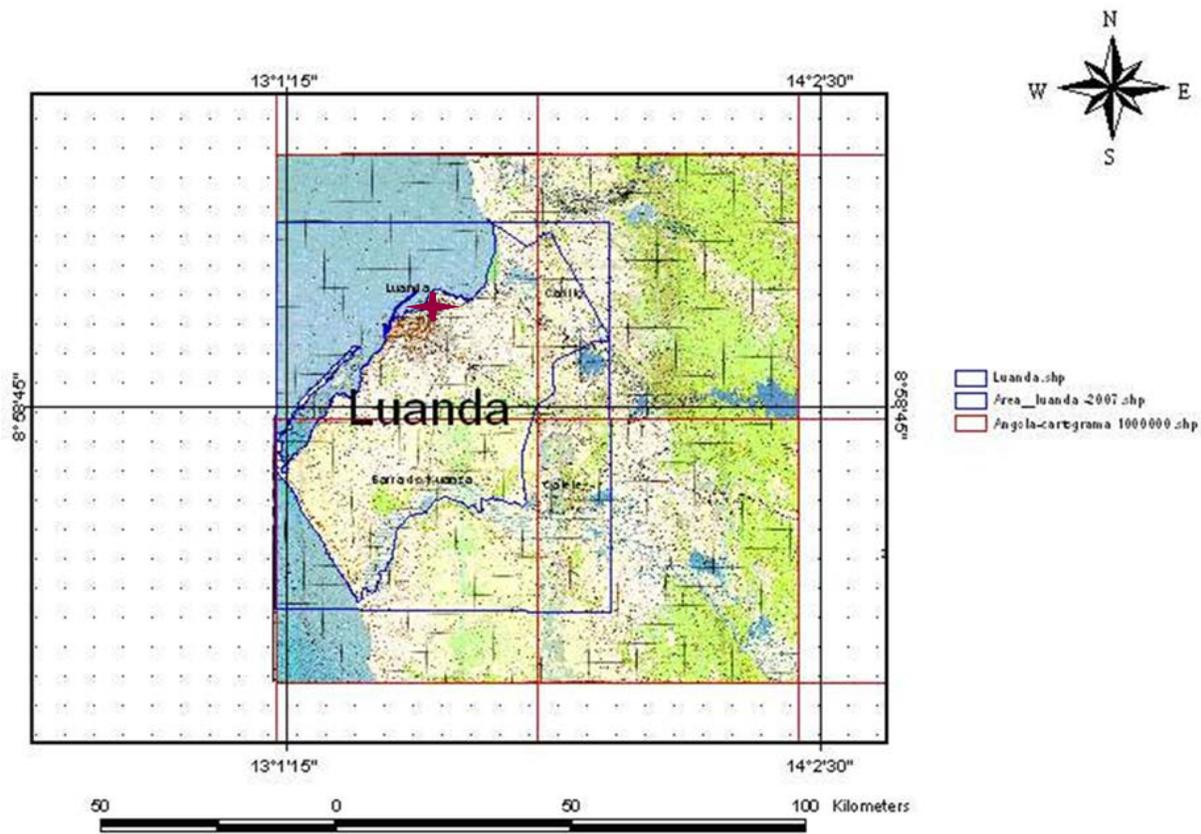


Figura 1.1. Mapa de localización del área de estudio en Luanda (Moisés Catanha, 2015).

En la figura 1.2 se muestra una imagen satelital del depósito o cantera de Cacucaco, que explota la empresa Nova Cimangola SARL. En la figura 1.3 se muestra una modelación física del área de estudio generada a partir de una imagen satelital.



**Figura 1.2.** Imagen satelital del área de estudio. (Tomado de: data.opengeoportal.org el 17 de mayo de 2017).

### 1.3. Clima

El clima es cálido y húmedo, pero sorprendentemente con escasa o nula precipitación, debido a la fría corriente de Benguela, que evita que la humedad se condense fácilmente en lluvia. La niebla frecuente evita que las temperaturas caigan por la noche, incluso durante los meses completamente secos de junio a octubre. Luanda tiene precipitaciones anuales de 323 milímetros, pero la variabilidad está entre las más altas del mundo, con una variación del coeficiente por encima del 40 por ciento. La corta temporada de lluvias en marzo y abril depende de una contracorriente septentrional que lleva humedad a la ciudad.

**Tabla No.1 Parámetros climáticos promedio de Luanda (Tomado de: Wikipedia.org, consultado el día 20 de mayo de 2017).**

 <b>Parámetros climáticos promedio de Luanda</b> 													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	32.8	35.0	35.0	34.4	36.1	31.7	29.4	28.3	28.9	31.7	36.7	34.4	36.7
Temp. máx. media (°C)	28.3	29.4	30.0	29.4	27.8	25.0	23.3	23.3	24.4	26.1	27.8	28.3	26.9
Temp. media (°C)	25.8	26.7	27.0	26.7	25.3	22.5	20.8	20.6	21.9	23.9	25.3	25.8	24.4
Temp. mín. media (°C)	23.3	23.9	23.9	23.9	22.8	20.0	18.3	17.8	19.4	21.7	22.8	23.3	21.8
Temp. mín. abs. (°C)	20.6	21.1	21.1	21.1	17.8	10.0	9.4	7.4	16.7	18.3	20.0	19.4	14.4
Precipitación total (mm)	25.4	35.6	76.2	116.8	12.7	1.3	0.0	1.3	2.5	5.1	27.9	20.3	325.1
Días de precipitaciones (≥ 0.1 mm)	3	3	6	8	2	0	0	0	1	2	4	3	32
Horas de sol	217	198	217	180	217	210	155	155	150	155	180	186	2220
Humedad relativa (%)	77.5	75.5	77.0	79.5	79.5	78.5	79.5	81.0	80.0	79.0	78.0	77.0	78.5

#### 1.4. Hidrografía

En la región no existen grandes ríos que desemboken en el litoral de la ciudad, pero varios cursos pequeños de agua forman un sistema de cuencas pluviales. Los ríos más próximos son el río Cuanza, el mayor de Angola y que hace de límite natural por el sur entre las provincias de Luanda y Bengo. El río Bengo que hace de límite por el norte entre esas mismas provincias. Enmarcados en el área de estudio de la zona Cacuaco, región de Luanda, pues desde el punto de vista fisiográfico estas Cuencas hidrográficas son:

El río Bengo (o Zenza) es un río pequeño del norte de Angola, que tiene sus fuentes en las montañas Crystal y desemboca en el océano Atlántico, 20 km al norte de la capital nacional, Luanda, en la provincia de Bengo. El río tiene una longitud de 300 km con una cuenca de drenaje de 7370 km<sup>2</sup>.

En el Bengo se ha construido el gran embalse de Kiminha. Hay varios lagos pequeños en los últimos 90 km del río, en su llanura de inundación, siendo los mayores los lagos Panguila, Quilunda y Lalama. La llanura de inundación del río Bengo es la fuente principal de la producción agrícola de Luanda.

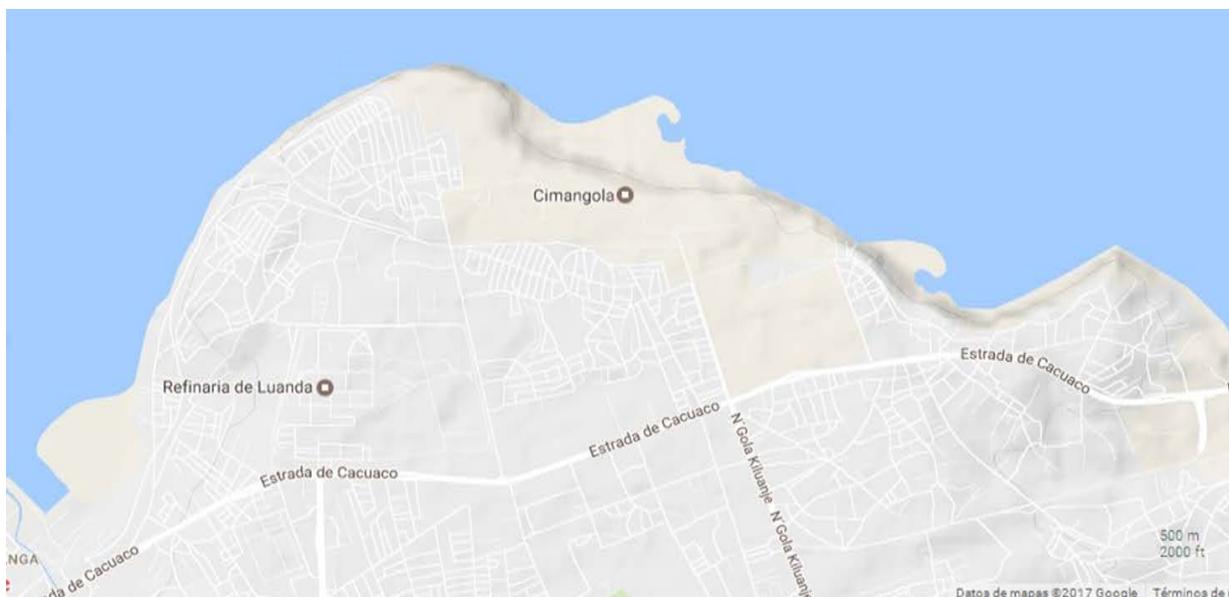
El río Cuanza o Coanza (río Kwanza en el idioma local) nace en la meseta de Bié, en el centro del país. Discurre, en principio, hacia el norte para después ir hacia el oeste y terminar desembocando en el océano Atlántico, al sur de Luanda. Su longitud total es 965 km y su cuenca drena una superficie de 151.422 km<sup>2</sup> (mayor que Bangladesh o Nepal).

### **1.5. Vegetación**

Las zonas no urbanas, se caracterizan por una vegetación dominada por arbustos, y que a menudo incluye céspedes, plantas de porte herbáceo, y plantas geófitas, además de bosques secos, predominando el imbondeiro, un árbol común en la región. Podemos encontrar también manglares que crecen en las desembocaduras de los ríos Bengo y Cuanza.

### **1.6. Relieve**

El área no presenta grandes ondulaciones en el terreno, al sur del depósito Cacuaco se observa una meseta que no sobrepasa los 70 metros sobre el nivel del mar. Al norte y siguiendo la línea de costa se pueden observar una serie de escarpes con extensión este-oeste aproximadamente, a manera de escalones que disminuyen su altura conforme se acercan la costa. La línea de costa donde se encuentra enmarcada la zona de la cantera de Cacuaco corresponde aparentemente a una zona de deposición costera.



**Figura 1.3.** Imagen satelital con modelación física del terreno (Tomado de: data.opengeoportall.org el 17 de mayo de 2017).

## 1.7. Economía

Luanda es el principal centro financiero, comercial y económico de Angola. Lo que mejor ilustra esta posición de la ciudad es la presencia de las sedes de las principales empresas del país como Angola Telecom, Unitel, Endiama, Sonangol, TAAG Angola Airlines y Odebrecht Angola, entre otras. En Luanda se ubican plantas procesadoras de alimentos, de la industria papelera, maderera, textil, del metal, fábricas de cemento y otros materiales de construcción, de plásticos, cigarrillos y zapatos.

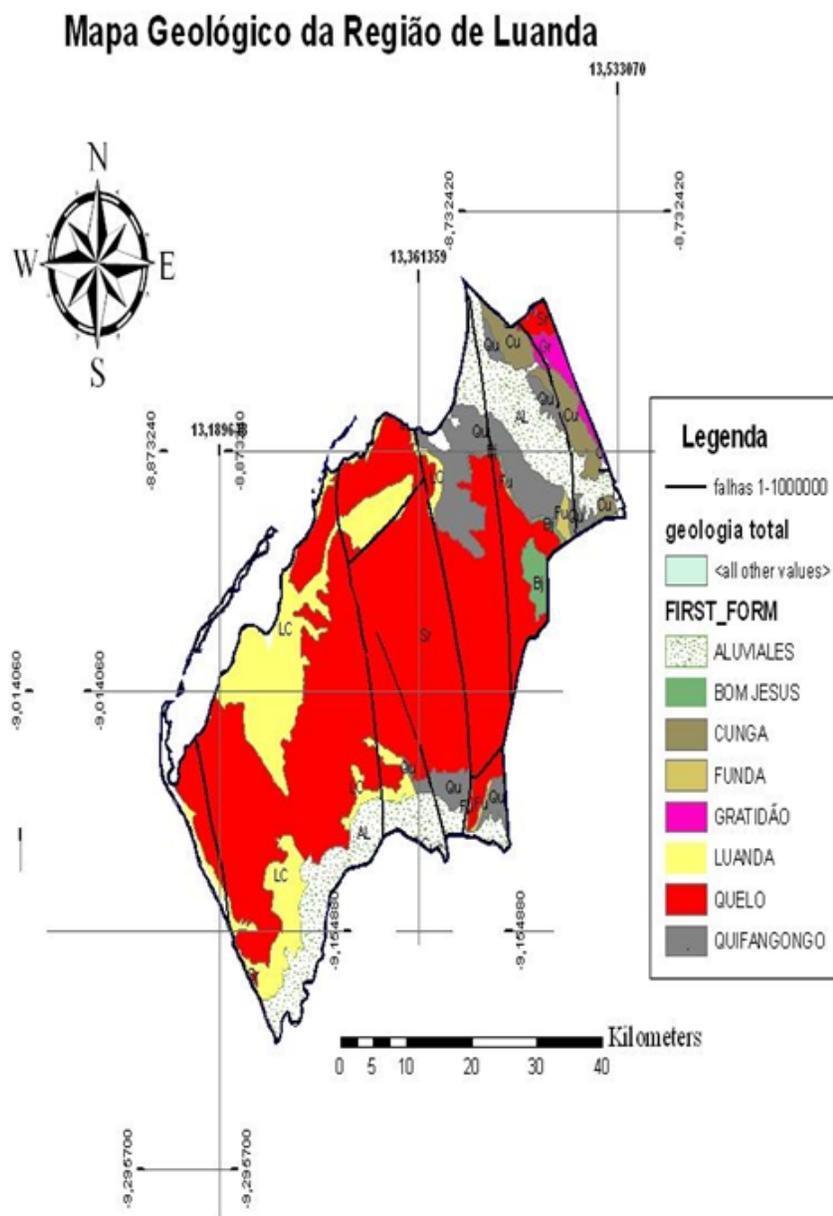
También dispone de refinerías de petróleo, aunque estas instalaciones datan de la época de 1960 y no han sido reconvertidas. El petróleo angolés se exporta en bruto y se importa refinado.

El puerto de Luanda permite las exportaciones de café, algodón, azúcar, diamantes, hierro y sal. Sin embargo, enfrenta inconvenientes como la saturación, la falta personal e infraestructura, actualmente está en proceso de una expansión que le permite que sus tráficos de mercancías aumenten notablemente. Aunque las carreteras de la ciudad están en mal estado de conservación se encuentran en un proceso de reconstrucción masivo llevado a cabo por el gobierno con el fin de aliviar la congestión del tráfico.

## 1.8. Características geológicas de la región de Luanda

### 1.8.1. Introducción

Geológicamente la zona se caracteriza por formaciones Terciarias y Cuaternarias (Torquato, 1969). El Terciario y el Cuaternario de los alrededores de Luanda están constituidos por las formaciones de Quifangondo, Cacuaco, Luanda, y Quelo, largamente representadas en la cuenca del Kwanza.



**Figura 1.4.** Mapa geológico de la región de Luanda (Sgrosso, 2000).

### **1.8.2. Formación Cacuaco**

Está constituida por calcarenitas bioclásticas formando cuerpos lenticulares esencialmente macizos. Se reconocen en su composición varios elementos esqueléticos cuyo material está bien cementado, representando por veces un aspecto esponjoso debido a la disolución secundaria del cemento. La intensa bioturbación obstruyó la estratificación confiriéndole un aspecto macizo. Su edad es referida al Burgaliano y en algunos casos se encuentra con bastante nitidez el paso de los sedimentos de esta formación a los de la formación Quifangondo que en algunas ocasiones pasan gradualmente a una formación predominantemente carbonatada pero todavía con niveles arcillosos intercalados.

### **1.8.3. Formación Luanda**

Relativamente a los alrededores de Luanda, Torquato, (1969), esa formación está constituida esencialmente por cinco grupos de litofacies. Desde el piso al techo comprende:

1. Margas con yeso y lenticulares arenosas (Margas de Luanda).
2. Arenas blancas, ferruginosas con lechos de esquistos (Arenas de Luanda).
3. Margas grises con tonos azules (Margas de Samba).
4. Carbonatos con arenas intercaladas (Calcáreos de Sao Miguel).
5. Series de margas variadas.

Otros estudios más recientes, Sgrosso et al., 2000, consideran que la litología más difusa de esa formación en la región es la arcillosa.

### **1.8.4. Formación Quifangondo**

De esta formación aflora únicamente su parte superior que está constituida por arcillas y margas de coloración que van desde gris claro a carmelita, con intercalaciones de carbonato con predominio de sedimentos arcillosos. Los niveles carbonatados más frecuentes y abundantes en la parte alta, están representados por calcitas y lutitas por veces ligeramente margosas, con varios fragmentos de bioclastos y foraminíferos bentónicos y platónicos (Sgrosso, et al., 2000).

### 1.8.5. Formación Quelo "Arenas Rojas del Musseque"

Se trata de una capa rojiza, formada por arena fina y pequeños porcentajes de arcillas, vulgarmente designada por "Arenas rojas del Musseque" o "Formación Quelo". Por sus particularidades y especialmente por su color, muchos han sido los geólogos que han realizado estudios sobre la problemática de su origen y génesis. Los datos de Carvalho (1957); Torcuato y Rocha, 1969 llevan a suponer que el origen de este tipo de sedimento es marino. Su color rojo debe tener origen en un enriquecimiento en Fe posteriormente a la consolidación del sedimento.

### 1.8.6. Estratigrafía

Las formaciones de la Cuenca de Kwanza fueran depositadas discordantemente sobre el Soco cristalino y en diferentes ambientes (Figura 1.5). Ellas comprenden sedimentos de edad después del Precámbrico al Cuaternario en la siguiente secuencia:

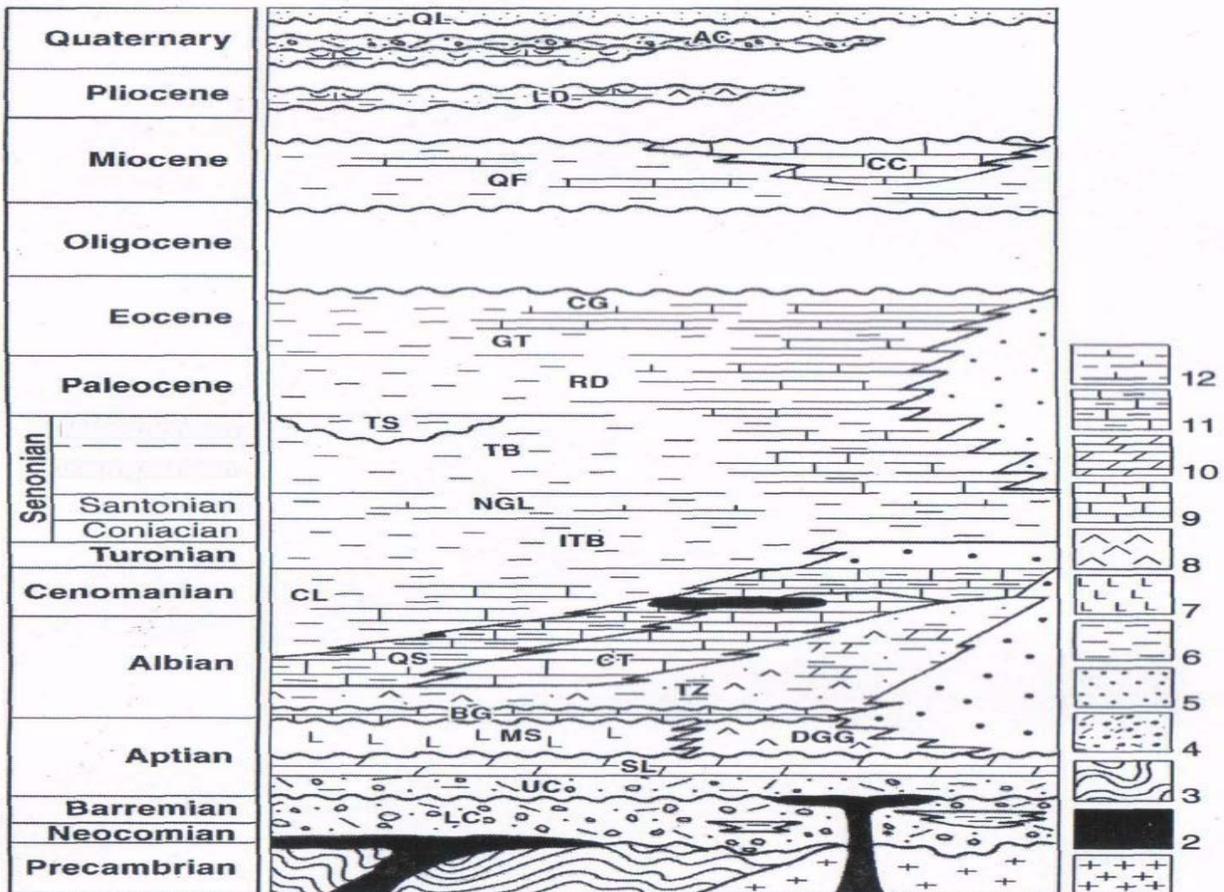


Figura 1.5. Estratigrafía de la cuenca de Kwanza (Américo Victorino, 2011).

Desde el piso hasta el techo se aprecian las siguientes litologías: 1) Rocas intrusivas, granitos. 2) rocas efusivas, basaltos. 3) Rocas metamórficas. 4) Conglomerados. 5) Arenas. 6) Shales. 7) Evaporitas. 8) Yesos. 9) Carbonatos. 10) Carbonatos y dolomitas silicificadas. 11) Calcilutitos. 12) Margas.

Se aprecian además dispuestas las siguientes formaciones geológicas: LC Cuvo - SL Formación Chela – MS Formación Sal Macizo - DGG Formación Dombe Grande - TZ Formación Tuenza – CT Formación Catumbela - QS Formación Quissonde - CL Formación Cabo Ledo - ITB Formación Itombe - NGL Formación N' Golome TB Formación Teba - TS Tchipupa Shales – RD Formación Rio Dande - GT Formación Gratião - CG Formación Cunga – QF Formación Quifangondo - CC Formación Cacuaco - LD Formación Luanda - AC Formación Areia Cinzentas - QL Formación Quelo.

#### **1.8.7. Hidrogeología**

El sistema acuífero Quelo-Luanda está constituido por las formaciones Quelo, Luanda y Cacuaco. La gran extensión de la formación Quelo y la considerable magnitud de la espesura de la formación Luanda, comparada con la formación Cacuaco, son los factores por los cuales atribuimos al sistema acuífero investigado el nombre de Quelo-Luanda. Situadas en la cuenca sedimentaria de Kwanza, estas formaciones poseen un carácter detrítico; a pesar de la presencia recurrente de arcillas en la formación Luanda, los sedimentos arenosos son los que más predominan. La formación Cacuaco está representada por calcarenitas bioclásticas, constituyendo cuerpos lenticulares esencialmente macizos, aunque estén presentes también niveles discontinuos de carbonatos.

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

### 2.1. Generalidades sobre los métodos de investigación

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 también fueron empleadas las técnicas de determinaciones gravimétricas y volumétricas, para la determinación de los principales constituyentes del carbonato y de la arcilla. La siguiente investigación se realizó en tres etapas fundamentales como se ilustra en el flujograma de la 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 de la investigación.

## 2.2. Revisión bibliográfica

Los primeros estudios geológicos sobre las rocas en Luanda, Angola, datan desde principios de siglo XX cuando por primera vez fue empleada la designación de Formación Luanda por el geólogo americano Washburn (1914-15) que trabajó en Angola al servicio de la Sinclair, Compañía Petrolífera entonces asociada de la antigua compañía de Petróleos de Angola, concesionaria de 1916 a 1935. Ya en años posteriores, Torquato, 1969, siguió con otros estudios sobre los alrededores de Luanda. Otros estudios más recientes Sgrosso, 2000, consideran la litología más difusa de esa formación en la región es la arcillosa y carbonatada. Caracterizadas por climas alterados húmedos y calientes, intermediarios entre los climas templados y los tropicales húmedos.

## 2.3. Trabajos de campo y métodos de muestreo

La zona de estudio y muestreada del depósito de Cacucaco consistió en dos Áreas (Área 1 y 2) constituidas por canteras de rocas carbonatadas y arcillosas pertenecientes según concesiones de la fábrica de cemento Nova Cimangola, ilustradas según figura 2.2.



**Figura 2.2.** Zona de muestreo: Área 1 (izquierda) y Área 2 (derecha), de la zona de explotación minera del depósito de Cacucaco asociado a la fábrica Nova Cimangola.

Las dos Áreas colindan con la costa de Luanda, dentro del municipio Cacuaco.

Inicialmente se realizó un reconocimiento geológico, para conocer el tipo litológico, la estructura geológica y la forma de explotación de los depósitos en estudio, donde se confirmó que el Área 1, constituye el principal depósito de extracción de la materia prima mineral para la producción de cemento de Nova Cimangola.

El muestreo se realizó en cada una de las zonas según sus horizontes constituyentes, como se ilustra en la siguiente tabla, mediante la toma de muestra puntual. En el horizonte superior del área 1 se tomaron 9 muestras de litología arcillosa. En el horizonte medio se tomaron 8 muestras de litología carbonatada. En el horizonte inferior se tomaron 6 muestras de litología carbonatada. En el área 2 se tomaron en el horizonte superior 3 muestras de litología carbonatada y 2 muestras de litología arcillosa. También se tomó una muestra del depósito de yeso.

**Tabla 2.1.** Distribución de las muestras por área de trabajo según los distintos horizontes o niveles.

Área	Identificación de la muestra	Litología	Cantidad de muestras
1	Horizonte superior (nivel 1): A-1.1; A-1.2; A-1.3; A-1.4; A-1.5; A-1.6; A-1.6a; A-1.7; A-1.8	Arcilla	9
	Horizonte medio (nivel 2): A-1.9; A-1.10; A-1.11; A-1.12; A-1.13; A-1.14; A-1.15; A-1.16	Carbonato	8
	Horizonte inferior (nivel 3): A-1.17; A-1.18; A-1.19; A-1.20; A-1.21; A-1.22	Carbonato	6
2	Horizonte superior (nivel 1): A-2.1; A-2.2; A-2.3	Carbonato	3
	Horizonte superior (nivel 2): A-2.4; A-2.5	Arcilla	2
Depósito de Yeso	Almacenamiento a cielo abierto (Stock pile) SP.01	Yeso	1

#### 2.4. Método de preparación de muestras en laboratorio

Para las muestras de arcilla, carbonato y yeso se usaron los procedimientos reglamentados de acuerdo a la técnica utilizada para las determinaciones

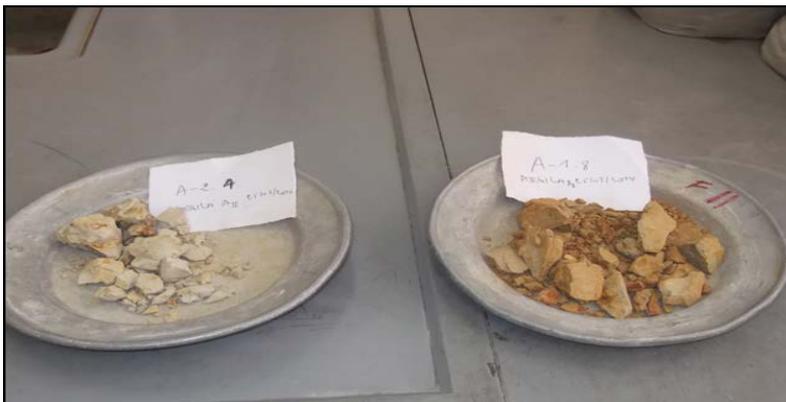
mineralógicas por Difracción de Rayos X (DRX) y para análisis químicos según el reglamento del laboratorio de la Nova Cimangola.

En el laboratorio las muestras fueron colocadas en una estufa a 110°C de temperatura, hasta su completo secado. Luego fueron homogeneizadas y después guardadas en sacos plásticos, hasta ser sometidas a análisis para su caracterización química y mineralógica.



**Figura 2.3.** Preparación de muestra de yeso utilizado en la fábrica de cemento Nova Cimangola.

En la preparación de las muestras de arcillas y carbonatos durante y después del secado se debe tener mucho cuidado para no causar daños irreversibles en la muestra, que después son molidas para su caracterización.



**Figura 2.4.** Preparación de las muestras de arcillas antes (izquierda) y después (derecha) de haber sufrido el proceso de secado en la estufa.

## 2.5. Métodos de análisis químico

En la caracterización química de las muestras fueron empleadas las técnicas de determinaciones gravimétricas y volumétricas, realizadas en el Departamento de Química del Laboratorio de la fábrica de cemento Nova Cimangola. En la volumetría se determinaron componentes tales como: CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en tanto utilizando la gravimetría se pudo determinar la pérdida del rubro (P.R), la sílice (SiO<sub>2</sub>), trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), que puede inferir la forma de sulfatos (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup>.

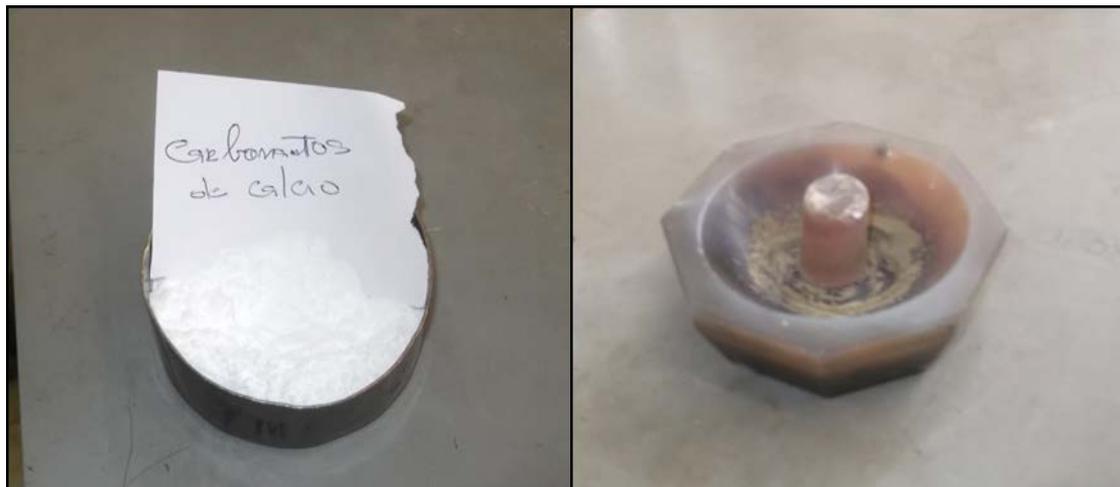
Para la determinación de los principales constituyentes del carbonato: CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Esta técnica Volumetría se basó en la calcinación del carbonato, utilizando el horno (Ver figura 2.5) a una temperatura de 1350°C, durante 5 minutos, donde se disolvió el Clinker obtenido por el ácido clorhídrico y el ácido perclórico concentrado.



**Figura 2.5.** Horno o Mufla de calcinación de las muestras de la materia prima mineral.

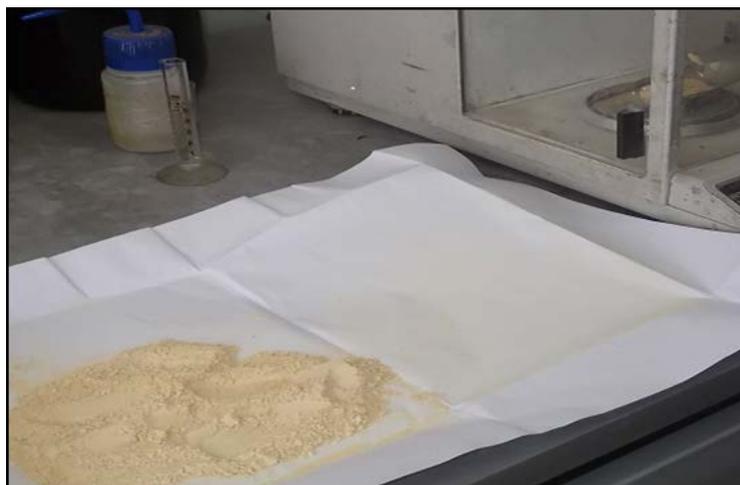
En la determinación de los principales constituyentes químicos de la arcilla: CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la Volumetría se basó en los principios de la clinkerización en la mezcla de arcillas con un fundente (CaCO<sub>3</sub>) y la clinkerización de la mezcla utilizando un horno o mufla a una temperatura de 1350°C durante 5 minutos. Para arcillas solamente fueron determinados los constituyentes Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Los CaO, MgO no fueron determinados debido al volumen perdido en el análisis volumétrico.



**Figura 2.6.** Carbonato de calcio como fundente en la mezcla de arcilla (izquierda) y mortero de ágata con muestra de Clinker (derecha).

La determinación directa de la pérdida del rubro (P.R), referidos a la calidad del componente carbonatado y arcilloso determinado con la gravimetría, donde se utilizó muestra molida de carbonato y se calcinó en el horno a 1350°C por 5 minutos, obteniéndose el Clinker para posterior determinar la pérdida del rubro. (Ver figura 2.7).



**Figura 2.7.** Muestra molida de carbonato para determinación de la pérdida del rubro (P.R).

En la determinación de la Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) por su variabilidad composicional presente en el carbonato y arcilla, se usó la gravimetría.



**Figura 2.8.** Proceso de filtración usando papel filtro nº41, para obtención del componente de la sílice en la arcilla y carbonato.

El yeso que es el producto de adición final en el proceso de producción de cemento que la fábrica Nova Cimangola usa, es proveniente de la provincia de Kwanza-Sur, siendo esta provincia el potencial de la producción, después de su transportación hasta la fábrica, se coloca en el área de almacenamiento de la materia prima a cielo abierto (stock pile).

## **2.6. Análisis de muestras por Difracción de Rayos X (DRX)**

La Difracción de Rayos X (DRX) se realizó con un Difractómetro de Rayos X de marca Philips, modelo PW 3710 (Ver figura 2.9 y 2.10) utilizando la radiación de Cu  $K\alpha_1$ , del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Agostinho Neto.



**Figura 2.9.** Equipo de Difracción de Rayos X, Xpert High Score, marca Philips, modelo PW 3710.



**Figura 2.10.** Difractómetro de Rayos X (DRX), presentando el porta muestra múltiple para el procesamiento de las fases minerales.

A continuación se muestra una secuencia de pasos para la preparación de las muestras para el análisis por Rayos X (DRX).

### **2.6.1. Preparación de la Lámina**

- 1-Nombrar la muestra.
- 2-Pulverizar la muestra.
- 3-Colocar y muestrear en porta-muestra.
- 4-Coger muestra en porta-muestra.
- 5-Llevar y colocar muestra en Difractómetro de Rayos X.



**Figura 2.11.** Utensilios y materiales empleados en la preparación de la lámina para el procesamiento por Difracción de Rayos X.



**Figura 2.12.** Vista de los porta muestras y otros utensilios empleados en la preparación de las mismas para la Difracción de Rayos X.

## 2.7. Selección de las muestras para realizar análisis de Rayos X

Fueron efectuados un total de 15 análisis por Difracción de Rayos X, correspondiendo a las muestras de carbonatos, arcillas y yeso. En la tabla 2.2 y 2.3 se ilustran los aspectos de las localizaciones de las muestras.

**Tabla 2.2.** Localización de las muestras del área 1, analizadas por DRX.

Horizonte Superior	A-1.1	A-1.6	A-1.6a	A-1.7
Horizonte Medio	A-1.10	A-1.12	A-1.15	A-1.16
Horizonte Inferior	A-1.17	A-1.19	A-1.22	

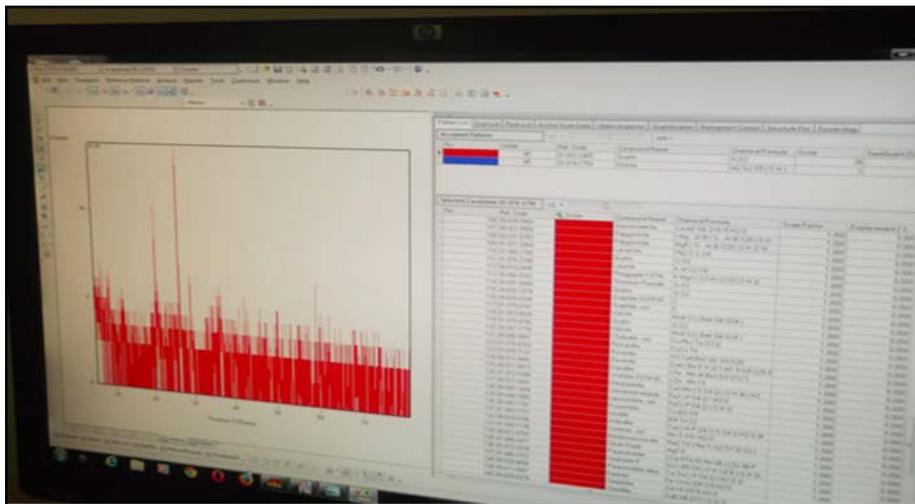
**Tabla 2.3.** Localización de las muestras del área 2, analizadas por DRX.

Horizonte Superior	A-2.2	A-2.3	A-2.5
--------------------	-------	-------	-------

## 2.8. Análisis de los difractogramas de Rayos X (DRX)

Para el análisis de los difractogramas de Rayos X se utilizaron los softwares, APD (Philips) y el Xpert High Score 1b del año 2002, así como la base de los datos de ICDD (International Center for Diffraction Data) de 1998. Se utilizó además tanto para la estimación cuantitativa de los minerales el software High Score Plus, Versión: (2,0b 3.0.2), 01-02-2011, Producido por: PANalytical B.V. Con la base de datos 2010.

La comparación de los difractogramas calculados, con los observados, permite la obtención de resultados cuantitativos. Para la realización de las análisis de cada material, fue necesario conocer anticipadamente las especies mineralógicas presentes en cada una de las muestras, y una vez conocidas tales fases, fue necesario adoptar una descripción adecuada de forma de los picos de difracción de cada especie, donde en la metodología de la técnica permitió que, esta etapa sea una de las más importantes en el análisis cuantitativo de fases.



**Figura 2.13.** Vista del registro difractométrico de una muestra procesada, en su etapa de identificación de fases cristalinas.

## **CAPITULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

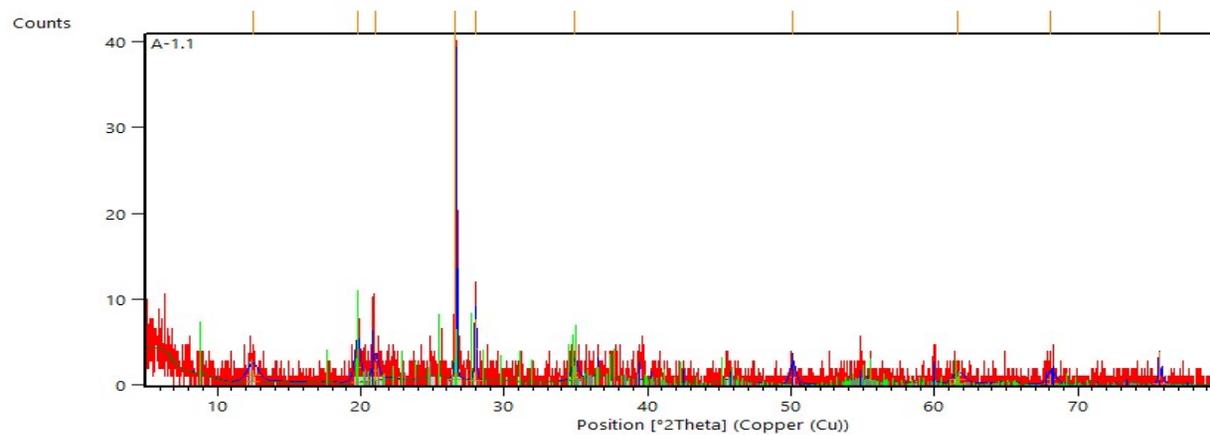
### **3.1. Introducción**

En este capítulo se analizan los difractogramas de las muestras procesadas por cada uno de los horizontes. De manera general la identificación de los minerales arcillosos se mostró complicada dado el hecho de que las muestras no fueron preparadas con la necesaria exactitud, de esta forma a pesar de que no se acudió a la búsqueda de los reflejos de menores intensidades que aparecen solapados con los reflejos del cuarzo y la calcita, se podido hacer una identificación a buen término de la materia mineral en cuestión y conocer las paragénesis minerales así como hacer una correlación de la variabilidad vertical de los nivel u horizontes de sus respectivas áreas.

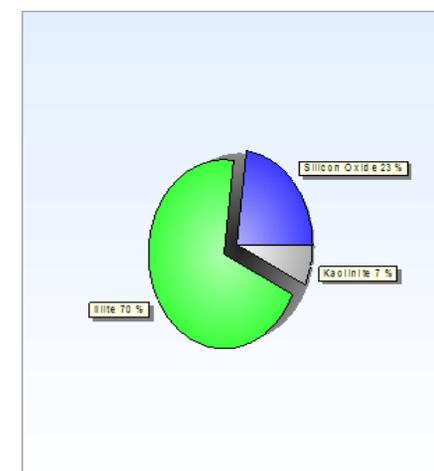
### 3.2. Análisis de la muestra A-1.1



A



B



C

Figura 3.1. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.1.

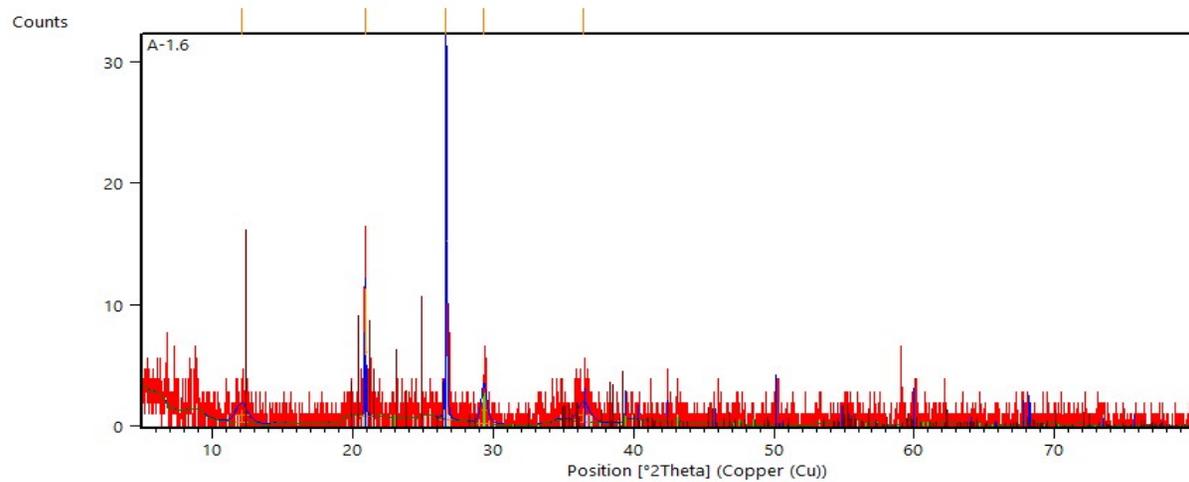
La muestra A-1.1 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color gris verdusco en algunos sectores de coloración rojiza, con apariencia de arcilla, aparentemente de granulometría muy fina, aparentemente plástico. (Ver figura 3.1 A).

En la muestra A-1.1 se encontraron picos principales con reflejos (4,26; 3,34; 1,81) distintivos para el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa el 23% de la muestra y para la illita  $(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 70% de la muestra, se encontraron un número de picos significativos (4,47; 3,21; 2,56; 1,50), que aparecen solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 7% de la muestra, con picos significativos (7,15; 4,18; 3,37, 2,55) que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra la illita predomina sobre las demás fases minerales y que la muestra tiene poca cristalinidad y posiblemente la dificultad de identificación de los minerales arcillosos este dada por haberse utilizado una muestra muy gruesa para los análisis. Esta muestra corresponde al horizonte superior (nivel 1) arcilloso del área 1.

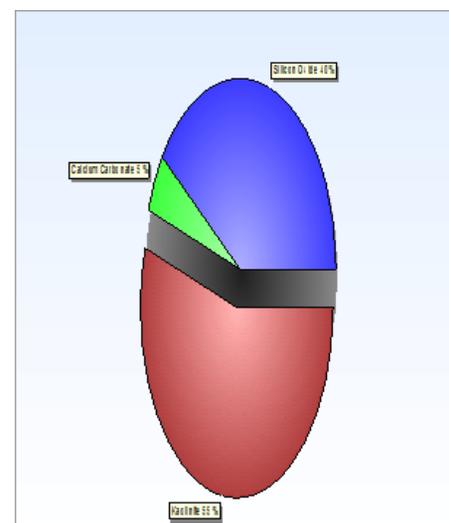
### 3.3. Análisis de la muestra A-1.6



**A**



**B**



**C**

Figura 3.2. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.6.

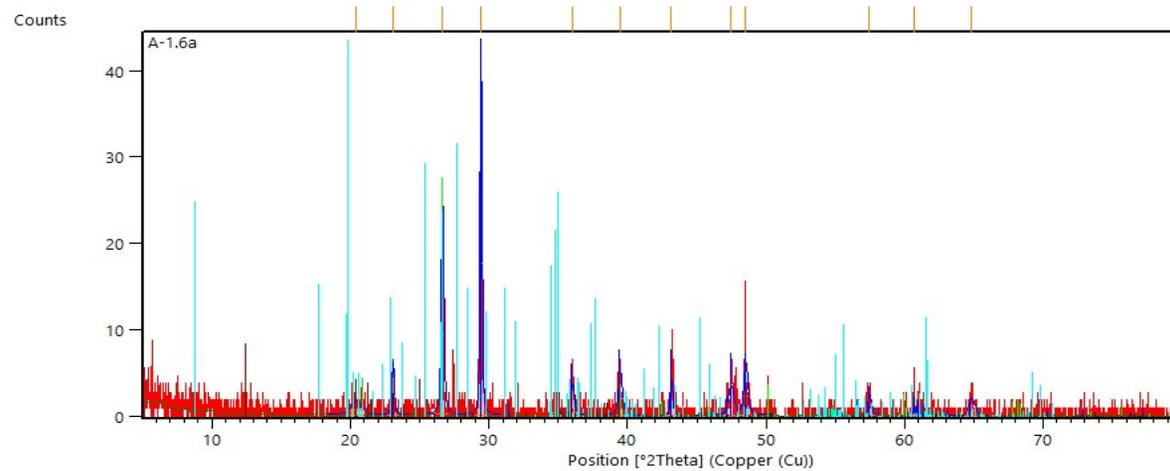
La muestra A-1.6 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color amarillo parduzco en algunos sectores de coloración rojiza, con apariencia de arcilla, con granulometría fina y material terroso. (Ver figura 3.2 A).

En el Difractograma de la muestra A-1.6 se encontraron picos principales con reflejos (4.26; 3.34; 2.45) distintivos para el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa el 40% de la muestra, y aparece un principal (3,04) del mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 5% de la muestra, además aparece el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , con el pico (3,37), que ocupa el 55% de la muestra que solo se pudo cuantificar e identificar por medio del uso de reflejos de menor intensidad. El registro muestra la poca cristalinidad que tienen la muestra que pertenece al horizonte superior (nivel 1) arcilloso del área 1. En esta muestra predomina la caolinita sobre las demás fases minerales.

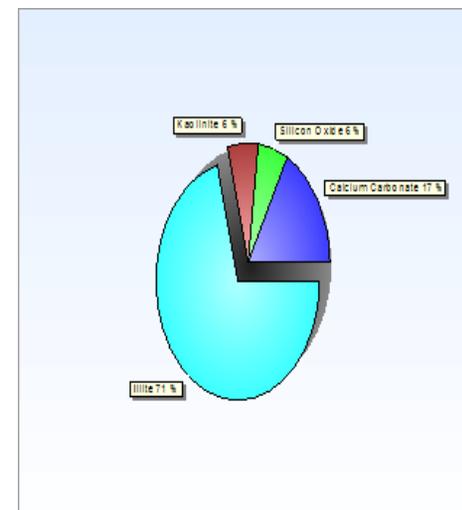
### 3.4. Análisis de la muestra A-1.6a



**A**



**B**



**C**

Figura 3.3. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.6a.

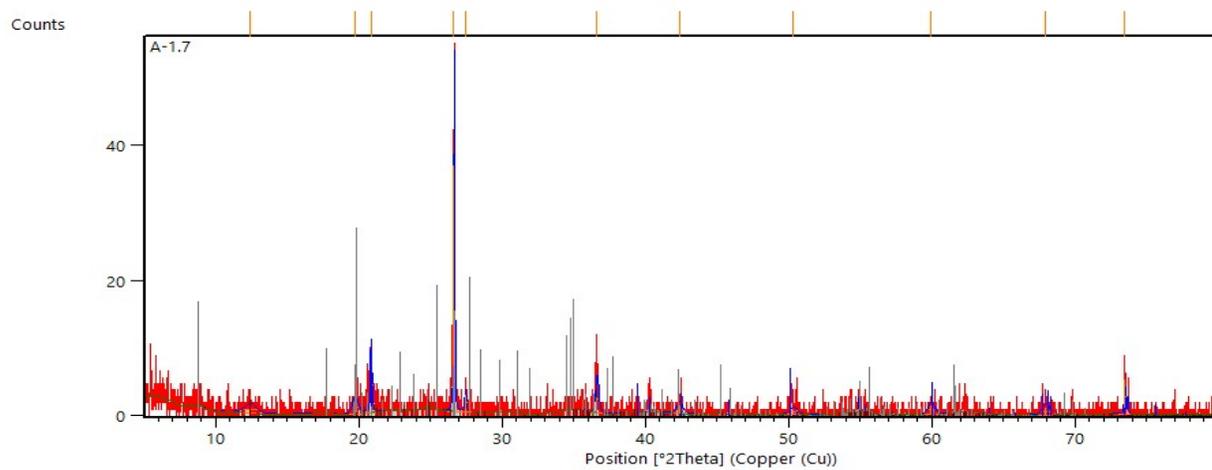
La muestra A-1.6a por su componente físico se describe de forma megascópica por: color blanco a gris con amarillo, con apariencia de arcilla y con granulometría fina y material terroso. (Ver figura 3.3 A).

En la muestra A-1.6a se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 17% de la muestra, y picos con reflejos (3,34; 2,28; 1,60) para el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa 6% de la muestra, solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 6% de la muestra con picos (4,35; 3,84; 3,36; 2,49; 2,28; 1,60), también aparecen un número significativo de picos (3,35; 3,34; 2,48; 1,52) que fueron asignados a la illita  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 71% de la muestra, que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra que la illita predomina sobre las de más fases minerales. Esta muestra corresponde al horizonte superior (nivel 1) arcilloso del área 1.

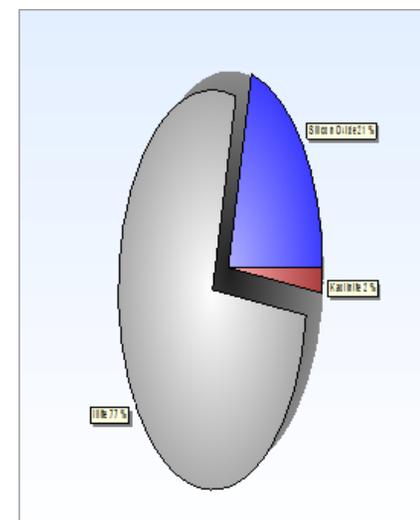
### 3.5. Análisis de la muestra A 1.7



**A**



**B**



**C**

Figura 3.4. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.7.

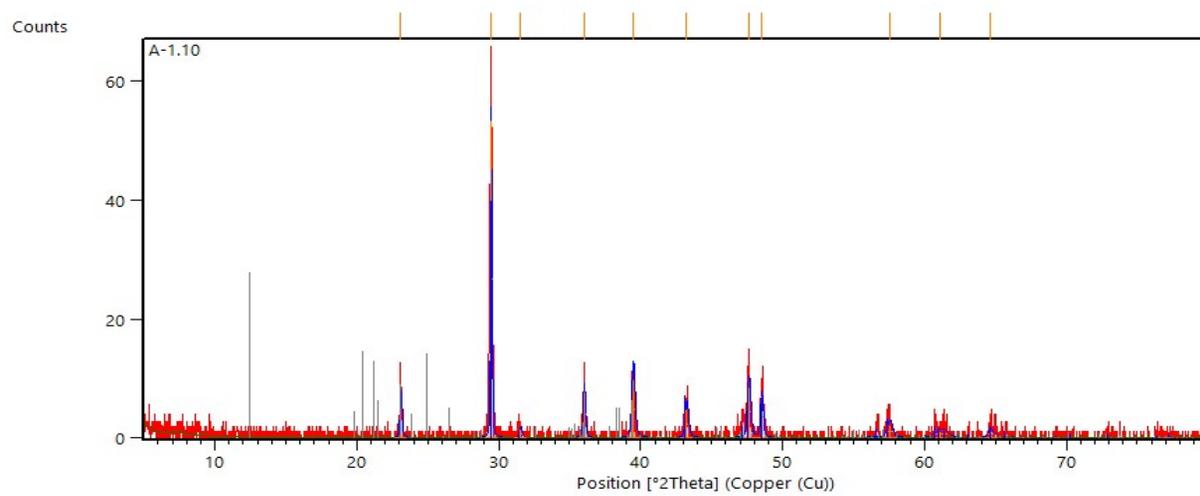
La muestra A-1.7 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color amarillo parduzco, material terroso aparentemente de granulometría fina y muy compacta con apariencia arcillosa. (Ver figura 3.4 A).

En la muestra A 1.7 se encontraron picos principales con reflejos (4,26; 3,34; 1,81; 1,54) distintivos para el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa el 21% de la muestra, y se encontraron un número significativo de picos (4,47; 3,34; 2,13; 1,37) que fueron asignados a la illita  $(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 77% de la muestra, que aparece solapando el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , con picos (7,15; 4,47; 3,37; 2,13; 1,54), que ocupa el 2% de la muestra, que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra que la muestra tiene poca cristalinidad y predomina la illita sobre las demás fases minerales correspondiente al horizonte superior (nivel 1) arcilloso del área 1.

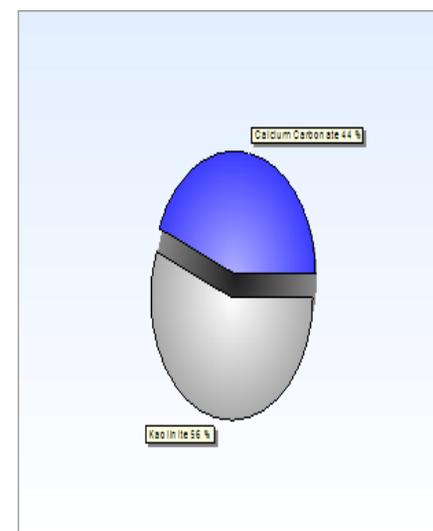
### 3.6. Análisis de la muestra A-1.10



**A**



**B**



**C**

Figura 3.5. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.10.

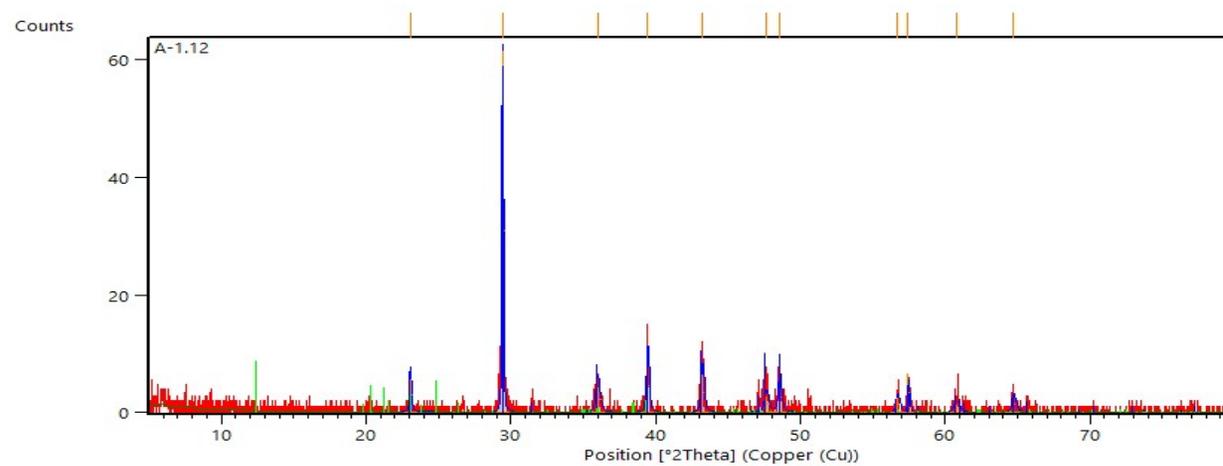
La muestra A-1.10 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color blanco, con compactación deleznable, granulometría muy fina con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.5 A).

En la muestra A-1.10 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 44% de la muestra, solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , que ocupa el 56% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 2,29; 1,60), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra que la muestra tiene poca cristalinidad. Esta muestra corresponde al horizonte medio (nivel 2) carbonatado del área 1.

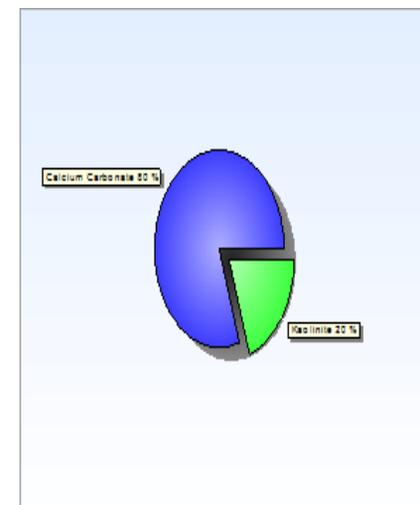
### 3.7. Análisis de la muestra A-1.12



**A**



**B**



**C**

Figura 3.6. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.12.

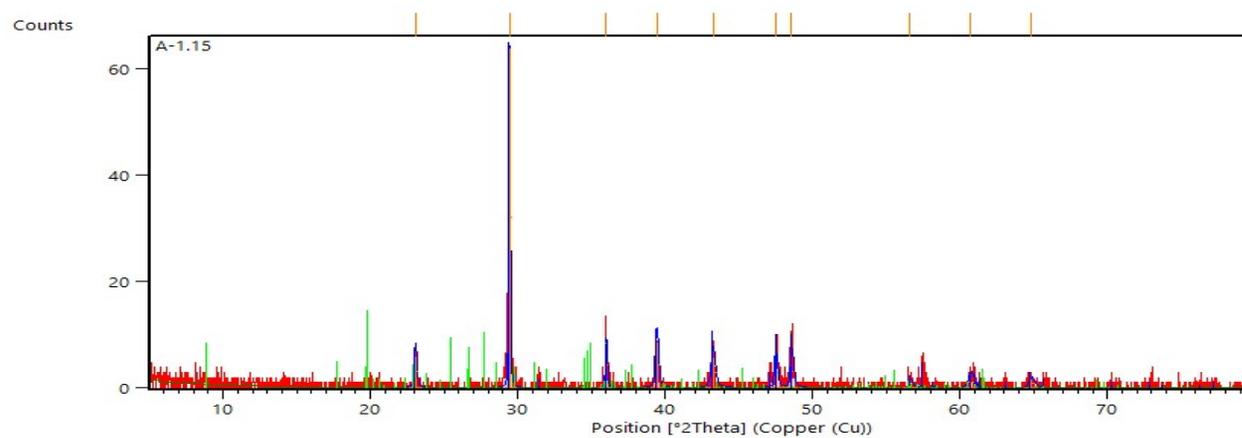
La muestra A-1.12 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color amarillo parduzco, material terroso con granulometría fina y con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.6 A).

En la muestra A-1.12 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 80% de la muestra, que aparece solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , que ocupa el 20% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 1,87; 1,62), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. Esta muestra corresponde al horizonte medio (nivel 2) carbonatado del área 1.

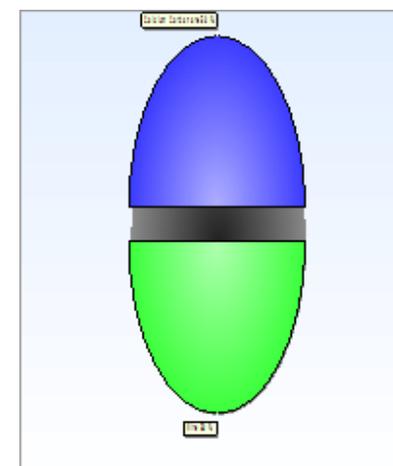
### 3.8. Análisis de la muestra A-1.15



A



B



C

Figura 3.7. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.15.

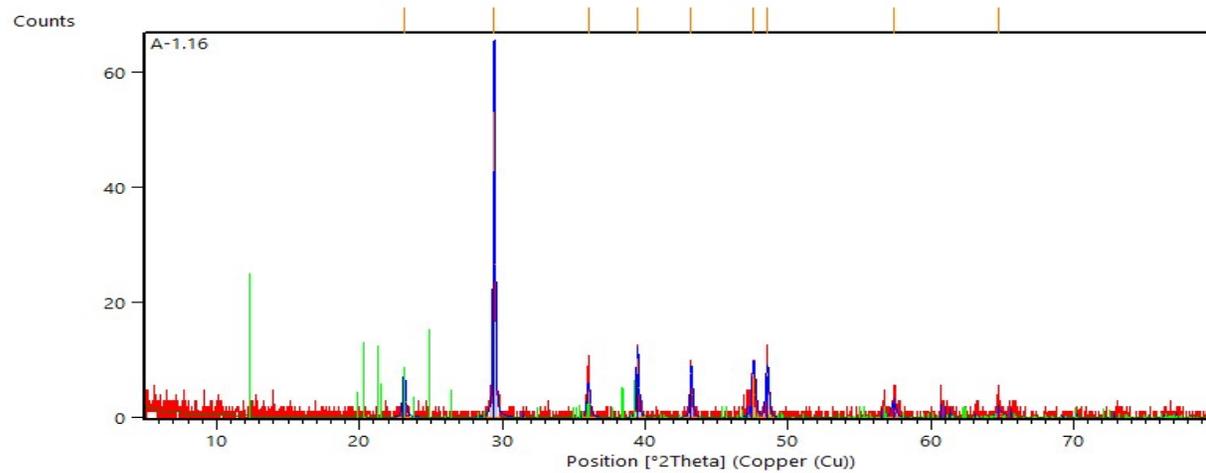
La muestra A-1.15 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color gris oscuro a gris claro, aparentemente un material terroso, deleznable, granulometría fina y con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.7 A).

En la muestra A-1.15 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 50% de la muestra, que aparece solapando la illita  $(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 50% de la muestra con picos (2,48; 1,86; 1,62; 1,52; 1,43), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra que la calcita y la caolinita predominan en un 50% sobre la fase mineral de la muestra correspondiente al horizonte medio (nivel 2) carbonatado del área 1.

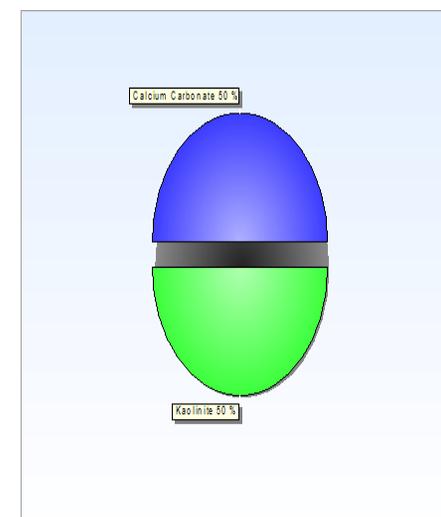
### 3.9. Análisis de la muestra A-1.16



**A**



**B**



**C**

Figura 3.8. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.16.

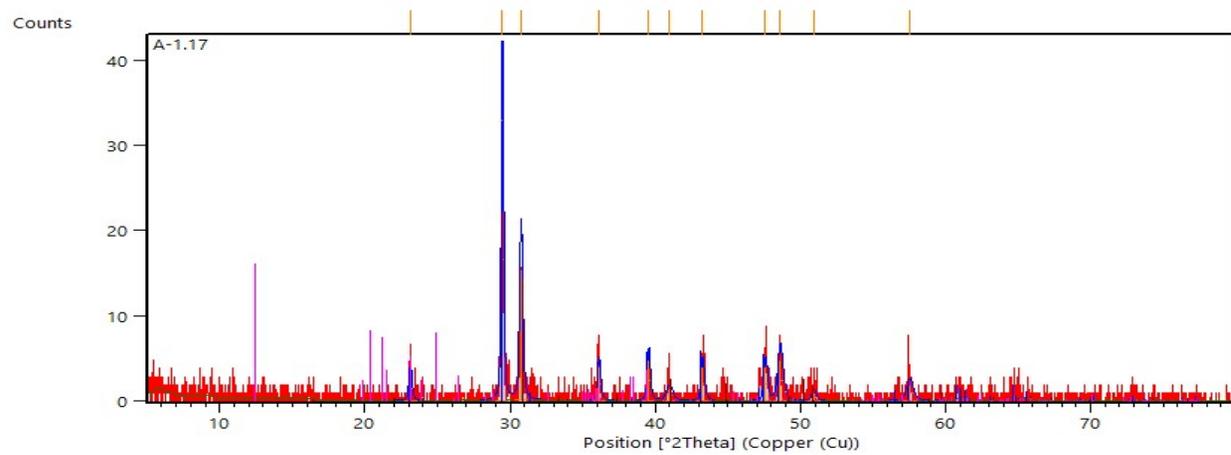
La muestra A-1.16 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color de gris a blanco, aparentemente un material terroso, deleznable, granulometría muy fina y con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.8 A).

En la muestra A-1.16 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 50% de la muestra, que aparece solapando el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 50% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 1,87; 1,60), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. El difractograma ilustra que la calcita y la caolinita predominan en un 50% sobre la fase mineral de la muestra correspondiente al horizonte medio (nivel 2) carbonatado del área 1.

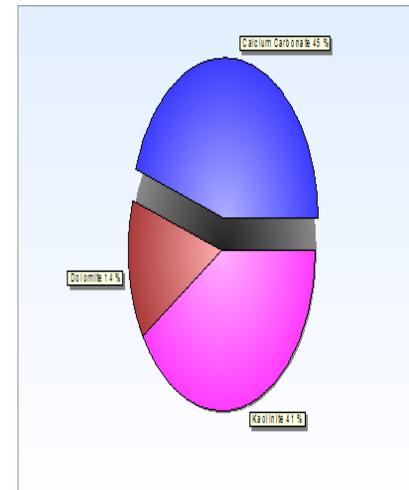
### 3.10. Análisis de la muestra A-1.17



A



B



C

Figura 3.9. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.17.

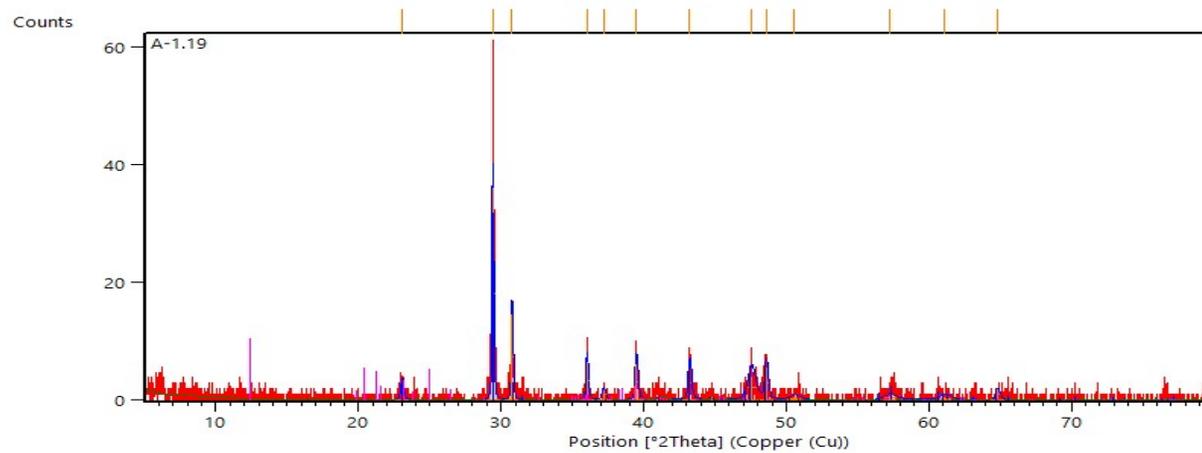
La muestra A-1.17 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color de gris a blanco, con tonalidades amarillas, aparentemente un material terroso, deleznable, granulometría muy fina y con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.9 A).

En la muestra A-1.17 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 45% de la muestra, y se encontraron un número significativo de picos (2,89, 2,19; 1,79) asignados al mineral dolomita,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  que ocupa el 4% de la muestra, que aparece solapando el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 41% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 2,28; 1,60), que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. La calcita predomina sobre las demás fases minerales de la muestra que corresponde al horizonte inferior (nivel 3) carbonatado del área 1.

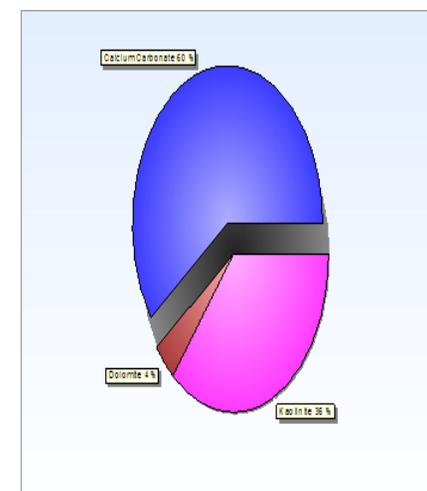
### 3.11. Análisis de la muestra A-1.19



A



B



C

Figura 3.10. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.19.

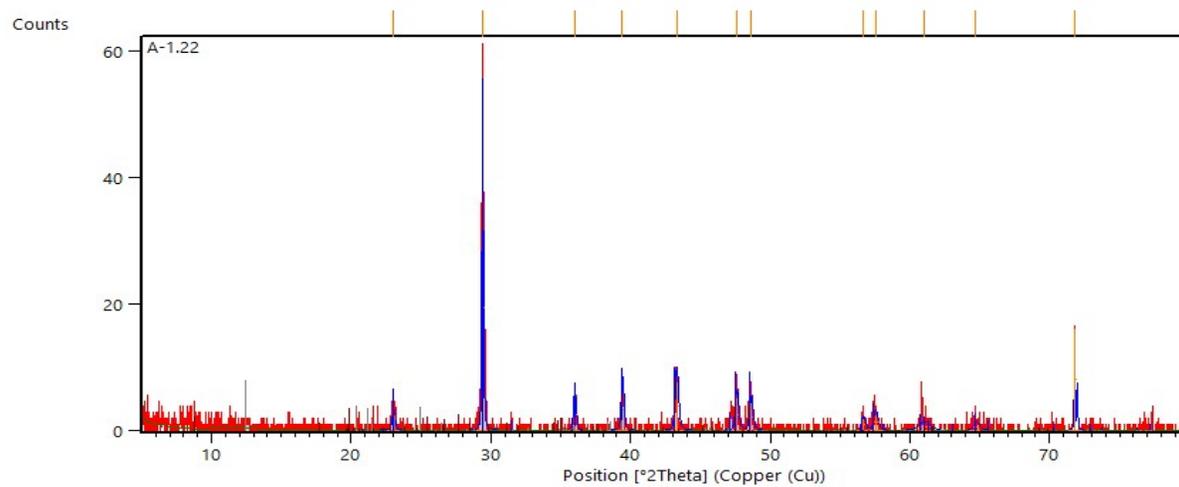
La muestra A-1.19 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color gris, material terroso, deleznable, granulometría muy fina y con apariencia carbonatada. (Ver figura 3.10 A).

En la muestra A-1.19 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 65% de la muestra, y se encontraron un número significativo de picos (2,89, 2,40; 2,43) asignados al mineral dolomita,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  que ocupa el 4% de la muestra, que aparece solapando el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 36% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 2,28; 1,61), que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. La calcita predomina sobre las demás fases minerales de la muestra que corresponde al horizonte inferior (nivel 3) carbonatado del área 1.

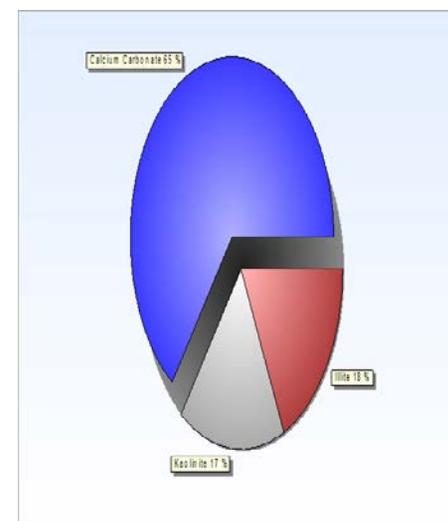
### 3.12. Análisis de la muestra A-1.22



A



B



C

Figura 3.11. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-1.22.

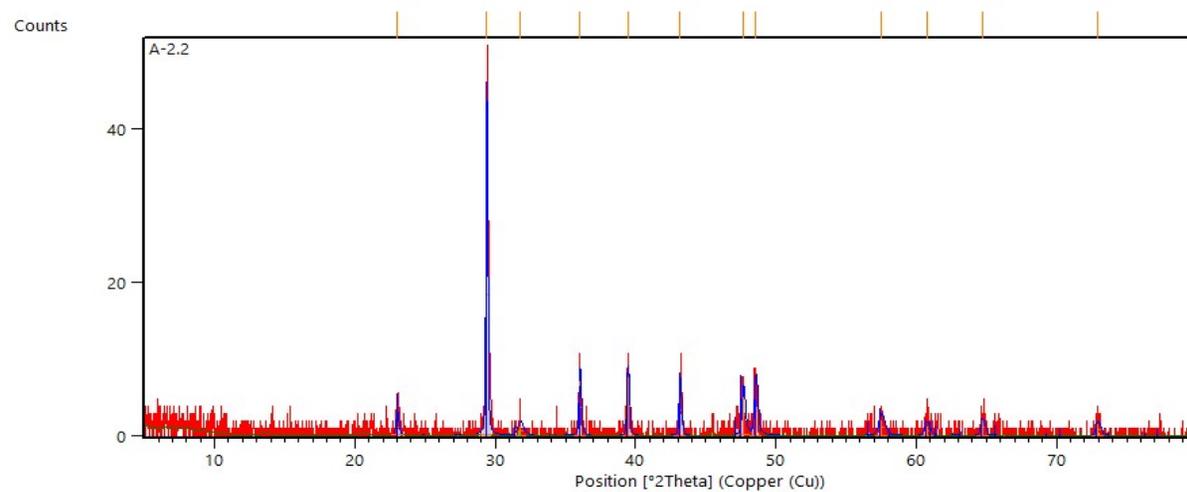
La muestra A-1.22 por su componente físico se describe de forma megascópica por: color amarillo a blanco, blanco gris, material terroso y poroso, granulometría variable con apariencia de coral, probablemente carbonatada y con presencia de fósiles. (Ver figura 3.11 A).

En la muestra A-1.22 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 65% de la muestra, que aparece solapando el mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 17% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 2,28; 1,43), y el mineral illita  $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 18% de la muestra con picos (3,89; 2,50; 1,86; 1,62), que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. La calcita predomina sobre las demás fases minerales de la muestra que corresponde al horizonte inferior (nivel 3) carbonatado del área 1.

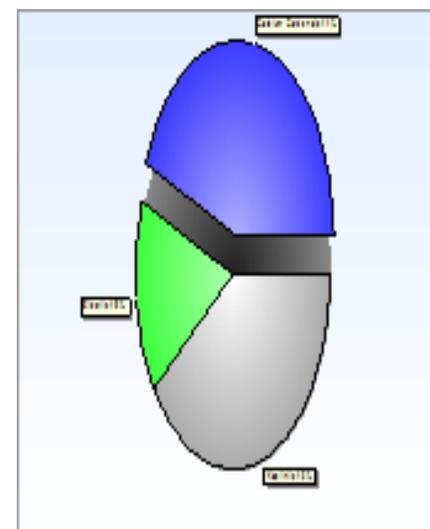
### 3.13. Análisis de la muestra A-2.2



**A**



**B**



**C**

Figura 3.12. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-2.2.

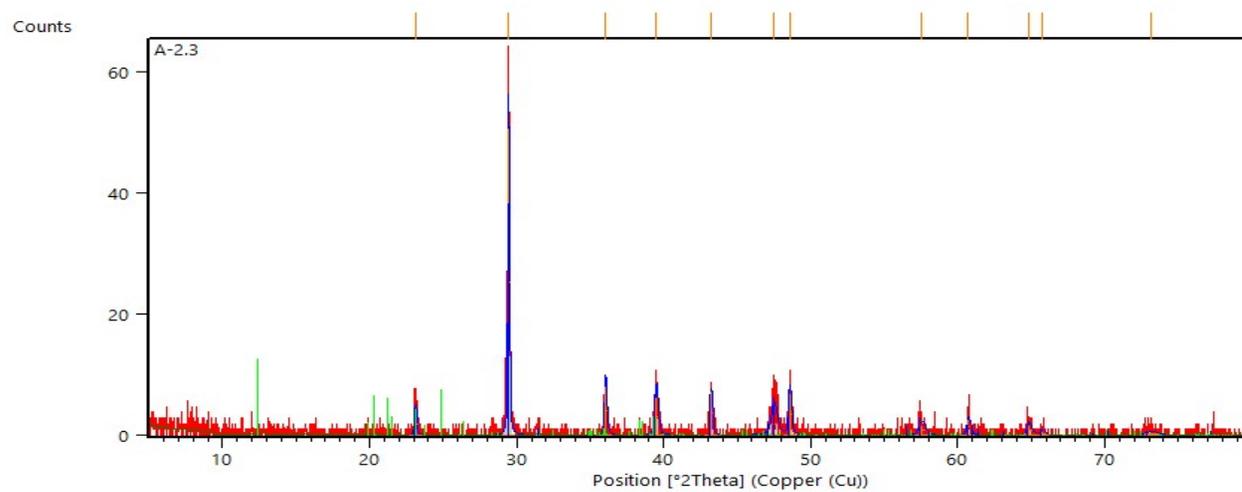
Muestra con aspecto de bola o perdigón, aparentemente terroso de coloración pardusca a rojiza, quizás por la presencia de óxidos de hierro. El material tiene aspecto terroso y deleznable. Ver figura 3.12 A.

En la muestra A-2.2 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 44% de la muestra, aparece además un pico (1,43) de manera subordinada el mineral siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) que ocupa el 16% de la muestra, que aparece solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 40% de la muestra con picos (3,38; 2,49; 1,87), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. La calcita predomina sobre las demás fases minerales de la muestra que corresponde al horizonte superior (nivel 1) carbonatado del área 2.

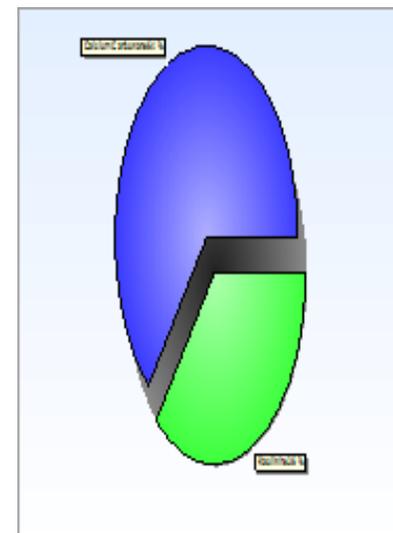
### 3.14. Análisis de la muestra A-2.3



A



B



C

Figura 3.13. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-2.3.

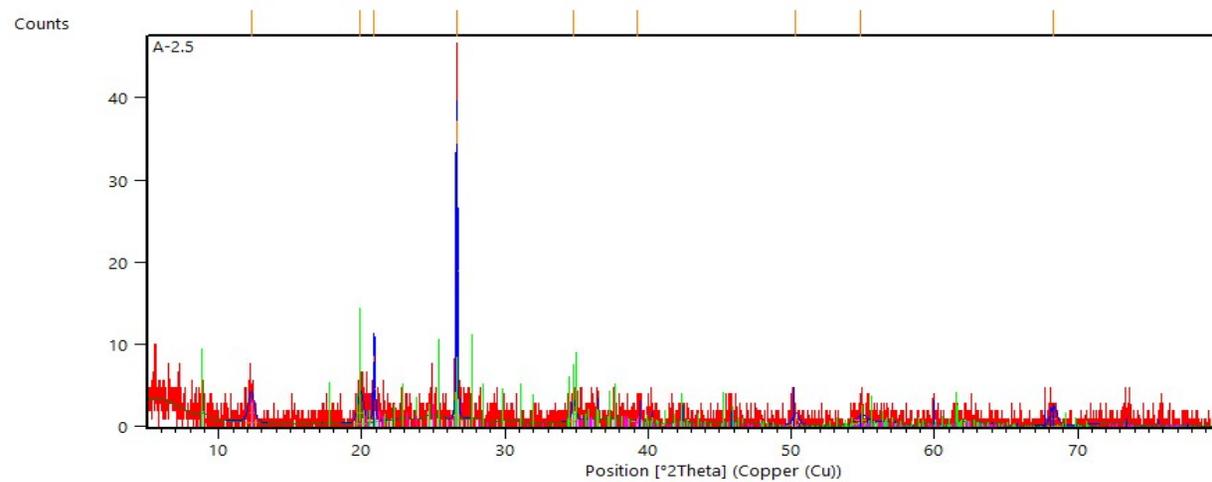
En la figura 3.13 A se observa un material con aspecto coraloide, terroso, con oquedades y probablemente con presencia de microfósiles. La coloración es grisácea con tonos rojizos que pudieran deberse a la presencia de óxidos de hierro, el material aparenta ser deleznable.

En la muestra A-2.3 se encontraron picos principales con reflejos (3,04; 2,29; 2,10; 1,91; 1,87) distintivos para el mineral calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) que ocupa el 64% de la muestra, que aparece solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  que ocupa el 36% de la muestra con picos (3,84; 2,49; 1,87), que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad. La calcita predomina sobre las demás fases minerales de la muestra que corresponde al horizonte superior (nivel 1) carbonatado del área 2.

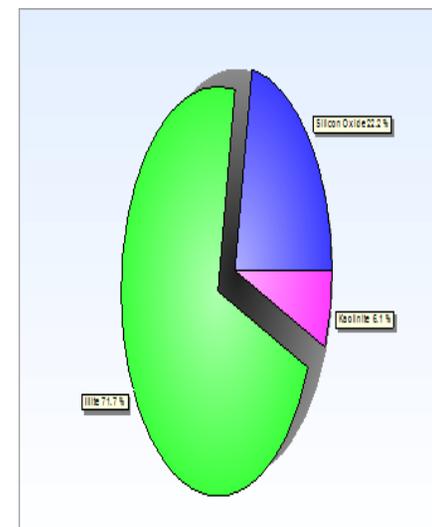
### 3.15. Análisis de la muestra A-2.5



A



B



C

Figura 3.14. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra A-2.5.

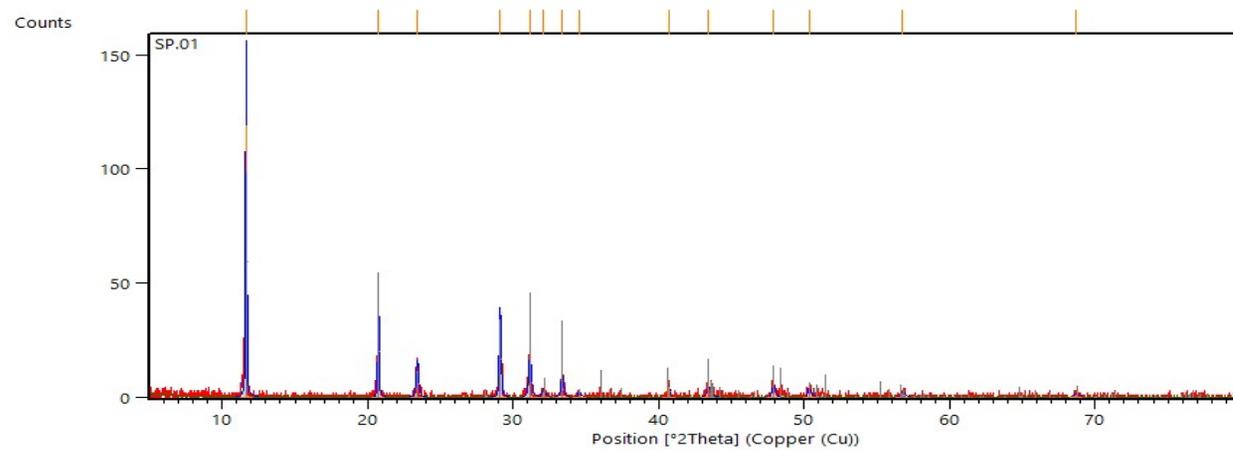
En la figura 3.14 A se observa un material bastante compacto de granulometría fina. Con apariencia de roca dura de coloración blanca, gris y a veces amarillenta.

En la muestra A-2.5 se encontraron picos principales con reflejos (4,26; 3,34; 1,81) distintivos para el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que ocupa el 23% de la muestra, que aparece solapando al mineral caolinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , que ocupa el 3% de la muestra con picos (7,15; 4,47; 3,37; 2,29), que solo fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de menor intensidad, además, se encontraron picos (4,47; 3,34; 2,56; 1,66) significativos del mineral illita  $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})]$  que ocupa el 74% de la muestra. El difractograma ilustra que la muestra tiene poca cristalinidad y la illita predomina sobre las demás fases minerales en esta muestra correspondiente al horizonte superior (nivel 2) arcilloso del área 2.

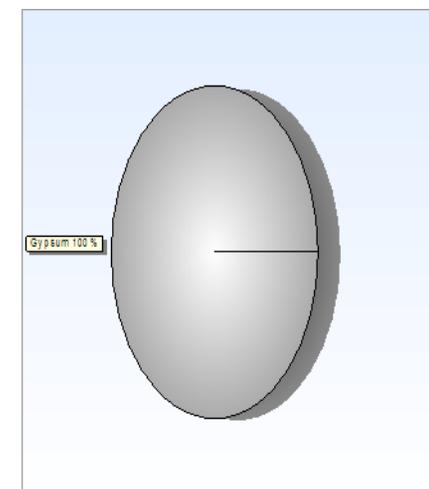
### 3.16. Análisis de la muestra SP.01



A



B



C

Figura 3.15. Fotografía, difractograma y diagrama de cuantificación de la muestra SP.01

En la muestra SP.01 aparecen picos con reflejos (7,59; 4,28; 3,06; 2,86; 2,68) significativos para el mineral yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que ocupa el 100 % de la muestra, que fue posible cuantificarlos a través de los reflejos de mayor intensidad. Esta muestra corresponde al almacenamiento a cielo abierto (Stock pile) del depósito de yeso.

## CONCLUSIONES

Se argumentó la necesidad de caracterizar mineralógicamente la materia prima carbonatada-arcillosa del depósito de Cacucaco, dado su importancia en la industria local del cemento angolano.

Se concluye que el depósito Cacucaco está constituido por dos Áreas divididas en horizontes carbonatados y horizontes arcillosos que se pueden intercalar en los diferentes niveles que los componen.

Se concluye, de acuerdo a los resultados obtenidos de la interpretación de la Difracción de Rayos X, que:

Para el área 1, las paragénesis están representadas por:

- En el horizonte superior (nivel 1) se localizan: cuarzo + calcita + illita + caolinita.
- En el horizonte medio (nivel 2) se localizan: calcita + caolinita apareciendo de manera subordinada la illita.
- En el horizonte inferior (nivel 3) se localizan: calcita + dolomita + caolinita y de manera subordinada illita.

En el Área 2, la paragénesis están representadas por:

- En el horizonte superior (nivel 1) se localizan: calcita + caolinita apareciendo de manera subordinada la siderita.
- En el horizonte inferior (nivel 2) se localiza: cuarzo + illita + caolinita.

La caracterización realizada a la materia prima del depósito de yeso utilizado en la fabricación del cemento arrojó que se trata de un yeso con alto grado de pureza.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios profundos que incluyan muestreo sistemático en una región ampliada, análisis químicos, determinación de las propiedades físicas y empleo de las técnicas analíticas puntuales.
2. Continuar las investigaciones científicas que contribuyan al estudio de la materia prima mineral presente en los horizontes carbonatado–arcillosos, empleando métodos estadísticos.
3. Se recomienda hacer análisis para el cálculo de reserva y realizar estudios de Microscopía Electrónica para complementar los estudios de Difracción de Rayos X.

## **BIBLIOGRAFIA**

Lopes Ferreira Baptista, 2005: Evaluación geoquímica de las propiedades del material particulado (polvo, suelos y sedimentos) de la ciudad de Luanda (Angola) y su entorno implicaciones ambientales. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Américo da Mata Lourenço Victorino, 2011: Desarrollo de un WebSIG para la Geología Sedimentar de la Cuenca Sedimentar del Kwanza. Tesis de maestrado, Instituto Superior de Estadística y Gestión de Información de la Universidad Nova de Lisboa.

PIRES, G. J. P. T. 2007: Caracterización geológica y geotécnica de los suelos de Luanda para el ordenamiento del territorio. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.

Mussungu, E. (2000): Caracterización geológica de la Formación Luanda. Departamento de Geología, Universidad Agostinho Neto, Luanda, Angola.

Miguel, G. L. (1996): Levantamiento geológico de Luanda y alrededores. Tese de licenciatura. Departamento de Geología, Universidad Agostinho Neto, Luanda, Angola.

Torquato, J.R. y Rocha, A.T. (1969): Contribución para el conocimiento de la geología de Luanda. Características geológicas, sedimentológicas y micropaleontológicas del Morro de Samba. Boletín del Instituto de Investigación Científica de Angola.

Carvalho, G.S. (1957): Sedimentología y génesis de las arenas rojas de los alrededores de Luanda (Angola).

Sgrosso, I., Duarte Moráis, M.L., Valente, A., Putignano, M.L. y Neto, A.B. (2000): Carta geológica de Luanda (Angola). Universidad Agostinho Neto.

Miguel, G. L. (2002): Caracterización geológica, hidrogeológica y ambiental de Luanda y alrededores. Departamento de Geología, Universidad de Alcalá, Madrid.

Horta da Silva J. A. (1965): Contribucion para el conocimiento de las Arenas rojas de la region de Luanda «Muceque». Estudio de la fraccion arcillosa, Boletin de los servicios de Geologia y Minas de Angola.

Schlumberger (1991): Evaluación de Formaciones de Angola. W.E.C. Paris, 1-95.

Miguel, G.L.; Rebollo, L.F. & Martín-Loeches, M. (2005): La utilizacion de las aguas subterranas como complemento al abastecimiento de Luanda y alrededores (Angola).

Dana, 1970: Manual de mineralogía (Edición Revolucionaria).

Paul F. Kerr, PH.D. 1984: Mineralogía Óptica.

.