



UNIVERSIDAD DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ  
Facultad: Geología y Minería  
Departamento de Geología

# Trabajo de Diploma

*En opción al Título de  
Ingeniero Geólogo*

**Título: "Caracterización geoquímica de las regolitas de gabros en  
Cayo Guam y Centeno, municipio Moa."**

**Autor:** Dennis Luis Matos Sanamé

**Tutores:** Dr. Waldo Lavaut Copa. Departamento de Yacimiento IGP  
Dr. Arturo Rojas Purón. Departamento de Geología ISMM



## AGRADECIMIENTOS

*Los resultados del presente trabajo han sido fruto del esfuerzo conjunto dedicación, apoyo y la colaboración de varias personas, las cuales me sirvieron de mucho apoyo para que se cumpliera este sueño en realidad. Por esta razón es necesario agradecer a quienes de alguna manera contribuyeron al feliz término de la misma y a quienes estuvieron presentes en estos arduos años de estudio.*

*Llegue mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de una manera u otra en mi formación como profesional y en la realización de este Trabajo de Diploma.*

*Especial agradecimiento a mi madre por su esfuerzo y apoyo en todo momento y por la simple razón de darme la vida.*

*Agradezco a la Revolución Cubana, y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de formarme como un profesional competente.*

*También le agradezco a mi familia por apoyarme y ayudarme en todo lo que han podido.*

*Agradezco a todos aquellos que de una forma u otra han sido parte en mi vida durante mis estudios*

## DEDICATORIA

*De manera muy especial dedico esta tesis al ser máspreciado y querido que tengo en la vida, al motivo que me ha impulsado y me ha dado fuerzas para llegar hasta este punto por su amor incondicional, confianza y sacrificio durante todos estos años de estudios, a mi querida madre Yusmaris Sanamé Sandín y a mi padre Luis Ramón Matos Vilches.*

*...A mis hermanos Eberlandis Batista Saname y Edilandis Batista Saname principalmente y mi familia en general.*

*...A mi novia Lizabeth Marrero Doimeadios por haber estado en los momentos más difíciles apoyándome en todo.*

*...A mis amigos Misael Báez Gómez, Javier Borrero Peña, Roilan Poulot Bravo, Carlos Velázquez Rodríguez, Reinier Hernández Guilarte entres otros que de una forma u otra fueron especiales en mi vida*

## PENSAMIENTO

...Si se es estudiante hay que ser inexorablemente buen estudiante, si se es trabajador de una fábrica, hay que ser obrero modelo en esa fábrica, hay que ser ejemplo de buen compañero, hay que ser ejemplo de sacrificio, hay que ser ejemplo de voluntad, han de ser de los primeros en todo, en el trabajo, en el estudio, en los deportes en la vida de relación con los demás compañeros.

FIDEL CASTRO RUZ.



## RESUMEN

El presente trabajo aborda sobre la problemática mineralógica y geoquímica de las regolitas asociadas a cuerpos de gabro en el sector de Cayo Guam, Centeno en el municipio de Moa. Su objetivo principal es caracterizar mineralógica y geoquímicamente las regolitas de gabros en los sectores Cayo Guam y Centeno en la región de Moa. Para dar solución a este problema se utilizó como técnica analítica la difracción de Rayo-X (DRX) para determinar la mineralogía existente y para determinar la química fue necesario usar los métodos de ICP-OES, el método de fotometría de llama, el método por vía volumétrica, vía gravimétrica y el método de colorimétricamente. Como resultados se obtuvo que la composición mineralógica de los regolitos relacionados con los cuerpos de gabro en los sectores de Cayo Guam está compuesta por las fases principales de caolinita, gibbsita, nacrita y con fases secundarias la goethita, hematita. En el sector de Centeno encontramos la presencia de caolinita, gibbsita, goethita como fases principales y como secundaria el cuarzo, hematita, biotita y la magnetita. La composición química de las regolitas relacionadas con los cuerpos de gabro de los sectores de estudio de Cayo Guam y Centeno presentan altas concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , con predominio en el sector Cayo Guam el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y en el sector de Centeno el  $\text{SiO}_2$ , el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## **ABSTRAC**

The present work deals with the mineralogical and geochemical problems of regoliths associated with gabbro bodies in the sector of Cayo Guam, Centeno in the municipality of Moa. Its main objective is to mineralogically and geochemically characterize gabbro regoliths in the Cayo Guam and Centeno sectors in the Moa region. To solve this problem, X-ray diffraction (XRD) was used as an analytical technique to determine the existing mineralogy and to determine the chemistry, it was necessary to use the ICP-OES method, the flame photometry method, the method volumetric way, gravimetric way and colorimetrically method. As results it was obtained that the mineralogical composition of the regoliths related to the bodies of gabbro in the sectors of Cayo Guam is composed of the main phases of kaolinite, gibbsite, nacrite and with secondary phases the goethite, hematite. In the sector of Centeno we find the presence of kaolinite, gibbsite, goethite as main phases and as secondary quartz, hematite, biotite and magnetite. The chemical composition of the regoliths related to the bodies of gabbro in the study areas of Cayo Guam and Centeno have high concentrations of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , predominantly in the Cayo Guam sector,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  and in the Centeno sector.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## Índice

INTRODUCCIÓN.....	10
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
Introducción.....	12
Gabro .....	12
Depósito Mineral: .....	12
Yacimiento Mineral:.....	12
Meteorización.....	12
Regolitos .....	13
Bauxita .....	13
Saprolita.....	13
Saproca.....	13
Alteritas .....	14
Laterititas .....	14
Sialititas.....	14
Granodiorita .....	14
ESTADO DEL ARTE.....	15
1.1 Introducción.....	15
1.2. Trabajos relacionados con la caracterización química y mineralógica de las cortezas de meteorización ferrosialíticas a nivel mundial. ....	15
1.2.1.África y Amazonía .....	15
1.2.2. Europa y Asia .....	15
1.2.3. El Caribe y el resto de las Américas .....	16
1.2.4. Cuba .....	16
1.2.4.1. Occidental y Central .....	17
1.2.4.2. Cuba Oriental. ....	17
1.2.5 Los problemas actuales de la terminología, clasificación y métodos cuantitativos	18
1.3 Importancia económica de cortezas aluminicas en Cuba y el mundo, perspectivas y problemas actuales. ....	18
Antecedentes y estado actual de la temática tratada.....	18
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO.....	21

1.1. Introducción.....	21
1.2. Características físico geográficas del área de estudio .....	21
1.2.1. Ubicación geográfica .....	21
1.2.2. Desarrollo económico de la región .....	22
1.2.3. Relieve.....	23
1.2.4. Suelos.....	23
1.2.5. Clima .....	24
1.2.6. Vegetación.....	24
1.2.7. Hidrografía.....	24
1.3 Características geológicas.....	25
1.3.1 Geología regional.....	25
1.3.2. Geomorfología. ....	33
1.3.4. Tectónica. ....	35
1.3.5. Estratigrafía. ....	38
1.3.6 Magmatismo .....	39
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
Introducción.....	41
2.1 Materiales.....	41
2.2. Metodología de la Investigación .....	41
2.2.1 Preliminar.....	43
2.2.2 Trabajos de campo .....	43
2.2.3 Preparación de las muestras.....	43
2.2.4 Trabajos de gabinete .....	44
2.3 Equipos y métodos empleados en la investigación.....	44
2.3.1 Estufa eléctrica .....	44
2.3.2 Molinos de disco hasta 150 malla. ....	46
2.3.3 Generalidades del método de Difracción de rayos – X (DRX). ....	47
2.3.4 Generalidades del método de Análisis Químicos. ....	50
Capítulo III: Presentación y representación de los resultados obtenidos mineralógicos y geoquímicos. ....	51
3.1 Introducción.....	51
3.2 Características mineralógicas de los sectores de Cayo Guam y Centeno. ....	51
3.2.1 Caracterización mineralógica del sector de Cayo Guam. ....	51



3.2.2 Caracterización mineralógica del sector de Centeno. ....	62
3.3 Características químicas de sectores Cayo Guam y Centeno .....	73
3.3.1 Comportamiento de $Al_2O_3$ , $SiO_2$ , $MgO$ , $Cr_2O_3$ y $MnO$ en las regolitas estudiadas .....	73
3.3.2 Comportamiento de $NiO$ , $CoO$ , $Fe_2O_3$ , $FeO$ y $CaO$ en las regolitas estudiadas. .....	76
3.3.3 Comportamiento de $Na_2O$ , $K_2O$ , $TiO_2$ , $P_2O_5$ y $SO_3$ en las regolitas estudiadas. .....	78
3.3.4 Comportamiento de Ba, Cu, Sr y Pb en las regolitas estudiadas. ....	81
3.3.5 Comportamiento de Zn, V, Li y Sn en las regolitas estudiadas.....	83
3.3.6 Conclusión .....	85
Conclusiones .....	87
Recomendaciones .....	88
Bibliografía consultada.....	89

## **INTRODUCCIÓN**

El municipio de Moa ocupa un lugar en la historia nacional por la riqueza de su suelo, flora y fauna, por la belleza de sus ríos y además por el impetuoso desarrollo industrial lo que lo convierte en un baluarte económico para el país, ya que posee grandes riquezas minerales, estas reconocidas internacionalmente, convirtiéndolo en uno de los mayores productores de Níquel y Cobalto del mundo. La insuficiente caracterización desde el punto de vista químico-mineralógico de las regolitas de gabro, no permite esclarecer la clasificación y aplicabilidad industrial de estos objetos geológicos. La aplicación práctica de los resultados obtenidos radica en la posible utilización de las arcillas asociadas a los regolitos gábricos. Ya que existe insuficiente conocimiento sobre lo antes mencionado surge la siguiente **situación problemática:** Necesidad de caracterizar mineralógica y geoquímicamente las regolitas que se formaron a partir de los cuerpos de gabros en Cayo Guam y Centeno en la región Moa para su futura utilización como materiales de construcción.

**Objeto de la investigación:** Las regolitas relacionadas con los cuerpos de gabros, en los sectores de Cayo Guam y Centeno en la región Moa.

**Campo de acción:** La caracterización mineralógica y geoquímica de las regolitas relacionadas con de los cuerpos gabros, en los sectores de Cayo Guam y Centeno, en la región Moa.

**Objetivo general:** Caracterizar mineralógica y geoquímicamente las regolitas de gabros en los sectores Cayo Guam y Centeno en la región de Moa.

**Objetivos específicos:**

- Presentar las características geológicas de los sectores Cayo Guam y Centeno en la región de Moa.
- Determinar la composición mineralógica de las regolitas relacionadas con los cuerpos de gabros en los sectores Cayo Guam y Centeno.
- Caracterizar geoquímicamente las regolitas relacionadas con los cuerpos de gabros en los sectores Cayo Guam y Centeno.

**Hipótesis:** Si se caracterizan mineralógica y geoquímicamente los regolitos arcillosos sobre los cuerpos de gabros en los sectores de Cayo Guam y Centeno de la región de Moa se podrá incrementar el conocimiento de las personas interesadas en las cortezas sobre gablo.

.

## **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Introducción**

En este capítulo se exponen los diferentes conceptos que son de utilidad para comprender mejor los términos empleados en el informe, se hace una breve reseña de las investigaciones antecedentes sobre las clasificaciones mineralógicas y geoquímicas.

### **Gabro**

Roca ígnea plutónica de textura fanerítica o granular, básica, compuesta esencialmente por feldespatos (poca ortosa) y ferromagnesianos, sin cuarzo, como minerales accesorios contiene ilmenita, apatita, magnetita, etc. Variedades de gabro son: norita, norita micácea, gabro olivínico, gabro piroxénico, gabro hornbléndico, etc. Los gabros son usados como rocas ornamentales, en fachadas de edificios y mausoleos (Dávila Burga 2011).

### **Depósito Mineral:**

Es una acumulación anómala de elementos metálicos, minerales o rocas de tamaño/volumen y ley/calidad suficientes que en condiciones favorables puede constituir un potencial económico.

### **Yacimiento Mineral:**

Es un depósito mineral que ha sido examinado y existen las pruebas de que por su tamaño/volumen, accesibilidad y ley/calidad puede explotarse industrialmente con rentabilidad.

### **Meteorización**

Es un fenómeno natural supergénico de desintegración mecánica y descomposición química de las rocas con acumulación, redistribución y evacuación selectivas de sus componentes químicos, la formación de nuevos minerales, la pérdida paulatina de la fábrica (textura - estructura) del protolito, y el colapso (asentamiento) del material en su porción más superficial (Lavaut, 2017). En términos termodinámicos, constituye una aproximación a un estado de equilibrio respecto a las condiciones ambientales de

presión, temperatura y composición química en que se encuentra la roca en la superficie de la tierra (Oyarzún, 2009).

### **Regolitos**

Es el espesor total del material suelto poco consolidado o friable generado por la meteorización de una roca (Lavaut, 2017a).

Se define como regolito la capa continua de material fragmentario, incoherente, producida por impactos meteoríticos, que forma normalmente los depósitos superficiales en planetas, satélites y asteroides donde la atmósfera es delgada o ausente; el ejemplo clásico es el regolito lunar, con varios metros de espesor, con componentes que varían desde bloques de tamaño métrico hasta polvo microscópico y partículas de vidrio. El proceso da origen a un conjunto de materiales relativamente homogéneo, formado por los fragmentos de la roca original, y de minerales neoformados durante el proceso (arcillas, carbonatos) (WIKIPEDIA 2019).

### **Bauxita**

Hidrato de aluminio, de color claro o levemente anaranjado o rojizo, en función al contenido de óxido de hierro. La bauxita es producto de la alteración química de las rocas que contienen feldespatos. Generalmente el proceso se realiza in-situ. La bauxita es un tipo de laterita blanca y es la mena de donde se extrae el aluminio (Dávila Burga 2011).

### **Saprolita**

Regolita que conserva la fábrica (textura y estructura) de la roca madre/parental o protolito (Lavaut 2017).

### **Saproca**

Roca madre/parental o protolito con meteorización moderada (10 - 25 %), manifestada en su decoloración parcial discontinua y alteración por grietas (Lavaut 2017).

### **Alteritas**

Se refiere a la saproca, saprolita o ambas rocas juntas, que conservan la fábrica del protolito (roca parental o madre) (Lavaut 2017).

### **Laterititas**

Se refiere a las rocas friables y otras litificadas de la meteorización que debido a su alto grado de degradación (más de 75 %) han perdido la fábrica del protolito (roca parental o madre) y que se corresponden por su composición con Lateritas (strictu sensu laterititas friables ferruginosas), Bauxita (strictu sensu laterititas friables alumínicas) y Duricretas (rocas líticas: ferricretas, alcretas, silcretas, magnesicretas, etc.) (Lavaut 2017).

### **Sialititas**

Se refiere a las rocas friables de la meteorización que debido a su alto grado de degradación (más de 75 %) han perdido la fábrica del protolito (roca parental o madre) y que se corresponden por su composición con rocas sialíticas (arcillas, arcillas arenosas/arenas arcillosas, arcillas humificadas, etc.)(Lavaut 2017).

### **Granodiorita**

Roca ígnea plutónica formada por plagioclasas sódicas – cálcica, feldespato potásico, hornblenda, biotita y cuarzo (Oyarzún, 2009).

## **ESTADO DEL ARTE**

### **1.1 Introducción**

En este capítulo se hace una descripción analítica y crítica de los trabajos realizados sobre la temática en el mundo y en Cuba oriental. Las cortezas de meteorización originadas a partir de rocas volcánicas, vulcanógeno-sedimentarias y gabros ocupan un área aproximada de 150 km<sup>2</sup> en los territorios de Frank País y Moa en el noreste de Cuba Oriental y sus espesores se comparan con los de las cortezas sobre rocas ultramáficas en la región.

### **1.2. Trabajos relacionados con la caracterización química y mineralógica de las cortezas de meteorización ferrosialíticas a nivel mundial.**

Se consultaron numerosos trabajos publicados a nivel mundial relacionados principalmente con la composición química y mineralógica de las cortezas ferrosialíticas, factores de la meteorización química, zonalidad geoquímica de los elementos químicos, clasificación, el balance de la meteorización y las posibles aplicaciones industriales en base a la composición química y mineralógica.

#### **1.2.1. África y Amazonía**

La profundidad de meteorización en África y la Amazonía alcanza valores de hasta 150 m, en dependencia de la edad de la laterita, la actividad tectónica regional, el clima, la historia climática y la naturaleza de las rocas madres (Freyssinet, 1998). Los factores climáticos importantes a nivel mundial que influyen en la formación de los perfiles de meteorización son las precipitaciones y la temperatura. Varios autores han planteado la importancia de los paleoclimas y los episodios de meteorización en el desarrollo de los regolitos y los paisajes en África occidental y la Amazonía (MacFarlane, 1976, 1983; Leprun, 1979; Tardy, 1993; Thomas, 1994). Tardy et al. (1993) distinguieron 4 tipos de formaciones lateríticas ricas en hierro y aluminio en base a la petrología y geoquímica: conakritas, ferricretas, bauxitas y latosoles.

#### **1.2.2. Europa y Asia**

La mayoría de los trabajos realizados en esta región están relacionados con el análisis mineralógico cualitativo y cuantitativo, clasificaciones y métodos

cuantitativos (Konta, 1960a, 1961c; Caillere y Henin, 1957; Melka, 1957b; Misik, 1959; Pospisil, 1959; Neuzil, 1961; Proks, 1961; Mackenzie, 1959, Alexander, 1977; Bardossy et al., 1980; Mollai y Tarshizian, 2009). En la mayoría de los territorios estudiados por estos autores las cortezas de meteorización están compuestas principalmente por la caolinita, hematita, caolinita-montmorillonita y en menor grado, bohemita.

### **1.2.3. El Caribe y el resto de las Américas**

Price y Velbel (2003) evaluaron las posibles aplicaciones de numerosos índices de meteorización calculados a partir de los análisis químicos de elementos mayores y los métodos isovolumétricos aplicados a los perfiles de meteorización heterogéneos y paleosuelos en Estados Unidos. Estos autores resaltaron la aplicabilidad de los métodos geoquímicos isovolumétricos como indicadores de la magnitud de meteorización en los perfiles de meteorización uniformes, aunque estos pierden utilidad en un perfil de meteorización heterogéneo. Sus resultados permiten evaluar diferentes índices de meteorización química para saprolitas no uniformes y/o paleosuelos. Otras investigaciones proponen diferentes formas de interpretar los análisis químicos y mineralógicos que permiten relacionar las composiciones químicas de las materias primas con su comportamiento cerámico (Bernal et al., 2003; Espitia et al., 2003; Duitama et al., 2004; Muñoz-Meneses et al., 2007).

### **1.2.4. Cuba**

Se han realizado investigaciones intensas en busca de bauxitas en Cuba (Brammlete, 1943; Nagy, 1976, 1983; Lavandero et al., 2009), pero estas no determinaron la presencia de algún depósito económicamente explotable. En conclusión, se señaló que no era posible encontrar grandes depósitos de bauxita. Sin embargo, no se evaluaron las posibilidades de encontrar las manifestaciones ricas en aluminio que podrían explotarse económicamente y tener importantes usos industriales.



#### **1.2.4.1. Occidental y Central**

Se ha caracterizado el depósito de bauxitas más importante en Cuba, “Sierra Azul – Pan de Guajaibón” en Pinar del Río desde diferentes puntos de vista geológicos (Teleguin y Pérez, 1976; Daniluk et al., 1987, 1988; Driga et al., 1989; Formell y Buguelskey, 1984; Hernández, 1989; Hernández y Hernández, 1985; MEKHANOB, 1981; Ortega y Mustelier, 1990). En Ciego de Ávila y Camagüey los cuerpos bauxíticos y alíticos se caracterizan por presentar contenidos altos de los elementos itrio, iterbio, lantano y escandio, algunos de los cuales pueden tener valores industriales significativos, sobre todo para la explotación conjunta con las bauxitas.

#### **1.2.4.2. Cuba Oriental.**

Muchos investigadores han trabajado en las cortezas de meteorización no ferroniquelíferas con el objetivo de encontrar y evaluar bauxitas (Buguelskey y Formell, 1974; Dudich, 1975, 1978; Guerasimov et al., 1976; Elmer, 1977; Formell et al., 1977; Buguelskey, 1979; Coutin et al., 1983; Korpas, 1988; Ponce et al., 1985; Orozco, 1995; Pons y Leyva, 1996; Fonseca et al., 2004). Además, se realizaron varios trabajos de diploma relacionadas con la evaluación de las perspectivas bauxíticas y las cortezas de meteorización no ferroniquelíferas en los diferentes sectores de las Provincias Holguín y Guantánamo entre 1980 y 2010 (González y Bárcas, 1981; Cobas y Vargas, 1982; De Dios y Cueto, 1982; Moreno y 12 Pérez, 1982; Pino y Rosales, 1982; García, 1985; González, 1991; Betancourt, 1992; Oliva, 1992; Fadel, 2005; Cámara, 2007; Perdomo, 2008; Cisnero, 2010).

El objetivo era encontrar las bauxitas pero tampoco se pudo confirmar la existencia de bauxitas sensu strictus. De igual manera, no se realizaron evaluaciones de las perspectivas industriales de materiales ricos en alúmina existentes en esta región. Estudios más recientes (Fadel, 2005; Cámara, 2007; Perdomo, 2008; Lavandero, 2009; Njila et al., 2010) en Cuba Oriental fundamentan la importancia de continuar las investigaciones en dichas cortezas desarrolladas sobre litologías no ultrabásicas (Ej. rocas gabroides, vulcanitas y

metavulcanitas del arco del Cretácico, rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias distales del arco del Paleógeno).

### **1.2.5 Los problemas actuales de la terminología, clasificación y métodos cuantitativos**

Las diferentes interpretaciones del término lateritas hace difícil llegar a un consenso sobre su uso debido a las contradicciones existentes en relación con los diferentes aspectos de las lateritas y las definiciones adoptadas. Todavía no se ha superado totalmente estas diferencias, aunque en las últimas décadas muchos estudios contribuyeron a una comprensión mejor del empleo de este término.

Las clasificaciones por criterios geoquímicos y mineralógicos conducen a una zonalidad que no coincide con los límites de la zonalidad litológica natural visualmente observable en el terreno. Esta tiene que ser determinada, no visualmente, sino en base a investigaciones analíticas complejas realizadas a escala de laboratorio (Lavaut, 2003). Sin embargo, permiten aclarar con un grado mayor de certeza los tipos de perfiles presentes en base a su génesis, composición 13 mineralogía y química (Njila et al., 2010).

### **1.3 Importancia económica de cortezas alumínicas en Cuba y el mundo, perspectivas y problemas actuales.**

Actualmente, existen diferentes métodos para producir alúmina partir de bauxitas de baja ley. Esto se debe a que en la medida que se agoten los depósitos con altos contenidos de alúmina aumentan la demanda y los precios en el mercado mundial se elevan, aumenta la necesidad de la explotar depósitos alíticos y bauxitas de baja ley.

#### **Antecedentes y estado actual de la temática tratada.**

De forma general, los principales resultados de las investigaciones realizadas hasta el momento, han estado dirigidas a la caracterización desde el punto de vista geológico, físico, químico y mineralógico, de los regolitos gábricos, con el objetivo de lograr un mayor aprovechamiento de estas materias primas. El desarrollo de tecnologías para la recuperación u obtención de determinados elementos presentes en los minerales.

Una síntesis de los principales resultados de estas líneas de investigación se muestra a continuación:

- (FADEL 2005) Evaluaron preliminarmente y caracterizaron las manifestaciones de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 55p.
- (González y Barcaz 1981) Evaluaron las perspectivas de la bauxíticas en Cuba: Las cortezas de intemperismo en el Quemado del Negro. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 79p.
- (Gutiérrez 1982) Realizaron estudios geológicos y petrográficos a los gabros del Quemado del Negro. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 87p.
- (Orozco 1995). Caracterizaron las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.
- (Pereira-Ginga 2006) Realizaron estudios Petrologicos y geoquímicos de los niveles de gabros en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba Oriental): Zonas de Quemado del Negro, Cayo Grande, Mercedita y Miraflores. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Tesis Doctoral). 134p.
- (PONS et al. 1997) Caracterizaron las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam y su empleo en la fundición.
- (Proenza et al. 2018) Evaluaron los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zona de suprasubducción. Minería y Geología, 2018 - revista.ismm.edu.cu

Sobre las regolitas gabricas en el área de estudio existe poca documentación que trate sobre ellas, A pesar de esto se realizaron algunos estudios en el área vinculada a las lateritas de Moa, donde está el trabajo de (Almaguer-Furnaguera y Zamarzry 1993), el cual se le dará a conocer a continuación.

(Almaguer-Furnaguera y Zamarzry 1993) realizaron un estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas, consideraron que:

1. El tamaño de los granos juega un papel controlador en la mineralogía, la cual está en dependencia del tipo de zona litólogo-geoquímica.
2. Las partículas finas, lamas, son importantes en cuanto a reservas volumétricas de Níquel y cobalto.
3. El beneficio granulométrico en el tratamiento tecnológico de las menas con la obtención de tamaños de granos apropiados para diferentes fines, trae aparejado ventajas económicas a la industria y al aprovechamiento integral de las lateritas.

Coinciden, además con otros autores en que el hierro se encuentra en mayor medida en las fracciones más gruesas y en las más finas, donde las principales fases portadoras, la hematita y las gibbsita.

Investigadores del territorio (Orozco, 1995; Leyva, 1996) determinaron el origen geológico de las arcillas en Moa, el cual está dado por la existencia de manifestaciones de arcillas caoliníticas, de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones.

La composición de las arcillas del sector de Cayo Guam presenta en mayores cantidades de óxido de silicio, óxido de aluminio, y óxido de hierro y en menores cantidades óxidos de calcio, sodio, magnesio y potasio. La composición promedio de las muestras de arcillas estudiadas se corresponde con los resultados obtenidos por investigadores como Orozco, 1995 y Njila, 2011, los cuales obtuvieron composiciones similares (Rodríguez, 2013).

## **CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO.**

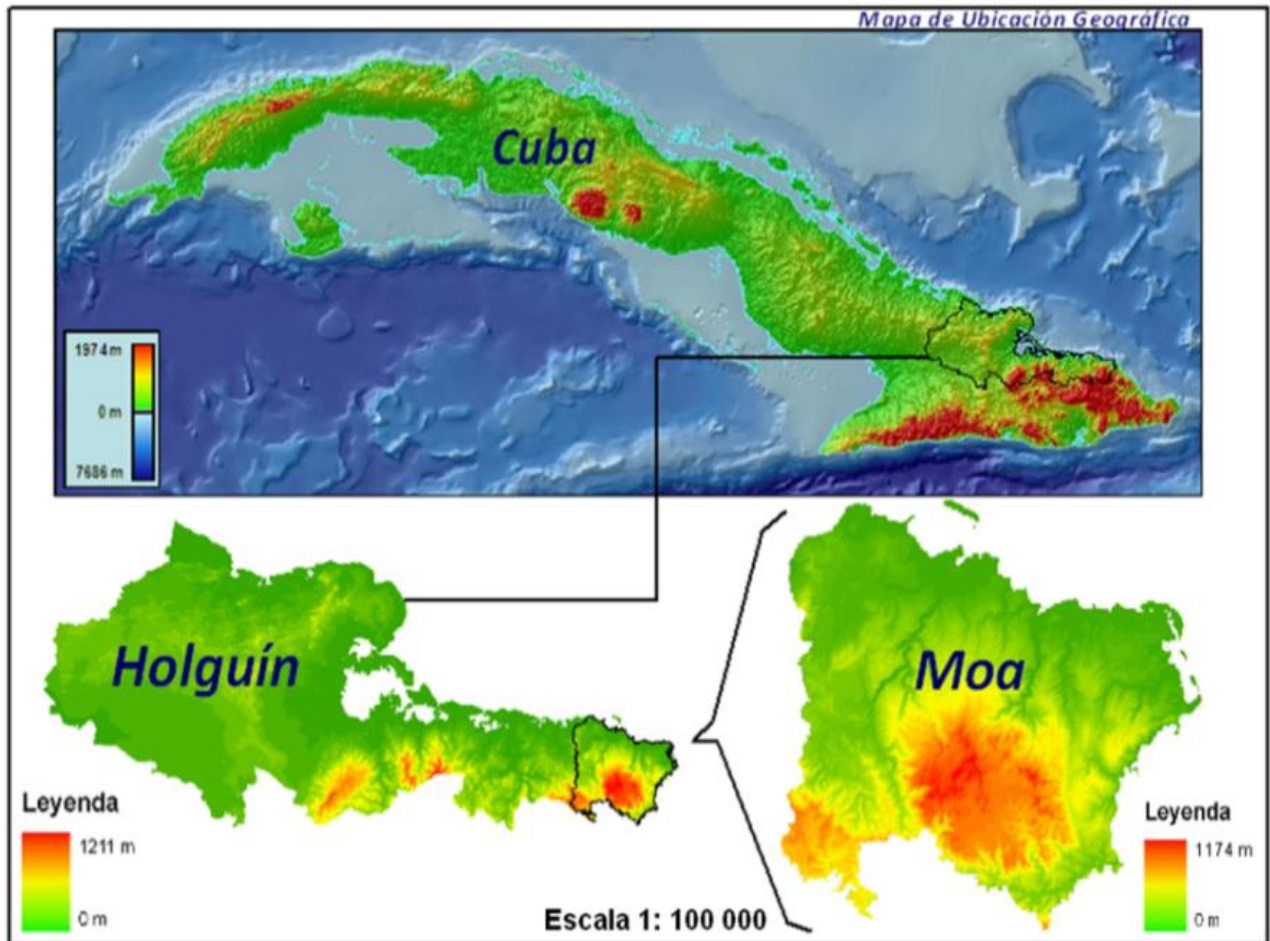
### **1.1. Introducción**

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, geográficos, hidrogeológicos, geológicos y climáticos de la región de estudio así como las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del sector estudiado.

### **1.2. Características físico geográficas del área de estudio**

#### **1.2.1. Ubicación geográfica**

El área de estudio está ubicada en Moa definido por las coordenadas siguientes: 20°38'23"N 74°55'03"O, el cual se ubica al noreste de la provincia de Holguín, Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; al Sur con el municipio de Yateras, cuya frontera la establece el origen del río Toa; al Oeste con los municipios Frank País y Sagua de Tánamo; y al Norte con el Océano Atlántico. El municipio posee una franja costera de unos 40 Km, que se extiende desde Playa La Vaca hasta la desembocadura del río Jiguaní. Próximos a la costa se encuentran Cayo Moa Grande, Cayo Chiquito y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey. La Región en estudio tiene un área de 732,18 Km<sup>2</sup>, forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica (Viltres, 2010).

### **1.2.2. Desarrollo económico de la región**

La base económica fundamental de la región de Moa depende de la minería y la metalúrgica. Económicamente está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Empresa Comandante Ernesto "Che" Guevara y la Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níquel SA, con capacidades de diseño original de 30000 y 24000 t de concentrado de Ni+Co al año respectivamente. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la empresa Mecánica del Níquel "Comandante Gustavo Machín", centro de proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), el municipio cuenta además con un puerto y un

aeropuerto, además existen otros centros industriales de menor tamaño, así como otros en construcción, vinculados a la actividad económica del territorio.

### **1.2.3. Relieve**

La región de estudio tiene un relieve predominantemente montañoso hacia la parte sur (grupo montañoso Sagua-Baracoa) debido a la presencia de la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional.

### **1.2.4. Suelos.**

Existe variedad de suelos como un producto del clima, típicamente tropical, la vegetación y la morfología. En las zonas costeras bajas aparecen ciénagas con un terreno de color carmelita grisáceo, muy arcilloso y con un alto contenido de material orgánico. En las riberas de los ríos aparecen suelos aluviales con diferentes granulometrías y color. En el territorio predominan los suelos aluviales formados por la meteorización de las rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabroides. Estos suelos pueden alcanzar potencias considerables de hasta más de 50 m en bolsones situados en zonas tectónicas, aunque sus valores promedios de potencia son del orden de las primeras decenas de metros.

En sentido general las cortezas más potentes se desarrollan en las partes inferiores de las laderas con pendientes suaves y aplanadas en forma de mesetas. En las zonas más elevadas, los suelos son pardos, rojos y amarillentos. Estos no fueron sometidos a un proceso de sumersión lo que puede probarse porque muchas plantas primitivas se conservan y han evolucionado, adaptándose a estos terrenos.

La composición química de estos terrenos, ricos en minerales pesados, los hacen poco fértiles, lo cual incide en el escaso desarrollo agrícola de la región. El drenaje superficial y subterráneo en estos suelos son buenos y en ocasiones excesivos, lo que unido a sus características físico – mecánicas, las intensas precipitaciones y el tectonismo del terreno da lugar a una fuerte erosión laminar y en cárcavas.



#### **1.2.5. Clima**

El clima es tropical con abundantes lluvias, está en estrecha relación con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad. Según los datos aportados por la estación hidrometeorológica El Sitio y los datos tomados del pluviómetro Vista Alegre, desde 1995 hasta el presente, la temperatura media anual ha oscilado entre 22.6°C – 30.5°C, donde los meses más calurosos los de julio a septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales es de 1231.3 – 5212 mm, donde los meses más lluviosos los de noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual entre 1880 – 7134 mm.

#### **1.2.6. Vegetación**

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas se presentan matorrales espinosos típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas (charrasco). Sobre los gabros y depósitos aluviales, pueden aparecer algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. Las zonas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica donde se destacan los manglares.

#### **1.2.7. Hidrografía.**

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año, conjugado con las características del relieve y el clima favorece la existencia de una densa red hidrográfica bien desarrollada y de tipo dendrítico que corre de sur a norte representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se encuentran los ríos: Punta Gorda, Cayo Guam, Yagrumaje, Moa, Aserrío, Cabaña, Los Lirios, y otros. Estos ríos y arroyos sobrepasan los 1,5 m/seg y los gastos son variables, y oscilan con valores entre 100 – 300 l/seg. El nivel de los ríos varía en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca (junio – octubre) y los más elevados de noviembre a mayo.



### **1.3 Características geológicas.**

#### **1.3.1 Geología regional.**

La geología de la región se caracteriza por una marcada complejidad, condicionada por un variado mosaico de litologías y diversos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios geológicos regionales y locales. Las cortezas de meteorización estudiadas están estrechamente relacionadas con diferentes formaciones geológicas.

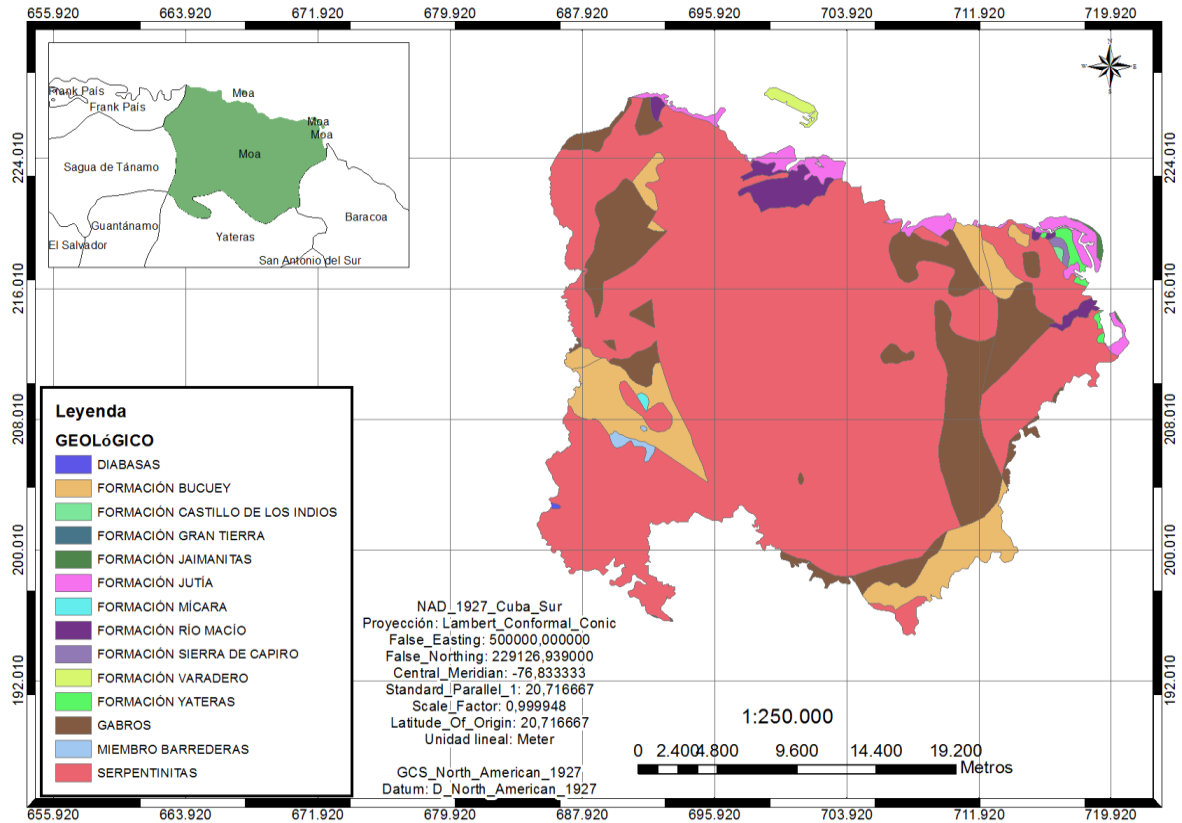
Geológicamente el territorio de Moa se caracteriza por su gran complejidad, debido a la superposición de eventos con edades y estilos diferentes, que directa o indirectamente intervienen en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferroniquelíferos; y dan origen al cinturón plegado, representado por la corteza oceánica del arco volcánico cretácico, las cuencas superpuestas de primera y segunda generación y los sedimentos noeplatafórmicos. La roca madre ultrabásica contiene piroxenos serpentinizados, peridotitas y dunitas del cretácico superior, las cuales han sufrido intemperización por diversas causas. Las lateritas ricas en níquel y cobalto están presentes en la superficie en varias de las áreas montañosas hacia el sur, algunas en explotación actualmente.

De acuerdo con los informes geológicos elaborados en los últimos tiempos, en la región se localizan los siguientes tipos de suelos:

1. Sedimentos de ríos que han sido depositados sobre la llanura costera y los sedimentos marinos, en la base o pie de las montañas, donde forma una red complicada de sedimentos del periodo cuaternario.
2. Arenas gruesas en forma de vetas de origen coluvial.
3. Acumulaciones superficiales generalmente caracterizadas por arcillas y cienos depositados en un ambiente litoral o costero de pantanos con manglares.
4. Arcillas marinas y cienos con moderados a altos contenidos de arcillas orgánicas.

La estructura geológica del archipiélago cubano es extraordinariamente compleja y tiene características de faja móvil de carácter lineal. El rasgo principal de la constitución geológica de Cuba es la presencia de Asociaciones Estructuro-Formacionales (AEF), que se distinguen por su estructura, composición facial e historia de su desarrollo que permite considerarlos como originados en diferentes condiciones paleotectónicas, lo cual constituye una nueva concepción acerca de la zonación estructural en Cuba.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos transcurridos en un tiempo geológico dado, lo cual justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas. Estas se describen según la información del esquema geológico del área de estudio, escala original 1:250 000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001.

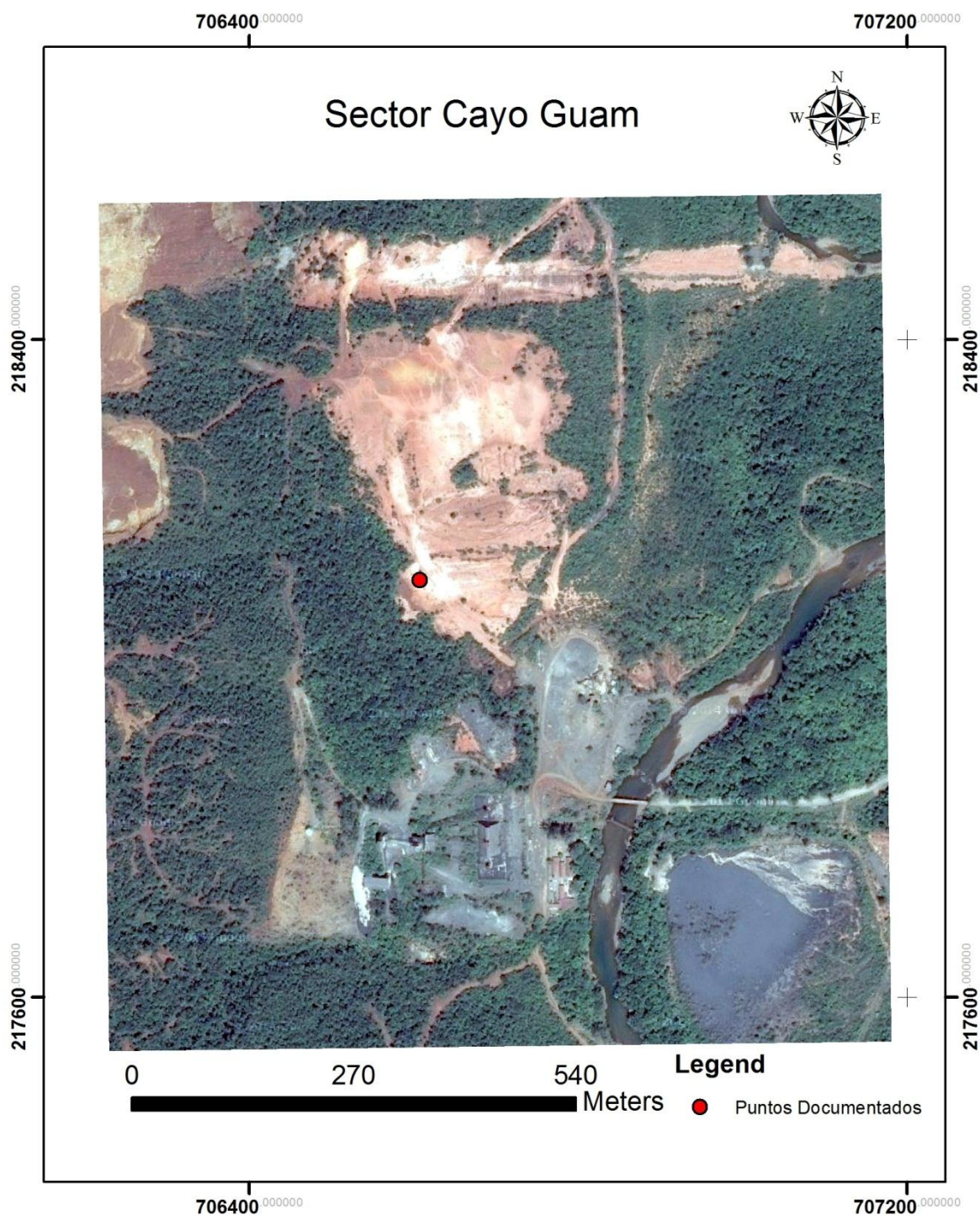


**Figura 2.** Esquema geológico del municipio Moa. Modificado de IGP 2001.

Escala 1: 250 000.

### 1.3.1.1 Características geológicas del área de Cayo Guam.

El depósito tiene grandes taludes donde se pueden diferenciar sectores con variedad de tonalidades, estas pueden ser blanco- amarillentas, amarillo- pardo y otras, donde las rocas del basamento a partir de las que se originaron las potentes cortezas de intemperismo están representadas por cúmulos máficos y en menor grado cúmulos ultramáficos. Posee una potencia promedio de 10 m. Se encuentra ubicado en las coordenadas siguientes: N 20.60515, E -74.85121 donde se puede observar en la figura que se encuentra a continuación.



**Figura 3.** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio de Cayo Guam.

(Tomado y modificado del Google)

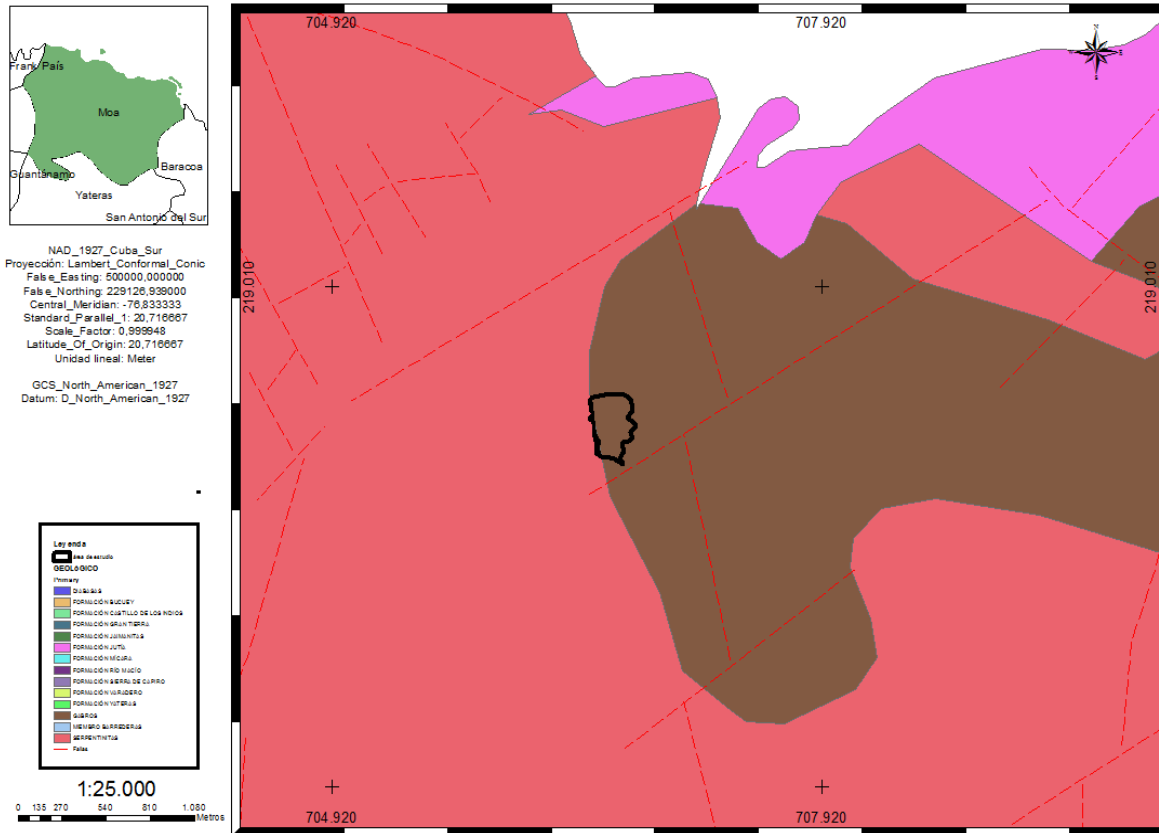
Es un yacimiento desarrollado sobre gabros (corteza sobre gabros). Se considera un yacimiento "residual" que es el tipo genético de las lateritas niquelíferas que están a su alrededor, diferenciados por la roca madre. En la base del depósito afloran gabros muy intemperizados alterados a un material de color blanco y aspecto terroso-arcillosos, muy deleznable y con alta plasticidad.

Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales similares a los de la base del corte donde forma una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso, a partir de análisis químicos se ha demostrado un incremento en el contenido de hierro y que durante el proceso de alteración hubo un aumento considerable de alúmina y la consecuente migración del Fe, Ca y Mg para la formación de la caolinita como mineral residual la cual tuvo su origen en la meteorización de cuerpos de gabros donde forma potentes capas que constituyen depósitos de gran extensión (Orozco, 1995).

Presenta relieve variado, vegetación no muy predominante, pero se manifiestan charrascales e hicacos. En los alrededores se encuentran algunas cañadas que son más abundantes en tiempo de lluvia, éstas a su vez desembocan en el río Cayo Guam.

#### **Posición en el corte de las muestras en el sector de Cayo Guam.**

Encontramos a las muestras OMoab-6 ubicada en la laterita tipo nodular, OMoab-5 en la sialitita aluminosa no nodular, la muestra OMoab-4 en la sialitita aluminica no nodular, OMoab-3 en la saprolita fina aluminica, OMoab-2 en la saprolita gruesa aluminosa ,OMoab-1 en el gabro y OMoab-8 en la bauxita arcillosa (alcreta).

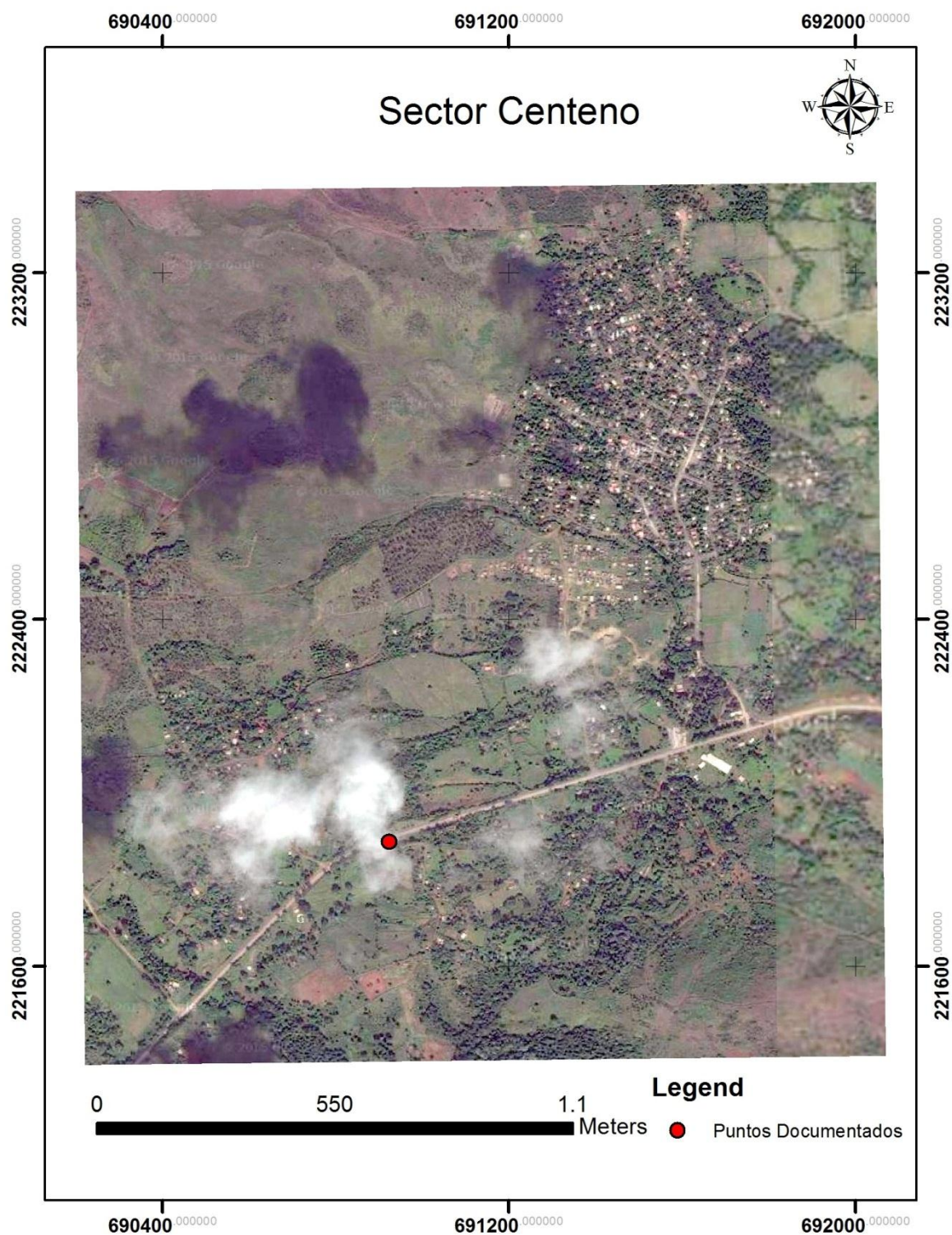


**Figura 4.** Esquema geológico de Cayo Guam (Adaptado del esquema geológico del Municipio Moa. Modificado por el IGP 2001 a escala 1: 250 000).

### 1.3.1.2 Características geológicas del área de Centeno.

Presenta relieve ondulado, con escasas vegetación, aflorando en los cortes naturales y en los interiores una arcilla plástica con algunos fragmentos de roca, el resto aparece cubierto por la capa vegetal. El área de estudio de Centeno se encuentra ubicada por las coordenadas N 20.64096, E -75.00125, como se puede observar a continuación.





**Figura 5.** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio de Centeno.

(Tomado y modificado del Google)

Presenta relieve ondulado, con escasas vegetación, aflorando en los cortes naturales y en los interiores una arcilla plástica con algunos fragmentos de roca, el resto aparece cubierto por la capa vegetal. Se caracteriza por presentar una red hidrográfica bien distribuida estando próximo a la zona de los trabajos el Río Centeno. Localizándose una arcilla plástica de colores rojos a rojos abigarrados, producto de la alteración de los gabros presentes en la zona, presentando una constitución geológica simple. En la región donde se localiza este sector se encuentran las siguientes formaciones geológicas:

Fm. Río Macío (Qh): Representada por depósitos carbonatados, cantos Rodados, gravas, arenas y aleurolitas, con un espesor de 1.0 m a 2.0 m.

Fm. Mícara ( $K_2^{cp-m}$ ): Representada por areniscas y aleurolitas con intercalaciones de conglomerados y calizas dolomitizadas, con un espesor de 400 m.

Fm. Bucuey (Ver Fm. Santo Domingo) ( $K_1^2$ ): Tobas basálticas, andesitas y calizas pizarrosas, con un espesor de 1200 m.

También están presentes los cuerpos de gabros y ultramafitas serpentinizadas donde se localiza la zona de trabajo. En este Sector encontramos una arcilla muy plástica pardo rojiza, con muy bajo contenido de grava y arenas y un contenido de carbonato de 0.1 % a 1.3 % y un espesor promedio de 4.53 m.

Como cubierta presenta una capa vegetal de color rojo grisáceo a pardo oscura compuesta por arcilla y como subyacente se observan rocas fragmentadas y alteradas de color gris a gris oscuro, que se presenta en forma de grava de granos entre 1.0 a 3.0 cm de color gris parduzco, con un espesor de 0.22 m y 0.99 m respectivamente.

Son cuerpos de gabros afectados por los procesos tectónicos, estos procesos han ocasionado la fragmentación y fracturación de estos cuerpos, facilitando la influencia de los agentes del intemperismo, alterando la roca original y dando lugar a la formación de estas regolitas.

En la génesis del yacimiento encontramos que los cuerpos de gabros expuestos a los agentes del intemperismo, los cuales han propiciado las alteraciones de estos



cuerpos dando origen a la formación de estas regolitas con bajo contenido de carbonato.

En el área encontramos material compuesto por arcilla aluvial de mediana plasticidad, producto de la erosión fluvial. La constitución geológica del yacimiento es simple, tiene una yacencia suave, con una composición litológica homogénea y no se encuentra afectada por eventos tectónicos.

El yacimiento tiene una constitución geológica simple, la forma del cuerpo mineral es poco variable, no existen intercalaciones considerables de material estéril y la potencia del material es útil no varía considerablemente.

### **Posición en el corte de las muestras en el sector de Centeno.**

Encontramos en la muestra OMoaa-7 ubicada en la laterita típica nodular, la muestra OMoaa-6 en la sialitita ferroaluminica nodular, en la muestra OMoaa-5 en la sialitita aluminica no nodular, en OMoaa-4 en la saprolita fina aluminica, la muestra OMoaa-3 la encontramos en la saprolita fina aluminica y la muestra OMoaa-1 en la saproca.

### **1.3.2. Geomorfología.**

El relieve de la región minera de Moa, enclavada dentro del contexto de Cuba Oriental, al igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geológica estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, (Rodríguez 1998) a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

Se distinguen en la región muchas morfoestructuras originadas por los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico, continuaron hasta el Paleógeno, a consecuencia de los cuales se formó el sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que son parcialmente enmascaradas por una vigorosa reestructuración neotectónica.

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados.

Rodríguez (1998) en su estudio morfotectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con las características generales siguientes:

**Zona de Llanuras:** Se desarrolla en toda la parte norte del área donde ocupa la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100 -110 m de altura hacia el sur, originadas por la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos entre los que predominan los fluviales y marinos. Entre los tipos de llanuras se encuentran las fluviales, marinas y parálicas.

Las llanuras acumulativas marinas se ubican entre la barrera coralina y el litoral y se caracterizan por una pobre actividad erosiva. Los sedimentos que se acumulan provienen de las cortezas lateríticas y la barrera arrecifal.

Las llanuras fluviales se clasifican en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso que predomine en su morfogénesis, donde ocupa estas últimas una posición hipsométrica superior. Los sedimentos que se acumulan en estas zonas se caracterizan por su carácter temporal y su composición limonítica.

Asociada genéticamente y espacialmente con las llanuras fluviales y marinas y en la zona de intersección entre ambas aparecen llanuras acumulativas palustres parálicas donde predominan procesos acumulativos típicos de zonas pantanosas de color oscuro y olor fétido, anegadas en agua, donde el mangle la vegetación predominante.

**Zona de Montañas:** Es la zona geomorfológica más extendida dentro del área de las investigaciones, donde ocupa toda la parte sur y central. Los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características litológicas y del agrietamiento de

las rocas sobre las cuales se desarrolla así como del nivel hipsométrico que ocupan. Donde se tiene en cuenta esos parámetros el relieve de montaña fue clasificado en cuatro subtipos: premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas, montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas y montañas bajas diseccionadas.

En la formación de los yacimientos lateríticos los relieves de montañas bajas y premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas constituyen las principales formas de relieve, ya que sobre éstas se desarrollan los yacimientos de corteza más perspectivas donde se tiene en cuenta que las superficies aplanadas favorecen la acumulación y conservación del eluvio, mientras que las alturas favorecen la circulación rápida de las aguas subterráneas, y agiliza el proceso meteórico.

En estrecha relación con estas zonas, aparecen en la región un conjunto de formas menores, que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional: las formas cársicas y barrancos como elementos naturales; y las áreas minadas y presas de cola como elementos antropogénicos.

A manera de resumen, existen varios factores que inciden en la complejidad geológica de los yacimientos lateríticos que en la región se desarrollan desde el intenso agrietamiento de las rocas del substrato hasta los desplazamientos verticales, oscilatorios, la separación en bloques del territorio y el sistema de escamas tectónicas que lo caracterizan, complejidad que debe tenerse en cuenta en el diseño de las redes de exploración.

#### **1.3.4. Tectónica.**

En los estudios tectónicos del territorio se han reconocido tres sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico. La descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman se realiza a continuación según un orden cronológico desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más

joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas (Rodríguez, 1998) (Figura 6).

El sistema más antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y la margen pasiva de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites internos de los complejos máficos y ultramáficos y de estos con las secuencias más antiguas. Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur. Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes así como potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas, lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, donde se puede notar su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio.

El segundo sistema cronológico está constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos, haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está

constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados. Las estructuras de este sistema se considera han sido originadas como resultado de los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, donde existe una transición de las condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal.

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación:

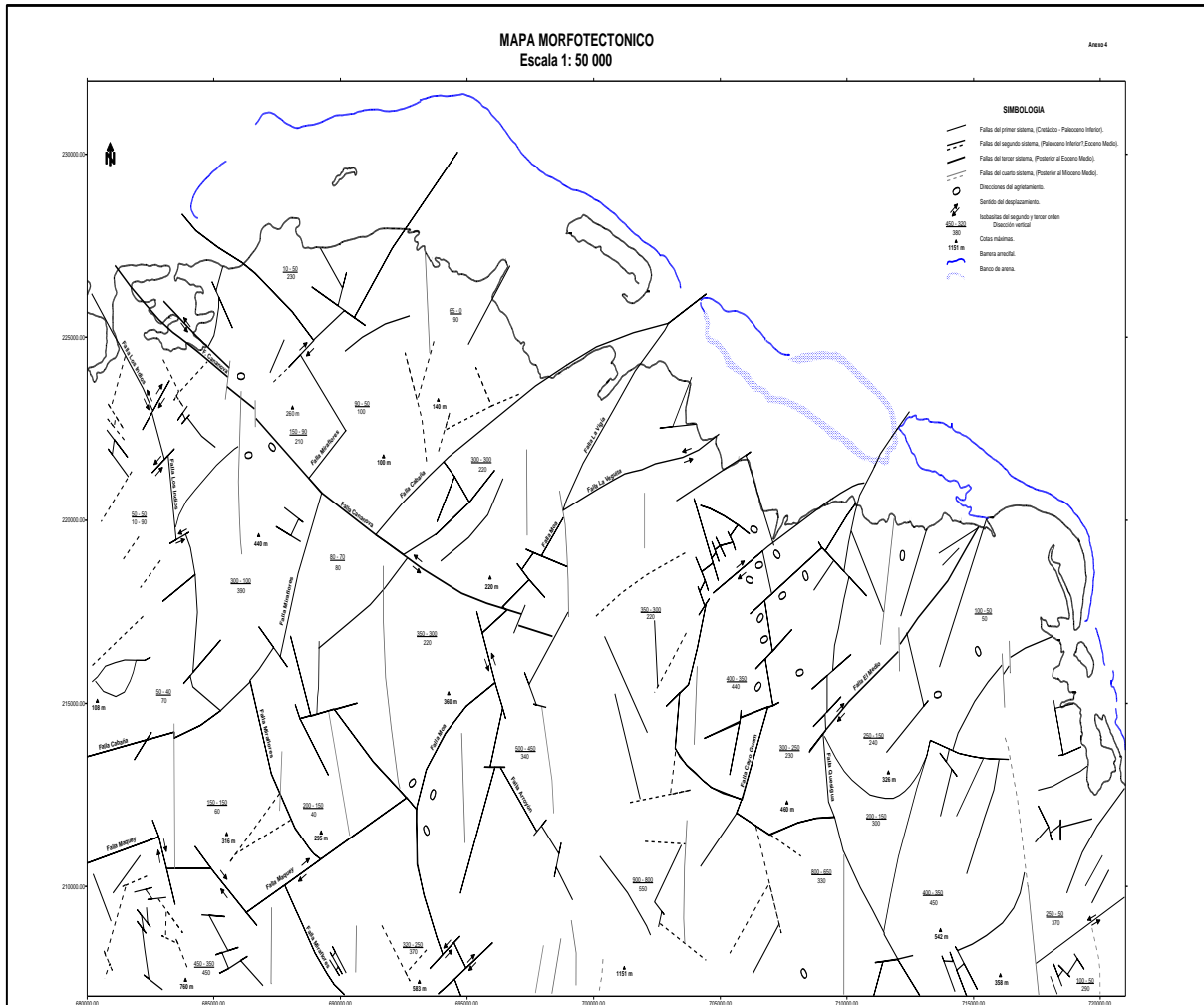
Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, donde se tiene en su parte septentrional, su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní.

Los criterios para su identificación se relacionan a continuación:

1. Alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas de hasta dos kilómetros.
2. Valores hipsométricos y morfométricos diferentes a ambos lados del plano de falla.
3. Desplazamientos de zonas pantanosas parálidas.
4. Intenso cizallamiento en la zona de falla.
5. Variación de dirección del agrietamiento entre los bloques resultantes de la falla, como se puede observar en dos puntos situados al sudeste de Quemado del Negro, uno ubicado en el bloque occidental con coordenadas Lambert X: 709 250 y Y: 218 200, que muestra un rumbo de agrietamiento N74°E y el punto de coordenadas X: 710 750 y Y: 217 400, con rumbo N29°W, separados entre sí 1,7 Km. y equidistantes al plano de falla.
6. Desplazamiento del contacto entre los gabros y las serpentinitas.

Los criterios para su identificación fueron:

- a) Presencia de espejos y estrías de fricción muy dislocados, haciéndose imposible medir sus elementos de yacencia.
- b) Alineación de cursos fluviales, como por ejemplo el arroyo El Medio con afluentes del arroyo Semillero y del río Quesigua.



**Figura 6.** Mapa morfotectónico del territorio de Moa. (Rodríguez, 1998). Escala 1: 50 000

### 1.3.5. Estratigrafía.

En 1989, se realizó la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro - formacionales, de las cuales cuatro se encuentran representadas en el área de investigación. Él se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio.

**La formación Santo Domingo**, única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas y aglomerados, donde aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, donde aparece la parte superior preferentemente donde comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclástica. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano – Cretácico Superior (Turohiano)

**La formación Cabacú:** Litología diagnóstica: Gravelitas areniscas y limonitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas), de cemento débilmente arcilloso- calcáreo y lentes ocasionales de margas arcillosas en la parte inferior estratificación es lenticular y a veces cruzada. Colores grisáceos, verdosos, negruzcos y blancuzcos abigarrados. Yace discordantemente sobre la formación Sabaneta. Edad: Oligoceno Superior- Mioceno Inferior, parte baja. No tiene incidencia en el vial.

**La formación Yateras:** alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclina*. La coloración por lo general es blanca, crema o rosácea, menos frecuente carmelitosa. Edad: Oligoceno Inferior - Mioceno Inferior parte baja. No tiene incidencia en el vial.

### **1.3.6 Magmatismo**

El magmatismo en la región está ampliamente desarrollado, donde las rocas ultrabásicas el máximo exponente donde predomina las harzburgitas y de forma subordinada las dunitas, iherzolitas y piroxenitas con diferentes intensidades de serpentinización todas ellas en su conjunto constituyen un enorme manto tectónico, generalmente en las proximidades de los contactos de las serpentinas con la roca subyacente aparecen bloques exóticos de metamorfitas.

Dentro del macizo ultramáfico, donde se constituye grandes bloques tectónicos, se encuentran incluidos bloques de gabros normales, olivínicos y gabro diabasas que en ocasiones aparecen anfibolitizados.

Con frecuencia se puede encontrar una amplia gama de rocas magmáticas en las secuencias vulcanógenas-sedimentarias del Paleoceno al Eoceno Medio, donde predominan las rocas piroclásticas.

En general, podemos plantear que las rocas magmáticas de la región aparecen en dos grandes grupos. El primero lo constituyen las rocas que conforman la asociación ofiolítica y el segundo, las rocas pertenecientes al arco insular volcánico del Cretácico, representado por la Formación Santo Domingo.



## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Introducción**

El desarrollo y el éxito de toda investigación están basados en la fiabilidad de los resultados, herramienta fundamental para su validación. La adecuada selección de los métodos y materiales merece una especial atención. De ahí que el objetivo de este capítulo sea describir los principales materiales a utilizar y los métodos empleados para la realización del trabajo.

### **2.1 Materiales**

Para la realización de este trabajo las muestras de arcilla fueron tomadas de los regolitos relacionados con los cuerpos de gabro en los sectores de Cayo Guam y Centeno donde se pueden diferenciar sectores con variedad de tonalidades desde blanco- amarillentas, amarillo- pardo, rosada-roja entre otras tonalidades.

### **2.2. Metodología de la Investigación**

En el presente capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante la caracterización geoquímica de los regolitos de gabro en los sectores de Cayo Guam y Centeno. La investigación desarrollada contempló una metodología basada en 4 etapas de investigación, las que se sintetizan en una etapa preliminar, trabajos de campo, preparación y ensayos además de los trabajos de gabinete, las cuales son esquematizadas a continuación.



**Figura 7.** Flujograma ilustrativo de las etapas fundamentales de la investigación.

Esta metodología consta de varias etapas que contribuyeron de forma exitosa a la realización de este trabajo, entre las que se encuentran las siguientes:

- Etapa I: Preliminar.
- Etapa II: Trabajos de campo.
- Etapa III: Preparación de las muestras.
- Etapa IV: Trabajo de gabinete.

Para dar cumplimiento a estas cuatro etapas se trazaron diferentes objetivos en cada una de ellas.

### **2.2.1 Preliminar**

Durante esta etapa se recopiló información en trabajos de diploma que abordan el tema, artículos publicados en Internet u otros sitios Web de interés, revistas publicadas, en referencias bibliográficas, etc. Donde se incluyen las características geológicas del área en estudio. Todas estas informaciones permiten un buen desarrollo del trabajo.

### **2.2.2 Trabajos de campo**

El desarrollo del trabajo de campo se dirigió fundamentalmente a obtener el mayor volumen de información sobre los materiales arcillosos de las zonas de Cayo Guam y Centeno que en este caso son los materiales que se estudia y analiza. Además se realizó un recorrido por el área donde se encuentran estos materiales, de esta manera se ha seleccionado el sitio más favorable para la toma de muestras.

#### **2.2.2.1 Toma de muestras**

##### **Toma y selección de la muestra de arcilla**

Con la ayuda de una piqueta o martillo de geólogo se tomaron muestras de surco en taludes artificiales de corte de camino en Centeno y cantera en Cayo Guam, con longitud acorde al espesor de la capa litológica con ancho de 10 cm y profundidad de 5 cm, para un peso inicial de 3 kg; se envasaron directamente en el campo bolsas de nylon.

#### **2.2.3 Preparación de las muestras**

Las muestras fueron secadas en una estufa eléctrica a 110 grados centígrados y pulverizados en molinos de discos hasta 150 mallas, donde se reduce por cuarteos sucesivos el peso de la muestra hasta 200 gramos con un duplicado de igual peso que se conserva. Las muestras ya pulverizadas fueron envasadas en cartuchitos de papel resistente, donde numeradas indeleblemente en la superficie externa de los mismos.

#### **2.2.4 Trabajos de gabinete**

Se realizaron las interpretaciones necesarias de los resultados obtenidos el cual ayuda a la confección de diferentes tablas y gráficas que muestren con mayor claridad los resultados correspondientes a los trabajos de laboratorio ejecutados con las diferentes muestras. Para el desarrollo de esta etapa investigativa, o sea para las interpretaciones.

### **2.3 Equipos y métodos empleados en la investigación**

Durante toda la etapa de la investigación se utilizaron diferentes equipos para obtener un mejor resultado de las mismas. Los equipos que se utilizaron se mostraran a continuación:

#### **2.3.1 Estufa eléctrica**

El horno de laboratorio es un tipo de horno comúnmente usado para deshidratar reactivos de laboratorio o secar instrumentos. El horno aumenta su temperatura gradualmente conforme pase el tiempo así como también sea su programación, cuando la temperatura sea la óptima y se estabilice, el térmico mantendrá la temperatura; si esta desciende volverá a activar las resistencias para obtener la temperatura programada; posee un tablero de control que muestra el punto de regulación y la temperatura real dentro del horno, está montada al frente para su fácil lectura, aunque algunos modelos anteriores no lo tienen, estos cuentan con una perilla graduada la cual regula temperatura del horno.

### **Secado de sólidos**

Las muestras sólidas que son estables térmicamente y húmedas de agua se pueden secar en una estufa eléctrica con regulador de temperatura. Una vez pulverizadas finamente se colocan en un vidrio de reloj y se calientan a 105°C, a menos que la composición especial de la muestra lo impida, hasta obtener peso constante. Generalmente se necesita un mínimo de dos horas para secar una muestra de 5 a 10 g.

Si la sustancia que se quiere secar es inestable respecto a la temperatura, se utilizan los desecadores de vacío con un agente deshidratante o las estufas de vacío, que permiten trabajar a baja temperatura. La sustancia, sobre un vidrio de reloj y tapada con un film agujereado, se coloca en el desecador que contiene el *agente deshidratante* y se hace el vacío. La operación, que finaliza cuando el peso de la sustancia se mantiene constante, suele durar bastante tiempo.

Los desecantes más habituales utilizados en los desecadores son el pentóxido de fósforo, el cloruro de calcio granulado, el ácido sulfúrico concentrado y la gel de sílice. Restos de disolventes como el éter dietílico, el cloroformo, el tetracloruro de carbono, el benceno, el tolueno, etc.

Si el sólido contiene trazas de una mezcla, lo mejor es colocar en el desecador diferentes recipientes con los desecantes adecuados. Por ejemplo, si una muestra está húmeda y contiene ácido clorhídrico, en el desecador se tendrán que poner dos recipientes: uno con gel de sílice (para eliminar el agua) y otro con KOH (para el HCl).



**Figura 8.** Estufa eléctrica con regulador de temperatura.

### **2.3.2 Molinos de disco hasta 150 malla.**

El molino de discos DM 200 no sólo puede usarse en laboratorios y plantas piloto bajo condiciones duras de operación, sino también instalado en plantas industriales en línea para asegurar la calidad de materias primas. Este potente aparato necesita sólo unos pocos minutos para alcanzar la granulometría final requerida.

#### **Ejemplos de aplicación**

cascode, porcelana eléctrica, bauxita, carbón, cerámicas dentales, cerámicas sinterizadas, chamota, clínker, coque, creta, cuarzo, escorias, esteatita, ferroaleación, granito, hidroxiapatita, hormigón, lodo de depuradora, menas, muestras de suelo secas, núcleos de perforación, suelos, vidrio, yeso, ... continuar a la base de datos de aplicaciones

#### **Ventajas**

- Alto grado de trituración
- Ajuste preciso de la abertura de salida que garantiza resultados reproducibles
- Fácil acceso a la cámara de molienda que facilita la limpieza
- Discos de larga vida útil
- Amplia selección de materiales que permite la preparación de muestras para cualquier tipo de análisis
- Conexión para aspiradora
- Puede operar en tándem con la trituradora de mandíbulas BB 200

#### **Principio de funcionamiento**

En el molino de discos DM 200 el material es alimentado por la tolva a la cámara de molienda hermética donde caen entre los dos discos de molienda dispuestos de manera vertical. Uno de los discos es giratorio y se mueve contra el otro fijo tritura el material. La trituración deseada se produce por efectos de presión y fricción. La disposición progresiva de los dientes hace que el material sea primero

partido y luego empujado por la fuerza centrífuga hacia el área perimetral de los discos, donde se realiza la trituración fina. El material triturado cae por la abertura en un recipiente colector. La distancia entre los discos puede ajustarse de manera continua. Una escala permite ajustarla durante la operación entre 0,1 y 5 mm. El control puede realizarse a través de una ventanilla adicional.



**Figura 9.** Molino de discos DM 200

### **2.3.3 Generalidades del método de Difracción de rayos – X (DRX).**

A medida que un haz monocromático de rayos – x incide sobre un monocristal, su dirección puede que no sea la adecuada para ser reflejado por uno de sus planos. Para que esta reflexión sea posible, es necesario que la longitud de onda ( $\lambda$ ) el ángulo incidente ( $\theta$ ) respecto de plano reflector sean compatible con la ley de Bragg ( $n \lambda = d \sin \theta$ ). Según la forma en que esto se logra, se distinguen fundamentalmente los métodos normales de difracción que se emplean en el análisis de los cristales:

En el método de Laue: se mantiene fijo un monocristal y sobre él se hace incidir una radiación politromática (blanca) que, en general, procede de un ánodo de un elemento pesado (por ejemplo, W). En este caso, el parámetro variable de la ley de Bragg es la longitud de onda.



En la actualidad se emplea este método, fundamentalmente para determinar la orientación y la simetría de los cristales, y en metalurgia para poner de manifiesto las imperfecciones cristalinas, la distorsión y la cristalización. En su tiempo este método fue muy importante para la determinación de estructuras.

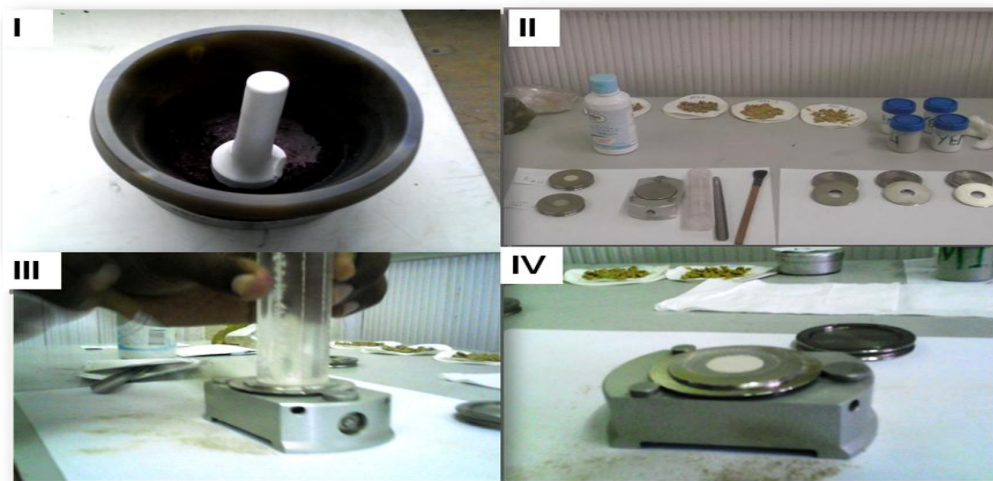
Las fotografías Laue o Lauegramas de transición tienen un papel importante en los estudios estructurales previos y en la orientación de cristales que se investigaran estructuralmente con mayor profundidad por otros métodos, por ejemplo, por Weissenberg o cristal rotatorio u oscilante.

En el método de cristal giratorio: se hace girar (u oscilar) un monocristal en un haz monocromático de rayos – X. La rotación lleva los distintos planos a la orientación necesaria para que ocurra la reflexión.

En el método de los polvos: también  $\theta$  es el parámetro variable porque en él se coloca que el haz monocromático del material cristalino pulverizado, entre las miríadas de partículas orientadas al azar siempre habrá alguna con la dirección conveniente para que haya todas las reflexiones de los posibles planos reflectores.

En esta técnica se realizan los siguientes pasos operativos:

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



**Figura 10.** Imágenes que ilustran los procedimientos de preparación en el laboratorio de las muestras en el laboratorio de Rayos-X. (I), accesorios usados para la preparación de las Porta-Muestras; (II), aplicación del polvo en el Porta-Muestras; (III) Porta-Muestras con el polvo nivelado y preparado para el procesamiento en el difractómetro (IV).

Después en el proceso de interpretación de los difractogramas se utilizó el programa Xpert HighScore 1b, 2002(software), que permitió identificar las fases minerales en las muestras.



**Figura 11.** Difractómetro X'Pert PRO de la PANalytical de la Universidad Federal de Pará, Brasil.

#### **2.3.4 Generalidades del método de Análisis Químicos.**

Los métodos y equipos utilizados por lab. “Elio Trincado F.” (Geominera Oriente) para los análisis químicos son los siguientes:

El método que se utilizó para obtener los resultados de los análisis de los siguientes elementos Fe, Ni, Co, Si, Al, Mg, Cr, Mn, Ti, Ba, Cu, Pb, Zn, Sr, Li, Sn, V y Ca se determinó por el método de ICP-OES.

Para la determinación del Na y K fue necesario utilizar el método de fotometría de llama.

Para la obtención de los resultados del Fe<sup>2+</sup> fue necesario utilizar el método por vía volumétrica; Sy PPI vía gravimétrica y P colorimétricamente. Para determinar el límite de detección en las traza fue necesario limitar su concentración a mayor que 0.04 ppm y en mayoritarios entre 0.005 y 1 %, 0.1 %. La incertidumbre expandida con 10 réplicas se corresponde con alta precisión y veracidad.

La caracterización química se basó principalmente en el comportamiento de los elementos químicos en las diferentes áreas, las muestras Omoab-x son pertenecientes al área de estudio de Cayo Guam mientras que las muestras OMoaa-x pertenecen al área de estudio de Centeno.

Para mejor comprensión de esta caracterización es necesario dar a conocer que los elementos mayoritarios los cuales se encuentran en estado de óxidos serán expresados en por ciento (%) mientras que los elementos minoritarios se expresaran en parte por millón (ppm).

## **Capitulo III: Presentación y representación de los resultados obtenidos mineralógicos y geoquímicos.**

### **3.1 Introducción**

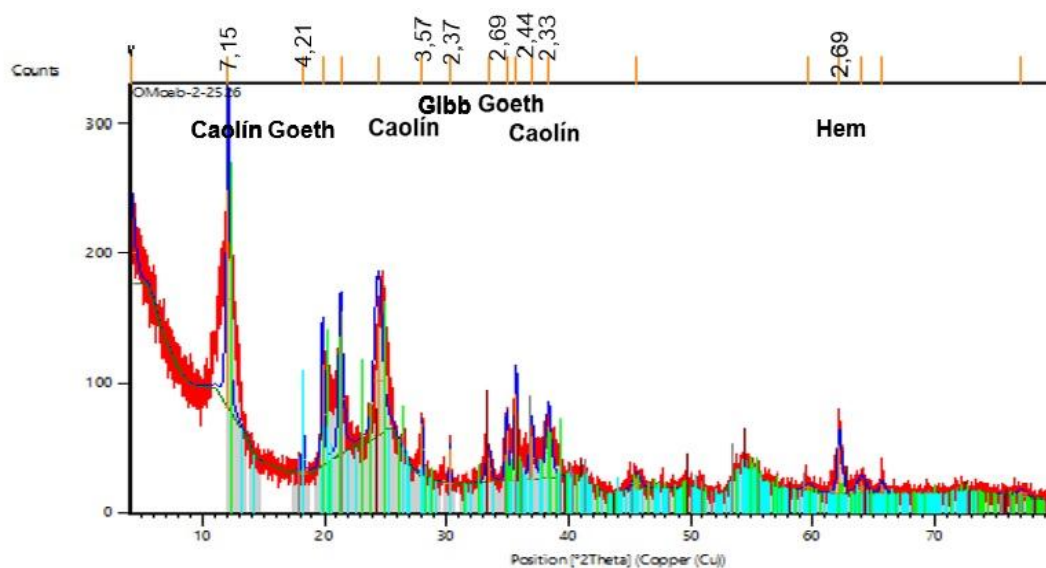
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los elementos de interés en nuestra investigación a través de los análisis químicos y los métodos de Difracción de Rayos X (DRX) en las áreas de estudio Cayo Guam y Centeno, los cuales son de gran importancia ya que poseen importantes características que componen la corteza laterítica.

### **3.2 Características mineralógicas de los sectores de Cayo Guam y Centeno.**

Para la realización de los análisis de difracción de rayos x se tomaron en las áreas de estudio, el material más representativas, donde se analizaron 12 muestras. Para la caracterización mineralógica tendremos en cuenta los principales minerales encontrados así como su concentración en las diferentes muestras y sus picos principales, los cuales se darán en angstrom.

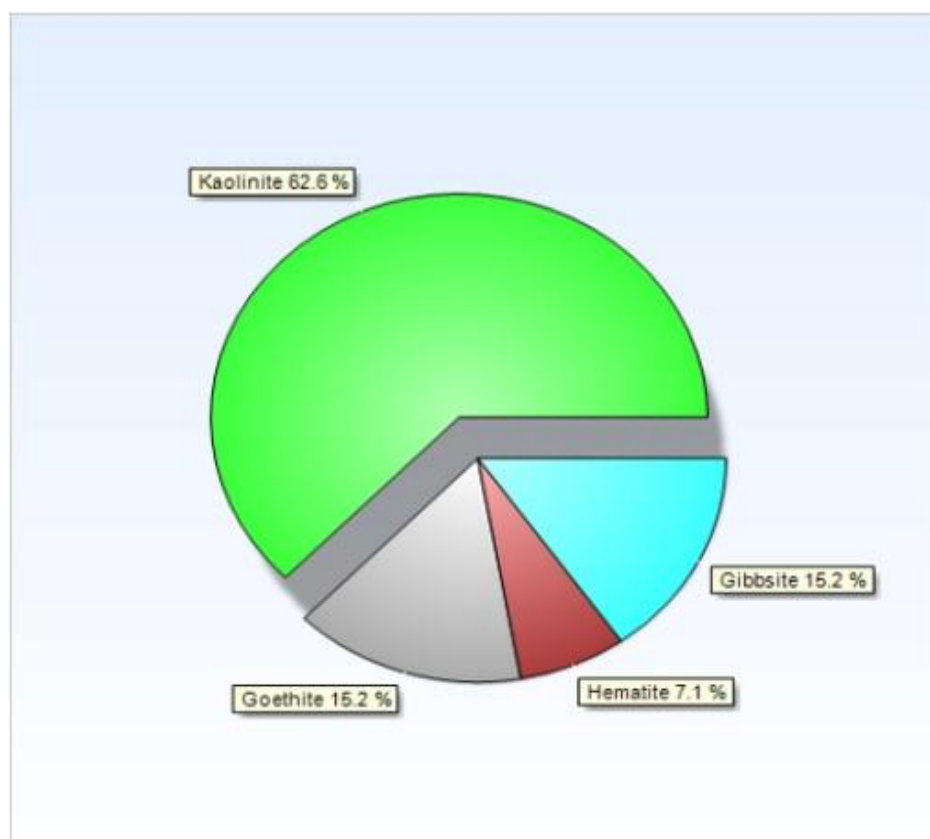
#### **3.2.1 Caracterización mineralógica del sector de Cayo Guam.**

##### **3.2.1.1 Muestra OMoab-2**



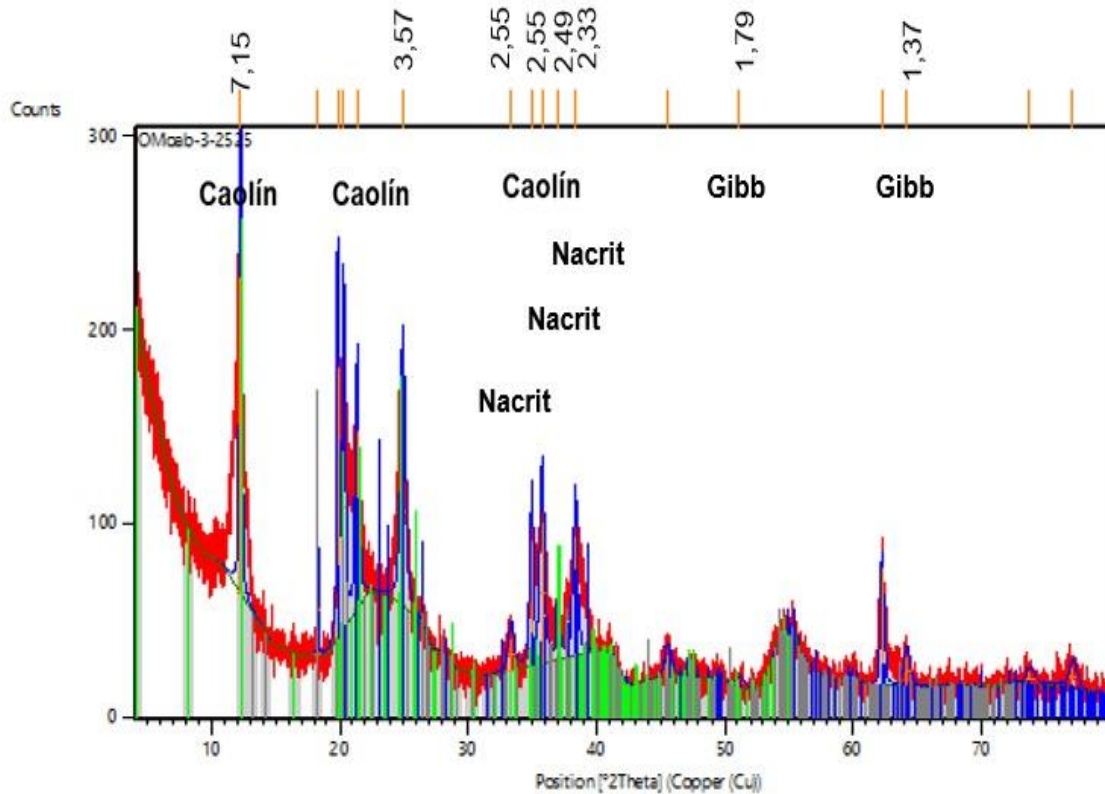
**Figura 12.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-2. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolin), Goethita (Goeth), Gibbsita (Gibb) y Hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoab-2 perteneciente a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron varias fases minerales entre las que se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 62.6% con picos principales de  $7.15 \text{ \AA}$ ,  $3.57 \text{ \AA}$  y  $2.33 \text{ \AA}$ , la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una concentración de 15.2% con picos principales  $4.21 \text{ \AA}$ ,  $2.69 \text{ \AA}$  y  $2.44 \text{ \AA}$ , la Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) con una concentración de 15.2% con un pico principal de  $2.37 \text{ \AA}$  también podemos encontrar como último y no menos importante la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con una pequeña concentración de 7.1% y un pico principal de  $2.69 \text{ \AA}$ .



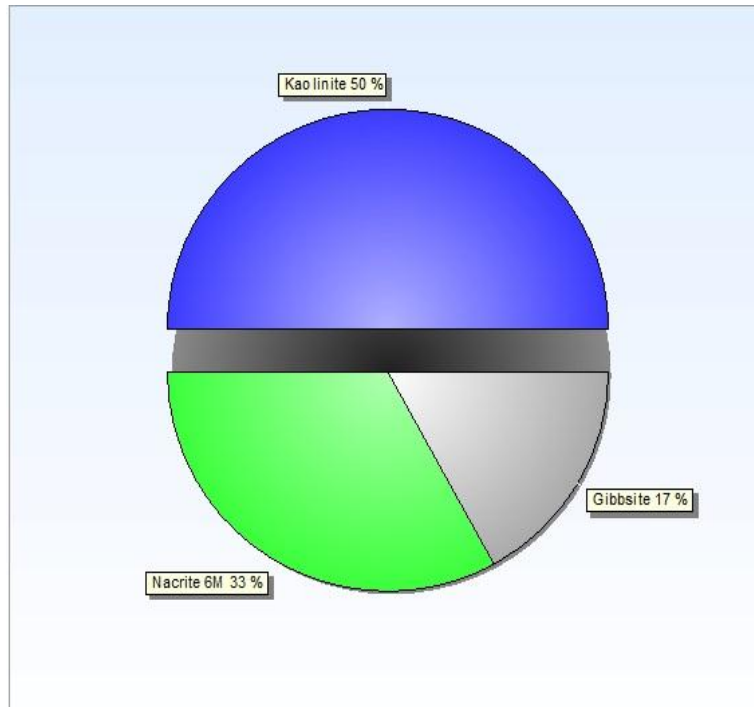
**Figura 13.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoab-2.

### 3.2.1.2 Muestra OMoab-3



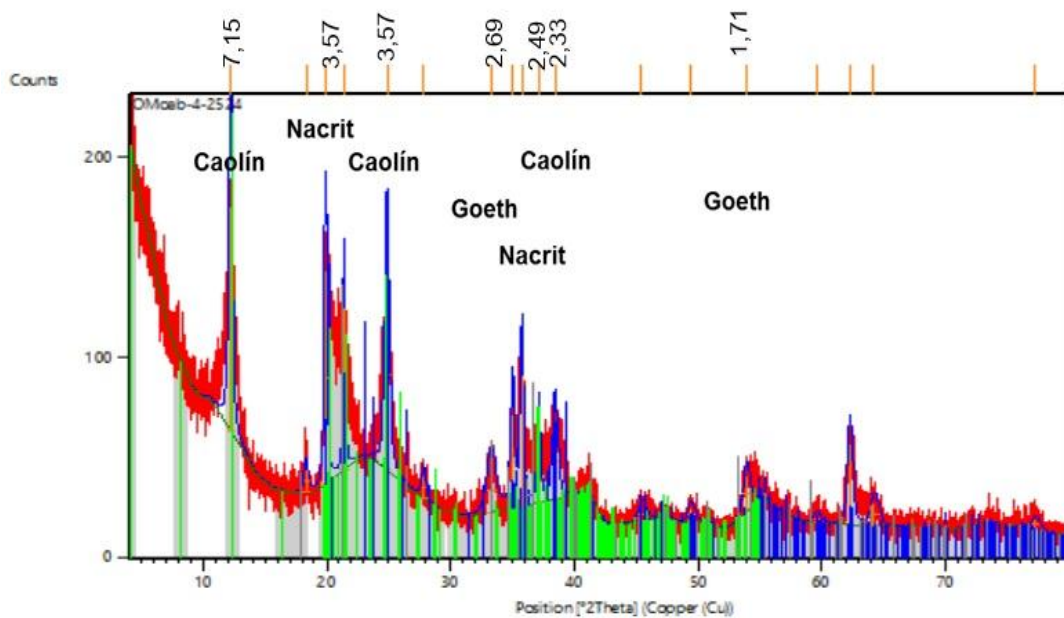
**Figura 14.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-3. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolin), Nacrita (Nacrit), Gibbsita (Gibb) .En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoab-3 perteneciente al a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron varias fases minerales entre las que se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 50 % con picos principales de  $7.15 \text{ \AA}$ ,  $3.57 \text{ \AA}$  y  $2.55 \text{ \AA}$ , la Nacrita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) en una concentración de 33% con picos principales  $2.55 \text{ \AA}$ ,  $2.49 \text{ \AA}$  y  $2.33 \text{ \AA}$ , la Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) con una concentración de 17% con picos principales de  $1.79 \text{ \AA}$  y  $1.37 \text{ \AA}$ .



**Figura 15.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoab-3.

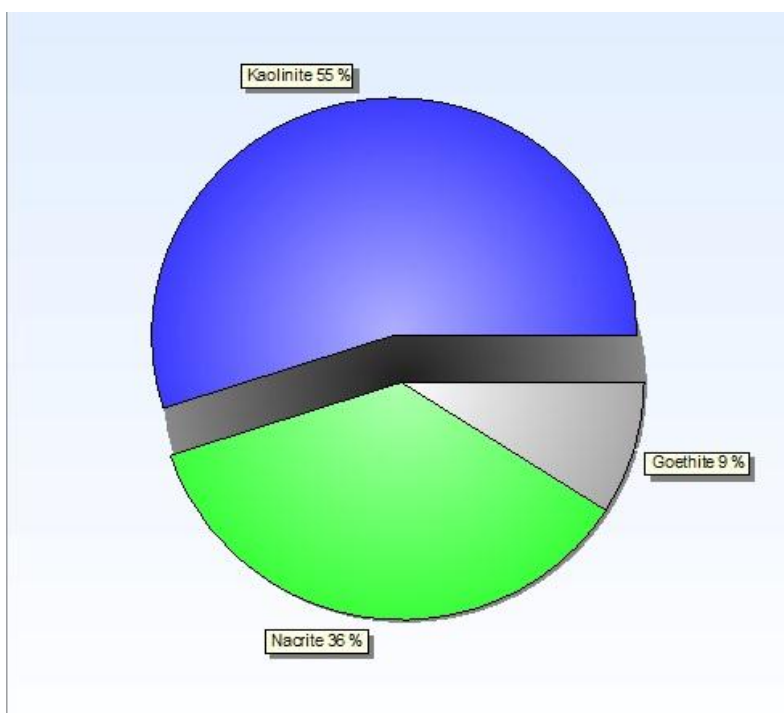
### 3.2.1.3 Muestra OMoab-4.



**Figura 16.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-4. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolín), Nacrita (Nacrit), Goethita (Goeth) .En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.



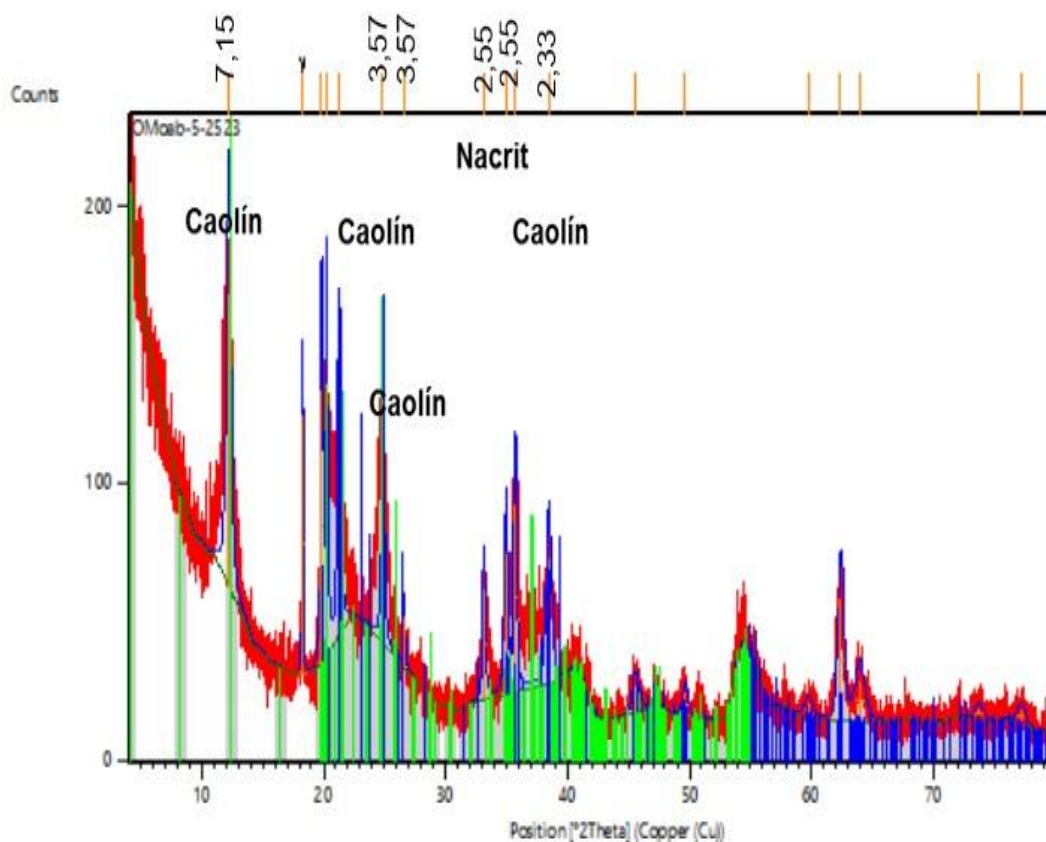
En la muestra OMoab-4 perteneciente al a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron varias fases minerales entre las que se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 55 % con picos principales de  $7.15^\circ$ ,  $3.57^\circ$  y  $2.33^\circ$ , la Nacrita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) en una concentración de 36% con picos principales de  $3.57^\circ$  y  $2.49^\circ$ , la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) con una pequeña concentración de 9% con picos principales de  $2.69^\circ$  y  $1.71^\circ$ .



**Figura 17.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoab-4

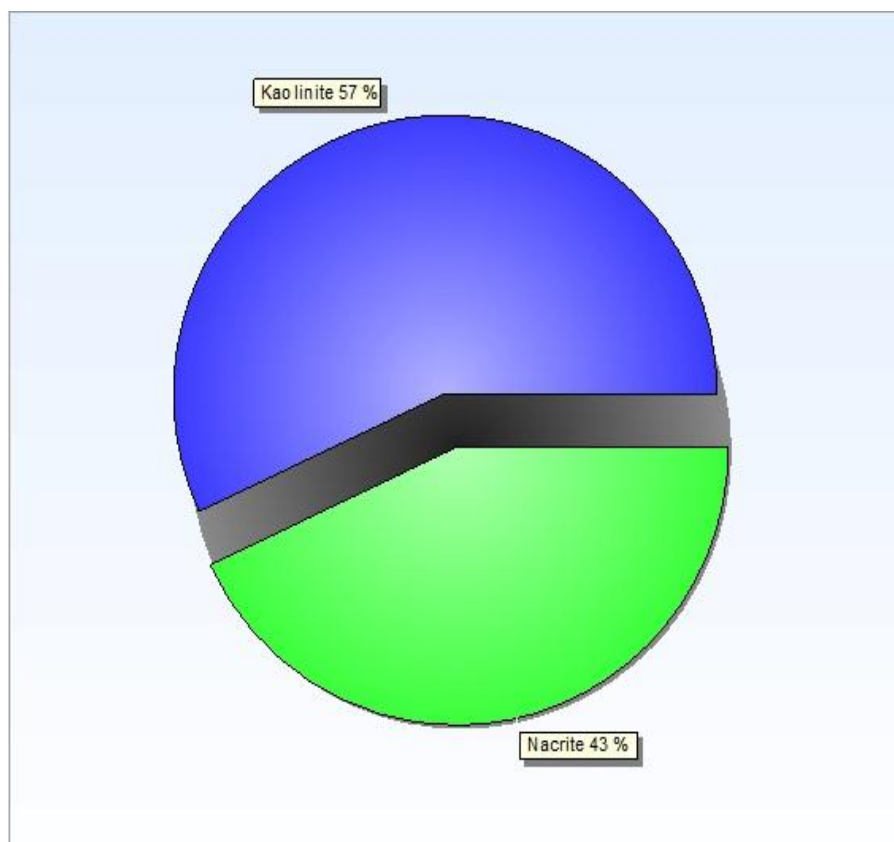


### 3.2.1.4 Muestra OMoab-5



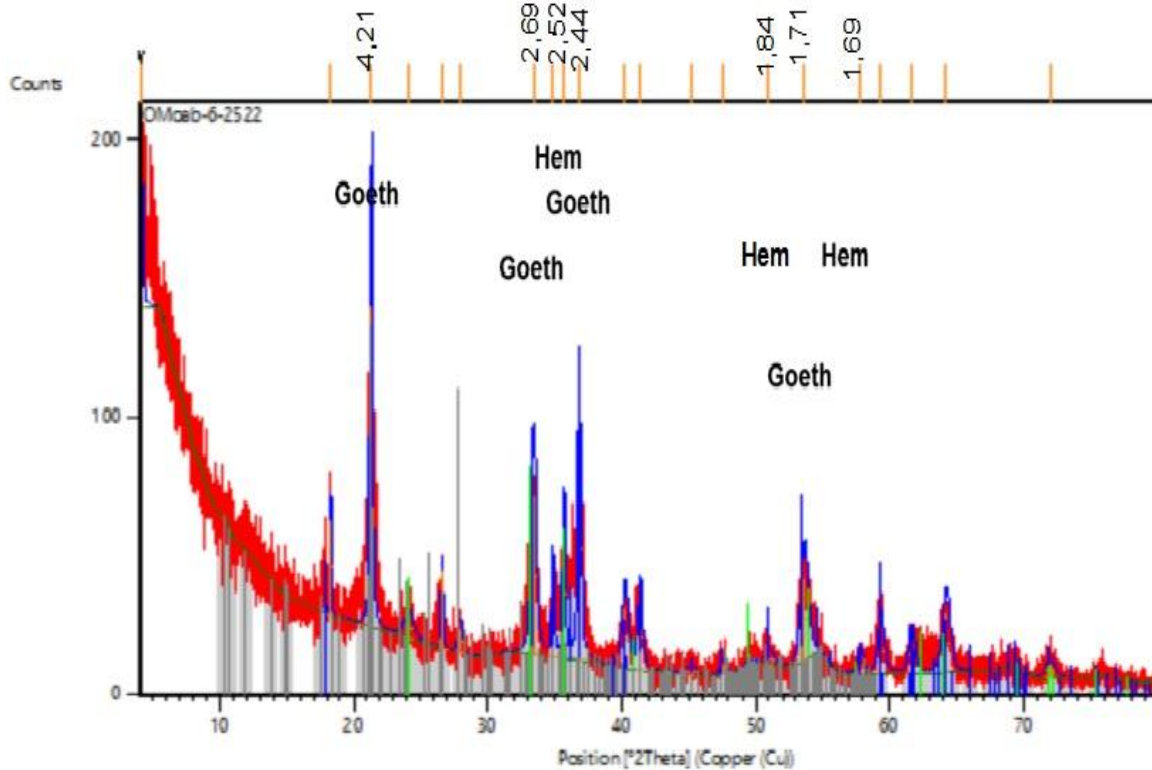
**Figura 18.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-5. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolin), Nacrita (Nacrit). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoab-5 perteneciente a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron varias fases minerales entre las que se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 57 % con picos principales de  $7.15 \text{ \AA}$ ,  $3.57 \text{ \AA}$  y  $2.33 \text{ \AA}$ , la Nacrita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) en una concentración de 43% con picos principales de  $2.55 \text{ \AA}$



**Figura 19.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoab-5.

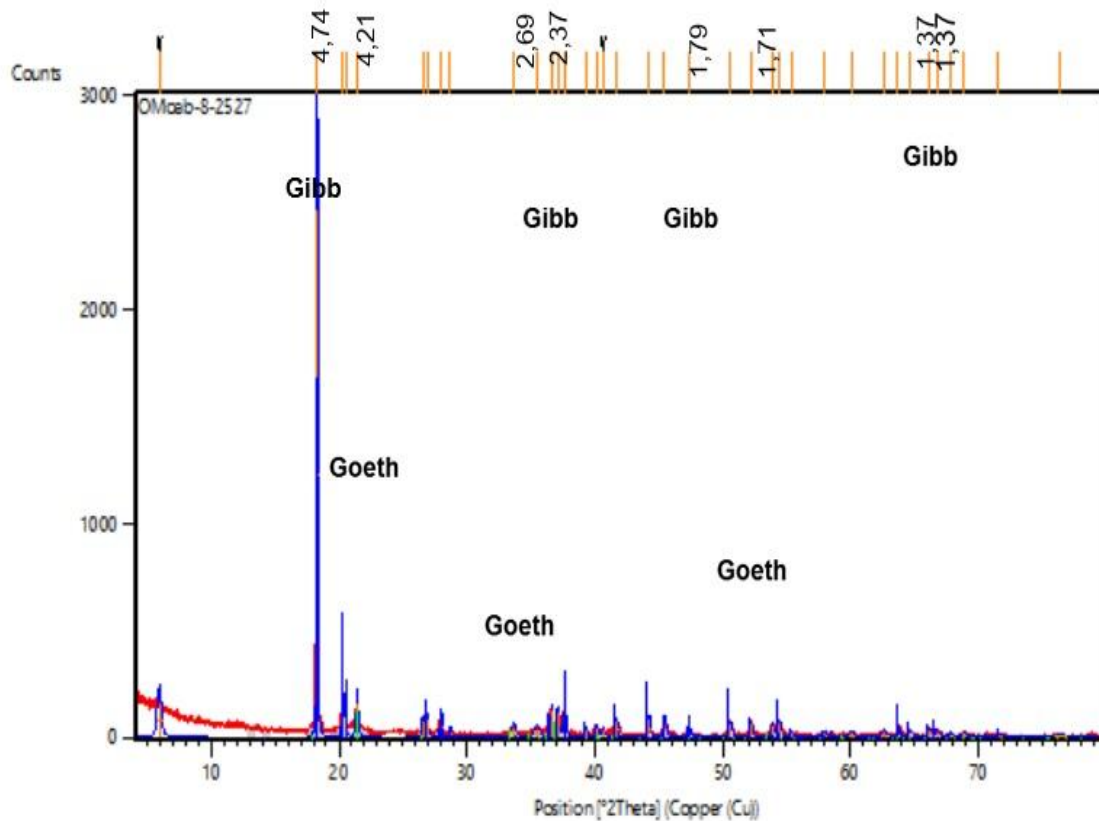
### 3.2.1.5 Muestra OMoab-6



**Figura 20.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-6. Se confirma la presencia de Goethita (Goeth) y Hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

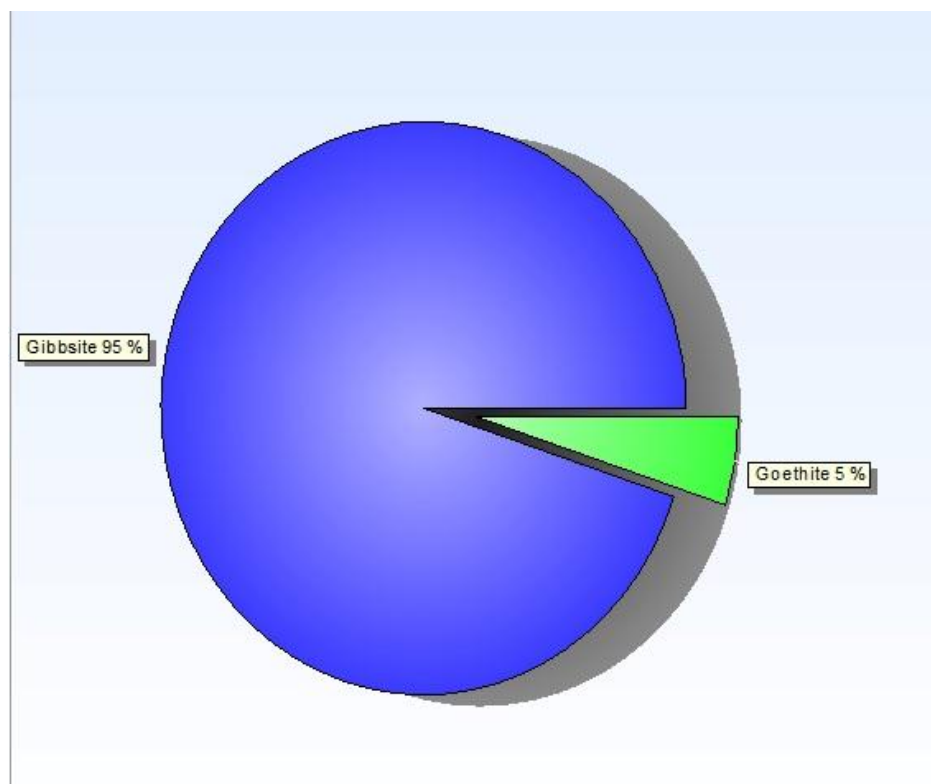
En la muestra OMoab-6 perteneciente a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron dos fases minerales entre las que se destaca la Goethita ( $\alpha$ - $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) donde la de mayor concentración, con picos principales de  $4.21\text{\AA}$ ,  $2.69\text{\AA}$ ,  $2.44\text{\AA}$  y  $1.71\text{\AA}$  y la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en una concentración media con picos principales de  $2.52\text{\AA}$ ,  $1.84\text{\AA}$  y  $1.69\text{\AA}$ .

### 3.2.1.6 Muestra OMoab-8



**Figura 21.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoab-8. Se confirma la presencia de Gibbsita (Gibb) y Goethita (Goeth). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoab-8 perteneciente al a la corteza de meteorización de Cayo Guam se encontraron dos fases minerales donde se destaca la Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH}_3)$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 95%, con picos principales de  $4.74\text{\AA}$ ,  $2.37\text{\AA}$ ,  $1.79\text{\AA}$  y  $1.37\text{\AA}$  y la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una pequeña concentración de 5% con picos principales de  $4.21\text{\AA}$ ,  $2.69\text{\AA}$  y  $1.71\text{\AA}$ .



**Figura 22.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoab-8

### **3.2.1.7 Conclusión.**

A partir de los análisis de difracción de rayos-X realizados a las diferentes muestras del sector de Cayo Guam se determinó que el mineral mayoritario encontrado es la caolinita, ya que la misma presenta elevadas concentraciones de gran importancia que varían de 50% mínimo en la muestra OMoab-3 hasta 62.6% como máximo en la muestra OMoab-2, varia su concentración en las demás dentro de este rango.

La caolinita se encuentra acompañada por la Nacrita, donde en alguna muestra podemos encontrar la ausencia de la caolinita sustituida por la Nacrita ya que la composición química de este mineral es idéntico al de la caolinita, esto lo podemos observar en la muestra OMoab-5 con una concentración de un 57%..

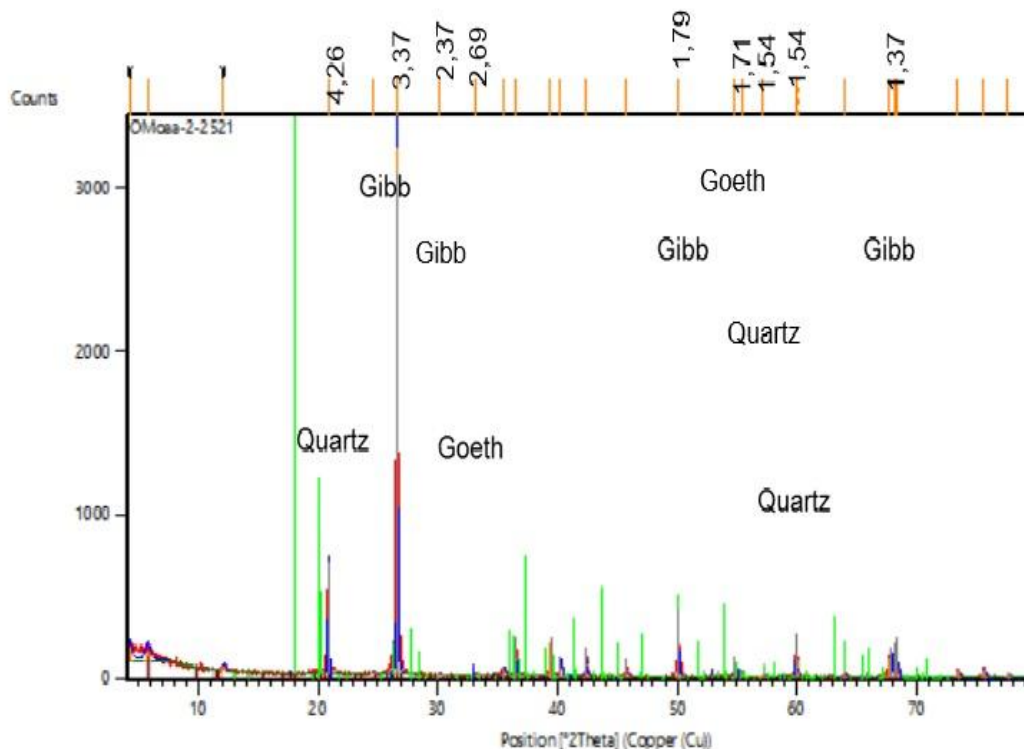
La Gibbsita posee una variada concentración, alcanza valores mínimos de 15.2% en la muestra OMoab-2 y un máximo de 95% en la muestra OMoab-8.

También se determinó la presencia de minerales que aunque se encuentran en pequeñas concentraciones juegan un papel fundamental en el proceso de meteorización de esta área donde influye tanto en su coloración como en su composición mineralógica, como la Goethita un óxido-hidróxido de hierro y la Hematita un óxido de hierro.

Estos altos niveles de concentración de la Caolinita encontrados en los análisis de difracción de rayos-X de las muestras tienen un gran aporte a la química del área donde se enriquece la concentración de la Alúmina y la sílice, lo cual influye en gran manera en la coloración de estas arcillas.

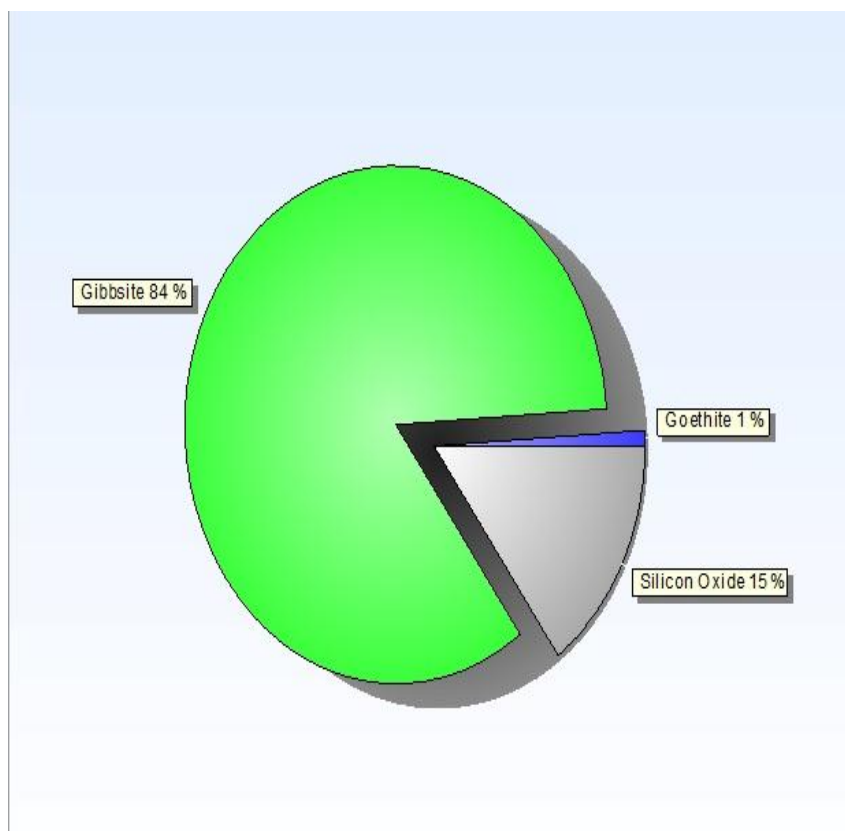
### 3.2.2 Caracterización mineralógica del sector de Centeno.

#### 3.2.2.1 Muestra OMoa-2



**Figura 23.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoa-2. Se confirma la presencia de Gibbsita (Gibb) Cuarzo (Quartz) y Goethita (Goeth). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

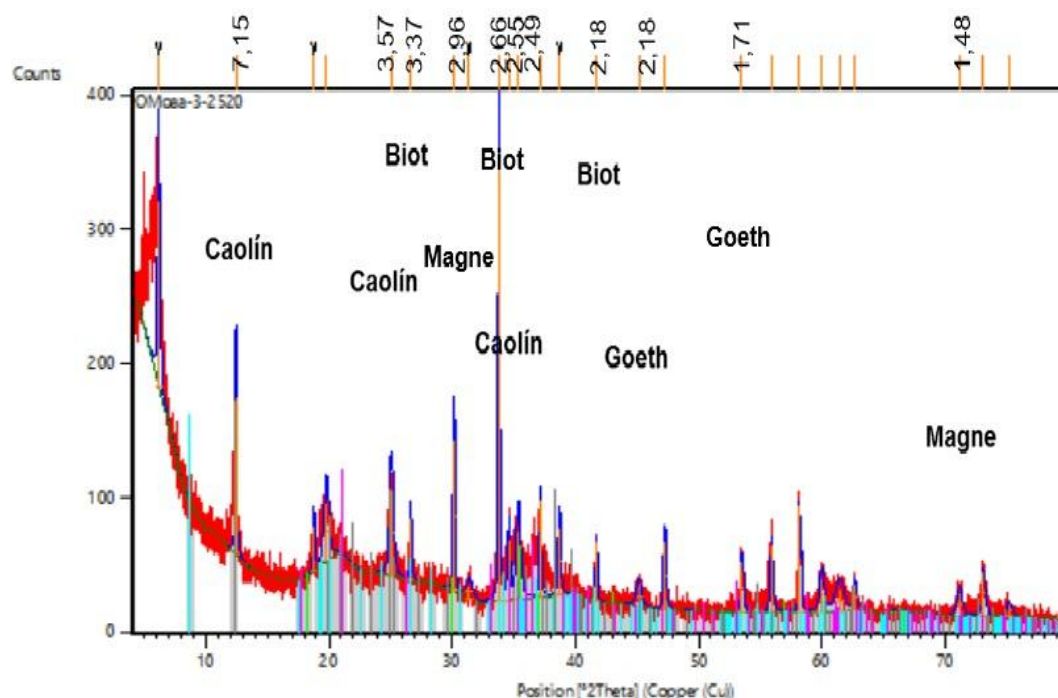
En la muestra OMoa-2 perteneciente a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron varias fases minerales donde se destaca la Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH}_3)$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 84%, con picos principales de  $3.37\text{\AA}$ ,  $2.37\text{\AA}$ ,  $1.79\text{\AA}$  y  $1.37\text{\AA}$ , Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) en una concentración de 15% con picos principales de  $4.26\text{\AA}$  y  $1.54\text{\AA}$ , también encontramos la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una pequeña concentración de 1% con picos principales de  $2.69\text{\AA}$  y  $1.71\text{\AA}$ .



**Figura 24.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-2

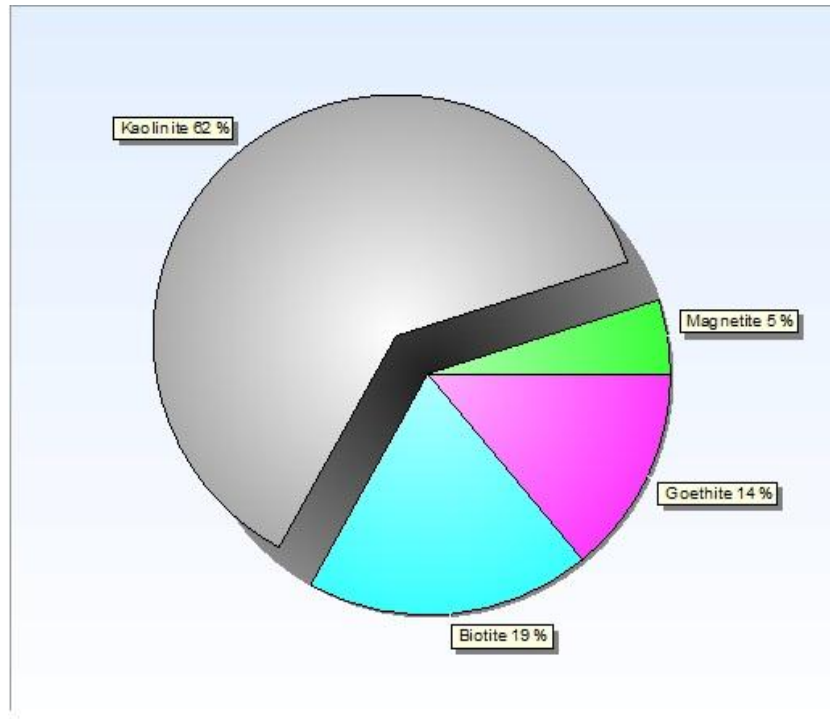


### 3.2.2.2 Muestra OMoa-3



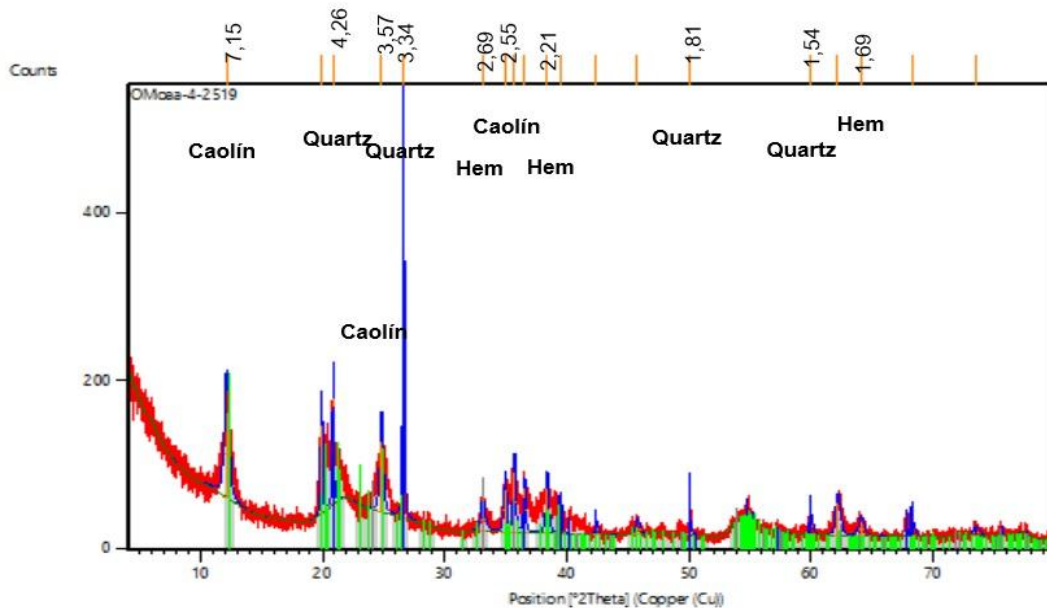
**Figura 25.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoa-3. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolin), Biotita (Biot), Goethita (Goeth) y Magnetita (Magne). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoa-3 perteneciente al a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron varias fases minerales donde se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 62%, con picos principales de  $7.15^\circ$ ,  $3.57^\circ$  y  $2.56^\circ$ , Biotita ( $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})$ ) en una concentración de 19% con picos principales de  $3.37^\circ$ ,  $2.66^\circ$  y  $2.18^\circ$ , la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una concentración de 14% con picos principales de  $2.18^\circ$  y  $1.71^\circ$ , también podemos encontrar la Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) en una pequeña concentración de 5% y con picos principales de  $2.96^\circ$  y  $1.48^\circ$ .



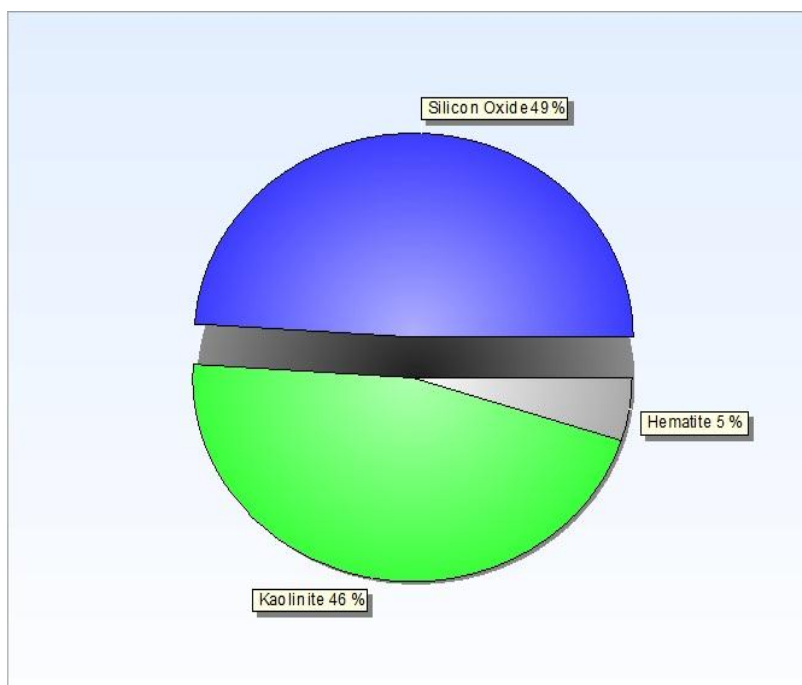
**Figura 26.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-3

### 3.2.2.3 Muestra OMoaa-4



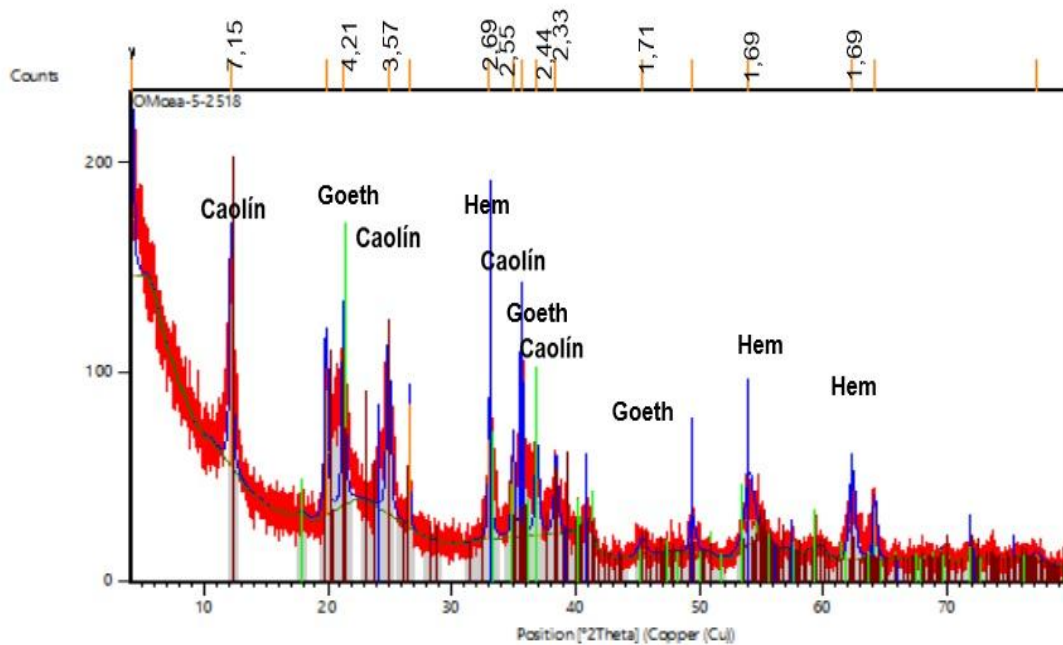
**Figura 27.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoaa-4. Se confirma la presencia de Cuarzo (Quartz), Caolinita (Caolín) y Hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoaa-4 perteneciente al a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron varias fases minerales donde se destaca el Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) con una en una concentración de 49% con unos picos principales de  $4.26^\circ$ ,  $3.34^\circ$ ,  $1.81^\circ$  y  $1.54^\circ$ , Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) en una concentración de 46%, con picos principales de  $7.15^\circ$ ,  $3.57^\circ$  y  $2.55^\circ$ , la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) la podemos encontrar en una pequeña concentración de 5% y con picos principales de  $2.69^\circ$ ,  $2.21^\circ$  y  $1.69^\circ$ .



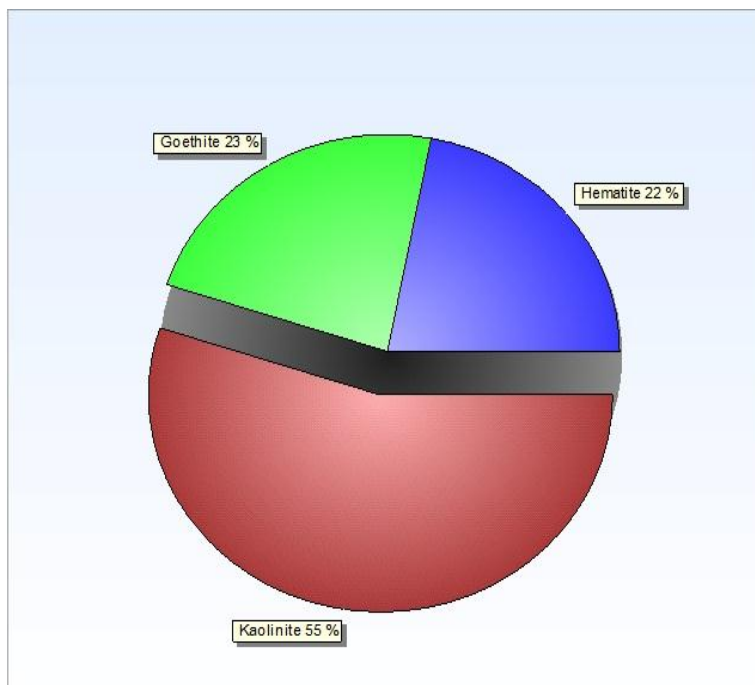
**Figura 28.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-4

### 3.2.2.4 Muestra OMoa-5



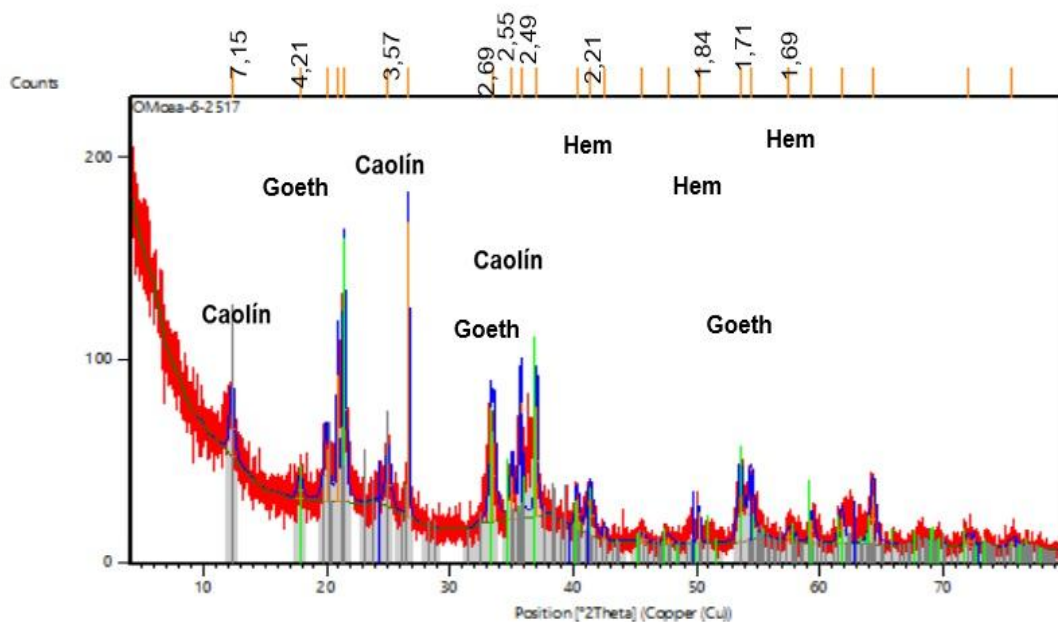
**Figura 29.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoa-5. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolín), Goethita (Goeth) y Hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoa-5 perteneciente a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron varias fases minerales donde se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 55%, con picos principales de  $7.15 \text{ \AA}$ ,  $3.57 \text{ \AA}$ ,  $2.55 \text{ \AA}$  y  $2.33 \text{ \AA}$ , la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una concentración de 23% con picos principales de  $4.21 \text{ \AA}$ ,  $2.44 \text{ \AA}$  y  $1.71 \text{ \AA}$ , también podemos encontrar la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en una concentración de 22% y con picos principales de  $2.69 \text{ \AA}$  y  $1.69 \text{ \AA}$ .



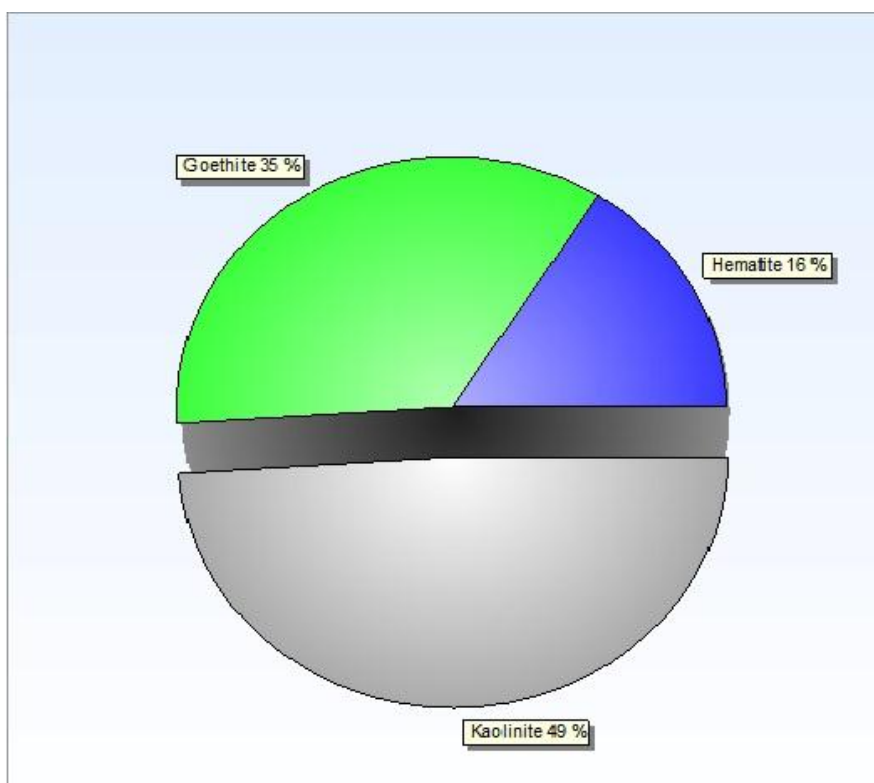
**Figura 30.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-5.

### 3.2.2.5 Muestra OMoaa-6



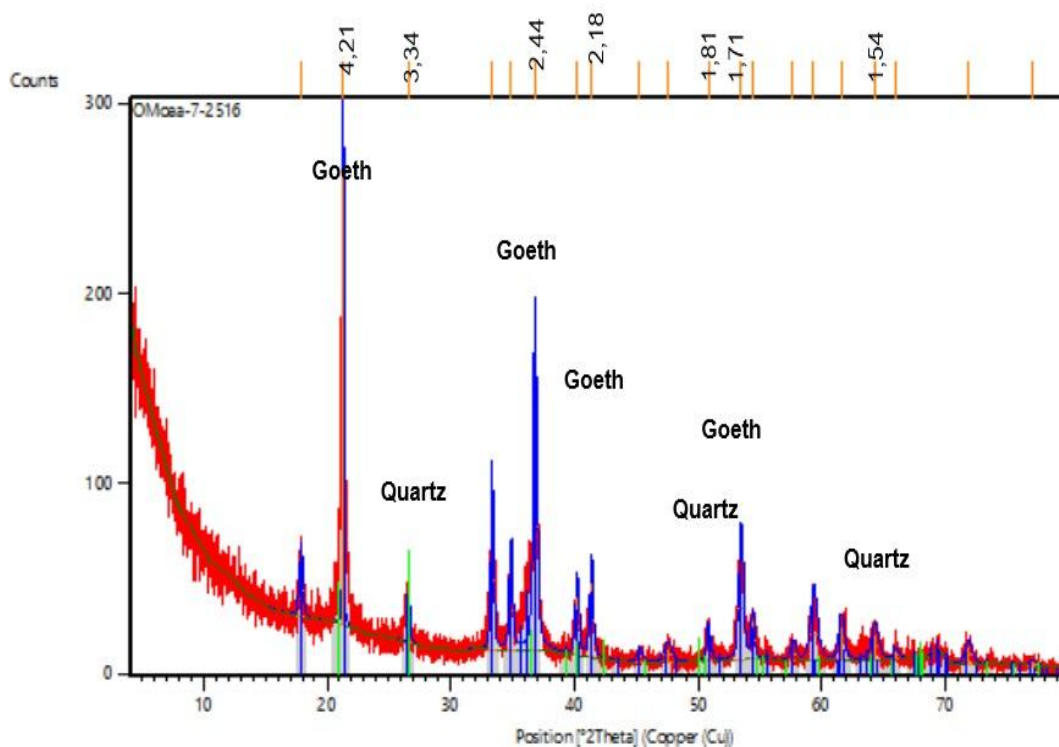
**Figura 31.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoaa-6. Se confirma la presencia de Caolinita (Caolin), Goethita (Goeth) y Hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoaa-6 perteneciente al a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron varias fases minerales donde se destaca la Caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) donde la de mayor concentración con un valor de 49%, con picos principales de  $7.15^\circ$ ,  $3.57^\circ$  y  $2.55^\circ$ , la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) en una concentración de 36% con picos principales de  $4.21^\circ$ ,  $2.69^\circ$  y  $1.71^\circ$ , también podemos encontrar la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en una concentración de 16% y con picos principales de  $2.21^\circ$ ,  $1.84^\circ$  y  $1.69^\circ$ .



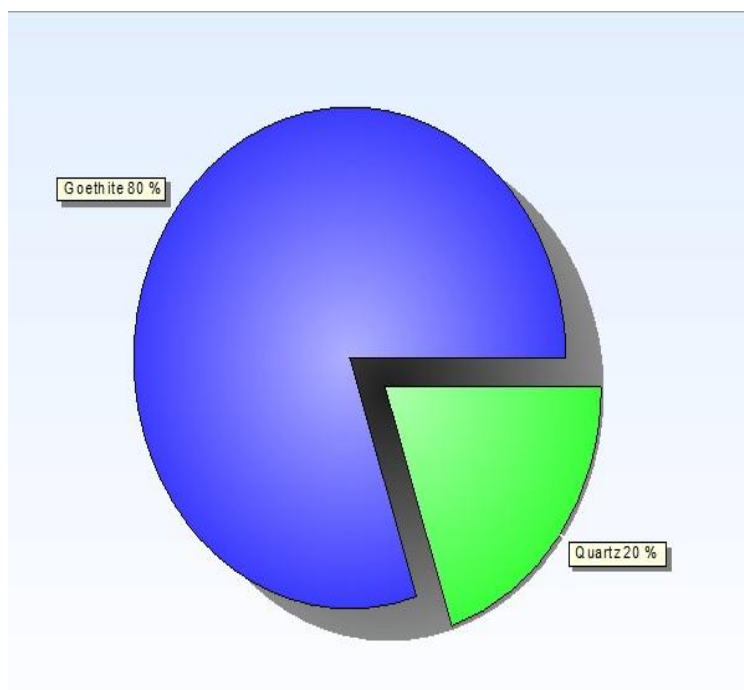
**Figura 32.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-6.

### 3.2.2.6 Muestra OMoa-7



**Figura 33.** Difractograma de Rayos-X de la muestra OMoa-7. Se confirma la presencia de Goethita (Goeth) y Cuarzo (Quartz). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra OMoa-7 perteneciente a la corteza de meteorización de Centeno se encontraron dos fases minerales donde se destaca la Goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ) con la mayor concentración alcanza un 80%, con picos principales de  $4.21 \text{ \AA}$ ,  $2.44 \text{ \AA}$ ,  $2.18 \text{ \AA}$  y  $1.71 \text{ \AA}$ , también podemos encontrar el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) con una concentración muy inferior a la de la Goethita pero aun así es muy notable en la muestra, alcanza un nivel de 20%, con unos picos principales de  $3.34 \text{ \AA}$ ,  $1.81 \text{ \AA}$  y  $1.54 \text{ \AA}$ .



**Figura 34.** Porcentaje de los minerales de la muestra OMoaa-7.



### **3.2.2.7 Conclusión.**

A partir de los análisis de difracción de rayos-X realizados a las diferentes muestras del sector de Centeno se determinaron varios minerales con una elevada concentración entre las que podemos encontrar la Caolinita en con valores de 46% en la muestra OMoaa-4, 55% en la muestra OMoaa-5, alcanza su mayor concentración en la muestra OMoaa-3 de 62%.

También podemos encontrar a la Gibbsita alcanza una concentración de 84% en la muestra OMoaa-3. El cuarzo se puede encontrar con valores mínimo de 15% en la muestra OMoaa-2 alcanza un máximo de 49%.en la muestra OMoaa4.

La goethita se encuentra en grandes concentraciones que pueden ser observadas en las muestras OMoaa-7 en un 80% donde este su valor máximo, y encontrándose en medianas y pequeñas cantidades en las muestras OMoaa-5 y OMoaa-2,

La Hematita a pesar de que las muestras presenta niveles de concentración muy bajos oscila entre un 5% en la muestra OMoaa-4 y en un 22% en la muestra OMoaa-5 se puede encontrar en casi todas las muestras.

Estos altos niveles de concentración de la Goethita y que la Hematita se puede encontrar en las diferentes muestras analizadas, brindan un gran aporte a la mineralogía del área, eleva las concentraciones de Hierro (Fe) a niveles muy altos dan como resultado una coloración rojiza a pardo oscuro a esta regolita que se encuentra relacionada con los cuerpos de gabros.

En la muestra OMoaa-3 se pudo encontrar el mineral Magnetita con una concentración de un 5%, que a pesar de su poca concentración también nos aporta el elemento del Hierro (Fe)

### 3.3 Características químicas de sectores Cayo Guam y Centeno

Para la realización de los análisis químicos de los sectores estudiados nos basamos en diferentes métodos para obtener estos resultados, donde se destina para cada elemento un método específico.

Para la determinación de los elementos trazas se basó en los estudios geológicos realizados por (J. Lopez Ruiz 1986) titulado: Aplicación de la geoquímica de elementos trazas a la génesis de las rocas ígneas.

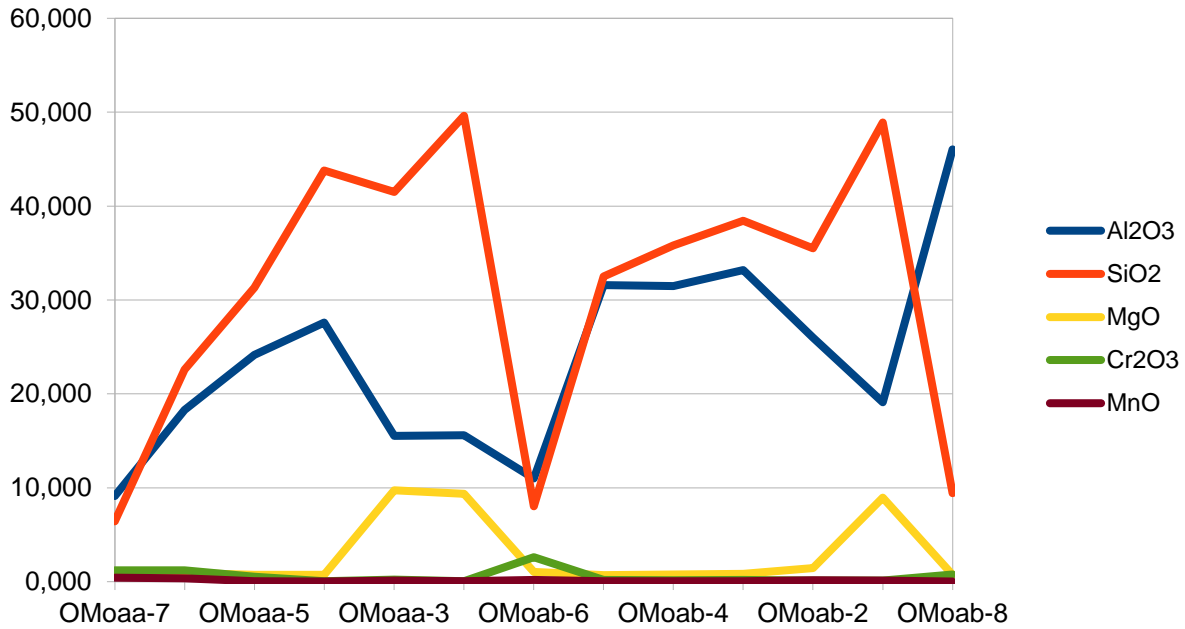
#### 3.3.1 Comportamiento de $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{MgO}$ , $\text{Cr}_2\text{O}_3$ y $\text{MnO}$ en las regolitas estudiadas

A continuación se podrá apreciar los diferentes compuestos químicos como el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}$  los cuales podrán ser apreciados en la siguiente figura.

**Figura 35.** Resultado de los análisis químicos de los elementos  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnO}$ .

MUESTRA	$\text{Al}_2\text{O}_3$ %	$\text{SiO}_2$ %	$\text{MgO}$ %	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ %	$\text{MnO}$ %
OMoaa-7	9,12	6,44	0,690	1,240	0,440
OMoaa-6	18,30	22,60	0,960	1,240	0,380
OMoaa-5	24,17	31,32	0,740	0,550	0,080
OMoaa-4	27,59	43,80	0,760	0,070	0,040
OMoaa-3	15,53	41,50	9,740	0,250	0,120
OMoaa-1	15,62	49,60	9,370	0,070	0,070
OMoab-6	11,02	8,04	1,050	2,610	0,210
OMoab-5	31,60	32,50	0,700	0,200	0,060
OMoab-4	31,50	35,82	0,790	0,160	0,050
OMoab-3	33,20	38,43	0,860	0,210	0,050
OMoab-2	26,00	35,50	1,470	0,140	0,170
OMoab-1	19,10	48,90	8,970	0,130	0,120
OMoab-8	46,03	9,44	0,750	0,770	0,030

A partir de los análisis realizados y los datos obtenidos se pudo graficar el comportamiento de estos diferentes elementos.



**Figura 36.** Comportamiento de los elementos químicos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO.

En la figura 36. se puede observar el comportamiento de los diferentes elementos como el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO donde las concentraciones más altas son de SiO<sub>2</sub> y seguidamente de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pudiéndose encontrar el MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO en niveles muy pequeños.

El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varia su concentración y alcanza niveles mínimos de 9.12 % en la muestra OMoaa-7 hasta valores máximos de 46.03 % en la muestra OMoab-8 perteneciente al área de estudio de Cayo Guam, donde se tiene niveles intermedio entre estos rangos menos en la muestra OMoab-6 que alcanza niveles tan bajo como los mínimos con unos valores de 11.02 %. Posee mayores niveles de concentración en el área de estudio de Cayo Guam. A pesar de que tiene menor concentración en el sector de Centeno alcanza niveles muy significativos.

En el SiO<sub>2</sub> varia su concentración y alcanza valores mínimos de 6.4% en la muestra OMoaa-7 y valores máximos de 49.6% en la muestra OMoaa-1, donde se tiene niveles intermedio entre estos rangos menos en la muestra OMoab-6 que alcanza niveles tan bajo como los mínimos con unos valores de 8.04 % y 9.44 % en la muestra OMoab-8. Donde se presenta con niveles de concentración proporcionales en las dos áreas de estudio.

El MgO presenta niveles muy pequeños por debajo del 10 %, varia su concentración entre su valor mínimo de 0.69 % en la muestra OMoaa-7 y máximo de 9.74 %. En la muestra OMoaa-3. A pesar de su pequeña concentración se puede decir que sus mayores niveles se encuentran en el sector de Centeno

donde presenta niveles altos de 8.97 % en la muestra OMoab-1 de cayo Guam. Se puede definir como elemento traza en todas las muestras por encontrarse en concentraciones menores que 1 % con la excepción de las muestras OMa-3, OMa-1 pertenecientes al sector de Centeno y en la muestra OMoab-6, OMoab-2, Omoab-1 del sector Cayo Guam.

El  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se encuentra en pequeñas concentraciones y varia su concentración en valores menores de 2.61 % donde se tiene su mayor concentración en el sector de Cayo Guam pudiéndose observar en la muestra OMoab-6. Donde se puede identificar como elementos trazas en todas las muestras de Centeno menos en las muestras OMa-7, OMa-6 y en el sector de Cayo Guam en la muestra OMoab-6.

El  $\text{MnO}$  se puede observar en concentraciones muy pequeñas menores que la del  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y varia sus niveles en valores menores de 0.5 % considerándose como un elemento traza en las dos áreas de estudio por poseer concentraciones menores que 1 %.

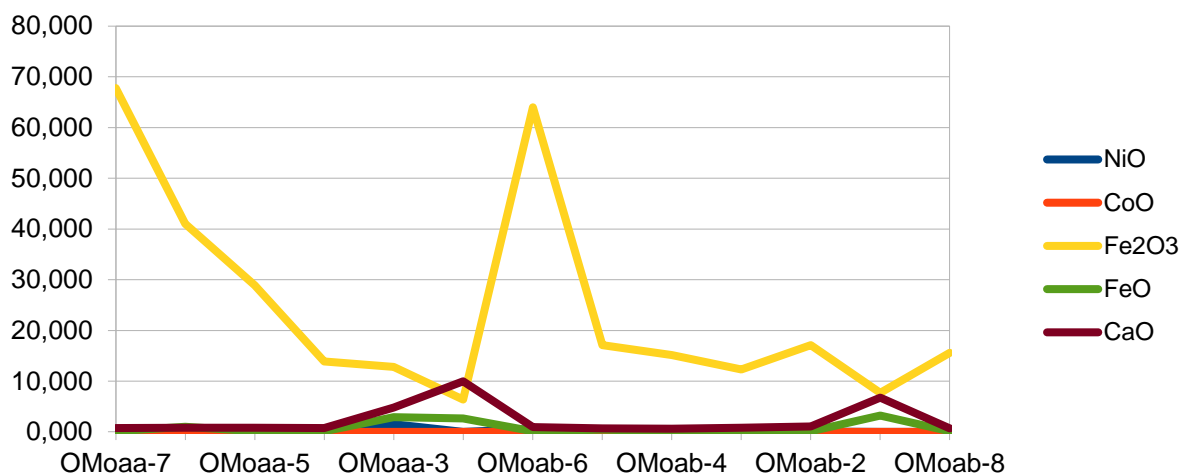
### 3.3.2 Comportamiento de NiO, CoO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO y CaO en las regolitas estudiadas.

A continuación se podrá apreciar los diferentes compuestos químicos como el NiO, CoO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO y CaO los cuales podrán ser apreciados en la siguiente figura.

**Figura 37.** Resultado de los análisis químicos de los elementos NiO, CoO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO y CaO.

MUESTRA	NiO %	CoO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	FeO %	CaO %
OMoaa-7	0,510	0,0300	67,80	0,100	0,740
OMoaa-6	0,330	0,0190	41,00	1,030	0,840
OMoaa-5	0,090	0,0030	28,91	0,150	0,850
OMoaa-4	0,040	0,0040	13,87	0,100	0,780
OMoaa-3	1,540	0,0160	12,83	2,880	4,790
OMoaa-1	0,030	0,0040	6,37	2,620	9,980
OMoab-6	0,560	0,0150	64,00	0,100	0,940
OMoab-5	0,050	0,0010	17,07	0,410	0,700
OMoab-4	0,040	0,0010	15,16	0,100	0,610
OMoab-3	0,060	0,0030	12,28	0,100	0,800
OMoab-2	0,040	0,0020	17,10	0,100	1,060
OMoab-1	0,030	0,0040	7,70	3,240	6,720
OMoab-8	0,010	0,0010	15,59	0,100	0,670

A partir de los análisis realizados y los datos obtenidos se pudo graficar el comportamiento de estos diferentes elementos



**Figura 38.** Comportamiento de los elementos químicos NiO, CoO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO y CaO.

En la gráfica 38. se puede observar el comportamiento de los diferentes elementos como NiO, CoO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO y CaO donde la concentración más alta es la del Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pudiéndose encontrar NiO, CoO, FeO y CaO en niveles muy pequeños por debajo del 10 %.

El NiO se encuentra en pequeñas concentraciones en los dos sectores, donde se tiene su mayor concentración en el sector de Centeno donde se tiene niveles por debajo del 2 %.pudiéndose considerar elementos trazas en casi todas las muestras menos en la OMoaa-3 que alcanza una concentración por encima del 1% y alcanza el valor de 1.54%.

El CoO se encuentra en pequeñas cantidades muy por debajo de 0.02% pudiéndose considerar como elementos trazas en todas las muestras.

El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es el elemento que posee una mayor concentración y alcanza niveles máximos de 67.8 % en la muestra OMoaa-7 y niveles mínimos de 6.37 % en la muestra OMoaa-1 y varia su concentración en estos rangos. U mayor concentración se encuentra en el sector de Centeno aunque a pesar de que en el sector de Cayo Guam su concentración es menor mantiene altos niveles y alcanza su mayor valor de 64% en la muestra OMoab-6.

El FeO se encuentra en pequeñas concentraciones y varía desde 3.24 % como máximo en la muestra OMoab-1 hasta 0.1 % en la muestra OMoab-8, considerándose como elemento traza en las muestras OMoaa-7, OMoaa-5, OMoaa-4 pertenecientes al sector de Centeno y en las muestras del sector de Cayo Guam menos en la OMoab-1.

El CaO se encuentra en pequeñas concentraciones y varía desde 9.98 % como máximo en la muestra OMoaa-1 hasta 0.7 % en la muestra OMoab-5, considerándose como elemento traza en las muestras OMoaa-7, OMoaa-6, OMoaa-5, OMoaa-4 pertenecientes al sector de Centeno y en las muestras OMoab-6, OMoab-5, OMoab-4, OMoab-3 y OMoab-8.perteneciente al sector de Cayo Guam debido a que su concentración se encuentra por debajo de 1 %.

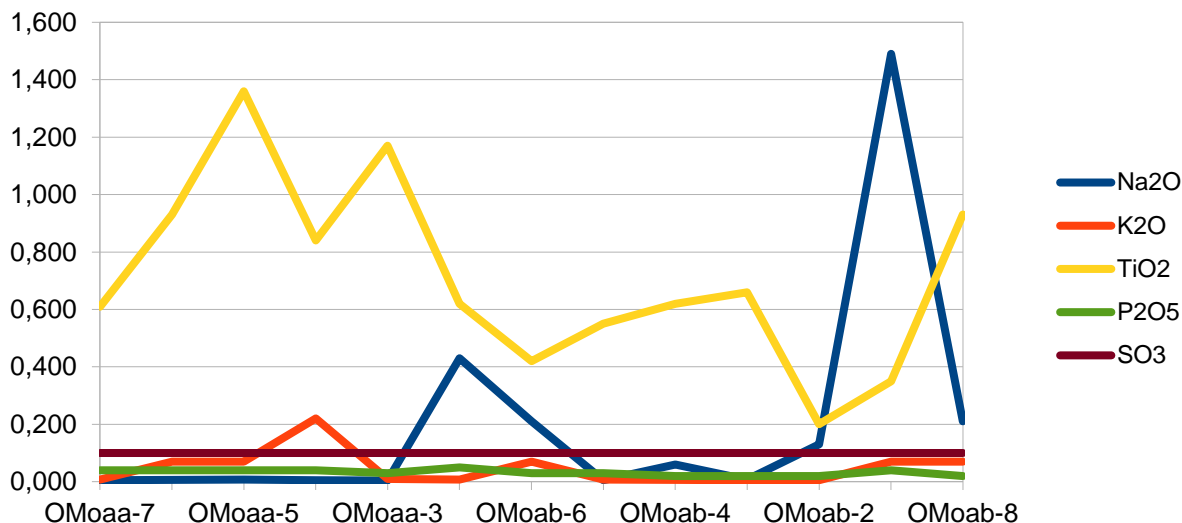
### 3.3.3 Comportamiento de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub> en las regolitas estudiadas.

A continuación se podrá apreciar los diferentes compuestos químicos como el Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub> los cuales podrán ser apreciados en la siguiente figura.

**Figura 39.** Resultado de los análisis químicos de los elementos Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub>.

MUESTRA	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SO <sub>3</sub> %
OMoaa-7	0,005	0,008	0,61	0,040	0,10
OMoaa-6	0,007	0,070	0,93	0,040	0,10
OMoaa-5	0,008	0,070	1,36	0,040	0,10
OMoaa-4	0,006	0,220	0,84	0,040	0,10
OMoaa-3	0,004	0,010	1,17	0,030	0,10
OMoaa-1	0,430	0,008	0,62	0,050	0,10
OMoab-6	0,210	0,070	0,42	0,030	0,10
OMoab-5	0,005	0,008	0,55	0,030	0,10
OMoab-4	0,060	0,007	0,62	0,020	0,10
OMoab-3	0,008	0,006	0,66	0,020	0,10
OMoab-2	0,130	0,005	0,20	0,020	0,10
OMoab-1	1,490	0,070	0,35	0,040	0,10
OMoab-8	0,210	0,070	0,93	0,020	0,10

A partir de los análisis realizados y los datos obtenidos se pudo graficar el comportamiento de estos diferentes elementos



**Figura 40.** Comportamiento de los elementos químicos Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub>.

En la figura 40. se puede observar el comportamiento de los diferentes elementos como Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub> donde las concentraciones más altas son del Na<sub>2</sub>O y TiO<sub>2</sub>, donde se tiene valores de 1.49 % y 1.36 % respectivamente pudiéndose encontrar K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y SO<sub>3</sub> en niveles muy pequeños por debajo del 0.23 %.

El Na<sub>2</sub>O se encuentra en pequeñas concentraciones y varía desde 1.49 % como valor máximo en la muestra OMoab-1 y de 0.004 % como mínimo en la muestra OMoaa-3. Y se considera como elemento traza en todas las muestras excepto en la muestra OMoab-1 de 1.49 %.

El K<sub>2</sub>O se encuentra en pequeñas concentraciones y varía desde 0.005 % como valor mínimo en la muestra OMoab-2 y de 0.22 % como máximo en la muestra OMoaa-4, considerándose en su totalidad como elemento traza debido a que su baja concentración se encuentra por debajo del 1 %

El TiO<sub>2</sub> se encuentra en bajas concentraciones por debajo de 1.40 % y alcanza valores máximos de 1.36 % en la muestra OMoaa-5 y valores mínimos de 0.2 % en la muestra OMoab-2. debido a su baja concentración puede ser considerado como elemento traza casi en su totalidad excepto en las muestras OMoaa-5 y OMoaa-3.

El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se encuentra en bajas concentraciones y alcanza niveles máximos de 0.05 % en la muestra OMoaa-1 y mínimos de 0.02 % en las muestras OMoab-4, OMoab-3, OMoab-2 y en la OMoab-8. Es considerada en su totalidad como elemento traza por poseer concentraciones por debajo del 1 %.



El  $\text{SO}_3$  posee una concentración en su totalidad de 0.1 considerándose como elemento traza.

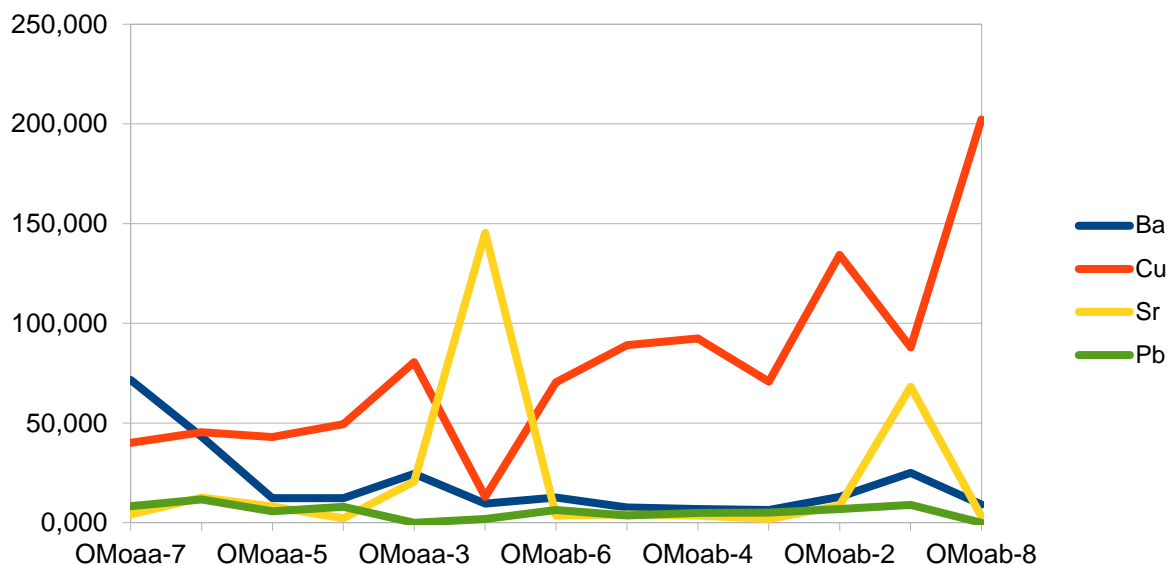
### 3.3.4 Comportamiento de Ba, Cu, Sr y Pb en las regolitas estudiadas.

A continuación se podrá apreciar los diferentes compuestos químicos como el Ba, Cu, Sr y Pb donde se expresara su concentración en parte por millón (ppm) los cuales podrán ser apreciados en la siguiente figura.

**Figura 41.** Resultado de los análisis químicos de los elementos Ba, Cu, Sr y Pb.

MUESTRA	Ba /ppm	Cu /ppm	Sr /ppm	Pb /ppm
OMoaa-7	71,510	40,180	4,220	8,350
OMoaa-6	43,220	45,450	12,620	11,790
OMoaa-5	12,330	43,040	8,200	5,700
OMoaa-4	12,420	49,420	2,270	8,020
OMoaa-3	24,500	80,490	20,660	0,010
OMoaa-1	9,560	13,040	145,370	1,940
OMoab-6	12,670	70,520	3,670	6,480
OMoab-5	7,630	89,060	4,250	3,680
OMoab-4	6,860	92,410	3,710	4,990
OMoab-3	6,410	70,760	1,930	5,190
OMoab-2	12,970	134,270	8,730	6,960
OMoab-1	25,060	87,910	68,270	8,920
OMoab-8	9,160	202,230	3,280	0,010

A partir de los análisis realizados y los datos obtenidos se pudo graficar el comportamiento de estos diferentes elementos



**Figura 42.** Comportamiento de los elementos químicos Ba, Cu, Sr y Pb.

En la gráfica 42. se puede observar el comportamiento de los diferentes elementos como Ba, Cu, Sr y Pb donde las concentraciones más altas son del Cu y el Sr,

donde se tiene valores de 202 ppm y 145.37 ppm respectivamente pudiéndose encontrar Ba y Pb en niveles muy pequeños.

El Ba se encuentra muy estable con respecto a su concentración en las diferentes muestras y alcanza valores máximos de 71.5 ppm en la muestra OMOaa-7 y mínimo de 6.41 ppm en la muestra OMOab-3 y varía su concentración en este rango. Se puede considerar como elemento trazas en las muestras OMOaa-1, OMOab-5, OMOab-4, OMOab-3 y en la muestra OMOab-8 por presentar valores por debajo de 10.000 ppm.

El Cu presenta una concentración muy variable y alcanza un valor máximo de 202 ppm en la muestra OMOab-8 y mínimo de 13.04 ppm en la muestra OMOaa-1 y varía en las restantes muestras. No se puede considerar como elemento traza debido a que su concentración supera el 10.000 ppm.

El Sr alcanza valores que comprenden entre 145 ppm como máximo en la muestra OMOaa-1 y 1.93 ppm en la muestra OMOab-3. Puede ser considerado como elemento trazas en casi todas las muestras menos en las muestras OMOaa-6, OMOaa-3, OMOaa-1 y OMOab-1.

El Pb se encuentra en baja concentración en casi su totalidad por debajo de 10.000ppm menos en la muestra OMOaa-6 con un nivel de 11.79 ppm, considerándolo como elemento traza.

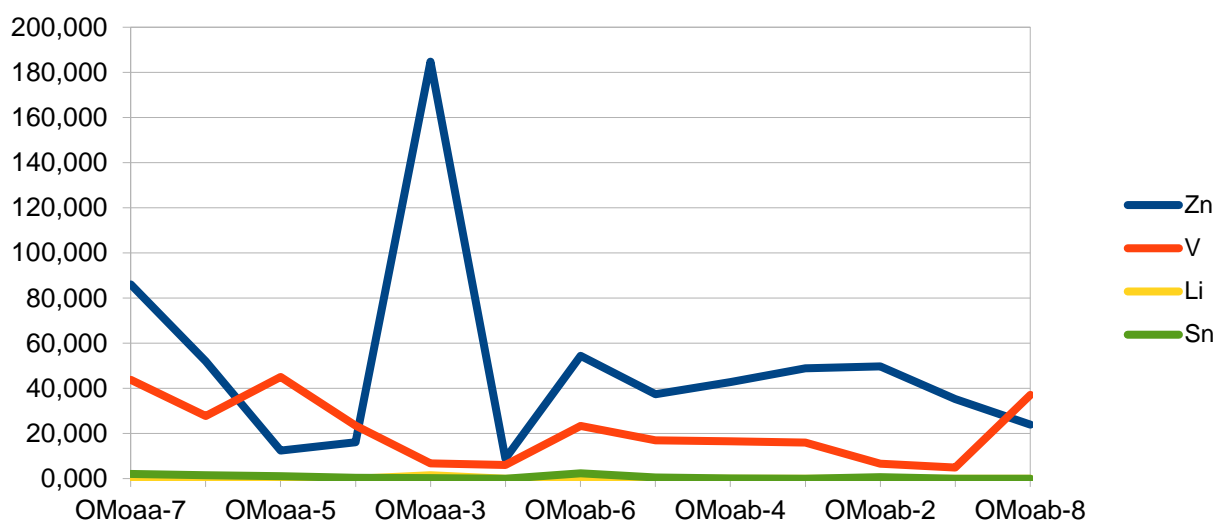
### 3.3.5 Comportamiento de Zn, V, Li y Sn en las regolitas estudiadas.

A continuación se podrá apreciar los diferentes compuestos químicos como el Zn, V, Li y Sn donde se expresara su concentración en parte por millón (ppm) los cuales podrán ser apreciados en la siguiente figura.

**Figura 43.** Resultado de los análisis químicos de los elementos Zn, V, Li y Sn.

MUESTRA	Zn /ppm	V /ppm	Li /ppm	Sn /ppm
OMoaa-7	86,050	43,770	0,0400	2,060
OMoaa-6	52,050	27,720	0,4900	1,490
OMoaa-5	12,410	45,050	0,0000	1,180
OMoaa-4	16,160	23,480	0,0000	0,400
OMoaa-3	184,670	6,860	1,5700	0,210
OMoaa-1	8,900	6,050	0,0000	0,000
OMoab-6	54,400	23,360	0,0000	2,420
OMoab-5	37,480	16,980	0,0000	0,570
OMoab-4	42,790	16,610	0,0000	0,100
OMoab-3	48,830	15,940	0,0000	0,000
OMoab-2	49,750	6,590	0,0000	0,650
OMoab-1	35,350	4,920	0,0000	0,000
OMoab-8	23,920	37,190	0,0000	0,000

A partir de los análisis realizados y los datos obtenidos se pudo graficar el comportamiento de estos diferentes elementos



**Figura 44.** Comportamiento de los elementos químicos Zn, V, Li y Sn.

En la gráfica 44 se puede observar el comportamiento de los diferentes elementos como Zn, V, Li y Sn donde la concentración más altas es del Zn, obdónde se tiene un valor de 184.67 ppm pudiéndose encontrar el Li y Sn en niveles muy pequeños.

El Zn se encuentra en concentraciones que varían desde 184.67 ppm en la muestra OMoaa-3 como máximo hasta 8.9 ppm en la muestra OMoaa-1 como mínimo. Se puede observar que la variación de las restantes concentraciones varía en niveles por debajo del 86 ppm, pudiéndose destacar en la muestra OMoaa-1 como elemento traza.

El V se encuentra en concentraciones que varían desde 45.05 ppm como valor máximo en la muestra OMoaa-5 y 4.92 ppm en la muestra OMoab-1. A pesar de que sus concentraciones se encuentran por encima de 10.000 ppm menos en las muestras OMoaa-3, OMoaa-1 pertenecientes al sector de Centeno y las muestras OMoab-2 ,OMoab-1 del sector de Cayo Guam, desde el punto de vista de la petrología ígnea se puede definir como elementos trazas específicamente como tierras raras, debido a que no forman minerales en los que ellos son constituyentes principales, debiéndose formar a partir de líquidos cuya composición está muy alejada de la de los magmas y bajo unas condiciones distintas de las que corresponden a las rocas ígneas.

El Li solo se encuentra presente en las muestras OMoaa-3, OMOaa-6 y OMoaa-7 y alcanza valores respectivamente de 1.57 ppm, 0.49 ppm y 0.04 ppm.

El Sn se encuentra en bajas concentraciones por debajo de 10.000 ppm considerándose como elemento traza en su totalidad, y alcanza niveles máximos de 2.42 ppm en la muestra Omoab-6 y mínimos de 0.1 en la muestra Omoab-4, donde está ausente en las muestras OMoaa-1 del sector de Centeno y en las muestras Omoab-3, Omoab-1, Omoab-8 pertenecientes al sector de Cayo Guam.

### **3.3.6 Conclusión**

Las concentraciones de los elementos  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  perteneciente al sector de Cayo Guam se encuentran por encima de las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , menos en la muestra Omoab-6 donde alcanza niveles superiores de 64.00 %. Esta alta concentración de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no afecta la química del sector debido a que solo se encuentra este nivel tan alto en una sola muestra.

En el sector de Centeno podemos encontrar a los elementos  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en mayores concentraciones, donde está por encima de los niveles de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alcanza niveles de concentraciones muy altas de aproximadamente de 67.80 %, donde influye notablemente en la química del Sector.

Se pudo identificar varios elementos trazas en su totalidad como el  $\text{MnO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{V}$  y el  $\text{Sn}$ . Algunos elementos solo fueron identificados en algunas de las muestras, los cuales se podrán observar a continuación:

El  $\text{MgO}$  menos en las muestras OMoaa-3, OMoaa-1 donde alcanza concentraciones de 9.74 %, 9.37 % y en las muestras Omoab-6, Omoab-2, Omoab-1 concentraciones de 1.05 %, 1.47 %, 8.97 %.

El  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se encuentra en pequeñas concentraciones y varia su concentración en valores menores de 2.61 % donde se tiene su mayor concentración en el sector de Cayo Guam pudiéndose observar en la muestra OMoab-6.

El  $\text{Ni}$  en casi su totalidad menos en la muestra OMoaa-3 donde alcanza un nivel de concentración de 1.54 %.

El  $\text{FeO}$  menos en las muestras OMoaa-6, Omoaa-3, OMoaa-1 donde alcanza concentraciones de 1.03 %, 2.88 %, 2.62 % y la muestra Omoab-1 con una concentración de 3.24 %.

El  $\text{CaO}$  menos en las muestras OMoaa-3, OMoaa-1 con concentraciones de 4.79 %, 9.98 % y la muestras Omoab-2, Omoab-1 concentraciones de 1.06 %, 6.72 %.

El  $\text{Na}_2\text{O}$  en casi su totalidad menos en la muestra Omoab-1 con una concentración de 1.49 %.

El  $\text{TiO}_2$  menos en las muestras OMoaa-5 y OMoaa-3 y alcanza concentraciones de 1.36%, 1.17 % respectivamente.

El Pb en su totalidad menos en la muestra OMoaa-6 con una concentración de 11.79 ppm.

El Sr menos en las muestras OMoaa-6, OMoaa-3, OMoaa-1 y alcanza concentraciones de 12.62 ppm, 20.66 ppm, 145.37 ppm y en las muestras Omoab-1 con un valor de 68.27 ppm.

El Ba se pudo identificar en las muestras OMoaa-1 con una concentración de 9.56 ppm y en las muestras Omoab-5, Omoab-4, Omoab-3, Omoab-8 concentraciones de 7.63 ppm, 6.86 ppm, 6.41 ppm, 9.16 ppm.

El Zn solo se puede encontrar en la muestra OMoaa-1 con una concentración de 8.90 ppm.

El V a pesar de tener valores superiores a 10.000 ppm desde el punto de vista de la petrología ígnea se puede definir como elementos trazas específicamente como tierras raras.

## **Conclusiones**

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo establecer las siguientes conclusiones, para los sectores de Cayo Guam y Centeno:

- En los dos sectores de estudio se han desarrollados cortezas (regolitas), a partir de rocas básicas y ultrabásicas asociadas a cuerpos de gabros, los cuales favorecen a la formación de depósitos de arcillas y minerales afines.
- El depósito de Cayo Guam presenta cortezas con material blanco – amarillento a amarillo- parduzco, que evidencian la presencia de cúmulos máficos y en menor grado cúmulos ultramáficos, que se encuentra interrelacionados.
- El depósito de Centeno presenta una constitución geológica simple, la forma del cuerpo mineral es poco variable, no existen intercalaciones considerables de material estéril y la potencia del material es útil no varía considerablemente. Las alteraciones de estos cuerpos de gabros dan origen a la formación de estas regolitas con bajo contenido de carbonato.
- La composición mineralógica de los regolitos relacionados con los cuerpos de gabo en los sectores de Cayo Guam está compuesta por las fases principales de caolinita, gibbsita, nacrita y con fases secundarias la goethita, hematita. En el sector de Centeno encontramos la presencia de caolinita, gibbsita, goethita como fases principales y como secundaria el cuarzo, hematita, biotita y la magnetita.
- La composición química de las regolitas relacionadas con los cuerpos de gabo de los sectores de estudio de Cayo Guam y Centeno presentan altas concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , donde predomina en el sector Cayo Guam el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y en el sector de Centeno el  $\text{SiO}_2$ , el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
- Se detectó, en las cortezas de estos sectores, la presencia como elementos minoritarios más frecuentes los MnO, CoO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ , Li, V y el Sn y algunos elementos de forma más puntual como el CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , Pb, Sr, Ba y Zn.



## **Recomendaciones**

Profundizar en los aspectos petrográficos de las regolitas asociadas a los cuerpos de gabros en los sectores Cayo Guam Y Centeno.

Utilizar estas caracterizaciones mineralógicas y geoquímicas de estas regolitas asociadas a los cuerpos de gabros en futuros trabajos de materiales de construcción, cerámica roja etc.

## **Bibliografía consultada**

- ALMAGUER-FURNAGUERA, A. y ZAMARZRY, V., 1993. Estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. *Minería y Geología*, vol. 10, no. 2, pp. 17-24.
- DÁVILA BURGA, J., 2011. *Diccionario geológico*. 2011. S.I.: Arthaltuna grouting.
- FADEL, M., 2005. Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. *Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Trabajo de diploma] 57p*,
- GONZÁLEZ, M. y BARCAZ, M., 1981. Evaluación de perspectivas bauxíticas en Cuba: Las cortezas de intemperismo en el Quemado del Negro. *Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Trabajo de diploma] 107p*,
- GUTIÉRREZ, M.L., 1982. Estudio geológico y petrográfico de los gabros de Quemado del Negro. *Trabajo de diploma, ISMM de Moa, ICT*, pp. 88.
- J. LOPEZ RUIZ, 1986. Aplicación de la Geoquímica de elementos trazas a la génesis de las rocas ígneas. ,
- LAVAUT, 2003. La meteorización de la ofiolita de Cuba Oriental. Modelos geológicos y terminología cubana. Trabajo para Taller Internacional de la Geología y Minería del Níquel Cubano, Cuba.
- LAVAUT, 2017. Una aproximación a la lexicografía de la meteorización. Trabajo presentado en el evento de Ciencias de la Tierra. ,
- LAVAUT t, 2017a. Una aproximación a la lexicografía de la meteorización. Trabajo presentado en el evento de Ciencias de la Tierra. GEOCIENCIAS 2017, Cuba.

NJILA et al., 2010. An overview of non - nickeliferous weathering crusts in Eastern Cuba. Artículo, Revista Minería y Geología, Vol. 26, # 2, Abril – June, Pág. 14 – 34, ISSN 1993 8012.

NJILA et al., 2010a. Semi - quantitative mineralogical valuation of the non - nickeliferous weathering crusts in the northeast of Cuba. Artículo, Revista Minería y Geología, Vol. 26, # 4, October - December, Pág. 1 – 15, ISSN 1993 8012.

NJILA, 2010, Estudio químico-mineralógico de los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Teneme, Farallones y cayo Guam en el noroeste de Cuba.

OROZCO, G., 1995. Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. *Informe*

OYARZÑUN, 2009. Léxico de geología económica. Libro, [www.aulados.net](http://www.aulados.net) Geología. Yacimientos Minerales 2009.

PEREIRA-GINGA, S., 2006. Petrología y geoquímica de los niveles de gabros en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba Oriental): Zonas de Quemado del Negro, Cayo Grande, Mercedita y Miraflores. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. *Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis Doctoral]*,

PONS, J., PÉREZ, O., RAMÍREZ, B. y RAMÍREZ, M., 1997. Caracterización de las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam y su empleo en la fundición. *Minería y Geología*, vol. 14, no. 3, pp. 19-23.

PROENZA, J., MELGAREJO, J.C., GERVILLA, F. y SOLÉ, J., 2018. Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zona de suprasubducción. *Minería y Geología*, vol. 16, no. 2, pp. 5-12.

RAMÍREZ PÉREZ, M.C., 2002. *Estudio de beneficiabilidad de los escombros lateríticos de la región de Moa*. S.l.: Tesis en opción al título de Master.

RODRÍGUEZ INFANTE, A. (1998). Estudio morfotectónico de Moa y áreas

adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

SWARDJO, W., 1969. Beneficio y posibilidades siderúrgicas de los escombros de minerales lateríticos. *Revista Tecnológica*, vol. 4, pp. 25-30.

WIKIPEDIA, 2019. Regolito. *WIKIPEDIA* [en línea]. Disponible en:  
<https://es.wikipedia.org>.

1.