



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

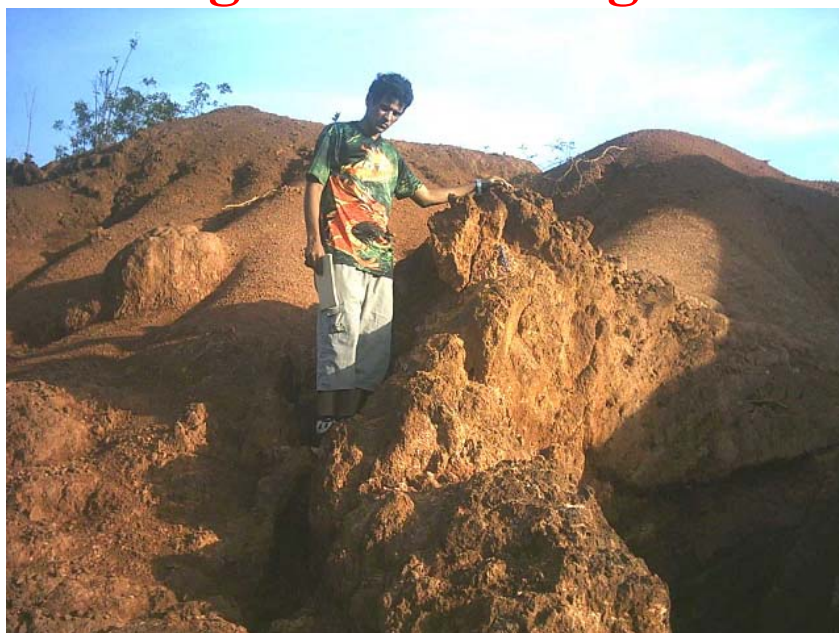
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de

Ingeniero Geólogo



TÍTULO: Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de
caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa

AUTOR: Marabih Fadel Luali

TUTORES: Dr. Gerardo Orozco Melgar

M.Sc. Daris Esmeralda Fonseca Navarro

MOA, 2005

“Año de la Alternativa Bolivariana para las Américas”

Declaración de autoridad

Yo: Marabih Fadel Luali

Autor de este Trabajo de Diploma, certifico su propiedad a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Autor:

Firma: _____
Marabih Fadel Luali

Tutor:

Firma: _____
Dr. Gerardo Orozco Melgar

Tutora:

Firma: _____
M. Sc. Daris Esmeralda Fonseca Navarro

“Cada fracaso enseña al hombre, algo que necesitaba aprender”

Charles Dickens

“No puede haber una sociedad floreciente y feliz cuando la mayor parte de sus miembros son pobres y desdichados”

Adam Smith

Agradecimientos

Mis agradecimientos a quienes de forma desinteresada ayudaron a la realización de este trabajo y en especial:

A mi tutor Gerardo Orozco Melgar, por su ayuda en todo momento.

A mi tutora Daris E. Fonseca Navarro, por apoyarme incondicionalmente.

A Miguelito, por la eficiencia de su trabajo

A mis profesores y compañeros de aula, que durante cinco años contribuyeron con mi formación académica, en especial a Lieta, Yanquiel, Yunior, Omero, Yuli, Adalberto y Leonel

A nuestro comandante Fidel Castro Ruz y a la Revolución Cubana, por habernos dado la oportunidad de formarnos como profesionales.

Y a todos los que de una forma u otra contribuyeron con la realización exitosa de este Trabajo de Diploma.

A todos, muchas gracias.

Dedicatoria

En especial a mi madre hecha, a mi papá fadel , a mi hijo Bryan ,a mis hermanos y mi hermanita.

A mi esposa Aliuská y a sus queridos padres, Magalis y Ricardo por brindarme su apoyo durante estos cinco años. y a toda mi familia

INDICE	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I CARACTERISTICAS FISICO GEOGRAFICAS DE LA REGION DE ESTUDIO	
I.1 Situación geográfica.....	3
I.2 Clima.....	3
I.2.1 Precipitaciones atmosféricas.....	3
I.2.2 Vientos.....	4
I.2.3 Temperatura del aire.....	4
I.2.4 <i>Humedad relativa</i>	4
I.2.5 Presión atmosférica.....	5
I.2.6 Hidrografía.....	5
I.3 Vegetación.....	7
I.3.1 Fauna y flora.....	7
I.4 Características económicas y sociales del territorio.....	9
CAPITULO II MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL	
II.1 Características geológicas regionales.....	12
II.2 Estatigrafía.....	12
II.3 Tectónica.....	16
II.4 Magmatismo.....	17
II.5 Características geológicas totales.....	18
CAPITULO III METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	
III.1 Toma de muestras.....	20
III.2 Separación granulométrica.....	22
III.3 Análisis de difracción de rayos X.....	22
III.4 Análisis químico.....	23
III.5 Determinación del contenido de agua de la muestra.....	23
III.6 Plasticidad.....	23
CAPÍTULO IV INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
IV.1 Análisis de difracción de rayos X.....	27
IV.1.1 Muestra CG-1 (muestra total).....	27
IV.1.2 Muestra CG-2 (muestra total).....	28
IV.1.3 Muestra CG-3 (muestra total).....	29
IV.1.4 Muestra CG-4 (muestra total).....	30
IV.1.5 Muestra CG-5 (muestra total).....	31

IV.1.6	Muestra CG-6.....	32
IV.2	Resultados de los análisis de separación granulométrica.....	33
IV.2.1	Resultado de la separación granulométrica de cada muestra.....	33
IV.3	Resultados de los análisis químicos.....	37
IV.4	Análisis de plasticidad.....	37
	CONCLUSIONES	38
	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFIA	40
	ANEXOS	

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinaron las propiedades mineralógicas de siete muestras de material arcilloso correspondientes a cuatro horizontes de la corteza de meteorización (CG-1; CG-2; CG-3 y CG-5), la cañada (CG-6), una de material intercalado entre los horizontes 2 y 3, (CG-4); y una goethita, desarrolladas sobre gabros de zonas aledañas al río Cayo Guam del municipio de Moa, las cuales fueron caracterizadas mediante análisis de Rayos X, análisis químicos por el método de absorción atómica y determinaciones de índice de plasticidad por el método de Casagrande.

Se realizó la separación granulométrica de estas muestras, obteniéndose tres fracciones +0,149; -0,149 +0,071; -0,071, a las que también se le realizaron análisis por difracción de rayos X, identificándose las fases minerales constituyentes de cada una de ellas.

ABSTRACT

1. In this research work mineralogical properties of seven samples of clayey material were determined, which correspond to four horizons of the weathering crust

(CG1; CG2; CG3 and CG4), CG6, an interstratified material between horizons 2 and 3, (CG4); and goethite, developed over gabbros of the aligned zones of the Cayo Guam river of Moa, which were characterized using X-Ray analysis, chemical analysis using the atomic absorption method and analysis of the plasticity index using the Casagrande method.

2. Granulometric separation of these samples was realised, obtaining three fractions +0,149; -0,149 +0,071; -0,071, of which X-Ray diffraction was made, identifying three mineral phases which constitute each of the above.

INTRODUCCIÓN

El territorio de Moa posee grandes riquezas minerales que son reconocidas internacionalmente, que lo convierte en uno de los mayores productores de Níquel y Cobalto del mundo y una de las principales vías de desarrollo económico de este país.

Sin embargo se conoce muy poco sobre las grandes posibilidades que tienen otros recursos minerales (no metálicos), que conforman grandes extensiones diseminadas por todo el territorio y que pudieran ser empleadas con mucho éxito. Entre estos

recursos se encuentran las arcillas, que pueden ser ampliamente utilizadas en la industria de la cerámica decorativa y materiales de la construcción, entre otras.

En sus principios, la arcilla era utilizada tal y como aparece en la naturaleza, sin hacerle muchos cambios para los fines que se perseguían. Con el desarrollo de la ciencia y la técnica, el hombre ha podido descubrir que el material que resultaba tan fácil de trabajar y manipular, no es, en realidad tan sencillo, pues posee propiedades que aún no se han podido describir científicamente, a pesar de que son aprovechadas por el.

En las industrias productoras de cerámicos, por lo general, la arcilla luego de extraída del yacimiento y trasladada a la planta se mezcla con agua en cantidades suficientes para garantizar que toda ella se humedezca, en aparatos mezcladores de diferentes tipos. A continuación se tamiza para lograr el tamaño de partícula requerido y eliminar piedras y otros materiales indeseables. Esta suspensión acuosa debe ser sedimentada o filtrada para eliminar el exceso de agua y obtener una pasta de humedad adecuada para ser trabajada, ya sea en el torno alfarero o para el modelado manual de los objetos que se producirán, los cuales deben ser secados completamente antes de pasar al horno donde se cuecen y obtienen su consistencia final. Entre los minerales más abundantes de la región se encuentran las grandes reservas de arcillas de diferentes tipos en los márgenes del río Cayo Guam; las cuales no han sido suficientemente estudiadas para su utilización en la industria cerámica decorativa. Por esta razón en el presente trabajo se realiza un estudio preliminar para las arcillas Cayo Guam con el objetivo de determinar la calidad de las mismas para su aplicación en la cerámica y refractarios, otros materiales.

Problema que resuelve: No se ha estudiado hasta el momento la extensión de la manifestación de caolinitas a partir de gabros alterados en la zona de Cayo Guam, por lo que el trabajo resolverá el problema del bajo grado de conocimiento sobre la existencia de una materia prima importante para la industria cerámica y de refractarios como es la caolinita en el territorio de Moa.

Objeto del trabajo: Las cortezas caoliníticas sobre gabros de la zona de Cayo Guam, Moa

Objetivo del trabajo: Establecer el área de distribución de las cortezas caoliníticas desarrolladas sobre los gabros en Cayo Guam y caracterizar por difracción de rayos X y otros métodos la composición mineralógica de la corteza de intemperismo lo que permitirá establecer posible usos de esa materia prima.

Hipótesis: Si se desarrollan trabajos de campo, se estudia el corte laterítico-arcilloso formado sobre los gabros alterados en la región de Cayo Guam y se establece la composición mineralógica de los materiales presentes en los diferentes horizontes se podrá realizar una evaluación preliminar de un recurso muy poco estudiado en la región de Moa.

CAPITULO I: CARACTERISTICAS FISICO GEOGRAFICAS DE LA REGION DE ESTUDIO.

I.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro del municipio Moa, el cual se ubica hacia el noreste de la provincia Holguín, limitando al norte con el Océano

Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, por el este con el municipio de Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País (Anexo No. 1). La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua – Baracoa, por lo que el relieve es predominante montañoso, principalmente hacia el sur donde es más accidentado en la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa, influenciado, además, por la acción del hombre, que ha sido causante de su transformación, por la necesidad del laboreo minero y de las construcciones de obras económicas y sociales, para lo cual se ha tenido que realizar grandes movimientos de tierra. Según el sistema de Lambert el área se localiza entre las coordenadas:

X_1 : 700.000 – X_2 : 709.000

Y_1 : 206.000 – Y_2 : 220.000

I.2. CLIMA.

El clima es tropical, este se ve influenciado por la orografía. Las barreras montañosas del grupo Sagua- Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste, los cuales provocan la ocurrencia de abundantes lluvias en la parte norte del municipio Moa.

I.2.1. PRECIPITACIONES ATMOSFERICAS.

El comportamiento de las precipitaciones en la región de Moa no coincide con las del resto del territorio nacional, los mayores promedios anuales se reportan desde noviembre hasta febrero considerado para Cuba como periodo seco, siendo en Moa la época de mayores precipitaciones con valores de 2300 – 2600 mm y más. En el periodo lluvioso cubano ocurre lo contrario, en el territorio es considerada etapa de seca con valores de las precipitaciones entre 1600 y 1800 mm de lluvia. En general se puede plantear que existen dos máximas, una principal entre los meses de octubre a enero y una secundaria en el mes de mayo. Para las mínimas, la principal ocurre en el periodo de marzo a abril y la secundaria entre junio y septiembre.

Según los datos obtenidos por los pluviómetros ubicados en los límites de la cuenca del río Moa, se conoce que el promedio histórico de precipitación anual para la misma es de unos 1950 mm, correspondiendo los periodos más lluviosos a Noviembre, Octubre y Mayo con 234.90 y 147.40 mm respectivamente.

I.2.2. VIENTOS.

El régimen de este factor meteorológico en la región está conformado por vientos de moderada intensidad, casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón subtropical oceánico de los Azores – Bermudas, provocando que el mismo en superficie tenga una dirección Noreste – Este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que la sur es la más notable, con un 37, 41%, seguido por los vientos de sentido Norte – Este con 32,52%, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10%, siendo la dirección Oeste la de menor ocurrencia, con un 0,41%. La velocidad mínima posible del viento para un periodo de 50 años de observación es igual a 43m/s para el sector marítimo mientras que para el costero se reduce y no alcanza los 20m/s.

I.2.3. TEMPERATURA DEL AIRE.

La temperatura media anual del aire es aproximadamente 27°C, en el verano se alcanzan valores de 30°C hasta 32°C y en invierno de 22°C a 26 °C.

I.2.4. HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, incluyendo en este aspecto a las precipitaciones, las que son abundantes en todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se ubican de noviembre-abril, alcanzándose las máximas de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano - invierno. La humedad relativa media más alta se alcanza en el horario de la mañana (7:30AM) y es del 90 al 95% y la más baja ocurre en el horario de la tarde (1:30PM) siendo de 70 al 75%.

I.2.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

Durante el invierno se producen las más altas presiones, disminuyendo éstas hasta alcanzar las mínimas en los meses de mayo a octubre. La presión media

anual es de 1017.3 hP, siendo la media máxima mensual de 1022.2 hP en el mes de septiembre.

I.2.6. HIDROGRAFIA.

La abundancia de precipitaciones, las cuales ocurren prácticamente durante todo el año conjugado con las características del relieve y del clima, favorece la existencia de una red hidrográfica que corre de sur a norte. La misma es de tipo dendrítica, pudiéndose observar sin embargo algunos casos correspondientes a una red del tipo subparalela.

La región cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan de este a oeste: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas y Aserrío, los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en el océano Atlántico formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación. (Anexo No. 2).

Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan no pocos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Generalmente sobrepasan los 1.5 m/s de velocidad, los gastos oscilan entre 100 y 400 L/s, en periodo de estiaje y hasta más de 300 m³/s durante avenidas en períodos húmedos.

Se puede decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, cuando los ríos se alimentan solamente de aguas subterráneas, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvias máximas, la cual está comprendida de octubre a enero.

Producto de que los ríos anteriormente mencionados conforman las reservas naturales del municipio, los autores de esta investigación consideran necesario, dar una breve reseña de sus características generales.

❖ *Río Cayo Guam.*

Tiene su origen en la cota 820 m y desemboca en el océano Atlántico, presenta un área de alimentación de 57.71 km². Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas; en la temporada de seca los gastos medios son de 0.4 a 0.7 m³/s. y en la de lluvia se han manejado valores que pueden llegar hasta 4 m³/s.

❖ *Río Quesigua.*

Su origen difiere del anterior, este se encuentra ubicado en la cota 420 m, desemboca en el océano Atlántico, el área de alimentación alcanza los 26.7 km². En época de seca los gastos medios son de 0.3 a 0.5 m³/s., experimentando en tiempo de lluvia una ligera variación, presentando además gastos medios que oscilan entre 1 - 2 m³/s, en determinados periodos.

❖ *Río Yagrumaje.*

Situado al oeste del yacimiento Punta Gorda, su formación parte de la cota 740 m, desembocando en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 13 100 m., presentando una cuenca con un área de aproximadamente 14.8 km²; el mismo tiene un gasto medio de 0.58 m³/seg, en periodo de estiaje.

❖ *Río Moa.*

Tiene su origen a mayor altura, correspondiéndose con la cota 950 m, desemboca en la Bahía de Moa, presenta 21 km de extensión y corre en dirección noroeste - noreste. Este se alimenta de los ríos Cabaña, Los Lirios, además de arroyos y cañadas que provienen de regiones montañosas. Al llegar a la zona de pie de monte puede constatarse la formación de terrazas, sus orillas son abruptas y de erosión en las partes montañosas, mientras que en las partes bajas, que coinciden con las zonas de terrazas, son llanas y acumulativas; cabe destacar que su cauce ha experimentado la formación de numerosos meandros. Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas, siendo el caudal medio en periodo de seca de 4m³/s, aumentando considerablemente en la estación de lluvia, alcanzando valores medios de hasta 20 m³/s y muy superiores en periodos de avenidas.

❖ *Río Cabaña.*

Su formación parte de la cota 320 m, se une al río Moa y al llegar a la zona de pie de monte forma terrazas y presenta numerosos meandros, sus orillas son

abruptas y de erosión en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. En las terrazas éstas alcanzan más de 3 m de margen derecho y menos de medio metro de margen izquierdo. Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas.

❖ *Río Los Lirios.*

Tiene su origen en la cota 380 m, constituye una fuente de alimentación del río Moa, siendo su valle estrecho con la presencia de pendientes suaves. Suele tener por lo general un gasto de 0.14 m³/s.

I.3. VEGETACION.

En la región se desarrollan siete formaciones vegetales naturales que ocupan alrededor del 90 % del área de estudio, entre las cuales se pueden destacar el bosque tropical ombrofilo submontano, bosque tropical ambrofilode de árboles latifolios y aciculifolios, bosque tropical ambrofilo aluvial, semipeavirente tropical xeromorfo espinoso, matorral tropical xenomorfo subespinoso, entre otros.

I.3.1. FLORA Y FAUNA.

❖ *Fauna.*

La fauna del municipio es rica y diversa, presentándose heterogeneidad y abundancia de especies raras con características peculiares desde las pequeñas Microrrisas hasta el Cocosí, además de poder contar con la vistosa Cotorra, la Cartacuba, el Ruiseñor, el Catey, el Zunzún, el Murciélago, el Colibrí, entre otros que corresponden a los grupos característicos de muchos bosques de nuestro país.

Refiriéndonos a la fauna edáfica, se puede señalar que su densidad y abundancia se encuentra en las áreas de bosques bajos, principalmente compuestos por pinos. Los ácaros y caémolos son los grupos más abundantes, la diversidad de especies es mayor en áreas con alguna vegetación en comparación a la de suelos desnudos, esto concuerda con lo observado por algunos autores en cuanto a que la abundancia y diversidad de la fauna depende de la diversidad y riqueza de las especies de vegetación.

❖ *Flora.*

En el municipio de Moa se tiene una situación particular, siendo la vegetación del mismo muy característica y particular, a continuación se procede a dar una explicación mas detallada. Los suelos sobre los cuales yace la flora son generados a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas, correspondientes al grupo de las rocas ígneas, los mismos presentan altos contenidos de Níquel, Cobalto, Hierro entre otros metales pesados apareciendo también elevadas concentraciones de Magnesio, mientras que existe un déficit de Calcio, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, en la cual se encuentran pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías. La vegetación que estos suelos sustentan se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollados, predominando el *pinus cubensis* y plantas latifodias, ellas endémicas de la región. Debe destacarse que los pinares presentan hojas en forma de agujas con alturas que oscilan entre 20 y 30 m, con una cobertura que constituye entre el 80 y el 90 % de la superficie. Entre los principales exponentes presentes en la región, se incluyen los siguientes.

- *Pinus Cubensis*.
- *Jacarandá Arbóreo* (Abey, Framboyán azul).
- *Clusia Rosea* (Copey).
- *Cacaloba Shafan* (Uvilla).
- *Euphorbia Helenae* (Jazmín del Pinar).
- *Bactris Cubensis* (Pajua).
- *Arthrostylidium ssp* (Tibisí).

Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y la ecología por constituir una flora generadora de suelo. Además se pueden observar ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de selvas lluviosas, es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40 m de altura, se implanta sobre cortezas lateríticas. A continuación se destacan estas especies.

- *Carapas Guianensis* (Najesí).
- *Manilkara Albescens* (Acana).

- *Hibiscus Elactus* (Majagua Azul).
- *Calphillum Utole* (Ocuje Colorado).
- *Ocatea Cuneata* (Canelón).
- *Hipholis Jubilla* (Jubilla).
- *Hidymopanax Morototoni* (Yagruma Macho).
- *Cyathea Arbórea* (Helecho Arborescente).

También se desarrolla en laderas de arroyos y cañadas, una especie de camodaría latifolia, abundan los helechos en todas sus variantes, así como epifitas de orquídeas y bromeliáceas. Estos bosques retienen la erosión y favorecen la conservación de las fuentes de agua.

La región de estudio, comprendida entre las coordenadas anteriormente dadas y que representa un importante sector del municipio de Moa, constituye desde el punto de vista geológico y económico, un área de marcado interés, por la presencia de uno de los mayores yacimientos de Níquel del mundo, asociados a las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas desarrolladas sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas del macizo ofiolítico del nordeste de Cuba Oriental. Conjuntamente con los yacimientos niquelíferos se encuentran presentes otras manifestaciones minerales como las zeolitas, cromitas refractarias y otras materias primas no metálicas que hacen que la región sea una de las más ricas del país justificándose el desarrollo minero metalúrgico de la misma.

I.4. CARACTERISTICAS ECONOMICAS Y SOCIALES DEL TERRITORIO.

Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no sólo por sus riquezas minerales como ya se dijo anteriormente, sino además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de Níquel en producción (Cmte Pedro Soto Alba y la Cmte Ernesto Ché Guevara) y una en construcción (Las Camariocas). Este renglón constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias metalúrgicas, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, como son la Empresa Mecánica del Níquel, el Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), entre otras.

Además de los yacimientos lateríticos, existen los yacimientos de cromo refractario, clasificados como el mejor de su tipo en el territorio cubano, los

cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey, donde una parte del mineral extraído se procesa en la planta de beneficio de Cayo Guam. Los gabroides y ultramafitas presentes en la región, pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la construcción. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región como: el establecimiento de la Empresa Geólogo – Minera, la EMA, la presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo y otras de apoyo social. La agricultura está poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola, para no depender de otros municipios y provincias. Existe también la explotación de recursos forestales que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante en la economía. La actividad pesquera existente está poco desarrollada. Actualmente el municipio cuenta con las vías de comunicación necesarias para el desarrollo del mismo. Fundamentalmente se destacan las carreteras que unen los municipios de Moa, Sagua de Tánamo y continúa hasta Holguín, capital provincial con su consiguiente extensa red de carreteras y caminos aledaños.

Se disfruta de los servicios de un aeropuerto nacional, mediante el cual se puede acudir rápidamente a diferentes provincias de nuestro país entre las que se encuentran Santiago de Cuba, Holguín, Bayamo, Baracoa, Ciudad de la Habana, entre otras.

Se ha desarrollado la actividad marítima y portuaria, esto se debe a que el municipio cuenta con un puerto habilitado a tales efectos, que permite exportar e importar el mineral procesado, así como introducir la materia prima necesaria para la rama minero – metalúrgica que es la que se desarrolla con mayor perspectiva.

Además en Moa se implementó una novedosa red telefónica y una estación postal telegráfica que asegura la rápida comunicación con las demás provincias del país y con el extranjero. La población en el territorio a partir del año 1973 ha crecido considerablemente alcanzando valores de aproximadamente 76 000 habitantes, fundamentado por la necesidad de mano de obra que requiere el desarrollo minero – industrial. Existen dos hospitales, dos hoteles, instituciones para la enseñanza primaria, media y universitaria, una terminal de ómnibus y un puerto para el embarque de los

productos obtenidos en las empresas de Níquel y las plantas beneficiadoras de Cromo. La ciudad de Moa, cabecera de municipio, cuenta además con red de acueductos que tiene como fuente de abasto un sistema de pozos en terrazas del río Moa y agua superficial de la Presa Nuevo Mundo con planta de tratamiento que abastece tanto a industrias como parte de la población. Cuenta también con red de alcantarillado, con red de colectores y lagunas de oxidación.

CAPÍTULO II. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL.

II.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES.

Para conformar todo trabajo investigativo referente a la especialidad de Geología referida al contexto geológico regional y del área en particular de los trabajos que se desarrollarán con posterioridad, constituyen un apoyo vital, debido a que repercute de forma directa en la obtención e interpretación de los resultados.

Por esto se hace necesario abordar acerca de este tópico para que se tenga una visión más amplia de los procesos y fenómenos que han tenido y están teniendo lugar, lo cual incide evidentemente en el marco hidrogeológico que es el objetivo fundamental del presente trabajo.

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 (Mapa Geológico).ver FIGURA 18

II.2 ESTRATIGRAFÍA.

En 1989, F. Quinta en su tesis Doctoral, 1993 (17), realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales. En la región aparecen cuatro, las cuales se mencionan a continuación:

1. **(AEF) del Arco Insular Volcánico del Cretácico.**
2. **(AEF) del Complejo Ofiolítico.**
3. **(AEF) del Arco Insular Volcánico del Paleógeno.**
4. **(AEF) de la Neoplataforma.**

Para la realización de la propuesta de su clasificación, 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.

A continuación se realiza una descripción de las Asociaciones Estructuro-Formacionales (AEF) que se desarrollan.

♣ **AEF del Arco Insular Volcánico del Cretácico.**

En la región existe un amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógenas-sedimentarias del Cretácico Inferior pre-Aptiano-Cretácico Superior indiferenciado. Probablemente pre-Coniaciano. Estas secuencias compuestas por tobas de diferentes tipos, basaltos, basaltos-andesitas y otras rocas. Esta AEF está bien representada en la región por la Formación Santo Domingo.

Formación Santo Domingo:

Única representante del Arco Volcánico del Cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas, conglomerados, aparición de pequeños pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluye además en esta **Fm** las calizas pizarrosas bien estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del 50% de la Fm, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades ristolovitroclásticas y vitroclásticas. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición dacítica y andesítica, muy alterados. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano-Turoniano.

♣ **AEF del Complejo Ofiolítico.**

Las rocas que predominan son las ultramáficas que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a garbos y diabasas, que en su conjunto forman la Asociación Ofiolítica.

Los contactos observados con las estructuras circundantes son tectónicos. Estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, estando afectadas por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

En Cuba, así como en el resto del mundo las ofiolitas constituyen parte de la corteza oceánica y participan en el emplazamiento de las rocas ultramáficas en estado frío, conocido en la literatura como protución. Los complejos que se mencionan a continuación son representativos de las secuencias pertenecientes a la asociación ofiolítica.

Las secuencias de la asociación ofiolítica se encuentran representadas por los siguientes complejos:

1. **Complejo Ultramáfico.**
2. **Complejo Cumulativo Máfico.**
3. **Complejo de Diques paralelos o Diabasas.**

Complejo Ultramáfico: Composición heterogénea, con gran predominio de las harzburgitas y en menor grado dunitas; además se han descrito dunitas plagioclásicas, wherlitas, iherzolitas y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepin, 1984; Fonseca et al, 1989). Lo que estos autores denominan dunitas plagioclásicas pudieran considerarse troctolitas. La mayoría de los trabajos diferencian en el complejo ultramáfico niveles de acumulado. Proenza (1997), considera todas las rocas ultramáficas presentes, como restos litosféricos de mantos, aunque según otros especialistas (Quintas y A. Rodríguez V) consideran que solo corresponden al manto la zona de tectonitas, puesto que las rocas del complejo acumulativo, pertenecen a la corteza. En el área las harzburgitas son las rocas dentro de la Asociación Ofiolítica, mayormente distribuidas, cubiertas por una potente corteza laterítica, todas estas rocas poseen diferente grado de serpentinización.

Complejo Acumulativo Máfico: Está representado de abajo hacia arriba por troctólitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabroides tienen una estructura en forma de grandes bloques, aunque en la mayoría de los casos los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros: bandeados y masivos, en la parte alta, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

Complejo de Diques paralelos o Diabasas: No aparece como se define clásicamente en forma de diques, lo cual se debe a su relación con la complejidad tectónica de la región. Las diabasas aparecen generalmente en forma de bloques tectónicos incluido en los gabroides, sobre todo en la parte inferior del complejo acumulativo.

♣ **AEF del Arco Insular Volcánico del Paleógeno.**

Está representada en los flancos septentrionales y meridionales de la Sierra Cristal; así como en la cuenca de Sagua de Tánamo y otras áreas donde aparece la formación que a continuación se describe.

Formación Sabaneta:

Perteneciente a la AEF del Arco de Isla Volcánico del Paleógeno (Neoarco), Sub-AEF de Retroarco, la misma está constituida por rocas vulcanógenas- sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, argilitas, margas, silicitas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos, ocasionalmente con pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas, así como tobas cloritizadas.

Las tobas son vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado bentonitizadas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación, como se observa en Farallones de Moa, puede destacarse además que la estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

♣ **AEF de la Neoplateforma.**

Está constituida por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre las rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por la formación Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por yacencia monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

Formación Majimiana:

Está constituida por calizas órgano-detríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de la misma experimentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, contiene una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asociar su edad al Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

II.3 TECTÓNICA.

La tectónica de la región es compleja, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos, así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracterizan la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgieron en un ambiente de compresión máxima.

En contraposición a esto los eventos tectónicos más jóvenes surgieron en lo fundamental, bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques horsticos y gravens que enmascararon las estructuras más antiguas. Por otra parte los movimientos de traslación horizontal que provocan el desplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba Oriental fueron de gran magnitud, principalmente para las serpentinas que forman una unidad alcotana.

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas. En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las meso estructuras plegadas dada la monotonía litológica que presenta, no obstante los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y vulcanógenas) existen tres direcciones principales de plegamiento:

- 1. Noreste - Sureste.**
- 2. Noroeste - Sureste.**
- 3. Norte - Sur.**

La tectónica disyuntiva es de igual complejidad, existe un sistema de mantos tectónicos cuyo rumbo coincide con la dirección general del plegamiento de las secuencias antiguas y con la cual se asocian fallas inversas de ángulos abruptos y grietas de cizallamiento

- **Sistema de fallas en dirección Oeste - Noreste, Este - Suroeste.**
- **Sistema de fallas en dirección Norte - Noroeste, Sur - Suroeste**
- **Sistema de fallas más jóvenes en dirección Este - Oeste.**

Además, estos sistemas fundamentales afectan intensamente las rocas serpentinizadas, surgidas durante el emplazamiento que provocó la división en bloques y favoreció el desarrollo de la corteza de intemperismo.

II.4 MAGMATISMO.

El magmatismo en la región está ampliamente desarrollado, siendo las rocas ultrabásicas el máximo exponente predominando las harzburgitas y de forma subordinada las dunitas, iherzolitas y piroxenitas con diferentes intensidades de serpentización 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, constituyendo 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.

II.5 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS LOCAL.

• Yacimiento “Cayo Guam”

Localizado en el angosto valle del río “Cayo Guan”, el campo menífero del mismo nombre, está integrado además por el yacimiento “Cromita” y pequeñas manifestaciones tales como “Narcizo”, “Las Deltas” y otras de menor ortancia. En la

década de los cuarenta el área fue estudiada por Thayer (1942) y Guild y Albear (1947), años más tarde los yacimientos cromíferos se investigaron por Kenarev y Murashko (1963), Dzuberá (1974) y más recientemente por Fonseca, E. (1991), Guerra, C.V., (1995).

El yacimiento se localiza desde el punto de vista geológico en las litologías cumulativas ultramáficas muy próximas a los cúmulos máficos, etrológicamente las rocas ultramáficas están integradas por harzburgitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas y dunitas serpentinizadas. El complejo cumulativo gabroide está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas y noritas (Fonseca, E, 1991), (Guerra, C.V., 1995). En sentido general, las litologías ultramáficas se presentan estratificadas y la mayoría de los cuerpos minerales, en forma de lentes, son concordantes con las litologías encajantes. No obstante, los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías presentes así como a la mineralización cromífera, siendo los mismos más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos (Guild, P., 1947), Thayer, T.P., 1942) y (Muñoz Gómez, J. N., 1995). La mineralización cromífera está dada por dunitas y dunitas serpentinizadas las que localmente transicionan a dunitas enstatíticas y a harzburgitas serpentinizadas. Thayer (1942) y Guild (1947) habían coincidido en la presencia de texturas planas, destacando que las mismas son paralelas a la foliación de las peridotitas. La composición química de la mineralización cromífera es muy similar entre los cuerpos minerales, por lo que a consideración de Thayer (1942) y de Guild (1947) se trataba de un solo cuerpo lentiforme que fue cortado y desplazado por fallas.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

III.1 Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas de un corte artificial expuesto en el área de estudio en Cayo Guam, Fotos 1, 2 y 3, que está ubicado a 4 km de la carretera Moa Baracoa y al

lado de la planta de beneficio de la empresa Cromo-Moa. El corte se localiza a unos 200 m aproximadamente con coordenadas X=217940 y Y=706600). En el corte se aprecian cuatro horizontes, de cada uno de ellos fue tomada una muestra lo más representativa posible. Además se tomó una muestra de Goethita. En la tabla 1 se dan las características megascópicas de las muestras.

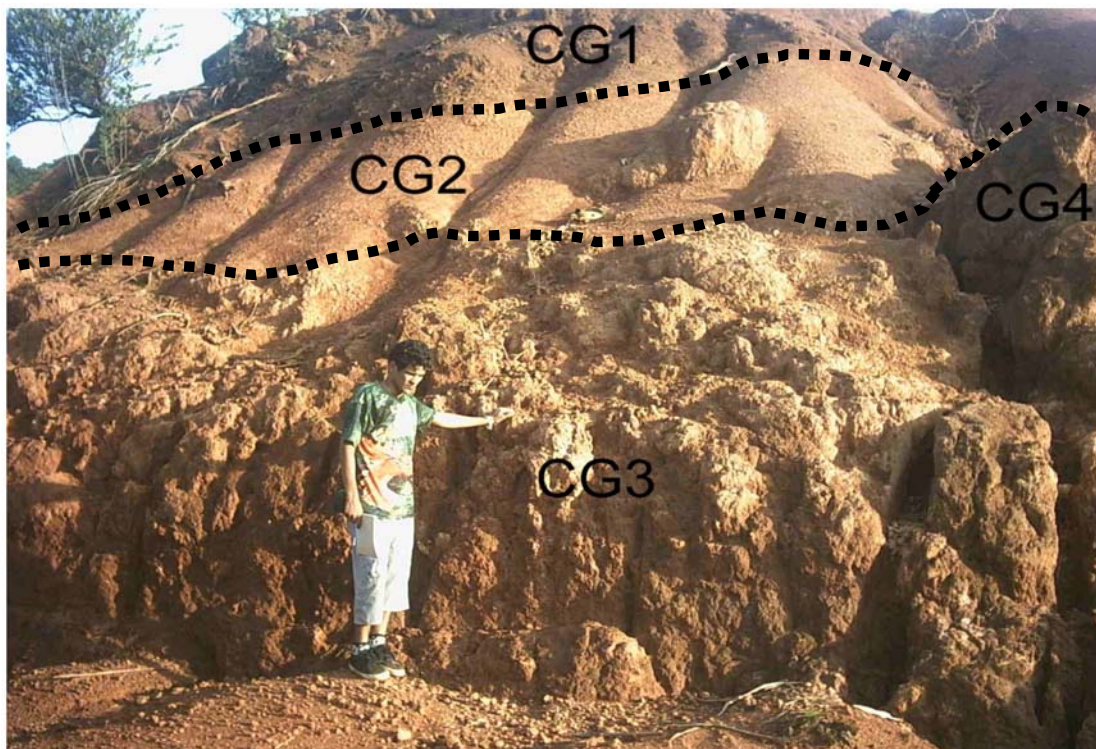


Foto 1. Corte de donde fueron tomadas las muestras CG-1, CG-2, CG-3 y CG-4.



Foto 2. Muestra CG-5



Foto 3. Muestra de Goethita

Tabla 1 Características megascópica de las muestras

Muestras	Características
CG-1	Material oscuro con perdigones alterado por la meteorización
CG-2	Material pardo rojizo alterado

CG-3	Material de color rojizo alterado plástico
CG-4	Material de color pardo amarillento plástico
CG-5	Material color blanco y aspectos terroso-arcilloso plástico

III.2 Separación granulométrica

Para realizar este trabajo se tomaron 10 g de cada muestra que fueron secadas en la estufa a 110 °C durante una hora. Posteriormente las muestras fueron colocadas en un erlenmeyer con agua destilada y se les colocó en un agitador tipo THYS 2 durante 12 horas.

Luego se realizó el tamizado por vía húmeda con los siguientes tamices: 0,149 y 0,071 mm, obteniéndose tres fracciones por cada muestra: +0,149 mm; -0,149 +0,071 mm y -0,071 mm.

Las fracciones obtenidas fueron secadas a temperatura ambiente y finalmente se pesó cada fracción para obtener los histogramas.

III.3 Análisis de difracción de rayos X

Este método de identificación cualitativa de compuestos cristalinos puede proporcionar datos que serían difíciles sino imposibles de obtener a partir del empleo de otros métodos con igual fin. En el desarrollo de este trabajo se utilizó la difracción de los rayos X para determinar la posible presencia de una o varias fases minerales en las muestras tomadas antes y después de las separaciones granulométricas.

Para la realización de los análisis se fijaron las condiciones de registro siguientes en el difractómetro HZG-4 de fabricación alemana, instalado en el ISMM:

- Tipo de radiación, CoK_{α} ,
- Voltaje = 40k_v, Amperaje = 30 mA
- Rango angular de medición (2θ) de 5 a 80
- Hendiduras, de divergencia = 0,79 mm; del detector = 0,79 mm
- Velocidad de goniómetro = 2°/minuto
- Porta muestra de aluminio.

III.4 Análisis Químico

Los análisis químicos se realizaron por el método de fluorescencia de RX empleando un equipo Phillips, marca Pw 1480 espectrómetro de rayos X, según las normas vigentes en la empresa Moa Ni S.A.-PSA para los siguientes elementos: Al, Fe, SiO₂ y Mg y por el método de espectrofotometría de absorción atómica para los elementos: CaO y K₂O.

III.5 Determinación del contenido de agua de la muestra

Para la determinación de la humedad se utilizó una cápsula de porcelana llevada a peso constante. La cápsula se pesó vacía (tara uno). Se pesaron 5 kg de la muestra, se colocaron en la cápsula y se pusieron en la estufa a 105°C durante cuatro horas. Posteriormente se puso en la secadora y se pesó, obteniéndose la tara tres. La masa de la cápsula más la muestra es la tara dos y con la siguiente fórmula se determina la humedad en %.

$$\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{\text{tara dos} - \text{tara tres}}{\text{masa inicial}} \times 100$$

III.6 Plasticidad

Limite inferior de plasticidad

El límite inferior de plasticidad marca la transición entre la consistencia plástica y la disgregable y es el contenido máximo de humedad en el cual el suelo puede manejarse sin deteriorar sus propiedades físicas de plasticidad.

Procedimiento:

Tamice de 15-20 g de suelo por un tamiz de 2 mm de abertura. Amase y forme cilindros de suelo, de 3 mm de diámetro, aproximadamente. Deslice con la mano sobre un vidrio el cilindro de suelo. En el momento que se produzca su resquebrajamiento, determine la humedad del suelo. Este valor representa el límite inferior de plasticidad.

Equipos y materiales

- Lámina de vidrio
- Balanza
- Estufa
- Cápsula de metal
- Tamiz de 2 mm

Cálculos

$$LIP = (PSH - PSS) / PSS \times 100$$

Donde: LIP: límite inferior de plasticidad

PSH: masa del suelo húmedo (g)

PSS: masa del suelo seco (g)

Forma de expresión de los resultados

Se expresa como porcentaje del contenido de humedad, de forma gravimétrica.

Límite superior de plasticidad

El límite superior de plasticidad es el contenido de humedad en el cual un suelo comienza a fluir bajo la acción de una fuerza aplicada.

Procedimiento

Tamice de 150-200 g de suelo y colóquelos en un vaso de precipitación, agréguele agua hasta obtener una masa fácilmente moldeable, removiendo constantemente la mezcla con un cuchillo. Posteriormente, coloque en el fondo de la copa del aparato "Casa Grande" una porción de la pasta de suelo, hasta que alcance un espesor de aproximadamente 1 cm, al mismo tiempo que se va alisando con el cuchillo la superficie de la muestra. Con el ranurador y en sentido longitudinal se corta en dos partes iguales la pasta de suelo, de tal manera que queden separadas aproximadamente 2 mm en el

fondo de la copa. Dé vuelta a la manilla del aparejo a una velocidad aproximada de dos revoluciones por segundo (golpes), hasta lograr que las dos porciones se unan. Si esto se logra después de un número de golpes (12-38), se procede a recoger el suelo y colocarlo en el recipiente metálico, se pesa y se traslada a una estufa (110 °C) hasta obtener el porcentaje de humedad del suelo (Figura 2). Repita el proceso hasta tener al menos uno o dos valores por encima o por debajo de 25 golpes. Si la muestra se une antes de los 12 golpes, se toma y se coloca nuevamente en el vaso de precipitado agregándole suelo. Si se une después de los 31 golpes se agrega agua.

Equipos y materiales

- Tamiz de 2 mm
- Cuchillo
- Aparejo mecánico "Casa Grande"
- Ranurador
- Cápsula de metal
- Balanza
- Estufa
- Vaso de precipitado

Cálculos

$$LSP = (PSH25 - PSS25)/PSS25$$

Donde: LSP: límite superior de plasticidad

PSH25: masa del suelo húmedo (g) a 25 golpes.

PSS25: masa del suelo seco (g) a 25 golpes.

Índice de plasticidad

Concepto

El índice de plasticidad es el porcentaje de agua gravimétrica en el suelo entre el límite superior e inferior de plasticidad.

Cálculos:

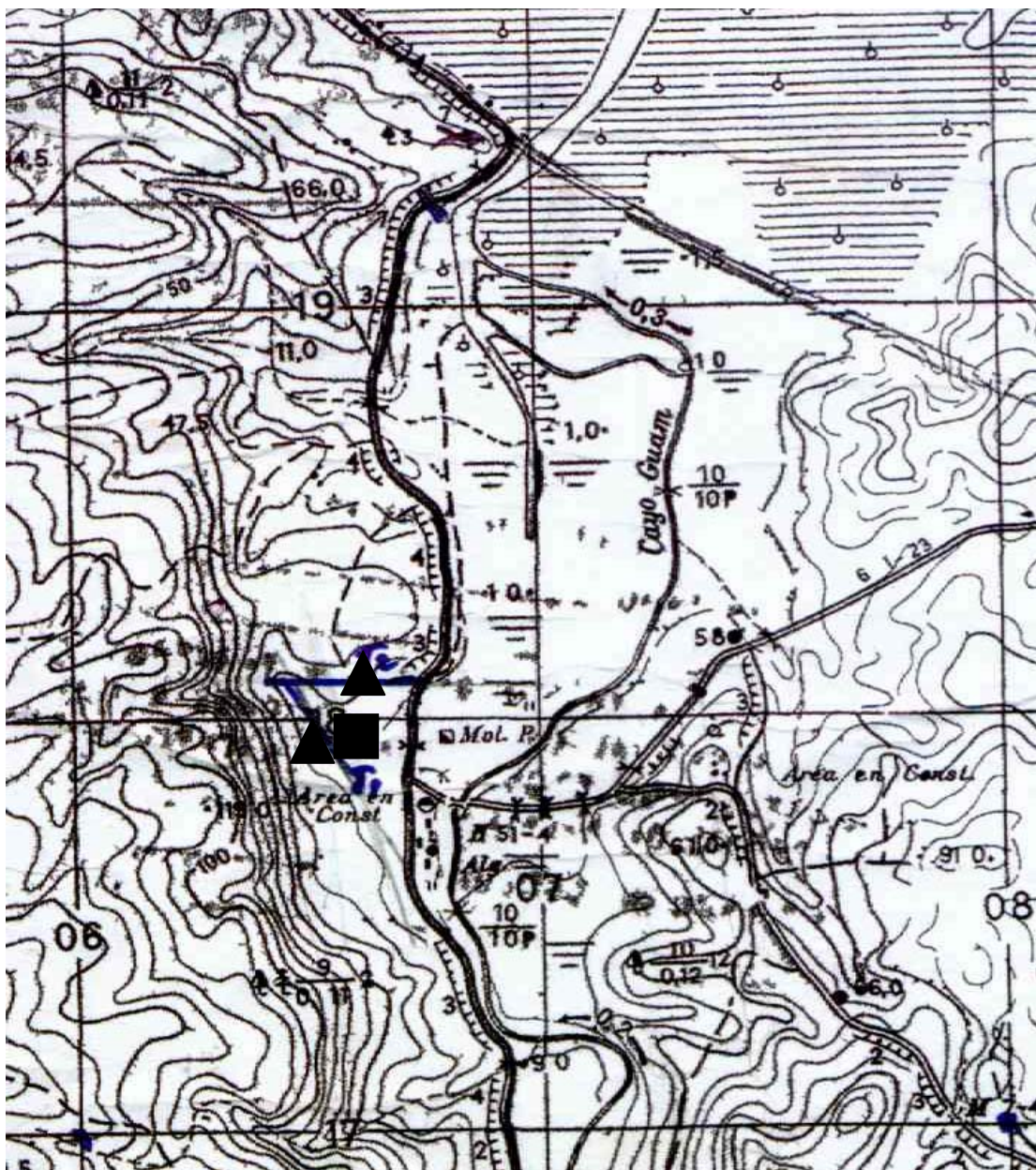
$$IP = LSP - LIP$$

Donde: IP: índice de plasticidad

LSP: límite superior de plasticidad

LIP: límite inferior de plasticidad

Mapa topográfico de la región de estudio Cayo Guam



Trinchera 1 y 2

CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

IV.1 Análisis de difracción de rayos X

Fueron analizadas por difracción rayos X, las muestras tomadas en el campo y los productos de su separación granulométrica de la zona de Cayo Guam. Para la

interpretación de los registros se utilizó el software Analyze, la interpretación de los difractogramas de los rayos X arrojó los siguientes resultados:

IV.1.1 Muestra CG-1 (muestra total).

El análisis del difractograma obtenido de esta muestra, sin separación granulométrica, (Figura 1), indica dos fases minerales presentes en la misma, donde la predominante es la gibbsita con un pico principal de $4,84 \text{ \AA}^\circ$, puede haber algo de hematita y en mucho menor medida, caolinita. Ver los datos reducidos en el Anexo 1.

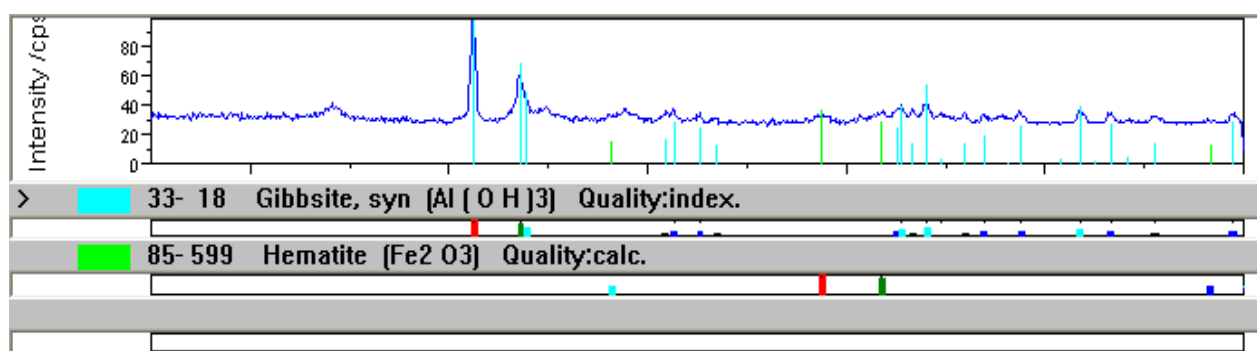
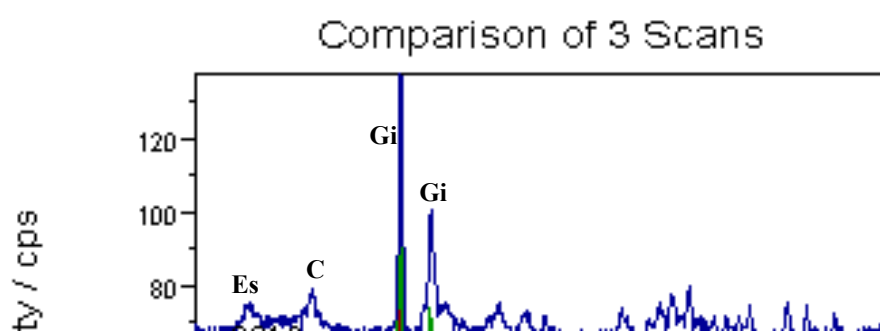


Figura 1. Difractograma de la muestra CG-1. (Pico principal $4,84 \text{ \AA}^\circ$)

Los análisis por difracción de rayos X para cada una de las fracciones granulométricas estudiadas de la muestra CG1 se muestran comparativamente en la Figura 2. Como se observa en las tres fracciones estudiadas (+ 0.149 mm correspondiente a la muestra denominada (CG1-1), -0.149 +0.071 mm (CG1-2) y -0.071 mm (CG1-3)) predomina la fase gibbsita (pico principal $4.84 \text{ \AA}^\circ$) y están presentes además caolinita y algo de goethita que predomina hacia la fracción mas gruesa. En la fracción CG1-3 hay un pico al inicio que posiblemente corresponda a una esmectita.



IV.1.2 Muestra CG-2 (muestra total).

El análisis de fase realizado a esta muestra, sin separación granulométrica, figura 3, dio como resultado la presencia de las fases Nacrita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) y/o caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), además hay gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$. En la muestra predomina el mineral nacrita. Estando presente también la gibbsita. Ver los datos reducidos en el Anexo 2.

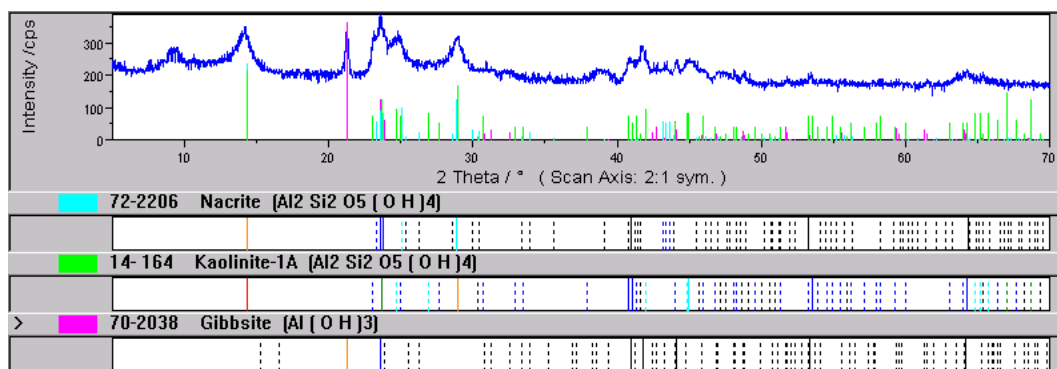


Figura 3. Difractograma de la muestra CG-2.

Los análisis de las tres fracciones granulométricas estudiados por difracción de rayos X de la muestra CG2 se muestran comparativamente en la figura 4, para las fracciones + 0.149 mm (CG2-1), -0.149 +0.071 mm (CG2-2) y -0.071 mm (CG2-3). Como se observa predomina la fase caolinita con bajo grado de ordenamiento según la data expuesta por Nemezc (1981) y está presente subordinadamente la fase gibbsita, la que prevalece en la fracción más gruesa. En las fracciones CG2-1 y CG2-3 puede haber además esmectita y/o illita.

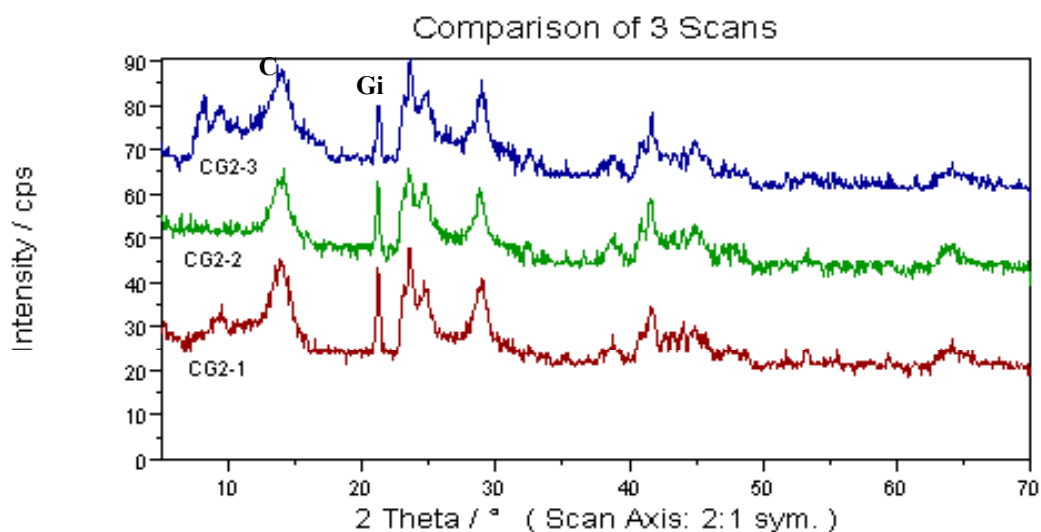


Figura 4. Comparación de los registros de las fracciones granulométricas de la muestra CG-2. Gi-Gibbsita. C-Caolinita.

IV.1.3 Muestra CG-3 (muestra total).

Según el registro de difracción de rayos X obtenido para esta muestra, sin separación granulométrica, se puede determinar que la fase mineral única presente es la gibbsita, figura 5. Ver los datos reducidos en el Anexo 3.

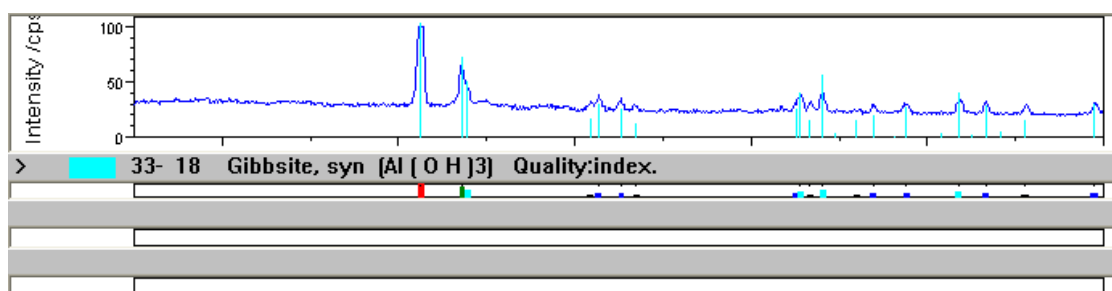


Figura 5. Difractograma de la muestra CG-3.

Los análisis de las tres fracciones granulométricas estudiados por difracción de rayos X de la muestra CG-3 se muestran comparativamente en la figura 6 para las tres

fracciones: + 0.149 mm (CG3-1), -0.149 +0.071 mm (CG3-2) y -0.071 mm (CG3-3). Como se puede apreciar en la fracción mas gruesa predomina la fase gibbsita, con poca caolinita. En la fracción mas fina se incrementa el contenido de caolinita y goethita y disminuye la gibbsita. En las muestras CG3-1 y CG3-3 puede haber esmectitas.

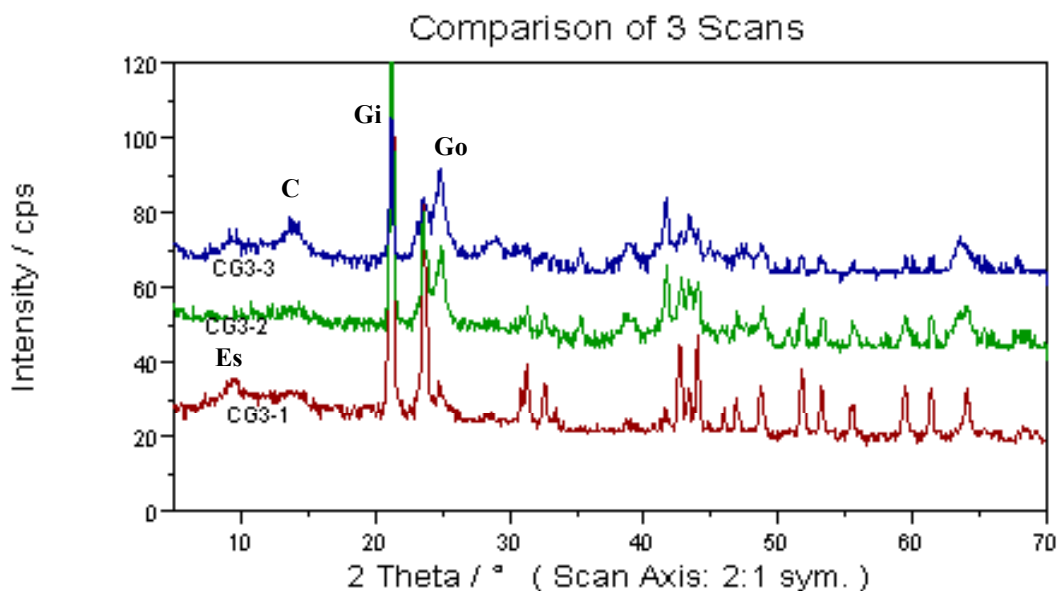
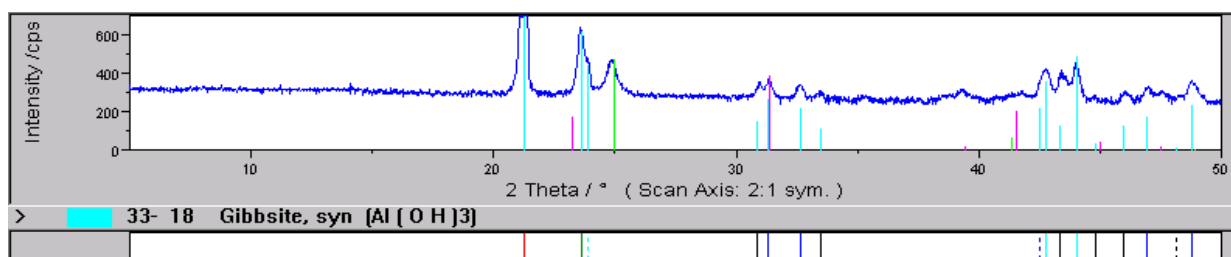


Figura 6. Comparación de los registros de las fracciones granulométricas de la muestra CG-3. Gi-Gibbsita, Go-Goethita, C-Caolinita, Es-esmectita.

IV.1.4 Muestra CG-4 (muestra total).

En esta muestra sin separación granulométrica, predomina la fase gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Puede estar presente goethita aunque responde a un solo pico intenso ($4,18^\circ$), Figura 7. Ver datos reducidos en el Anexo 4.



IV.1.5 Muestra CG-5 (muestra total).

En el difractograma de la muestra, sin separación granulométrica, se observa que predomina la fase Caolinita-Montmorillonita ($\text{NaO} \cdot 3\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_6 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$); figura 8. Ver datos reducidos en el Anexo 5.

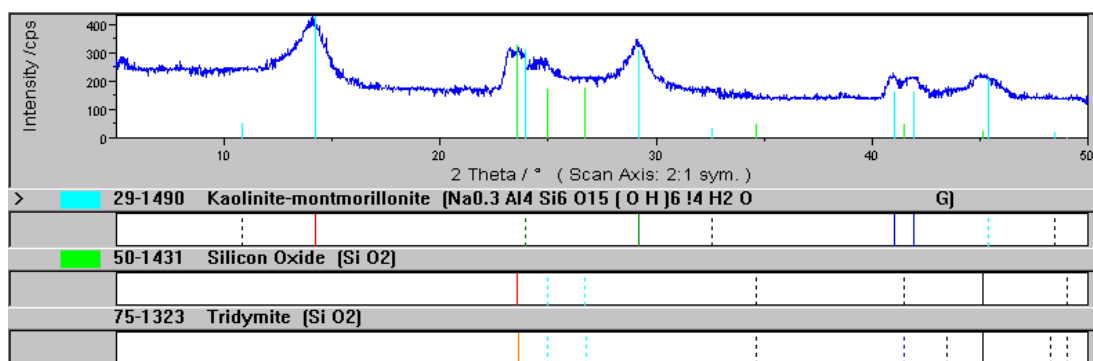


Figura 8. Difractograma de la muestra CG-5.

Los análisis por difracción de rayos X de las tres fracciones granulométricas estudiados: + 0.149 mm (CG5-1), -0.149 +0.071 mm (CG5-2) y -0.071 mm (CG5-3)) de la muestra CG5 se muestran comparativamente en la figura 9. Predomina el mineral caolinita con

bajo grado de cristalinidad, según Nemecz (1981), en las tres fracciones granulométricas.

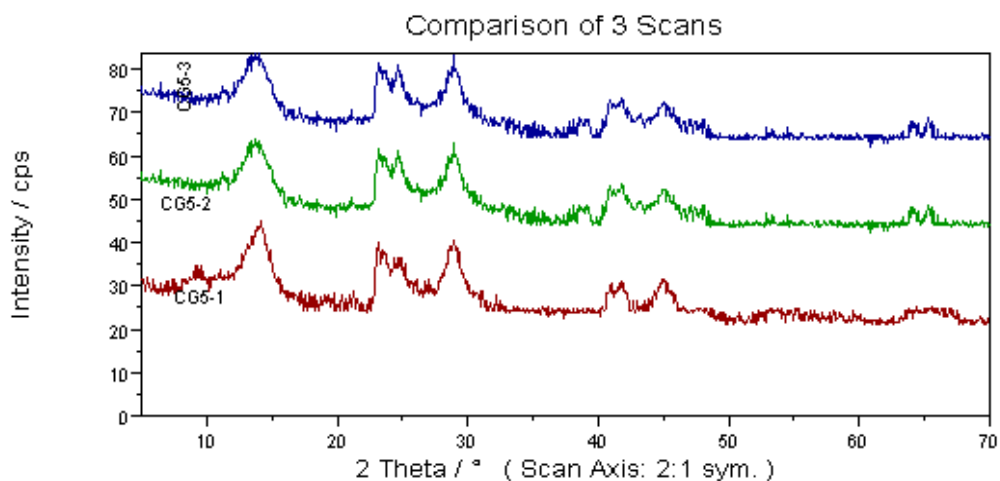


Figura 9 Comparación de los registros de las fracciones granulométricas de la muestra CG5.

El análisis de difracción por rayos X para una muestra de goethita tomada en la parte superior de la corteza laterítica de Cayo Guam (Foto) indica que además está presente la fase gibbsita y existe la posibilidad de que haya hematita y maghemita, figura 10.

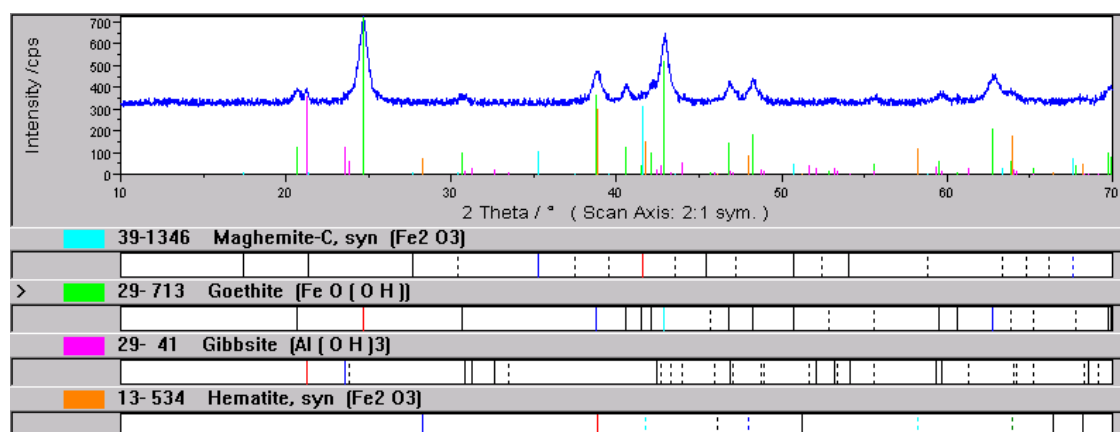


Figura 10 Difractograma de una muestra de goethita de la parte superior de la corteza laterítica.

IV.1.6 Muestra CG-6

Los análisis de las tres fracciones granulométricas estudiados por difracción de rayos X de la muestra CG6 se muestran comparativamente en la figura 11: + 0.149 mm (Caña-1), -0.149 +0.071 mm (Caña-2) y -0.071 mm (Caña-3). Las tres fracciones son ricas en caolinita.

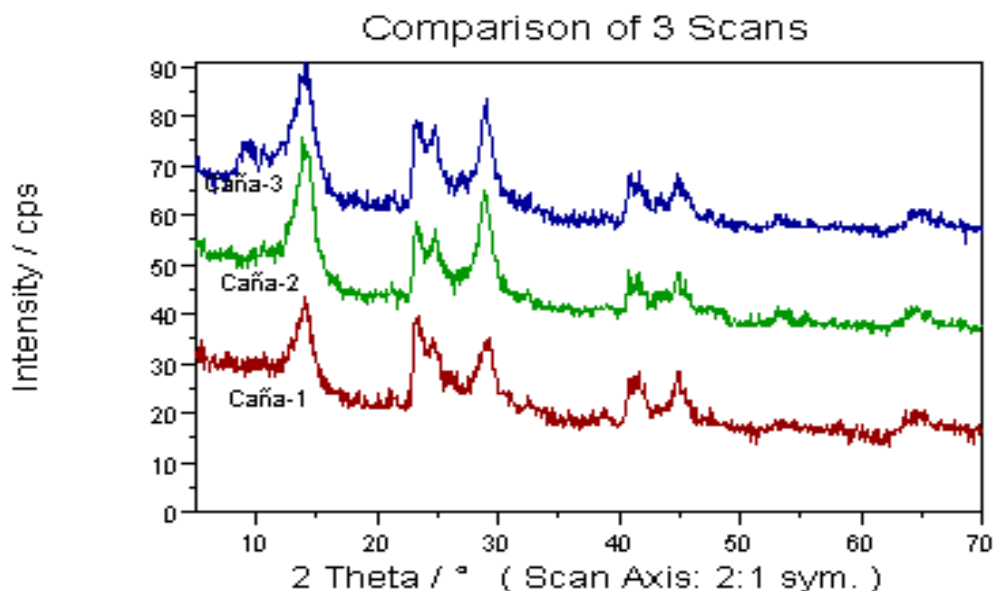


Figura 11. Comparación de los registros de las fracciones granulométricas para la muestra CG-6.

IV.2 Resultados de los análisis de separación granulométrica.

En la Tabla 1 se exponen los resultados del análisis de separación granulométrica realizado a las seis muestras de la zona de Cayo Guam con el fin de valorar las fracciones predominantes.

Tabla 2. Resultados de la separación granulométrica de las muestras en tres fracciones.

Fracción granulométrica	CG-1	CG-2	CG-3	CG-4	CG-5	CG-6
+0,149	3,3	1,4	4,3	2,6	2,5	0,9
-0,149+0,071	0,3	1,78	0,7	2,4	2,3	1,2
-0,071	6,3	6,13	4,4	4,2	4,2	7,2
Suma	9,9	9,31	9,4	9,2	9	9,3

IV.2.1 Resultado de la separación granulométrica de cada muestra.

En la muestra CG1, figura 12, la fracción -0.071mm ocupa el 63.63 % de la misma, la segunda fracción en importancia es la $+0.149\text{mm}$ que ocupa el 33.33 %. La fracción intermedia prácticamente no está representada en la muestra. Las dos fracciones predominantes de esta muestra son ricas en gibbsita.

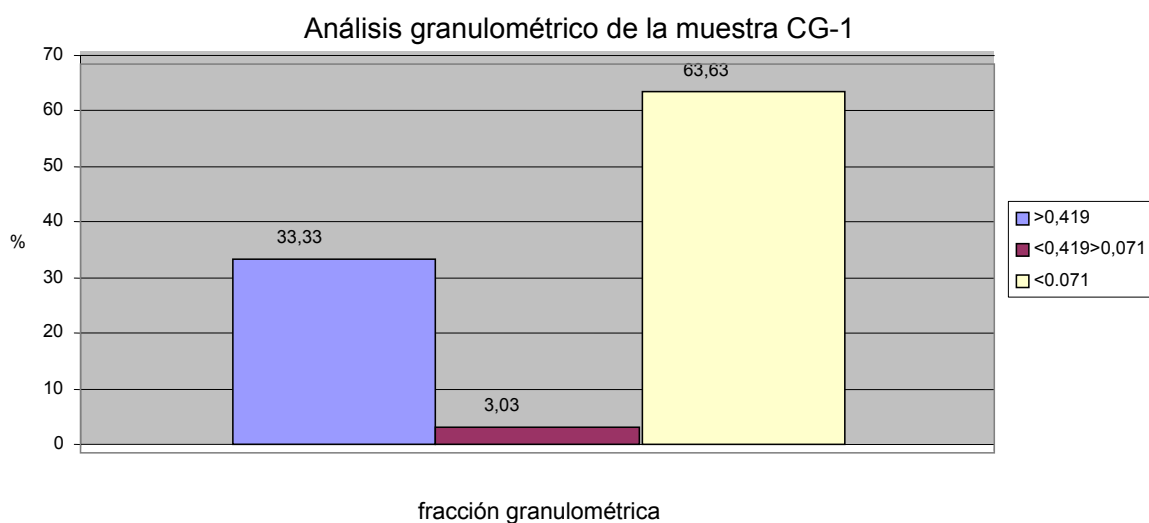
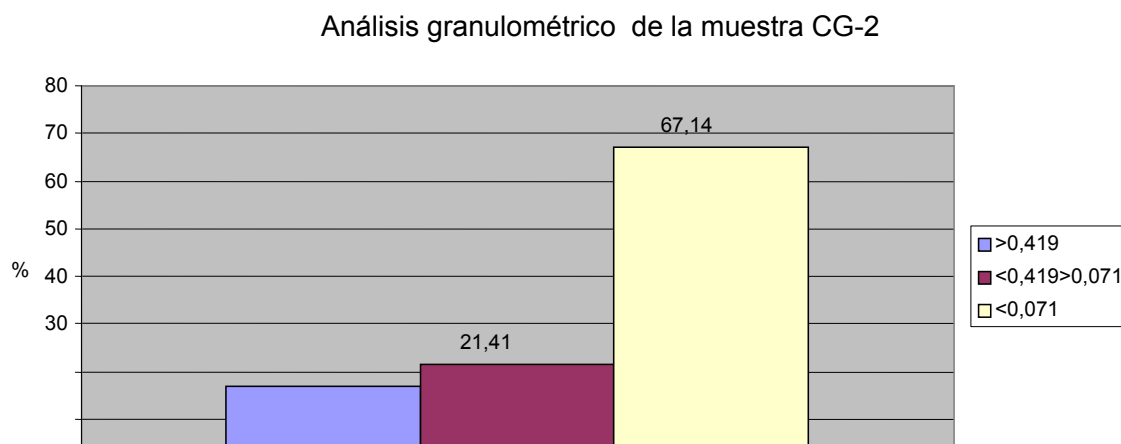
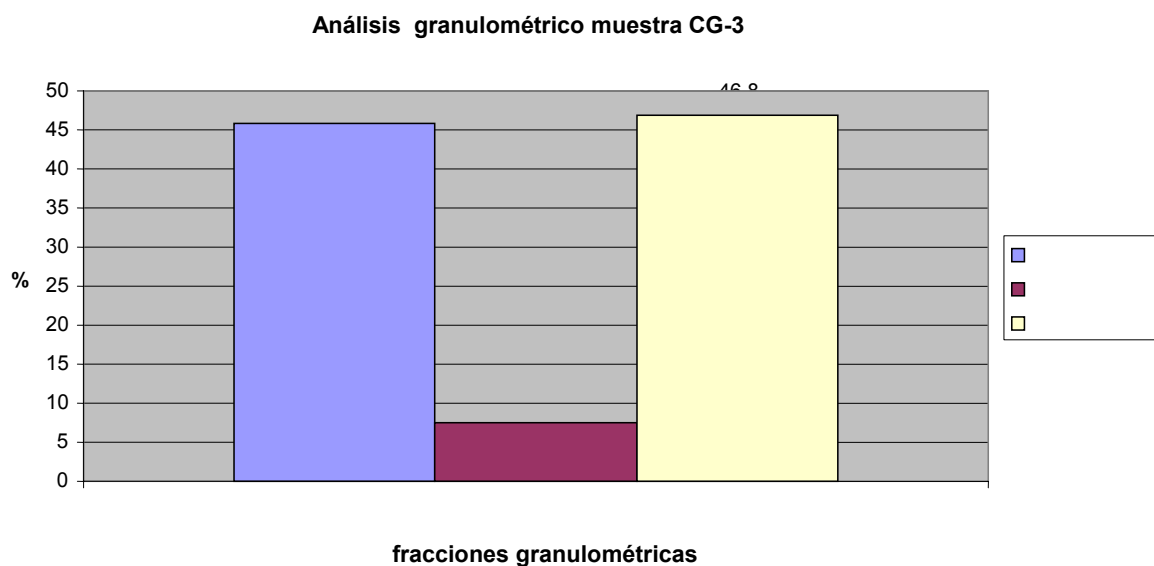


Figura 12. Histograma donde se representan las fracciones granulométricas de la muestra CG-1. La fracción predominante es la menor de 0,071 mm.

En la muestra CG2, figura 13, predomina la fracción -0.071 mm ocupando el 67.14 % de la misma, la que es rica en caolinita. Las otras dos fracciones $-0.149\text{mm} +0.071\text{mm}$ y $+0.149\text{mm}$ sólo representan el 21,42 y el 16.84 % de la muestra respectivamente y en ellas se incrementa el contenido de gibbsita, junto a la caolinita.



En la muestra CG-3 mostrada en la figura 14, la fracción -0.071mm ocupa el 46.8 % de la misma, la segunda fracción en importancia es la +0.149mm que ocupa 45.74 %, o sea prácticamente la misma proporción que la anterior. La fracción intermedia prácticamente no está representada en la muestra, al igual que ocurre en la muestra CG-1. Estas dos fracciones predominantes son ricas en gibbsita y tienen además goethita.



En la muestra CG-4, mostrada en la figura 15, la fracción -0.071mm ocupa el 45.65 % de la misma, la otras dos fracciones +0.149mm y -149mm+0.071mm tienen prácticamente la misma proporción con 28,26 y 26 .08% respectivamente. Esta muestra es rica en gibbsita.

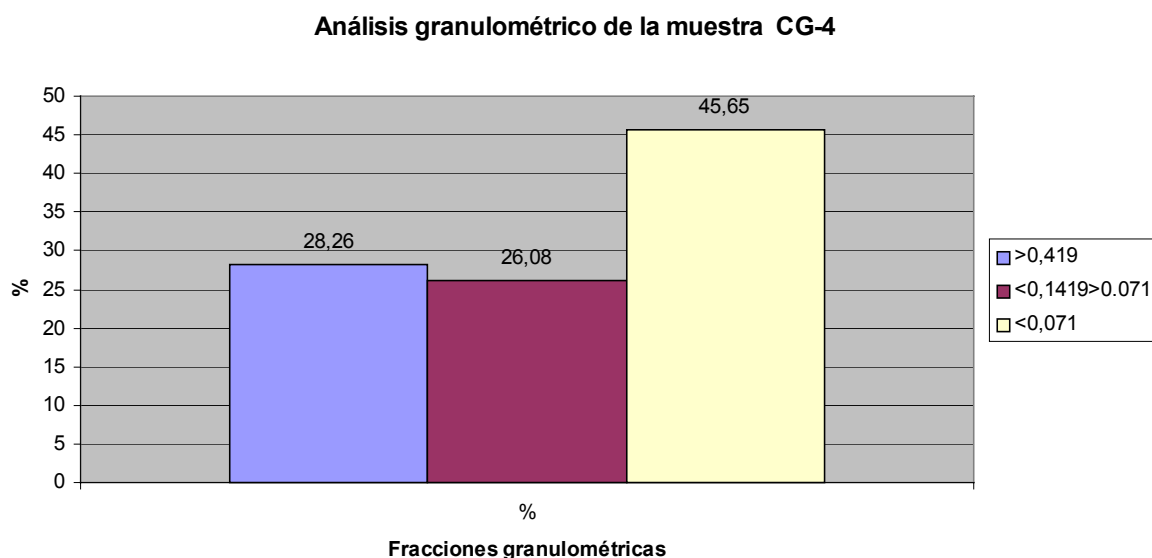
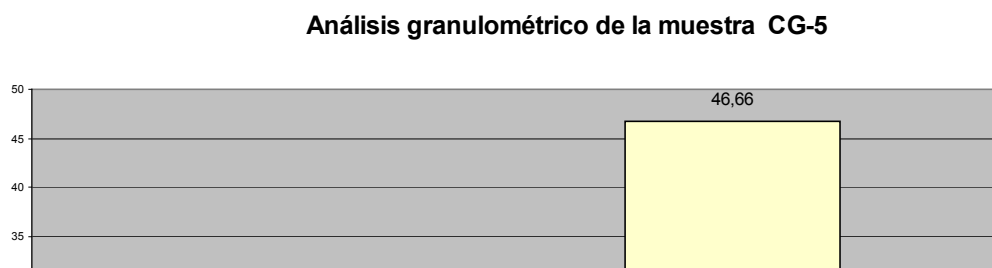


Figura 15. Histograma donde se representan las fracciones granulométricas de la muestra CG-4. La fracción predominante es la menor de 0,071 mm.

En la muestra CG-5, representada en la Figura 16, la fracción -0.071mm ocupa el 46.66 % de la misma, las otras dos fracciones +0.149mm y +0.149mm-0.071mm ocupan el 27.77 y el 26 .08% respectivamente de la muestra, por lo que tienen prácticamente la misma proporción. Todas las fracciones son ricas en caolinita.



En la muestra CG-6, representada en la figura 17, la fracción -0.071 mm ocupa el 77.41 % de la misma y es rica en caolinita, la fracción intermedia $-0.149\text{mm} + 0.071\text{mm}$ y la mayor $+0.149\text{mm}$ ocupan un bajo por ciento de la muestra con 12.9 y 9,67 % respectivamente.

Análisis granulométrico de la muestra CG-6

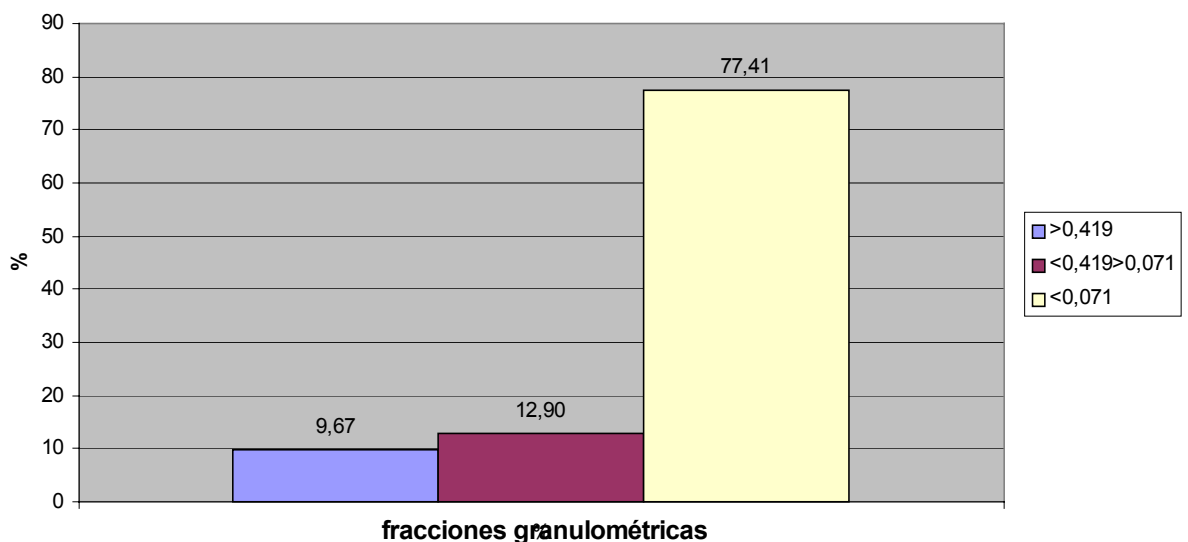


Figura 17. Histograma donde se representan las fracciones granulométricas de la muestra CG-6. La fracción predominante es la menor de 0,071 mm.

La preparación de las muestras para estos tipos de análisis, consistió en la reducción de el tamaño de grano hasta 0.2 mm mediante el uso de morteros de porcelana. Para

estos análisis se procesó una muestra de un peso equivalente a un gramo para cada elemento solicitado, tanto para los realizados por fluorescencia de RX, en el que se determinaron los siguientes elementos (Al, Fe, SiO₂, Mg) como los de la espectrofotometría de absorción atómica para los elementos (Ca₂O, K₂O).

Los análisis químicos fueron realizados utilizando patrones que no se corresponden con las arcillas, por lo que no fueron considerados para la interpretación de los resultados.

Tabla 2 Resultados de los análisis químicos

Óxidos	Muestras					
	CG-1	CG-2	CG-3	CG-4	CG-5	CG-6
SiO ₂	28.37	30.994	23.81	22.099	42.55	41.961
Al ₂ O ₃	47.00	37.72	34.22	35.04	44.09	42.41
Fe ₂ O ₃	18.83	27.77	37.83	37.95	24.34	24.11
MgO	0.20	0.28	0.22	0.17	0.33	0.28
CaO	0.001	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.018	0.023	0.013	0.013	0.027	0.067
K ₂ O	0.048	0.012	0.012	0.012	0.024	0.036
H ₂ O	2.62	3.71	2.96	2.09	4.71	5.14

IV.4 ANÁLISIS DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad de cada una de las arcillas ensayadas, determinado por el método de Casagrande, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Geología y Minas del ISMM se muestra en la Tabla 4.

De acuerdo con la clasificación de (Pla, 1977), mostrada en la Tabla 3; las arcillas de Cayo Guan se encuentran dentro de las arcillas plásticas. De acuerdo con este criterio si el índice de plasticidad es bajo, el suelo puede manejarse sin peligro de amasarse, y si el índice de plasticidad es alto, aumentaría el peligro de deterioro de las condiciones físicas (estructura), especialmente si el manejo se lleva a cabo con altos contenidos de humedad. Según el mismo, diferencias entre los límites superior e inferior de plasticidad mayor de 10%, indican un contenido de arcilla de alta plasticidad. Rangos de 10 a 5% indican moderada plasticidad y valores menores de 5%, identifican suelos poco plásticos

Tabla 3. Valores para evaluar el índice de plasticidad según (Pla, 1977)

Índices de plasticidad (%)	Tipo de plasticidad	Observaciones
Mayor de 10	alta	Muy plástica
De 5 a 10	moderada	Medianamente plástica
Menor de 5	baja	Poco plástica

La plasticidad de las diferentes mezclas estudiadas fue determinada por el método más sencillo, es decir, deslizando con la mano sobre un vidrio cilindro de suelo, en el momento que se produzca su resquebrajamiento, determinar la humedad del suelo. A través de este método, que es muy utilizado en la práctica (por ser sencillo, rápido y eficaz), se determinó que la plasticidad de las seis mezclas estudiadas, una es muy plástica, tres de ellas son medianamente plásticas, mientras que las dos restantes son poco plásticas, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del análisis de plasticidad de las muestras de Cayo Guan.

Muestras	Índice de plasticidad	Observación
CG-1	4.76	Poco plástica
CG-2	3.56	Poco plástica
CG-3	17.36	Muy plástica
CG-4	6.9	Medianamente plástica
CG-5	7.33	Medianamente plástica
CG-6	9.4	Medianamente plástica

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Los análisis de difracción de rayos X realizados a las muestras totales y a las fracciones granulométricas del corte estudiado, en el cual se aprecian cuatro horizontes demuestran que:
 - En la muestra total tomada en el horizonte No. 1, CG-1, predomina la gibbsita y puede haber algo de hematita y en mucho menor medida caolinita; mientras que en las fracciones predomina la fase gibbsita y están presentes además caolinita y algo

de goethita que predomina hacia la fracción mas gruesa, donde además hay la posibilidad de la existencia de esmectita.

- En el horizonte No. 2, en la muestra total, CG-2, los resultados confirman la presencia de gibbsita y otras posibles fases como nacrita y caolinita, sin embargo en las fracciones predomina la fase caolinita y está presente subordinadamente la fase gibbsita, la que prevalece en la fracción más gruesa. En la fracción gruesa y en la fina puede haber además esmectita y/o illita.
- La muestra total correspondiente al horizonte No. 3, CG-3, está compuesta únicamente por la fase mineralógica gibbsita, mientras que en la fracción mas gruesa predomina la fase gibbsita, con poca caolinita y en la fracción mas fina se incrementa el contenido de caolinita y disminuye la gibbsita. En la fracción gruesa y en la fina puede haber esmectitas.
- La muestra total de la base del corte, CG-5, es de composición caolinítica – montmorillonítica; predominando, en las tres fracciones granulométricas, el mineral caolinita con bajo grado de cristalinidad.

2. De los análisis de plasticidad se determinó que la muestra CG-3 es la que mejor índice de plasticidad presenta, la cual es muy rica en Gibbsita. La muestra CG-4, donde predomina la Gibbsita pero también hay Goethita, y las muestras CG-5 y CG-6, que son Caoliníticas, presentan valores de índice de plasticidad que denotan ser medianamente plásticas, mientras que la muestra CG-1, que es gibbsítica y la CG-2, que es caolinítica corresponden a materiales poco plásticos.

Bibliografía:

- Acebedo C. J et al, 1985. Materiales de construcción. Departamento de Geotecnia y Materiales de Construcción. Facultad de Ingeniería Civil ISPJAE. Ministerio de Educación Superior. La Habana.
- Ariosa Iznaga José D, 1984: Curso de Yacimientos minerales no metálicos. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 168.
- Calvo. P. B et al, 2000: Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica. Instituto Tecnológico Geominero de España, España, 436.

- García R. E. y Suarez B. M. 2000. Arcillas propiedades y usos. Tomado de <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm>.
- Gerry, R. W. et al 1947. Phosphates supplements of different fluorine contents as sources of phosphorous for chickens. Poultry Sci., 26: 323-334.
- Gorchakov G. I, 1984: Materiales de Construcción. Mir Moscú, URSS, 399.
- Kuzvart, M. (1984). Industrial Minerals and Rocks.
- Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1:100 000. IGP.
- Mapa de Yacimiento y Manifestaciones Minerales no Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000 ,1988.
- Martínez S. J. et al, 2000, Rocas y Minerales Industriales de Cuba, en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, p. 259- 276. ITGE. Madrid.

Anexo 1

Datos reducidos de la Muestra CG1 sin separación granulométrica.

No	d_Fit(A1)	I-net
1	7.2561	52.72
2	4.4455	37.62
3	4.1702	37.54
4	3.5982	44.59
5	3.1978	24.15
6	2.5110	26.28
7	2.3468	27.91
8	1.6736	21.35

Anexo 2

Datos reducidos de la Muestra CG2 total

No	d_Fit(A1)	I-net
1	11.1131	284.61
2	7.2362	350.82
3	4.8553	328.08
4	4.3702	191.48
5	4.3702	191.48
6	4.1678	308.42
7	3.5797	323.70
8	2.6841	107.40
9	2.6841	107.40
10	2.5591	126.59
11	2.5591	126.59
12	2.5075	145.88
13	2.5075	145.88
14	2.3774	246.55
15	2.3359	245.00
16	1.9898	205.37
17	1.6817	53.09
18	1.6817	53.09
19	1.6817	106.19

Anexo 3

Muestra CG3 total. Está compuesta sólo por Gibbsita

No	d Fit(A1)	I-net
1	4.8317	108.45
2	4.3764	67.12
3	3.3115	36.27
4	3.1879	33.67
5	3.1095	28.50
6	2.5129	27.28
7	2.4525	37.54
8	2.4203	31.76
9	2.3863	40.44
10	2.2448	29.19
11	2.1665	29.81
12	2.0468	33.89
13	1.9936	31.88
14	1.9186	28.84
15	1.8007	31.01

Anexo 4

Datos reducidos de la Muestra CG4 total

No	d Fit(A1)	I-net
1	4.8530	695.87
2	4.3813	633.78
3	4.1582	468.32
4	3.3484	341.95
5	3.3084	358.12
6	3.1833	341.57
7	3.0994	287.83
8	2.9553	277.85
9	2.6614	313.09
10	2.5101	307.73
11	2.4551	421.70
12	2.4179	404.22
13	2.3854	453.57
14	2.3466	284.61
15	2.2881	307.06
16	2.2434	329.26
17	2.2180	303.72
18	2.1664	354.40

No	d Fit(A1)	I-net
1	19.2741	278.56
2	7.3053	422.61
3	4.3927	315.70
4	4.1859	286.22
5	3.5646	342.37
6	2.5551	221.58
7	2.5034	211.71
8	2.3383	228.22

Anexo 5

Datos reducidos de la Muestra CG5 total