



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD GEOLOGÍA Y MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TESIS EN OPCION DE TITULO DE INGENIERO GEOLOGO

TÍTULO

**CARACTERIZACION GEOQUÍMICA DE LAS CORTEZAS DE METEORIZACIÓN ALITICAS EN
CUBA ORIENTAL: ZONAS DE MOA-SAGUA DE TANAMO**

AUTOR

ARLENIA CISNERO PALACIO

TUTORES

ING. TENDAI NJILA, C.DR.
DR.C. GERARDO OROZCO MELGAR
DR. C. ARTURO ROJAS

Moa, 2010

Año del IX Congreso de la UJC

AGRADECIMIENTOS

Primero a mi madre Julia Esther Palacio Serrano y a Dios por haberme dado la vida, las fuerzas y la guía para llegar hasta aquí.

A mis hermanas Rosangela y Talia Cisnero por ser mis *babies*;
A todos mis familiares que de una manera u otra me dieron la mano y un sí adelante que se puede llegar;

A mis tías Milagro, Isabel, Marlenis, Maria, Mirulgia, a mi tío Juan Manuel y a mi abuelo Manuel Severino Palacio;

A mis primas Taimara y Talia Sánchez, Nidulvis; Yulien Kinderlan, Yudisleydis Garmuri, Milagro Batista y a sus hijos Jordan, Milisa, Victor, Mercedes,

A mis primos Angel y Adrian

A mi primo Raúl Mesiñaque y a su novia Yelaine, mi bisabuela Francisca Cabrera; mi tía Milagro Cisnero

A mi padrastro Miguel Guilarte que estos 5 años de carrera ha tenido la participación de un padre;

A mi tía Modesta, mi abuelo Ramón Rodríguez, mi abuela Celina Cisnero que desde Venezuela ha sabido guiarme y prestarme atención en todo lo que hago;

A mi padre Luis Cisnero y mi madrastra Idalmis;

A mi tutor Tendai Njila, confieso que sin su ayuda y el apoyo de su persona, su gran amistad no lo hubiese lograr;

A mi novio Shavane y a su amigo Hama por darme su amor y su ayuda incondicional en los momentos de mayor tensión;

A mis vecinos que quiero como familiares abuela América, abuela Juana, tía Carmen, Maria Díaz;

A todas mis compañeras, principalmente a Caridad Multan, Iyolaine y Yudith García que han sido como hermanas para mí;

A Yeico, Yusi, Yanelo el negron, el gordon santiaguero Yani, Adito, Nairobi, Dayami, Yoa, Ollamna, Bosco, Lafita, Elvis;

A mis compañeras de Santiago de Cuba Lisandra Soto, Gisel, Aylé, Dalia.

A La Revolución Cubana y al claustro de profesores del Departamento de Geología por haber intervenido en mi formación como Ingeniera Geóloga de manera educativa e instructiva, principalmente a Antonio Rodríguez Vega (Ñico), Ortelio Vera, Nicolás Muñoz, José Carmenate, José Batista, Roberto Díaz, Gerardo Orozco, Arturo Rojas, Yamilka Rojas (que en estos momentos no se encuentra en el centro);

A todos, muchas gracias y buena suerte.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mi Madre Julia Esther Palacio de todo corazón, a toda mi familia por parte de madre
y padre;

A todos mis amigos en Moa y Santiago de Cuba;

PENSAMIENTOS

No voy a dejar de hablarle sólo porque no me esté escuchando. Me gusta escucharme a mí mismo. Es uno de mis mayores placeres. A menudo mantengo largas conversaciones conmigo mismo, y soy tan inteligente que a veces no entiendo ni una palabra de lo que digo.

Oscar Wilde

Índice

Agradecimientos.....	2
Dedicatoria.....	3
Pensamiento.....	4
Abstract.....	8
Resumen.....	9
Introducción.....	10
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE.....	13
1.1 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en el resto del mundo.....	13
1.2 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en el Caribe y América del Sur.....	17
1.3 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Occidental-Central.....	19
1.4 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental.....	21
CAPITULO II CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREAS DE ESTUDIO.....	35
2.1 Características físico-geográficas del área de estudio.....	35
2.2 Relieve.....	36
2.3 Clima.....	36
2.4 Red hidrográfica.....	37
2.5 Vegetación.....	37
2.6 Marco geológico regional y local.....	38
2.6.1 Formación Téneme –Ságua de Tánamo.....	38
2.6.2 Formación Santo Domingo.....	39
2.6.3 Ofiolitas Septentrionales.....	39
2.6.4 Arco de Isla volcánico del Cretácico.....	40
2.6.5 Cuencas <i>piggy back</i> del Eoceno Medio-Oligoceno.....	40
2.6.6 El neoautóctono (Materiales post-Eoceno.....	40
2.7 Tectónica.....	40
2.8 Geomorfología.....	42
CAPITULO III. METOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Método de campo.....	45
3.2.1 Selección de perfiles y toma de muestras.....	45
3.3 Análisis de laboratorio.....	54
3.3.1 Preparación de muestras.....	54
3.3.2 Separación granulométrica.....	54
3.4 Caracterización geoquímica de las cortezas de meteorización.....	56

3.4.1	Análisis químico por Fluorescencia de Rayos X.....	56
3.4.2	Índices Químicos de Meteorización.....	58
3.4.3	Medición del pH.....	58
3.4.4	Clasificación geoquímica de las cortezas.....	58
CAPITULO IV. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.....		60
4.1.	Introducción.....	60
4.2	Distribución granulométrica.....	60
4.3	Caracterización geoquímica de las cortezas y perfiles alíticas	65
4.3.1	Composición química de las rocas frescas.....	65
4.3.2	Composición química de las muestras totales.....	66
4.3.3	Variación de los elementos químicos en los perfiles.....	67
4.4	Variación el pH.....	71
4.5	Índices Químicos de Meteorización.....	72
4.6	Clasificación geoquímica de los perfiles.....	80
4.7	Clasificaciones geoquímicas de las cortezas.....	81
4.8	Coeficientes ALFA y K para la clasificación de las cortezas de meteorización.....	82
4.9	Posibles usos en la industria.....	83

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INTRODUCCION

ABSTRACT

This study entitled “Geochemical characterization of allitic weathering crusts en north-east Cuba: Moa-Sagua de Tánamo areas” presents the main results and conclusions of a preliminary qualitative and semi-quantitative geochemical analysis of the allitic weathering crusts in the aforementioned region in which these crusts have originated from Cretaceous Island Arc volcanic and Paleocene Island Arc volcano-sedimentary rocks. A total of 23 samples were taken from the study sectors and were analyzed by X-Ray Fluorescence with the view of proposing possible industrial uses based on the chemical composition of these geological objects. The results were processed using *Grapher 4*, *Microsoft Excel* y *Surfer 8* programs, with the application of the Chemical Weathering Indices. Whole-rock chemical composition analyses showed that these weathering crusts are ferrosialitic with average alumina, silica and ferric contents of 37.5, 21.5 and 19.1 wt. % respectively, and are intensely weathered. It was concluded that during the weathering of gabbros there was a considerable increment of alumina and the consequent leaching of silica and migration of alkali and alkaline earth elements in the formation of gibbsite as a residual mineral forming thick layers that constitute the extensive in situ weathering deposits of bauxitic clays, whose bauxitic nature and refractoriness increases up-profile as weathering further intensified.

RESUMEN

El trabajo titulado “Caracterización geoquímica de las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental: Zonas de Moa–Ságua de Tánamo,” tiene el objetivo de caracterizar desde el punto de vista geoquímico las cortezas de meteorización ricas en aluminio, sin o con pocos contenidos de níquel en las áreas de estudio y proponer sus posibles usos en vía del desarrollo de la economía nacional de forma rápida y eficiente. En Cuba Oriental existen grandes depósitos de cortezas de meteorización de diversos tipos. La mayoría de las investigaciones han sido dedicadas a las lateritas niquelíferas en Cuba Oriental debido a su gran aporte económico al país. Sin embargo, otros tipos de cortezas de meteorización han recibido un grado de estudio relativamente bajo. En este trabajo se presenta una caracterización geoquímica basada en los análisis químicos, recomendando un seguimiento de su estudio a gran escala, además de analizar sus posibles usos para el beneficio local y nacional. Sobre la base de un conjunto de métodos, partiendo de una revisión bibliográfica detallada y de la puesta en práctica de la metodología para la realización de este trabajo se llegó a importantes conclusiones sobre los posibles usos de las cortezas en cuestión y sus recursos asociados, como en las industrias de cerámica, materiales de construcción, entre otros. Las muestras tomadas en los sectores del área de estudio, 23 en total, se analizaron por Fluorescencia de Rayos X y los resultados se procesaron con los programas *Grapher 4*, *Microsoft Excel* y *Surfer 8*. En las áreas de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam las cortezas se desarrollaron a partir de rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias de los Arcos de Isla del Cretácico y Paleógeno de las Formaciones Téneme, Sabaneta y gabros de la asociación ofiolítica, respectivamente. Se concluyó que las cortezas de meteorización en Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam son principalmente ferrosialíticas. En Cayo Guam pueden aparecer cortezas sialíticas desarrolladas sobre gabros bandeados, cuyas bandas están enriquecidas en plagioclasas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ofrece una breve evaluación geoquímica de las cortezas de meteorización alíticas en las zonas de Cuba nororiental incluyendo las áreas de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones, Cayo Guam. El objetivo principal de esta investigación es caracterizar desde el punto geoquímico las cortezas alíticas y proponer los posibles usos industriales de sus recursos minerales en relación a la composición química. La tesis se estructura en cuatro capítulos: en el primero se expone el estado de arte de la temática aquí tratada, tanto en el territorio como en el resto del mundo; los aspectos físico-geográficos y geológicos de la región de estudio son tratadas en el segundo; se establece la metodología de los trabajos de campo y de laboratorio que permiten definir los rasgos geoquímicos de estas cortezas, precisando la composición química y particularidades geoquímicas de estas cortezas en los sectores de estudio y sus posibles usos en la economía nacional en el capítulo tres. En el capítulo cuatro y último del trabajo se interpretan y discuten los resultados obtenidos. Las muestras tomadas en los sectores del área de estudio, 23 en total, se analizaron por Fluorescencia de Rayos X y los resultados se procesaron con los programas *Grapher 4*, *Microsoft Excel* y *Surfer 8*. En las áreas de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam las cortezas se desarrollaron a partir de rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias de los Arcos de Isla del Cretácico y Paleógeno de las Formaciones Téneme, Sabaneta y gabros de la asociación ofiolítica, respectivamente. Se concluyó que las cortezas de meteorización en Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam son principalmente ferrosialíticas. En Cayo Guam pueden aparecer cortezas sialíticas desarrolladas sobre gabros bandeados, cuyas bandas están enriquecidas en plagioclasas.

PROBLEMA

El menor grado de los estudios geoquímicos en las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental.

OBJETO

El objeto de la presente investigación lo constituyen las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental en las zonas de Moa y Sagua de Tánamo.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar desde el punto de vista geoquímico las cortezas de meteorización alíticas y proponer los posibles usos de sus recursos minerales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la composición química, distribución y concentración de los elementos químicos en los perfiles de meteorización en relación con el protolito.
- Analizar de forma cuantitativa los procesos de meteorización
- Clasificar desde el punto de vista geoquímico las cortezas y perfiles de meteorización en el área de estudio
- Proponer posibles usos industriales específicos derivado a partir de la composición química.

HIPÓTESIS

Si se establece los aspectos geoquímicos de las cortezas de meteorización alíticas es posible elaborar una clasificación de las mismas y proponer los posibles usos de sus recursos minerales.

NOVEDAD CIENTÍFICA

1. Se obtienen los perfiles típicos de las cortezas de meteorización según sus rasgos geoquímicos.
2. Cuantificación de los procesos de meteorización de las rocas a partir de los cuales se formaron las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental.
3. Correlación roca madre-corteza a partir de los análisis geoquímicos

APOORTE CIENTIFICO

Una clasificación geoquímica de la corteza de meteorización alítica y sus recursos minerales de valor industrial.

CAPITULO I

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

1.1 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en el resto del mundo

1.2 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en el Caribe y América del Sur

1.3 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Occidental-Central

1.4 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental

1.1 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en el resto del mundo

Europa, Asia y África

Los yacimientos de bauxitas en España se localizan en cuatro regiones bauxíticas principales: 1) Zona Subbética (Cordilleras Béticas); 2) Zona de Enlace entre la Cordillera Costero-Catalana y la Cordillera Ibérica; 3) Cordillera Costero-Catalana; y 4) Zona Sur-Pirenaica. Otros yacimientos de bauxitas menos importantes se encuentran cerca de Haro (La Rioja), Landas de Sotecuarre (municipio de Zigoitia, Alava), Arce (municipio de Piélagos, Cantabria), Ocejo de la Peña (municipio de Cistierna, León) y Portilla de Luna (municipio de Barrios de Luna, León) (Molina, 1991).

Ashauer y Teichmuller (1935) señalan en la base del Wealdense en Beceite la existencia de “minerales pisolítico-conglomeráticos” sin ninguna precisión sobre la naturaleza de estos minerales. En la serie de Utrillas citan una facies continental “de arenas con caolín, bauxitas y hulla”.

En un trabajo inédito, para la compañía “La Alquimia”, Closas Miralles (1945) hace un inventario detallado de los yacimientos de bauxita de Horta de San Juan, Fuentespalda y Pantano de la Pena. Los sitúa estratigráficamente entre el Jurásico (Sequaniense) y el Oligoceno. Establece también que sólo algunos yacimientos de Fuentespalda son verdaderas bauxitas, siendo los restantes materiales caoliníticos con más o menos hierro.

San Miguel de la Cámara (1950, 1954) publicó dos extensos trabajos sobre las bauxitas del NE de España, delimitando sus paragénesis, tipos de yacimientos y posición estratigráfica. En estas dos publicaciones importantes son descritos y situados numerosos afloramientos bauxíticos sobre mapas a escala 1:100.000. Este autor distingue tres grupos de yacimientos: a) los de Horta de San Juan; b) los de Fuentespalda; y c) los situados al 5 de Beceite. Los yacimientos de Fuentespalda forman dos grupos de afloramientos. Unos están situados sobre el flanco NW de la Sierra de la Picoso, otros sobre el flanco SE, cerca del Pantano de la Pena. Los yacimientos del flanco NW aparecen generalmente en bolsadas en las calizas oxfordienses-sequanienses; el techo son las arenas albienses. En Fuentespalda hay verdaderas bauxitas pisolíticas aunque los análisis muestran que se trata de un mineral de poca calidad.

De Lapparent (1950) consideró que los yacimientos de Fuentespalda son bolsadas en el flanco de un anticlinal vergente al Norte. El muro está constituido por calizas con ammonites del Kimmeridgiense inferior (Nebrodites cf. Guilhaerandense Font, Ataxioceras cf. hypselocyclus Font). El techo es una caliza blanca con Radiolites senonienses.

Font (1951) en su "Análisis Rontgenográfico de algunas bauxitas de la región NE de España", establece las asociaciones mineralógicas características de las mismas. En los yacimientos de Fuentespalda cita gibsita y señala la práctica ausencia de caolinita.

Closas Miralles (1954) en un importante artículo sobre las bauxitas del NE de España, estudia los afloramientos del área de los Puertos de Beceite. Confirma que los yacimientos no son verdaderas bauxitas ya que presentan una baja composición en hidróxidos de aluminio de aquí que las denomine lateritas o formaciones lateríticas. Precisa la posición estratigráfica de los yacimientos: el muro es una caliza jurásica de la base del Kimmeridgiense, el techo es del Paleógeno superior (grupo de Horta de San Juan) o bien del Aptiense, seguido de formaciones albienses con lignito (grupo de Fuentespalda-Beceite-SE de Beceite).

Motta y Roch (1962) analizaron las bauxitas del NE de España. Para los yacimientos de los Puertos de Beceite, los autores consideran también una edad Kimmeridgiense para el muro y datan el techo calcáreo con lamelibranquios como Aptiense, por encima del cual se sitúan arenas con lignitos del Albiense. Observaron también que con las verdaderas bauxitas aparecen arcillas lateríticas y establecen un ensayo de interpretación genética. Consideran que en el Maestrazgo y en las regiones vecinas existen en el Cretácico inferior intercalaciones de origen continental, en particular las de facies Weald, que parecen contemporáneas de las bauxitas. Las arcillas lateríticas de Fuentespalda pueden interpretarse como un término de transición entre estas formaciones continentales del Cretácico inferior y las verdaderas bauxitas.

Los estudios de Combes et al. (1966) y Combes (1967, 1969) son de gran importancia para el conocimiento de la estratigrafía del Cretácico inferior del Maestrazgo y sus bauxitas. Combes (1969) diferencia y analiza detalladamente cuatro tipos de bauxitas y arcillas lateríticas. Reconstruye con gran precisión la historia geológica de las bauxitas de Fuentespalda. Con posterioridad el I.G.M.E. (1974) dentro del Programa Nacional de Investigaciones Mineras realizó un estudio monográfico sobre las posibilidades mineras en cuanto a bauxitas y arcillas lateríticas del área de Fuentespalda.

Caballero et al. (1974) y Ordóñez (1977) estudian algunos aspectos de las bauxitas del NE de España. Galán et al. (1976) analizaron en detalle las arcillas bauxíticas de la zona de Fuentespalda-

Beceite haciendo una importante contribución al conocimiento de la cristalinidad de la caolinita en algunos afloramientos del área.

Ordóñez et al. (1989a, b; 1990) estudian la geoquímica de las bauxitas del NF de España, los análisis de elementos traza muestran composiciones muy similares a las de las bauxitas lateríticas, consideran que las bauxitas derivarían de rocas madre de carácter calcoalcalino de naturaleza geoquímica intermedia, con ciertas tendencias básicas. La Iglesia y Ordóñez (1990) analizan la cristalinidad de las caolinitas de estos yacimientos, encuentran que las caolinitas tienen un origen poligénico y heterocrónico. Existen caolinitas de alta cristalinidad, singenéticas con los materiales bauxíticos iniciales, junto a otras formadas posteriormente procedentes de una caolinitización tardía de bohemia. Del mismo modo reconocen la presencia de una génesis tardía de gibsita, procedente de la transformación posterior de caolinita en un karst reactivado con posterioridad a la génesis de las estructuras mesozoicas cabalgantes del S de la cuenca del Ebro, que implicaría una inversión total del sistema de circulación del karst.

Molina y Salas (1993) determinaron las principales características estratigráficas y presentaron una interpretación genética y paleo geográfica de las bauxitas kársticas del Cretácico Inferior en Fuentespalda, provincia Teruel que corresponden a los yacimientos más importantes y representativos de la segunda región bauxítica citada anteriormente. Las arcillas asociadas a estas bauxitas están compuestas por caolinita, goethita, hematites, calcita y pequeñas proporciones de cuarzo, rutilo, gibsita, bohemia, illita y clorita. Localmente contienen bohemia (hasta 7,4 % según Combes, 1969). Su composición media en Al_2O_3 es del 34,89 % (I.G.M.E., 1974). La comparación entre los análisis químicos y mineralógicos de estas arcillas y las bauxitas estudiadas muestra que el cambio entre ambas necesita sólo una desilificación parcial y descalcificación de las arcillas.

Los afloramientos bauxíticos han sido retocados por pequeñas explotaciones y varias catas o trabajos de reconocimiento, que permiten seguir la bauxita a lo largo de niveles discontinuos pero claramente definidos. El tonelaje total obtenido en los yacimientos de bauxitas de Fuentespalda (I.G.M.E., 1974) es de unas 7.000 Tm en unos 20 rellenos kársticos con una ley media aproximada del 40% en Al_2O_3 . Las reservas observables son de menos de 1.000 Tm (I.G.M.E., 1974) aunque pueden existir algunas cavidades kársticas con bauxitas ocultas por los coluviones o recubiertas por la facies Utrillas y no descubiertas. La mayor parte de las explotaciones se han realizado a cielo abierto, aunque también existen algunas galerías. Aún quedan algunas concesiones vivas de explotación y se han realizado recientemente algunos movimientos de tierras, pero no existe ninguna extracción de mineral en la actualidad. Su alto contenido en SiO_2 (hasta el 43 %) hace que hayan sido explotadas no como mena

de aluminio, sino para la obtención de productos refractarios, cementos especiales, etc. (Molina y Salas, 1993).

La mayoría de los estudios realizados en África sobre perfiles lateríticos refieren a las cortezas férricas formado bajo un clima tropical seco contrastado (Nahon, 1976; Leprun, 1979; Ambrosi, 1984; Boeglin, 1990), o bajo un clima ecuatorial húmedo (Muller et al., 1981; Muller, 1987). Estos autores han considerado las cortezas férricas en términos de la distribución geomorfológica a escala grande, o en términos de la diferenciación petrológica a escala de perfiles y minerales, y recientemente en términos de la firma geoquímica para los trabajos de prospección (Matheis, 1981; Butt, 1987; Colin et al., 1989; Freyssinet, 1990).

Considerando que cada metodología de investigación tiene que ser aplicado a un sistema entero, Beauvais (1989) propusieron estudiar la formación global y los procesos de sistemas de transformación de cortezas férricas desarrollados bajo un ambiente húmedo tropical en el área de Dembia-Zemio de la República Africana Central. El objetivo de ese estudio era determinar los procesos de meteorización que llevan a la formación y transformación de sistemas de cortezas férricas a partir de análisis geomorfológicos, petrológicos, mineralógicos y químicos, y señalar las relaciones entre los minerales de alteración secundarios y los elementos trazas.

La formación y la transformación de los sistemas de las cortezas férricas de Dembia-Zemio son una función de la discriminación de los procesos de saprolitización y ferruginización en términos de la formación de caolinita-gibbsite y hematita-goethita. Durante el proceso de ferruginización, las capas inferiores graduadas ricas en goethita tienden a ceder a las capas superiores graduados ricas en hematita según el aumento en tamaño y actividad de agua (Didier et al., 1985; Tardy y Nahon, 1985; Trolard y Tardy, 1987). Durante el proceso de saprolitización, la caolinita se transforma en gibbsite en condiciones de drenaje más excelentes y húmedas. De esta manera, el comportamiento de los elementos trazas está en función de la intensidad de los procesos de saprolitización y ferruginización, y también de la formación de minerales secundarios.

Tardy et al. (1993) hacen una clasificación petrológica y geoquímica de lateritas, en el cual se determina usando las cortezas de meteorización en África Occidental. Esta clasificación petrológica y geoquímica se basa en las reacciones hidratación-deshidratación y de silicificación-desilicificación reguladas por la temperatura, actividad de agua y composición química de la roca madre. Distinguen 4 tipos principales de bauxitas lateríticas: protobauxitas, ortobauxitas, metabauxitas y criptobauxitas, en función de la forma de los minerales de hierro y aluminio, también su distribuciones relativas en los

perfiles. Las protobauxitas son cortezas lateríticas dónde la gibsita y goethita se forman juntos bajo climas muy húmedos. Las ortobauxitas son alitas o alferritas, ricas en gibsita, de color rojo y no exhiben una estructura nodular. El hierro puede estar presente en corazas llamadas conakritas y se encuentran cerca de parte superior del perfil bauxítico. Las conakritas son ferritas o ferralitas reticulares y no nodular en las cuales dominan la hematita y goethita, mientras que la gibsita puede presentarse en cantidades pequeñas. La presencia de caolinita en la base de los perfiles no es necesaria.

Los perfiles de ortobauxitas típicos están compuestos de tres horizontes principales (Valetón, 1972, 1981; Aleva, 1979, 1981, 1982, 1989; Bardossy, 1989; Bardossy y Aleva, 1990). De arriba a abajo se encuentran: un horizonte ferruginoso, hematítica y gibsítica, de color, ubicado cerca de la superficie; un horizonte bauxítico, menos coloreado, menos ferruginoso y más aluminico, con gibsita y hematita; un horizonte arcilloso, rico en caolinita, menos el ferruginoso y rojo-amarillo en color. Los ejemplos típicos incluyen aquéllos de las Montañas Bakhuis, Surinam (Aleva, 1981), Jarrahdale en el Rango Darling, (Grubb, 1971), Montaña Tato at Lakota en el Marfil, África (Boulangé, 1983, 1984) y algunos perfiles en Malí, África (Tardy, 1993), que son de edad Cretácica (Michel, 1973).

Las metabauxitas son bohemítica y muestran una estructura nodular o pisolítica; el hierro se disocia de aluminio y frecuentemente se concentra como hematita en una ferricreta caolínica ubicada en base del perfil bauxítica. La caolinita siempre en la base de este perfil. En criptobauxitas, la caolinita es abundante en la parte superior e inferior de los perfiles de manera que la capa gibsítica se encuentra entre los dos horizontes caolínica.

1.2 Estudios sobre las cortezas de meteorización no níquelíferas en el Caribe y América del Sur

Los principales depósitos de bauxita en Jamaica se encuentran en Manchester, St. Elizabeth y St. Ann. Ellos son acumulaciones superficiales, y muestra una relación estrecha con el sistema de fallas en la región. La distancia entre la cima de la Caliza Blanca y las formaciones impermeables por debajo determina el grado de desilicificación de los depósitos. La Gibsita, bohemita, óxido férrico, caolinita y cuarzo son los minerales más abundantes. Evidencias del campo y laboratorio indican que la Caliza Blanca es la fuente de la mena, y por la comparación con otros depósitos y trabajos de equilibrio de fases en sistemas relacionados, se deduce que la ceniza volcánica no pudiera ser la fuente de estos depósitos. Este acercamiento sugiere que las fases no están en el equilibrio, porque la mineralogía no es consistente.

Los depósitos de bauxita en Jamaica B.W.I. se descubrieron en 1942, como el resultado de una investigación para determinar la causa de la no fertilidad de las regiones pastorales. En base a análisis químico, Sr. R. F. Innes del Departamento de Agricultura sugirió que estas tierras podrían ser una mena de aluminio, pero era la energía y previsión de Señor Alfred Dakosta que atrajo la atención de las compañías mineras a los depósitos.

Hasta la fecha, la atención se enfocaba a la búsqueda y tratamiento de la mena. Las tres compañías mineras interesadas han localizado los depósitos mayores ahora, y ha podido modificar el proceso norteamericano de extracción para el manejo de la mena. Sin embargo, falta mucho por hacer para mejorar los métodos de evaluar la calidad y carácter de la mena. Schmedeman (1948), Zans (1952), y Hartman (1955), ha hecho algunos trabajos fundamentales en los depósitos, pero para hasta ahora no se ha realizado ningún trabajo bastante riguroso para elucidar el problema del génesis de los depósitos. Investigadores han sugerido que pueden haber originado de la Caliza Blanca, de ceniza volcánica, o vagamente como un depósito eólico. El mecanismo real del proceso o procesos involucrado nunca se ha definido claramente, y ha sido un asunto bastante polémico.

La distribución y movilidad de Elementos de las Tierras Raras (REE) durante los procesos de meteorización ha sido documentado por varios autores (Roaldset, 1973; Steinberg y Courtois, 1976; Nesbitt, 1979; Bonnot-Courtois, 1981) pero, en forma general, el producto de la meteorización son las arcillas en que los REE pueden aumentar por la adsorción. En las bauxitas, tales estudios a menudo se limitan a las "bauxitas cársticas" y muy raramente en las bauxitas lateríticas.

Boulangé et al. (1990) realizaron un trabajo en el cual el objetivo era determinar la distribución de los Elementos de las Tierras Raras (REE) a lo largo de un perfil de las bauxitas lateríticas desarrollado sobre sienitas nefelínicas del bloque intrusivo de Passa Quatro (Minas Gerais) en el sur de Brasil. El perfil estudiado está a la cima de una secuencia topográfica en un lugar nombrado los Alto dos Posses (altitud de 2190 m). La meteorización se extiende a una profundidad de 9 m. El perfil presenta una secuencia vertical de cuatro zonas del fondo a la cima (Sigolo, 1987):

- una roca alcalina, sienita nefelina, dividido en bloques decimétrico de forma redondeados rodeados por una corteza de meteorización,
- una bauxita saprolítica maciza en continuidad con la corteza,
- una bauxita saprolítica fragmentaria que muestra en zona de transición con la zona anterior un aumento de Al y concentraciones de Fe,
- una corteza aluminica fragmentaria.

En el ambiente de las arcilla, los autores decidieron concluir a una débil removimiento de las REE (Nesbitt, 1979; Decarreau et al., 1979; Bonnot-Courtois, 1981), o a una falta total de movilidad (Piper, 1974). En la comparación, los resultados obtenidos en el macizo alcalino de Passa Quatro, muestra una diferenciación más grande y una lixiviación importante en el frente de meteorización. El Nd y Sm son los LREE más lixiviados, mientras que Ce y HREE (Er, Yb, Lu) son los más estables. La disminución la proporción (La/Lu) indica, como en el ambiente caolinitico (Alderton et al., 1970), que los LREE son fuertemente lixiviados y los HREE ligeramente lixiviados.

En el perfil de bauxitas lateríticas, hay un horizonte de acumulación importante dónde se depositan los productos secundarios argilo-ferruginoso, aluminio-ferruginoso o aluminosos. Relacionados a éstas acumulaciones de Fe-Al, hay un enriquecimiento importante de todos los REE, principalmente al fondo de este horizonte de acumulación. Los productos que constituyen estos depósitos pueden venir de la parte superior del perfil, particularmente del fondo de la corteza aluminica superficial dónde la lixiviación es más intensa

1.3 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Occidental-Central

Mat'l (1967) realizó trabajos en las antiguas provincias de Las Villas y Camaguey. En la región más prometedora la Sierra de Cubitas, perforo un pozo, pero los contenidos de Al_2O_3 fueron bajos entre 20 y 24 % por lo que descarto esta región. Sin embargo tomo una muestra de tobas alteradas bajo la capa roja en la región de Rodas con un contenido de 38.34% de Al_2O_3 .

En 1989 se realizó el informe de la búsqueda orientativo de bauxitas en las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey. Actualmente existen métodos para producir aluminio de bauxitas de baja ley. Según Sánchez et al. (1989) en el informe de Búsqueda Orientativa de bauxitas en las provincias Ciego de Ávila y Camagüey, tomando el criterio de que roca bauxitica es aquella que presenta un modulo de sílice Al_2O_3/SiO_2 mayor de 2.6 y un contenido de Al_2O_3 no menor de 30%, las manifestaciones bauxiticas y alíticas en estas provincias presentan altos contenidos de los siguientes elementos Ytrio, Yterbio, Lantano y Escandio, algunos de los cuales pueden tener significado industrial, sobre todo para la extracción conjunta con las bauxitas.

En la provincia de Pinar del Río se encuentra el depósito más importante de bauxitas en Cuba, "Sierra Azul – Pan de Guajaibón", el cual fue descubierto por los geólogos V. Teleguin y R. Pérez en el año 1976. En este deposito se encuentran tres tipos genéticos; a) bauxitas de yacencia primaria, b) depósitos eluvio–deluviales, c) acumulaciones deluvio proluviales. Solo los dos primeros tipos tienen

importancia práctica. Este depósito ha sido estudiado y caracterizado desde diferentes puntos de vista geo-científicas por varios autores (Daniluk et al., 1987, 1988; Driga et al., 1989; Formell et al., 1994; Hernández, 1989; Hernández et al., 1985; MEKHANOBR, 1981; Ortega, 1990).

El depósito presenta como característica singular, una elevada densidad y de su composición mineralógica compuesta fundamentalmente de diásporas y bohemita. (Formell et. al. 1984).

La composición química de las menas de esta manifestación es bastante estable y varía en un rango pequeño, la alúmina presenta valores entre 57.8 y 55.0% con un promedio de 56.9%. La sílice varía en 1.82 y 8.9% con un promedio de 5.3%. Los altos valores del Fe_2O_3 esta en rango de 17 a 26.05% por lo que se recomendaron hacer estudios para la desferrización (MEKHANOBR, 1981). Además, en la misma provincia existen manifestaciones las cuales fueron prospectadas como son San Francisco, Pajarito, Los Palacios y San Bartolo. Sin embargo, estas arrojaron resultados muy debajo de las requeridas para bauxitas.

Szabo (1997) plantea además la comprobación para buscar bauxitas terrosas en algunos sectores de la provincia de Pinar del Río en los valles intramontañas, como ejemplo en los alrededores de Viñales. Se recomienda explorar el Macizo Jagua el cual posee una composición casi exclusivamente de cortezas sobre rocas básicas (gabros, diabasas y serpentinitas y esta cubierto en su totalidad por una potente corteza laterítica la que fue evaluada para pigmentos por su abundante presencia de Titanio (Lavandero et al., 2009).

En la provincias de La Habana, Matanzas, Villa Clara, Ciego de Ávila, Camaguey se recomienda estudiar en detalle los sectores Ceiba del Agua, San Antonio de los Baños, Güines, Madruga, Aguacate, San Nicolás, Rodas, Yaguaramas, Remedios, Sierra de Cubitas (Mat'l, 1967), Manga Larga, Solas, Manifestación de alitas Esmeralda – Jiquí, zona Gaspar Corojo, Venezuela–Baraguá, Primero de Enero y Cubitas, al igual que las provincias Ciego de Ávila-Camaguey (Sánchez et. al. 1989). En estas áreas afloran rocas carbonatadas y terrígeno – carbonatadas, recubiertos por potentes productos de intemperismo in situ y redepositadas (Lavandero et al., 2009).

En Manga Larga se observa bauxitas con una composición, química y mineralógica de Al_2O_3 42.39%; SiO_2 3.16%; Fe_2O_3 15–94%; TiO_2 39%; CaO 18.09%; MgO 41%; PPI 24.76%: Bohemita hasta el 40%, Calcita 10-15%, Caolinita mayor 10%, Goethita 5 – 10%, minerales de Titanio (posiblemente Esfena e Ilmenita) en cantidad hasta 1.3%. Es de notar que con este horizonte se asocian las Tierras Raras Ytrio, Yterbio, Lantano y Escandio. En el sector Esmeralda, donde se realizaron 4 pozos en forma de cruz, presentando altos contenidos de Al_2O_3 que llegan hasta 45%.

Los contenidos de Ytrio varían entre 1 a 6%. 10-3 y el Yterbio oscila de 0.6 a 3.10%. En Jiqui los pozos perforados para hidroeconomía presentan material bauxítico con contenidos de Al_2O_3 hasta un 44%; SiO_2 20- 35%; Fe_2O_3 10 -20% y PPI 10 – 15%.

Las tierras rojas (arcillas lateríticas) del sector Solas presentan la siguiente composición química; SiO_2 entre 20–30%; Al_2O_3 entre 20-30%. Los contenido de aluminio y sílice son semejantes y por tanto estamos en presencia de un corte alítico, con módulo de silicio alrededor de uno, estas rocas se caracterizan por presentar contenidos altos de Fe_2O_3 que oscilan entre 30 – 40%, el TiO_2 se comporta alrededor de uno. Este sector también presenta contenidos alentadores de Tierras Raras (Lavandero et al., 2009).

1.4 Estudios sobre las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental

La existencia de grandes yacimientos y depósitos asociados a cortezas de meteorización de diversos tipos en Cuba, el descubrimiento de la bauxita en el siglo antepasado como la mena principal para la obtención del aluminio, junto con el descubrimiento de grandes yacimientos de bauxitas en Jamaica en 1943 marcó el inicio de la búsqueda de corteza de meteorización bauxítica en Cuba. El enfoque a solo encontrar grandes depósitos económicos de este mineral enmascaró la evaluación de otros productos de meteorización ricos en aluminio, que según las clasificaciones establecidas, pudieran tener otros usos industriales cabe mencionar que debido al poco uso industrial que ha tenido los recursos minerales en estas cortezas de la región en cuestión, salvo a un pequeño tejero en Centeno, cerca de Moa, el grado de estudio geológico de estas cortezas es relativamente bajo. Prácticamente es inexistente la cartografía de los perfiles de meteorización según sus características geoquímicas y mineralógicas, sustrato rocoso a partir del cual se formaron, sobre todo las cortezas desarrolladas sobre volcánicos, y su evaluación analógica de su posible aplicabilidad en la industria. El Mapa de Yacimientos y Manifestaciones No Metálicas (Rocas y Minerales Industriales) de la República de Cuba a escala 1:500 000, del 1988, ofrece una clasificación genética y una clasificación según su uso industrial y actualmente está vigente en Cuba (Castellanos Rosales, 1992). Sin embargo, en esa clasificación no se especifica en cada grupo industrial el tipo de material prima en cada uso específico, tampoco aparecen todas las manifestaciones lateríticas en este mapa.

Buguelskey y Formell (1974) señalaron la existencia de dos tipos genéticos de acumulaciones de minerales bauxíticas: corteza de meteorización "in situ" y corteza "redepositada". Los resultados alcanzados por estos investigadores son de incuestionable valor práctico y sirvieron de base para la continuidad de los estudios dirigidos a la búsqueda de bauxitas. No obstante, en ninguno de los

estudios realizados se mencionan otros usos que se le pudieran dar a los materiales lateríticos que no cumplieren con los contenidos de Al_2O_3 por tanto no constituyen bauxitas en sensu strictus.

Desde la década de los setenta, con la realización del Mapa Geológico de la antigua provincia de Oriente por la brigada cubana – Húngara entre el 1972 y 1976, muchos investigadores han trabajado en las cortezas alíticas con mucha énfasis en la evaluación de cortezas bauxíticas. Se buscaron nuevas manifestaciones de bauxitas logrando éxitos en estos empeños con la localización de bauxitas cársicas en los alrededores de Guantánamo (De Dios, 1982).

Destacan los trabajos realizados por Nagy (1976, 1983), donde se ofrecen los primeros resultados de estas manifestaciones. Formell, Jakus y Gyarmati (1977) plantean que en el Nordeste y Este de la antigua provincia de Oriente existen potentes capas de cortezas de intemperismo sobre rocas de diferente composición y proponen la realización de búsquedas detalladas en las mesetas carbonatadas del Norte y del Este de Guantánamo con muestreo sistemático incluyendo perforaciones de pozos de poca profundidad.

Dudich (1975) realizó análisis químico de varios componentes principales de materiales que componen el perfil de la corteza caolínica-ocrosa de los gabros de la región de Cantarrana. A pesar de que el muestreo no se hizo de manera sistemática, los resultados arrojan contenidos promedios de Al_2O_3 alrededor de un 33% y SiO_2 alrededor de 37% con un modulo promedio de 0,89 lo cual corrobora nuestra opinión sobre la composición caolínica ocrosa de la corteza de intemperismo de los gabros, sin embargo esto no invalida las posibilidades de toda la región donde se desarrolla las cortezas de intemperismo sobre gabros. En consecuencia, se puede concluir el hecho del hallazgo comprobado de bauxitas estructurales derivados de gabroides en la región noreste de Oriente da derecho para recomendar investigaciones sistemáticas de búsquedas en la regiones de desarrollo de corteza de meteorización de los gabros de Cantarrana, Quesigua, Los Lechugos, Nuevo Mundo, Río Jiguaní, etc..

Guerasimov et al. (1976) evaluando la composición sustancial de las formaciones que contienen bauxitas en Cuba y sus perspectivas para alúmina, concluyen que en Cuba se establecen indicios directos de corteza de intemperismo in situ y redepositada; las in situ están relacionada la zona de Quesigua-Jiguaní-Yamanigüey, como área perspectiva la cual se encontraba limitada por fallas. Estos autores realizaron un muestreo en Cuba Oriental señalando y delimitando la zona de Cantarrana como área perspectiva para la búsqueda de bauxitas. De las muestras analizadas en la zona de Cantarrana 7 reflejaron composiciones químicas cercanas a bauxitas de ley industrial. Los estudios de microscopía óptica y difracción de rayos X indicaron una composición mineralógica para estas

muestras del tipo gibsita-goethita; además en las muestras C-9 y C-21 se detectaron fragmentos de gabros.

Su composición bauxítica es debida al hecho que los análisis se hicieron de la corteza bauxítica. Las muestras C-1, C-2, C-3 y C-4 representan el tipo "tigre" y la muestra C-18 una transición de la arcilla bauxítica estructural al "tigre". Guerasimov et al., (1976) concluyeron en esta zona de Cantarrana que la corteza de intemperismo desarrollada sobre gabroides es esencialmente arcillosa, probablemente caoliníticas, mientras que la gibsita puede aparecer en dos formas: En caso de una intensa lixiviación local de fragmentos de gabros, los feldespatos pueden transformarse directamente en gibsita (la sílice entra en solución y es removida). En el caso de un intemperismo menos rápido pero de larga duración los feldespatos se transforman en caolinita que más tarde se transforman en gibsita. En consecuencia, el hallazgo de Guerasimov y otros (1976) no significa el descubrimiento de un yacimiento de bauxita pero es gran importancia porque compensa indudablemente la presencia de bauxitas estructurales derivadas de gabroides. Por eso, ellos recomiendan investigar sistemáticamente las cortezas de intemperismo sub-lateríticas sobre gabroides buscando como cortes materiales del tipo "tigre" bien manifiestos, es decir, más bauxitizados. La corteza de intemperismo de tipo sublaterítica alcanza espesores de 20-30 m. En muestras tomadas y analizadas revelan que su composición química parece corresponder con bauxitas de ley industrial correspondiendo las mismas a material (gabro) fragmentario de la superficie ó muy cercana de ella. Además, se estableció la composición gibsítico- goethítico para estas muestras. Los trabajos de Guerasimov abre una nueva línea de investigación acerca de las cortezas no ferroniquelíferas que se desarrollan sobre rocas gabroides; sin embargo, aquellas que se originan a partir de rocas volcánicas son en ocasiones confundidas con cortezas sobre gabros dada su relación espacial muy estrecha con las cortezas lateríticas ferroniquelíferas y debido a la falta y una interpretación cualitativa adecuada de la información geoquímica y una cartografía detallada.

Elmer (1977) realizó un trabajo de observación geológica sobre la bauxita e intentó elaborar los principios del pronóstico de bauxitas en Cuba, concluyendo en su recorrido por la zona de Cantarrana y sus alrededores en la Sierra de Moa, que los procesos de alitización continúan pero que no hay evidencia de la existencia de cantidades considerables de bauxita de alto grado, a pesar de que, las manifestaciones están muy cerca del límite inferior de la latitud favorable sobre la cual puede ocurrir una bauxitización de importancia económica.

Formell et. al. 1977 analizando los materiales arcillosas en Guantánamo, revela que estas cortezas frecuentemente tiene contenidos de Al_2O_3 mayores del 25% que a veces alcanzan algo más del 40%, la sílice por el contrario baja hasta 8.71%, pero su valor general es mayor de 15%. El hierro

alcanza 35%, mientras que el Titanio presenta contenidos de 1 hasta 3%. Los módulos de los más prometedores observados son de 2.5 lo cual permite clasificar estos materiales como alitas (bauxitas arcillosas).

Gran importancia revistió el trabajo realizado por Dudich (1978), quien revisó concretamente todas las manifestaciones de alitas reveladas en Cuba hasta esa fecha ofreciendo útiles recomendaciones para la aplicación de un método selectivo en la prospección geológica de bauxitas en el país, pero no de su clasificación industrial.

Buguelskey (1979) en sus investigaciones concluyó que la región oriental de Cuba representa una región excepcional para la búsqueda de bauxitas debido al elevado grado de desarrollo de cortezas de intemperismo.

Los autores antes mencionados recomiendan que durante los trabajos de evaluación de dichas áreas hay que prestarle mucha atención tanto a las cortezas residuales como a los depósitos friables redepositados en las partes periféricas de los macizos de rocas gabroides, así como también hay que tener en consideración las arcillas caoliníticas que conforman una parte significativa de la corteza de intemperismo desarrollada a partir de gabroides y que a su vez constituye una materia prima muy necesaria.

En 1980 continuaron los estudios en la zona de Cantarrana y Quemado del Negro. Estas áreas fueron clasificadas en el primer de los cinco grupos de acuerdo a sus rasgos característicos, aspectos litológicos, modo de yacencia, etc. La lateritización de estas áreas es producto del intemperismo del gabro originando un perfil de tipo sialítico. Estos estudios indican que las posibilidades del enriquecimiento de hidróxido de aluminio mediante la lixiviación selectiva del silicio están gradualmente limitadas. En la composición de los macizos participan dos tipos principales de gabros apareciendo además en el área de Quemado del Negro y Cantarrana un tipo de roca con textura de granos finos y de color gris y gris- azul.

En Guantánamo se distinguen los tipos principales de las acumulaciones de sedimentos más o menos bauxíticos en la Sierra del Guaso y en la Sierra de Caujerí (depresiones cársticas, depresiones preformadas tectónicamente y mesetas hórsticas. Sierra del Guaso se caracteriza por la acumulación de gibsita, la Sierra de Caujerí por el enriquecimiento en bohemita acompañada de gibsita. También el comportamiento del hierro resulta diferente en las dos regiones. (Coutin et. al. 1981)

Coutin et al., (1981), proponen 14 zonas perspectivas, pero sin lograr perforaciones y además aseveran que las condiciones geomorfológicos y climáticas, existían durante el Neógeno y el

Cuaternario y siguen existiendo, en los alrededores de Guantánamo. Finalmente recomiendan una búsqueda en toda la región con perforaciones hasta el fondo de las depresiones.

Según los mismos autores anteriores, en la orilla oriental del río Yumurí en la región del poblado Sábana sobre las calizas Micénicas yacen arcillas lateríticas-bauxitíferas redepositadas su espesor oscila entre 0.5 y 1.5 m. El área de distribución de estas arcillas es aproximadamente 100 km². Dentro de los límites de esta área es posible un descubrimiento de depresiones cársticas con reservas de bauxitas suficientemente grandes para clasificarse como industriales. Los autores citados describen 4 manifestaciones, las cuales tienen contenidos de Al₂O₃ entre 39.0 y 40.0%. En un área aproximadamente a 70 km², ubicada entre los poblados, Gran Tierra, Vertientes y Sábana, se descubrieron depósitos arcillosos de composición alítica y bauxítica. En los límites del sector se encuentran las manifestaciones conocidas como Duaba I y Duaba II. En la parte occidental del sector se perforaron 8 pozos, no muy bien ubicados debido a no dañar la agricultura del área. La información obtenida es insuficiente para la evaluación de las perspectivas del sector.

El trabajo más completo para las bauxitas en Cuba fue confeccionado por Ponce et al. (1985) y se titula "Evaluación Perspectiva de Bauxitas." En este trabajo se hace una evaluación de las perspectivas de bauxitas en todo el territorio nacional, por lo que su estudio es importante para los geólogos que se dediquen a esta tarea. Estos autores proponen futuras evaluaciones en los sectores Escondida, La Guira, Jaraguá, Curialito, Quibiján, Vista Alegre y Maisí. Las rocas subyacentes incluyen carbonatados y terrígenos-carbonatados, macizos de gabros, vulcanitas de la formación Buques y esquistos cristalinos de y anfibolitas de las Formaciones La Farola, Sierra Verde y Güira de Jauco con cortezas de intemperismo kárstica y lateríticas.

Korpas (1988) publicó en Hungría, basándose en el trabajo anterior con algunas modificaciones el trabajo titulado: Los principios geológicos metodológicos del pronóstico de bauxitas, en las áreas del tipo Arco Insular Oceánico Tropical, en el ejemplo de Cuba. Este autor, basándose en los datos bibliográficos elaboró dos variantes aplicables a Cuba, de los modelos bauxitíferos enfocados a las facies. El primero es el modelo intraformacional (como intraformacional clasifica el tipo genético de bauxitas cársticas en cuyo caso el sub. y el suprayacente de las bauxitas en sentido geológico se considera como la misma formación). El segundo modelo es el postformacional (como postformacional se considera al tipo genético de bauxitas cársticas en cuyo caso el sub. y el suprayacente son dos formaciones distintas). Estos modelos naturalmente se refieren en primer lugar a las bauxitas cársticas. Los procesos cársticos se manifiestan en gran parte del territorio nacional donde están desarrollados los depósitos terrígenos y carbonatados. A las formas del relieve cárstico

se asocian numerosas manifestaciones de alitas y bauxitas cársticas en casi todas las provincias del país. Las formaciones de bauxitas del tipo lateríticos conocidas en la actualidad están relacionadas con la corteza de intemperismo laterítica in situ ubicadas en el Este de Cuba y concentradas preferentemente en la parte oriental de la provincia de Holguín.

Investigadores del ISMM “Dr. Antonio Núñez Jiménez” aportan nuevos datos acerca de la mineralogía y composición química de las cortezas sobre gabros de la región de Moa (Orozco, 1995; Pons y Leyva, 1996, 1997; Fonseca, 2003).

Orozco (1995) seleccionó un afloramiento bien expuesto del Cayo Guam, concluyendo que en la base del corte afloran gabros muy meteorizados, alterados a un material de color blanco y aspecto terroso-arcilloso al tacto, muy deleznable y con una alta plasticidad. Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base del corte formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso, lo que indica un incremento en el contenido de hierro.

Pons y Leyva (1996) determinaron la composición química de las arcillas ferrocaoliniticas gibbsíticas del yacimiento de Centeno, con el objetivo de caracterizarlas para su utilización como material refractario en la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), concluyendo que los depósitos de arcillas estudiadas tuvieron su origen en la meteorización de cuerpos de gabros, los cuales forman parte del complejo ofiolítico de la región y son perfectamente utilizables como material refractario.

Según Orozco (1995), Pons y Leyva (1996) las manifestaciones de Centeno y de Cayo Guam están constituidas por arcillas caoliniticas, de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones.

Fonseca (2003) desarrolla una investigación dirigida a la evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno. Después de realizar todo trabajo de experimentación y análisis estadístico de los resultados que conforman los objetivos fundamentales del trabajo concluyó que las grandes extensiones de arcillas del municipio no han sido suficientemente estudiadas, con el propósito de ser utilizadas con fines industriales. La composición química y otras propiedades de las arcillas de Centeno, son muy similares a las arcillas rojas comunes.

Se ha realizado trabajos de diplomas en vista a la evaluación de perspectivas bauxíticas en Cuba en los años ochenta en distintos sectores de las Provincias Holguín y Guantánamo (González y Barcáz, 1981; Cobas y Vargas, 1982; De Dios y Cueto, 1982; Moreno y Pérez, 1982; Pino y Rosales, 1982). En estos trabajos, no se pudo afirmar la existencia de bauxitas *sensu stricto*, y como el enfoque era encontrar algo de bauxitas, no se realizaron las perspectivas industriales de los materiales ricos en

alúmina que en la dicha región existen. La interpretación cualitativa de los datos geoquímicos y mineralógicos es muy pobre, que solo se limita a representación tabular de los resultados.

García (1985) realizó una sistematización y generalización de la información geólogo- tecnológico existente sobre las materias primas no metálicos para construcción en la provincia de Holguín. Hace una descripción de las materias primas teniendo en cuenta su ubicación por unidades estructurales, complejos litológicos y formaciones encajantes, así como una clasificación genético-industrial de los yacimientos y manifestaciones en el territorio y una evaluación general sobre las perspectivas y el potencial de materias primas no metálicos en este territorio. Betancourt (1992) hizo una recopilación científico-técnica de la cerámica roja y su aplicación en la industria cubana de materiales de construcción, así como un estudio preliminar de las materias primas fundamentales para la elaboración de productos cerámicos en Moa y la provincia de Holguín.

Las conclusiones García (1985) y Betancourt (1992) son parecidas. Ambos destacan que Moa y el resto de la provincia de Holguín no han sido estudiados en todo su potencialidad de las arcillas para la producción de cerámica roja y otros usos; también afirman que los tipos genéticos de las arcillas en esta zona con mayores perspectivas de construir acumulaciones industriales son las aluviales. Betancourt (1992) plantea que las arcillas son formadas a partir de gabros, aunque esta afirmación está basada en el análisis químico no muy fiable. También, concluyen que las arcillas industriales consideradas en de esta provincia tiene mezcla de diferentes minerales, son moldeables pero presentan defectos de secado. Recomiendan el seguimiento de los estudios de materias primas en las diferentes litologías y sectores y profundizar en los estudios mineralógicos de las arcillas empleando técnicas analíticas de punta y ensayos tecnológicos.

Oliva (1992), en su trabajo sobre las particularidades geológicas y características fundamentales de las cortezas de meteorización en Cantarrana, Moa, concluye que la meniferidad de estas cortezas dependen del tipo de basamento que las producen, por lo que las características petroquímicas son un factor geoquímico determinante en el tipo y característica de las menas del yacimiento. Hace un análisis químico de los cúmulos gabroides sin ninguna referencia al quimismo de las cortezas que en ellos desarrollan.

Fadel (2005), quien determinó las propiedades mineralógicas de siete muestras de material arcilloso en cuatro horizontes de la corteza de meteorización desarrollada sobre gabro de la zona de Cayo Guam. Según los análisis de rayos X realizados a las muestras totales y las fracciones granulométricas del corte estudiado, el autor concluyó que las principales fases minerales presentes son: gibsita, caolinita y goethita; además están presentes fases minerales del grupo de la montmorillonita, esmécticas e illita.

Cámara (2007), analizando la geoquímica de las cortezas alíticas de la región de Moa, en los ejemplos de los sectores Centeno-Jucaral y Cayo Guam, establece que las cortezas del sector Centeno- Jucaral se formaron a partir de rocas volcánicas de fondo oceánica, mientras que las del Cayo Guam se formaron a partir de los gabros bandeados, cuyas bandas están enriquecidas en plagioclasas cálcicas y olivino magnesianos, que yacen muy próximos a la MTZ. Además, establece la existencia de arcillas bauxíticas “debidamente fundamentadas” según las clasificaciones internacionales existentes. Esta clasificación se hizo teniendo en cuenta el carácter bauxítica de las cortezas, o sea, utilizando el parámetro ALFA. Esta afirmación se basó en resultados de la revisión bibliográfica de los trabajos antecedentes sobre el sustrato rocoso (Vila, 2004; Díaz-Martínez et al., 2005; Proenza et al., 2005; Marchesi 2006) y datos geoquímicos parciales de elementos mayores (Cámara, 2007), que no contaban con análisis de elementos trazas y el comportamiento geoquímico de tierras raras.

Estudios geológicos más recientes en la región de Moa fundamentan la importancia de continuar con las investigaciones de las cortezas no ferroniquelíferas ya que pueden aportar importantes recursos a la industria de materiales de la construcción, la cerámica, pigmentos minerales u otras. Lavandero et al. (2009) analizaron el problemática actual de las bauxitas y alitas en Cuba a partir de un investigación bibliográfica detallada, concluyendo que en Cuba existen condiciones geológicas favorables para la génesis de diferentes tipos de cortezas de meteorización ricas en aluminio, que se puede explorar a una escala pequeña escala, teniendo en cuenta los métodos de beneficios que procesan bauxitas de baja ley, conjuntamente con la extracción de otros minerales.

Estos autores plantean que en la parte norte de las provincias Las Tunas y Holguín se verificaron más de 16 manifestaciones, pero desafortunadamente hasta hoy no se han descubierto ningún lugar con el contenido mínimo de 40% de Al_2O_3 , como el límite de utilidad industrial; la muestra de mayor valor es de 29.15% de Al_2O_3 . (Svoboda, 1966).

Ellos recomiendan planificar prospecciones en las áreas en las áreas de mayores posibilidades. Estas áreas incluyen los sectores Vázquez, Santa Lucía, Banes, Jaragua. La Delta, Cupey Cantarrana, Santa Teresita y Piloto en las provincias Las Tunas y Holguín. En la provincia de Guantánamo proponen los sectores que se localizan en las mesetas desarrolladas al Norte y al Nordeste de la ciudad de Guantánamo, las cuales están constituidas principalmente por calizas de diferentes edades entre el Eoceno Medio y el Mioceno Superior. Todos estos lugares se desarrollan acumulaciones de materiales rojos lateríticos de composición ocoso – arcillosa, que rellenan las irregularidades del relieve cárstico de las calizas, los cuales frecuentemente forman bolsones profundos.

Discusión

Los estudios realizados en la zona de la Formación Téneme prestaron atención a la mineralización pirítica hospedada en las rocas andesíticas y andesita-basálticas de la Formación Téneme. Sin embargo, no se le prestó atención a las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre estas litologías, las cuales pueden contener mineralizaciones de metales preciosos o pueden ser utilizadas como materiales de construcción, en la industria de los pigmentos o la refractaria.

Todos los trabajos antes mencionados tienen su aporte considerable tanto como materia de estudio como de referencia, también en la economía nacional. Sin embargo carecen de uno o más especificación o aclaraciones que en la opinión del tutor del presente, se debe profundizar.

Muchos investigadores se concentraban en bauxitas y en ninguno de los estudios realizados se mencionan otros usos que se les pudieran dar a los materiales lateríticos que no cumplieren con los contenidos de Al_2O_3 y por tanto no constituyen bauxitas en *sensu strictus*.

No está claro en la mayoría de los trabajos los criterios para la clasificación de las cortezas de meteorización no ricas en níquel. La información procesada y brindada en Lavaut (2003) permite la creación de mapas y cortes litológicos y geológicos indispensables para la modelación litológica y geológica de las áreas con corteza de intemperismo y de los yacimientos con ellas asociados (Fe, Ni, Co, Al y otras materias primas), permitiendo resolver una tarea primordial y permanente de las investigaciones geológicas y para la minería eficiente de los yacimientos de intemperismo.

El diagrama $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$ en Figura 1 muestra que la mayoría de las manifestaciones minerales y depósitos conocidos en Cuba Oriental son ferrosialíticos, de acuerdo a los análisis químicos de óxidos de Si, Al y Fe tomados de las investigaciones en las cortezas de meteorización alíticas referidas en este trabajo. Es posible encontrar cortezas sialíticas en Cayo Guam, Centeno, Cantarrana, Sierra Verde y Puriales de Caujerí-Viento Frío (Pons et al., 1997; Orozco, 1995; Laverov, 1985; Cobas y Vargas, 1982; Guerasimov et al., 1976). En Quemado del Negro y Cantarrana las cortezas de meteorización tienen más de 60 wt% alúmina (González y Bárcaz, 1981; Guerasimov et al., 1976). Los contenidos férricos están en el rango de 2 a 40 wt% en la mayor parte del área de estudio, mientras los contenidos de sílice están dentro en el rango de 3 a 75 wt%, como en el caso de Quemado del Negro y Cantarrana (González y Bárcaz, 1981; Guerasimov, 1976). Estas cortezas de meteorización son principalmente ferralíticas. Las cortezas de meteorización alíticas pueden estar presentes en Quemado del Negro y Cantarrana, sin embargo, esto puede ser determinando por muestreos en un área mas extendido y análisis químicos precisos. Cabe notar que los únicos datos

recientes usados en el diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ fueron tomados de Njila y Díaz-Martínez, 2009; Cámara, 2007 y Fadel, 2005. La confiabilidad de los otros datos químicos es mínima y nuevos datos químicos a partir de equipos y técnicas recientes pueden proporcionar datos más fiables.

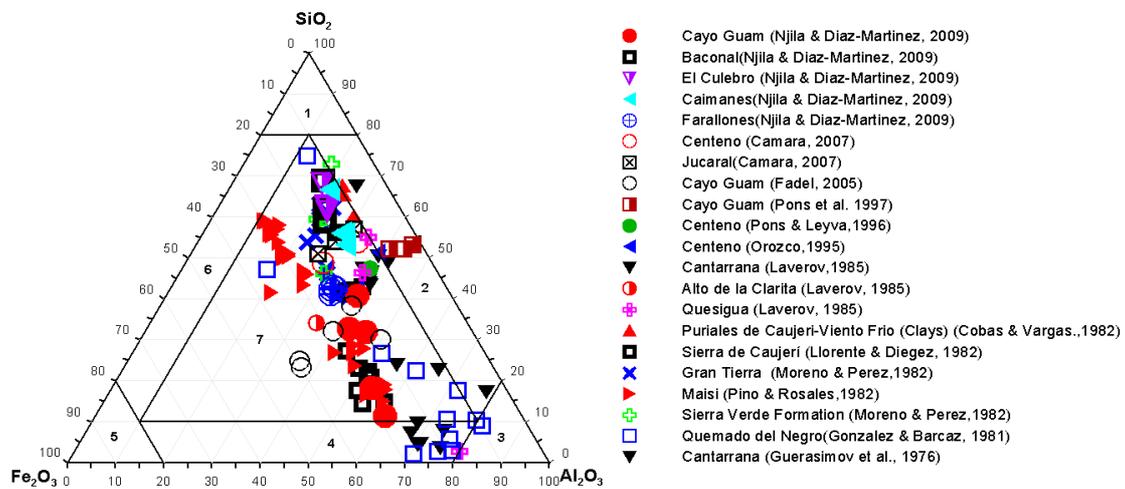


Figura 1. El diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ para las cortezas de meteorización alíticas en Cuba Oriental. 1-silícica; 2-sialíticas; 3 - alíticas; 4 - ferralíticas; 5 - férrica; 6 - ferrisilícica; 7 - ferrosialíticas. (Njila et al., 2010)

A pesar del poco conocimiento de los recursos minerales en las cortezas de meteorización no enriquecidas en níquel, actualmente se explotan parte de las arcillas en Centeno, Moa, para las materiales de construcción. La República de Cuba necesita materia prima para la producción de refractarios, electrocorindón (Sánchez et al., 1989), cerámicas u otras industrias pequeñas que emplean estos recursos. El descubrimiento de yacimientos industriales de bauxitas en Cuba no están completamente agotados y son muchas las manifestaciones que han sido reportadas en casi todo el territorio nacional, pero que han sido insuficientemente estudiadas, careciendo fundamentalmente de la aplicación de métodos geoquímicos y de perforaciones, limitándose generalmente al reconocimientos de la áreas y a la toma de muestras superficiales (Lavandero et al., 2009)

Según Ponce et al. (1985) hay una amplia distribución de cortezas con altos contenidos de aluminio predominantemente en la fracción arcillosa con más del 30% en el territorio de Cuba. Existen perspectivas para bauxitas en el complejo ofiolítico del Cretácico, especialmente en la parte noreste de la provincia de Holguín. Las anomalías aerospectrométricas de Torio revelan en una serie de casos, la relación entre ellas y los depósitos de color rojo de alitas y bauxitas. En Cuba existía una posibilidad potencial para la formación de bauxitas en las formaciones carbonatadas desde el Jurásico y terminando en el Cuaternario. Con esto, las formaciones bauxíticas pueden yacer tanto dentro de los depósitos carbonatados terrígenos – carbonatados de diferentes edades, como dentro de éstos y sobre sus superficies (Lavandero et al., 2009).

En la provincia de Pinar del Río se encuentra el depósito más importante de bauxitas en Cuba, “Sierra Azul – Pan de Guajaibón”, que ha sido estudiado y caracterizado desde diferentes puntos de vista geológicas por varios autores (Teleguin y Pérez, 1976; Daniluk et al., 1987, 1988; Driga et al., 1989; Formell et al., 1994; Hernández, 1989; Hernández et al., 1985; MEKHANOB, 1981; Ortega, 1990). En este depósito se encuentran tres tipos genéticos; a) bauxitas de yacencia primaria, b) depósitos eluvio–deluviales, c) acumulaciones diluvio-proluviales. Solo los dos primeros tipos tienen importancia práctica. Además, en la misma provincia se delimitaron manifestaciones perspectivas como son San Francisco, Pajarito, Los Palacios y San Bartolo, aunque éstas arrojaron composiciones químicas muy por debajo de bauxitas.

En la actualidad hay diferentes métodos para producir alúmina a partir de bauxitas de baja ley. Esto se debe a que a medida que se agoten los depósitos con altos contenidos de alúmina aumentan la demanda y los precios en el mercado mundial, de allí la necesidad de la explotación de depósitos alíticos y bauxitas de baja ley. En la Tabla 1 se presentan los principales componentes químicos de bauxitas en el mundo.

Tabla 1. Principales componentes químicos de varias bauxitas (wt %) por país y localidad, basada en contenidos de Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 y PPI. Tomado de Keith et al. (2002).

Localidad (País)	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	PPI
Boke (Guinea)	56	1.5	7.9	3.7	30.1
Clarendon (Jamaica)	47.8	2.6	17.6	2.3	27.3
Orissa (India)	46	2.7	22.4	1.1	24.2
Onverdacht (Surinam)	59	4.3	3.1	2.5	30.9
Bintan (Indonesia)	53.5	3.9	12.1	1.6	29.2
Mostar (antigua Yugoslavia)	52	3.9	21.2	2.7	16.2
Weipa (Australia)	58	4.5	6.9	2.5	26.8
Moengo (Surinam)	54	4.2	10.4	2.8	28.9
Southern districts (Francia)	57	4.6	22.6	2.9	15.1
Mackenzie (Guyana)	59	4.9	2.9	2.4	30.4
Trombetas (Brasil)	52	5.1	13.9	1.2	28.1
Severouralsk (antigua URSS)	54	6.2	14.8	2.4	15.7
Friguia (Guinea)	49	6.1	14.2	1.6	28.1
Halimba (Hungria)	52	6.6	23.5	2.9	18.1
Arkansas (Estados Unidos)	51	11.2	6.6	2.2	28.4
Darling Range (Australia)	37	26.5	16.4	1.1	19.3

Las bauxitas constituyen la mena más importante de aluminio que se usa ampliamente en la industria moderna. Su mayor uso radica en la producción de alúmina, el consumo de más de 90% de la bauxita producido en el mundo. También se usa en la fabricación de sulfatos alumínicos, la preparación de abrasivos artificiales y fabricación de ladrillos refractarios para hornos en forma calcinada, electrocorindón u otros metales y elementos valiosos distintos al aluminio. Por su conteniendo varios coloidales, se usa en la purificación de petróleo. Otros usos a pequeña escala incluyen la producción de hierro y acero, cemento, cerámicas, químicos y aleaciones de hierro.

Aparte de aluminio, se puede procesar las bauxitas para la extracción de una variedad de compuestos valiosos que tienen importancia para Cuba y otros países en vías de desarrollo, como son los minerales de composición entre la bauxita y minerales de hierro, minerales con altos contenidos de titanio y minerales con alto contenido de vanadio. Estos minerales se pueden utilizar en un complejo de materiales para la producción de hierro y de alúmina (Lavandero et al., 2009). En las provincias de Ciego de Ávila y Camaguey, Cuba central, los cuerpos bauxíticos y alíticos descubiertos se caracterizan por presentar contenidos altos de los siguientes elementos Y, Yb, La, Sc, algunos de los cuales pueden tener significado industrial, sobre todo para la extracción conjunta con la bauxitas, ya que para algunos de ellos existen tecnologías de extracción conjuntamente con el aluminio. Todas las manifestaciones localizadas en esa región representan índices directos sobre la posibilidad bauxíticas en la zona de desarrollo de las calizas del Grupo Remedios (Sánchez et. al. 1989).

El problema complicado de clasificación y terminología de productos de la meteorización ha sido una preocupación mayor a los científicos y los profesionales relacionados desde el 1807 cuando Francis Buchanan describió tal material a lo largo de la costa occidental del sur de la India: Lo que yo he llamado arcilla...es uno de los materiales más valiosos para la construcción. Se distribuye en masas inmensas, sin cualquier apariencia de estratificación y se encuentra sobre granitos que forman la base de Malayala. Está lleno de cavidades, poros y contiene una cantidad muy grande de hierro en forma de ocre amarillos y rojos. En la masa, privado del aire, es tan suave que cualquier instrumento de hierro lo puede cortar y se excava en masas cuadradas con una piqueta e inmediatamente cortado en la forma querida con una paleta o un cuchillo grande. Muy poco después se pone tan duro como el ladrillo y resiste el aire y agua mejor que cualquier ladrillo que yo he visto en India. ... El nombre inglés más apropiado sería lateritas, del *lateritis*, el término que se le puede asigna en la ciencia". Estas declaraciones marcaron el inicio de un tremendo número de estudios sobre este material extraño, resultando en más de 2000 publicaciones (Schellmann, 2007).

El uso del término "laterita" es muy polémico. Cuando Buchanan (1807), citado en Schellmann (2007), introdujo este se refería a un perfil completo desde la base a la superficie. Butt y Zeegers (1992) lo

consideran mas bien un término informal para describir un material ferruginoso-alumínico en un perfil de meteorización. De hecho, se formalizó por vez primera en la literatura de geociencias por Medlicott y Blanford (1879). Richthofen (1886) consideró las "lateritas" como un producto de la meteorización peculiar a los trópicos, sin embargo, es dudoso que su punto de vista llevara a la presente interpretación trinchada ya que su libro era para exploradores. Bauer (1898) reconoció que algunas "lateritas" de Seychelles eran ricas en alúmina y similar a algunas bauxitas alemanas, pero Holanda (1903) escribió "durante la meteorización de silicatos más aluminoso en los trópicos, la sílice, álcalis y alcalinotérreos son removida de la solución, mientras que la alúmina y el óxido férrico se hidrataron y permanecieron detrás."

Sobrepasando el hecho que estos objetos geológicos no son tierras que se deben restringir a las coberturas superficiales sueltas y no extendidos a las cortezas de meteorización completas con espesores hasta diez y más metros presenta dificultades provocadas por nombres de suelos como oxisol, latosol, suelo ferralítico y su definición por propiedades específicas del suelo. Estos términos son sin duda útiles dentro de los sistemas de clasificación internacional del suelo pero no factible para los geólogos investigando lateritas espesas y grandes depósitos de bauxitas y lateritas níquelíferas.

Las interpretaciones diferentes de lateritas se pusieron ocasionalmente exóticas debido a las contradicciones en los aspectos de lateritas y definiciones. Todavía no se ha superado totalmente las diferencias pero en las últimas décadas muchos estudios contribuyeron a una comprensión mejor y unida. Así, el Programa de Cooperación Geológico Internacional No. 129 "Procesos de Lateritización" patrocinado por UNESCO entre 1975-1983 y la Unión de Ciencias Geológicas aceleró la investigación de lateritas en todas las partes del mundo. En 1984 los científicos franceses iniciaron "Eurolat" (Red Europea en Lateritas Tropicales). Además, se estableció una Colección Internacional de Referencia Interdisciplinaria de Lateritas (CORLAT-siglas en ingles) en el Centro de Información y Referencia Internacional del Suelo (ISRIC-siglas en ingles), Wageningen, Países Bajos.

Una definición moderna de lateritas propuesta en los trabajos de Schellmann sólo refiere a los productos de meteorización tropicales avanzados como lateritas, definidos por las proporciones de sílice a los sesquióxidos de Al + Fe por debajo de límites determinados que dependen de la composición de la roca madre (Bourman y Ollier, 2002). Este acercamiento científico es considerado relativamente complicado por otros científicos (Ej. Bourman y Ollier, 2002) pero Schellmann (2007) argumenta que la definición sólo es valido para distinguir entre saprofitas y lateritas. En la práctica, la mayoría de los productos de meteorización se clasifican por características visuales. (Schellmann, 2007).

La terminología usada en los estudios de productos de meteorización constantemente ha sido mal entendida o mal interpretada y parece que no hay un acuerdo en la definición y los esquemas de clasificación, sobre todo con respecto al término "lateritas." Por cierto, la mayoría de los autores son influenciados por las tradiciones de sus propias escuelas y la literatura a su alrededor y también, por sus propias investigaciones (Konta, 1968). Lavaut (2003) hace una correlación de la terminología mundial de las cortezas de meteorización como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Correlación entre la terminología aplicada a las cortezas de meteorización con un perfil completo. Ocre inestructural con perdigones; OEF= Ocre estructural final; OEI=Ocre estructural inicial; RML = Roca madre lixiviada; RMA= Roca madre agrietada). Modificado de Freyssinet (2001).

TERMINOS GENERALES	BUTT&ZEEGERS (1992)	NAHON&TARDY (1992)	LEPRUN et al. (1981)	LAVAUT et al. (2003)	ANAND et al. (1989)
Ferruginous zone [Laterite]	Lateritic gravel	Pebbly ferruginous layer		OICP	Lateritic gravel
[Lateritic ironstone]	Curasse(pisolitic, nodular, massive)	Pisolitic iron crust	Cuirase[Ferricrete]		Lateritic duricrust (pisolitic, massive, etc.)
[Plinthite]		Indurated conglomeratic iron crust			
Mottled zone	Mottled (clay) zone	Soft nodular crust	Carapace nodulaire		
	Plasmic/arenose horizon	Mottled(clay) zone	Argiles tachetées	OI	Mottled zone
Saprolite [Pallid zone]	Saprolite	Fine saprolite	Lithomarge Argiles bariolées	OEF	Saprolite
	Saprock	Coarse saprolite	Alteration Pistaches [Arene/grus]	OEI	
					RML
Bedrock Unweathered rocks	Unweathered/ fresh bedrock	Bedrock	Roche mere	RMA	Fresh rock

En tratar de evitar las confusiones e inconvenientes provocadas por la variabilidad terminológica en los estudios de las cortezas de meteorización, Lavaut (2003) argumentó que su clasificación en base a dos criterios estructuro-genéticos claves, o sea, la zonalidad litológica vertical y el tipo de perfil litológico que es la expresión de la continuidad lateral de la zonalidad litológica vertical en el terreno, es de relevante operatividad y utilidad práctica ya que facilita establecer visualmente los cambios litológicos en forma macroscópica y su documentación. Así, se resuelve el vínculo con su génesis y perspectiva industrial potencial.

La cuantificación de la intensidad o tasa de meteorización, comportamiento geoquímica de elementos durante la meteorización, correlación roca madre-cortezas y el grado de madurez de las cortezas de meteorización se puede determinar a partir de los Índices Químicos de Meteorización. Varios autores han formulado diferentes índices con diferentes fines (Índice Químico de Meteorización (CIW; Harnois, 1988), Índice Químico de Alteración (CIA; Nesbitt y Young, 1982), Índice de Meteorización de Parker (WI; Parker, 1970), Índice de Potencial de Meteorización de Reiche y Vogel (MWPI; Reiche, 1943 y Vogel, 1975), el Índice Residual de Vogt (V; Vogt, 1927 y Roaldset, 1972), Proporción de Ruxton (R; Ruxton, 1968), Índice de Englund y Jorgensen (M_1 , M_2 ; Englund y Jorgensen, 1973), el Índice de Alteración de Plagioclasas (PIA; Fedo et al., 1995), Factor de Lixiviación (LF), entre otros). La información detallada sobre estos índices se puede encontrar en las referencias citadas. Estas son esencialmente correlaciones de la composición química de las cortezas y sus materiales originales inalteradas, principalmente de los elementos móviles (álcalis, alcalinotérreos, sílice) y los no o poco móviles (Zr, Ti, Al) (Njila et al., 2010).

CAPITULO II

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREAS DE ESTUDIO.

1.1. Características físico – geográficas del área de estudio.

1.2. Relieve.

1.3. Clima.

1.4. Vegetación.

1.5. Principales rasgos económicos de la región

1.6. Marco geológico de la región

1.7. Tectónica

1.8. Geomorfología

1.1. Características físico-geográficas del área de estudio

El área de estudio se encuentra enmarcada en las zonas del municipio de Sága de Tánamo y Moa , los cuales se ubican en el noreste de la provincia de Holguín en Cuba Oriental (Figura 2).

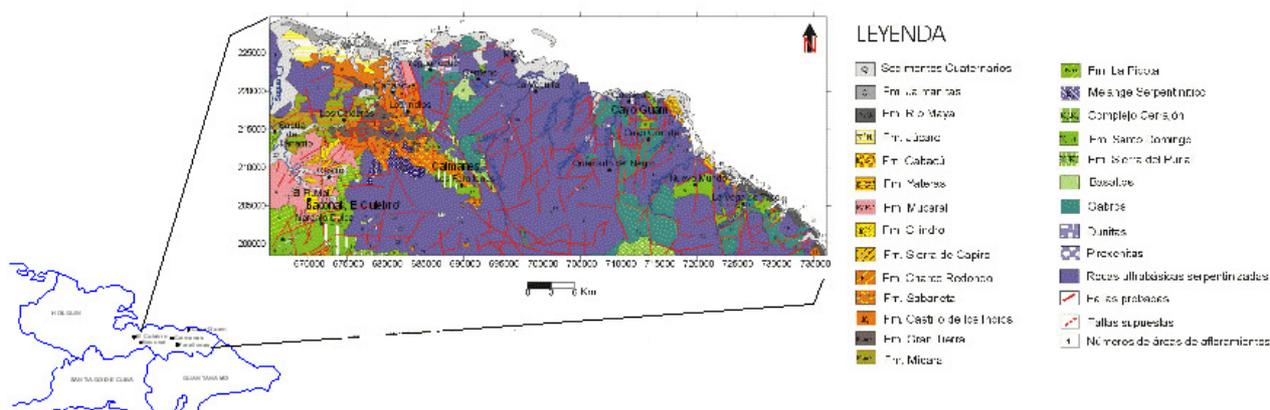


Figura 2. Ubicación geográfica de los sectores de estudio. Tomado de Njila et al. 2010.

1.2. Relieve

La región dentro de la cual se enmarcan los sectores de estudio forma parte del grupo montañoso Sagua-Baracoa con un relieve predominantemente montañoso hacia la parte sur debido a la presencia de la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional. El norte de la región se caracteriza por presentar un relieve más moderado, con cotas que oscilan entre 40 y 50 metros, disminuyendo gradualmente hacia la costa. Precisamente este es el relieve que caracteriza los sectores de estudio.

1.3. Clima

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en el área. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1600 - 2200

mm y la evaporación anual entre 2200 - 2400 mm (Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989). La temperatura media anual oscilan entre 22.6 y 30.5 °C., siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los fríos enero y febrero.

1.4. Red hidrográfica

En las regiones de estudio se desarrolla una red fluvial densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos, entre los que se encuentran los río Moa, Cabañas, Yagrumaje, Cayo Guam, Quesigua, Cupey, Yamanigüey y Jiguaní, río Sagua entre otros; todos ellos mantienen un buen caudal todo el año ya que su fuente de alimentación principal son las precipitaciones atmosféricas. Los mismos desembocan en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

1.5. Vegetación

La vegetación comprende el 33 % del endemismo cubano. Podemos encontrar pinares, pluvisilvas, charrasco y bosques tropicales predominando el *pinus cubensis* y plantas latifodias. 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. 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 (Atlas Nacional, 1981).

1.6. Principales rasgos económicos de la región.

Económicamente la región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Comandante Ernesto "Che Guevara" y la Comandante "Pedro Soto Alba", con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Este reglón constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel del Comandante Gustavo Machín Goetdebeche, centro de proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la empresa constructora y reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. La agricultura tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región, el municipio Sagua de Tánamo es uno de los más grandes productores de café de la provincia, en municipio Fran País además de la recolección del café se encuentra enclavado el complejo Agroindustrial que lleva el mismo nombre de la localidad. También la ganadería se encuentra entre

las actividades económicas que se llevan a cabo en la región pero no tiene un gran peso puesto que no está muy desarrollada. En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos; en Punta Gorda, a 8 km al este de la ciudad de Moa en Cayo Guam a 15 km se encuentran sendas plantas beneficiadoras de mineral cromífero de los yacimientos Merceditas y Amores. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nueva Mundo, el Tejar, el combinado lácteo y otros.

La agricultura tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región, el municipio Sagua Tánamo es uno de los más grandes productores de café de la provincia, en municipio Frank País además de la recolección de café se encuentra enclavado el complejo agroindustrial que lleva el mismo nombre de la localidad, el cual tiene una norma de producción de azúcar superior a las 250 000 t / año. Existen otros sectores económicos como la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona, siendo el eslabón importante de la economía y la ganadería aunque no tiene un gran peso puesto que no esta muy desarrollada.

1.7. Marco Geológico regional.

La geología de la región se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por un variado mosaico de litologías aflorantes y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objetivo de la investigación.

Formación Téneme (Ságua de Tánamo)

La Formación Téneme (Iturralde – Vinent, M.) está compuesta esencialmente por lavas andesíticas y andesita-basaltos de edad Cretácico inferior. Es precisamente este el rasgo principal lo que diferencia a la Formación Téneme de la Formación Santo Domingo. Ella se distribuye en las cuencas de los ríos Cabónico y Téneme y además, se encuentran en la región de Ságua de Tánamo. Aunque se han aportado pocos datos geoquímicos de estas rocas, algunos autores consideran que la Formación Téneme pudiera ser parte de un antiguo arco de isla Tipo PIA (Torres y Fonseca, 1990; Lebrón y Perfit, 1994), Los estudios más detallados fueron realizados en la cuenca de los ríos Cabónico y Téneme, donde se diferencian en tres partes: La parte inferior de la sección se compone de tobas de porfiritas basálticas, con intercalaciones de rocas efusivas de la misma composición y más raramente intercalaciones y lentes de tufitas y tobas – limonitas. El espesor es de cerca de 500 metros. En la parte media se presentan porfiritas basálticas, a menudo amigdaloides y diabasas, todas ellas de color gris oscuro a verde gris; muy raras veces se encuentran intercalaciones de tobas. El espesor es de 1200 metros.

Formación Santo Domingo

El autor de esta formación es M. Iturralde-Vinent (1976). El origen del nombre proviene de la localidad de Santo Domingo, al Sur del caserío de Calabazas, provincia de Santiago de Cuba. Su localidad tipo se encuentra a S – SW del mismo caserío. Entre sus sinonimias la más importante es la Fm. Bucuey (D.P. Coutin en Nagy, E. et al. 1976). Está constituida por tobas, lava brechas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno. Aunque en la descripción dada para la formación, las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de esta, lo cierto es que en la región de estudio parecen predominar las lavas basálticas con textura amigdaloidal y almohadiformes, de composición toleítica. Es interesante, cómo ya algunos autores, consideran a estas secuencias no pertenecientes a la Formación Santo Domingo, sino que les denominan informalmente Formación Téneme (Mossakovsky et al., 1988), secuencia que por su descripción petrográfica y geoquímica se corresponde más con un arco primitivo que con un arco maduro como es el caso de la Formación Santo Domingo sensu estricto, mientras que otros la consideran en algunos sectores como en el caso de Centeno como parte de los niveles del Complejo efusivo sedimentario de la Asociación Ofiolítica (Gyarmati et al., 1990). El grado de afectación tectónica, que en la mayoría de los afloramientos posee, así como de procesos hidrotermales post emplazamiento, ha dificultado su estudio. Es posible que una parte de la secuencia, pueda pertenecer al corte ofiolítico, transicionando hacia un arco primitivo, cuestión que deberá aclararse en el futuro, con un minucioso estudio petrogeoquímico. En la parte baja del perfil predominan las tobas estratificadas de composición ácida-intermedia con intercalaciones de lavas de basaltos, andesita-basaltos y cuerpos subvolcánicos de gabro –diabasa, diabasa hasta diorita, diorita cuarcífera en forma de *sills*. El pozo estructural PE-3 cortó un gran cuerpo de gabro-diabasa desde 141,0 hasta 354,45 m de profundidad. La parte periférica de estos sills y cuerpos petrográficamente es basalto, debido al más rápido enfriamiento (Gyarmati, 2001).

La parte subvolcánica de esta formación está representada por diabasa, gabro-diabasa microgabros, pórfido diorítico cuarcífero y dioritas. Generalmente son intrusiones de diques sills y cuerpos de algunos metros o algunas decenas de metros. En la región de Moa afloran fundamentalmente las secuencias básicas y ultrabásicas pertenecientes a las ofiolitas septentrionales y las rocas del arco volcánico del Cretácico. No es objetivo de este trabajo hacer un análisis profundo de la geología regional, por tanto se expondrán aquellos elementos de la geología que más afectan la zona de estudio.

1.7.1. Ofiolitas septentrionales.

Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en toda la región y área de estudio, formando parte del Macizo Moa-Baracoa. Estas rocas constituyen los componentes esenciales del complejo máfico-ultramáfico, caracterizado desde el punto de vista petrológico por el predominio de harzburgitas y dunitas y en ocasiones dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas. Forman parte de este complejo los extensos cuerpos de gabros bandeados. (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985).

El complejo Vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza et al, 2006, 1997). Está representado por lavas en almohadillas de composición basáltica con intercalaciones hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas. Datos recientes de trazas (elementos de tierras raras y elementos litófilos de grandes radios iónicos) demuestran que estas rocas se generaron en una cuenca de trasera de arco o mar marginal, en una zona de expansión de fondos oceánicos.

1.7.2. Arco de islas volcánicas del Cretácico.

En la región se desarrollan ampliamente las secuencias volcánicas y vulcanógeno- sedimentarias pertenecientes al arco de islas del Cretácico. Estas secuencias están representadas por las rocas de las formaciones Santo Domingo y el Complejo Cerrajón.

La Fm. Santo Domingo (Albiano-Turoniano) está compuesta fundamentalmente por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998, 2006; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y otros, 1990, 1998); se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno.

El complejo Cerrajón (Aptiano-Turoniano) está compuesto de diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990; Gyarmati y otros, 1998).

La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1994, 1996c) y fue el resultado de una subducción intraoceánica. Restos de este basamento ofiolítico del arco afloran actualmente y están representados por las anfibolitas de la Formación Güira de Jauco, al sur de la región de estudio (Millán, 1996; Iturralde-Vinent, 1996).

En la zona de contacto de estas rocas cretácicas con las ofiolitas, las mismas se encuentran deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. En ocasiones los contactos coinciden con zonas muy fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen mezcla de bloques de ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 1978).

1.7.3. Cuencas de "piggy back" del Campaniense Tardío-Daniense.

En el Campaniense medio, culminó la actividad volcánica y comenzaron los procesos de cabalgamiento de las secuencias volcánicas generadas y de las ofiolitas del mar marginal (obducción) sobre el borde meridional de la Plataforma de Las Bahamas. En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de *"piggy back"* (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación"; Quintas, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias Mícara, La Picota y Gran Tierra (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

1.7.4. Arco de islas volcánico del Paleógeno.

Entre el Paleoceno-Thanetiense y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobaceas, calizas, conglomerados tobaceos, lutitas, margas, graveritas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde- Vinent, 1994, 1998; Cobiella, 1978; Proenza y Carralero, 1994).

1.7.5. Cuencas de *"piggy back"* del Eoceno Medio-Oligoceno.

En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleogénica. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* (Quintas y Blanco, 1993) en las cuales se depositaron espesores considerables de materiales terrígenos y carbonatados. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno en la región de estudio están representadas por las formaciones Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

1.7.6. El "Neoautóctono" (Materiales post-Eoceno).

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "cinturón plegado". Las rocas del "neoautóctono" constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de las costas formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 2006). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas (Nagy y otros, 1976; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

1.8. Tectónica.

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie). Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

El alto grado de complejidad tectónica que presenta la región se pone de manifiesto en la superposición de distinto fenómeno geológico originado en diferentes periodos. Las secuencias de rocas del Cretácico están representadas por la formación Téneme y la picota, donde se pueden observar sistemas de fallas y grietas pertenecientes a distintos periodos de movimiento tectónicos, las más antiguas a pesar de encontrarse afectadas por los sistemas recientes presentan una dirección aproximadamente norte – suroeste. En algunos lugares se observan sistemas de fallas arqueadas por cambio de dirección de los movimientos tectónicos o por contactos tectónicos entre rocas con diferentes resistencias.

Las estructuras disyuntivas presentan una dirección noreste, las estructuras plicativas se encuentran propagadas en el centro y sur del área presentando desplazamientos y De formaciones ocasionadas por las estructuras disyuntivas. La secuencia más joven está desarrollada hacia la parte norte del área donde se encuentran afectadas por algunas fallas muy recientes y otras que se han reactivado. La tectónica del complejo ofiolítico es bastante compleja, se encuentra afectada por varios sistemas de dislocaciones disyuntivas en dos direcciones principales, norte y noroeste con un predominio de la primera, se observan fallas arqueadas en las zonas de contacto tectónico, aparecen estructuras plegadas y los arqueamientos se encuentran desplazados y deformados por sistemas de fallas.

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983).

A fines del Campaniano Superior - Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983). A fines del Campaniano Superior - Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983). Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Rodríguez, 1999), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

Geomorfología

En toda la parte de la región oriental desde Mayarí hasta Moa las características geomorfológicas son muy complejas y diversas.

Nuestra zona de trabajo ubicado en el grupo de regiones montañoso con un relieve de bloques erosivos – tectónico (Sierra Nipe – Cristal) de tipo de mesetas y montañas bajas. Hacia el norte a lo largo de la costa, predominan los promontorios septentrionales que se extienden desde la bahía de Nipe al oeste, abarcando toda el área de trabajo hacia el este; hacia el sur se extienden las mesetas de la sierra de Nipe – Cristal. Haciendo un estudio del relieve en cuanto a su tipo y forma podemos concluir que hacia el norte cerca de la desembocadura, predominan las llanuras erosivas y llanuras denudativas, sobre el lecho de rocas onduladas y ligeramente disecionadas. En el curso medio y superior del río Téneme predomina las montañas baja profundamente disecionadas. Las mayores pendientes se encuentran hacia el centro y sur del área relacionada con las rocas básicas, y ultrabásicas, las cuales disminuyen hacia norte.

CAPITULO III

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Introducción. Método de campo. Análisis de laboratorios. Análisis químico de roca total por Fluorescencia de Rayos X. Caracterización geoquímica de los perfiles. Cuantificación de los procesos de meteorización. Índices de Meteorización

2.1. Introducción

En el capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante el estudio de la caracterización geoquímica de las cortezas de meteorización alíticas de la región Moa-Sagua de Tánamo; se ofrecen datos de composición química y mineralógica de muestras recolectadas durante la campaña de campo. La metodología empleada es asequible para el estudio de estas cortezas y se desarrolló en cuatro etapas principales: Recopilación y procesamiento de la información ya existente, trabajos de campos, trabajos de laboratorio e interpretación y representación de los datos obtenidos

Método de campo: selección de perfiles y toma de muestras.

Zona de Baconal-El Culebro

Materiales empleados en el campo:

- Piqueta de geólogo
- Brújula
- Sistema de posicionamiento global (GPS-siglas en inglés)
- Libreta de campo
- Bolsas plásticas
- Cámara fotográfica

Punto 1:

20° 31' 44" N

74° 57' 16" W

El reconocimiento comenzó en la intercepción del camino hacia Limoncito por el camino hacia El Culebro. En este punto se tomó las coordenadas exactamente en el punto de la red geodésica nacional. En esta zona afloran basaltos de color gris oscuro con tonalidades verdosas oscuras, debido a un intenso proceso de propilitización (Njila et al. 2010).

Punto 2:

A unos 300 m del punto anterior, siguiendo el camino hacia Baconal se observan cortezas de color pardo rojizo con manchas amarillentas y verdosas que evidencian el bajo grado de madurez; se trata de un material saprolítico; en el cual se observan pequeños fragmentos de cuarzo y de vulcanitas alteradas cuyas dimensiones oscilan entre 1 y 5 cm respectivamente.

Punto 3:

En el camino hacia Baconal, comenzando el ascenso de un pequeño cerro aflora un cuerpo subvolcánico compuesto por porfirita andesítica, de color gris verdoso. La matriz es plagioclásica, pero los fenocristales máficos están cloritizados debido a procesos de alteración propilítica.

Punto 4:

20° 35' 27" N

75° 25' 14" W

En la zona de Baconal, en un área de aproximadamente 20 km² se desarrolla una potente corteza de meteorización sobre rocas volcánicas con una notable variación en el perfil de su composición, textura y coloración. En la parte superior del perfil es un material de granulometría fina, con una textura ocrosa con abundante arcilla y coloración rojiza (Figura 3).



Figura 3. Microfotografía que muestra la corteza de meteorización desarrollada sobre basaltos de la Formación Téneme. Sector Baconal. Muestras TNL-1 y TNL-2.

La parte inferior del perfil laterítico se diferencia notablemente de la parte superior; la textura es gruesa, con clastos de vulcanitas en su interior y coloración parda amarillenta (Figura 4).



Figura 4. Microfotografía mostrando la base de la corteza de intemperismo del sector Baconal, compuesto por saprolitas. Se observan clastos de basaltos. Muestra TNL-3.

La potencia de suelo no sobrepasa al metro de su espesor y en él se instala una abundante vegetación compuesta por helechos y matorrales. Las palmeras y cocoteros son típicos de estos terrenos, lo que sugiere el amplio desarrollo de rocas volcánicas meteorizadas en toda la zona de desarrollo de la Formación Téneme.



Figura 5. Microfotografía donde se observa la vegetación típica de la zona de Baconal.

En la zona El Culebro también se desarrolla una potente corteza de intemperismo sobre rocas volcánicas con rasgos composicionales, texturales y de coloración muy parecida a la existente en Baconal, por lo que pudiera tratarse de una misma corteza de meteorización ampliamente distribuida en el sector Limoncito-Baconal-El Culebro. A unos 200 metros de la intercepción del camino vía a Limoncito comienza a aflorar una corteza laterítica poco potente y de coloración parda amarillenta indicando así un perfil de tipo saprolítico. La potencia no sobrepasa los 2 metros. Es común observar fragmentos de rocas volcánicas y en algunos puntos del camino la presencia de brecha volcánica con textura de saprolita.

Punto 5:

20° 35' 47" N

75° 26' 03" W

En este punto aflora una corteza de meteorización con espesor de aproximadamente 8 metros y un perfil muy similar a la que se desarrolla en la zona Limoncito-Baconal, con presencia de arcillas de color ocre en la parte superior y pardo-amarillento en la base.

En la parte superior del perfil el material es arcilloso de color rojizo (Figura 6). Se tomaron dos muestras (TNL-4 y TNL-5) con longitud de 1.5 metros cada una. La parte más cercana a la superficie no pudo ser muestreada debido a la pronunciada pendiente del afloramiento. Hasta la base de la muestra TNL-5 la potencia es de aproximadamente 4 metros.

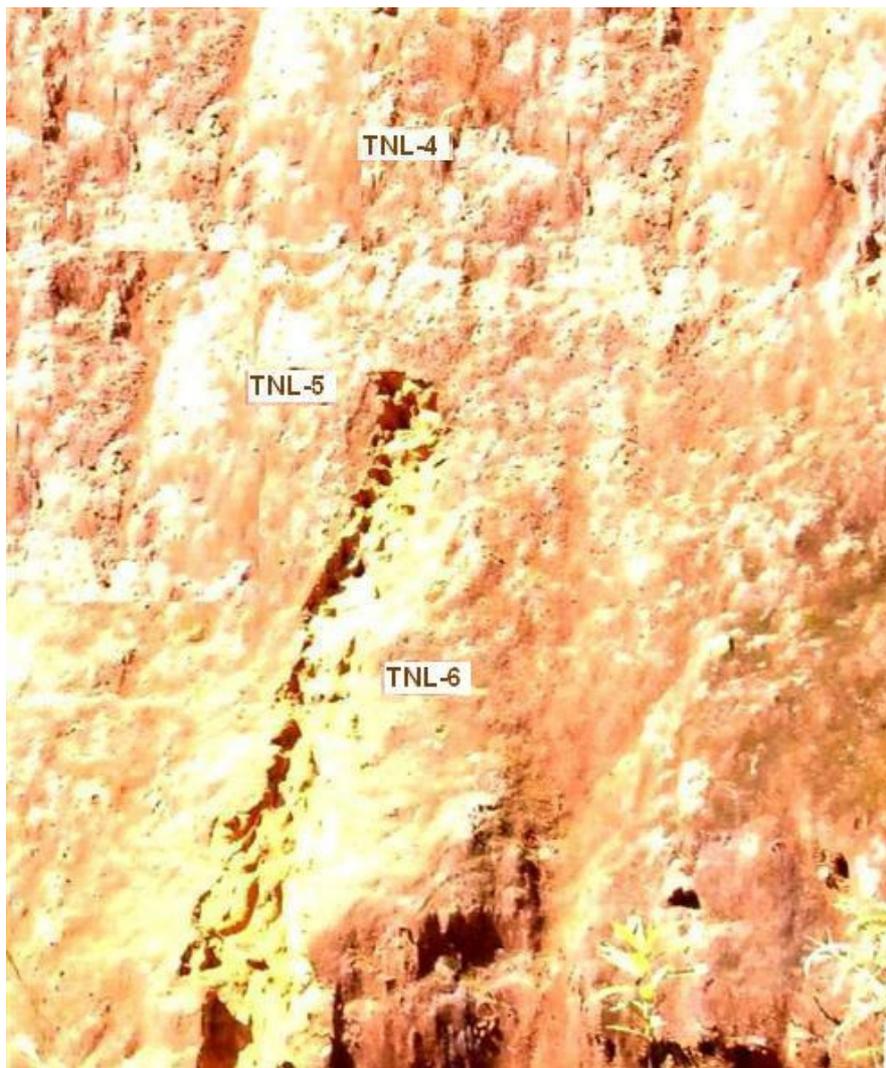


Figura 6. Microfotografía mostrando los sitios de toma de muestras.

Al realizar el surco por debajo de la muestra TNL-5 la coloración del material aunque superficialmente es pardo-rojizo, cambió a pardo amarillento, como se observa en la Figura 6. El tamaño de grano es mayor que el de la parte ocrea lo que le confiere una textura algo gruesa, el contenido de arcilla es menor; Este horizonte representa la saprolita blanda en el perfil de meteorización.

En la base del perfil aflora un material amarillento con manchas rojizas y fragmentos de vulcanitas (Figura 7) representando la saprofito gruesa en el perfil.



Figura 7. Microfotografía evidenciando el cambio de textura y coloración entre la parte superior y la base del perfil. Aquí se tomó la muestra TNL-7.

Zona Caimanes-Farallones

Punto 6

20 33 07 N

75 01 55 W

En este punto aflora, en un área de aproximadamente 2,5 km², una corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas volcánicas, al parecer tobas de la formación Sabaneta.

En la parte superior del perfil laterítico se desarrolla un suelo con espesor de 62 cm. El horizonte de acumulación vegetal tiene un espesor de 5 cm. La vegetación que se desarrolla encima de este horizonte es herbácea. Por debajo de este horizonte se desarrolla la zona de humus de color pardo oscuro con tonos rojizos. El espesor es de 5 cm. Por debajo del horizonte de humus se desarrolla un horizonte pardo claro con tintes rojizos. El material es arcilloso con textura terrosa y muy agrietado debido a la intensa evapo-transpiración que elimina el agua de poro creando un suelo muy

fragmentado. El espesor total de suelo es de 62 cm. (Figura 8). Se tomó una muestra (TNL-8) compuesto de suelo correspondiente a los cuatro horizontes.



Figura 8. Horizonte de suelo desarrollado sobre rocas volcánicas. A₀- Horizonte de acumulación vegetal; A₁- Horizonte de humus; A₂- Horizonte arenoso; A₃- Horizonte arcilloso.

Por debajo del suelo se desarrolla un horizonte arcilloso sin evidencias de restos de roca primaria. El espesor es de 0,475 m. El color es pardo claro a blanco amarillento. Al tacto es bastante arcilloso y de textura fina. Este horizonte lo denominamos como arcilloso-simonático-caolinitico. En este horizonte se tomó la muestra TNL-9 (Figura 9).

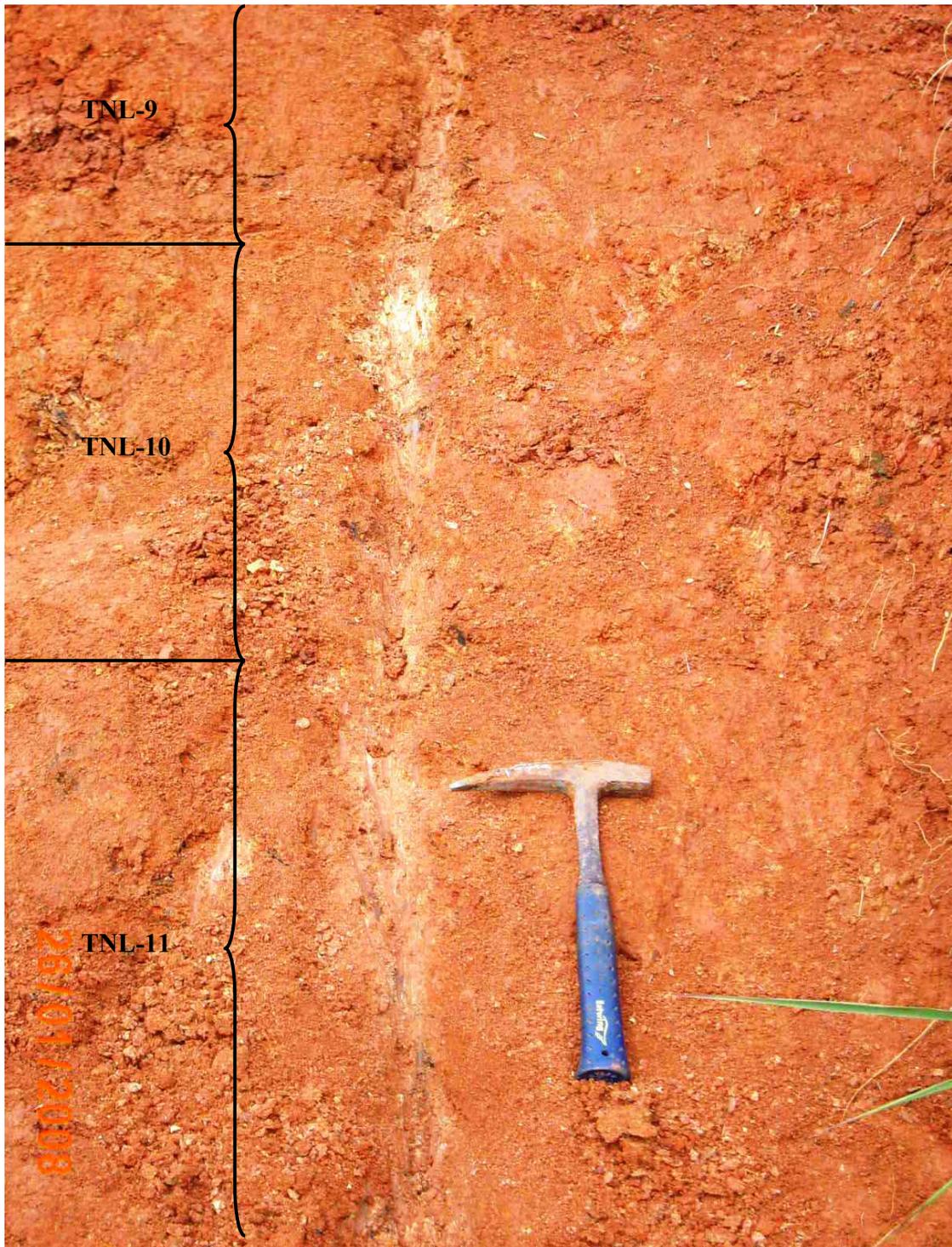


Figura 9. Perfil de intemperismo de la meseta de Caimán. Muestra los surcos realizados y muestras tomadas en cada surco.

Por debajo del horizonte anterior se desarrolla una zona moteada de color pardo rojo con manchas blancas probablemente debido a caolinita y manchas pequeñas de color negro que pudiera estar

relacionado con la presencia de manganeso. El espesor de este horizonte es de 2,5 metros. En este horizonte se subdividió en dos saborizantes debido a cambios texturales fundamentalmente; el material del horizonte superior es blando y muy arcilloso con un espesor real de 0,40 metros (TNL-10), mientras que el inferior es duro y menos arcilloso, con espesor de 0,70 metros (TNL-11). En la base del perfil laterítico se observan fragmentos gruesos de roca muy alterada de color verde (Figura 10). Se trata de la roca madre que dio origen a la corteza de intemperismo; esta roca al parecer es una toba (TNL-12).

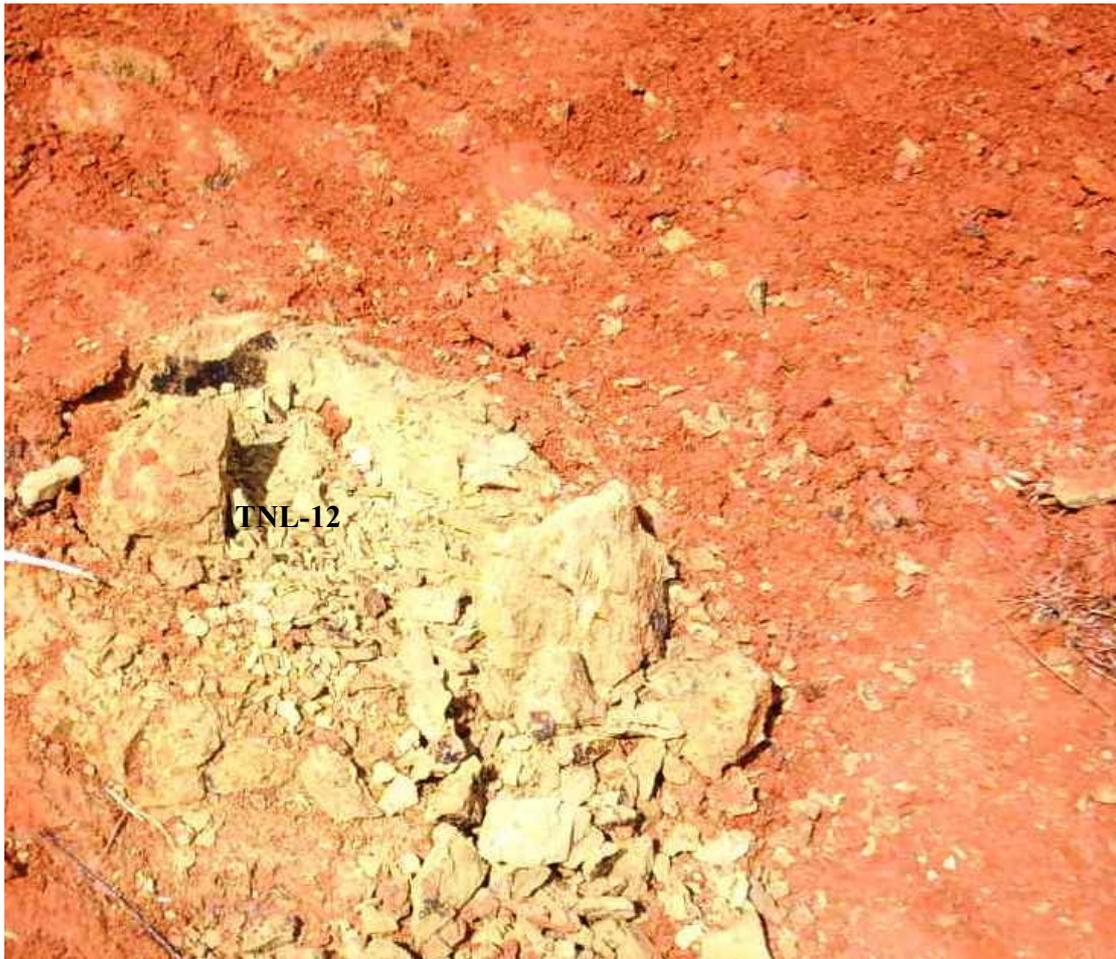


Figura 10. Bloques de roca madre en la base del perfil laterítico. Tobas de la Formación Sabaneta.

Punto 7

20 30 29 N

75 00 21 W

En el mismo poblado de Farallones se desarrollan cortezas de meteorización sobre rocas volcánicas, fundamentalmente basaltos. Para el estudio de esta corteza se tomaron varias muestras de un mismo perfil (Figuras 11 y 12) de un sector representativo de la zona.



Figura 11. Parte superior del perfil de meteorización en Caimanes, representado por la muestra TNL 13.

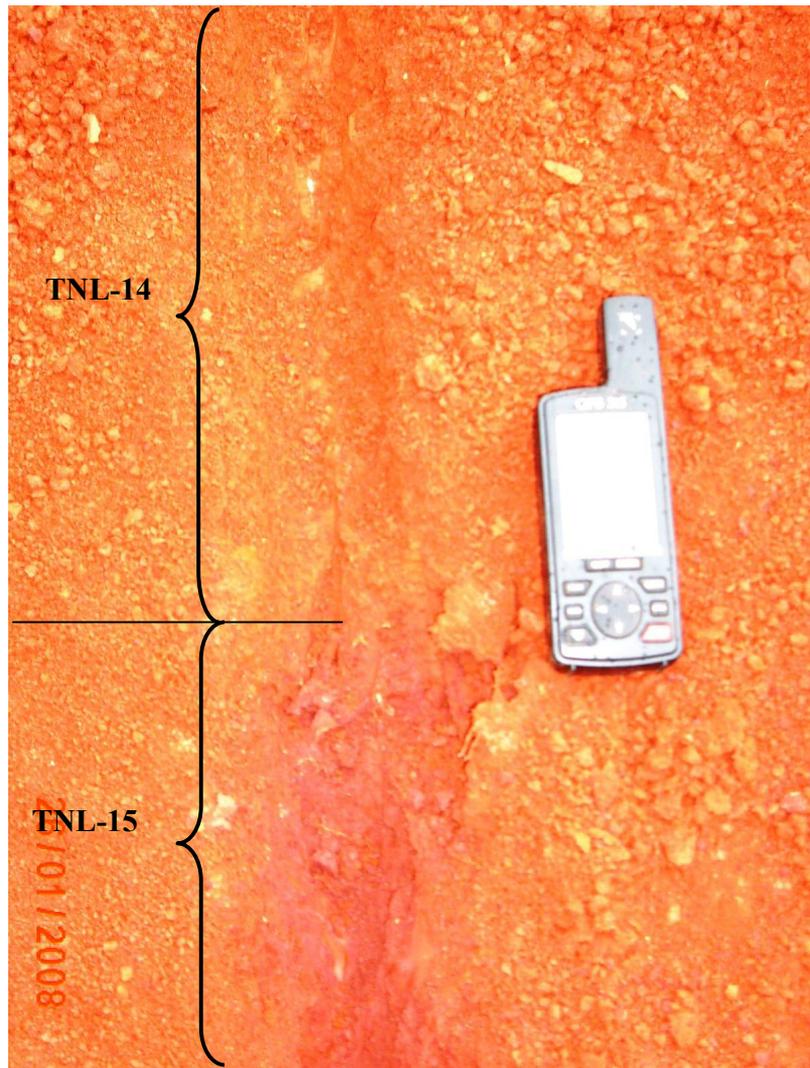


Figura 12. Perfil de meteorización en Farallones. Muestras TNL 14 y 15.

Se tomaron las muestras de un corte artificial que aflora en Cayo Guam a unos 4km de la carretera Moa-Baracoa, en las coordenadas X=217940 e Y=706600. En el corte se define cuatro horizontes y se tomaron una muestra por horizonte, como se muestra en la Figura 13.

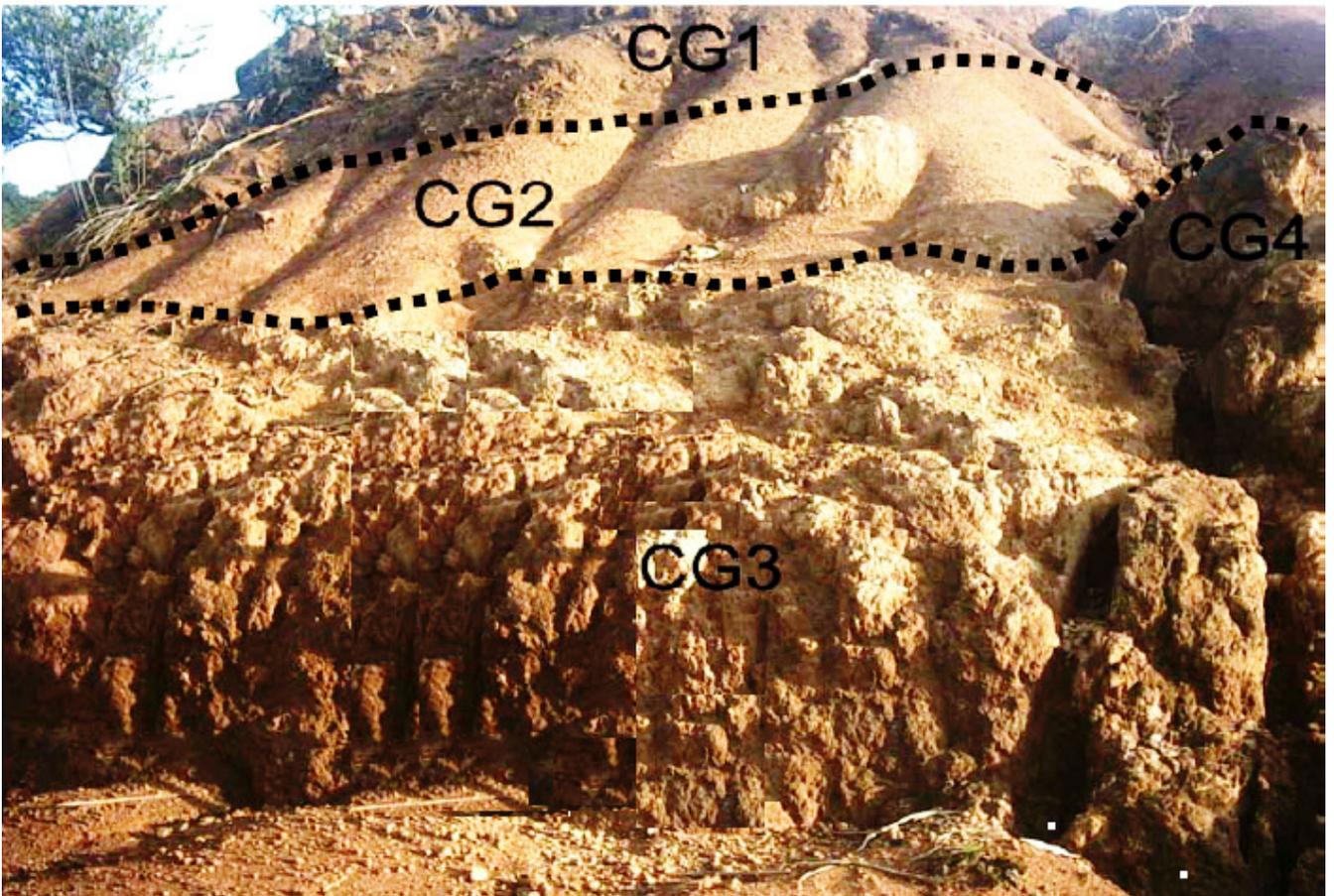


Figura 13. Corte donde se tomaron las muestras CG1 hasta CG4 en Cayo Guam.

Separación Granulométrica

Materiales a utilizar en la separación de las muestras

- Estufa
- Erlenmeyer
- Agua destilada
- Agitador eléctrico
- Tamices de 0.063 mm y 0.18 mm; 0.07 mm y 0.149 mm.
- Cápsulas de porcelana
- Cubeta plástica
- Brocha fina
- Lápiz cristalográfico

Operaciones

- a. Secado inicial al sol

- b. pesaje
- c. Homogeneización y cuarteo
- d. Agitador eléctrico
- e. Tamizado por vía húmeda
- f. Secado final.
- g. almacenaje

El secado inicial de las muestras se realizó a temperatura ambiente; posteriormente fueron colocadas en sobres de papel, marcadas y almacenadas. El pesaje se realizó utilizando una balanza analítica de marca Owlabor con una precisión de 0.1 gramo. Posteriormente se homogeneizaron y se cuartearon.

El siguiente paso consistió en disgregar las muestras con el objetivo de separar las partículas según su tamaño natural. Cada muestra se colocó en un Erlenmeyer con agua y un tapón de goma y luego se agitaron durante 1 hora en un agitador eléctrico tipo THYS 2 en el laboratorio de Análisis Químico, ISMM, que se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Agitador eléctrico Thys-2 para disgregar las muestras.

Luego se procedió al tamizado por vía húmeda empleando dos tamices de aperturas 0.063 mm y 0.18 mm, en este orden, para obtener tres fracciones de -0.063 mm, $+0.063-0.18$ mm y $+0.18$ mm. El tiempo total dedicado a esta operación fue de aproximadamente 2 horas. Se colocaron las tres fracciones en cápsulas de porcelanas y secadas en una estufa a 110°C durante 2 horas.

Análisis químico de roca total por Fluorescencia de Rayos X

Los análisis químicos de roca total por FRX de las muestras de Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones se realizaron en la Universidad de Barcelona (UB), España, empleando un espectrómetro de marca Panalytical (Phillips) PW2400 con un tubo Rh de rayos X operado a 60 KeV, 125 mA y 3000 W. Las muestras de Cayo Guam se analizaron por FRX en la Empresa Geominera Oriente, usando un espectrómetro Phillips PW2400.

Índices de meteorización

Los índices de meteorización son ecuaciones que, sobre la base del análisis químico de las rocas, permiten conocer el grado de descomposición, o sea, la medida de la cantidad de meteorización que ha tenido lugar. El cálculo de los índices se basa en las relaciones entre los óxidos menos móviles (esencialmente Al_2O_3 , TiO_2) y los más móviles o solubles en condiciones superficiales (CaO , Na_2O , K_2O).

Los Índices Químico de Meteorización evaluados en este trabajo incluyen: El Índice Químico de Meteorización (CIW; Harnois, 1988), Índice Químico de Alteración (CIA; Nesbitt y Young, 1982), Índice de Meteorización de Parker (WI; Parker, 1970), Índice de Meteorización de Reiche y Vogel (MWPI; Reiche, 1943 y Vogel, 1975), Índice Residual de Vogt (V; Vogt, 1927 y Roaldset, 1972), Proporción de Ruxton (R; Ruxton, 1968), Índice de Englund y Jorgensen (M_1 , M_2 ; Englund y Jorgensen, 1973), Índice de Alteración de Plagioclasas (PIA; Fedo et al., 1995) e Índice de Móviles (I_{mob} ; Irfan, 1996). Típicamente, ellos son aplicados trazando un índice dado contra la profundidad en un perfil del Meteorización, mientras haciéndolo posible para una representación visual gráfica de los cambios en la química total de la roca (Price y Velbel, 2003). Aquí se emplearon para caracterizar geoquímicamente la meteorización *in situ*, amplificando la comprensión de la movilidad, distribución y concentración de elementos químicos durante la meteorización y la concentración subsecuente en la formación mineral.

Para el cálculo de los Índices de Meteorización evaluados en este trabajo se utiliza las proporciones molares de los compuestos químicos. Las expresiones matemáticas para estos índices se presentan a continuación.

Proporción de Ruxton (R)

$$R = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$$

Índice de Meteorización (de Parker) (WIP-siglas en ingles)

$$WIP = \left(\frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{MgO}{0.9} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.7} \right) 100$$

Índice Residual de Vogt (V)

$$V = \frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$$

Índice Químico de Alteración (CIA-siglas en inglés)

$$CIA = \left(\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} \right) 100$$

Índice Químico de Meteorización (CIW-siglas en inglés)

$$CIW = \left(\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O} \right) 100$$

Índice de Alteración de Plagioclasas (PIA-siglas en inglés)

$$PIA = \left(\frac{Al_2O_3 - K_2O}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O} \right) 100$$

Índice de meteorización de Reiche (1943) modificado por Vogel (1975) (MWPI-siglas en inglés)

$$MWPI = \left(\frac{Na_2O + K_2O + CaO + MgO}{Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \right) 100$$

Índice de meteorización Potencial (WPI-siglas en inglés)

$$WPI = \frac{Na_2O + K_2O + CaO + MgO - H_2O^+}{Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2}$$

Índice de Móviles (MI-siglas en inglés)

$$I_{mob} = \frac{(Na_2O + K_2O + CaO)_{roca} - (Na_2O + K_2O + CaO)_{corteza}}{(Na_2O + K_2O + CaO)_{roca}}$$

Factor de Lixiviación (LF-siglas en inglés)

$$LF = \frac{((K_2O + Na_2O)/SiO_2)_{corteza}}{((K_2O + Na_2O)/SiO_2)_{roca}}$$

En la Tabla 3 se muestra algunas propiedades y consideraciones de los índices evaluados en este trabajo.

Tabla 3. Valores óptimos y tendencia relacionados con los índices químicos de meteorización evaluados en este trabajo

INDICE	CIW	CIA	WI	PIA	V	R
Valor fresco óptimo	≤50	≤50	>100	≤50	<1	>10
Valor meteorizado óptimo	100	100	0.00	100	Infinito	0.00
Tendencia ideal hacia arriba	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo	Positivo	Negativo
Permite movilidad de Al	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Referencia	HARNOIS, 1988	NESBITT & YOUNG, 1982	PARKER, 1970	FEDO ET AL., 1995	VOGT, 1927	RUXTON, 1968

Medición del pH

La medición del pH se realizó en el Laboratorio de Química del ISMM, gracias a la cooperación del compañero técnico de esta localidad. Se empleó los siguientes materiales y métodos:

- Balance electrónico
- Titrador Compacto (marca CRISON versión S, fabrica Española, pH optimo entre 1 y 13)
- Papeles filtradores
- *Beakers*
- *Measuring cylinders*, 100ml
- Agitadores eléctricos
- Agua destilada

Método Titrimétrico

Se mide los 10 gramos de cada muestra (de TNL1 hasta TNL16) con el balance eléctrico. Después se coloca en un *beaker* y se le añade 100 ml de agua destilada usando *measuring cylinder*. Se coloca el *beaker* sobre el agitador eléctrico hasta que se mezcle totalmente. La solución se pone en el beaker de medición en el cual se mide el pH usando electrodos del Titrador. La lectura en la pantalla de la dicha maquina se lee y se anota en la libreta.

Clasificación geoquímica de las cortezas

Se empleó el carácter bauxítico del material analizado, tomando como criterio un contenido de $Al_2O_3 > 20\%$. Los coeficientes empleados fueron:

1. Coeficiente ALFA el cual también es una cantidad adimensional cuya expresión es $ALFA = 0.85 (\%SiO_2 - \%Al_2O_3) / \%Al_2O_3$, y es el parámetro que define aproximadamente el exceso o déficit de alúmina de un material.

2. Modulo de alúmina $K = \% \text{Al}_2\text{O}_3 / \% \text{SiO}_2$ cantidad adimensional que define el carácter bauxítico del material cuando sus resultados son mayores de 2.5.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Introducción. Distribución granulométrica. Caracterización geoquímica de las cortezas y perfiles de cortezas alíticas en Cuba Oriental. Clasificación geoquímica de los perfiles. Posibles usos en la industria.

3.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan los principales resultados de la caracterización geoquímica de las cortezas de meteorización alíticas en las zonas de Moa y Sagua de Tánamo específicamente en los sectores: Baconal, Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam. Esta caracterización abarca la migración, distribución, concentración de los elementos y compuestos químicos en los diferentes horizontes, tanto como la cuantificación de los procesos de meteorización reflejados por los Índices de Meteorización. Además, se presentan diferentes esquemas de clasificaciones geoquímicas para éstas cortezas y se propone algunos usos industriales basados en la composición química.

Distribución granulométrica.

Los siguientes histogramas en las Figuras 15 a 19 muestran las variaciones en la distribución de los tamaños de granos en las muestras tomadas.

En Baconal, las fracciones finas (-0.063 mm; $+0.063-0.18$ mm) son dominantes en las partes superiores del perfil como se muestra en la Figura 15, ocupando entre 59.2 y 62.8 % de la muestra, respectivamente. Prácticamente la fracción gruesa no se representa en las muestras de los horizontes superiores, pero lo contrario ocurre hacia las partes inferiores del perfil, representadas por muestra TNL-3. En esa muestra la fracción más gruesa llega a más de 90%.

En el Culebro, en todo el perfil la fracción fina es dominante, llegando a un promedio de 70.39 %. La fracción intermedia aumenta en las partes intermedias pero llega a desaparecer hacia los extremos inferiores y superiores. La fracción mas gruesa no se encuentra en ambos extremos, solo aparece en cantidades pequeñas (10 %) en los horizontes intermedias. La Figura 16 muestra esta distribución.

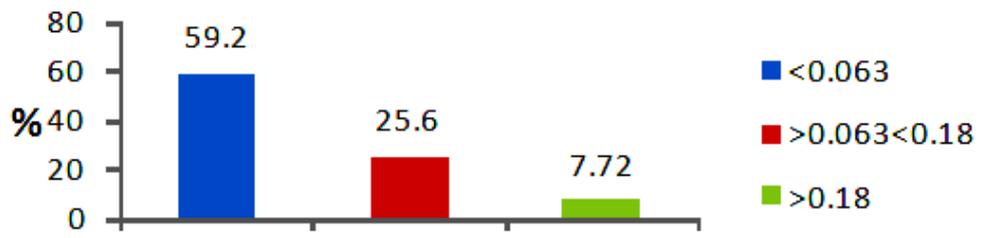
Se observa una situación similar en las fracciones granulométricas de Caimanes. Domina la fracción fina con un promedio de 62.16%, seguido por la intermedia con 21.51%. La gruesa no se reporta en los extremos inferiores, llegando a un promedio de 12.87 % en los horizontes superiores, como se muestra en la Figura 17.

Las cortezas en Farallones no se pudieron evaluar en total en cuanto su distribución granulométrica debido a la falta de material y solo se reporta la granulometría de los horizontes superiores en la

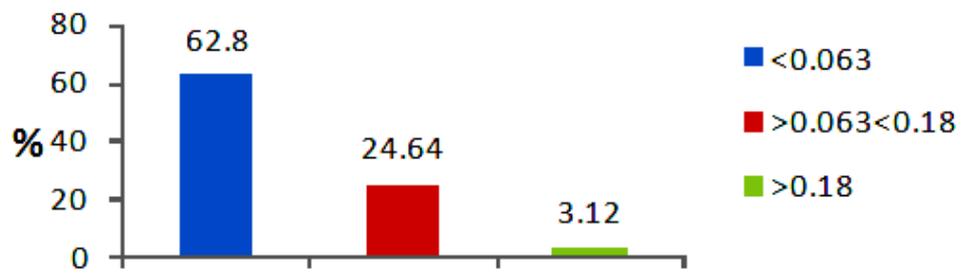
Figura 18. En estos, la fracción dominante es la fina con un promedio de 90%, seguido por la intermedia que solo se observa en el horizonte superior con un valor de 13.4%.

Cabe mencionar que las muestras Cayo Guam fueron revaluadas de Fadel (2005) usando los tamices 0.419 mm y 0.07mm. La fracción fina domina en todos los horizontes con un promedio de 52.93 %. Le sigue la gruesa con un valor intermedio de 23.18%. La fracción intermedia llega a una promedio de 12.43%. Figura 19 muestra estas fracciones.

TNL-1



TNL-2



TNL-3

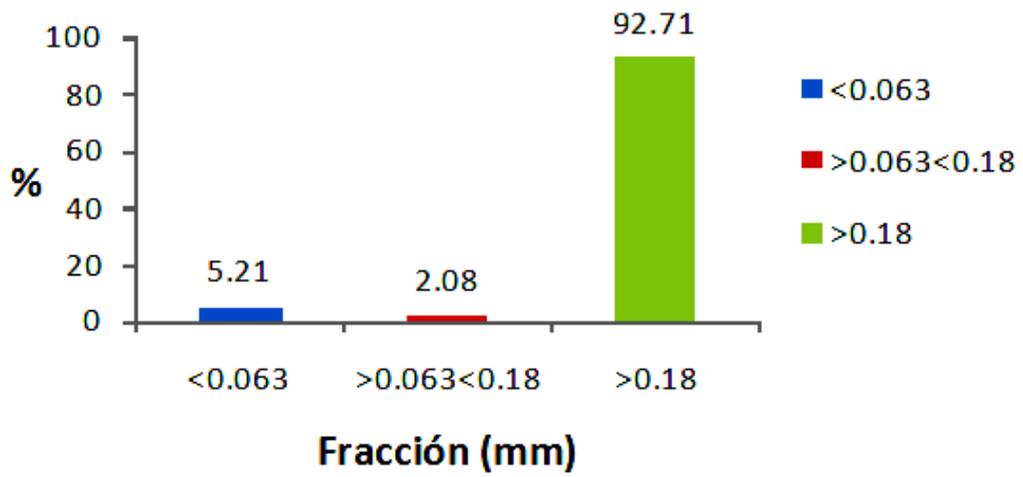


Figura 15. Los histogramas de las fracciones granulométricas de las muestras de Baconal

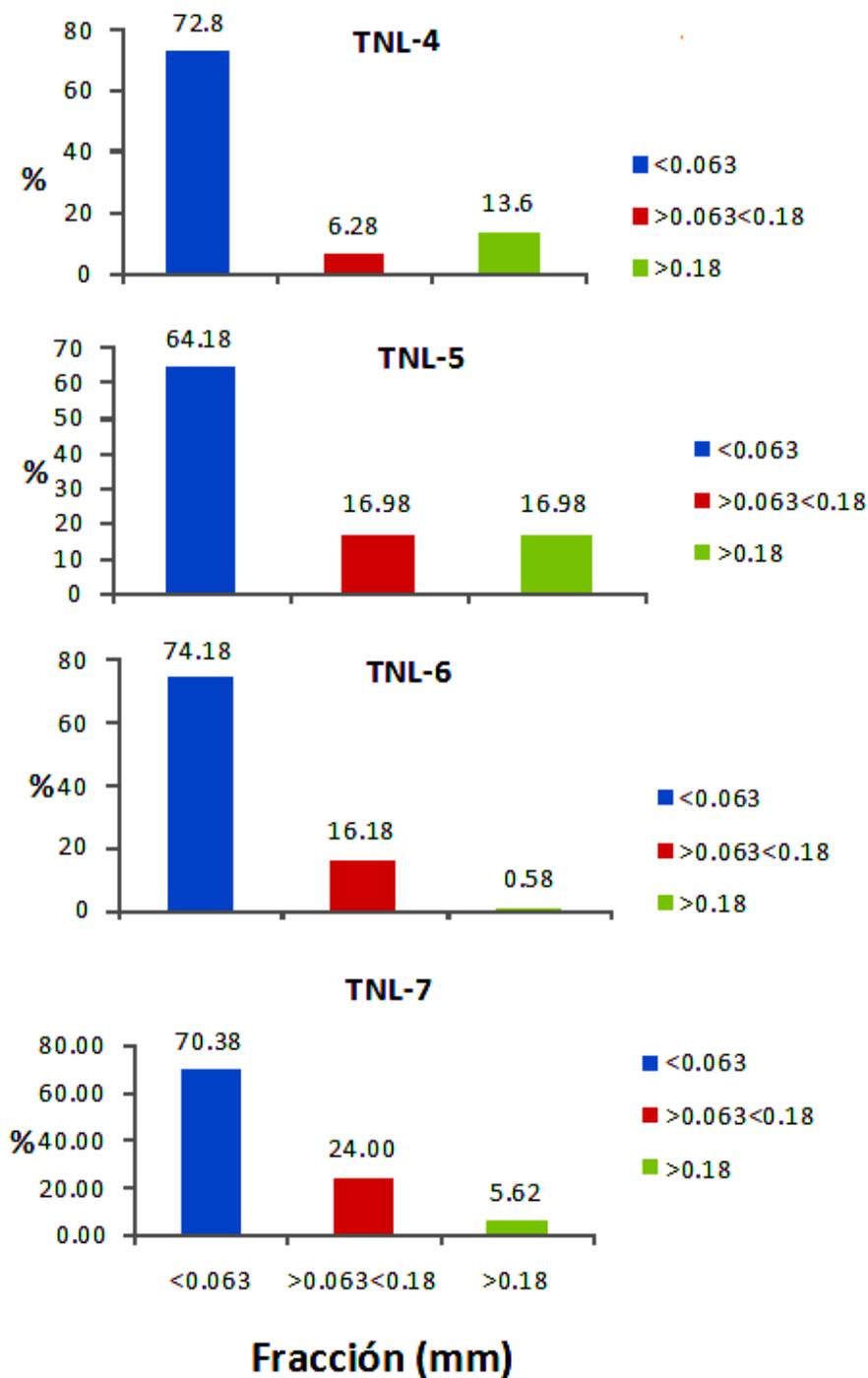
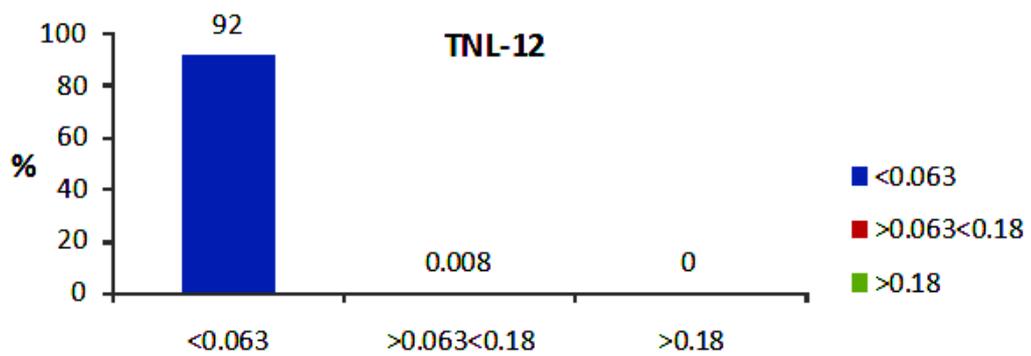
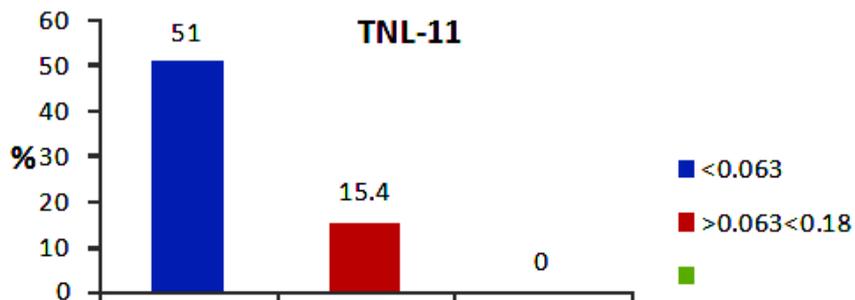
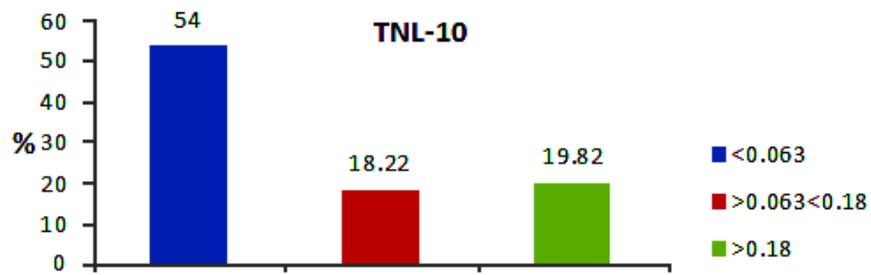
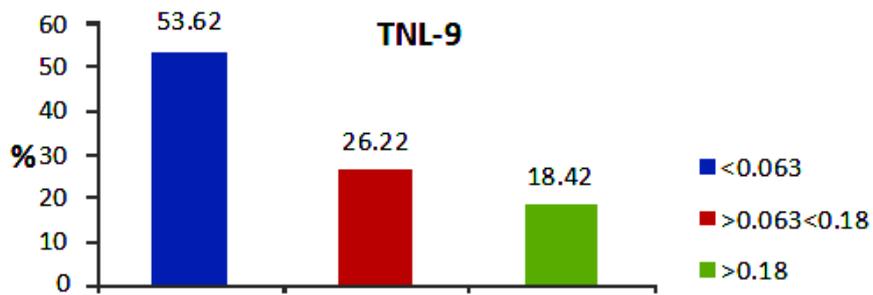
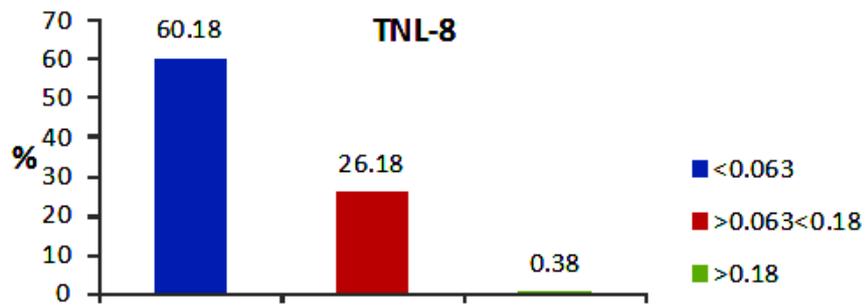


Figura 16. Los histogramas de las fracciones granulométricas de las muestras de El Culebro



Fracción (mm)

Figura 17. Los histogramas de las fracciones granulométricas de las muestras de Caimanes

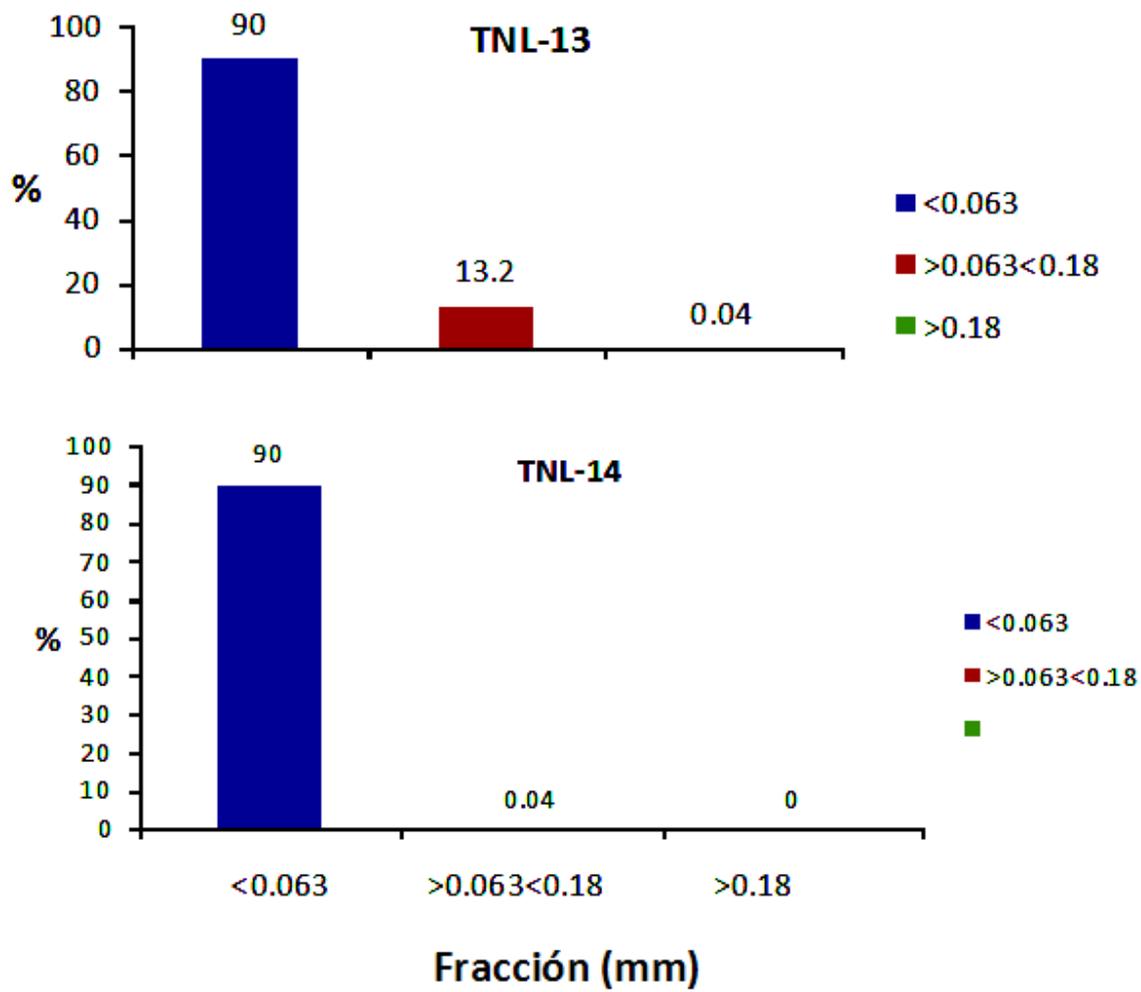


Figura 18. Los histogramas de las fracciones granulométricas de las muestras de Farallones

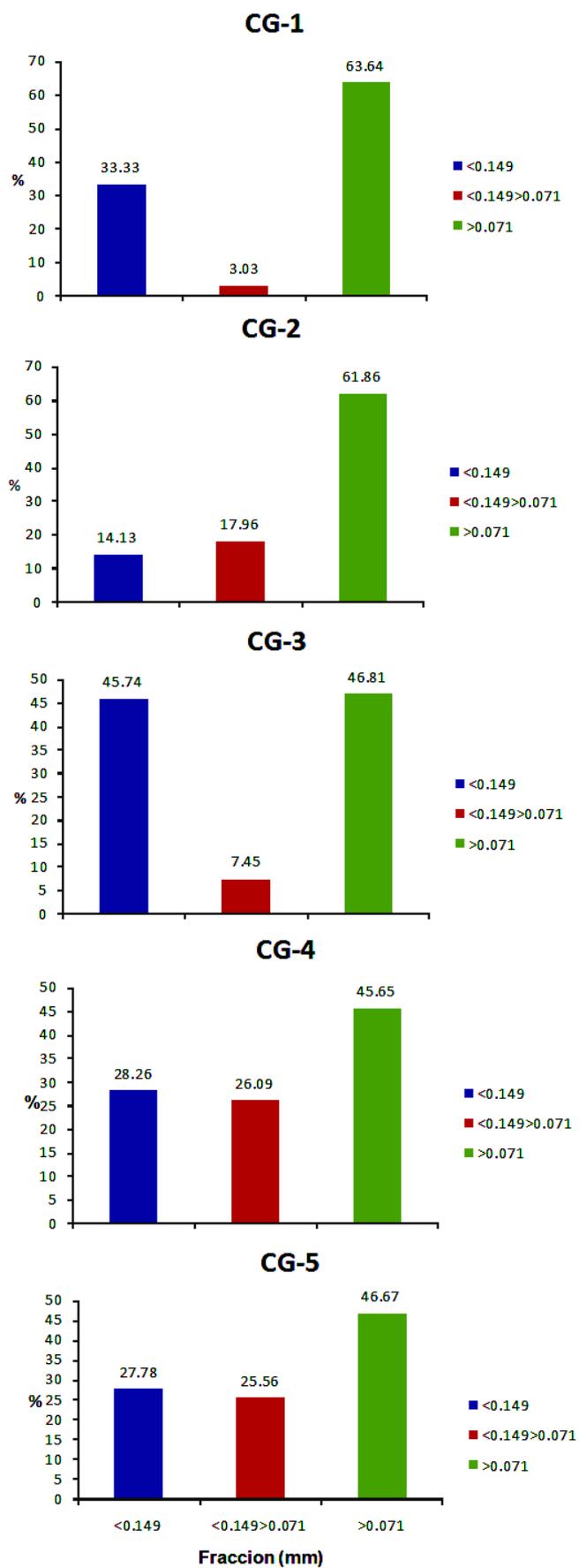


Figura 19. Los histogramas de las fracciones granulométricas de las muestras de Cayo Guam. Modificados de Fadel, 2005.

Caracterización geoquímica de las cortezas y perfiles de cortezas alíticas en Cuba Oriental

Composición química de las rocas frescas

Las composiciones químicas de las rocas a partir de las cuales se encuentran las cortezas de meteorización en el área de estudio se tomaron de Marchesi (2006) y se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Elementos químicos mayores de rocas subyacentes en los sectores de estudio (tomados de Marchesi, 2006)

Área	Muestra	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
Baconal, El Culebro	Ten-2	15.73	57.63		6.16	9.05	1.69	0.25	5.15	0.11	0.4	0.06
	Tm-13	13.34	66.78		6.16	2.86	5.37	1.02	1.12	0.08	0.76	0.19
	Tm-12	13.6	68.61		4.99	2.8	6	0.66	0.87	0.08	0.76	0.21
Caimanes, Farallones	M4-3	14.63	64.38	1.63	3.6	0.76	2.26	1.19	2.39	0.18	0.59	0.112
	M3-3	12.34	67.54	1.83	3.62	0.32	2.86	3.81	1.69	0.1	0.49	0.109
	M3-12	15.03	66.22	1.26	0.72	0.42	2.94	2.41	1.73	0.05	0.39	0.052
Cayo Guam	CG-17	6.3	41.06	12.73		5.19	0.45	0	27.59	0.19	0.21	6.3

*FeO total

Composición química de las muestras totales

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los análisis químicos por Fluorescencia de Rayos X. Se observa una distribución similar en todos sectores, los valores máximos de aluminio llegando a más de 20 wt% principalmente en Caimanes, Farallones y Cayo Guam, con un promedio de 25.96 wt% en todos los sectores. Los contenidos férricos en todos los perfiles promedian 14.70 %, los máximos siendo en Farallones y Cayo Guam. La sílice tiene valores elevados de 40.91 wt% en los 5 sectores, superando a los 50wt% en Baconal y El Culebro. Los alcalinos y alcalinos térreos son relativamente bajos en el área de estudio, excepto los valores de Mg que llegan a mas de 3 wt. % en Caimanes. El sodio se encuentra elevado hacia las partes inferiores en Baconal y El Culebro donde superan a los 2 wt%. Los valores de Ti son prácticamente constantes desde Baconal hasta Cayo Guam, con un promedio de 0.85 wt%. En comparación con sus valores en la roca fresca (Tabla 5), son inmóviles.

Tabla 5. Composición química de las muestras totales (en wt. %.)

Área	Muestra	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
Baconal	TNL-1	21.99	53.55	15.66	0.11	0.05	0.08	0.27	0.04	1.48	0.12
	TNL-2	19.84	55.24	13.94	0.06	0.06	0.02	0.27	0.03	1.30	0.15
	TNL-3	16.20	59.82	10.83	2.46	2.27	0.66	1.56	0.16	1.04	0.15
El Culebro	TNL-4	20.11	56.07	13.48	0.02	0.05	0.24	0.43	0.32	1.26	0.07
	TNL-5	20.80	54.86	13.89	0.03	0.04	0.28	0.64	0.34	1.32	0.08
	TNL-6	19.76	54.53	13.34	0.03	0.05	1.04	1.17	0.44	1.26	0.07
	TNL-7	16.64	59.70	11.48	0.97	2.22	1.38	1.62	0.15	1.08	0.07
Caimanes	TNL-8	25.83	44.29	13.06	0.12	0.06	0.90	2.30	0.05	1.05	0.03
	TNL-9	24.21	45.07	11.87	0.09	0.04	0.85	3.10	0.16	0.98	0.02
	TNL-10	23.99	46.51	12.60	0.15	0.02	1.23	3.33	0.22	0.98	0.02
	TNL-11	22.53	42.78	11.32	0.12	0.02	1.08	3.12	0.39	0.95	0.02
	TNL-12	16.99	53.85	9.93	0.12	1.43	5.30	2.99	0.09	0.98	0.03
Farallones	TNL-13	28.64	34.55	20.84	0.07	0.06	0.06	0.35	0.08	1.69	0.08
	TNL-14	29.14	36.03	19.61	0.02	0.07	0.03	0.42	0.05	1.58	0.07
	TNL-15	28.81	36.66	21.01	0.03	0.04	0.03	0.48	0.06	1.85	0.09
	TNL-16	28.44	36.25	19.70	0.02	0.04	0.03	0.52	0.05	1.67	0.09
Cayo Guam	CG-1	39.37	13.28	20.23	0.01	0.1	0.12	1.84	1.25	ND	ND
	CG-4	44.45	8.47	20.92	0.01	0.13	0.05	0.75	0.08	ND	ND
	CG-2	36.88	25.6	17.69	0.01	0.12	0.05	1.28	0.28	ND	ND
	CG-3	33.82	26.24	20.28	0.01	0.16	0.05	0.57	0.13	ND	ND
	CG-5	33.06	33.73	16.24	0.01	0.1	0.05	0.81	0.09	ND	ND

Las variaciones de los elementos químicos en los distintos perfiles se muestran de forma grafica en los perfiles de cada sector en las Figuras 20 a 24.

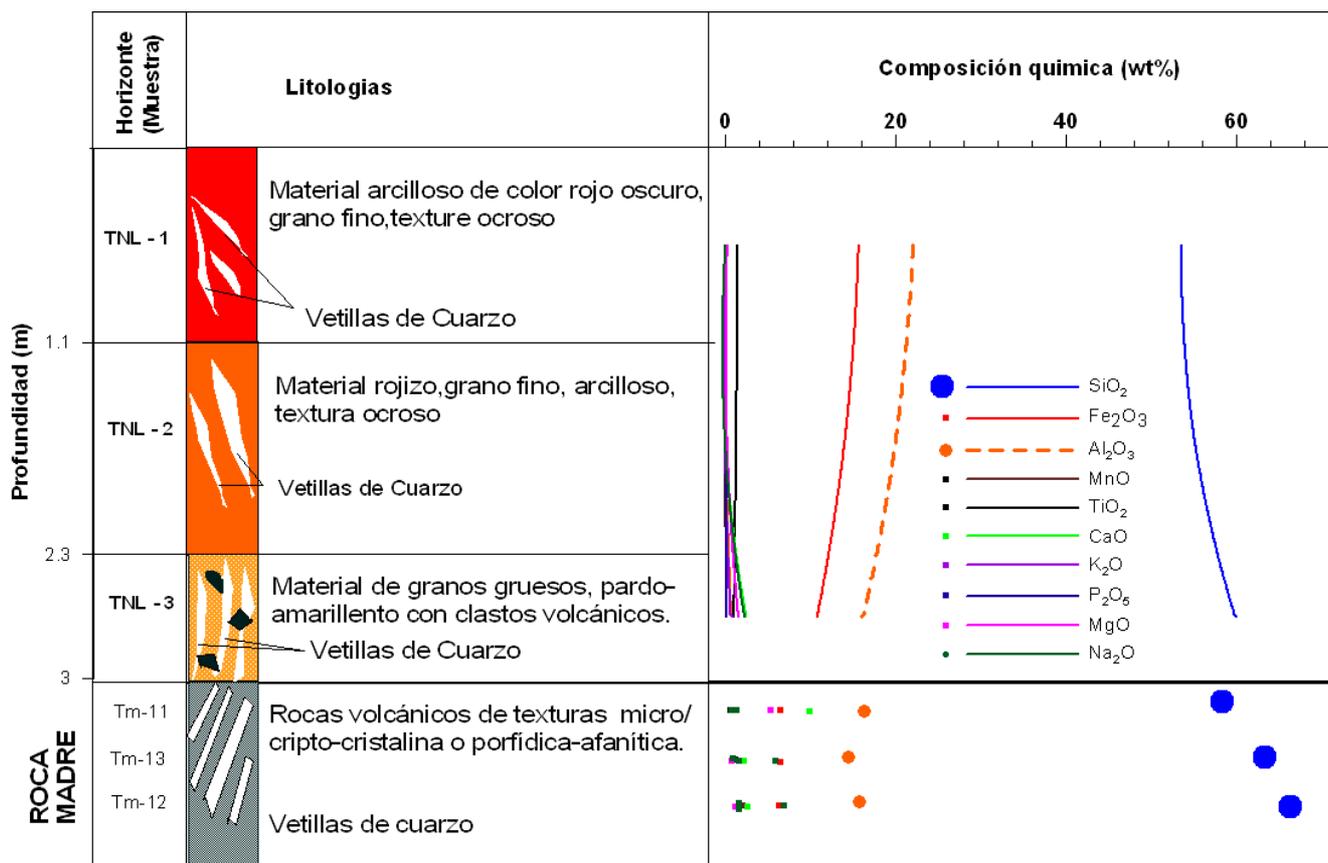


Figura 20. Perfil de meteorización de Baconal con la descripción litológica y variación de los elementos mayores. Los valores de la composición química de la roca madre se tomaron de Marchesi (2006).

Se puede observar las vetillas de cuarzo en todos los horizontes del perfil de Baconal en la Figura 19 aunque estas se manifiestan más hacia a partes inferiores del perfil. Pueden ser resultados de procesos hidrotermales que afectó la roca madre y las vetillas de cuarzo se quedaron como relictos, dado que son muy resistentes a los procesos intempericos. La variación de las tonalidades se va acompañando con el aumento en el contenido férrico. La granulometría en los perfiles corrobora los resultados de las separaciones granulométricas que se presenta en la Figura 14. Los contenidos de sílice en la roca fresca tienen los mismos valores que en la parte inferior del perfil, pero se van disminuyendo a medida que se aleja más hacia las partes superiores del perfil. Esas rocas iniciales tienen contenidos de Al y Fe entre 4 y 12 wt %, aumentado con distancia desde la roca madre hasta la superficie. Los contenidos de los alcalinos son casi nulos en la corteza, sin mucha variación desde la roca inicial.

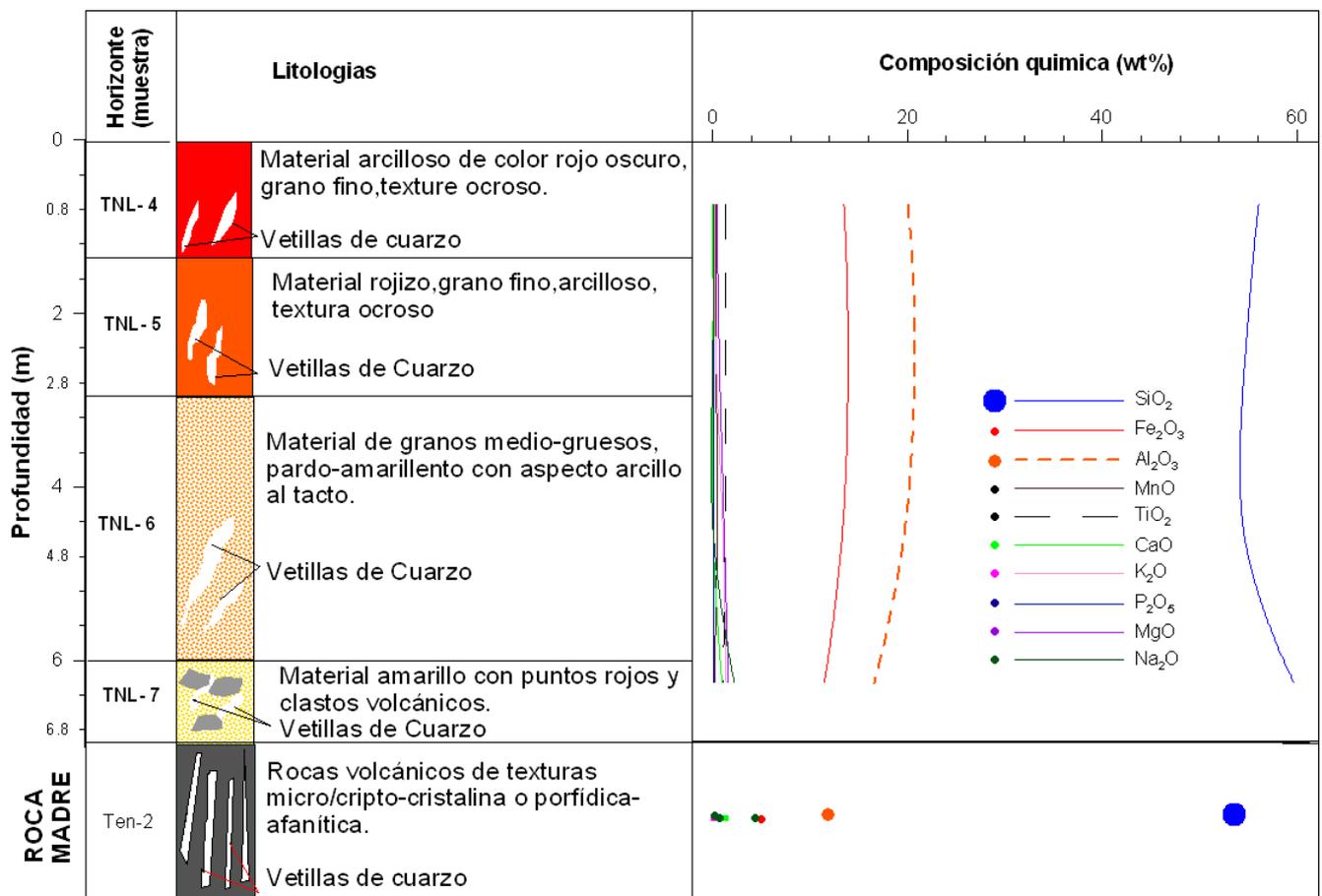


Figura 21. Perfil de meteorización de El Culebro con la descripción litológica y variación de los elementos mayores. Los valores de la composición química de la roca madre se tomaron de Marchesi (2006).

En El Culebro (Figura 21) se observa la misma situación que en Baconal. Aquí los contenidos de Al en la roca fresca son mas altos que en el sector anterior. No se observa una gran variación entre la composición química de la roca y la parte superficial de la corteza. La escala de la figura también afecta esa observación, sin embargo, esto se corrobora por los valores en las Tablas 3 y 4.

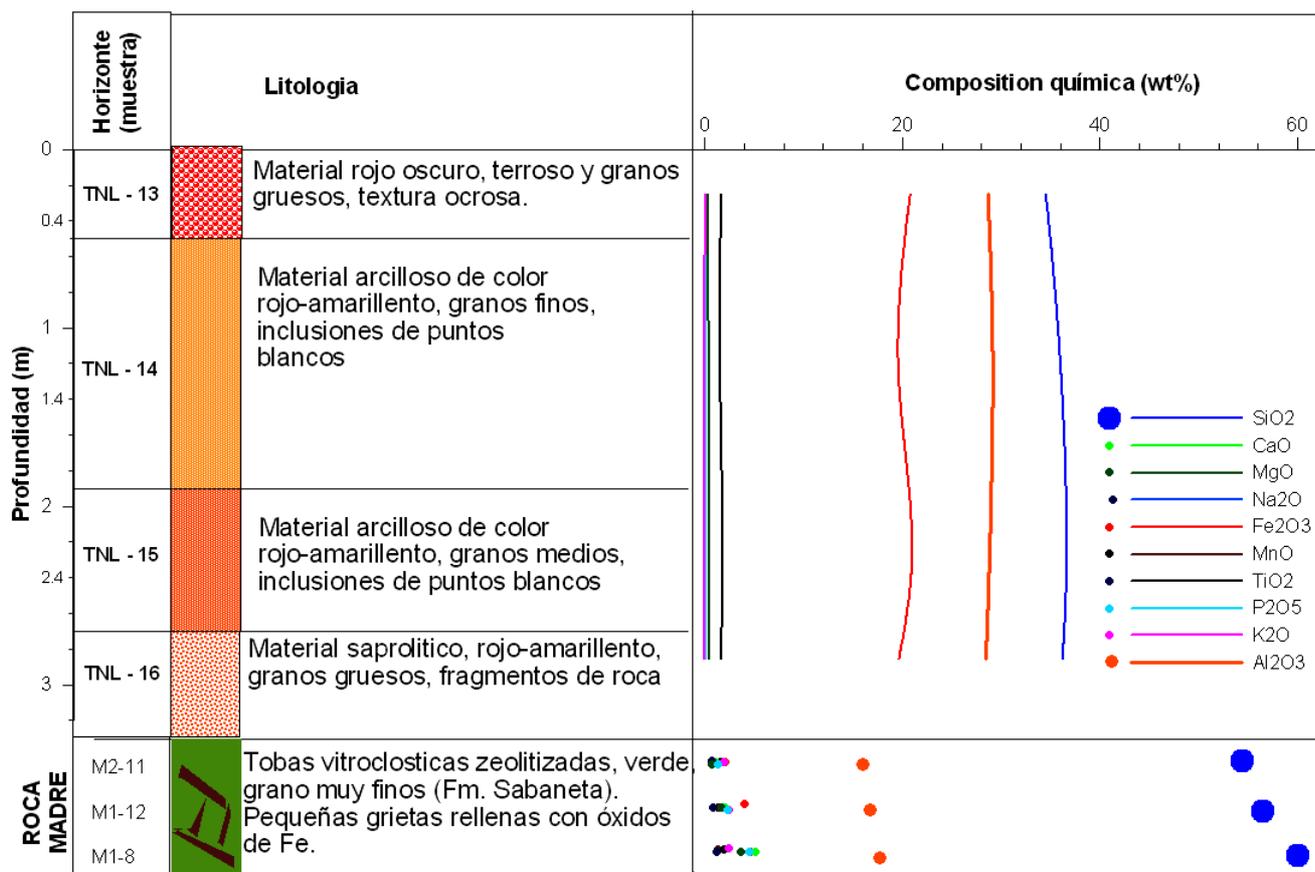


Figura 23. Perfil de meteorización de Farallones con la descripción litológica y variación de los elementos mayores. Los valores de la composición química de la roca madre se tomaron de Reyes (2006).

En el perfil de meteorización en Farallones, mostrado en la Figura 23, los valores de los componentes principales Al, Fe y Si tienden a variar mucho sus valores en la roca madre. Con relación a la roca, el aluminio y el hierro aumentan mientras que la sílice se empobrece. Dentro del perfil no se aprecia mucha variabilidad de estos elementos aunque por lo general enriquece y empobrece, respectivamente. También, como en el resto de los perfiles, los valores de los alcalinos son muy bajos y no muestran mucha desviación de sus valores iniciales en la roca fresca.

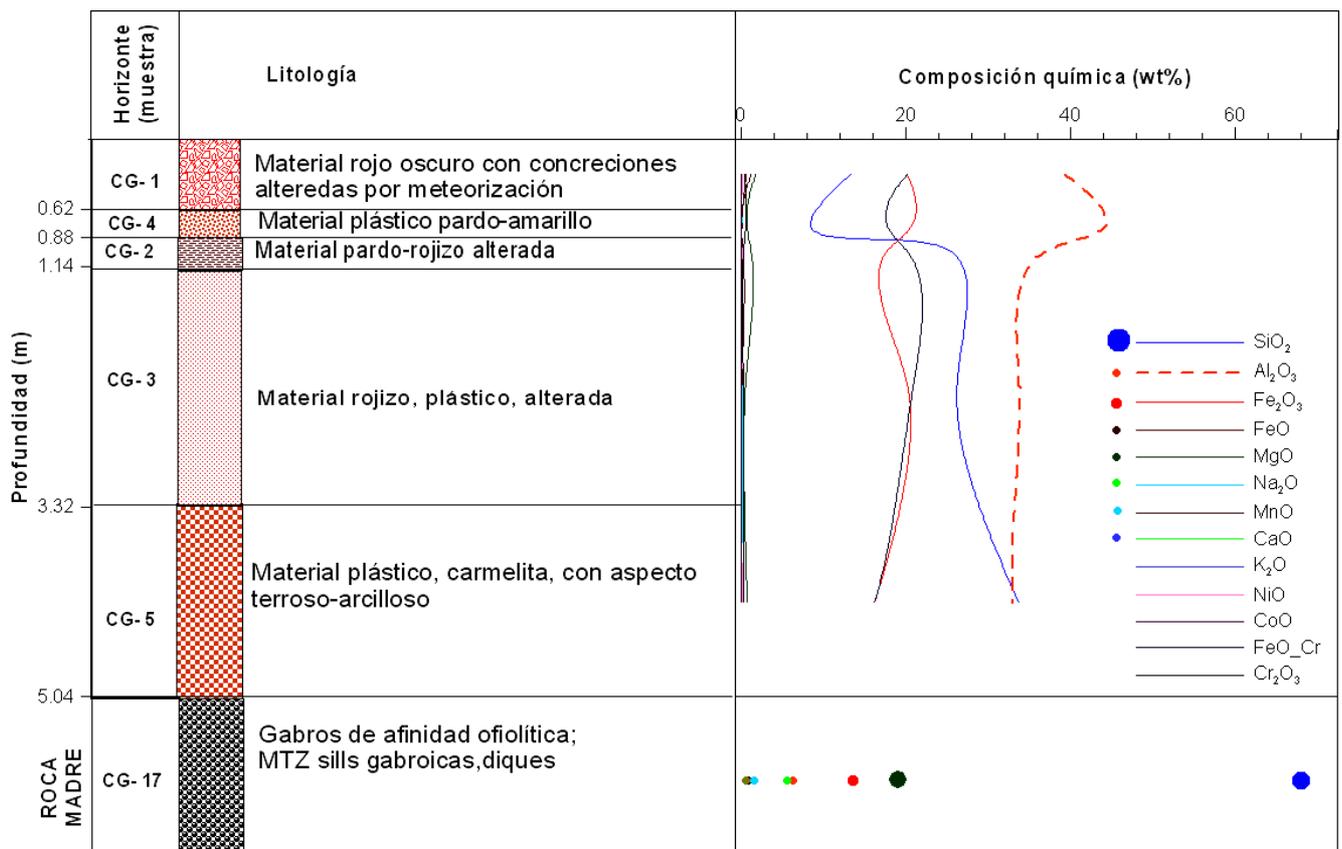


Figura 24. Perfil de meteorización de Cayo Guam con la descripción litológica y variación de los elementos mayores. Los valores de la composición química de la roca madre se tomaron de Marchesi (2006)

Entre los dos horizontes representados por muestras CG-1 y CG-4 en Cayo Guam (Figura 24), Al y Fe³⁺ aumentan y empezían a baja, mientras que Si y Fe²⁺ bajan y empiezan a aumentar con profundidad. Esas irregularidades son resultados de un desplazamiento o hundimiento vertical de los horizontes y las muestras fueron tomadas de forma vertical y lateral. Hay un enriquecimiento considerable de Al y Fe con respecto a la roca fresca mientras se lixivia la sílice junto con los alcalinos.

Valores del pH

Tabla 6. Resultados de las mediciones de pH en las muestras tomadas.

No. Muestra	pH	No. Muestra	pH
TNL-1	5.03	TNL-9	5.41
TNL-2	4.56	TNL-10	4.97
TNL-3	6.03	TNL-11	5.90
TNL-4	4.58	TNL-12	7.07
TNL-5	4.85	TNL-13	5.21
TNL-6	6.01	TNL-14	4.79
TNL-7	5.41	TNL-15	4.59
TNL-8	5.48	TNL-16	4.54

Como se muestra en la Tabla 6, el pH en los perfiles aumenta con la profundidad, siendo más alcalino o menos ácido en los horizontes inferiores. Las zonas de lixiviación, que están asociadas con un pH neutral-alcalino, se encuentran hacia las partes inferiores. Durante el proceso de meteorización y en condiciones de pH neutro el Ca y el Mg son lixiviados intensamente. La sílice y la alúmina tienen un comportamiento geoquímico diferente durante estos procesos. Al inicio del proceso de meteorización el pH es neutro o ligeramente alcalino; en estas condiciones el Ca, Mg y Fe junto con una parte de la sílice son lixiviados y el Al combina con el resto de la sílice en la formación de caolinita.

Índices Químicos de Meteorización

Los Índices Químicos de Meteorización permitió una evaluación de la movilidad de los elementos químicos con mayor detalle y una apreciación visual de los cambios en la composición química con respecto a la profundidad. Los valores de los Índices CIW, CIA, PIA, WI, MWPI, V, R, M_1 , M_2 , LF y I_{mob} para la región de Moa-Sagua de Tánamo en los sectores Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de los Índices de Meteorización Química evaluados en los diferentes sectores de estudio. Las muestras están en el orden de los horizontes, de arriba hasta abajo.

Sector	Muestra	CIW	CIA	PIA	WI	MWPI	V	R	M ₁	M ₂	LF	I _{mob}
Baconal	TNL-1	98.77	98.41	98.77	2.10	0.83	23.39	4.13	66.15	15.19	0.02	0.98
	TNL-2	99.00	98.90	99.00	1.57	0.73	22.50	4.72	93.34	24.59	0.02	0.99
	TNL-3	66.40	64.52	65.39	37.05	9.35	1.39	6.27	2.27	4.01	0.61	0.47
El Culebro	TNL-4	99.46	98.20	99.45	3.72	1.16	17.01	4.73	57.73	16.65	0.05	0.98
	TNL-5	99.51	98.11	99.50	4.47	1.61	12.34	4.48	56.23	12.02	0.05	0.98
	TNL-6	99.35	94.06	99.31	12.51	3.37	6.76	4.68	18.29	6.42	0.18	0.93
	TNL-7	75.51	70.71	73.72	39.07	8.07	1.91	6.09	3.02	3.96	0.70	0.59
Caimanes	TNL-8	98.82	95.29	98.77	14.74	6.09	4.38	2.91	24.85	4.36	0.22	0.84
	TNL-9	99.13	95.53	99.10	16.30	7.66	3.12	3.16	28.40	3.05	0.20	0.86
	TNL-10	98.78	93.64	98.71	20.18	8.31	2.90	3.29	19.98	2.81	0.27	0.80
	TNL-11	98.90	94.07	98.84	18.25	8.33	2.91	3.22	21.48	2.82	0.26	0.82
	TNL-12	86.86	67.18	81.41	66.70	12.15	2.24	5.38	2.97	2.22	1.40	-0.04
Farallones	TNL-13	99.28	99.05	99.28	2.15	1.14	26.24	2.05	108.59	26.75	0.04	0.97
	TNL-14	99.51	99.40	99.51	2.10	1.19	24.21	2.10	173.66	23.56	0.04	0.98
	TNL-15	99.58	99.47	99.58	2.01	1.28	21.81	2.16	197.58	20.75	0.02	0.98
	TNL-16	99.67	99.56	99.67	2.10	1.39	20.21	2.16	238.40	19.08	0.03	0.98
Cayo Guam	CG-1	99.54	99.21	99.54	7.04	6.22	8.17	0.57	143.89	7.02	1.23	0.97
	CG-4	99.48	99.36	99.48	3.72	2.94	20.90	0.32	162.71	21.07	1.75	0.97
	CG-2	99.42	99.27	99.42	5.08	3.69	10.70	1.18	149.27	10.91	0.54	0.97
	CG-3	99.17	99.02	99.17	3.50	1.91	19.66	1.32	105.52	21.36	0.67	0.97
	CG-5	99.45	99.29	99.45	3.60	2.22	14.84	1.73	148.86	15.09	0.36	0.98

Los índices CIW, CIA y PIA en la Tabla 6 muestran valores muy altos en las partes superiores de todos los sectores excepto Cayo Guam, donde los valores son casi contantes. Estos valores representan una meteorización extrema en todos los sectores, con una tendencia creciente hacia las partes superiores de los perfiles. La CIA en forma triangular permite posicionar importantes arcillas, rocas y minerales industriales y determinar sus relaciones entre sí. En la Figura 24 se muestra la CIA para los sectores estudiados.

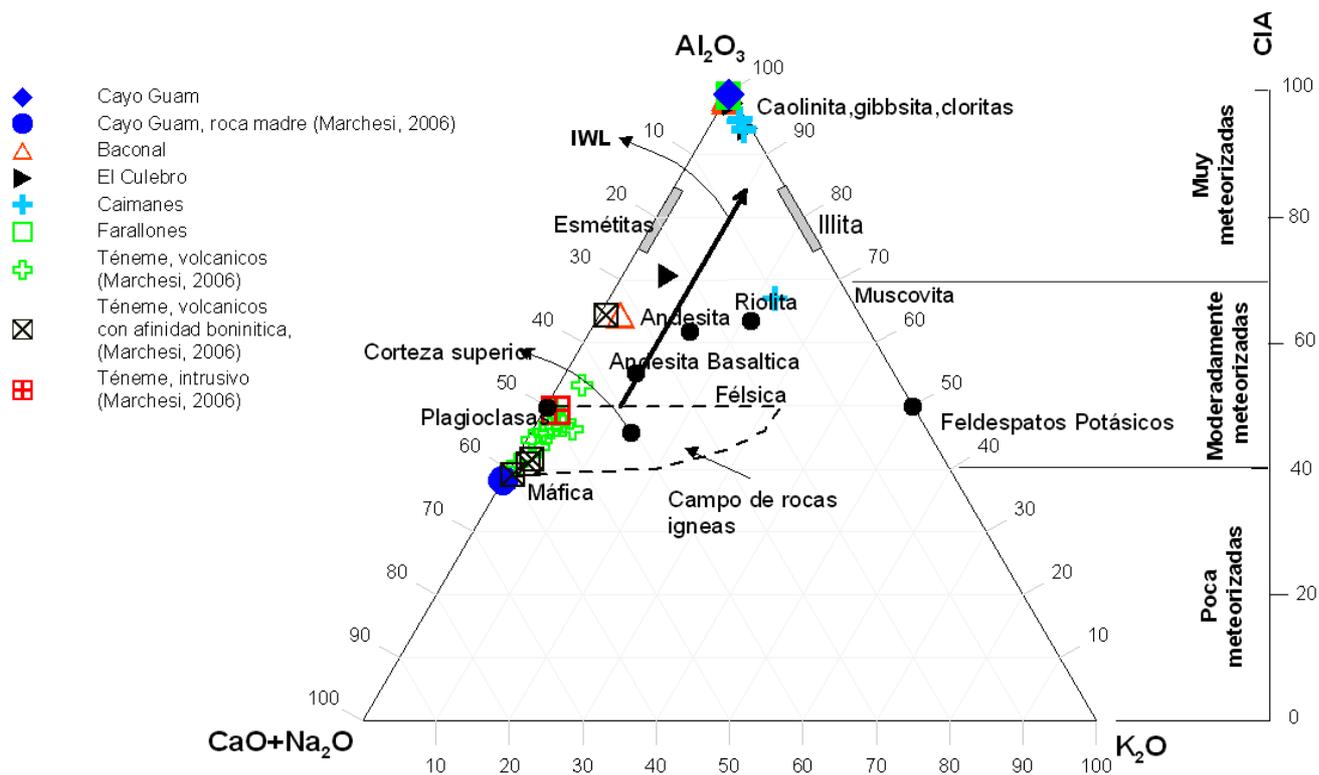


Figura 25. CIA en forma triangular mostrando las posiciones de las principales arcillas, rocas y relación con las muestras en el área de estudio.

El WI muestra valores muy pequeños que aumentan de arriba hasta abajo en Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones. Sus valores son altos (14 - 67 %) en Caimanes debido a elevado contenido de magnesio que supera a los 3 % por peso en las cortezas de este sector. En Cayo Guam su tendencia es variable.

El MWPI tiene valores muy pequeños en todos los sectores, mostrando la pérdida de los alcalinos a medida que avanza la meteorización química. Los elevados contenidos de alcalinos en Caimanes aumentan sus valores en ese sector.

El Índice Residual de Vogt (V) tiene valores altos en Farallones y Cayo Guam, mientras que en Caimanes son muy bajos, decreciendo con el aumento en la profundidad.

La Relación de Ruxton, R, disminuye a medida que la profundidad disminuye, sugiriendo una fuerte lixiviación de sílice con respecto al enriquecimiento en el aluminio, y esto se refleja en los pequeños valores de este índice en todos los sectores de estudio.

Los Índices de Englund y Jorgensen, M_1 y M_2 , son mejor representado en forma grafica donde se muestra la variación en el grado de madurez de las cortezas a partir de su composición química. Todos los sectores muestran un alto grado de madurez en sus cortezas como se indica en la Figura 26.

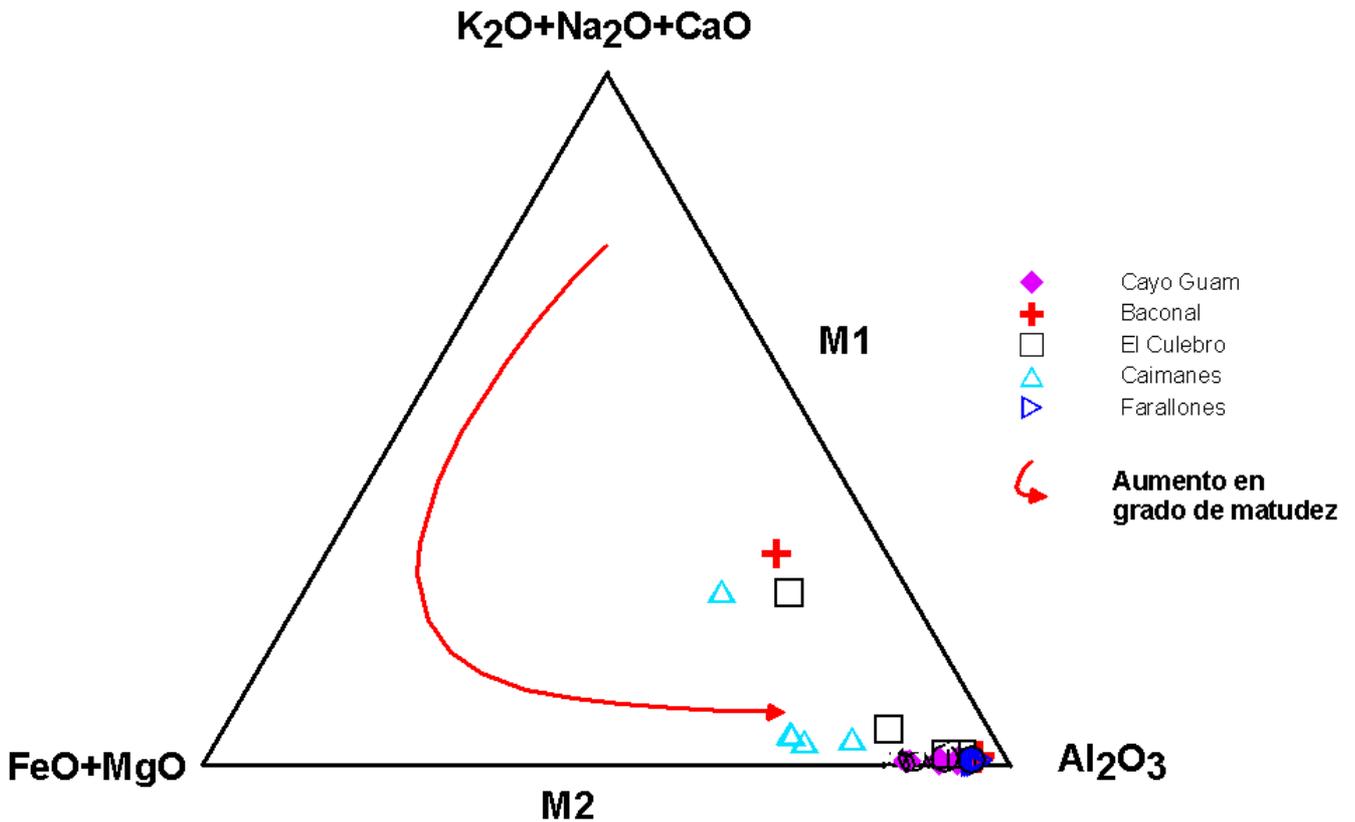


Figura 26. En Índice de Englund y Jorgensen en representación triangular para mostrar la variación en el grado de madurez de las cortezas.

Generalmente, se lixivian los alcalinos y alcalinos térreos a medida que aumenta el contenido de aluminio en forma hidróxido. En Baconal, según los valores del Factor de Lixiviación, las partes superiores están empobrecidas en contenidos de K y Na con respecto a la roca madre, pero con un contenido elevado de sílice, lo que indica una lixiviación de alcalinos mas intensa que de la sílice. Esta misma situación se evidencia en El Culebro, pero los valores indican una lixiviación menos intensa. En ambos casos este índice se relaciona negativamente con el progreso de la meteorización.

En Caimanes y Farallones los valores de LF son altos y no mantiene una tendencia definida con el progreso de la meteorización. Por lo general, este índice tienden a aumentar hacia la roca fresca en Caimanes pero lo contrario se observa en Farallones. Esto se debe al comportamiento irregular del sodio y potasio en los dos sectores y la diferencia en los contenidos de sílice. En Caimanes, los contenidos de K, Na y sílice son mayores que en Farallones, lo que indica que el proceso de

lixiviación es mas fuerte en Farallones o se trata de una fuente externa de estos elementos en Caimanes. La irregularidad en el comportamiento del LF se puede atribuir también a la toma de irregular de las muestras, efectuado con un desplazamiento tanto lateral como vertical.

En Cayo Guam el LF aumenta a medida que disminuye la profundidad. Esto se debe a una perdida o lixiviación intensa de la sílice a expensa de los alcalinos, cuyos valores se mantienen constantes a lo largo de los perfiles.

El índice de los elementos Móviles en Baconal muestra valores decrecientes con la profundidad. Esto indica que hacia las partes superiores los valores de los elementos móviles se hacen mas pequeña y hay una concentración alta en las partes inferiores de estos móviles que arriba, lo que corrobora el Factor de Lixiviación en este sector. En El Culebro los valores de I_{mob} tienden a mostrar la misma tendencia que en Baconal.

En Caimanes la tendencia de I_{mob} es interesante. Sus valores son alternadamente decrecientes y crecientes hasta llegar a un valor negativo en la parte más inferior del perfil. Este comportamiento irregular se debe a las irregularidades en las concentraciones de Ca, Na y K en los diferentes horizontes del perfil de meteorización. Hay un fuerte enriquecimiento de K con un aumento de Ca y Na en la base del perfil, pero el empobrecimiento aumenta bruscamente hacia arriba y su comportamiento resulta irregular. Puede haber un contacto con una roca o fuente de potasio, pudiera ser un enriquecimiento en minerales potásicos (Ortoclasa, Microclina, Illita). Njila et al. (2010) reporta la presencia de feldespatos potásicos en estas cortezas.

En Farallones este índice tiene valores constantes en los horizontes inferiores, lo que indica la falta de movilidad de K, Na y Ca entre horizontes. En el horizonte superior y los horizontes subyacentes hay una movilidad ligera y enriquecimiento de alcalinos hacia arriba a medida que avance la meteorización.

En Cayo Guam ocurre lo contrario a Farallones. Los valores son contantes hacia arriba con un empobrecimiento ligero de alcalinos hacia la base del perfil.

La tendencias de los índices en la Tabla 5 se muestran a continuación en forma grafica por sector en la Figuras 27 a 31.

Índice de Meteorización

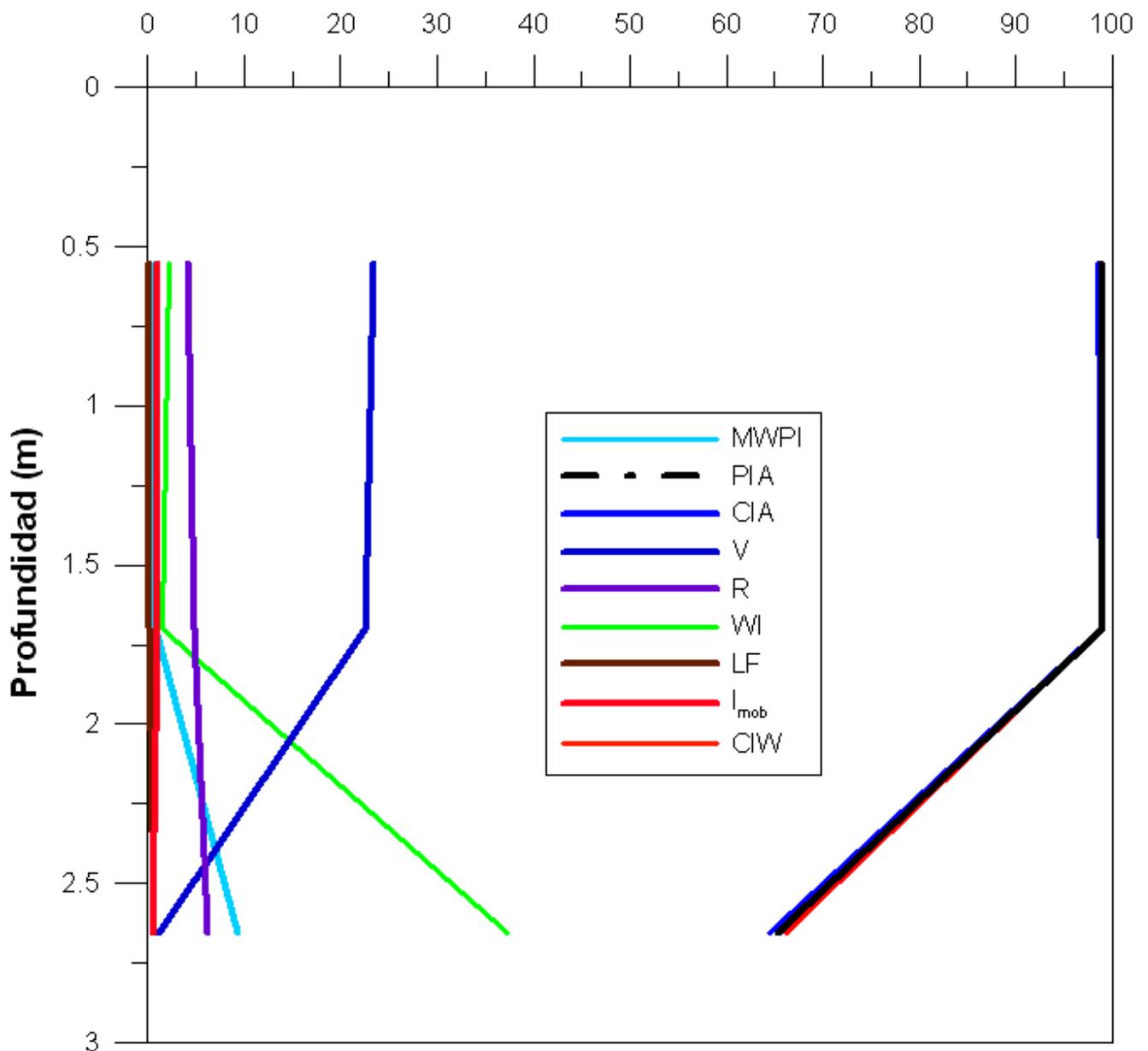


Figura 27. Los Índices de meteorización en Baconal.

Índice de Meteorización

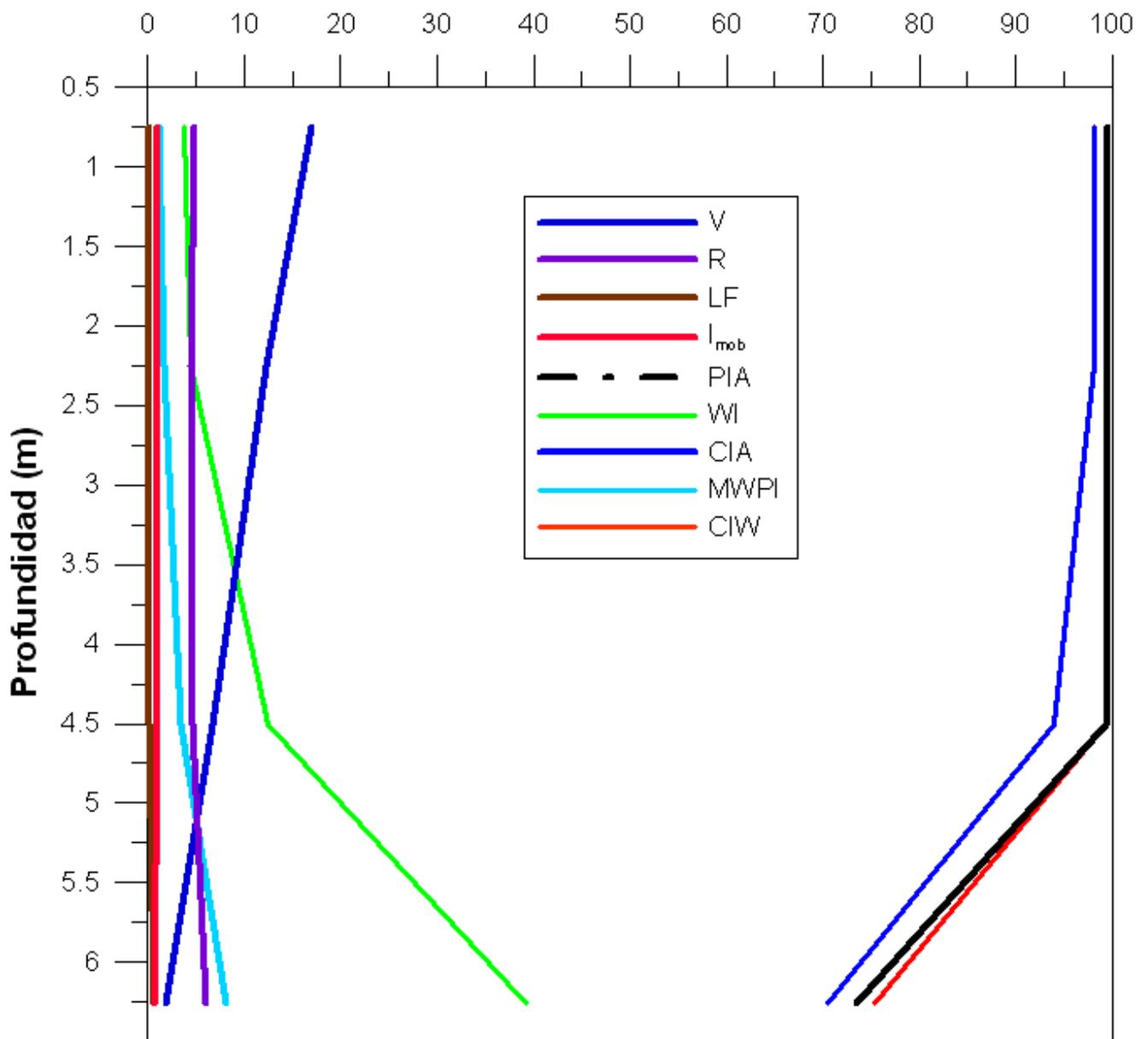


Figura 28. Los Índices de meteorización en El Culebro

Índice de Meteorización

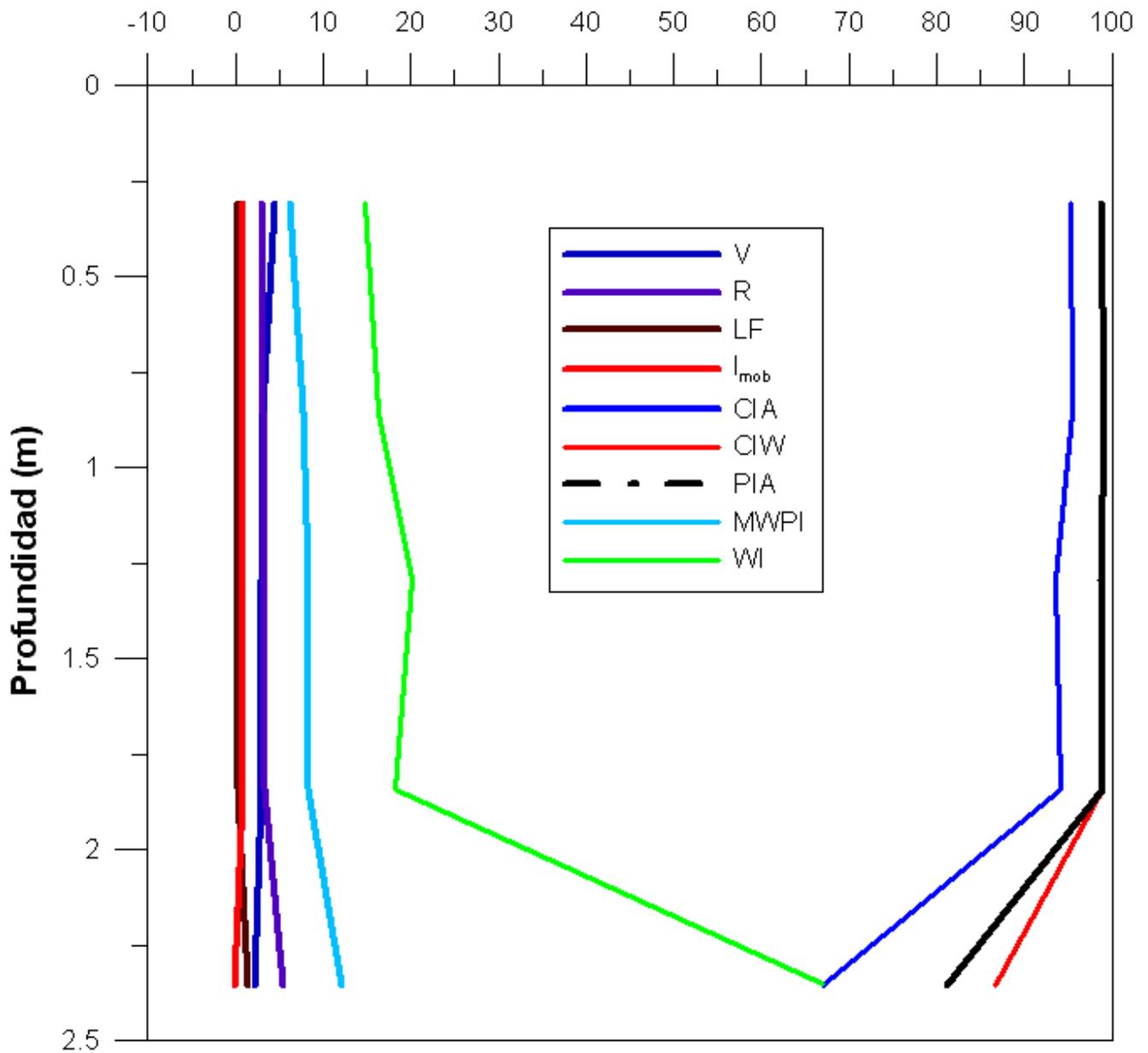


Figura 29. Los Índices de meteorización en Caimanes.

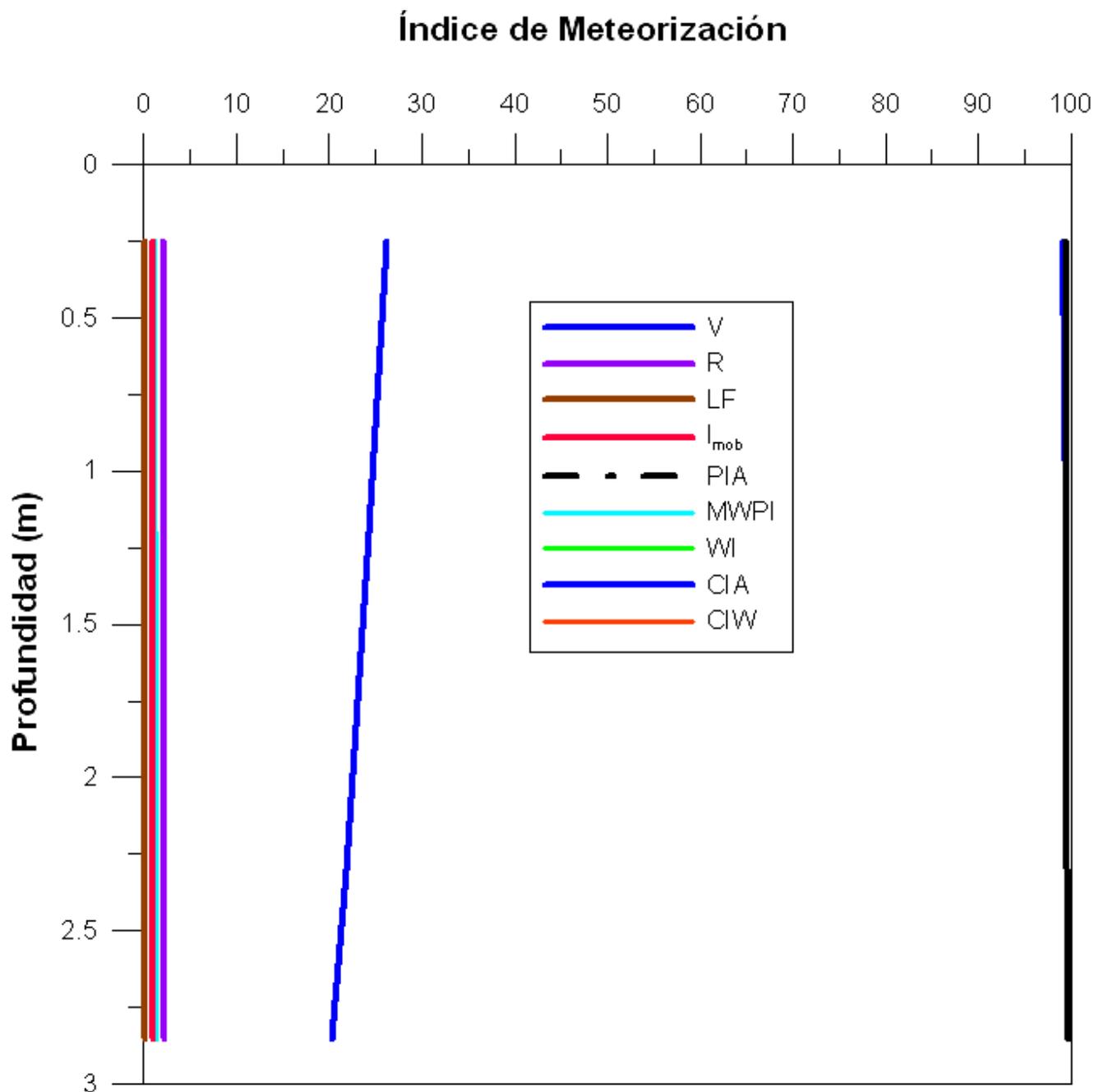


Figura 30. Los Índices de meteorización en Farallones.

Índice de Meteorización

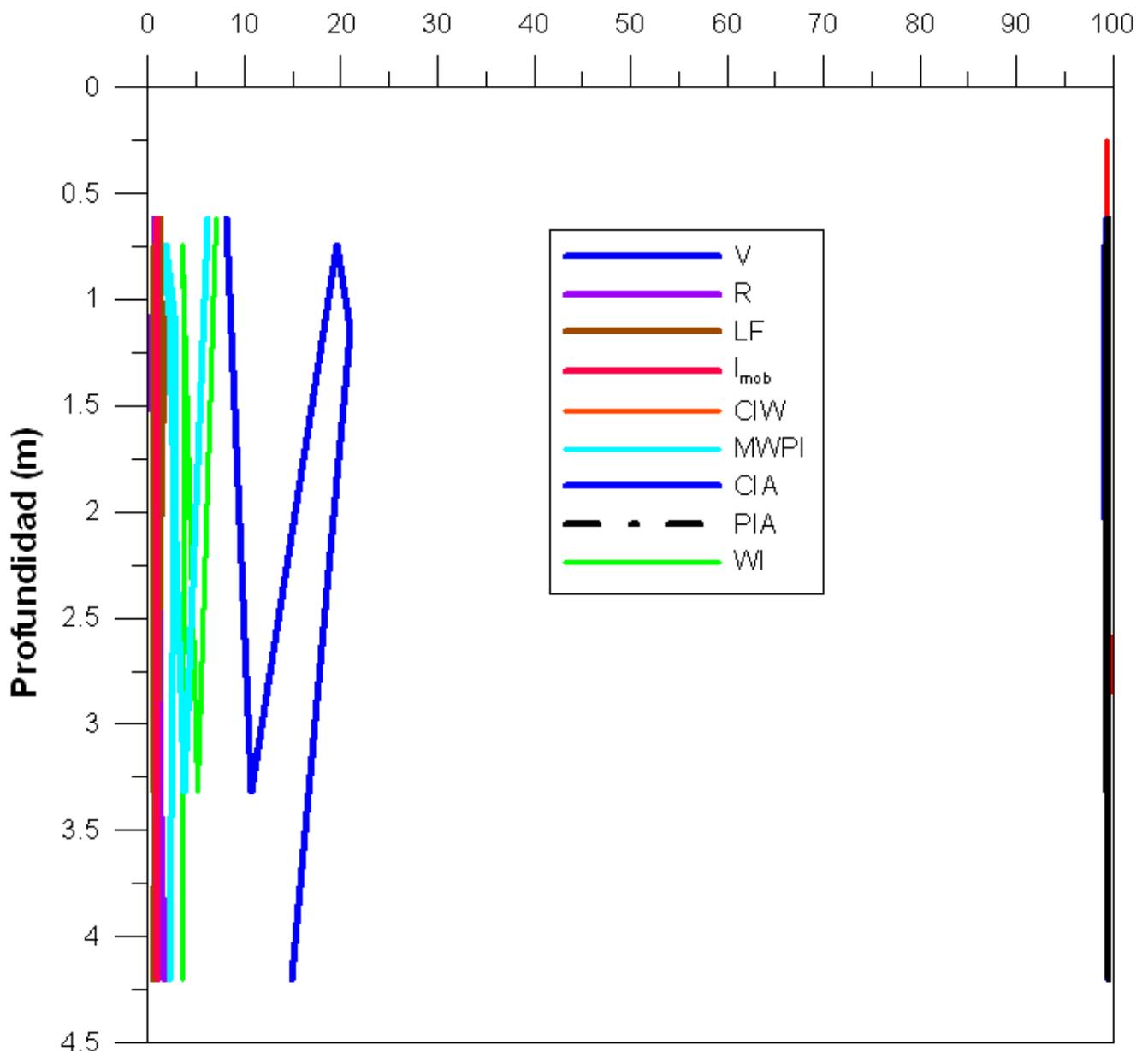


Figura 31. Los Índices de meteorización en Cayo Guam.

Clasificación geoquímica de los perfiles

En la clasificación de las corteza por sus contenidos de sílice, alúmina y férricos, se puede apreciar que los perfiles en Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam son ferrosialíticas. Hay posibilidades de encontrar cortezas sialíticas en Farallones y Cayo Guam, como se muestra en la Figura 26. Generalmente, los contenidos férricos en todos los perfiles son menor que 40 wt %. Según la escala de Intensidad de Alteración (Njila, 2010), las cortezas de Baconal, El Culebro y Caimanes son ferrosialitas originadas por procesos de caolinitización; Farallones y las partes inferiores del perfil

de Cayo Guam son ferrosialitas de procesos de alitización ligera. En Cayo Guam se han formado las cortezas a partir de una alitización moderada hasta fuerte (Njila, com. pers.).

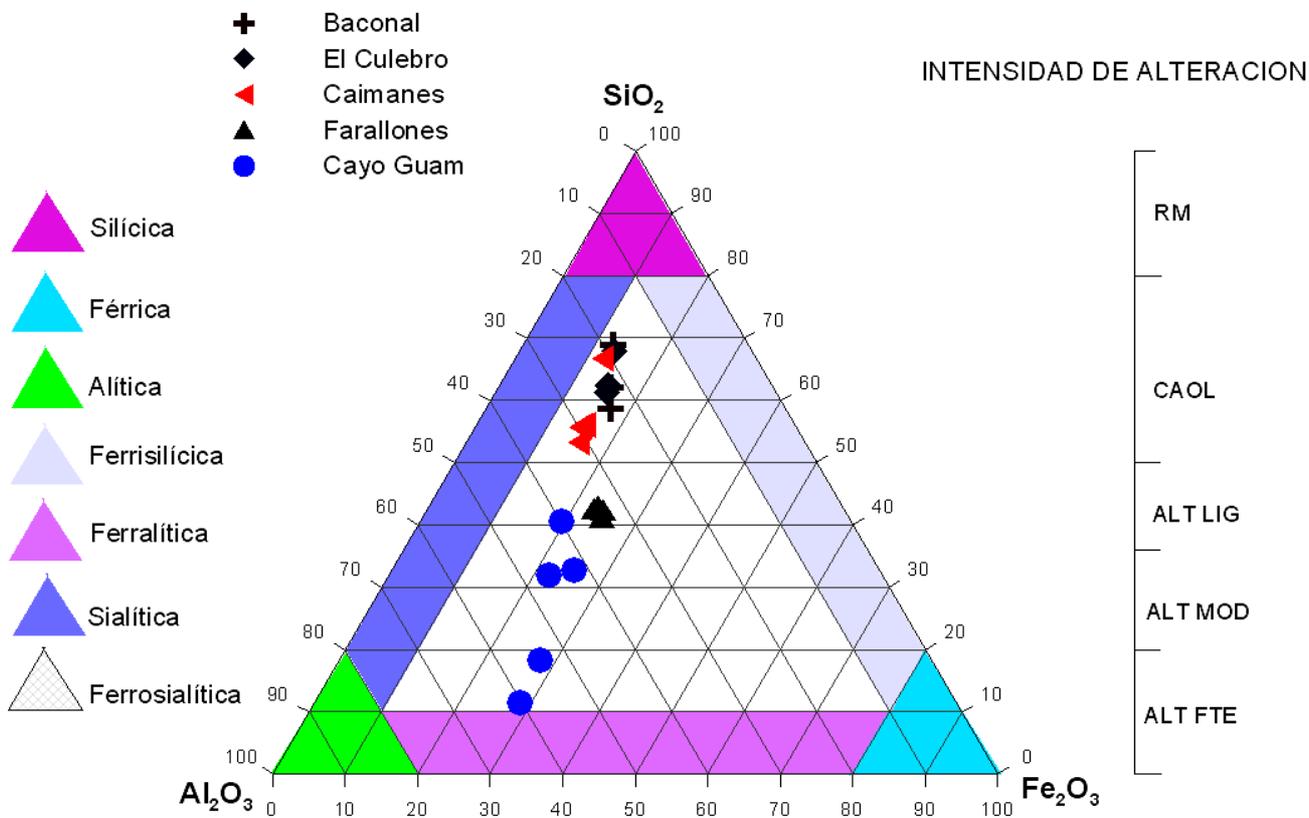


Figura 32. La clasificación geoquímica de las cortezas de meteorización a partir de los contenidos de SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃. RM=Roca madre; CAOL=Caolinitización; ALT LIG=Alitización ligera; ALT MOD=Alitización moderada; ALT FTE= Alitización fuerte. Escala de intensidad tomada de Njila (2010).

Los valores de los coeficientes ALFA y K se muestran en la Tabla 6. Según los valores de ALFA, las cortezas de meteorización en Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones son clasificadas como material detrítico, pero según los valores de K son sialíticas. Los únicos valores negativos de ALFA se encuentran en el perfil de Cayo Guam, llegando a clasificarse ente arcillas bauxíticas y bauxitas arcillosas en la escala de ALFA. Los valores de K en ese sector solo superan a 2.6 en las partes superiores del perfil, lo que lo clasifica como bauxita. En promedio, estas cortezas son alitas en la escala de K.

Tabla 5. Coeficientes ALFA y K para la clasificación de las cortezas de meteorización. Se tomaron valores de $Al_2O_3 > 20$ wt % como referencia.

SECTOR	MUESTRA	ALFA	K
Baconal	TNL-1	1.22	0.41
El Culebro	TNL-4	1.52	0.36
	TNL-5	1.39	0.38
	TNL-6	1.50	0.36
	TNL-7	2.20	0.28
	TNL-8	0.61	0.58
Caimanes	TNL-9	0.73	0.54
	TNL-10	0.80	0.52
	TNL-11	0.76	0.53
	TNL-12	1.84	0.32
Farallones	TNL-13	0.18	0.83
	TNL-14	0.20	0.81
	TNL-15	0.23	0.79
	TNL-16	0.23	0.78
Cayo Guam	CG-1	-0.56	2.96
	CG-2	-0.26	1.44
	CG-3	-0.19	1.29
	CG-4	-0.69	5.25
	CG-5	0.02	0.98

Posibles usos en la industria.

El gráfico de Avgustinik (Figura 33) muestra los posibles usos a los que pueden destinarse los diferentes materiales arcillosos existentes en cada sector de estudio, de acuerdo con la composición química de las muestras analizadas.

Las arcillas de Baconal y El Culebro son aptas para azulejos de terracota, ladrillos, tubos de calcinación y piezas antiácidas.

Las arcillas de Caimanes y Farallones son aptas para ladrillos y pueden ser utilizadas para piezas refractarias.

Según el cálculo, los valores de las muestras de Cayo Guam no caen dentro de los límites del diagrama, por eso no se pudo emplear de manera directa la Figura 33 para los posibles usos industriales de las arcillas de Cayo Guam. Sin embargo, con la combinación con el diagrama de Ludwig en la Figura 34, se infiere la posible utilidad de esas arcillas como piezas refractarias dada su alta refractariedad.

Además, todos los materiales detríticos de las zonas de estudio puede tener importancia como materiales aditivos para la producción del cemento Portland y aditivos a las arcillas refractarias para la pasta de loza empleado en la cerámica ya que estas cortezas están enriquecida en sílice (>30%)

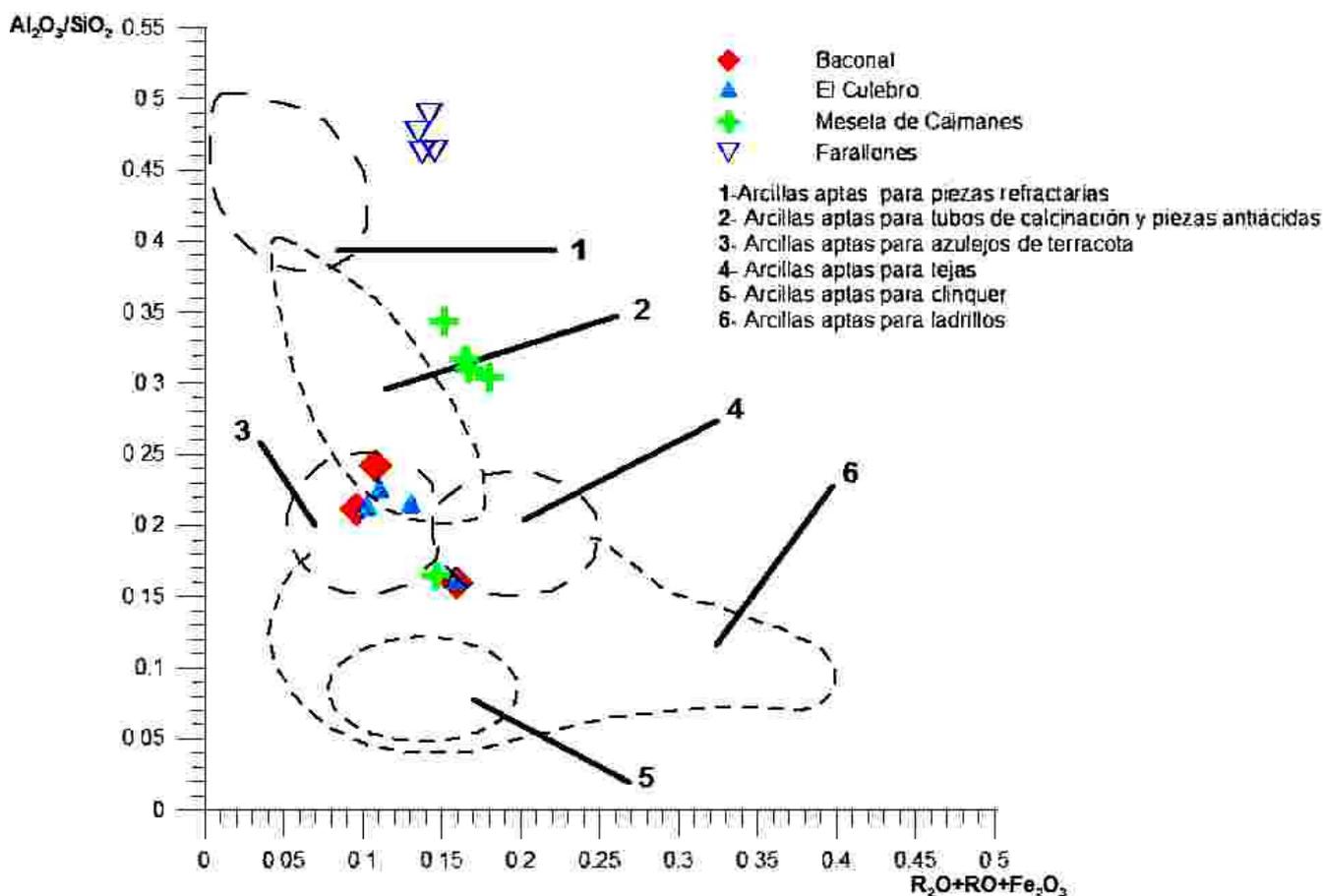


Figura 33. Diagrama de Avgustinik para determinar los posibles usos de las arcillas en Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones a partir de la composición química. *R* representa Ca, Na, K y Mg.

Según el diagrama de Ludwig, las arcillas más refractarias son de Cayo Guam, seguida por las de Caimanes, Farallones, El Culebro y Baconal. Se puede apreciar que en este orden están los valores de los elementos mayores Al, Si, Fe, alcalinos y alcalino térreos. La refractariedad aumenta con alúmina y disminuye con otros fundentes.

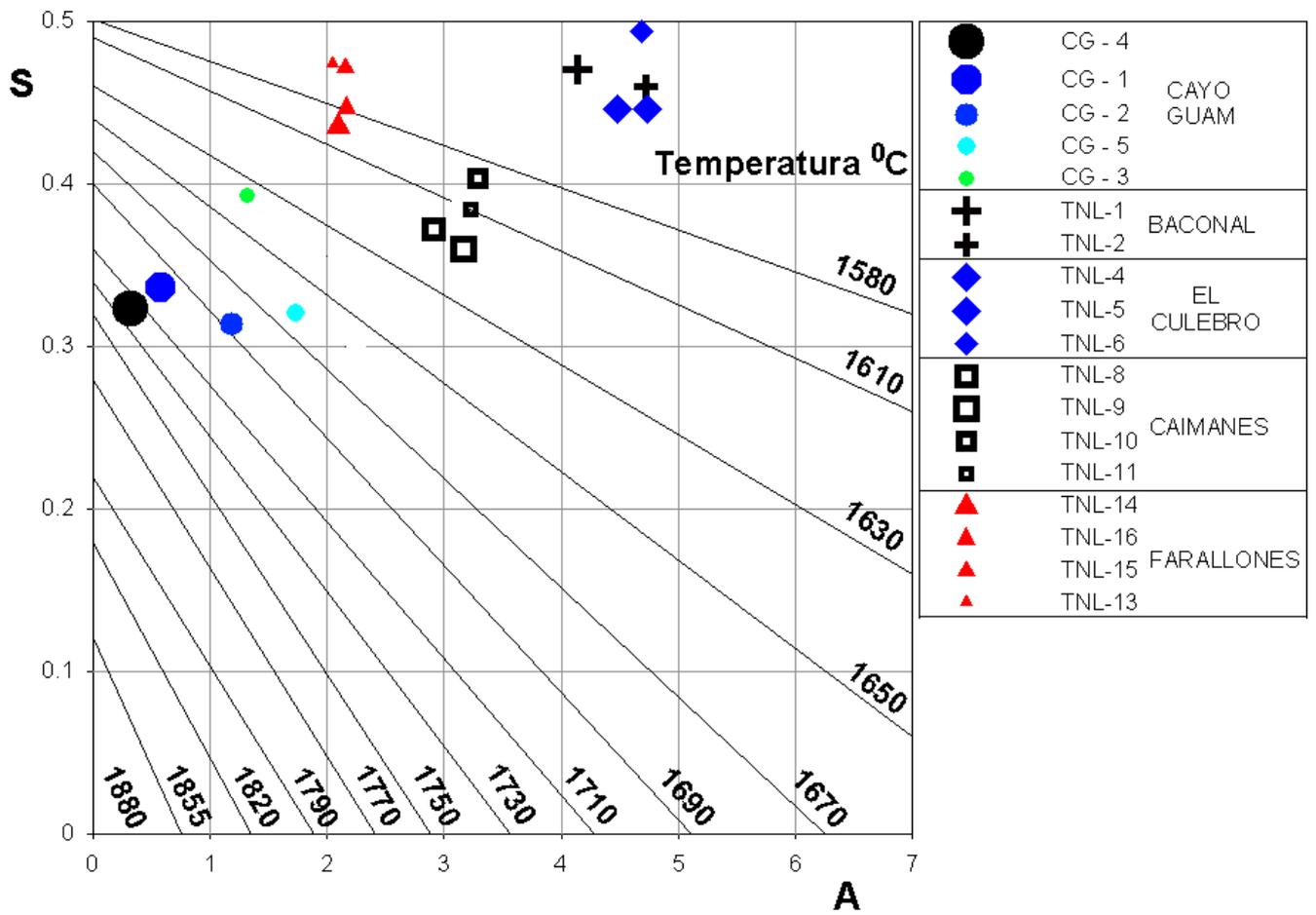


Figura. 34. Gráfico de Ludwig para determinar la refractariedad de las muestras a partir de sus composiciones químicas. $S = (Fe_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$; $A = SiO_2 / Al_2O_3$

CONCLUSIONES

1. Las cortezas de meteorización de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam se originaron a partir de profundos procesos de alteración exógenos en zonas de climas tropicales con un enriquecimiento relativo de aluminio, migración de los alcalinos, una silicificación-desilificación selectiva de las cortezas de meteorización en un medio ácido.
2. La intensidad de meteorización en las partes superiores de los perfiles en los sectores de estudio se clasifican como intensas o extremas, decreciendo en intensidad a medida que aumenta la profundidad.
3. Las cortezas de meteorización de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam son clasificadas como ferrosialíticas por sus contenidos totales de hierro, sílice y alúmina.
4. Las arcillas de Baconal y El Culebro son aptas para azulejos de terracota, ladrillos, tubos de calcinación y piezas antiácidas
5. Las arcillas de Caimanes y Farallones son aptas para ladrillos y pueden ser utilizadas para piezas refractarias, como los de Cayo Guam. Además, todos los materiales detríticos de las zonas de estudio puede tener importancia como materiales aditivos para la producción del cemento Portland y aditivos a las arcillas refractarias para la pasta de loza empleado en la cerámica ya que estas cortezas tienen altos contenidos de sílice (>30%)

RECOMENDACIONES

1. La búsqueda de nuevos recursos minerales para expandir y diversificar el empleo de las cortezas alíticas en la región de Moa y el resto de la provincia de Holguín como materiales para diferentes industrias.
2. Elaboración de esquema de clasificación geoquímica con vínculo a las utilidades industriales de diferentes cortezas y recursos minerales asociados

BIBLIOGRAFIA

- ADAMOVICH A. & CHEJOVICH, V.D. 1963. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Informe, ONRM.
- AMBROSI, J.P. 1984. Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux de la région de Diouga, Burkina Faso. These. 3è cycle (Tesis Doctoral), Univ. Poitiers, 223 p.
- ALEVA, G.J.J. 1981. Essential difference between the bauxite deposits along the Southern and Northern edge of the Guiana shield, South America. *Economic Geology* New Haven 76: 1142-52
- ANAND, R.R., SMITH, R.E., INNES, J. & CHURCHWARD, H.M., 1989. Exploration geochemistry about the Mt Gibson gold deposits, Western Australia. Restricted Report 20R, CSIRO Australia, Division of Exploration Geoscience, Perth, 96p. (Reissued as Open File Report 35, CRC LEME, Perth, 1998)
- ASHAUER, H. & TEICHMULLER, R. 1935. Origen y desarrollo de las cordilleras variscas y alpídicas de Cataluña. *Publ. extr. sobre geol. España*, III: 5-102.
- AVGUSTINIK, A. I. 1983. *Cerámica*. Editorial Reverté, S.A. Argentina. Buenos Aires.
- BALASHOV ET AL, 1964
- BEAUVAIS, A. 1989. Etude pétrographique et géochimique de profils d'altération latéritique cuirassés dans le Sud-Est de la République Centrafricaine. *Géodynamique*, 4 (2), 71-91
- BETANCOURT, Y. 1992. Recopilación científico-técnica y estudio preliminar sobre la cerámica roja en el municipio de Moa y su comparación con el resto de la provincia. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 123p.
- BOEGLIN, J.L. 1990. Formation et évolution des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). Thèse. Univ. Strasbourg, 201p.
- BONNOT-COURTOIS, 1981. Géochimie des terres rares dans les principaux milieux de formation et de sédimentation des argiles. Tesis Doctoral.
- BOURMAN, R. P. & OLLIER, C.D. 2002. A critique of the Schellmann definition and classification of 'laterite.' *CATENA Volume 47, Issue 2, 2 April 2002, Pages 117-131*
- BOULANGE, B. 1984. Les formations bauxitiques lateritiques de Cote d'Ivoire. Les facies, leur transformation, leur distribution et l'évolution du modele. *Travaux et Documents ORSTOM*, Paris, 175.
- BOULANGE, B. 1983. Aluminium concentration in bauxite derived from granite (Ivory Coast): relative and absolute accumulations. *Travaux de ITCSOBA*, Zagreb, 13, 18, 109-16.
- BRAMMLETE, H. M. (1943). Reporte en Cuba del Servicio Geológico de los Estados Unidos 1011
- BUGUELSKEY, Y.Y. & FORMELL, F. 1974. Sobre la existencia de cortezas de intemperismo bauxíticas en Cuba. Archivo IGP, Publicación Especial N° 3.

- BUTT, C. R. M. & ZEEGERS, H. (eds.) 1992. *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains, Handbook of Exploration Geochemistry*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- CABALLERO, A., MELÉNDEZ DEL VALLE, E. & MARTÍN-VIVALDI, J.L. 1974. Yacimientos españoles de bauxitas y alunitas. *Bol. Geol. Mm. España*, 85: 32-42.
- CÁMARA, M. 2007. Caracterización geoquímica y mineralógica de las cortezas no ferroniquelíferas en Moa, en los ejemplos de sectores Centeno y Cayo Guam. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma).52p.
- CAMPOS, 1983. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología 2*: 51-76.
- CASTELLANOS-ROSALES, I. 1992. Datos técnico-económicos y localización de algunas materias primas no metálicas en la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma).65p.
- CLOSAS MIRALLES, J. 1945. Criaderos de bauxita y su explotación. *Informe inédito. "La Alquimia" CA*. Barcelona. 146 Pp.
- CLOSAS MIRALLES, J. 1954. Las bauxitas del NE de España. *XIX Congr. Geol. Inrern. Alger*, sect. 12, fasc. 12, 199-223.
- COBAS, R.M. & VARGAS, H. 1982. Evaluación de perspectivas bauxíticas en Cuba: La zona de Puriales de Caujerí-Viento Frio, Provincia Guantánamo. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 43p.
- COBIELLA, J.L. 1978. Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Tesis Doctoral). 210p.
- COMBES, P.J. 1967. Contribution á l'étude de la genése des bauxites: Paléogéographie du Crétacé inférieur et bauxites dans le Maestrazgo nord-oriental (Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 264: 703-706.
- COMBES, P.J. 1969. Recherches sur la genése des bauxites dans le Nord-Est de l'Espagne, Le Languedoc et L'Ariège (France). *Tesis Doctoral, Univ. Montpellier, Mém. Centre d'études et Rech. Geol. er Hydrogéol.* Montpellier, 111-1V, 342 Pp.
- COMBES, P.J., GLAÇON, G. & GLAMBAST, L. 1966. Observations stratigraphiques et paléontologiques sue le Crétacé inférieur do Nord-Est du Maestrazgo (Espagne). *C.R. somm. Soc. géol. France*, 10: 390-391.
- COMBES, P.J., PEYBERNES, B., MEDUS, J. & MONGIN, D. 1989. Hauxites, horizons á mollusques et palynoflore dans le gisement de Bacqué (Pyrénées ariégeoises): situation sur la marge européenne au Crétacé inférieur, environnement de dépét, jfile de l'eustatisme. *Eclogae geol. Leliv.*, 82: 113-131.

- COUTIN D. P., MARTINEZ, J., LIPPSTREU, L., GONZALEZ, Z., DELGADO, B., KAMENSEY, A., MAREK, M., TABAK, J., CERNY, R., RODRIGUEZ, E., GARCIA, M., LOPEZ, J.G., ECHEVARRIA, G., RODRIGUEZ, R., BAREA, M. & DOVBNIA, A.V. 1998. Mapa de Yacimientos y Manifestaciones No Metálicos y Combustibles de la República de Cuba, 1:500 000.
- COUTIN D. P., DUDICH E. & NAGY, E. 1981. Características de las acumulaciones bauxíticas en la provincia de Guantánamo, Cuba. Informe Científico-Técnica N° 153, Editorial de la Academia de Ciencias de Cuba.
- CUBA-HUNGARY BRIGADE, 2001: Mapa Geológico de Cuba, Escala 1:100 000. -IGP [CD-ROM].
- DANILUK, L., ORTEGA, F., MUSTELIER E. 1988. Informe de Exploración Orientativa deluvial en el Yacimiento Sierra Azul, Sector Pan de Guajaibón. ONRM. Inv. 3657.
- DANILUK, L., OXIPOV S. A. BARBÓN STOUT, R., SOLER J. 1987. Informe Final de los trabajos de Búsqueda Orientativa y Detallada de bauxita en el Yacimiento Sierra Azul y los sectores San Francisco, Pajarito, Los Palacios y San Bartola. ONRM. In3443.
- DE DIOS, D. & CUETO, D. 1982. Evaluación de las perspectivas bauxíticas en Cuba: La Corteza de intemperismo en la zona de Quibiján de Baracoa, Provincia Guantánamo. [Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa]. Moa. (Trabajo de diploma. 56p.
- DE LAPPARENT, A.F. 1950. Niveau stratigraphique des bauxites d'Espagne. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 230: 983-984.
- DRIGA, V. ALFONSO A. GARCÍA. GARCÍA C. A. Y PONCE N. 1989. Informe preliminar búsqueda de bauxitas de bauxita diluvial. Yacimiento Sierra Azul. ONRM. Inv. 2802.
- DUDICH, E. 1978. Informe complementario sobre las bauxitas y alitas de Cuba. Archivo IGP. La Habana.
- ELMER, S. 1977. Observaciones geológicas sobre las bauxitas y primer intento de elaborar los principios del pronóstico de bauxita en Cuba. Informe, Archivo IGP. La Habana.
- ENGLUND, J.O. & JORGENSEN, P. 1973. A chemical classification system for argillaceous sediments and factors affecting their composition. *Geologiska Foreningens i Stockholm Fohandlingar* 95: 87-97.
- 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). 55p.
- FEDO, C.M., NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for the paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921-924.
- FONSECA, D.E., GÓNGORA, E. & MARTÍNEZ, O. 2004. Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Centeno, Moa, CUBA. *Ingenierías* 12 (22): 45-54.
- FONSECA, E.; V.N. ZELEPUGIN y HEREDIA, M. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.

- FONT, J.M. (1951) Análisis rontgenográfico de algunas bauxitas de la región NE de España. *Estudios geol.*, 7: 113-130.
- FORMELL, F. JAKUS, P. & GYARMATI, P. 1977. Nuevas áreas perspectivas para la acumulación de bauxitas cársticas en los alrededores de Guantánamo, Cuba. Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Edit. Científico-Técnica ACC.
- FREYSSINET, Ph. 2001. Geochemical exploration in Africa and Amazonia: relationships between gold signal in soil and tropical landscapes. BRGM Research Division.
- FREYSSINET, Ph. 1990. Géochimie et minéralogie des latérites du Sud-Mali. Evolution des paysages et prospection géochimique de l'or. Thèse. Univ. Strasbourg, 270p.
- GALAN, E., LÓPEZ-AGUAYO, E. & AZA, S. (1976). Bauxitic clays of NE Teruel (Spain). *Seventh Conf Clay Miner. and Ferrol*, Karlovy Vary, 487-497.
- GARCÍA, E. & SUAREZ, M. 2000. Las arcillas: propiedades y usos [en línea] <http://www.uclm.es/users/hiqueras/yymm/Arcillas.htm>. [Consulta: 31 oct. 2007].
- GARCÍA, M.A. 1985. Materias primas no-metálicas para construcción en la provincia Holguín. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 134p.
- GONZALEZ, M. & 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.
- GRUBB, P.L.C. 1971. Genesis of the Weipa Bauxite Deposit, N.E. Australia. *Mineralium Deposita* 6, 265-274.
- GYARMATI, P. & LEYÉ O'CONNOR, J. 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Cuba.
- GYARMATI, P., MÉNDEZ, I., LAY, M., 1997. Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En: Furrázola, G.F., Nuñez-Cambra, K.E (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba. Ciudad de la Habana, Cuba
- GUERASIMOV, E; GURIEV, N, KOSTAREV, G. & SAUNDERS, E. 1976. *Hallazgo de Bauxitas Estructurales en la Provincia de Oriente*. Editorial Orbe. Moscú.
- HARNOIS, 1988. The CIW index: a new Chemical Index of Weathering. *Sedimentary Geology* 55, 319-322.
- HARTMAN, J. A. 1955. The heavy minerals in the bauxite deposits of Jamaica. Master's thesis, University of Wisconsin.
- HERNÁNDEZ, N. 1989. Procesamiento de la muestra tecnológica N° 12 del sector Pan de Guajaibón del yacimiento de bauxitas Sierra Azul. ONRM. Inv. 3674.
- HERNÁNDEZ N., & HERNÁNDEZ NILDA. 1985. Estudio del tratamiento termoquímico con NH₄Cl de bauxita del Yacimiento Sierra azul. ONRM. Inv. 3357.

- I.G.M.E. 1974. Investigación de minerales de bauxita. Fuentespalda (Teruel, Tarragona). Fase previa. *Colección informe. Ministerio de Industria.* 77p.
- IRFAN, T. Y. 1996. Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 29: 5-35.
- ITURRALDE-VINENT, M., DÍAZ-OTERO, C., RODRÍGUEZ-VEGA, A., DÍAZ-MARTÍNEZ, R., 2006. Tectonic implications of paleontologic dating of Cretaceous-Danian sections of Eastern Cuba. *Geologica Acta* 4: 89-102.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 1996. Geología de las ofiolitas de Cuba, **En:** M. Iturralde-Vinent, ed.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Special contribution n.1, pp. 83-120.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 9-56.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 1994. Geología de las ofiolitas. En *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 83-120,
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 1976. Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. *La Minería en Cuba* 5: 9-23.
- KORPAS, L. 1988. Los principios geológicos-metodológicos de pronóstico de bauxitas, en las áreas del tipo arco insular oceánico tropical, en el ejemplo de Cuba. Publicación Especial, Hungría, ONRM. Inv. 3673.
- LAIGLESIA, A. y ORDOÑEZ, S. (1990). Cristalinidad de caolinitas en yacimientos de bauxitas cársticas del NE de España. *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, 13: 81-90
- LAVANDERO, R.M., BRAVO, F. & PONCE, N. 2009. Problemática actual de la bauxita y alitas en Cuba. VIII Congreso Cubano de Geología, La Habana, Cuba. 16-20 marzo. (Memorias), 629-643.
- LAVAUT, W. 2003. La meteorización de la ofiolita de Cuba Oriental. Modelos geológicos y terminología cubana. CD MEMORIAS del V CONGRESO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. GEOMIN 2003, ISBN 959-7117-11-8 TGMNI- 15, La Habana.
- LAVEROV, N, P. 1985. Yacimientos Metálicos de Cuba. Nauka, Moscú. 243p.
- LEPRUN, J.C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse. Transformation. Dégradation. *Mém. Sci. Géol., Strasbourg.* 58: 224-228.
- LLORENTE, E. & DIEGEZ, N. (1982). Evaluación de perspectivas bauxíticas en Cuba "Los depósitos rojos" en la Sierra de Caujeri, Provincia Guantánamo. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 60p.
- MARCHESI, C. 2006. Petrogenesis of the ultramafic and mafic rocks from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt and the spatially-related volcanism (Eastern Cuba). [University of Granada]. Spain. (Doctoral Thesis). 160p

- MATL, W. 1967. Sobre los trabajos de prospección realizados en las provincias Las Villas y Camagüey, para encontrar minerales de cobre, pirita oro, limonita, bauxita, dolomita, calizas arena, grava, grafito, talco y otros minerales metálicos y no metálicos en los yacimientos ONRM Inv. 2446.
- MATHEIS, G. 1981. Trace element patterns in lateritic soils applied to geochemical exploration. *Jour. Geochem. Explor.* 15,1-3,471-480.
- MEKHANOB, 1981. Asistencia técnica en el estudio de la posibilidad de desferrización cubanas del yacimiento Sierra Azul, con el objetivo de obtener una materia prima para la producción de refractarios ricos en alúmina. ONRM. Inv. 2986.
- MICHEL, P. 1973. Les bassins des fleuves Senegal et Gambie. Etude Geomorphologique. *Memoirs de ORSTOM*, Paris 63.
- MILLÁN, G. 1996. Metamórficas de la asociación ofiolítica de Cuba. En Iturralde-Vinent (ed.) ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, IGCP *Project 364*. Special contribution n.1., Miami, USA, 131-153.
- MOLINA, J.M. & SALAS, R. (1993). Bauxitas kársticas del Cretácico inferior en Fuentespalda (provincia de Teruel): Estratigrafía, origen y paleogeografía. *Cuadernos de Geología Ibérica* 17: 207-230. Editorial Complutense, Madrid.
- MOLINA, J.M. (1991). A review of karst bauxites and related paleokarsts in Spain. *Acta Geol. Hungar.*, 34: 179-194.
- MORENO, B. & PEREZ, L. 1982. Evaluación de perspectivas bauxíticas en Cuba: Las cortezas de intemperismo en la Gran Tierra. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 52p.
- MOSSAKOVSKIY, A.A., NEKRASOV, G.E., SOKOLOV, S.D., FORMELL, F., CABRERA, R., ITURRALDE-VINENT, M., FLORES, R., ORO, J., MORALES, A., PANATALEON, G., PEREZ, L., PSZCZOLKOWSKI, A., BOYANOV, I., HAYDUTOV, I., KANTCHEV, I., KOSTADINOV, V., BREZSNYANSZKY, K., CHUNEV, D. 1988. Mapa tectónico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, 4p.
- MOTTA, F. & ROCH, E. (1962). Bauxites d'Espagne: observations et interprétations. *Acta geol. Hungar.*, 7: 285-291
- MULLER, J.P. 1987. Analyse pétrologique d'une formation latéritique meuble du Cameroun. Essai de traçage d'une différenciation supergène par les parageneses minérales secondaires. Thèse. Sci., Univ. Paris VI, 188 pp.
- MULLER, D., BOCQUIER, G., NAHON, D. & PAQUET, H. 1981. Analyses des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. Cah. ORSTOM., sér. Pédol., XWI, 2, 87-109.

- NAGY, E.; K. BREZSNYANSZKY; A. BRITO; D.P. COUTIN; F. FORMELL; G.L. FRANCO; P. GYARMATI; P. JAKUS; G.Y. RADO CZ. 1976. Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba.
- NAGY, E.; K. BREZSNYANSZKY; A. BRITO; D.P. COUTIN; F. FORMELL; G.L. FRANCO; P. GYARMATI; P. JAKUS; G.Y. RADO CZ. 1983. Contribución a la geología de Cuba oriental. La Habana, Editorial Científico Técnica, 273p.
- NAHON, D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs: géochimie, structures, relais et coexistence. Thèse. Sci., Univ. Aix Marseille III et *Mém. Sci. Géol.*, Strasbourg, 44 232 p.
- NAHON, D., & TARDY, Y, 1992. The ferruginous laterites, in C.R.M. Butt and H. Zeegers, (eds.) *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains*. Handbook of Exploration Geochemistry, 4. Elsevier, Amsterdam, 41-55.
- NESBITT, H. W. 1979. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Nature* 279: 206-210.
- NESBITT, H. W. & YOUNG G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299: 715-717
- NJILA, T., DIAZ-MARTINEZ, R., OROZCO, G. & ROJAS, A. 2010. An overview of non-nickeliferous weathering crusts in Eastern Cuba. *Minería y Geología*, (en prensa).
- NJILA, T., DIAZ-MARTINEZ, R., PROENZA, J.A. & OROZCO, G. 2010. Semi-quantitative mineralogical evaluation of the non-nickeliferous weathering crusts in Northeast Cuba: Baconal, El Culebro, Caimanes and Farallones areas. *Minería y Geología*, (en prensa).
- NJILA, T. 2010. Desarrollo endógeno potencial a partir de estudios geoquímicos y mineralógicos de cortezas alíticas en Cuba Oriental (en prensa).
- NJILA, T. & DIAZ-MARTINEZ, R. 2009. Desarrollo actual de los estudios de diferentes cortezas de meteorización y mineralización asociada a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. VIII Congreso Cubano de Geología. La Habana, Cuba, 16-20 marzo. (Resúmenes), 72.
- OLIVA, G. 1992. Particularidades geológicas y características fundamentales de las cortezas de meteorización del yacimiento Cantarrana, Moa. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 36p.
- ORDÓÑEZ, S. (1977). Las bauxitas españolas como mena del aluminio. *Serie Universitaria, Fundación Juan March*, 33, 64 Pp.
- ORDÓÑEZ, S., BUSTILLO, M., FORT, R. & MENDUIÑA, J. (1989a). Estudio geoquímico de las bauxitas del noreste de España. *III Congreso de Geoquímica de España*, 1: 61-71.
- ORDÓÑEZ, S., BUSTILLO, M., FORT, R. & MENDUIÑA, J. (1989b). Trace element geochemistry of karstic bauxites from Northeast Spain. *28th Internar. Geol. Congr. Washington*, 3: 495.

- ORDÓÑEZ, S., FORT, R. y HUSTILLO, M. (1990). Estudio de las tierras raras en las bauxitas kársticas del Noreste de la Península Ibérica. *Estudios geol.*, 46: 373-384.
- OROZCO, G. 2008. Hallazgo de thomsonita en vetillas asociadas a tobas básicas palagonitizadas de la región de Farallones (Cuba oriental). *Minería y Geología* 24 (1):14p.
- OROZCO, G. 1995. Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.
- ORTEGA, F. & MUSTELIER E. 1990. Informe Geológico y Pasaporte de la Muestra Tecnológica de la Exploración Orientativa de bauxita diluvial de la base del Pan de Guajaibón, Bahía Honda, Pinar del Río, Cuba. ONRM. Inv. 3815.
- PARKER, A. 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine* 107, 501-504.
- 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. (Tesis Doctoral). 134p.
- PINO, E. & ROSALES, R. 1982. Evaluación de las perspectivas bauxíticas en Cuba: Los depósitos rojos en Maisí. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma). 50p.
- PIPER, 1974
- PONS, J.A., PÉREZ, O., RAMÍREZ, B. & RAMÍREZ, M.A. 1997. Caracterización de las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam y su empleo en la fundición. *Minería y Geología* 14 (3):19-23.
- PONS, J.A. & LEYVA, C.A. 1996. Empleo de las arcillas ferrocaoliníticas – gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición. *Minería y Geología*, 13 (3): 93-97.
- PONCE N. G., RAZUMOVSKY O. O., KORPAS, L. 1985. Evaluación perspectivas de bauxitas. Informe. Archivo IGP.
- POPPE, L.J., PASKEVICH, V.F. HATHAWAY, J.C. & BLACKWOOD, D.S. 2002. A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041 [on line] <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-041/index.htm> [consulted: 20 Oct. 2009].
- PRICE, J.R. & VELBEL, M.A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology* 202: 397-416.
- PROENZA, J.A., DÍAZ-MARTÍNEZ, R., IRIONDO, R. A., MARCHESI, C., MELGAREJO, J.C., GERVILLA, F., GARRIDO, C.J., RODRÍGUEZ-VEGA, A., LOZANO-SANTACRUZ, R., & BLANCO-MORENO, J.A. 2006. Primitive Cretaceous island-arc volcanic rocks in eastern Cuba: the Téneme Formation. *Geológica Acta*, 4 (1-2): 103-121.
- PROENZA, J., MELGAREJO, J.C., GERVILLA, F., SOLÉ, J. 1999: 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*, 16 (2): 5-12.
- PROENZA, J.A. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del

- yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 227p.
- PROENZA, J.A. & CARRALERO N. M. 1994. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología* 11: 3-10.
- QUINTAS, F. 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 161p.
- REICHE, P. 1943. Graphic representation of chemical weathering. *Journal of Sedimentary Petrology* 13, 58-68.
- REYES, O. 1997. Estudio petrológico de las formaciones del arco volcánico del polígono Las Guásumas. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma) 57p.
- RÍOS, Y.I. & COBIELLA, J.L. 1984. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología* 2: 109-132.
- ROALDSET, E. 1972. Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Numedal Area, southern Norway. *Norsk Geolisk Tidsskrift* 52, 335-369.
- RODRÍGUEZ, A, 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM, 124 p.
- ROQUIN, C., FREYSSINET, Ph., ZEEGERS, H. and TARDY, Y.1990. Element distribution patterns in laterites of southern Mali : Consequence for geochemical prospecting and mineral exploration. *Applied Geochemistry* (in press).
- RUXTON, B.P. 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76, 518-527.
- ROSER B.P., COOMBS D.S., KORSCH R.J. & CAMPBELL J.D. 2002. Whole-rock geochemical variations and evolution of the arc-derived Murihiku Terrane, New Zealand. *Geological Magazine* 139: 665-685.
- RUXTON, B.P. 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76: 518-527
- SÁNCHEZ, Y. 2005. Constitución geológica del área de Farallones sobre la base de la cartografía geológica a escala 1: 25 000. I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana, Cuba, 5-8 abril. (Resúmenes), 171-172.
- SCHELLMANN, W. (1989) - Allochthonous surface alteration of Ni-laterites. *Chemical . Geology* 74: 351-364.
- SCHMEDEMAN, O.C.1948. Caribbean aluminium ores. *Eng. Min. Jour* 149: 78-82.
- SIGOLO, J.B & BOULANGÉ, B. 1987. Caracterização das facies de alteração de uma toposequência no maciço alcalino de Passa Quatro, MG. *Revista Brasileira de Geociencias*.
- SPALLETTI, L.A. 2007. Meteorización [en línea]. <http://cig.museo.unlp.edu.ar/docencia/sed/meteorizacion.pdf>. [Consulta: 17 dec. 2008].

- SVOBODA, V. 1966. Informe final sobre la búsqueda de los yacimientos minerales en la provincia de Oriente, República de Cuba. ONRM. Inv. 1721.
- SZABO, E. 1977. Observaciones geológicas sobre la bauxita y primer intento de elaborar los principios de pronóstico de bauxitas en Cuba. ONRM Inv: 2771.
- TARDY, Y. 1993. *Péetrologie des latérites et des sols tropicaux*: Masson.
- TARDY, Y., BOEGLIN, J-L., NOVIKOFF, A., ROQUIN, C. 1993. Petrological and geochemical classification of laterites. *Proceedings of the 10th International Clay Conference*, July 18-23, Adelaide, Australia
- TARDY, Y. & NAHON, D. 1985. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe³⁺-kaolinite in bauxites and ferricretes. An approach to the mechanism of concretion formation. *Amer. Jour. Sci.* 285: 865-903.
- TELEGUIN, V. P & PÉREZ, R 1976. Informe sobre el descubrimiento de un yacimiento de bauxitas en la República de Cuba. ONRM.
- TROLARD, F. & TARDY, Y. 1987 : The stabilities of gibbsite, boehmite, aluminous goethites and aluminous hematites in bauxites, ferricretes and laterites as a function of water activity, temperature and particle size. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 51: 945-957.
- VALETON, I. 1972. *Bauxites*. Development in Soils Sciences. Elsevier, Amsterdam
- VOGEL, D. E. 1975. Precambrian weathering in acid metavolcanic rocks from the Superior Province, Villebon Township, South-central Quebec. *Canadian Journal of Earth Science* 12, 2080-2085
- VOGT, T. 1927. Sultjelmafeltets geologi og petrografi. *Norges Geologiske Undersokelse* 121, 1-560 (in Norwegian, with English abstract).
- VOICU, G. BARDOUX, M. & VOICU, D. 1997. Mineralogical norm calculations applied to tropical weathering profiles. *Mineralogical Magazine* 61 : 185-196
- ZANS, V. A. 1952. Bauxite resources of Jamaica and their development: *Colon Geol. and Min Resour* 3: 307-333.

ANEXOS GRAFICOS

Anexo 1. Terminología de regolitos

