

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ESTUDIO QUÍMICO-MINERALÓGICO DE LOS PERFILES
LATERÍTICOS FERROSIALÍTICOS EN LOS SECTORES
TÉNEME, FARALLONES Y CAYO GUAM**

(Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas)

(RESUMEN)

Autor: Tendai Njila

Moa, 2011

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ESTUDIO QUÍMICO-MINERALÓGICO DE LOS PERFILES
LATERÍTICOS FERROSIALÍTICOS EN LOS SECTORES
TÉNEME, FARALLONES Y CAYO GUAM**

(Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas)

(RESUMEN)

Autor: Ing. Tendai Njila

Tutor: Prof. Tít., Ing. Roberto Díaz Martínez, Dr.C

Moa, 2011

INTRODUCCIÓN

Novedad y actualidad del tema

El estudio, por primera vez, de la composición química y mineralógica de los perfiles de meteorización ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam en el noreste de Cuba a través de sus perfiles de alteración típicos, es un tema de absoluta novedad y actualidad en el escenario geológico mundial, a nivel nacional y muy particularmente en esta región nororiental de la isla.

Estos perfiles de meteorización se relacionan genéticamente con cortezas lateríticas que se han formado a partir del intemperismo de rocas de naturaleza oceánica (gabros y basaltos de la asociación ofiolítica) y rocas pertenecientes a los arcos del Cretácico (basaltos, andesitas, andesita-basaltos y dacitas) y del Paleógeno (tobas y tufitas); por tanto, cualquier intento de estudio químico-mineralógico de los perfiles ferrosialíticos en Cuba necesariamente tiene que incluir estos tipos de litologías, pues hasta entonces solamente se le prestaba atención a las cortezas desarrolladas sobre gabros y calizas, que hasta estos momentos eran las únicas que disponían de estudios similares a los presentados en esta investigación.

La presentación de diferentes perfiles de alteración con sus rasgos químico-mineralógicos propios muestra un escenario geológico único y hacen de éste un documento inédito de aplicación práctica, principalmente para los centros de educación superior del país e instituciones científicas en calidad de literatura docente. La aplicación práctica de los resultados obtenidos radica en la posible utilización de las arcillas asociadas a perfiles ferrosialíticos en la industria cerámica, refractaria y materiales de la construcción.

Problema

La insuficiente caracterización desde el punto de vista químico-mineralógico de los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam no permite esclarecer la formación, clasificación y aplicabilidad industrial de estos objetos geológicos.

Objeto de la investigación

El objeto de la presente investigación lo constituyen los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam.

Campo de acción

El campo de acción está relacionado con la caracterización químico-mineralógica de los perfiles de meteorización ferrosialíticos desarrollados en la región noreste de Cuba oriental.

Hipótesis

La caracterización químico-mineralógica de los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam asociados a rocas de arcos de islas y de fondos oceánicos del noreste de Cuba Oriental permite esclarecer sus principales rasgos composicionales, su clasificación y posibles usos en la economía nacional, contribuyendo al desarrollo endógeno y sostenible de los territorios del noreste de Cuba Oriental.

Objetivo general

Estudiar desde el punto de vista químico y mineralógico los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam asociados a las rocas de arcos de islas y de la corteza oceánica del noreste de Cuba Oriental con la

finalidad de esclarecer sus rasgos composicionales, grado de madurez, zonalidad químico-mineralógica y su clasificación químico-mineralógica.

Objetivos específicos

1. Escalecer la composición química y mineralógica en los diferentes perfiles lateríticos en los sectores estudiados con la finalidad de clasificarlos desde el punto de vista químico y mineralógico.
2. Establecer el balance de meteorización en los perfiles lateríticos analizados para la determinación del grado de madurez y zonalidad químico-mineralógica.

Materiales y métodos

Para acometer la presente investigación en el plano teórico y experimental, el autor utilizó como método de investigación científica a nivel teórico los métodos: histórico-lógico e hipotético-deductivo. El primero, utilizado para conocer la historia, evolución y etapas principales de desarrollo del objeto de investigación, tanto a nivel mundial como en Cuba. Por su parte, el método hipotético-deductivo permitió, a partir del planteamiento de la hipótesis, establecer la regularidad, generalización y teoría que avalan dicha hipótesis y que permiten juzgar acerca de la utilidad teórico-práctica de la misma.

Con la finalidad de recopilar toda la información disponible que reflejara el comportamiento del objeto de estudio y sus variables implicadas, así como su problemática en la práctica, tanto en la etapa de acumulación de evidencias como en la predicción de los resultados, se utilizó el método empírico, el cual fue apoyado por los métodos y técnicas analíticas siguientes:

1. Método químico (Fluorescencia de rayos X y pH): Permite conocer las

características químicas de los materiales analizados. A partir de los resultados de quimismo se emplearon los índices de meteorización y los índices químico-mineralógicos. Los análisis químicos de roca total se realizaron mediante la técnica analítica FRX en la Universidad de Barcelona (UB), España, empleando un espectrómetro marca Panalytical (Philips) PW2400 con un tubo Rh de rayos X operado a 60 KeV, 125 mA y 3000 W.

2. Método mineralógico (Difracción de rayos X): Permitió determinar la composición mineralógica cualitativa de las muestras mediante difracción de rayos X (DRX) empleando un difractómetro alemán tipo HZG - 4 con radiación de $\text{CoK}\alpha$ y velocidad del goniómetro de $2^\circ/\text{min}$. La interpretación cualitativa de los difractogramas se realizó con ayuda del software ANALYZE, de la firma Seifert, Alemania, mientras los análisis cuantitativos se realizaron con el software AUTOQUAN, de la misma firma y que emplea el método Rietveld para el ajuste de las curvas entre los patrones seleccionados y la muestra investigada.

La aplicación de los métodos antes descritos permitió obtener la clasificación química y químico-mineralógica de los perfiles de meteorización

Aportes científicos

La investigación desarrollada, hace un importante aporte teórico-práctico a las ciencias geológicas al demostrar por primera vez, la existencia de perfiles de meteorización ferrosialíticos desarrollados sobre rocas volcánicas ofiolíticas y vulcanitas de arcos en la región de desarrollo del Arco de Isla Circum-caribeño.

En la práctica, la investigación resuelve de manera satisfactoria los siguientes problemas:

Los perfiles lateríticos de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam han sido clasificados en función de su composición química (Fe, Al, Si) como tipo ferrosialítico. Según su composición químico-mineralógica han sido clasificados como arcillas en las localidades Baconal, El Culebro y Farallones, como ferralitas en Caimanes y como alitas de poco hierro en Cayo Guam.

Los elementos mayores (Al, Fe, Si) se concentran en las partes superiores de cada perfil. Los álcalis (Na y K) y alcalino-térreos (Ca, Mg) son fuertemente lixiviados en las partes intermedias y superiores de todos los perfiles. Sin embargo, el sodio se concentra en Baconal y El Culebro, debido probablemente a los factores hidrológicos y la transformación hidrotermal sufrida por las rocas madres. El titanio muestra un enriquecimiento ligero y su distribución esta en dependencia del grado de madurez de los perfiles.

Los perfiles de meteorización en los sectores estudiados están constituidos por gibbsita, caolinita, goethita, hematita, halloysita, montmorillonita, plagioclasas y cuarzo. Por localidad, las asociaciones mineralógicas son: 1) en Baconal: caolinita, hematita, cuarzo y albita; 2) en El Culebro: caolinita, hematita, cuarzo y montmorillonita; 3) en Caimanes: hematita, halloysita, cuarzo, montmorillonita y ortoclasa; 4) en Farallones: caolinita, hematita, halloysita, montmorillonita y caolinita-montmorillonita y 5) en Cayo Guam: gibbsita, goethita, hematita, halloysita, montmorillonita, caolinita-montmorillonita y nacrita.

El balance de meteorización indica un apreciable grado de madurez de los perfiles de meteorización estudiados. El grado de alitización en los mismos es muy bajo, excepto en Cayo Guam. La intensidad de meteorización en las partes superiores de

los perfiles es intensa y decrece según aumenta la profundidad.

Los materiales arcillosos de Baconal y El Culebro son aptos para azulejos de terracota, ladrillos, tubos de calcinación y piezas antiácidas; los de Caimanes y Farallones se pueden emplear en la fabricación de ladrillos y las de Cayo Guam en elementos refractarios. Además, se pueden emplear todos los materiales detríticos en los sectores estudiados como aditivos para la producción del cemento Portland y también en las arcillas refractarias para la pasta de loza empleada en la cerámica ya que contienen altos contenidos de sílice (>30%).

En el orden social, la investigación resuelve de manera rápida y eficiente, uno de los problemas sociales más perentorios que hoy enfrentan los territorios del nordeste de la provincia de Holguín, específicamente Frank País, Sagua de Tánamo y Moa, en relación a la localización y eventual evaluación rápida y efectiva de nuevas fuentes de Rocas y Minerales Industriales como vía alternativa en aras del desarrollo local sostenible.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

1.1 Introducción

En este capítulo se hace una descripción analítica y crítica de los trabajos realizados sobre la temática en el mundo y en Cuba oriental. Las cortezas de meteorización originadas a partir de rocas volcánicas, vulcanógeno-sedimentarias y gabros ocupan un área aproximada de 150 km² en los territorios de Frank País y Moa en el noreste de Cuba Oriental y sus espesores se comparan con los de las cortezas sobre rocas ultramáficas en la región.

1.2. Trabajos relacionados con la caracterización química y mineralógica de las

cortezas de meteorización ferrosialíticas a nivel mundial.

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

1.2.1. África y Amazonía

La profundidad de meteorización en África y la Amazonía alcanza valores de hasta 150 m, en dependencia de la edad de la laterita, la actividad tectónica regional, el clima, la historia climática y la naturaleza de las rocas madres (Freyssinet, 1998).

Los factores climáticos importantes a nivel mundial que influyen en la formación de los perfiles de meteorización son las precipitaciones y la temperatura.

Varios autores han planteado la importancia de los paleoclimas y los episodios de meteorización en el desarrollo de los regolitos y los paisajes en África occidental y la Amazonía (MacFarlane, 1976, 1983; Leprun, 1979; Tardy, 1993; Thomas, 1994).

Tardy et al. (1993) distinguieron 4 tipos de formaciones lateríticas ricas en hierro y aluminio en base a la petrología y geoquímica: conakritas, ferricretas, bauxitas y latosoles.

1.2.2. Europa y Asia

La mayoría de los trabajos realizados en esta región están relacionados con el análisis mineralógico cualitativo y cuantitativo, clasificaciones y métodos cuantitativos (Konta, 1960a, 1961c; Caillere y Henin, 1957; Melka, 1957b; Misik, 1959; Pospisil, 1959; Neuzil, 1961; Proks, 1961; Mackenzie, 1959, Alexander, 1977; Bardossy et al.,

1980; Mollai y Tarshizian, 2009).

En la mayoría de los territorios estudiados por estos autores las cortezas de meteorización están compuestas principalmente por la caolinita, hematita, caolinita-montmorillonita y en menor grado, bohemita.

1.2.3. El Caribe y el resto de las Américas

Price y Velbel (2003) evaluaron las posibles aplicaciones de numerosos índices de meteorización calculados a partir de los análisis químicos de elementos mayores y los métodos isovolumétricos aplicados a los perfiles de meteorización heterogéneos y paleosuelos en Estados Unidos.

Estos autores resaltaron la aplicabilidad de los métodos geoquímicos isovolumétricos como indicadores de la magnitud de meteorización en los perfiles de meteorización uniformes, aunque estos pierden utilidad en un perfil de meteorización heterogéneo. Sus resultados permiten evaluar diferentes índices de meteorización química para saprolitas no uniformes y/o paleosuelos.

Otras investigaciones proponen diferentes formas de interpretar los análisis químicos y mineralógicos que permiten relacionar las composiciones químicas de las materias primas con su comportamiento cerámico (Bernal et al., 2003; Espitia et al., 2003; Duitama et al., 2004; Muñoz-Meneses et al., 2007).

1.2.4. Cuba

Se han realizado investigaciones intensas en busca de bauxitas en Cuba (Brammlete, 1943; Nagy, 1976, 1983; Lavandero et al., 2009), pero estas no determinaron la presencia de algún depósito económicamente explotable.

En conclusión, se señaló que no era posible encontrar grandes depósitos de bauxita

tipo Jamaica en Cuba. Sin embargo, no se evaluaron las posibilidades de encontrar las manifestaciones ricas en aluminio que podrían explotarse económicamente y tener importantes usos industriales.

1.2.4.1. Occidental y Central

Se ha caracterizado el depósito de bauxitas más importante en Cuba, “Sierra Azul – Pan de Guajaibón” en Pinar del Río desde diferentes puntos de vista geológicos (Teleguin y Pérez, 1976; Daniluk et al., 1987, 1988; Driga et al., 1989; Formell y Buguelskey, 1984; Hernández, 1989; Hernández y Hernández, 1985; MEKHANOB, 1981; Ortega y Mustelier, 1990).

En Ciego de Ávila y Camagüey los cuerpos bauxíticos y alíticos se caracterizan por presentar contenidos altos de los elementos itrio, iterbio, lantano y escandio, algunos de los cuales pueden tener valores industriales significativos, sobre todo para la explotación conjunta con las bauxitas.

1.2.4.2. Cuba Oriental.

Muchos investigadores han trabajado en las cortezas de meteorización no ferroniquelíferas con el objetivo de encontrar y evaluar bauxitas (Buguelskey y Formell, 1974; Dudich, 1975, 1978; Guerasimov et al., 1976; Elmer, 1977; Formell et al., 1977; Buguelskey, 1979; Coutin et al., 1983; Korpas, 1988; Ponce et al., 1985; Orozco, 1995; Pons y Leyva, 1996; Fonseca et al., 2004).

Además, se realizaron varios trabajos de diploma relacionadas con la evaluación de las perspectivas bauxíticas y las cortezas de meteorización no ferroniquelíferas en los diferentes sectores de las Provincias Holguín y Guantánamo entre 1980 y 2010 (González y Bárcas, 1981; Cobas y Vargas, 1982; De Dios y Cueto, 1982; Moreno y

Pérez, 1982; Pino y Rosales, 1982; García, 1985; González, 1991; Betancourt, 1992; Oliva, 1992; Fadel, 2005; Cámara, 2007, Perdomo, 2008; Cisnero, 2010). El objetivo era encontrar las bauxitas pero tampoco se pudo confirmar la existencia de bauxitas sensu strictus. De igual manera, no se realizaron evaluaciones de las perspectivas industriales de materiales ricos en alúmina existentes en esta región.

Estudios más recientes (Fadel, 2005; Cámara, 2007; Perdomo, 2008; Lavandero, 2009; Njila et al., 2010) en Cuba Oriental fundamentan la importancia de continuar las investigaciones en dichas cortezas desarrolladas sobre litologías no ultrabásicas (Ej. rocas gabroides, vulcanitas y metavulcanitas del arco del Cretácico, rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias dístales del arco del Paleógeno).

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

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

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

mineralogía y química (Njila et al., 2010).

1.3 Importancia económica de cortezas aluminicas en Cuba y el mundo, perspectivas y problemas actuales.

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

1.4 Discusión

La mayoría de los investigadores se centraban en bauxitas y en ninguno de los estudios realizados con anterioridad se mencionan otros usos que se les pudieran dar a los materiales residuales que no cumplieren con los contenidos de alúmina y por tanto no constituyen bauxitas sensu strictus. En la mayoría de los trabajos no se esclarecen los criterios para la clasificación de las cortezas de meteorización no ferroniquelíferas.

1.4.1 Propuestas de áreas perspectivas para las cortezas ferrosialíticas en el noreste de Cuba Oriental

Se proponen profundizar las investigaciones sobre los perfiles de meteorización en los sectores Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam.

CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FISICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN.

2.1 Introducción

En este capítulo se exponen los principales rasgos fisiográficos, económicos y geológicos de la región de estudio con el objetivo de obtener una base informacional

referencial y actualizada acerca de los rasgos fisiográficos y económicos de la región noreste de la provincia de Holguín.

2.2. Características físico-geográficas del área de estudio

El área de estudio está ubicada entre Frank País y Moa (Figura 6), definido por las coordenadas de Lambert siguientes: X: 660 000 – 720 000; Y: 200 000 – 220 000

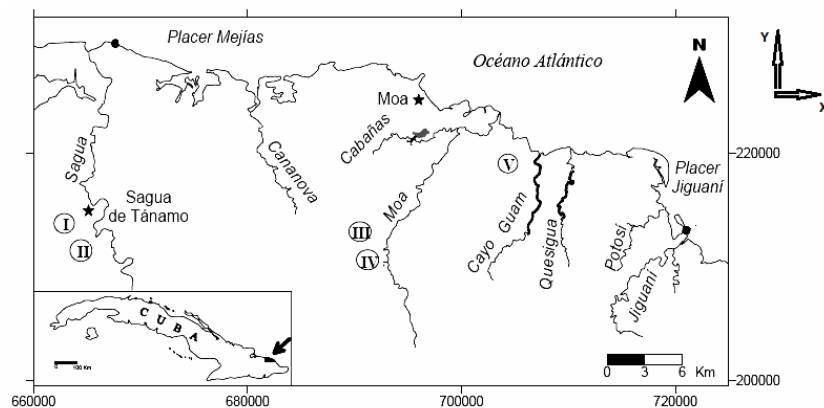


Figura 6. Ubicación geográfica de los sectores de estudio. I-Baconal; II-El Culebro; III-Caimanes; IV-Farallones; V-Cayo Guam.

2.2.1. Relieve, clima, red hidrográfica y vegetación

La región de estudio tiene un relieve predominantemente montañoso hacia la parte sur (grupo montañoso Sagua-Baracoa) debido a la presencia de la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional. La parte norte se caracteriza por presentar un relieve más moderado que caracteriza los sectores de estudio.

El clima es tropical con abundantes precipitaciones estrechamente relacionado 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 (Oliva, 1989)

La red fluvial es densa y de tipo dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos (Levisa, Cabonico, Téneme, Grande, Sagua, Cabañas, Moa, Cayo Guam,

etc.), que mantienen un buen caudal todo el año.

La vegetación comprende el 33 % del endemismo cubano.

2.2.2. Principales rasgos económicos de la región.

La región cuenta con dos plantas procesadoras de níquel ubicadas en el municipio de Moa, actualmente en producción. Este reglón constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen varias instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería.

También, en esta zona se encuentran numerosos yacimientos de cromitas, entre los cuales los más importantes son Merceditas, Amores y Los Naranjos, que poseen reservas probadas pero no se explotan debido a los bajos precios del mineral en el mercado mundial.

2.3. Marco Geológico regional

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

2.3.1. *Ofiolitas septentrionales*

Las rocas ofiolíticas típicas están ampliamente representadas en las áreas de estudio, formando parte del Macizo Sagua-Moa-Baracoa. De mayor interés en este trabajo son las litologías propias del complejo de acumulados básicos pertenecientes a la corteza oceánica, representadas por extensos cuerpos y diques de gabroides

con rasgos propios de gabros bandeados en la base del complejo y hacia la parte superior, con textura propia de los gabros isotrópicos (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca et al., 1985).

2.3.2. Formación Téneme

Las rocas volcánicas son principalmente basaltos, andesitas basálticas, andesitas, y en menor grado, dacitas. Su composición química varía entre toleitas de arco de islas de afinidad ofiolítica con bajos contenido de titanio, de tipo N-MORB y toleitas típicas de arco de islas oceánicas. Los basaltos muestran relaciones bajas de LREE/Yb ($La/Yb < 5$), típicas de arcos de islas intraoceánicas. Estos y otros datos geoquímicos advierten que las rocas pertenecientes a esta formación pudieran ser parte de un antiguo arco de isla tipo PIA (Proenza et al., 2006).

2.3.3. Formación Sabaneta

Estas secuencias están compuestas por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobaceas, calizas, conglomerados tobaceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor (Cobiella, 1978; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza y Carralero, 1994).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS

3.1. Introducción

En este capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante el estudio y la caracterización de las cortezas de meteorización ferrosialíticas de los sectores estudiados. El procedimiento contempló cuatro etapas principales:

Recopilación y procesamiento de la información existente, muestreo y documentación, trabajos de laboratorio y representación e interpretación de los datos obtenidos.

3.2. Recopilación y procesamiento de la información existente

Se consultaron informes técnicos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), publicaciones científicas nacionales e internacionales, trabajos presentados en eventos y congresos, así como trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, realizados hasta el año 2010.

3.3. Selección de perfiles

La selección de perfiles se realizó en los sectores Téneme (Baconal y El Culebro), Farallones (Caimanes y Farallones) y Cayo Guam (Tabla 6). Estos trabajos tuvieron como objetivo principal obtener muestras a todo lo largo de 5 perfiles de meteorización representativos.

Tabla 6. Ubicación de las muestras recolectadas por sectores de estudio.

Sector	Localidad	Coordenadas		Punto de muestreo	Muestras
		X	Y		
Téneme	Baconal	647276	215839	1,2,3,4	TNL-1, TNL-2, TNL-3
	El Culebro	645852	216442	5	TNL-4, TNL-5, TNL-6, TNL-7
Farallones	Caimanes	687834	211936	6	TNL-8, TNL-9, TNL-10, TNL-11, TNL-12
	Farallones	690611	207108	7	TNL-13, TNL-14, TNL-15, TNL-16
Cayo Guam	Cayo Guam	706600	217940	8	CG-1, CG-2, CG-3, CG-4, CG-5

3.3.1 Fundamentación de la selección de los perfiles lateríticos en los sectores de estudio

La selección de los perfiles lateríticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam se fundamentó en la insuficiencia de la información química y mineralógica de

potentes cortezas de meteorización con típicos perfiles lateríticos desarrollados a partir de la meteorización de rocas básicas (gabroides) de la asociación ofiolítica y de las rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias de los arcos de islas del Cretácico y del Paleógeno en los sectores de estudio, la buena accesibilidad a los tres sectores de estudio, la explotación limitada y sin un control de la calidad del mineral en un pequeño tejón en Centeno, amplias posibilidades de la utilidad de los recursos estudiados en el desarrollo endógeno de los territorios del noreste de la provincia de Holguín, los espesores de los perfiles en los sectores seleccionados son mayores a 10 metros, tienen buena aflorabilidad y su extensión es más de 15 km².

3.3.2 Documentación y muestreo de los perfiles

Los materiales empleados para la realización de la documentación y muestreo de los perfiles seleccionados fueron los siguientes: piqueta y brújula de geólogo, sistema de posicionamiento global (GPS-siglas en inglés) marca Magellan de procedencia norteamericana, libreta de campo, marcadores y bolsas plásticas y cámara fotográfica.

Se seleccionaron los perfiles más representativos y las muestras se tomaron por el método de surco.

3.4. Trabajos de laboratorio

3.4.1. Preparación de las muestras y separación granulométrica

Los materiales empleados durante la separación granulométrica fueron: Estufa, *Erlenmeyer*, agua destilada, agitador eléctrico, tamices de 0.063 y 0.18 mm, cápsulas de porcelana, cubeta plástica, brocha fina y lápiz cristalográfico.

Las muestras fueron secadas al sol, pesadas, homogenizadas, pesadas de nuevo,

cuarteadas y tamizadas.

3.4.2. Medición del pH

Se realizó en el Laboratorio de Química del ISMM empleando los siguientes materiales: balanza electrónica, titrador compacto marca CRISON versión S de fabricación española, papeles filtradores, *beakers*, *Erlenmeyer*, agitadores eléctricos, agua destillada. El método empleado fue el Titrimétrico.

3.4.3. Análisis químico de roca total por Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Los análisis químicos de roca total se realizaron mediante la técnica analítica FRX en la Universidad de Barcelona (UB), España, empleando un espectrómetro de marca Panalytical (*Philips*) PW2400 con un tubo Rh de rayos X operado a 60 KeV, 125 mA y 3000 W y en la Empresa Geominera Oriente, Cuba, usando un espectrómetro *Philips* PW2400.

3.4.4. Índices de meteorización

Estos índices son ecuaciones que, sobre la base del análisis químico, permiten conocer el grado de descomposición o la medida de la cantidad de meteorización que ha tenido lugar. Su cálculo 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).

3.4.5. Índices Químico-Mineralógicos

El índice químico-mineralógico analizado en este trabajo es el Índice de Alteración Mineralógica (MIA; Voicu et al., 1997).

3.5. Clasificaciones química y químico-mineralógica de las cortezas de meteorización

La clasificación química de las cortezas de meteorización se basó en su composición química tomando las relaciones entre los componentes principales aluminio, hierro y sílice que se presentan en un diagrama ternario, tomando como criterio un contenido de alúmina mayor que 20% en peso.

Además, se empleó el Índice de Alitización Potencial (API) para la clasificación química de los perfiles de meteorización ferrosialíticos en base a su composición química y la escala vertical de intensidad de alteración.

CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan los principales resultados del estudio químico-mineralógico de los perfiles de meteorización ferrosialíticos en los sectores estudiados. Este estudio abarca la migración, distribución, concentración de los elementos químicos en los diferentes horizontes, el balance de meteorización y las principales fases minerales presentes. Además, se presentan dos esquemas de clasificaciones químicas y una de clasificación químico-mineralógica para éstas cortezas y se proponen posibles usos industriales basados en la composición química.

4.2. Distribución granulométrica.

Las fracciones granulométricas se definieron como: finas ($<0.063\text{mm}$), intermedias ($>0.063<0.18\text{ mm}$) y gruesas ($>0.18\text{ mm}$) para todos los sectores estudiados.

En Baconal las fracciones finas e intermedias predominan en las partes superiores del perfil, las fracciones finas ocupando entre 59.2 y 62.8 % de la muestra en los horizontes superiores e intermedias, respectivamente, mientras que las fracciones

intermedias llegan a valores de 25.6 y 24.64 % en dichos horizontes. La fracción gruesa es menos representativa en estos horizontes que en la parte inferior del perfil, en la cual predomina con valores superiores a 90%.

En el sector El Culebro, la fracción fina predomina en todo el perfil con un promedio de 70.39 %. La fracción intermedia aumenta en las partes intermedias e inferiores pero su valor es muy bajo en la parte superior del perfil. Los valores de la fracción gruesa son extremadamente bajos en la parte intermedia hacia la base del perfil y esta fracción solo aparece en cantidades pequeñas entre 13 y 17 % en los horizontes superiores e intermedios.

En Caimanes la fracción fina predomina en el perfil con un promedio de 62.16%, seguida por la fracción intermedia con un valor medio de 21.51% y esta última no se reporta en la parte inferior. La fracción gruesa no está presente en ambos extremos, pero llega a un promedio de 12.87 % en los horizontes intermedios.

No se pudo evaluar la distribución granulométrica en la base las cortezas de meteorización ferrosialíticas del sector Farallones y solo se reporta la granulometría de los horizontes superiores. La fracción granulométrica fina predomina en estos horizontes y en promedio llega a 90%, seguido por la fracción intermedia que solo se observa en el horizonte superior con un valor de 13.2%.

En Cayo Guam la fracción fina predomina en todos los horizontes del perfil con un promedio de 52.93 %, alcanzando su valor alto (63.64 %) en el extremo superior. La fracción gruesa tiene un valor promedio de 23.18% y su valor alto (45.74%) se reporta en la parte intermedia del perfil. La fracción intermedia alcanza un valor promedio de 16.02% y su valor alto (26.09%) se reporta hacia la base del perfil.

4.3. Caracterización química de los perfiles y cortezas de meteorización ferrosialíticas en Cuba Oriental

4.3.1. Composición química de las rocas frescas

Los contenidos de alúmina son relativamente altos en todos los sectores donde alcanzan valores de hasta 15.73 % en peso. En Cayo Guam su valor es más alto (16.3 % en peso).

Se observan valores altos de la sílice en el rango de rocas básicas a ácidas en toda la región estudiada. En los sectores Baconal y El Culebro estos valores llegan a 68.61 % en peso en las rocas madres. Esto se debe a las alteraciones hidrotermales en estas rocas, evidenciado por la presencia de vetillas de cuarzo tanto en las rocas como en las cortezas. En Caimanes y Farallones este componente alcanza valores de hasta 67.54% en peso.

El contenido de hierro en los sectores estudiados tiene valores entre 1 y 13 % en peso. No se pudo determinar el contenido férrico en las rocas madres del Baconal y El Culebro, pero los contenidos del hierro ferroso llegan a 6.16 % en peso.

Los valores de los álcalis, alcalino-térreos y manganeso no sobrepasan el 10 % en peso. El contenido de magnesio es alto en los gabros de Cayo Guam, llegando a 27.59 % en peso.

Los valores de titanio están entre 0.4 y 0.76 % en peso en toda la región de estudio, siendo más altos en las rocas volcánicas de la Fm. Téneme que en los gabros de afinidad ofiolítica en Cayo Guam.

4.3.3. Valores del pH para los sectores Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones.

Tabla 10. Resultados de las mediciones del pH en las muestras estudiadas.

Sector	Localidad	Muestra	pH	Sector	Localidad	Muestra	pH	
Téneme	Baconal	TNL-1	5,03	Farallones	Caimanes	TNL-8	5,48	
		TNL-2	4,56			TNL-9	5,41	
		TNL-3	6,03			TNL-10	4,97	
	El Culebro	TNL-4	4,58			TNL-11	5,90	
		TNL-5	4,85			TNL-12	7,07	
		TNL-6	6,01		Farallones	TNL-13	5,21	
		TNL-7	5,41			TNL-14	4,79	
Cayo Guam	Cayo Guam	CG-1	4,84			TNL-15	4,59	
		CG-4	4,36			Farallones	TNL-16	4,54
		CG-2	4,93					
		CG-3	4,24					
		CG-5	4,28					

El pH (Tabla 10) de las cortezas de meteorización aumenta con la profundidad de los perfiles en los sectores Baconal, El Culebro, Caimanes y Farallones, siendo menos ácido en los horizontes inferiores, generalmente. Lo contrario ocurre en Cayo Guam. En Baconal, desde la base hasta la superficie (TNL-3 hasta TNL-1) el pH disminuye en el horizonte intermedio y aumenta de nuevo en la parte superior del perfil aunque sus valores siempre son menores que 7.

En El Culebro la parte superior es más ácida que la intermedia y la inferior. Al igual que en el sector anterior sus valores están por debajo del valor de pH neutro.

En el perfil de Caimanes la acidez aumenta desde la superficie hasta la parte intermedia, de allí tiende a bajar con la profundidad hasta que el pH alcanza un valor casi neutro en la base.

En Farallones la acidez aumenta con la profundidad y el pH va de 5.21 a 4.54 en ese sentido.

4.3.4. Balance de meteorización a partir de los Índices Químicos de Meteorización

Los Índices Químicos de Meteorización permitieron la evaluación de la movilidad de los elementos químicos con mayor detalle, la apreciación gráfica de los cambios en la composición química con respecto a la profundidad y la determinación del grado de madurez de las cortezas ferrosialíticas.

Los valores de los índices CIW, CIA y PIA (Tabla 11a) son muy altos en las partes superiores de todos los sectores y muy similares en los sectores Farallones y Cayo Guam, representando una meteorización extrema en todos los sectores, con una tendencia creciente hacia las partes superiores de los perfiles.

El MWPI tiene valores muy pequeños en todos los sectores, evidenciando la pérdida de los álcalis y alcalino-térreos con el avance de la meteorización química. En Caimanes es alto debido los elevados contenidos de los álcalis y alcalino-térreos.

El V tiene valores altos en Farallones y Cayo Guam, mientras que en Caimanes son muy bajos, disminuyendo con el aumento en la profundidad.

La R disminuye con la profundidad, sugiriendo una fuerte lixiviación de sílice con respecto al enriquecimiento de 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 , indican un alto grado de madurez de las cortezas estudiadas.

Tabla 11a. Valores de los Índices de Meteorización Química evaluados en los diferentes sectores de estudio. *MIA derivado del CIA

Localidad	Muestra	CIW	CIA	*MIA	PIA	WIP	MWPI	V	R	M ₁	M ₂	FL	I _{mob}
Baconal	TNL-1	98.77	98.41	96.82	98.77	2.10	0.83	23.39	4.13	66.15	15.19	0.02	0.98
	TNL-2	99.00	98.90	97.80	99.00	1.57	0.73	22.50	4.72	93.34	24.59	0.02	0.99
	TNL-3	66.40	64.52	29.04	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	96.40	99.45	3.72	1.16	17.01	4.73	57.73	16.65	0.05	0.98
	TNL-5	99.51	98.11	96.22	99.50	4.47	1.61	12.34	4.48	56.23	12.02	0.05	0.98
	TNL-6	99.35	94.06	88.12	99.31	12.51	3.37	6.76	4.68	18.29	6.42	0.18	0.93
	TNL-7	75.51	70.71	41.42	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	90.58	98.77	14.74	6.09	4.38	2.91	24.85	4.36	0.22	0.84
	TNL-9	99.13	95.53	91.06	99.10	16.30	7.66	3.12	3.16	28.40	3.05	0.20	0.86
	TNL-10	98.78	93.64	87.28	98.71	20.18	8.31	2.90	3.29	19.98	2.81	0.27	0.80
	TNL-11	98.90	94.07	88.14	98.84	18.25	8.33	2.91	3.22	21.48	2.82	0.26	0.82
Farallones	TNL-12	86.86	67.18	34.36	81.41	66.70	12.15	2.24	5.38	2.97	2.22	1.40	-0.04
	TNL-13	99.28	99.05	98.10	99.28	2.15	1.14	26.24	2.05	108.59	26.75	0.04	0.97
	TNL-14	99.51	99.40	98.80	99.51	2.10	1.19	24.21	2.10	173.66	23.56	0.04	0.98
	TNL-15	99.58	99.47	98.94	99.58	2.01	1.28	21.81	2.16	197.58	20.75	0.02	0.98
	TNL-16	99.67	99.56	99.12	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	98.42	99.54	7.04	6.22	8.17	0.57	143.89	7.02	1.23	0.97
	CG-4	99.48	99.36	98.72	99.48	3.72	2.94	20.90	0.32	162.71	21.07	1.75	0.97
	CG-2	99.42	99.27	98.54	99.42	5.08	3.69	10.70	1.18	149.27	10.91	0.54	0.97
	CG-3	99.17	99.02	98.04	99.17	3.50	1.91	19.66	1.32	105.52	21.36	0.67	0.97
	CG-5	99.45	99.29	98.58	99.45	3.60	2.22	14.84	1.73	148.86	15.09	0.36	0.98

En Baconal los valores de FL indican que las partes superiores están empobrecidas en potasio y sodio con respecto a la roca madre, pero tienen contenidos elevados de sílice, lo que refleja una lixiviación de los álcalis y alcalino-térreos más intensa que de la sílice. Esta misma situación se evidencia en El Culebro pero los valores indican una lixiviación menos intensa. En ambos sectores los valores del FL tienden a disminuir con el avance de la meteorización.

En Caimanes y Farallones los valores de FL son altos y no mantienen una relación definida con respecto al progreso de la meteorización. Por lo general, este índice tiende a aumentar hacia la roca fresca en Caimanes pero se observa lo contrario en Farallones. Esto se debe al comportamiento irregular del sodio y potasio en estos sectores y la diferencia en los contenidos de sílice. En Caimanes, los contenidos de

potasio, sodio y sílice son mayores que en Farallones, lo que indica que el proceso de lixiviación es más fuerte en Farallones o se trata de una fuente externa de estos elementos en Caimanes. La irregularidad en el comportamiento del FL se puede atribuir también a la toma de irregular de las muestras, efectuado con un desplazamiento tanto lateral como vertical.

En Cayo Guam el FL aumenta a medida que disminuye la profundidad. Esto se debe a una pérdida o lixiviación intensa de la sílice a expensa de los álcalis y alcalino-térreos, cuyos valores se mantienen constantes a lo largo de los perfiles.

El I_{mob} decrece con la profundidad en Baconal. Esto indica que hacia las partes superiores los valores de los elementos móviles se hacen más pequeños, corroborando el FL en este sector. La misma tendencia se observa en El Culebro.

En Caimanes los valores de I_{mob} son alternantemente decrecientes y crecientes hasta llegar a un valor negativo en la parte más inferior del perfil. Este comportamiento variable se debe a las irregularidades en las concentraciones de calcio, sodio y potasio en los diferentes horizontes del perfil. Hay un fuerte enriquecimiento de potasio y un aumento de calcio y sodio en la base del perfil, pero estos elementos se empobrecen bruscamente hacia arriba y su comportamiento resulta irregular. Puede haber un contacto con una roca o fuente de potasio o pudiera ser un enriquecimiento en minerales potásicos (Ortoclasa, Microclina, Illita). Njila et al. (2010) reportaron la presencia de feldespatos potásicos en estas cortezas. Orozco (2007) reportó la presencia de analcima en las tobas de la zona Caimanes y Farallones.

En Farallones el I_{mob} tiene valores constantes en los horizontes inferiores, lo que indica la poca movilidad de potasio, sodio y calcio entre estos horizontes. En el

horizonte superior y los horizontes subyacentes hay una movilidad ligera y un empobrecimiento de estos álcalis y alcalino-térreos hacia arriba a medida que avanza la meteorización.

En Cayo Guam ocurre lo contrario a Farallones. Los valores son constantes hacia arriba con un enriquecimiento ligero de estos componentes hacia la base del perfil.

Las tendencias de los índices descritos (Tabla 11a) con respecto a la profundidad de los perfiles en los sectores estudiados se muestran en las Figuras 26 a 30.

4.4. Clasificación química de los perfiles de meteorización.

Los materiales en los perfiles de meteorización en los sectores de estudio son ferrosialíticos según sus contenidos de alúmina, hierro y sílice, pero hay cierta tendencia a la formación de cortezas sialíticas en Farallones y Cayo Guam

Las proporciones de los elementos mayores (Fe: Si: Al) en forma de óxidos están comprendidas entre (1:5,55:1,48) en Baconal y (1:0,40:2.12) en Cayo Guam. Generalmente, los contenidos relativos de alúmina son mayores que 20 % en las partes superiores de los perfiles, disminuyendo a valores muy cercanos a este límite hacia las partes intermedias e inferiores en Baconal y El Culebro; el contenido relativo del hierro (III) en todos los perfiles es menor que 30 % y la sílice ocupa entre 10 y 70 % de los perfiles en los sectores estudiados.

Estas ferrosialitas se subdividieron en función del Índice de Alitización Potencial (API) y la tendencia hacia la formación de alitas para los sectores de estudio (Figura 33).

Según la escala de Intensidad de Alteración las cortezas en los perfiles de Baconal, El Culebro y Caimanes son ferrosialíticas originadas por procesos de caolinitización; en Farallones y las partes inferiores del perfil de Cayo Guam son materiales

ferrosialfíticos de alitización ligera. El perfil de meteorización en Cayo Guam se formó a partir de una alitización moderada a fuerte, dando lugar a minerales de aluminio, principalmente la gibbsita. Los minerales arcillosos y de hierro existen de forma subordinada en este perfil.

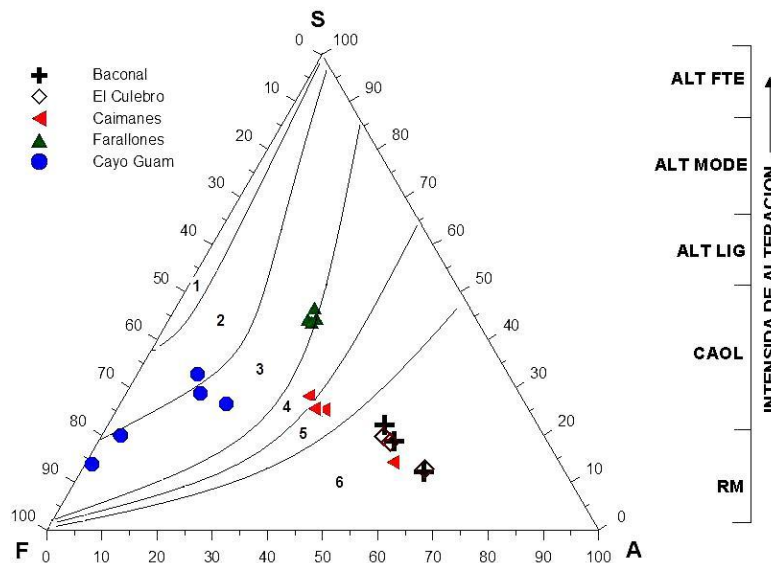


Figura 33. El Índice de Alitización Potencial en la representación ternaria para la clasificación de los productos de meteorización. 1-Bauxitas sensu strictus; 2-Alitas; 3-Arcillas bauxíticas; 4-Arcillas; 5-Materiales arcillosos; 6-Materiales detríticos y no lateríticos.

4.5. Caracterización mineralógica de las cortezas y perfiles de cortezas ferrosialfíticas en Cuba Oriental

En Baconal, la caolinita desordenada (Nemecz, 1981) y cuarzo son abundantes en la parte superior del perfil. En la base del perfil aparece la albita. En El Culebro, la caolinita y el cuarzo predominan en la parte superior del perfil, mientras que la caolinita-montmorillonita aumenta en la parte inferior del perfil. Las vetillas de cuarzo están presentes en el perfil.

En Caimanes, la hematita predomina en las partes superiores. La halloysita está presente en las partes intermedias y superiores, mientras que la montmorillonita está presente de forma subordinada en la base, donde se concentran el cuarzo y los

feldespatos potásicos. En Farallones las cortezas están compuestas principalmente por caolinita y hematita; la halloysita, montmorillonita y caolinita-montmorillonita aparecen en cantidades pequeñas en las partes intermedias e inferiores.

En la parte superior del perfil de meteorización de Cayo Guam predomina la gibbsita seguida por la halloysita.

El análisis mineralógico cuantitativo resumido (Tabla 12) muestra la abundancia y distribución de las principales fases minerales en cada perfil

Tabla 12. Análisis mineralógico cuantitativo para los sectores de estudio.

Mineral	Baconal (%)	El Culebro (%)	Caimanes (%)	Farallones (%)	Cayo Guam (%)
Kln	46,61	35,94	-	45,51	-
Gbs	-	-	-	-	71,63
Gt	-	-	-	-	2,12
Hem	2,97	0,56	52,60	30,03	1,23
Hyt	-	-	7,46	0,02	0,07
Ab	15,95	-	-	-	-
Q	34,46	49,96	19,89	-	-
Mnt	-	-	2,60	0,7	0,08
Or	-	-	17,45	-	-
Kln-Mnt	-	14,04	-	24,73	19,24
Nct	-	-	-	-	5,63
TOTAL	99,99	100,50	100,00	100,99	100,00

4.6. Índices Químico-Mineralógicos

El diagrama de Abedini et al. (2008) (Figura 43) representa la clasificación químico-mineralógica de las cortezas de meteorización estudiadas.

En Baconal, El Culebro y Farallones los perfiles son de arcillas compuestas principalmente por caolinita y montmorillonita en las partes superiores e intermedias del perfil pero con la presencia de goethita y hematita. El contenido de los minerales arcillosos aumenta en el orden El Culebro-Baconal-Farallones; en Caimanes son ferralitas compuestas principalmente por hematita y goethita con contenidos de

minerales de aluminio y titanio muy despreciables y en Cayo Guam son alitas de poco hierro con contenidos altos de minerales de aluminio. Este último perfil está compuesto principalmente por gibbsita con la presencia de caolinita y minerales de hierro en pequeñas cantidades.

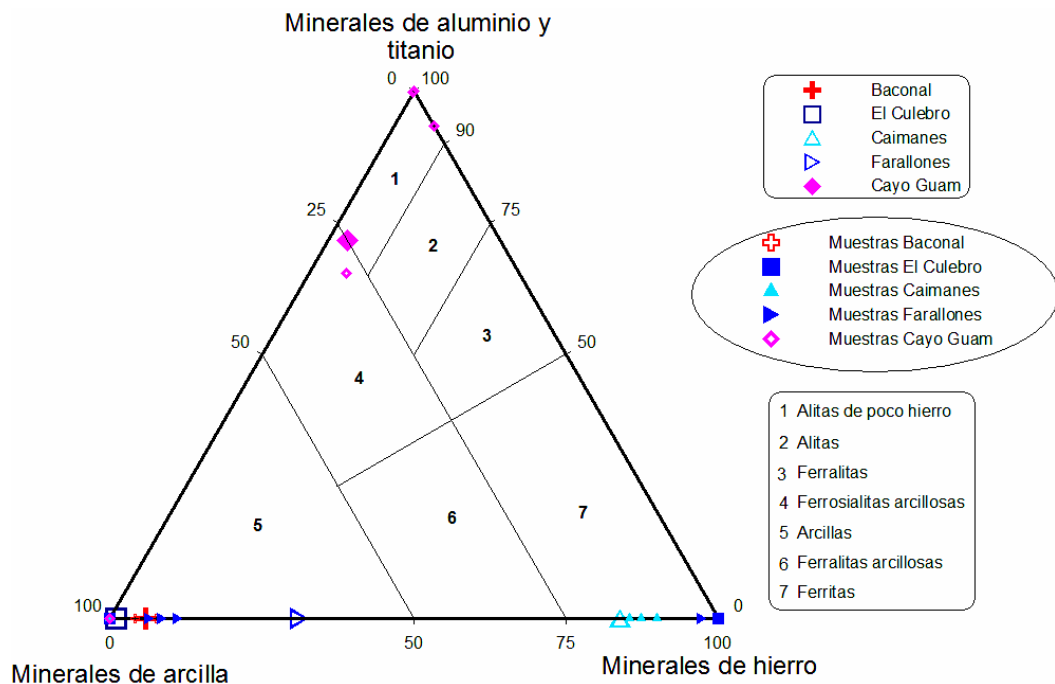


Figura 43. La clasificación químico-mineralógica en base del diagrama de Abedini et al. (2008), modificado para este trabajo

3.7. Posibles usos industriales en base a la composición química.

Se pudo deducir los posibles usos en base a la composición química de los diferentes materiales arcillosos existentes en cada sector estudiado por el diagrama de Avgustinik (1983).

Las cortezas de Baconal y El Culebro son aptas para azulejos de terracota, ladrillos, tubos de calcinación y piezas antiácidas, mientras que las cortezas de Caimanes y Farallones son aptas para ladrillos y pueden ser utilizadas para piezas refractarias.

Por el gráfico de Ludwig (Anexo 2), se infiere la posible utilidad de las cortezas en Cayo Guam como materia prima para piezas refractarias dada su alta refractariedad. Además, todos los materiales detríticos en los sectores referidos pueden tener importancia como materiales aditivos para la producción del cemento Portland y como aditivos a las arcillas refractarias para la pasta de loza empleada en la cerámica ya que estas cortezas están enriquecidas en sílice (>30%).

DISCUSION

El aluminio, hierro y la sílice están concentrados en las partes superiores de cada perfil, los álcalis y alcalino-térreos son fuertemente lixiviados. El sodio aumenta con la profundidad en Baconal y El Culebro, probablemente debido a una transformación hidrotermal de la roca madre en un ambiente marino. El titanio muestra valores constantes en todos los perfiles, lo que muestra su inmovilidad en estas cortezas.

Las vetillas de cuarzo presentes en los perfiles de Baconal y El Culebro pueden ser relictos de las rocas madres afectadas por extensos procesos hidrotermales, como se plantea en Proenza et al. (2006). La cloritización y la albitización pueden haber afectado las partes inferiores de estos perfiles y esto se evidencia por la presencia de esméctitas y plagioclasas (tipo albita).

La presencia de plagioclasas en Baconal sugiere una influencia del intrusivo de río Grande en las rocas madres de la Fm. Téneme donde se encuentran inclusiones de granodiorita; otra posible explicación de su presencia podría ser la albitización de los volcánicos de esta formación en un ambiente marino.

La halloysita aparece en cantidades variables en Caimanes y Farallones, donde en el primer sector aparece en las partes superiores mientras en el otro aparece en las

partes inferiores.

Los procesos de alteración mineral evidentes en las cortezas estudiadas son la propilitización, albitización, cloritización y la sausriritización de las plagioclasas en los gabros (Gutiérrez, 1982; Torres, 1987).

Generalmente, la composición química y mineralógica, los índices químicos y químico-mineralógicos y los perfiles de Baconal, El Culebro y Caimanes indican que el grado de la transformación de los minerales disminuye hacia la base de los perfiles (ver Tabla 12, valores de MIA). Estos valores están en el rango de transformación incipiente para las muestras tomadas cerca de la base y intensos a extremos para las muestras de las partes intermedias y superiores. En particular, los valores de los índices químicos y químico-mineralógicos en Farallones son casi constantes en el rango de una transformación mineral extrema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluida la presente investigación se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones

1. Los perfiles lateríticos de Baconal, El Culebro, Caimanes, Farallones y Cayo Guam han sido clasificados en función de su composición química (Fe, Al, Si) como tipo ferrosialítico. En la clasificación por el Índice de Alitización Potencial, en las tres primeras localidades los perfiles están compuestos por materiales arcillosos, detríticos y no lateríticos, con cierta tendencia a la formación de arcillas durante la etapa de caolinitización y el inicio de la alitización en el sector Farallones y en las partes inferiores del perfil de Cayo Guam. En este último algunas partes del perfil llegan a clasificarse como alitas. Por su composición

químico-mineralógica los perfiles son arcillosos en los sectores Baconal, El Culebro y Farallones, en Caimanes son ferralíticos y en Cayo Guam son alíticos con poco hierro.

2. Los elementos mayores (Al, Fe, Si) se concentran en las partes superiores de cada perfil. Los álcalis (Na y K) y alcalino-térreos (Ca, Mg) son fuertemente lixiviados en las partes intermedias y superiores de todos los perfiles. Sin embargo, el sodio se concentra en Baconal y El Culebro, debido probablemente a los factores hidrológicos y la transformación hidrotermal sufrida por las rocas madres. El titanio muestra un enriquecimiento ligero y su distribución esta en dependencia del grado de madurez de los perfiles.
3. Los perfiles de meteorización en los sectores estudiados están constituidos por gibbsita, caolinita, goethita, hematita, halloysita, montmorillonita, plagioclasas y cuarzo. Por localidad, las asociaciones mineralógicas son: caolinita, hematita, cuarzo y albita (Baconal); caolinita, hematita, cuarzo y montmorillonita (El Culebro); hematita, halloysita, cuarzo, montmorillonita y ortoclasa (Caimanes); caolinita, hematita, halloysita, montmorillonita y caolinita-montmorillonita (Farallones) y gibbsita, goethita, hematita, halloysita, montmorillonita, caolinita-montmorillonita y nacrita (Cayo Guam).
4. El balance de meteorización indica un apreciable grado de madurez de los perfiles de meteorización estudiados. El grado de alitización en los sectores estudiados es muy bajo, excepto en Cayo Guam. La intensidad de meteorización en las partes superiores de los perfiles es intensa y decrece según aumenta la profundidad.

5. Los materiales arcillosos de Baconal y El Culebro son aptos para azulejos de terracota, ladrillos, tubos de calcinación y piezas antiácidas; los de Caimanes y Farallones se pueden emplear en la fabricación de ladrillos y las de Cayo Guam en elementos refractarios. Además, se pueden emplear todos los materiales detríticos en los sectores estudiados como aditivos para la producción del cemento Portland y también en las arcillas refractarias para la pasta de loza empleada en la cerámica ya que contienen altos contenidos de sílice (>30%).

Recomendaciones

1. Realizar estudios profundos que incluyen muestreo sistemático en una región amplia, análisis químicos de elementos trazas y las Tierras Raras, determinación de otras propiedades y empleo de las técnicas analíticas puntuales. El presente material puede servir como base para estos futuros trabajos de la exploración de las rocas y minerales industriales, además de servir como material de referencia para las universidades cubanas y empresas geológicas.
2. Enfocar las investigaciones sobre las cortezas de meteorización hacia nuevas definiciones e interpretaciones científico-prácticas que contribuyan al mejoramiento de las búsquedas de nuevos recursos minerales asociados a los diferentes tipos de cortezas de meteorización, en particular, en la región de Moa y el resto de la provincia de Holguín como materias primas para diferentes industrias.