

ESTUDIO DE PERFILES DE METEORIZACIÓN LATERÍTICOS DE LOS ALREDEDORES DE UPATA, ESTADO BOLÍVAR

SALVADOR LO MÓNACO, CARLOS LÓPEZ

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra
e-mail: salvador.lomonaco@ciens.ucv.ve

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: junio de 2010

RESUMEN

Se estudiaron perfiles lateríticos del tope de los cerros Algarrobo, Copeyal, El Chorro, Mesa de la Carata y El Toro, ubicados en los alrededores de Upata en el estado Bolívar, Venezuela. El objetivo de este trabajo es establecer la complejidad de los perfiles lateríticos que constituyen la parte más superficial de los cerros antes mencionados, y de esta forma contribuir a esclarecer los procesos que les dieron origen. Se establecieron perfiles idealizados mediante relaciones de campo, se estudiaron los elementos texturales a escala macro (muestras de mano y lupa binocular) y microscópica (microsonda de electrones EPMA). Los perfiles reconocidos y propuestos en estos cerros no corresponden a una evolución del perfil laterítico clásico, por lo que representan secuencias de materiales lateríticos de distinta naturaleza depositados a partir de la erosión de sustratos lateríticos y bauxíticos preexistentes. En el Cerro Copeyal, en un corte de ~ 50 m de espesor, se observan límites de secuencia que marcan estratos sedimentarios depositados en una zona de pendiente de un valle antiguo. Se identificaron dos superficies de erosión (S1 y S2). Por encima de la superficie S1, el contacto entre dos de estos estratos tiene forma aparente de “dientes de sierra”, que puede corresponder a estructuras “tipo flama” las cuales pueden ser indicativas de paleosismicidad. El análisis por EPMA permitió inferir la distribución espacial elemental en los minerales. Los resultados muestran una naturaleza compleja de las muestras, donde se evidencian procesos diagenéticos, que apoyan el origen sedimentario de estos perfiles. Basado en la textura, la mineralogía y la composición química de las muestras de bauxita y lateritas de estos cerros, se evidencia una fábrica petrográfica que sugiere un origen poligenético y una naturaleza diagenética.

Palabras clave: Perfil de meteorización, Bauxita, Laterita, EPMA, Superficies poligenética, Upata.

STUDY OF LATERITIC WEATHERING PROFILES NEAR UPATA, BOLIVAR STATE

ABSTRACT

Lateritic profiles from the tops of Algarrobo, Copeyal, El Chorro, Mesa de la Carata and El Toro hills, located near Upata in Bolivar State, were studied. The aim of this study is to establish the complexity of the lateritic profiles which form the upper part of the mentioned hills, in order to clarify the processes that gave rise to them. Idealized profiles were established using field relations. Textural elements were studied on macro (hand specimens and binocular magnifying glass) and micro (EPMA) scale. The recognized and proposed profiles on these hills do not correspond to the classical lateritic profile evolution, but represent sequences of lateritic materials of a different nature deposited after the erosion of preexisting lateritic and bauxitic substrates. On Copeyal Hill, in a 50 m thick profile, the limits of sedimentary sequences deposited on the slope of an old valley can be seen. Two erosional surfaces (S1 and S2) were identified. Above the S1 surface, the contact of the strata has an apparent ‘sawteeth’ shape, which could correspond to ‘flame type’ structures, a paleoseismicity indicator. The EPMA analysis allowed us to infer the spatial distribution of elements in minerals. Results confirm the complex nature of the samples, showing evidence of diagenetic processes supporting the sedimentary origin of these profiles. Based on the texture, mineralogy and chemical composition of the bauxite and laterite samples from these hills, a petrographic fabric suggest that polygenetic origin and diagenetic nature becomes evident.

Keywords: Weathering profile, Bauxite, Laterite, EPMA, Polygenetic surfaces, Upata.

INTRODUCCIÓN

El Centro de Geoquímica del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad Central de Venezuela ha venido realizando proyectos concernientes al estudio de la geoquímica de los procesos de lateritización en el escudo de la Guayana venezolana. Estos estudios están enmarcados en la línea de investigación: geoquímica de la meteorización de rocas en ambiente tropical y sus aplicaciones, perteneciente a la sección de geoquímica de ambiente tropical. El propósito principal de dichos estudios es el de aportar información para el mejor entendimiento de los procesos geoquímicos que operan durante la formación de materiales lateríticos asociados a diferentes unidades morfológicas del escudo de la Guayana venezolana.

El término laterita se refiere al producto terminal de la meteorización, donde los minerales precursores o primarios han sufrido desalcalización y desilificación avanzada a extrema. Su composición está determinada principalmente por minerales neoformados como óxidos y oxihidróxidos de Fe y Al (goethita, hematita, gibbsita, boehmita, diáspora) y filosilicatos (arcillas tipo caolinita, illita o montmorillonita). Desde el punto de vista del proceso de pedogénesis, el material laterítico constituye un horizonte intraformacional en el perfil y está sujeto a endurecimiento cuando es expuesto a las condiciones del ambiente superficial.

En las zonas de escudo Precámbrico, la ausencia de actividad tectónica apreciable desde el Jurásico ha generado una morfología caracterizada por la presencia de remanentes erosionales (superficies planas subhorizontales) de persistencia regional y a distintos niveles topográficos. Estos remanentes pueden constituir desde simples superficies de sedimentación (aluviales) hasta verdaderos complejos de aplanamiento donde coexisten fases pedogenéticas, erosionales y de sedimentación de varias edades.

En el escudo de la Guayana venezolana se han reconocido por lo menos seis superficies o sus remanentes erosionales, las cuales van desde 0 a 50 m s.n.m. (superficies aluviales jóvenes) hasta alturas mayores de 2.500 m s.n.m. (remanentes Jurásicos prerruptura de Pangea), todas ellas asociadas a extensas zonas de suelos lateríticos. El desarrollo de esta morfología característica de los ambientes de escudo puede atribuirse a la acción continua de procesos de meteorización y de ciclos de pedogénesis y erosión, controlados por los cambios climáticos globales desde el Jurásico hasta épocas recientes (Briceño & Schubert, 1990). En este contexto, se considera que los procesos de meteorización, formación de suelos y evolución morfológica son responsables de la redistribución elemental de mayor extensión que ocurre en un

sistema natural (dispersión geoquímica secundaria), en especial en los ambientes de escudo Precámbrico donde han estado actuando por largos períodos. Por ello, es esencial para una interpretación de los datos geoquímicos obtenidos de muestras captadas en estos ambientes (especialmente suelos y sedimentos o de manera general materiales lateríticos), reconocer el efecto que han tenido las condiciones climáticas pasadas y presentes sobre estos procesos. Butt & Zeegers (1992), se refieren a dicho reconocimiento como la determinación de la “historia de la meteorización” para una zona específica dentro del ambiente de escudo.

En general, el esclarecimiento de los procesos geoquímicos que operan durante la lateritización en el ambiente del escudo tiene gran importancia en áreas como las que son enumeradas a continuación:

- a) Establecimiento de técnicas de orientación y búsqueda de depósitos minerales de rendimiento económico. Los depósitos asociados a la formación de lateritas, incluyen acumulaciones importantes de elementos como Al, Fe, Mn, V, Ti, Cr, Nb, Ga, Th, Au, P y tierras raras principalmente.
- b) Control vertical de anomalías geoquímicas. Los grandes espesores de los mantos de alteración junto a los movimientos de masas considerables asociadas a la epirogénesis que ha sufrido el escudo, tienden a “ocultar” las expresiones superficiales de mineralizaciones asociadas al complejo ígneo-metamórfico- sedimentario.
- c) Desarrollo de modelos de evolución morfológica del escudo. El avance en la investigación en esta área permitirá establecer en una forma más clara, la relación existente entre los procesos geoquímicos que generan los materiales lateríticos y los eventos geológicos que representan los distintos remanentes de superficies planas donde ocurren.
- d) Desarrollo de modelos de balance geoquímico en el ámbito regional. La meteorización constituye el mecanismo fundamental de aporte de sólidos disueltos y suspendidos a las aguas superficiales y subterráneas, y el sustrato residual meteorizado (regolito y suelos), es la fuente de sedimentos a transportar por los ríos. El establecimiento de estos modelos, además de cuantificar el proceso, permite hacer inferencias cinéticas del mismo.
- e) Trabajos de cartografía geológica en zonas donde los afloramientos de rocas son escasos. La geoquímica de suelos superficiales es de gran ayuda para la determinación de la litología subyacente.

Una de las superficies reconocidas en el escudo de la Guayana venezololana, es una unidad con una línea de cumbre que oscila entre 500 y 600 m.s.n.m., denominada Superficie Nuria o Imataca, la cual resulta especialmente productiva en yacimientos minerales, principalmente bauxitas o lateritas ricas en aluminio (Los Pijiguaos, cerros de los alrededores de Upata, Cerro Los Guaicas, Altiplanicie de Nuria), mineral de hierro (Cerro Bolívar, El Pao y Altamira), elementos de tierras raras (Cerro Impacto). Ahora bien, a pesar de que se han ligado a un mismo evento geomorfológico global de una edad Terciario Inferior, el cual ha sido determinante en la formación de estos yacimientos, su génesis no está bien entendida. Una de las ocurrencias dentro de esta unidad, que presenta mayor complejidad en cuanto a su origen, lo constituyen los cerros de los alrededores de Upata en el Estado Bolívar (figura 1). En estos cerros los yacimientos de bauxita son de alta calidad (pobres en sílice y oxi-hidróxidos de hierro) y están localizados principalmente en el tope de colinas amesetadas (entre 450 y 550 m.s.n.m.).

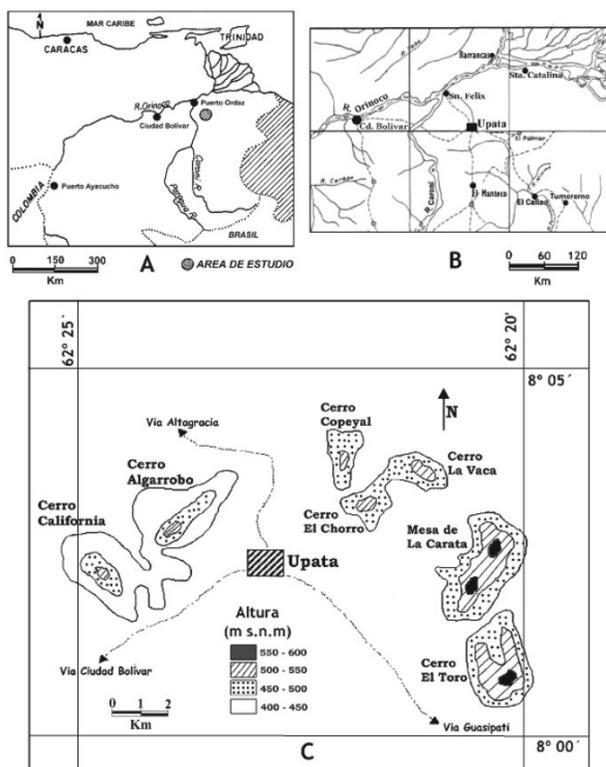


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio. A: Tomado de Lo Mónaco (2008). B: Tomado de Perfetti *et al.* (1951). C: Mapa topográfico esquemático de la zona de estudio (modificado de Candiales, 1961).

El objetivo de este trabajo es establecer la complejidad de los perfiles lateríticos que constituyen la parte más superficial de los cerros Algarrobo, Copeyal, El Chorro, El Toro y Mesa de la Carata, localizados en los alrededores de Upata,

estado Bolívar, y contribuir a esclarecer los procesos que le dieron origen. Esta información junto con trabajos futuros permitirá estimar las posibles reservas y establecer métodos eficientes para localizar depósitos de este tipo, conjuntamente con otros elementos de interés económico asociados a estos materiales. Para cumplir este objetivo se consideraron los siguientes aspectos: revisión morfológica del área estudiada, determinación de la composición mineralógica de las muestras, caracterización textural macroscópica y a microescala y establecimiento de los perfiles de meteorización lateríticos típicos de las localidades estudiadas.

TRABAJO EXPERIMENTAL

La zona de estudio incluye los cerros Algarrobo, Copeyal, El Chorro, El Toro y Mesa de la Carata, localizados al norte y noreste de Upata, Distrito Piar, estado Bolívar, donde se captaron unas 50 muestras (figura 1). Las actividades de campo incluyeron los siguientes aspectos: análisis descriptivo de relieve; reconocimiento de perfiles de meteorización lateríticos y en los casos que solamente estén expuestos en forma parcial, establecer perfiles idealizados mediante relaciones de campo, atendiendo a laboreo minero antiguo, afloramientos en quebradas, taludes, derrumbes naturales y captación de muestras.

El trabajo de laboratorio incluyó el tratamiento físico preliminar, donde las muestras duras se sometieron al corte con sierra de lubricación con agua y disco circular adiamantado de 9 pulgadas de diámetro, que permitió obtener caras pulidas. Los fragmentos obtenidos fueron utilizados para el análisis textural con lupa binocular. Posteriormente se seleccionaron las zonas de interés para cortes a una escala menor, para ser sometido al análisis mediante la técnica de microsonda electrónica EPMA.

En las muestras totales se determinó la composición mineralógica mediante la técnica de DRX, utilizando el método de polvo, con un equipo marca Philips con goniómetro modelo PW1050/76, con una fuente de poder de 3000 vatios y radiación $\text{CoK}\alpha$, localizado en el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias, UCV.

Para el análisis químico a microescala mediante EPMA, se utilizó un equipo marca Jeol 8900R, localizada en el Centro de Microscopia Dr. Mitsuo Ogura de la Facultad de Ciencias, UCV. El objetivo de este análisis fue obtener la distribución espacial elemental en dos dimensiones (mapas elementales) en diferentes ocurrencias texturales como oolitas, pisolitas, pisoides, spastoides y otras texturas de interés características de este tipo de materiales. Este instrumental cuenta con tres analizadores de rayos-x tipo WDX

(dispersivo en longitud de onda) y uno de EDX (dispersivo en energía), lo que permite el análisis simultáneo de los elementos constituyentes de la muestra. Adicionalmente cuenta con un detector de electrones retrodispersados que permite obtener, de manera cualitativa, información topográfica y de composición (peso atómico promedio) que en esta técnica se le conoce como COMPO (CP en las figuras de mapas elementales).

MARCO GEOLÓGICO

Regionalmente, la región de los alrededores de Upata incluye rocas de la provincia de Imataca, las cuales han sido denominadas Complejo de Imataca (González de Juana *et al.* 1985), la litología característica de este complejo consiste en gneises félsicos y máficos intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas y cuerpos delgados interstratificados de rocas graníticas. En todo el complejo las rocas leucocráticas predominan y constituyen el 80% de la unidad, los gneises máficos constituyen el 10% de la secuencia y el resto lo componen los gneises graníticos y escasas anfibolitas (González de Juana *et al.* 1985). Dese el punto de vista local, según Perfetti *et al.* (1951), la región de Upata y sus alrededores exhibe un cuadro diastrófico bastante definido, con la ocurrencia principal de una estructura con rumbo general este-oeste, denominada tentativamente estructura de Santa María, la cual consiste en un pliegue completo anticlinal-sinclinal. El sistema plegado corresponde estratigráficamente a la Formación Imataca, compuesta por horizontes ferro-cuarcíticos, manganesíferos y ferríferos. Perfetti *et al.* (1951), hace notar que este sistema tectónico ha sido deducido por observaciones en el terreno. Se considera que este cuadro tectónico forma parte de un sistema petrológico, en general migmatítico, que consiste en una serie de sedimentos metamorfizados regionalmente, expresando niveles más altos de edad precámbrica. La serie encajante ferro-cuarcíticos, manganesíferos y ferríferos, estructuralmente y estratigráficamente, está en contacto concordante con el grupo migmatítico y gnéisico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zona estudiada está caracterizada por una serie de cerros más o menos alineados que se extienden al norte y noroeste de Upata. Consiste en una serie de colinas de topes planos que constituyen verdaderas mesetas. Las líneas de cumbre oscilan entre los 500 y 600 m.s.n.m con una extensión individual de 2 a 5 Km, separados por valles amplios que en promedio están sobre los 300 m.s.n.m. La ciudad de Upata está localizada en uno de estos valles a una cota de 345 m.s.n.m. Existe otro tipo de cerros en esta zona localizados entre los valles amplios circundados por las mesetas, dichos cerros consisten en una serie de lomas o colinas de menor

altura (~ 400 m.s.n.m.) que a diferencia de las mesetas presentan topes redondeados. En el caso de relieve de mesetas muy disectadas y tabulares, como es en la zona estudiada, los valles normalmente son muy próximos, pero en este caso los valles son amplios (decenas de kilómetros) y dentro de ellos se pasa a un relieve de colinas, donde los interfluvios se reducen a lomas muy próximas. Generalmente, la situación de valles amplios y anchos corresponde mas bien a una región de colinas y no a uno de cerros amesetados tabulares. La no correspondencia en la fisiografía antes expuesta, hace pensar que se trata de un caso de morfología heredada o “Herencia Morfogenética”; es decir, el relieve registra cada fase de evolución que es suficientemente prolongado para desarrollar una forma o depósito característico y en algunas partes estos rasgos subsisten a cada periodo subsiguiente de morfogénesis distintiva. En este tipo de ocurrencias, sin suficientes datos, se dificulta el entendimiento de la evolución morfológica y climática de la zona, ya que cada sistema de erosión trabaja en el modelado producido por el sistema precedente.

Para el caso de los cerros tipo mesetas tabulares, la persistencia del aplanamiento indicado por una línea de cumbre de altura muy similar entre ellos es evidente, por lo que en principio puede interpretarse como superficies remanentes erosionales de un mismo evento general. Adicionalmente, a pesar de la persistencia del aplanamiento, se observan localmente en algunos de estos cerros tabulares lomas o colinas residuales que están hasta unos 50 m por encima de la línea de cumbre de la superficie plana de dichas mesetas.

La organización interna de alteritas a escala microscópica puede mostrar la evolución genética y la relación entre sus partes constituyentes y permite visualizar procesos geoquímicos que han actuado en su formación. Una de las ventajas de la microsonda de electrones EPMA es que favorece el estudio de las muestras en condiciones no disturbadas de los diferentes elementos texturales y composicionales que la conforman. De esta manera, las imágenes obtenidas con ésta muestran una correlación exacta y de alta resolución entre la composición, la morfología de los granos minerales y las formas como encajan entre ellos.

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos con el análisis de la microsonda de electrones EPMA en las muestras captadas en los cerros estudiados de los alrededores de Upata. Los cortes de las secciones de las distintas muestras están a escala de centímetros, mientras el análisis específico de las áreas sometidas a irradiación con esta técnica están entre 0,5 y 2,5 mm².

Cerro Algarrobo

El perfil esquemático propuesto para este cerro (figura 2), consiste de tope a base de una coraza esquelética cavernosa con spastoides de gibbsita en matriz rica en goethita y caolinítica, seguido de un horizonte con bloques de laterita bauxítica “flotando” en una matriz terrosa ligeramente consolidada a dura al profundizar. Los bloques de laterita bauxítica presentan pisolitas y nódulos de gibbsita y boehmita. La base de este perfil está constituida por una coraza ferruginosa oolítica a pisolítica cementados por un material fino microcristalino de color gris, los núcleos de estos elementos texturales a veces son fragmentos de caolinita y otros de hematita.

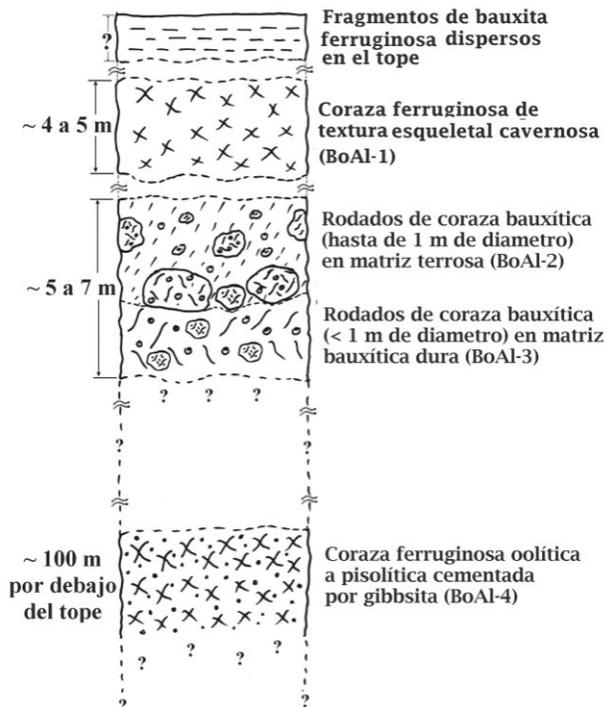


Figura 2. Cerro Algarrobo. Perfil esquemático idealizado.

Se examinó por EPMA una oolita de ~ 1 mm de diámetro y parte de la matriz donde está inmersa (BoAl-1, figura 3). La matriz es de tipo pelitomórfica y está constituida según los mapas elementales por Al, que al compararlo con el de Si, puede verse la no correspondencia entre ambos y se propone que la matriz es mayoritariamente gibbsita. Según el mapa de Fe, el núcleo de la pisolita se atribuye a hematita, con precipitación de goethita para formar la corteza.

En la base del perfil del Cerro, se analizó una oolita de una coraza ferruginosa (BoAl4-Mapa1, figura 4). Según los mapas elementales, puede aseverarse que la matriz que cementa las oolitas es de composición gibbsítica, mientras que el núcleo y la película que rodea la corteza de la pisolita es hematita. La banda que rodea al núcleo o corteza de la pisolita se asigna a caolinita.

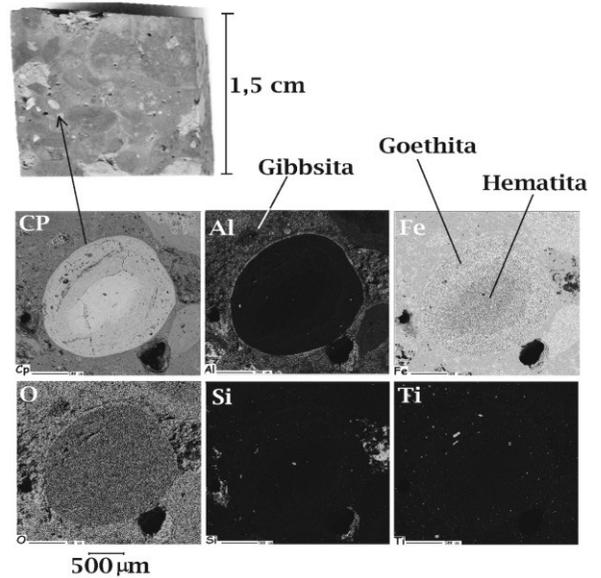


Figura 3. Cerro Algarrobo (muestra BoAl1-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

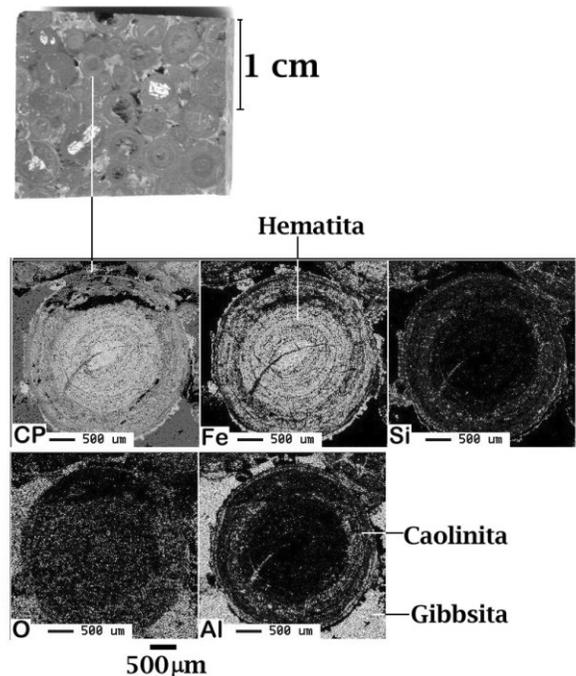


Figura 4. Cerro Algarrobo (muestra BoAl4-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

La composición mineralógica de los elementos texturales detectadas por EPMA, parece evidenciar la siguiente secuencia de eventos principales en la génesis de este material: la formación de oolitas ocurrió nucleándose de manera indistinta en fragmentos de caolinita y hematita detríticas, ocurriendo la formación de un horizonte de tipo plintita con precipitación de geles ricos en óxidos de Fe dentro de la

matriz caolinítica. El descenso del nivel freático condujo a la desecación de las estructuras nodulares produciendo textura septaria por contracción del volumen, seguida por infiltración de caolinita en las grietas y su disposición en capas alrededor del núcleo y posterior disolución de Fe de manera concomitante, hasta precipitar en las zonas más alejadas del núcleo, cerrando la estructura para formar la oolita. El establecimiento de un nuevo entorno húmedo con alta actividad de agua y libre percolación, permitió la desilificación de la caolinita restante entre los intersticios de las oolitas, para precipitar gibbsita. Según Tardy (1997), la gibbsita se presenta con mucha frecuencia en los intersticios interpisolíticos en horizontes en desmantelamiento de corazas viejas y maduras y sobre rocas parentales pobres en cuarzo, la gibbsita parece formarse por disolución de caolinita y también por transformación de Al-hematita.

Mesa de La Carata

Debido al laboreo minero intenso realizado en este cerro, el perfil generalizado propuesto (figura 5) se estableció por relaciones de campo. El tope del perfil consiste en una coraza laterítica bauxítica pseudoesqueletal a cavernosa, seguido por un horizonte con fragmentos redondeados (~ 50 cm) de laterita bauxítica embebidos a su vez en una coraza muy dura del mismo tipo, donde las pisolitas están en proceso de destrucción. Al profundizar, el material se vuelve brechoide con pisolitas y nódulos fracturados o deformados, todos en proceso de destrucción, las texturas homogranulares son muy comunes.

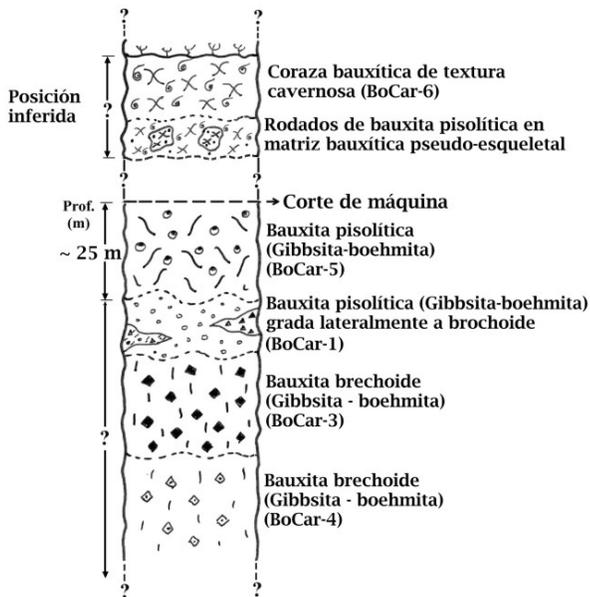


Figura 5. Mesa de La Carata. Perfil esquemático idealizado.

Unos de los rodados de bauxita del horizonte superior (BoCar-7, figura 6), presenta elementos texturales como pisolitas ($\leq 5\text{mm}$), macropisoloides ($> 5\text{mm}$) de estructura interna con dos a múltiples capas (redondeados, deformados o fracturados), nódulos irregulares sin estructura interna definida y fragmentos de pisolita, todos embebidos en una matriz fina marrón rojiza (toda la muestra es ligeramente friable). El análisis por EPMA corresponde a la sección media de una pisolita de estructura simple (núcleo y corteza de una sola capa). Según los mapas elementales el material es pobre en Si y Fe, el Al es el único abundante y muestra tonalidades distintivas que permiten aseverar que el núcleo es de composición gibbsítica, mientras que la corteza es boehmítica, esta interpretación se debe a la mayor proporción de Al atómico en la boehmita (~ 45%) respecto a la gibbsita (~ 35%).

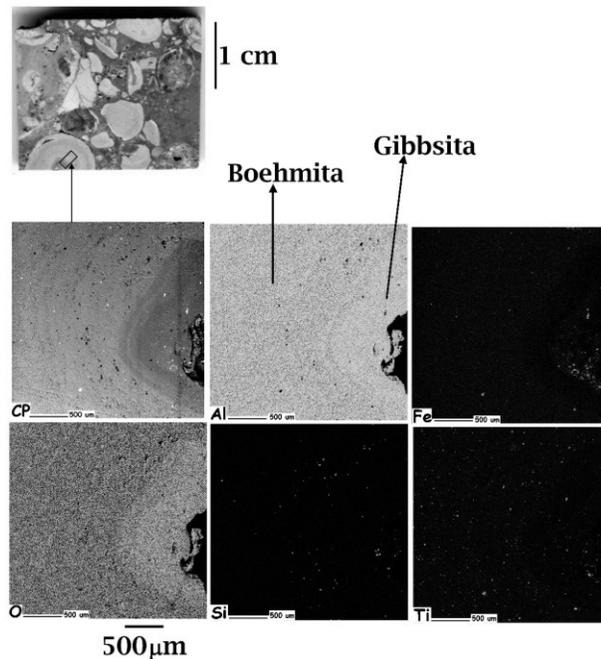


Figura 6. Mesa de La Carata (muestra BoCar7-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

Los horizontes inferiores de este perfil consisten en corazas bauxíticas duras “porcelanizadas” totalmente brechoides. El análisis por EPMA corresponde a parte de un fragmento “brechoide” y la matriz con la cual está en contacto, según los mapas de distribución elemental los fragmentos mayores son de composición boehmítica, con algunos gránulos gibbsíticos dentro de los mismos y la matriz esencialmente gibbsita – boehmita. El mapa de Fe muestra que éste se asocia a los bordes de relictos de pisolitas en la matriz, las cuales muestran evidencia de disolución y aparecen como “fantasmas” también impregnados con óxido de Fe.

La información recabada para este cerro permite aseverar la naturaleza compleja de los materiales que lo conforman, por una parte diagenética ya que la gibbsita ha sufrido deshidratación para convertirse en boehmita y por otra parte retrabajadas como lo indican los distintos elementos texturales de carácter detrítico.

Cerro Copeyal

El perfil generalizado que se propone para este cerro se presenta en la figura 7. La parte superficial del perfil se caracteriza por un horizonte de hasta 0,5 m de espesor, con bloques de cuarcita ferruginosa y cuarzo (~ 20 cm) “flotando” en una matriz terrosa (cuarzo, caolinita y menor hematita). Los fragmentos mayores presentan textura esponjosa a vesicular (hematita-goethita, cuarzo y trazas de caolinita y gibbsita). Este horizonte está en contacto abrupto con otro similar que alcanza los 10 m de espesor y al profundizar los fragmentos en la matriz terrosa son pisoidales. Luego hasta los 50m de profundidad (en contacto abrupto con el anterior) se presentan horizontes caoliníticos cada vez mas ricos en cuarzo hasta adquirir textura reliquia granitoide.

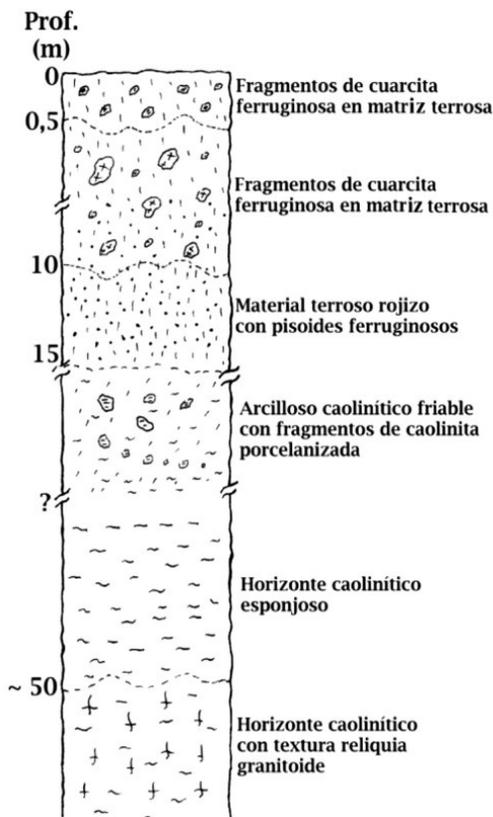


Figura 7. Cerro Copeyal. Perfil esquemático idealizado.

Es importante destacar una situación geológica resaltante que se muestra en el cerro Copeyal, que puede ser visualizada por el laboreo minero realizado. En un corte de máquina que aflora casi verticalmente y de unos 50 m de espesor,

se observan límites de secuencias que marcan capas o estratos sedimentarios depositadas en una zona de pendiente de un valle antiguo, dichas capas se encuentran acuñadas hacia el talud del paleo valle y descansan sobre una superficie de erosión que constituye la base de dicha secuencia (figura 8).

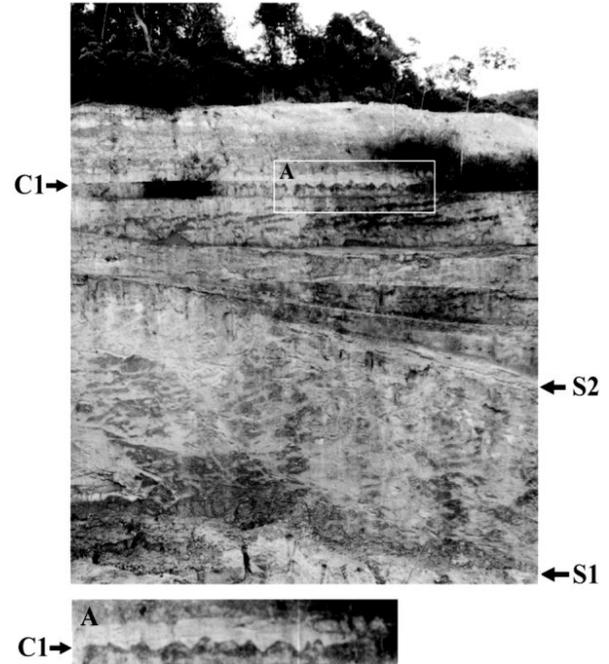


Figura 8. Cerro Copeyal. Corte que muestra los límites de secuencia sedimentaria y las superficies de erosión (S1 y S2) y el contacto C1 del perfil donde se observa la estructura “tipo flama” (recuadro A). El alto del talud es de ~ 50 m.

Todas estas capas son esencialmente limos arcillosos y algo arenosos (caolinita y cuarzo). Unos 20 m por debajo de la superficie que marca la base de la secuencia sedimentaria aflora otra superficie de erosión, caracterizada por el contacto abrupto entre la capa caolinítica y un regolito de textura reliquia granitoide que posee abundantes fracturas verticales y subhorizontales. Existe un contacto (C1, figura 8) entre dos de estas capas en la zona superior de la secuencia, que muestra un semblante con forma aparente de dientes de sierra bastante regulares. Estas estructuras pueden estar relacionadas con eventos sedimentarios, donde intervienen en su formación, presiones de poros muy elevadas, como laminación convoluta y huellas de carga entre otras. Una de las posibilidades de mayor semejanza de este tipo de estructura encontrada en la literatura es la estructura tipo flama, las cuales se forman por licuefacción del material y también intervienen presiones de poros muy elevadas. Dicha estructuras son indicativas de paleo sismicidad, específicamente de terremotos de intensidad considerable (Carrillo, 2007, comunicación personal; Obermeier *et al.* 2005; Gonzáles de Vallejo *et al.* 2005). El estudio futuro en detalle de esta

estructura tipo flama es de suma importancia, ya que de comprobarse que son estructuras de paleo sismicidad, tendrán implicaciones de consideración en los estudios geológicos de la zona norte del cratón de Guayana.

Cerro El Chorro

El material bauxítico que se incluye en el perfil generalizado propuesto para este cerro (figura 9), surge de relaciones de campo debido al intenso laboreo minero a que fue sometido dicho cerro. El material que constituye el perfil con unos 20 m de espesor, consiste en corazas bauxíticas de composición gibbsítica y boehmítica.

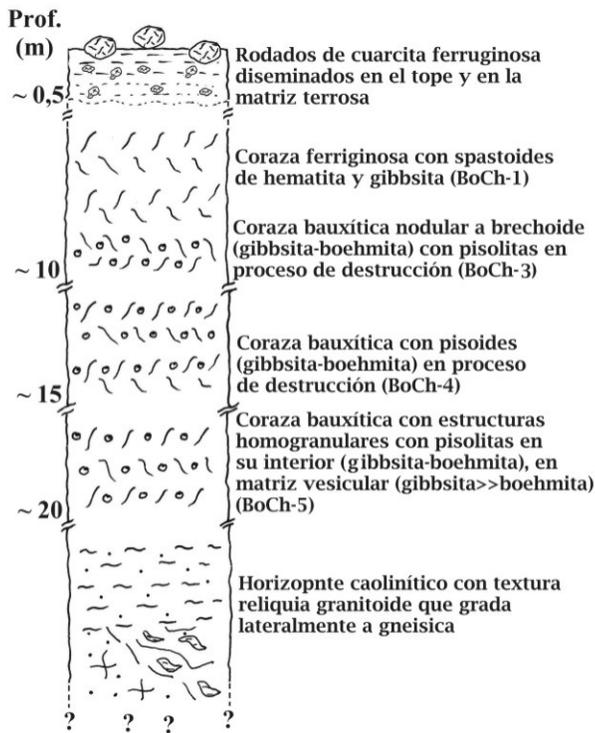


Figura 9. Cerro El Chorro. Perfil esquemático idealizado.

Desde el punto de vista textural son pisolíticas, nodulares y “brechoides”, con spastoides y pisolitas que están en proceso de dismantelamiento, en los horizontes bauxíticos inferiores se presentan estructuras homogranulares que representan fragmentos de bauxitas mas antiguas de distinta naturaleza a la matriz que las contiene. El contacto entre los distintos horizontes es en general abrupto. Por debajo de los 20 m de profundidad en el perfil, se asigna un horizonte caolinítico cuarzoso de textura reliquia granitoide cuyo espesor no pudo definirse en campo. El contacto entre este horizonte y el nivel de coraza bauxítica superior no se observó en campo, lateralmente, el regolito grada a textura reliquia gnéisica con claro bandeamiento.

El análisis por EPMA en una muestra de este cerro, corresponde a una coraza ferruginosa muy dura (BoCh-1, figura 10) localizada en el tope del perfil, la muestra presenta spastoides rojos y negros con aspecto de “parches”, el análisis preliminar por DRX indica hematita, gibbsita, goethita, cuarzo y caolinita. El análisis con la microsonda de electrones corresponde a una zona de la matriz con un material muy fino rojizo y otro marrón amarillento friable. Los mapas de distribución elemental de Fe y Al, permiten identificar gibbsita y hematita entremezclados en la muestra, con la gibbsita relleno de fisuras y también asociada en mayor proporción a la zona de poros vesiculares.

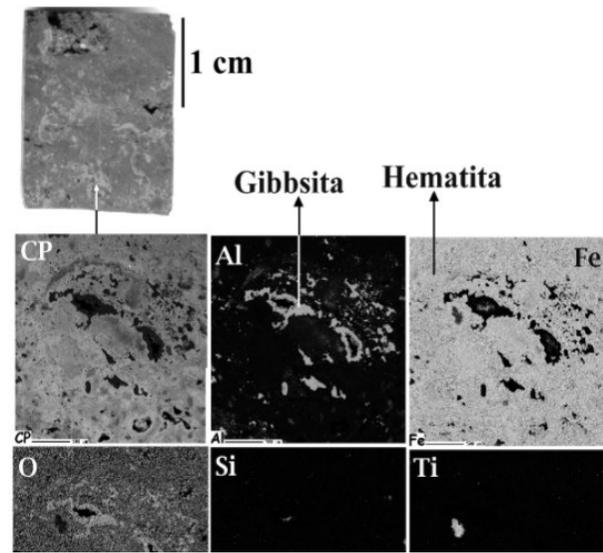


Figura 10. Cerro El Choro (muestra BoCho-1-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

La siguiente muestra analizada, es una coraza laterítica bauxítica muy dura (BoCh-4) donde un 50% de los pisoides están en proceso de destrucción, dentro de una matriz fina con aspectos de “parches” rojos y blancos con algunas vesículas tubulares. La composición de la muestra total es boehmita y gibbsita en proporciones similares y en menor cantidad hematita, anatasa y goethita. El área analizada es parte de la matriz blanquecina dentro de una estructura homogranular (figura 11). La imagen COMPO y los mapas de los elementos detectados muestran gránulos de hasta 1mm de diámetro con bordes muy difusos ricos en gibbsita dentro de una matriz muy homogénea boehmítica. El mapa de Fe muestra una baja intensidad de color asociada a la matriz boehmítica, pudiendo indicar boehmita sustituida con poca proporción de Fe. Dentro de uno de los gránulos gibbsíticos aparece un fragmento de hábito alargado, que corresponde posiblemente a un trozo de corteza de una pisolita mas antigua, de composición boehmítica, indicando que este material ha sufrido más de un proceso de transporte.

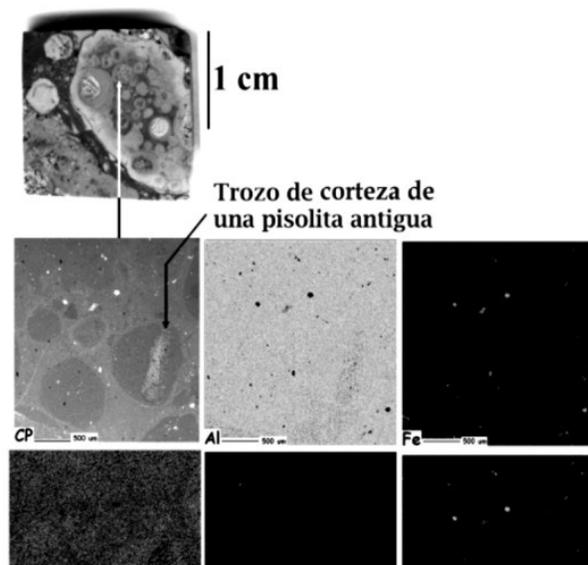


Figura 11. Cerro El Chorro (muestra BoCho-4, Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

Una situación similar se observa en la muestra BoCho-5, también dentro de una estructura homogranular, corresponde a un fragmento de corteza de una pisolita antigua destruida. La imagen COMPO muestra al fragmento de la pisolita en contacto abrupto con la matriz y los mapas de distribución elemental permiten decir que dicho fragmento es rico en boehmita, mientras que la matriz donde está inmerso es de composición principalmente gibbsítica (figura 12). La

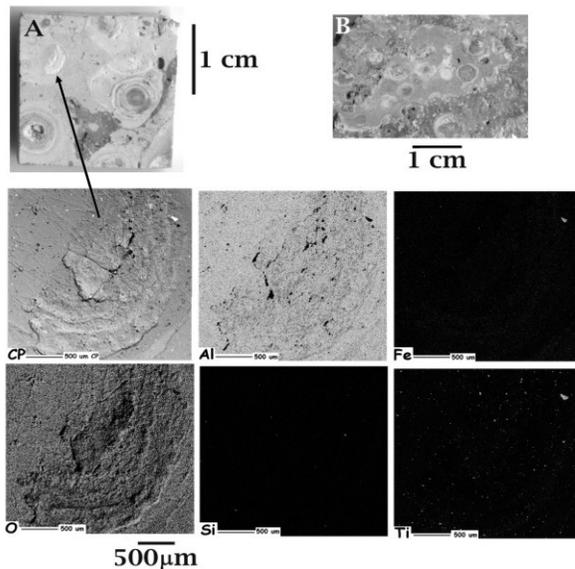


Figura 12. Cerro El Chorro (muestra BoCh5-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA. En el fragmento, el análisis corresponde a un fragmento detrítico de una coraza pisolítica antigua destruida, el fragmento B corresponde a una estructura homogranular.

información recabada para este cerro permite aseverar al igual que en los casos anteriores, la naturaleza compleja de estos perfiles, debido a las evidencias texturales y composicionales que presentan las distintas situaciones estudiadas con el EPMA que permiten inferir la naturaleza retrabajada de estos materiales.

Cerro El Toro

En el perfil generalizado propuesto para este cerro (figura 13), no se encontró material bauxítico in situ. Las muestras de esta naturaleza fueron tomadas de cantos rodados localizados en los flancos del cerro, cercanos al tope del mismo. Este material no se colocó en el perfil debido a que todo el tope del cerro fue aplanado para la construcción de una estación repetidora de microondas, quedando la duda debido a la posibilidad de utilización de material de préstamo para la construcción. A pesar de esto, la muestra fue descrita por presentar aspectos texturales y composicionales complejos e interesantes, por la misma razón fue sometida al análisis EPMA. El análisis preliminar por DRX detectó las fases minerales hematita, gibbsita y en menor proporción goethita, caolinita y anatasa.

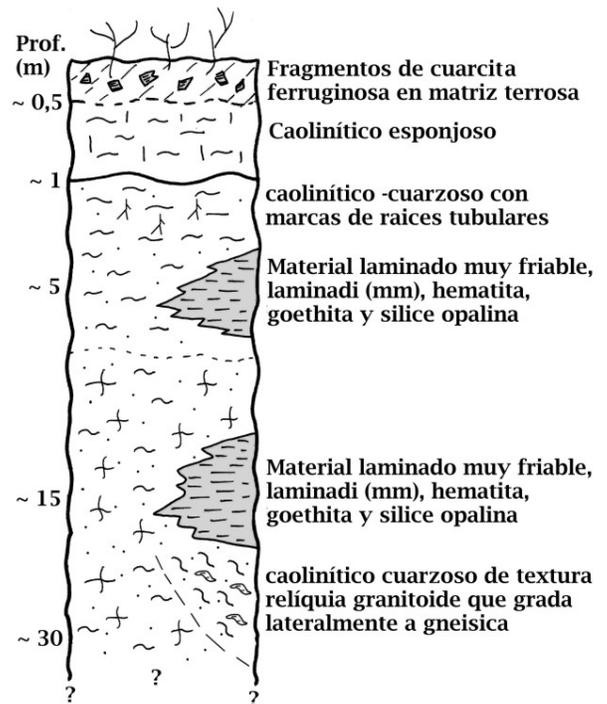


Figura 13. Cerro El Toro. Perfil esquemático idealizado.

La situación dentro de la muestra sometida al análisis EPMA con un área de 2,5 mm², se refiere a una veta de unos 0,5 mm de espesor dentro de una matriz nodular de aspecto brechoide a conglomerático. En la figura 14, se presentan las imágenes COMPO y los mapas de los elementos detectados. Los fragmentos nodulares y el material más opaco

que rellena la veta, según el mapa de Fe corresponden a hematita. Las zonas muy opacas, según el mapa de Al corresponden a gibbsita y en los bordes que rellena el material de la veta a boehmita. Los nódulos son en mayor proporción gibbsíticos, pero se asocian con bajas intensidades de color para Fe. Posiblemente la muestra está integrada por componentes detríticos y se puede observar una primera fase de impregnación de soluciones ricas en Al para precipitar gibbsita, incluyendo el relleno de vetas, y otra fase posterior de impregnación de Fe para precipitar hematita entremezclada con gibbsita. Los mapas elementales del borde de la veta que consiste en un material blanquecino de aspecto porcelanizado, permiten inferir que la zona terrosa es caolinita con sustitución de Fe y el borde porcelanizado gibbsita. Toda la estructura parece corresponder a una cavidad ocupada por una raíz antigua y posteriormente rellena con suelo laterítico suprayacente al material de la coraza.

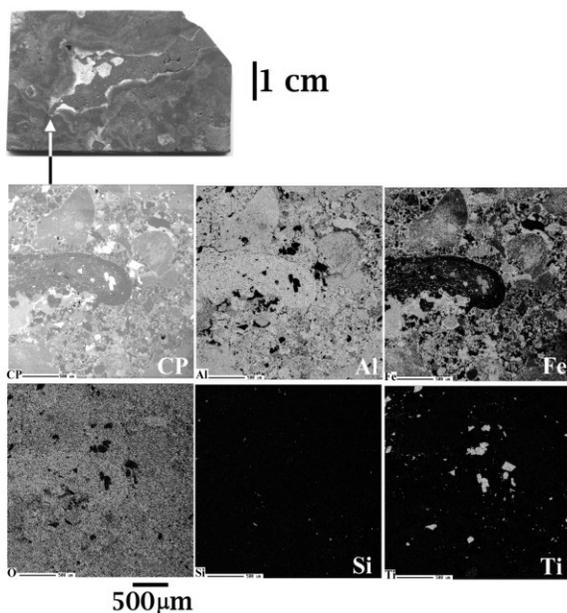


Figura 14. Cerro El Toro (muestra BoTo-Mapa1). Imagen COMPO y mapas elementales de Al, Fe, O, Si y Ti, obtenidos con la técnica EPMA.

Los resultados obtenidos permiten aseverar que los cerros Copeyal y el Toro, no presentan horizontes de lateritas bauxíticas, solamente se encuentran secuencias caracterizadas por horizontes con materiales entremezclados como fragmentos de cuarcita ferruginosa, corazas lateríticas ferruginosas en materiales friables y otras veces endurecidas. Los cerros Algarrobo, La Carata y El Chorro presentan horizontes bauxíticos con evidencias de estar altamente retrabajados.

Los perfiles reconocidos y propuestos en estos cerros no corresponden a una evolución del perfil laterítico clásico,

donde se considera que es una secuencia de transformación vertical progresiva, donde los horizontes corresponden a un proceso pedogenético, en el cual cada uno se forma a partir del siguiente, al ocurrir el descenso del nivel topográfico del manto superficial durante la evolución del relieve. En este caso las evidencias indican, para la mayoría de los casos estudiados, representan secuencias de materiales lateríticos de distinta naturaleza depositados a partir de la erosión de sustratos lateríticos y bauxíticos preexistentes, en contacto abrupto entre si. Se puede decir que tanto la estructura como la mineralogía que presentan los elementos texturales de los depósitos de bauxita y lateritas, muestran una fábrica petrográfica que sugiere un origen poligenético y una naturaleza diagenética. Desde el punto de vista geomorfológico, estas unidades son superficies poligenéticas con fases denudacionales y de sedimentación entremezcladas, que corresponden a diversos eventos geológicos, es decir verdaderos complejos de aplanamiento. Este hecho distingue a estas bauxitas de otras ocurrencias (Pijiguaos, Nuria, Los Guaicas) que corresponden más bien a superficies de denudación monogenéticas.

CONCLUSIONES

Morfológicamente en el área de Upata existen dos tipos de cerros con diferentes líneas de cumbre, unos entre 500 y 600 m.s.n.m y otros alrededor de 400 m. Los primeros son tabulares y amesetados y los de menor altura son de topes redondeados, dentro de valles muy amplios limitados por los cerros amesetados. La no correspondencia de esta fisiografía, sugiere un caso de morfología heredada o herencia morfogenética.

En el caso de los cerros tipo mesetas tabulares, la persistencia del aplanamiento indicado por una línea de cumbre de altura similar entre ellos, puede interpretarse como superficies remanentes erosionales de un mismo evento general, relacionado a la superficie de Nuria o Imataca.

Los perfiles reconocidos y propuestos en estos cerros no corresponden a una evolución del perfil laterítico clásico, donde se considera que es una secuencia de transformación vertical progresiva. En este caso las evidencias indican, que los materiales que conforman los distintos horizontes no parecen mostrar una secuencia vertical pedogenética, sino que son secuencias de materiales lateríticos de distinta naturaleza depositados a partir de la erosión de sustratos lateríticos y bauxíticos preexistentes, en contacto abrupto entre si.

No todos los perfiles estudiados presentan materiales bauxíticos, encontrándose secuencias caracterizadas por horizontes con materiales entremezclados como fragmentos de cuarcita ferruginosa, corazas lateríticas ferruginosas en

materiales friables y otras veces endurecidas. Estos serían los casos del Cerro Copeyal y El Toro. Los cerros con materiales bauxíticos presentan evidencias de estar altamente retrabajados. Este es el caso de los cerros Algarrobo, La Carata y El Chorro.

En un corte del Cerro Copeyal, se observan límites de secuencia que marcan estratos sedimentarios depositados en una zona de pendiente de un valle antiguo. Se pudieron identificar dos superficies de erosión. Por encima de la superficie S1 se presenta el contacto entre dos de estos estratos que puede corresponder a estructuras tipo flama las cuales pueden ser indicativas de paleosismicidad.

En ninguna de las secuencias estudiadas se pudo establecer una relación entre los materiales lateríticos y la roca parental. Solamente se identificaron regolitos de textura granitoide y gnéisica.

Las características microtexturales, mediante la técnica EPMA, de los diferentes materiales lateríticos y bauxíticos captados en los distintos horizontes, permitió inferir con un grado de alta exactitud la distribución espacial de las fases minerales que forman los diferentes elementos texturales presentes en dichas muestras.

Mediante el estudio microtextural por EPMA se pudo determinar la movilidad elemental y su distribución entre los diferentes elementos texturales.

La naturaleza compleja de las muestras observadas por EPMA evidencia procesos diagenéticos, apoyando el origen sedimentario de estos perfiles.

Se puede decir que tanto la textura como la mineralogía y la composición química que presentan los elementos texturales de los depósitos de bauxita de los cerros de los alrededores de Upata, muestran una fábrica petrográfica que sugiere un origen poligenético y una naturaleza diagenética. Desde el punto de vista geomorfológico, estas unidades son superficies poligenéticas con fases denudacionales y de sedimentación entremezcladas, que corresponden a diversos eventos geológicos, es decir verdaderos complejos de aplanamiento. Esto las distingue de otras ocurrencias bauxíticas (Pijiguaos, Nuria, Los Guaicas) que corresponden mas bien a superficies de denudación monogenéticas.

AGRADECIMIENTOS

Al CDCH-UCV por el financiamiento otorgado mediante el proyecto PI-0330-4890/2001. Al Instituto de Ciencias de la Tierra y Centro de Microscopia Dr. Mitsuo Ogura de la Facultad de Ciencias, UCV.

REFERENCIAS

- BRICEÑO, H. & SCHUBERT, C. (1990). Geomorphology of the Gran Sabana, Guayana Shield, southeastern Venezuela. *Geomorphology*. 3; pp. 125-141.
- BUTT, C.R.M. & ZEEGERS, H. (1992). Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains. *Handbook of Exploration Geochemistry*. V 4, p. 607.
- CANDIALES, L.J. (1961). Descubrimiento y exploración de Bauxita en Venezuela: III, Congreso Geológico Venezolano. *Memorias*, T. IV. pp. 1661-1680.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., PICARD, X., ITURRALDE, J.M. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Edic. Foninves, Caracas, p. 1031.
- GONZÁLES DE VALLEJO, L.I., TSIGÉ, M., CABRERA, L. (2005): Paleoliquefaction features on Tenerife (Canary Islands) in Holocene sand deposits. *Engineering Geology*. 76, pp. 179-190.
- LO MÓNACO, S. (2008). Composición química y mineralógica de elementos texturales de bauxitas venezolanas, de los alrededores de Upata, Estado Bolívar: Implicaciones genéticas. Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. p. 335.
- LO MÓNACO, S., ROJAS, H., ESCALONA, D. (2001). Estudio de la distribución mineralógica de elementos texturales de bauxitas venezolanas mediante microsonda electrónica de rayos X (EPMA): Implicaciones genéticas. *Quinto Congreso Venezolano de Química Maracaibo*, Estado Zulia. s/n.
- OBERMEIER, S.F., OLSON, S.M., RUSSELL, A.G. (2005). Field occurrences of liquefaction-induced feature: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking. *Engineering Geology*. 76, pp. 209-234.
- PERFETTI, J. N., MÁRQUEZ, G., CANDIALES, J. (1951). Yacimiento de bauxita del Cerro el Chorro inmediaciones de Upata, Estado Bolívar. *Boletín de Geología*. 1(3): pp. 289-293.
- TARDY, Y. (1997). *Petrology of Laterites and Tropical Soil*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam Bookfield, USA. p. 408.