

## **ALGUNOS PROCESOS DE METEORIZACIÓN DEL ESQUISTO DE LAS MERCEDES, ESTADO MIRANDA, VENEZUELA**

ANDER DE ABRISQUETA<sup>1,3</sup>, FRANCO URBANI<sup>2,3</sup>, DIOMEYS MOLINA<sup>1</sup>, DORFE DÍAZ<sup>1</sup>, FREDDY ANGULO<sup>1</sup>,  
CARMELO BOLÍVAR<sup>4</sup>, MAXIMILIANO BEZADA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Geología y Minería, Lomas de San Rafael de La Florida, Caracas  
e-mail: adeabris@yahoo.com

<sup>2</sup>FUNVISIS, Final Calle Mara, El Llanito, Caracas

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas

<sup>5</sup>Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Departamento de Ciencias de la Tierra, Caracas

Recibido: septiembre de 2008

Recibido en forma final revisado: julio de 2011

### **RESUMEN**

El Esquisto de Las Mercedes es la unidad geológica más extensa de la Cordillera de la Costa, caracterizada por esquisto/filita grafitoso, usualmente cruzado por numerosas vetas carbonáticas. Durante el proceso de meteorización, la filita negra cambia a colores blanquecinos y las vetas blancas pasan a colores pardos. Con el objeto de contribuir al entendimiento de los procesos que actúan en estos cambios de coloración, se llevaron a cabo varios estudios mineralógicos y geoquímicos. Bajo microscopía electrónica de barrido, la filita grafitosa fresca negra se muestra homogénea y conductiva, contrastando con la parte meteorizada blanquecina que contiene numerosos poros y escalones, con pérdida de conductividad eléctrica. Se interpreta que, con el avance del frente de meteorización, la roca sufre una pérdida total o parcial del grafito que incide en el cambio de color y de conductividad. En cuanto a las vetas carbonáticas, ambas fracciones de color fueron identificadas como calcita pura, pero las concentraciones de hierro y manganeso son significativamente mayores en la fracción parda. Los análisis por espectroscopía infrarroja, descartan que la coloración parda sea debida a compuestos orgánicos, entonces se hizo reaccionar la muestra con ácido clorhídrico (10%) obteniendo un residuo que fue identificado como goethita mediante difracción de rayos-X. En consecuencia, se interpreta que el avance de la coloración parda se debe al depósito de micropartículas de goethita transportadas en soluciones coloidales que permean la veta a través de las superficies intergranulares y los defectos estructurales de la calcita. La goethita proviene mayormente de la oxidación de la pirita y otros minerales primarios de la roca caja. Las observaciones de campo claramente muestran que, en ambos casos, las variaciones de color se deben a procesos de meteorización.

*Palabras clave:* Calcita, Mineralogía, Filita, Meteorización, Esquisto de Las Mercedes, Análisis elemental.

## **SOME WEATHERING PROCESSES IN THE LAS MERCEDES SCHIST, MIRANDA STATE, VENEZUELA**

### **ABSTRACT**

The Las Mercedes Schist is the more extensive geological unit of the Coastal Cordillera and is characterized by graphite schist/phyllite usually cut by numerous carbonate veins. During the weathering process the phyllite changes from black to white and the white veins change to reddish and orange colors. Mineralogical and geochemical studies were carried out to understand the processes acting in these color changes. Under SEM, the unaltered graphite phyllite is highly conductive and texturally homogeneous, while the altered whitish side contains numerous pores and steps and losses electrical conductivity. It is interpreted that during the advance of the weathering front, the rock undergoes a partial or total loss of graphite, which affects the color and conductivity. Both the reddish and white fractions of the carbonate veins were identified as pure calcite, but the concentrations of Fe and Mn are significantly higher in the reddish fraction. The analysis by infrared spectroscopy ruled out the influence of organic compounds in the reddish fraction so a sample was added to HCL (10%) and the resultant insoluble residue was identified by X-ray diffraction as goethite. Consequently it is interpreted that the advance of the colored front is due to the deposit of microparticles of goethite, as aqueous solutions permeate the vein through intergranular surfaces and structural defects in the calcite. Goethite comes from the oxidation of pyrite and

other primary minerals of the bedrock. Field observations clearly show that in both cases the color variations are due to weathering processes.

**Keywords:** Calcite, Phyllite, Weathering, The Las Mercedes Schist, Elemental analysis, SEM.

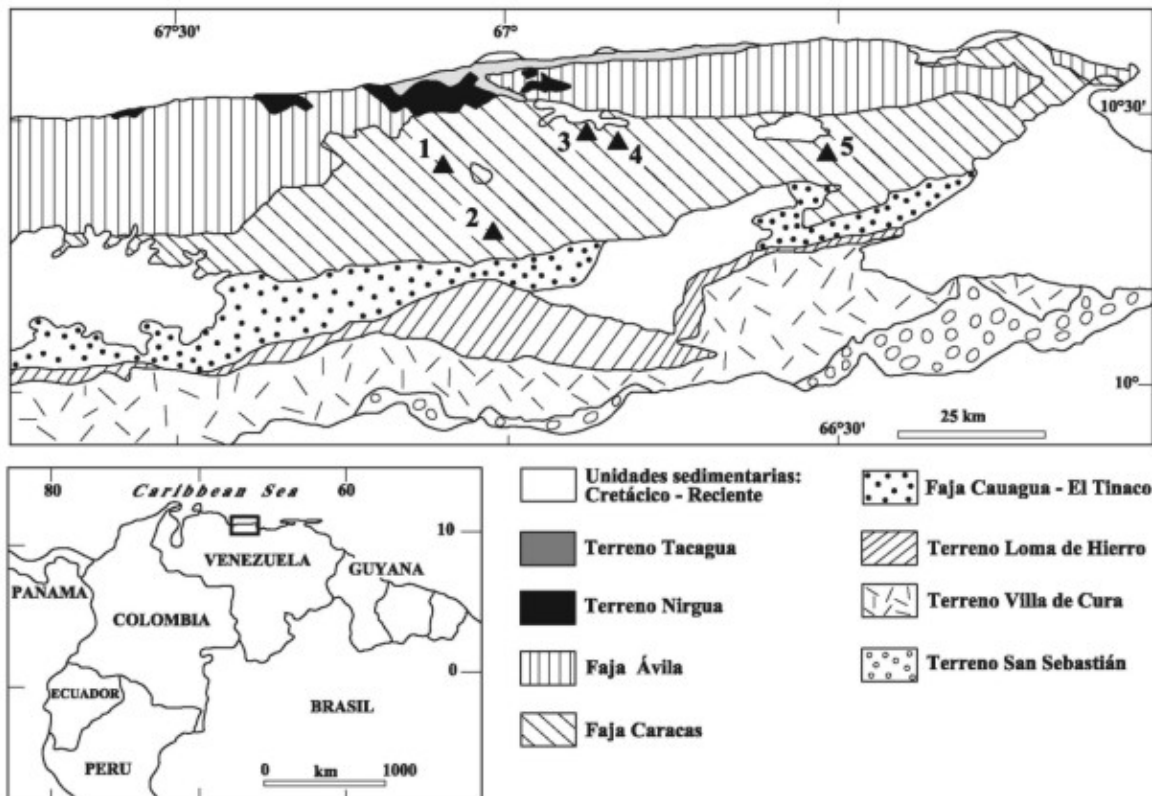
## INTRODUCCIÓN

El Esquisto de Las Mercedes es la más extensa unidad geológica de la Cordillera de la Costa (Urbani & Rodríguez, 2004; Hackley *et al.* 2005) (Fig. 1). Por su escaso contenido fosilífero se presume que el protolito se haya sedimentado en tiempos del Cretácico inferior a medio. La litología principal es el esquisto/filita cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso, que se intercala con niveles carbonáticos (mármol) de espesores variables. Las rocas presentan una buena foliación, con un tamaño de grano que va de fino a medio, el color característico es gris muy oscuro a negro cuando están muy frescas y pasan a colores blancos o rojizos-violáceos, al avanzar la meteorización. Su mineralogía promedio es de cuarzo (40%), muscovita (20%), usualmente dispuesta en bandas y, a veces, con clivaje crenulado, calcita (23%) a la cual se le observan maclas polisintéticas, grafito (con hasta 5%) y en menor proporción, clorita, opacos (hematita y

pirita), epidoto y ocasionalmente albita (Wehrmann, 1972). Los niveles de mármol intercalados con el esquisto/filita se exhiben en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, pero también se conocen algunos grandes cuerpos que llegan a dimensiones hectométricas. Son de color gris azulado, cuya mineralogía es mayormente calcita y escasa dolomita. Entre los minerales accesorios están el cuarzo, muscovita, grafito y opacos (óxidos de hierro, pirita). Se han encontrado otras litologías como metaconglomerado, esquisto clorítico y el mármol tiene una mineralogía mayormente calcítica (Urbani, 2000).

En los afloramientos meteorizados del Esquisto de Las Mercedes, generalmente se observa la presencia de abundantes vetas carbonáticas que gradan de blanco a colores pardos o rojizos. Estas vetas coloreadas han sido erróneamente identificadas como ankerita o siderita por Dengo (1951) y Wehrmann (1972), mientras que Urbani (1969) las identifica como calcita por difracción de rayos X.

Las observaciones de campo recientes, dentro del túnel Carrizalito del ferrocarril de Caracas a Los Teques, en los taludes de la nueva autopista Guatire-Caucagua y en núcleos de perforaciones geotécnicas profundas en las montañas del sur de Caracas, en especial en Colinas de Bello Monte



**Figura 1.** Mapa geológico simplificado de la Cordillera de la Costa. El Esquisto de Las Mercedes constituye el 80% de la extensión de la Faja Caracas. Los números ubican las localidades mencionadas en el texto: 1: Túnel Carrizalito del ferrocarril hacia Los Teques. 2: Localidad de Jengibre, San Diego de Los Altos, donde se colectó la muestra de filita analizada. 3: Colinas de Bello Monte. 4: Urbanización Colinas de Tamanaco donde se colectó la muestra de la veta carbonática. 5: Autopista Guatire-Caucagua

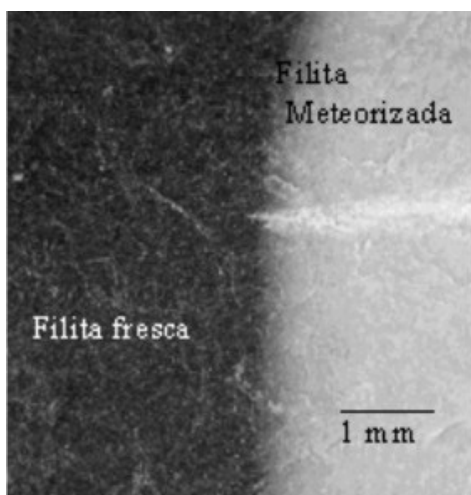
(Figura 1), se observa claramente que la meteorización de la roca conlleva a la formación de productos de colores rojizos. En este proceso de meteorización, entre otros, se pueden observar dos conspicuos fenómenos de cambios de color:

- El esquisto/filita es de color negro o gris oscuro cuando está fresco, en las primeras etapas de meteorización pasan a un color gris claro o blanco, para luego seguir gradando a colores rojizos, a medida de que el proceso avanza.
- En toda el área donde aflora la unidad se presentan abundantes vetas carbonáticas, las cuales son de color blanco en las zonas frescas, pero a medida de que se incrementan efectos de la meteorización, las vetas van cambiando total o parcialmente a tonos pardos y rojizos.

Observaciones similares pueden realizarse en muchas localidades de los estados Miranda, Aragua y Carabobo. Aspectos comprueban que estos cambios son producidos por la meteorización y no por efectos hidrotermales o metamórficos. En consecuencia, debido al desconocimiento de las variaciones químicas y mineralógicas que ocurren en estos fenómenos, el presente estudio se desarrolló con el objetivo de contribuir al entendimiento de los procesos que conllevan a estos cambios de coloración, en nuestros ambientes de meteorización tropical.

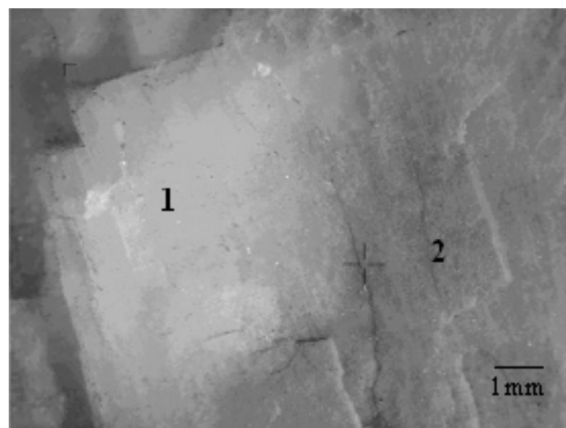
## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de filita se recolectaron en la localidad de El Jengibre, a 1 km al sur de San Diego de los Altos, estado Miranda (Figura 1). En estado fresco la filita es negra y con la meteorización pasa a blanco o gris muy claro, con un frente de cambio bastante abrupto, con no más de unos 3 a 5 mm de un color gris intermedio (Figura 2).



**Figura 2.** Filita del Esquisto las Mercedes en donde se observa claramente la diferencia de color entre la zona fresca y la meteorizada

Las vetas carbonáticas fueron recolectadas en los taludes meteorizados de la parte más alta de la avenida principal de la Urbanización de Colinas del Tamanaco, Municipio Baruta, estado Miranda (Figura 1). La muestra presenta dos zonas de color bien diferenciadas, una blanca y otra parda. A partir de la roca caja que es el esquisto muy meteorizado, el frente de color rojizo avanza desde los bordes de la veta, hacia el centro de la misma. El contacto entre las zonas de colores distintos está muy bien definido, con una transición visible a simple vista de no más de 2 a 3 mm (Figura 3).



**Figura 3.** Veta de calcita donde se puede observar la diferencia en la coloración. 1: Parte fresca de color blanco. 2: Parte meteorizada de color pardo en la muestra real (pero visible como gris, en esta imagen reproducida en blanco y negro)

Las distintas zonas de color de ambas muestras fueron caracterizadas por diversas técnicas analíticas:

Tanto las muestras de filita como de las vetas, fueron analizadas químicamente en forma cualitativa por medio una microsonda de electrones (EPMA, por sus siglas en inglés) JEOL-8900R. Las condiciones de operación para la adquisición de espectros fueron de 20 keV como voltaje de aceleración y una corriente medida en la copa de Faraday del orden de 10-8 A.

El análisis morfológico se hizo con microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) en un equipo HITACHI-S500. Las condiciones de operación para la adquisición de imágenes fueron 20 keV de voltaje de aceleración, con una corriente en la copa de Faraday del orden de 10-9A. Las muestras se cubrieron con oro con un equipo Eiko Engineering-IB-2, por quince minutos.

Los análisis químicos cuantitativos de Fe y Mn de las vetas se llevaron a cabo por espectroscopía de absorción atómica de llama (FAAS, por sus siglas en inglés) con un equipo Thermo Electron Modelo M Series Solaar, con llama de aire-acetileno. Se hicieron digestiones ácidas con 0,5 g de

muestra en 25 ml de ácido clorhídrico al 25% y se enrazaron en un balón de 100 ml.

Una muestra de la facción parda de las vetas carbonáticas se agregó a un frasco con HCl (10%), hasta hacer reaccionar toda la calcita, para posteriormente separar el residuo en una centrífuga Thermo Electron Corporation, modelo IEC CL30, durante 5 minutos y 5.000 rpm. Tanto este residuo insoluble, como las muestras sin tratamiento de las vetas, fueron analizadas por difracción de rayos-X (DRX), con un equipo Philips X'Pert, con fuente de cobre.

Las vetas también se analizaron por espectroscopía infrarroja-transformada de Fourier (FT-IR, por sus siglas en inglés) para verificar si los cambios de color fuesen debidos a compuestos orgánicos. Se usó un equipo Nicolet.

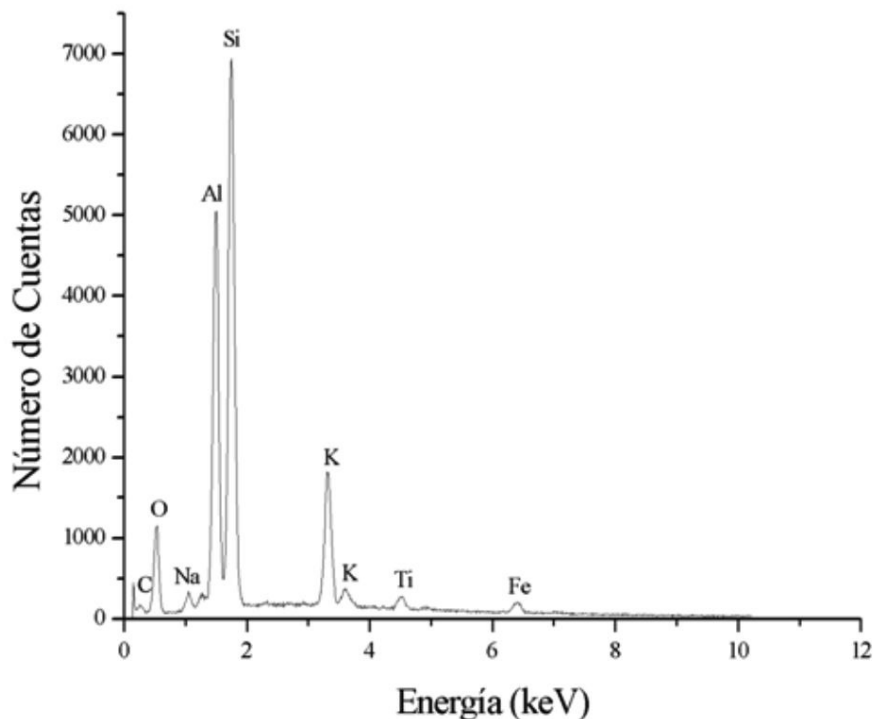
## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Muestra de filita

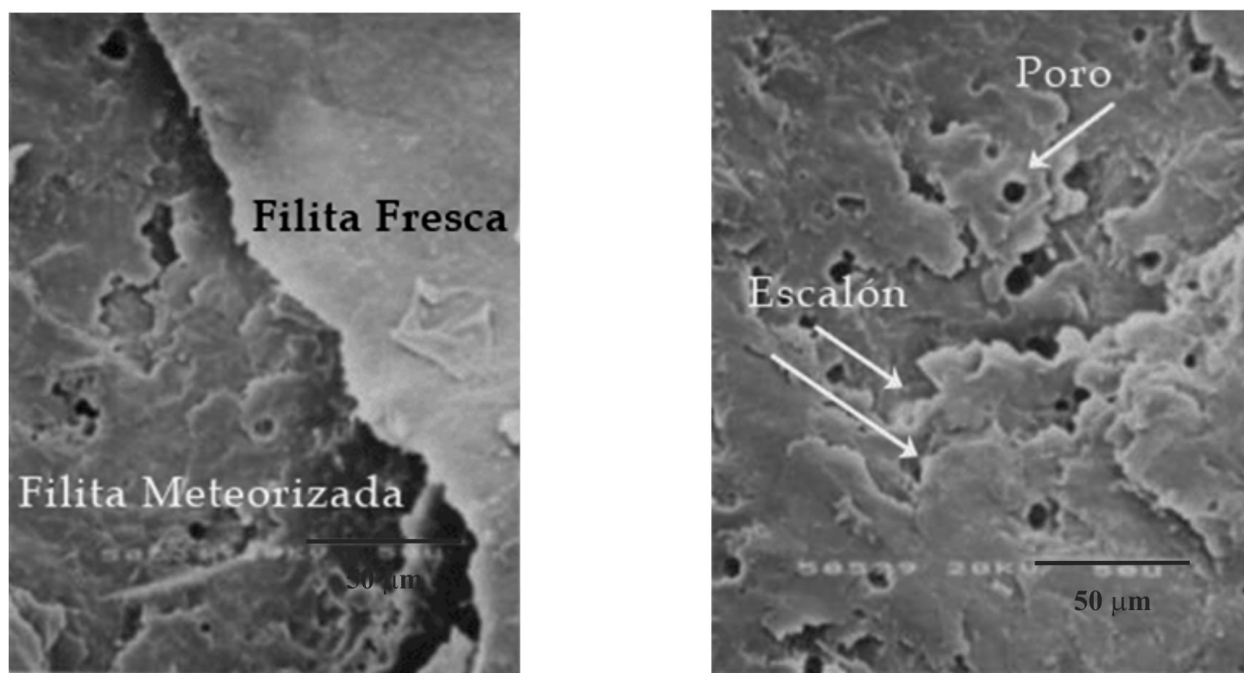
La muestra de filita (Figura 2) fue estudiada por SEM, en la cual los espectros químicos cualitativos (EPMA) de la zona fresca negra y la meteorizada blanca, no mostraron diferencias en los elementos detectados (C, O, Na, Al, Si, Fe y Ti) (Figura 4).

Al proceder con el análisis morfológico con SEM, se observa que existen diferencias entre la zona fresca y la meteorizada (Figura 5). La parte negra posee una textura homogénea, que pasa abruptamente a la zona blanca, que presenta una gran densidad de poros y zonas irregularmente escalonadas. Adicionalmente, durante estos análisis se observaron diferencias en las propiedades eléctricas de la muestra, donde la zona negra conducía los electrones, mientras que la blanca no. Ambos resultados nos permiten interpretar que el frente de meteorización induce a la pérdida total o parcial del grafito y otros minerales. Esto puede explicar tanto el cambio de color de negro a blanco, como la drástica caída en la conductividad eléctrica.

Una disminución del grafito debería reflejarse en una real y significativa baja en la concentración de C; sin embargo, no se nota diferencia en las intensidades EPMA para este elemento, lo que atribuimos a que es un elemento liviano con una sección eficaz muy pequeña. Es decir, que la excitación producto del haz primario para generar rayos-x es de muy baja intensidad, aunado a que los elementos livianos liberan la energía en forma de electrones auger, con mayor probabilidad de que por rayos-x (Goldstein *et al.* 2003). En otros términos, con la instrumentación analítica disponible a los autores, un cambio en la concentración de C no puede ser cuantificado.



**Figura 4.** Espectro EPMA de la muestra de filita. En ambas zonas, tanto fresca como meteorizada, la composición es la misma



**Figura 5.** Imágenes de SEM de la muestra de filita. Izquierda: Límite abrupto entre la filita fresca y la filita meteorizada. Derecha: Filita meteorizada mostrando numerosos poros y escalones

Comparando nuestros datos de campo y analíticos, con otros ejemplos mundiales, vemos que este caso se asemeja a lo publicado por Stoops *et al.* (1990) en una filita grafitosa de Malasia, donde cambios de color semejantes a los indicados en esta investigación, también los atribuyen a una disminución de la cantidad de grafito.

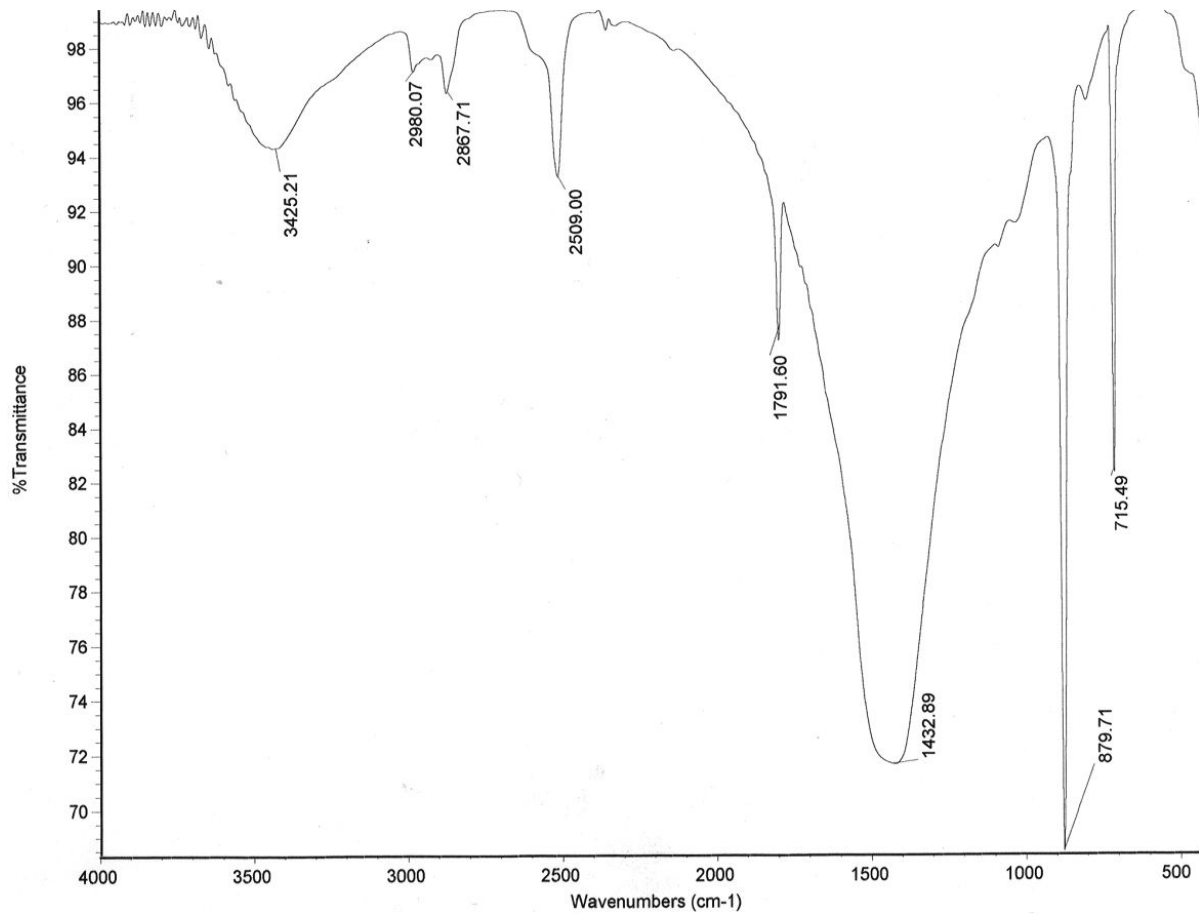
En el oriente del país se observa un cambio análogo de negro a blanco debido a fenómenos de meteorización. En esa región, en los afloramientos frescos de la Formación San Antonio, el chert negro pasa abruptamente a gris muy claro o blanco al meteorizarse. Yoris F. (2007, comunicación personal) señala que observó este fenómeno en taludes de la carretera Guanaguana-Caripe, estado Monagas y por medio de análisis por MEB realizados en el año 1983, atribuye el cambio de color a una pérdida de la materia orgánica durante la meteorización.

#### Muestra de veta carbonática

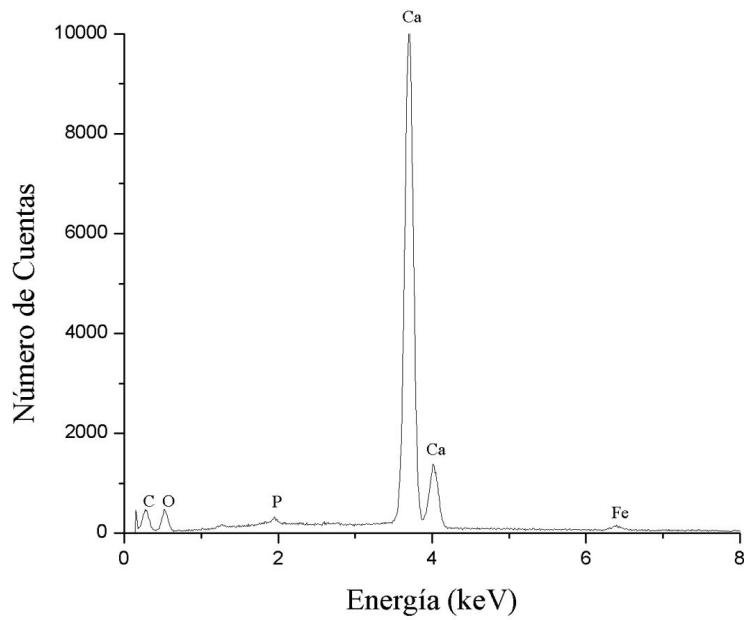
La muestra analizada en el presente estudio luce una apreciable variación del color, desde blanco en la parte central de la veta, hasta anaranjado-pardo hacia el contacto con la roca caja (Figura 3). Ambas fracciones de color fueron analizadas por DRX resultando identificadas como calcita pura con su pico de mayor intensidad de 3,035 Å, lo cual descarta que se trate de una calcita ferruginosa o magnesiana. Estos resultados respaldan los análisis previos de Urbani (1969), para vetas semejantes de las colinas del sur de Caracas.

White (1981) estudió algunas muestras de estalactitas de calcita de colores rojizos, anaranjadas a negras de la Cueva del Guácharo. Éstas fueron analizadas FT-IR y otras técnicas analíticas y concluyen que la coloración es debida a la presencia de compuestos orgánicos. Por esa experiencia previa, nuestras muestras de vetas también fueron analizadas por FT-IR y en ambas fracciones de color se observan las mismas bandas e intensidades características de carbonato (Figura 6): banda a 1432  $\text{cm}^{-1}$  de la tensión asimétrica del carbonato, a 879  $\text{cm}^{-1}$  de deformación fuera del plano del carbonato, y 715  $\text{cm}^{-1}$  de deformación del carbonato en el plano. La banda 1791  $\text{cm}^{-1}$  se debe posiblemente a la frecuencia de estiramiento del grupo carbonilo, mientras la banda a 3452  $\text{cm}^{-1}$  es típica de la frecuencia de estiramiento de los grupos OH. Por último, aparecen dos bandas a frecuencias de 2980 y 2867  $\text{cm}^{-1}$  que son características de estiramiento o tensiones del C ( $\text{sp}^3$ )-H. A partir de estos resultados se deduce que no hay evidencias que el cambio de coloración sea producto de algún compuesto orgánico.

Los espectros químicos cualitativos EPMA de ambas fracciones de color son semejantes (Figura 7), notándose que el pico de Fe es ligeramente mayor en la parte parda. Por otra parte, el análisis químico cuantitativo por FAAS arrojó los resultados expresados en la Tabla 1. Las concentraciones de Fe y Mn al ser comparadas estadísticamente, muestran que son significativamente mayores en la parte parda, en comparación con la blanca (Fe: valor-t = 42,0, g.l. = 8,  $p < 0,005$ . Mn: valor-t = 31,3, g.l. = 8,  $p < 0,005$ ). A este punto de las actividades analíticas, todavía no se entendía



**Figura 6.** Espectros FT-IR de la veta de calcita, donde tanto la fracción blanca como la parda muestran espectro similares



**Figura 7.** Espectro EPMA de la veta de calcita. En ambas zonas, tanto la blanca como la parda, la composición es la misma

el origen del cambio de color, dado que para movilizar el hierro se requiere de un ambiente reductor no posible en el ambiente oxidante superficial. En consecuencia se hizo reaccionar totalmente la calcita parda con ácido clorhídrico, obteniéndose un residuo que al ser analizado DRX resultó ser goethita. Al ser observado el residuo por MEB, se observa que está constituido por partículas de hábito radial, con cristales de 1  $\mu\text{m}$  emergiendo del centro. Siendo entonces este mineral, el responsable del cambio de coloración en las vetas.

## CONCLUSIONES

### Cambio de color de la filita

Al ser examinada bajo MEB, la filita fresca negra presenta una textura muy homogénea, mientras que la fracción blanca meteorizada presenta muchas irregularidades, con numerosos poros, observándose escalones y microcavidades (Figura 5). Esto, aunado a la drástica disminución de la conductividad eléctrica en la muestra blanca, nos permite interpretar que el cambio de color de negro a blanco debido al proceso de meteorización, ocurre por una pérdida total o parcial del material grafitoso de la muestra.

### Cambio de color de las vetas carbonáticas

Los análisis mineralógicos por DRX, muestran que ambas fracciones de color corresponden a calcita pura, con cantidades no detectables de Fe o Mg incorporados en la estructura cristalina del carbonato, lo cual soporta el

hallazgo previo de Urbani (1969). Por su parte, los análisis por FT-IR (Figura 6) indican que las diferencias de color no son debidas a compuestos orgánicos (por ejemplo, ácidos húmicos, taninos, entre otros). Los análisis químicos cuantitativos obtenidos por FAAS (Tabla 1) demuestran que la fracción parda tiene concentraciones de Fe y Mn que estadísticamente son significativamente superiores a aquellas de la parte blanca.

Con estos resultados analíticos, sumados a las inequívocas observaciones de campo en torno a que las vetas de calcita parda corresponden a fenómenos superficiales de meteorización, se propone el siguiente mecanismo de formación: En el ambiente de meteorización tropical todos los minerales de la filita se alteran progresivamente. Los cristales de hematita y pirita presentes en la roca caja se oxidan, produciendo partículas muy finas de goethita que se movilizan en forma de suspensiones coloidales, que penetran tanto a través de las discontinuidades de la roca caja filítica impartiendo una coloración rojiza, como a través de las vetas de calcita blanca. Pero en éstas, penetrarán y se depositan a través de poros, superficies intergranulares y defectos de la red cristalina de la calcita, lo cual dio como resultado visible el paso a colores pardos, en un frente que avanza desde la roca caja hacia el centro de la veta.

Con la identificación de las vetas carbonáticas coloreadas como calcita, se corrige una imprecisión de la literatura, dado que previamente habían sido descritas como ankerita o siderita por Dengo (1951), Wehrmann (1972) y González de Juana *et al.* (1980).

**Tabla 1.** Concentración de Fe y Mn en la calcita blanca y parda

Fracción	Elemento	Promedio (%)	Desv. estándar (%)	n
Blanca	Fe	0,5709	0,0048	5
	Mn	0,0269	0,0004	5
Parda	Fe	0,7187	0,0062	5
	Mn	0,0366	0,0006	5

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a David Mendi y Alí Gómez del Laboratorio 330 de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV; a Carlos Rojas del Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la UCV; a Ismael Mosquera y Orlando Rojas de INGEOMIN y a Dios, por darnos el apoyo necesario para la realización de este trabajo. Este trabajo es una contribución parcial del proyecto GEODINOS (FONACIT 200200478, FUNVISIS-UCV) coordinado por Michael Schmitz. A Franck Audemard, Michael Schmitz, María Carlota Marcano, Ruthman Hurtado y dos árbitros anónimos, por las importantes observaciones que hicieron del manuscrito, permitiendo mejorarlo sustancialmente.

## REFERENCIAS

- DENGO, G. (1951). *Geología de la región de Caracas*. Boletín de Geología, Caracas 1(1): 39-115.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., ITURRALDE, J., PICARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Editorial Foninves, Tomo I.
- GOLSTEIN, J., NEWBURY, D., JOY, D., CHARLES, L., PATRICK, E., LIFSHIN E., SAWYER, L., MICHAEL, J. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Third Edition. Springer.
- HACKLEY P., C., URBANI, F., KARLSEN, A. W., GARRITY, C. P. (2005). *Geologic Shaded Relief Map of Venezuela*. U.S. Geological Survey, Open File Report 2005-1038. (<http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038>).
- STOOPS G., CHUN, S. G., ZAUYAH, S. (1990). *Combined micromorphological and mineralogical study of a laterite profile on graphite sericite phyllite from Malacca (Malaysia)*. Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie 99(1): 79-92.
- URBANI, F. (1969). *Mineralogía de algunas calizas de la parte central de la Cordillera de la Costa*. Boletín Informativo, Asociación Venezolana de Geología. Minería y Petróleo 12(11): 417-423.
- URBANI, F. (2000). *Nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa*. Geos, Caracas 33, 1-170.
- URBANI, F. & RODRÍGUEZ J. A. (2004). *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa*. Edic. Fundación Geos y FUNVISIS, Caracas, 147 hojas.
- WEHRMANN, M. (1972). *Geología de la región de Colonia Tovar - Guatire*. Memorias IV Congreso Geológico Venezolano 4: 2093-2119.
- WHITE, W. B. (1981). *Reflectance spectra and colour in speleothems*. National Speleological Society Bulletin 44: 90-97.