

## CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL DE MÁRMOL DE LA CANTERA CAFÉ TABACO PROCEDENTE DE TEPEXI DE RODRÍGUEZ, PUEBLA

Ma. T. Tlatempa<sup>1,2</sup>, R.F. Estrada<sup>2,3</sup> E. Rubio<sup>2</sup> y V. Rodríguez-Lugo<sup>2\*</sup>

1. Facultad de Ciencias Químicas-BUAP.
2. Centro Universitario de Vinculación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla México.
3. Universidad Iberoamericana, Departamento de Física y Matemáticas, Prol. Paseo de la Reforma 880, Lomas de Santa Fe, Alvaro Obregón 01219, México D.F.

\* Autor de correspondencia: ventura\_rl@hotmail.com

Recibido: Julio 2010. Aprobado: Noviembre 2010.

Publicado: Enero 2011.

### RESUMEN

En el presente trabajo se lleva a cabo la caracterización de mármol de la cantera Café Tabaco ubicada en el municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, a través de las siguientes técnicas de análisis: microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X (DRX), espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Los resultados muestran que las piezas de mármol caracterizadas presentan morfologías con cristales de hábito irregular, muy planas, curvos en formas masivas y compactas con una dimensión de 20  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$ , así mismo morfologías con un tamaño de grano no regular, con superficies fracturadas y mayor rugosidad con una dimensión de 10  $\mu\text{m}$  constituidas principalmente por C, O, Ca y Mg. Así mismo se identificaron dos fases presentes en los estratos correspondiente a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] con un sistema cristalino romboédrico. Por espectroscopía infrarroja se identificaron las tres bandas características del carbonato en 1419.10  $\text{cm}^{-1}$ , 876.65  $\text{cm}^{-1}$  y 727.44  $\text{cm}^{-1}$ , así como las bandas características de la dolomita en 1040.14  $\text{cm}^{-1}$  y 728  $\text{cm}^{-1}$ . Los resultados obtenidos contribuyen a un mejor conocimiento de las características microestructurales y químico elementales para el caso particular del mármol de la cantera Café Tabaco en Puebla México.

**Palabras clave:** mármol, estrato, calcita, dolomita.

### MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF MARBLE FROM THE QUARRY COFFEE TOBACCO PROCEEDING FROM TEPEXI DE RODRÍGUEZ, PUEBLA

#### ABSTRACT

This work is carried out the characterization of marble quarry Snuff Café located in the municipality of Tepexi de Rodriguez, Puebla, Mexico, through the following analytical techniques: optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) X-ray diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). We identified that the samples show crystal morphologies of irregular habit, very flat, curved forms with a massive and compact size of 20  $\mu\text{m}$  to 150  $\mu\text{m}$ , and the same morphology with a grain size of non-regular, and more fractured surfaces with roughness with a dimension of 10  $\mu\text{m}$ , composed mainly of C, O, Ca and Mg. We also identified two phases present in the stratum corresponding to calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) and dolomite [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] with a rhombohedral crystal system. Infrared spectroscopy identified the three bands characteristic of carbonate in 1419.10  $\text{cm}^{-1}$ , 876.65  $\text{cm}^{-1}$  and 727.44  $\text{cm}^{-1}$  and the characteristic bands of dolomite in 1040.14  $\text{cm}^{-1}$  and 728  $\text{cm}^{-1}$ . These results contribute to a better understanding of basic chemical and microstructural characteristics of marble from the quarry Coffee Snuff in Puebla Mexico.

**Keywords:** marble, stratum, calcite, dolomite.

#### INTRODUCCIÓN

La extracción de mármol en Tepexi de Rodríguez, Puebla, ha colocado al municipio como uno de los yacimientos marmoleros más importantes a nivel local y nacional. De igual forma, este municipio mixteco es

reconocido por la cantidad de descubrimientos paleontológicos encontrados, ya que desde hace más de 40 años ha destacado por su extracción de mármol, así como el trabajo que hacen sus artesanos [1].

En Tepexi de Rodríguez, se extrae un promedio total de 65 mil metros cuadrados de mármol por mes. Por lo anterior queda en evidencia la importancia de la caracterización del mármol utilizando diferentes técnicas para su análisis, lo que permitirá obtener mayor valor agregado [2].

El mármol es un producto de la naturaleza, por lo tanto puede presentar grietas y fisuras propias de su origen natural. Es una piedra caliza metamórfica de textura compacta y cristalina, que puede pulirse hasta obtener alto brillo.

Está compuesto principalmente por minerales carbonatados (calcita y dolomita). También suele ser frecuente la presencia de diversos silicatos, aunque en muy pequeña cantidad [3].

Para la caracterización del mármol se utilizaron las siguientes técnicas de análisis.

La microscopía óptica (MO) es utilizada para determinar el tamaño de grano, los colores presentes en cada muestra correspondientes a cada estrato, así como las características en cada muestra [4].

La microscopía electrónica de barrido (MEB) permite identificar la morfología de la muestra, el tamaño de grano y partícula, así como los elementos presentes a lo largo de todo el estrato.

La difracción de rayos X (DRX) es utilizada para la identificación de las fases cristalinas y la determinación de los parámetros de red [5].

La espectroscopia infrarroja (FTIR) permite identificar los grupos funcionales de compuestos, que sean activos en la zona de infrarrojo, aunque hay que aclarar que es poco probable identificar la estructura completa de un compuesto. El interés de realizar este tipo de análisis radica solo en observar la ausencia o presencia de algunas bandas de absorción significativas para enlaces o grupos funcionales [6].

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Materiales**

Mármol procedente de la cantera Café Tabaco del municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

### **Métodos**

El análisis por microscopía óptica se llevo a cabo con un Microscopio Óptico Axio Scope/Carl Zeiss. Para la preparación de muestras se realizaron cortes en las zonas más representativas de cada espécimen de aproximadamente 3.0 - 3.5 cm<sup>2</sup>, cada una de ellas se pulieron en tres etapas: con lija gruesa, media y suave, hasta obtener una superficie homogénea y plana para ser observadas en el microscopio óptico.

Se realizaron cortes con dimensiones de 0.5 cm<sup>2</sup> para las tres muestras de cada espécimen, posteriormente cada muestra fue sujeta con cinta de aluminio en un porta muestra propio del equipo. El microscopio electrónico de barrido que se utilizó para esta caracterización fue un JSM-6610LV/JEOL.

Con la finalidad de realizar la identificación de las diferentes fases cristalinas presentes en el mármol, se realizaron estudios en DRX por el método de polvos, en un intervalo de 20° a 70° en 2θ para cada difractograma. Para la preparación de muestras se pulverizó 2 g de mármol con ayuda de un mortero de ágata y se colocó en un porta muestra para llevar a cabo su análisis. El polvo sobrante se recolecto en un vial para su posterior análisis. El Difractómetro de rayos X que se utilizó fue un D8 Discover/BRUKER.

Para complementar la información obtenida por DRX, las muestras fueron analizadas por espectroscopia infrarroja en el intervalo de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>. Para el análisis correspondiente se pulverizó 2 g de muestra y se tomó 20 mg para su análisis por la técnica reflexión total atenuada (ATR). La técnica ATR puede aplicarse sin un tratamiento previo a la muestra.

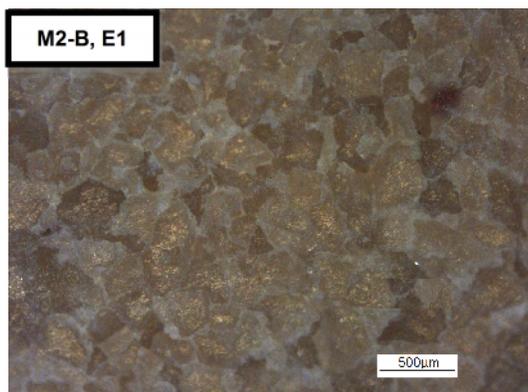
El equipo que se utilizó para esta caracterización fue un Vertex 70/BRUKER.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La microscópica óptica permitió observar una diferencia en tonalidad debido a la presencia de algunas trazas o impurezas presentes en cada muestra. Los cristales característicos de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] son granulares con un subsistema romboédrico. El color característico de la calcita es blanco, amarillo, rojo, naranja, azul, verde, castaño y gris [7, 8, 9].

La dolomita como impureza puede contener hierro y manganeso, su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro y a veces con matices amarillento verdusco, predominando el blanco grisáceo.

En la Figura 1 se observa un tamaño de grano no homogéneo entre 100 y 500  $\mu\text{m}$  aproximadamente, con tonalidades café claro y café oscuro correspondiente a la presencia de óxidos de hierro y brillo metálico debido a la presencia de magnesio.

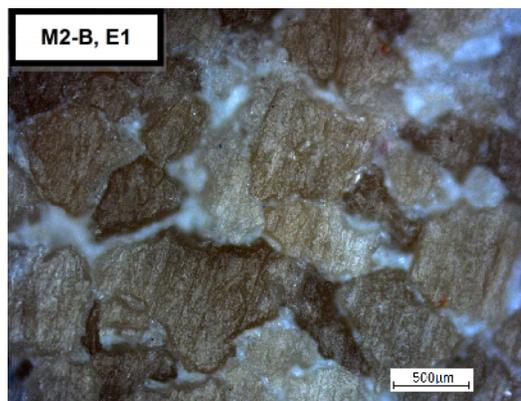


**Fig. 1.** Imagen correspondiente a la muestra dos estrato uno. Con una amplificación de 50x.

En la Figura 2 se puede apreciar un tamaño de grano irregular entre 200  $\mu\text{m}$  y 700  $\mu\text{m}$  aproximadamente con tonalidades café claro y café oscuro que corresponden a óxidos de hierro y las grietas blancas corresponden a la presencia de calcio y magnesio.

En la Figura 3, se presenta las micrografías que corresponde a la muestra M2-B, E1y M10-B, E4; en la figura 3 a) se muestra un vista general, en la cual se aprecia una superficie irregular, conformada por

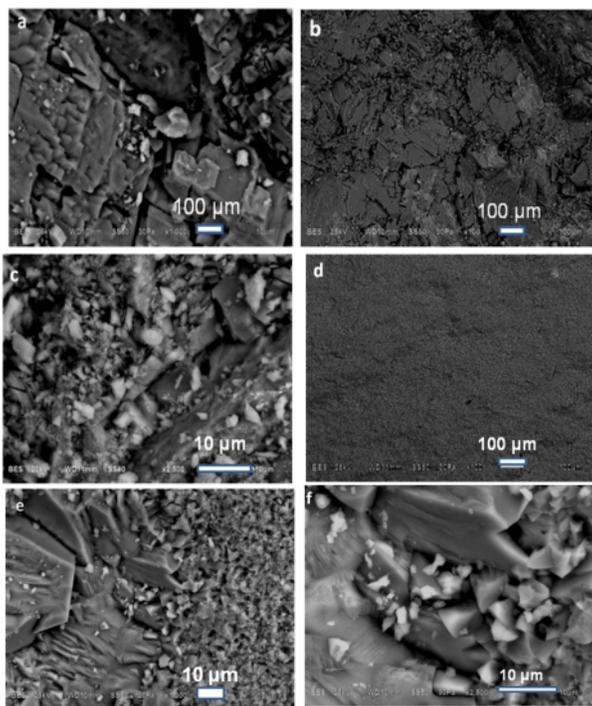
estructuras laminares cuyo tamaño varía entre 150  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ , sobre ella se observan partículas del orden de 1.0  $\mu\text{m}$ . En las figuras 3 b) y c) se tiene mayor amplificación, lo que permite apreciar con mayor detalle la morfología y el tamaño de ella, en la figura 3 b) se observa una región constituida por una zona en la que se distingue una superficie rugosa, por otro lado en la parte derecha se observan formas rectangulares con una superficie lisa y partículas del orden de 0.5  $\mu\text{m}$ ; en tanto que en la figura 3 c) se distinguen partículas con formas irregulares que tienen un tamaño promedio de 0.1  $\mu\text{m}$ .



**Fig. 2.** Imagen correspondiente a la muestra dos estrato uno. Con una amplificación de 50x.

La Figura 3 d, e y f, pertenece a la muestra M10-B, E4; en la figura 3 d) se muestra un vista general, donde se observa una morfología no homogénea. En las figuras 3 e) y f) se presenta una imagen a mayor amplificación, lo que permite observar una morfología más detallada, en la figura 3 d) se aprecia una superficie rugosa compacta, en la figura 3 e) se observa una forma indefinida y no homogénea, en la parte derecha se observa un tamaño de grano de 5.0  $\mu\text{m}$ , en la parte izquierda se aprecia una morfología alargada irregular con un tamaño que varía entre 8.0  $\mu\text{m}$  y 33  $\mu\text{m}$  de longitud y 23  $\mu\text{m}$  de ancho con partículas incrustadas del orden de 0.1 a 1.0  $\mu\text{m}$  aproximadamente. En la figura 3 f) se tiene una vista general en la que se puede observar estructuras irregulares, compactas y rugosas, en la parte superior al

centro se aprecia un rectángulo astillado que tiene dimensiones  $10\mu\text{m}$  de longitud por  $25\mu\text{m}$  de anchura con una superficie rugosa, en la parte izquierda se observa una superficie rugosa y en la parte centrada hacia la derecha se presentan formas triangulares con un tamaño entre  $2.0\mu\text{m}$  y  $6.0\mu\text{m}$  aproximadamente.



**Fig. 3.** Pertenece a la muestra M2-B, E1 y M10-B, E4. En a) se aprecia estructuras laminares que varían de  $150\mu\text{m}$  a  $20\mu\text{m}$ , en b) se distinguen formas rectangulares de diferente tamaño, en c) se muestran partículas irregulares de  $0.1\mu\text{m}$  aproximadamente. La Figura d, e) y f) corresponde a la muestra M10-B, E4, en d) se aprecia una superficie irregular rugosa, en e) se distingue formas irregulares que van de  $8.0\mu\text{m}$  a  $33\mu\text{m}$  de longitud y  $23\mu\text{m}$  aproximadamente, en f) se observa diferentes formas y tamaños, así como estructuras compactas rugosas del tamaño de  $2.0\mu\text{m}$  a  $6.0\mu\text{m}$ .

El análisis elemental permitió identificar que la muestra está constituida en mayor proporción por oxígeno con 49%, calcio 37%, carbono 14%, en menor proporción se encuentra el magnesio y silicio con un 0.5 %, como se muestra en la Tabla 1.

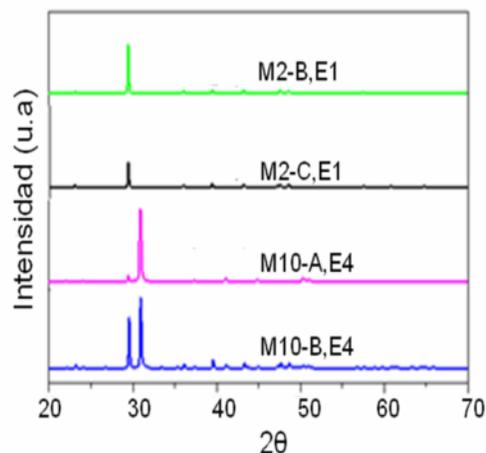
En la Figura 4 se presentan los difractogramas de rayos X que pertenecen a las muestras M2-B, E1; M3-C, E1;

correspondiente al estrato uno donde se puede observar dos fases presentes que corresponden a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] con un sistema cristalino romboédrico, estando en mayor proporción a lo largo de todo el estrato la dolomita (pico más intenso) y en menor proporción la calcita (pico menos intenso) y las muestras M10-A, E4; M10-B, E4; corresponden al estrato cuatro donde se aprecia los picos característicos de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) con un sistema cristalino romboédrico, siendo la única fase presente a lo largo de estas muestras [10, 11].

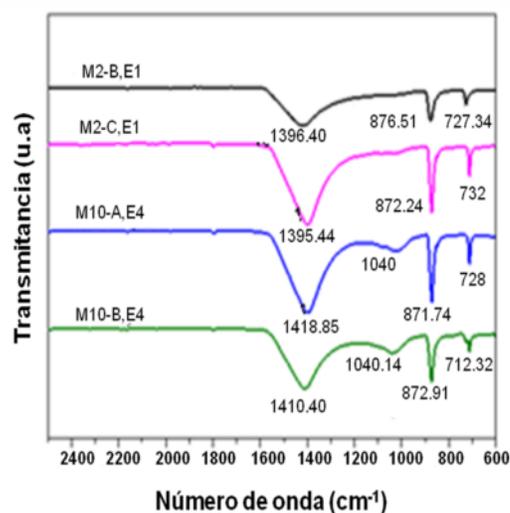
**Tabla 1.** Porcentajes en peso de elementos correspondiente al estrato uno y cuatro.

Elemento M2-B, E1	% peso	Elementos M10-B, E4	% peso
O	39	O	49
Fe	20	Ca	37
Ca	18	C	14
C	14	Mg	0.5
Mg	5	Si	0.5
Cr	3		
Si	1		

En la figura 5 se presentan los espectros IR que corresponden a las muestras M2-B, E1; M2-C, E1; M10-A, E4; M10-B, E4; en donde las bandas de absorción que aparecen en  $1410.40\text{cm}^{-1}$ ,  $1418.85\text{cm}^{-1}$ ,  $1395.44\text{cm}^{-1}$ ,  $1396$ , corresponden a vibraciones de estiramiento de los grupos C-O, así como las bandas  $872.91\text{cm}^{-1}$ ,  $876.51\text{cm}^{-1}$ ,  $871.74\text{cm}^{-1}$  y  $872.24\text{cm}^{-1}$ , se le asignan a vibraciones fuera del plano de los grupos C-O así como las bandas en  $719.94\text{cm}^{-1}$ ,  $727.34\text{cm}^{-1}$ ,  $712.32\text{cm}^{-1}$  y  $712.20\text{cm}^{-1}$ , pertenece a vibraciones en el plano de los grupos C-O. Las bandas características que aparecen en  $1040.14\text{cm}^{-1}$ ,  $1040\text{cm}^{-1}$  y  $728\text{cm}^{-1}$ ,  $732\text{cm}^{-1}$ ; corresponden a la presencia de dolomita [12, 13, 14, 15, 16].



**Fig. 4.** Difractogramas de rayos X de las muestras M2-B, E1; M2-C, E1; M10-A, E4; M10-B, E4 correspondiente al estrato uno-cuatro.



**Fig. 5.** Espectros IR correspondientes a las muestras M2-B, E1; M2-C, E1; del estrato uno y M10-A, E4; M10-B, E4 del estrato cuatro.

## CONCLUSIÓN

El análisis que se llevo a cabo a la cantera Café Tabaco mediante distintas técnicas de caracterización, nos permite confirmar la morfología correspondiente a los carbonatos. La primera corresponde a la calcita con formas granulares no homogéneas y la segunda concierne a la dolomita con laminas de forma rectangular compactas.

El oxígeno, carbono y calcio, están presentes en los siete estratos en diferente proporción.

Los elementos que aparecen en los estratos son los responsables de darle la coloración al material, se le atañen principalmente tonalidades café claro - oscuras, rojas y anaranjadas.

El material está compuesto por dos fases cristalinas correspondiente a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] que cristalizan en un sistema romboédrico, estando presente en los siete estratos la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y hallándose la dolomita solo en el estrato uno (M2-B,E1).

Las características que tiene el material permiten darle un valor agregado, así como facilitar su exportación.

Según sus características este mármol puede ser utilizado para fines esculturales y decorativos.

## REFERENCIAS

- [1] Ramirez E., Sanchez D., Rivera E. (2006) *Informe Geológico Minero y Geoquímico Coatzingo*, Puebla. pp. 10- 80.
- [2] Zarate J., Sanchez D., Rivera E. (2006) *Informe Geológico Minero y Geoquímico Molcaxac*, Puebla. pp. 20-100.
- [3] Nassrallah N., Boughriet A., Laureyns J., Aboukais A., Fischer J., Langelin H., Wartel M. (1988) "Transformation of Vaterite into Cubic Calcite in the Presence of Copper (II) Species". *J. Min. Sci.* 10, 238-245.
- [4] Paul F., Kerr D. (1965) *Mineralogía Óptica*, 3ª Edición. Ed. Mc Graw-Hill,
- [5] Douglas A., James J. (1994) *Análisis Instrumental*, 4ª Edición, México, Ed. Mc Graw-Hill.
- [6] Nakamoto K. (1997) *Infrared and raman spectra of inorganic materials*, 5<sup>th</sup> Edition, New York, John Wiley & Sons.
- [7] Nishino Y., Oaki Y., and Imai H. (2009) "Magnesium-Mediated Nanocrystalline Mosaics of Calcite". *J. Cryst. Mat.* 9: 223-227.
- [8] Pokrovsky O., Mielczarski A., Barres O., Schott J. (2000) "Surface Speciation Models of Calcite and

- Dolomite/ Aqueous Solution Interfaces and Their Spectroscopic Evaluation”. *J. Surph. Scie.* 16, 2677-2682.
- [9] Ince D., Johnston C., Moudgil B., (1991) “Fourier Transform Infrared Spectroscopic Study of Adsorption of Oleic Acid-Oleate on Surfaces of Apatite and Dolomite”. *Mat. Eng.* 7, 1453-1460.
- [10] Gaviría J, Quattrini D., Fouga G., Bohé A., Pasquevich D., (2003) “Estudio Cinético de la Descomposición del Carbonato de Calcio”, *RLMM.* 9, 30-36.
- [11] Thomson W., Helling K., Rodriquez R. (1988) “DXRD Studies of Oil Shale Mineral Reactions”. *J. Min.* 2, 9-13.
- [12] Miyata S. (1983) “Clays Clay Miner”, *J. Min.* 31, 305-310.
- [13] Buerger M. (1942) *X-Ray Crystallography*, Ed. John Wiley & Sons Inc, pp. 148-250.
- [14] Marc F., MacDonald J., Feng J., Brian L., Ehm L., Tarabrella C., John B., Reeder R. (2008) “Structural Characteristics of Synthetic Amorphous Calcium Carbonate”. *Int. J. Ceramics.* 20, 4720-4728.
- [15] Miguel C., *Materiales Avanzados*, (2009) John Wiley, pp. 133, 263.
- [16] Douglas S., Holler J., Nieman T. (1998) *Principles of Instrumental Analysis*, Pearson, 5<sup>a</sup> Edition.