

Estudio y caracterización de pedernal del Municipio de Tepalcingo Morelos, México

Naranjo Castañeda Felix Antonio^{1,3*}, Chávez Martínez Margarita¹, Holguín Quiñones Saúl¹, Martínez Jiménez Anatolio², Palacios Grijalva Laura Nadxieli³, Salcedo Luna María Cecilia⁴

¹ UAM-Azcapotzalco, Área. Química, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, CDMX, C.P. 02200, México.

² UAM-Azcapotzalco, Área. Física Atómica Molecular Aplicada, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, CDMX, C.P. 02200, México.

³ ITTLA, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Instituto Tecnológico S/N, La Comunidad, Tlalnepantla de Baz, C.P. 054070, México.

⁴ UNAM, Facultad de Química, USAII, Lab. Rayos-X de polvos, CU, Coyoacán, CDMX, C.P. 04510, México.

*Autor para correspondencia: flexingambient@hotmail.com

Recibido:

30/mayo/2018

Aceptado:

3/septiembre/2018

Palabras clave:

Pedernal,
Tepalcingo,
 α -SiO₂

Keywords:

Pedernal,
Tepalcingo,
 α -SiO₂

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realizó un estudio y caracterización de pedernal proveniente del cerrito la Bolita, localizado en el Municipio de Tepalcingo Estado de Morelos, México. Por Difracción de Rayos-X de polvos (DRX), se determinó la fase mineralógica alfa cuarzo. Por Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), se obtuvieron los siguientes elementos: Carbono, Oxígeno y Silicio como elementos principales, registrándose los siguientes porcentajes en peso: 11.42, 56.59 y 31.48, respectivamente. Los compuestos químicos encontrados fueron CaCO₃, Al₂O₃ y SiO₂. La morfología de los cristales fue determinada por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con forma pseudopoligonal y tamaño de cristalito de 100 μ m. Por último, la Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) muestra la forma superficial plana y tridimensional de la zona accidentada en el barrido. Se encontró una superficie cuasi plana granular con granos en su superficie. A partir de estos estudios se logró caracterizarlo como mineral de cuarzo color blanco α -SiO₂.

ABSTRACT

In the present research work, a study and characterization of pedernal was carried out from the little hill the la Bolita located in the Municipality of Tepalcingo, Morelos, Mexico. By last X-ray powder diffraction (XRD) the α -cuarzo mineralogical phase was determined. By Dispersive Energy Spectroscopy (EDS), The following elements were obtained, such as: Carbon, Oxygen and Silicon and the following percentages by weight 11.42, 56.59 y 31.48 respectively. The chemical compounds found were CaCO₃, Al₂O₃ y SiO₂. The morphology of the crystals was determined by Scanning Electron Microscopy (SEM), with pseudopolygonal shape and crystallite size of 100 μ m. This material was also characterized by Atomic Force Microscopy (AFM) shows the flat and three-dimensional surface shape of the rugged area in the sweep. A granular quasi-flat surface with grains was found on its surface. From these studies it was possible to characterize it as white quartz mineral α -SiO₂.

Introducción

En el Estado de Morelos, la selva baja es el tipo de vegetación dominante y actualmente sólo se conserva en una fracción ubicada en la sierra de Huautla, al sureste del estado, con una composición y fisonomía muy variadas. En el año 2009 fue decretada Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla con una superficie de 59 031 ha (SEMARNAP, 2000).

Tepalcingo municipio del Estado de Morelos, México., tiene una superficie de 349.7 km², limita al norte con la Ciudad de México y el Estado de México, al este y sureste con Guerrero, Oeste y suroeste con Puebla. El mapa de la figura 1 fue tomado del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED, 2012). Tiene zonas accidentadas que abarcan el 50% del territorio, además de tener áreas montañosas. En la colonia Buenos Aires, hay un cerrito llamado la Bolita. En diciembre de 2017, nuestro grupo de investigación realizó un muestreo a cielo abierto de rocas localizado en el paralelo 18° 36' de latitud norte y 98° 51' de longitud oeste al meridiano de Greenwich. Tiene un clima cálido-subhúmedo, registra una temperatura media de 36°C, con lluvias en los meses de junio a octubre a una altura de 943 msnm.



Figura 1. Tepalcingo Morelos México.

La zona de estudio es una región rural, hay crecimiento y formación de pastizales, pertenece a la selva baja caducifolia, se realiza la extracción forestal principalmente

de leña, resinas y cortezas que en gran medida son para autoconsumo. Sus cultivos principales son maíz, frijol y cebolla con base a estudios de la comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP-SEMARNAT, 2004). En el cerrito La Bolita se encuentran rocas de diversas formas y tamaños. Una roca en particular los habitantes del sitio la conocen como piedra del pedernal, Las piedras se formaron por cambios en espacio y tiempo por la acumulación de fragmentos inorgánicos y agregados minerales, que fueron transportadas por la acción del agua y el viento. En general, la zona presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas; fisiográficamente Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010).

Una roca es un agregado natural de uno o más minerales. Es un material formado como consecuencia de un proceso geológico como volcanes, sedimentación, transformaciones de otras rocas, etc. Un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza, de composición química definida y composición atómica ordenada. Una roca es una masa cohesiva y sólida de un mineral puro o un agregado de dos o más minerales (Klein, Cornelius y Hurlbut, 1991).

El pedernal de Tepalcingo. Proviene de la raíz náhuatl: tekpa-tl: "pedernal", tzintli: "salva honor", tzinco: "parte trasera de un individuo", por lo que finalmente quiere decir: tekpatzinko: "abajo o de tras de los pedernales"(INAFED, 2012).

El pedernal está formado por micro cristales equidimensionales de cuarzo de forma sin facetas es decir granos minerales que no muestran ningún desarrollo de forma cristalina, y de *calcedonia* consistente en una variedad criptocristalina del cuarzo, pertenece al grupo de los óxidos, con fórmula SiO₂ (Johnson, 1976).

Los silicatos es un grupo mineral muy importante, porque incluye gran parte de los minerales formadores de rocas. El criterio de clasificación de los minerales es la disposición espacial de los tetraedros de su estructura cristalina. El cuarzo es el mineral más abundante en la naturaleza. Tanto el color como el brillo varían según la variedad. En cuanto al color puede ser: incoloro, rosa, violeta, amarillo, pardo-negruzco. El brillo más característico es vítreo, pero puede presentar otros como adamantino, mate, etc. Es un mineral muy duro, en cuanto a la morfología, puede aparecer de forma masiva o bien como ejemplares bien cristalizados, de hábitos variados, destacando los prismas hexagonales combinados con bipirámides y/o romboedros (Sánchez, 2016).

El cuarzo se formó a presión y temperaturas muy elevadas. Este material presenta las siguientes propiedades: dureza siete, peso específico 2665 Kg/m³, incoloro o colorado. Brillo: vitrio, grasoso y oleoso. Es transparente, vertical ministrada, opaco o amarillento, tres ejes de simetría polar con vibración u orientación. Es ópticamente activo ya que ha de girar por el plano de polarización y forma fosforilación de cristales (Sagrado, 1974).

El cuarzo blanco o cristal de roca es una variedad de cuarzo transparente, blanca o incolora. Está compuesto por dióxido de silicio, el mineral más abundante de la corteza terrestre después de los feldspatos. Su nombre proviene de la palabra alemana “quartz” y del griego “krystallos”. El cuarzo presenta piezoelectricidad convirtiendo la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. Presenta estado cristalino en forma de cristales prismáticos visibles, y en forma criptocristalina formando cristales microscópicos (Vives de la Cortada, 2018).

Las actividades de ganadería y recolección de cultivos generan contaminación ambiental, una de las causas es porque en cierta temporada seca del año los miembros de la población practican la quema de los pastizales ocasionando diversos daños a la biodiversidad y al medio ambiente principalmente a la reserva de la Biosfera de Huautla Morelos.

Una posible solución al problema es utilizar las rocas de cuarzo blanco o rocas tipo pedernal como retenedores de humedad que son soporte base para el diseño de jardinería o traspatios campesinos útiles para la reserva y cuidado de estos espacios.

Para conocer la mineralogía, textura y granulometría, es necesario analizar la muestra. El objetivo de este trabajo de investigación es realizar el estudio y la caracterización de roca o piedra tipo pedernal. Para ello se emplearon diversas técnicas, tales como: el estudio de Difracción de Rayos-X de polvos (DRX), para determinar el contenido de fases mineralógicas, con la base de datos del international Centre for Diffraction Data-Powder Diffraction File 2018 (ICDD-PDF, 2018) e identificarlas en la muestra. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para determinar las características morfológicas de la muestra. Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS) para determinar los elementos químicos y, por último, Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) para observar la morfología superficial de la muestra a una escala nanométrica. Con todos estos estudios se logró caracterizar y determinar el cuarzo blanco.

Metodología

En la expedición hacia Tepalcingo se realizó un muestreo de rocas y minerales de este lugar, a cielo abierto a 100 m². Se encontraron y recolectaron muestras de cuarzo, pedernal y diversas variedades de rocas. Estas rocas son una representación abiótica característica del lugar. En la figura 2 se observa a la roca de color beige en los extremos superficiales y algunos bordes de color blanco y en el centro color café. Tacto grasiento brillante. Sus dimensiones (4.3x5.0x3.9) cm. La figura 3 muestra los minerales extraídos de la roca.



Figura 2. Roca de muestreo.



Figura 3. Minerales representativos de la roca.

Los minerales que se muestran en la figura 2, provienen sólo de una roca, la cual fue limpiada con una fresadora marca DREMEL modelo MM30, se trituro con martillo y un soporte metálico y cubierto para evitar pérdida de la muestra. Se molió en un micromolino bullet marca BEL ART CIENCIA WARE, durante un minuto. Luego, la muestra obtenida de la molienda se pasó por tamices marca FIICSA por las mallas # 50, 100, 325 y 400. Con sus diámetros de malla (300, 150, 48 y 38) μm respectivamente. Posteriormente, las muestras separadas fueron pesadas en una balanza analítica marca OHAUS PIONEER con 0.0001 gramos de precisión y capacidad máxima de 200 gr. Se realizó una granulometría utilizando un microscopio óptico marca Carl Zeiss, modelo K7M1142 para evaluar la proporción granular de los diferentes tamaños de partículas. La muestra elegida para los análisis espectrales que caracterizaran a la piedra fue de la malla número 325.

Los estudios de Difracción de Rayos-X de polvos, se utilizó un difractómetro BRUKER, D8 Advance Da Vinci. La radiación fue $\text{CuK}\alpha_1$ con $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$, con detector Lynx Eye.

Para los estudios de Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se realizaron con un equipo marca SUPRA 55 PV, Carl Zeiss. La resolución fue de 1000 a 3000X aumentos. El estudio

de Microscopia de Fuerza Atómica se realizó con un equipo Digital Instruments BRUKER, con una resolución menor a un nm.

Resultados y discusión

Granulometría

El peso total de la muestra de molida fue de 82.8804 gr. Cada fracción separada en los tamices fue pesada para obtener el porcentaje en peso retenido (%PR). La tabla 1 muestra el No. de malla, el tamaño de partícula, el peso en gramos y el %PR en los tamices.

Tabla 1. Porcentaje en peso retenido en las mallas.

Número de malla	Tamaño de partícula (µm)	Peso (g)	% Peso retenido
50	300	55.0652	66.44
100	150	21.1507	25.52
325	48	6.5733	7.93
400	38	0.0912	0.11

La figura 4 muestra curva granulométrica, la cual permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano y diámetros de las partículas.

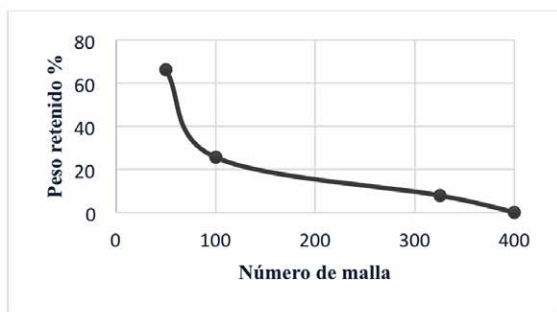


Figura 4. Granulometría de la roca.

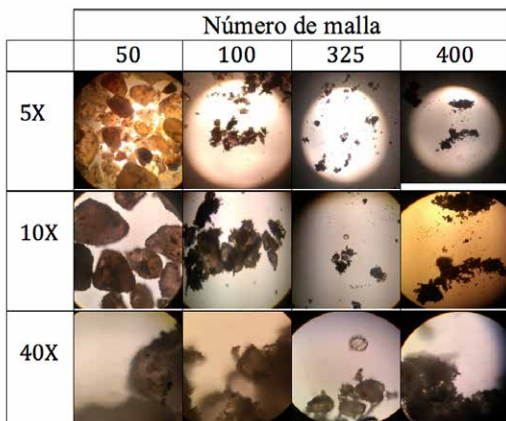


Figura 5. Aumento de la cristalinidad por las mallas.

Se aprecia el aumento de la cristalinidad en la figura 5, las muestras captadas por el microscopio óptico Carl Zeiss, por diferentes objetivos 5 a 40X de aumento. Los tamaños de partícula más pequeños muestran cristalitas. Por ello se elige el polvo de la muestra que haya pasado por la malla número 325. En la tabla 2 se muestra los resultados encontrados en la figura anterior.

Tabla 2. Resultados de la observación con el microscopio óptico en las mallas 50.

Colores observados	Mineral posible observado	Fórmula química
Blancos	Cuarzo, Caolín	SiO_2 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Incoloros, transparentes	Feldespato	$\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Incoloros o colores claros	Micas	$\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})\text{Al}_4\text{K}_2$
Rojos	Minerales con hierro Hematita, Limonita, Ilmenita Siderita, Magnetita Pirita	Fe_2O_3 $\text{FeO}(\text{OH})$ FeTiO_3 FeCO_3 Fe_3O_4 FeS_2

La importancia de la granulometría, es el grano selección o grano clasificación. En mineralogía la clasificación de tamaños de partícula puede diferenciarse muy bien al observarlos con un microscopio óptico. Aquí la gráfica de la figura 4 exhibe una curva grano decreciente, esto es, el porcentaje retenido o cantidad retenida de tamaño de partícula de 38 µm fue menor.

Difracción de Rayos X (DRX) de polvos

El difractograma mostrado en la figura 6.

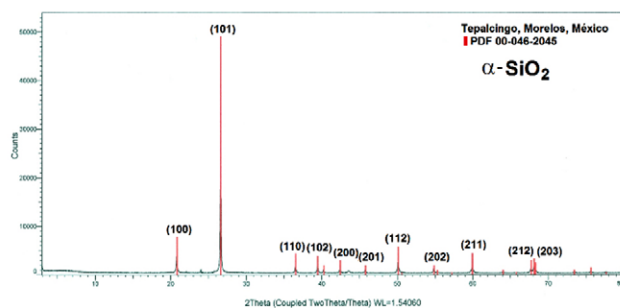


Figura 6. Difractograma de cuarzo blanco.

Presenta la fase mineralógica de cuarzo blanco que resulto estar presente en la roca. Los datos fueron cotejados con la base de datos del International Centre for Diffraction Data y los Power Diffraction File (ICDD-PDF, 2013).

Este mineral se clasifica como silicato, por lo que las señales de difracción son a ángulos altos; lo que evidentemente se observa en el difragtograma obtenido (Crystal Structure Source, 1954).

Los valores de los ángulos de incidencia, distancias Inter planares, intensidades y *hkl* se presentan en la tabla 3. Las tres señales más intensas para cada mineral están en negritas.

Tabla 3. Datos de difracción por Rayos-X del mineral α -SiO₂ experimentales.

Cuarzo blanco			
2θ (°)	d (Å)	I	hkl
20.85	4.25	16	100
26.63	3.34	100	101
36.54	2.45	9	110
39.46	2.28	8	102
40.29	2.23	4	111
42.44	2.13	6	200
45.79	1.98	4	201
50.14	1.81	13	112
50.62	1.80	<1	003
54.87	1.67	4	202
55.32	1.66	2	103
57.23	1.60	<1	210
59.95	1.54	9	211
64.03	1.45	2	113
65.78	1.41	<1	300
67.74	1.38	6	212
68.14	1.37	7	203
68.31	1.37	5	301
73.46	1.28	2	104
75.65	1.25	3	302
77.67	1.22	1	220
79.88	1.20	2	213

La tabla 4 muestra los datos cristalográficos.

Tabla 4. Datos cristalográficos del α -SiO₂.

Cuarzo α -SiO ₂ ICDD-PDF 00-046-1045
PM=60.08 Si _{46.74} O _{53.26}
%Atómico= O _{66.67} Si _{33.33}
hexagonal
P41212 (92)
a= 4.913Å, b: 4.913Å, c: 5.405Å $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Z: 4 Vol. 113.01Å ³
D _x 2.649 g/cm ³ , Color: Blanco
Grupo espacial: p3221 (154) Crystal data Axial ratio c/a. 1.1 a/b:1 c/b:1.1 5G simetría de operación

Por la forma estructural cristalina en proyeccion c y b, mostrado en la figura 7 se deduce que en el llamado cuarzo (pedernal) proveniente del Municipio de Tepalcingo Morelos, México, es α -SiO₂ es Hexagonal con geometria trigonal con los dos oxígenos que enlazan con el elemento principal silicio, obsérvese que forman anillos de tipo ditrigonal.

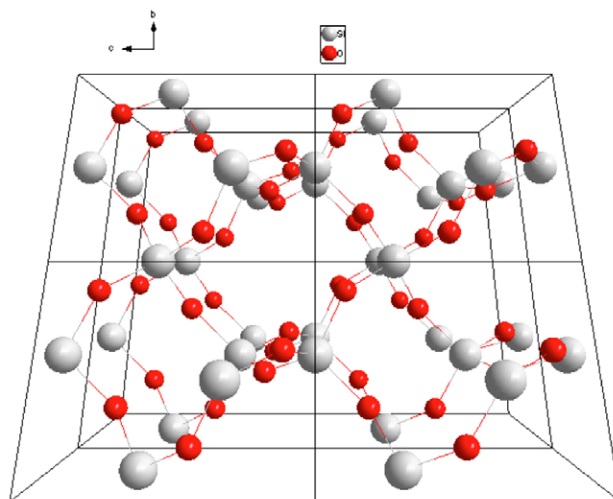


Figura 7. Estructura cristalina de cuarzo.

Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La figura 8 muestra las micrografías (MEB) de la roca analizada; en (a) se exhibe una placa con morfología plana multitud de granos aislado en su superficie, visto a 200X de aumentos. En los incisos (b) y (c) es el mismo campo capturado con un acercamiento de 1000X y 3000X de magnificencia respectivamente. La placa es lisa y los granos son de diferentes tamaños y con forma poliangular. Este estudio permitió determinar las características microestructurales como topografía, morfología y tamaño de partícula.

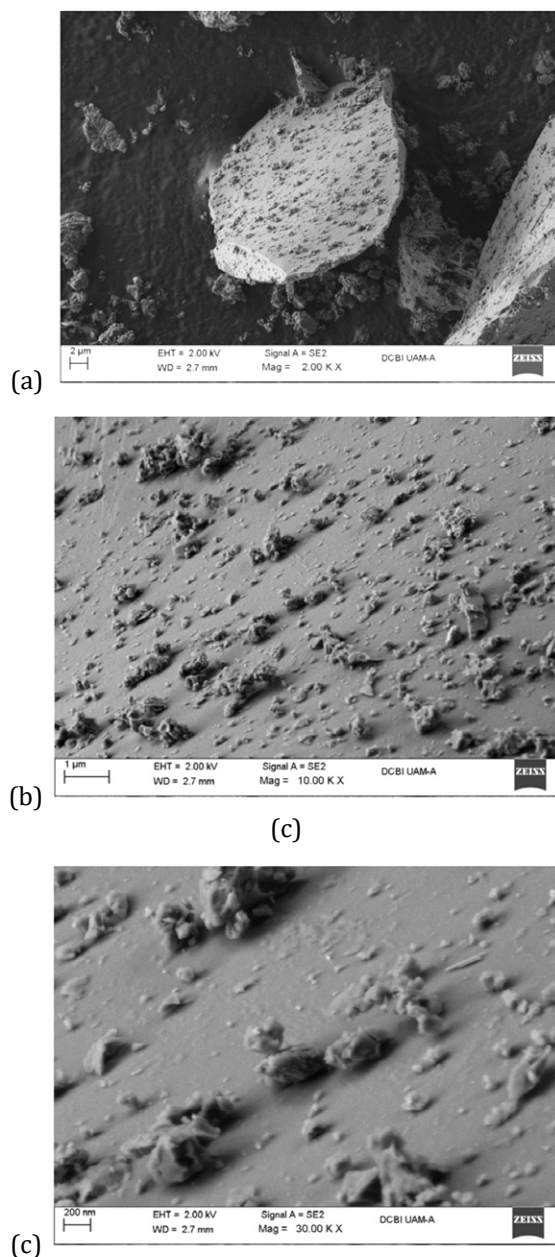


Figura 8. Micrografía de la roca en magnificencia de (a) 200, (b) 1000 y (c) 3000 X.

Las imágenes muestran las resoluciones de (a) en 2 μm , (b) en 5 μm y (c) en 200 nm por emisión de campo. La forma del grano aislado es pseudopoligonal, ya que muestra caras casi planas conectadas por líneas rectas pero carentes de vértices. En la superficie de este grano están adheridas otras partículas o granos de menor tamaño. Al fondo se pueden observar otros granos de formas y tamaños diferentes. Como no son conglomerados de tamaño uniforme, ni granos del mismo tamaño y forma, se podría asumir que la composición es heterogénea.

Espectrometría de Energía Dispersiva (EDS)

Durante el procesamiento del espectro, se analizaron cuatro elementos con sus posibles enlaces identificados, tales como: C-CaCO₃, O-SiO₂, Al-Al₂O₃, Fe-Fe bajo el estándar, 1-Jun-1999 12:00 am. En la figura 9 se observa el espectro EDS, el campo electrónico y su micrografía. Las señales más intensas fueron para silicio, oxígeno; otras señales menos intensas mostraron la presencia de carbono, hierro y aluminio. Esto llevo a predecir la posible existencia de carbonatos, cuarzo, óxidos de aluminio y hierro (Kerna, 1993).

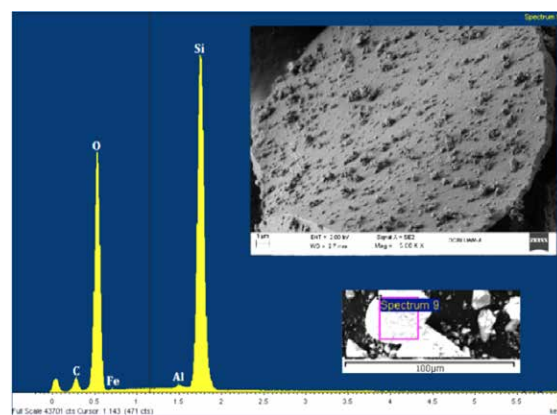


Figura 9. TEM y EDS elementos químicos determinados C, Ca, O, Si, Al y Fe.

La región especificada de incidencia electrónica en el Spectrum 9, La zona corresponde a la del recuadro de color magenta indica que el fragmento sobre el que se realizó el análisis de composición química elemental, sobre una superficie cuasi plana con granos poliangulares en su espacio con una resolución de 100 μm . Los valores pueden mostrarse en combinación con oxígeno y silicio como elementos químicos puros.

Por consiguiente, los minerales pesados emiten más electrones retro dispersados que los ligeros, de modo que los detectores captan mucha más intensidad y, por tanto, transmiten a la pantalla una imagen brillante. Por otra

parte, la intensidad de los rayos X producidos por cada elemento depende de la cantidad del mismo que haya en la muestra, de modo que el espectro en energía de los rayos X emitidos (intensidad versus energía) contiene dos niveles de información: por una parte, al espectro continuo se le superpone el espectro característico, en el que la posición de cada señal indica la energía de una radiación X característica de un elemento; por otra parte, la intensidad de cada señal (o lo que es lo mismo, la altura de la misma), es directamente proporcional a la cantidad de este elemento en la muestra (Melgarejo et al., 2010).

La tabla 5 presenta el microanálisis con porcentajes de peso en masa y masa atómica de los elementos químicos, determinados específicamente en la región 9 mostrada en la figura 9.

Tabla 5. Microanálisis de los elementos encontrados.

Elemento	% Peso	% Atómico
C	11.42	16.92
O	56.59	62.92
Al	0.19	0.12
Si	31.48	19.94
Fe	0.32	0.10
Total	100	100

Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)

Los resultados por AFM se muestran en la figura 10,

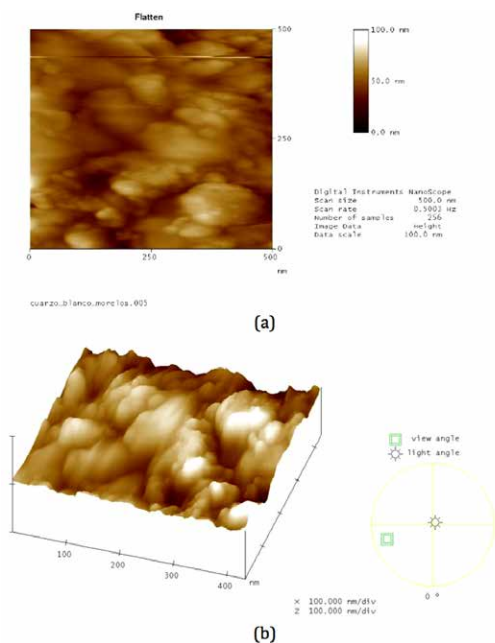


Figura 10. Espectro AFM. (a) Imagen superficial, (b) Imagen Tridimensional.

En el recuadro (a) la imagen cuyo código de colores está escalado a 100 nm en la vertical, permite observar las irregularidades exhibidas por la superficie de la muestra. Las líneas que difieren del resto de la imagen en la parte superior son un indicador de cambios notorios en la morfología en dicha zona, la cual es censada a través del monitoreo de la fuerza aplicada por la punta en el barrido. En general, la morfología superficial del material muestra de manera clara y nítida la formación de gránulos y encima de ellos gránulos más pequeños. En (b) la imagen tridimensional se observa más detalle de los gránulos en cuestión sobre la superficie con zonas accidentadas. Se aumentó el set point o deflexión para resolver adecuadamente la topografía de la superficie, logrando así mejorar la calidad de la imagen.

Conclusiones

El resultado del estudio de caracterización de las rocas minerales de pedernal provenientes del cerrito la Bolita, del Municipio de Tepalcingo estado de Morelos; mostró que se trata de la sílice, SiO_2 en forma de cuarzo alfa, $\alpha\text{-SiO}_2$. es la fase mineralógica, procedente de la roca pedernal, de tipo sedimentaria, compuesto con tetraedros SiO_4 o calcedonia SiO_2 , la cual a veces se encuentra como una mezcla de calcedonia y moganita $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; pero los resultados obtenidos por medio Difracción de Rayos -X, fueron convincentes o decisivos porque sólo mostraron la fase mineralógica cristalina de $\alpha\text{-SiO}_2$.

En tanto, por Espectroscopía de Energía Dispersiva, el análisis elemental obtenido mostró contenido en por ciento atómico $\text{C}=11.42$, $\text{O}=56.59$, $\text{Si}=31.48$, $\text{Al}=0.19$ y $\text{Fe}=0.32$; quienes están presentes en forma de óxidos, tales como, CaCO_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , pero en cantidades mínimas, pues ninguna de las fases cristalinas de carbonato de calcio y alúmina fue encontrada (DRX).

Los resultados por AFM mostraron una forma más detallada de la superficie de las partículas de α -cuarzo. Se distinguen formas irregulares, pero repetitivas de tamaño homogéneo. En tanto la morfología obtenida por (MEB), se observaron granos pseudo poligonales y tamaño de $100\mu\text{m}$.

Este trabajo es de base fundamental para la aplicación del diseño de jardinería. Porque el cuarzo blanco retiene la humedad del agua.

Los resultados obtenidos aquí, servirán para desarrollar un proyecto de investigación llamado "Generación de energía biofotovoltaica en un sistema modular de muro verde", que conformará un proyecto a nivel nacional para

la preservación de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla en el Estado de Morelos, México.

Agradecimientos

A CONACYT México, beca otorgada. No. 706588 a FANC, en el programa de maestría en ciencias de la ingeniería.

A Fernando Almanza Hernández, por los estudios realizados de EDS y MET. En el Laboratorio de Microscopía electrónica de Transmisión de la UAM-Azcapotzalco, México.

Referencias

CONANP-SEMARNAT. (2005). Programa de conservación y manejo de la reserva de la biosfera sierra de Huautla, México.

Crystal Structure Source (1954). LPF. Optica data: Swanson, Fuyat Nate Bur Standard (U.S.) Circ. 539 3,24.

INAFED. (2012). Mapas municipales de México. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Obtenida de: www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia

Klein, Johannes. (1985). Diccionario Rioduero Geología y Mineralogía. España: Biblioteca de Autores. Traductor; José Sagrado. 2da Ed, España.

Klein, Cornelius y Hurlbut, Cornelius S. (1996). Manual de Mineralogía- basado en la obra de J. D. Dana. Vol. 1. 4ª. Ed. España: Reverte.

Mapas.net. (2018). Mapa del municipio de Morelos. Obtenido de: <https://descargarmapas.net/mexico/morelos/mapa-estado-morelos-municipios>

ICDD-PDF. (2013). International Centre for Diffraction Data and Power Diffraction File

Johnson, Thomas C. (1976). Biogenic opal preservation in pelagic sediments of a small area in the Eastern tropical pacific. Geological Society of America Bulletin. Vol. 87 (9): 1273-1282. Obtenido de: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<1273:BOPIPS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<1273:BOPIPS>2.0.CO;2)

Kern a., Eysel W. (1993). Mineralogische-Petrogrph, Inst. Heidelberg, ICDD Grant.in-Aid, Alemannia.

Melgarejo, Joan Carles; Proenza, Joaquin; Gali, Salvador y Llovet, Xavier. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 62, 1: 1- 23.

Sánchez Vizcaíno, Jesús. (2016). Guía general para el reconocimiento de rocas y minerales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Caminos Canales y Puertos. Ciudad Real. Obtenido de: <https://jsvsl.wikispaces.com/file/view/GEO+APLICADA.+RECONOCIMIENTO+DE+ROCAS+Y+MINERALES.pdf>

SEMARNAP. (2000). Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Programa de trabajo SEMARNAP, México, D.F.

Vives de la Cortada (2018). Cuarzo blanco. Obtenido de: <https://vivescortadaimport.com/diccionario-minerales/minerales/cuarzo-blanco/index.php>