

Caracterización geoquímica de la obsidiana de la Sierra de los Agustinos, Guanajuato

Ricardo Leonel Cruz Jiménez y Dolores Tenorio Castelleros***

La Sierra de los Agustinos, Guanajuato

Se localiza en el extremo sureste del estado de Guanajuato, justo en el vértice que divide políticamente los municipios de Jerécuaro, Acámbaro y Tarimoro. Por tanto, las ciudades más cercanas e importantes son precisamente las cabeceras de estos mismos municipios. El área total que comprende el macizo montañoso es de 19 246 ha, aproximadamente.

Los Agustinos y su entorno inmediato dominan el paisaje del valle medio del río Lerma; tal situación geográfica, aunada a su altura relativa sobre el Bajío, permite que la cima del Cerro Agustino (20° 13' latitud Norte; 100° 38' longitud Oeste) de 3 110 msnm, pueda ser visible inclusive desde ciudades como Celaya, Apaseo el Alto y Salvatierra. De hecho, el Cerro Agustino es la segunda mayor elevación de todo el estado, solamente superado por el cerro Los Ro-

sillos, localizado en el mismo municipio de Jerécuaro. Otras elevaciones importantes en el macizo de Los Agustinos son El Yesero (3 000 msnm) y el Cerro Prieto (2 680 msnm).

Como una medida de conservación del medio, y para atenuar las enormes carencias económicas y de degradación natural en la región, el 17 de septiembre de 2002 la Sierra de los Agustinos fue declarada Área Natural Protegida dentro de la categoría área de uso sustentable, la cual tiene por objetivo la creación de bienes y servicios que respondan a las necesidades económicas, sociales y culturales de la población. Como meta primordial está la de preservar los recursos naturales a través de un desarrollo integral en todas las comunidades, el aprovechamiento sustentable y la restauración de los ecosistemas originales de la Sierra de los Agustinos. El clima predominante en el macizo de Los Agustinos es templado subhúmedo, con una temperatura promedio anual entre 12° y 20°, con lluvias en verano, un porcentaje de precipitación invernal menor a 5 por ciento de la total anual y el mes más caliente es junio (Mata, 1981: 28).

Geología de la Sierra de los Agustinos

Dentro del ámbito de la geología mexicana, la Sierra de los Agustinos es conocida como el

*Escuela Nacional de Antropología e Historia-INAH/CEMCA.
rlcruz@hotmail.com

** Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
dte@hotmail.com. Agradezco la beca de estudios otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), así como al Centro de Estudios de México y Centroamérica (CEMCA), específicamente al Proyecto Chupicuaro, por el apoyo científico y haber financiado el trabajo de prospección y toma de muestras geológicas en la Sierra de Los Agustinos. Asimismo, al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) por la realización de los análisis químicos por activación neutrónica.

Complejo Volcánico los Agustinos (CVLA), dado que es uno de varios complejos miopliocénicos en la porción central del Cinturón Volcánico Mexicano (Aguirre-Díaz *et al.*, 1998: 123), y se ubica en el sector central de la provincia geológica del Eje Neovolcánico, dentro de la sub-provincia de sierras volcánicas y lagos del centro, que abarca parcialmente los estados de Querétaro, Michoacán y Guanajuato (INEGI, 1984: 23).

El Eje Neovolcánico Transversal (ENT) es un accidente geológico que tiene una dirección Este-Oeste y corre perpendicular, en cierta medida, a la llamada Fosa de América Central. Abarca total o parcialmente los estados de Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Estado de México, Distrito Federal, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Nayarit y Colima.

Desde un punto de vista geomorfológico, Los Agustinos forman un macizo, entendido como un sistema montañoso elevado y estable, con aspecto de una o varias cimas dominantes (Lugo Hubp, 1989: 128). Es una formación volcánica compleja, donde las diferencias altimétricas van desde 1 900 hasta 3 110 m en su cumbre más alta, precisamente el llamado Cerro Agustinos. Un complejo volcánico es una formación geológica que se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas extrusivas, intrusiones relacionadas y productos de meteorización que corresponde a un conjunto de centros de emisión cercanos geográficamente, que denotan la persistencia en el tiempo de actividad volcánica, en un área determinada (<http://www.proteccioncivil.org/vademecum/vdm02511.htm>).

Se trata de una pequeña serranía formada a partir de distintos accidentes geológicos, e incluye varios conos volcánicos, una caldera, domos riolíticos, mesetas ignimbriticas, así como distintas coladas de lava. A partir de análisis geoquímicos y petrográficos se ha podido confirmar que las riolitas

del complejo de Los Agustinos —que incluyen una ignimbrita, distintos domos ácidos y derrames de obsidiana— pueden ser considerados de textura afírica, es decir, que en su mayor parte los minerales no son observables “a ojo” o lupa de mano; las rocas afíricas consisten esencialmente en vidrios o contienen cristales muy pequeños.

Estos mismos estudios de la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra de la UNAM fechan los productos de Los Agustinos en una edad que va de 5 a 12.8 millones de años. También se señala que su posición geográfica es muy interesante para el estudio del Cinturón Volcánico Mexicano, ya que Los Agustinos se ubica en los límites orientales del campo volcánico de Michoacán-Guanajuato y al Oeste del sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende. Esto es en la transición de una subprovincia de origen volcánico a otra de dominio tectónico y volcánico diferente; aunque ciertamente ambas subprovincias son parte del Cinturón Volcánico Mexicano (Aguirre-Díaz *et al.*, 1998: 123). En la Sierra de los Agustinos existe una gran cantidad de



● Fig. 1 Localización de la subprovincia sierras volcánicas y lagos del centro, en el estado de Guanajuato.

fracturas y fallas asociadas al vulcanismo terciario y cuaternario, que se presentan principalmente en el sector sureste del macizo. Lo anterior puede constatarse al observar detenidamente las cartas geológicas del INEGI que incluyen al macizo de Los Agustinos: Cortazar (F14C74), Apaseo el Alto (F14C75), Salvatierra (F14C84) y Presa Solís (F14C85).

Prácticamente en toda la extensión del macizo de Los Agustinos predominan las rocas ígneas extrusivas de carácter ácido (riolitas), seguidas por las extrusivas de carácter básico (basaltos), y en menor medida extrusivas de carácter intermedio (andesitas), además de tobas volcánicas y brechas ubicadas en el Sur y Este de la misma sierra. Entre otros productos sedimentarios destacan rocas areniscas y conglomerados posiblemente relacionadas con la vertiente Norte del río Lerma. Las rocas sedimentarias se localizan al Sur y sureste de Los Agustinos. También es posible encontrar suelos aluviales en el cauce de ríos y afluentes del Lerma, así como de flujos menores como el Tigre o el arroyo Los Agustinos, al igual que en pequeños valles intraserranos.

Se dispone de una enorme variedad de recursos geológicos aprovechables en Los Agustinos, y tanto la obsidiana como el basalto, la riolita, el cinabrio, la calcedonia y el tezontle fueron explotados desde tiempos prehispánicos. Sin embargo, se cuenta también con otros recursos minerales no metálicos como el ópalo, perlita, caolín, pumicita y arena sílica, mismos que son aprovechados actualmente.

Petrografía

Para conocer mejor las características de la obsidiana de este yacimiento se analizó una muestra de obsidiana “meca” procedente de la localidad de Cerro Prieto, dentro del mismo complejo volcánico, mediante la técnica de petrografía. El estudio fue hecho en la ciudad de México por los ingenieros Rosario Peralta Salazar y José Antonio Hernández Godoy.

La muestra analizada es una roca vítrea, jaspeada color negro con rojo, que presenta fractura conoidal; es de textura hialina con estructura fluidal, se observa jaspeado color anaranjado-marrón por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y gohetita-limonita) y está parcialmente desvitrificada. Se le considera entre las rocas hialinas (vitreas) de composición riolítica, y además del vidrio presenta óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y gohetita-limonita) a los que debe su color (Peralta y Hernández, 2005: 4).

Análisis por activación de neutrones

El análisis por activación neutrónica (NAA por las siglas en inglés de *Neutron Activation Analysis*) es un método analítico basado en la medida de la radiactividad producida por la exposición de un material a un flujo constante y unifor-

<i>Mineral</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Características</i>
Vidrio	93%	Vidrio de relieve bajo positivo (composición intermedia), con estructura fluidal, presenta desvitrificación con bandas discontinuas y lentes de color rojo y naranja por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro.
Minerales opacos	7%	Hematita y gohetita-limonita en microcristales y diseminados en el vidrio, dándole a éste una coloración rojo-marrón (hematita) y naranja (gohetita-limonita).

● Fig. 2 Petrografía de una muestra de obsidiana “meca” procedente de la Sierra de Los Agustinos, Guanajuato.



● Fig. 3 Microfotografía tomada con luz paralela y nícoles cruzados (escala gráfica $30\ \mu$).

me de neutrones. Al conocer de antemano las propiedades nucleares, tales como vida media y energía de radiación de los isótopos formados, se pueden diferenciar los elementos químicos presentes en el material (Neff y Glascock, 1995: 275). Por tanto, el análisis por activación es una técnica cuantitativa y cualitativa.

Dentro de la arqueología, la activación neutrónica se ha aplicado a cerámica, pigmentos, vidrio, obsidiana, mármol, monedas y metales en general, óleos, fotografías antiguas, tintas y papel, entre otros muchos materiales. Para este trabajo se analizaron 21 muestras geológicas procedentes de la Sierra de los Agustinos. Cada una de las piezas se sometió a un lavado con Extran al 10 por ciento en agua destilada, dentro de un equipo de baño por ultrasonido Cole-Parmer B3-R, esto con el fin de eliminar cualquier impureza adherida a la superficie de la obsidiana que pudiera alterar los resultados. Al término del lavado y enjuague en agua destilada las piezas se secaron a temperatura ambiente. Cada espécimen fue pulverizado con un mortero eléctrico de ágata (Fritsch-Pulverisette, modelo 501), con lo cual se logró que la obsidiana alcanzara un tamaño de partícula su-

mamente fino y homogéneo (Cruz Jiménez *et al.*, 2002: 353).

El patrón de referencia utilizado en este trabajo es el que ofrece el National Bureau of Standards (NBS), a través de los llamados *Standard Reference Materials* (SRMs). De forma específica, se empleó el SRM 278-*Obsidian Rock*, pues según la experiencia obtenida en trabajos de activación neutrónica en la Universidad de Missouri, resulta ser el más apropiado para la caracterización química de obsidiana (Vogt *et al.*, 1990: 150). La concentración del lantano no está certificada por el NBS en el patrón *Obsidian rock-278*, pero su cuantificación se obtuvo de manera experimental a partir del estándar *Soil-7*, certificado por la International Atomic Energy Agency (Jiménez-Reyes *et al.*, 2001: 468).

En total se determinó la concentración de 12 elementos químicos: Eu, Ce, Lu, Np (U), Pa (Th), Yb, Cs, Sc, Rb, Fe, Co y La. En la tabla siguiente se muestran los valores de las concentraciones de los elementos químicos determinados en las muestras de obsidiana de la Sierra de los Agustinos. Las cantidades están dadas en partes por millón ($\mu\text{g/g}$) excepto en el hierro, donde se expresan en porcentaje.

Elemento	OA1	OA2	OA3	OA4	OA5	OA6	OA7	OA8	OA9	OA10
	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM
Eu	0.13	0.03	0.14	0.32	0.32	0.11	0.16	0.14	0.29	0.21
Ce	51.70	14.98	62.02	57.80	58.53	61.57	63.24	64.39	79.75	72.88
Lu	0.62	0.13	0.69	0.67	0.64	0.64	0.69	0.91	0.80	0.80
Np (U)	3.94	1.12	4.54	3.96	3.50	4.10	5.01	6.25	4.80	5.08
Pa(Th)	13.32	2.81	14.17	7.82	12.23	14.58	14.89	14.84	15.88	15.49
Yb	4.10	0.67	4.20	4.48	4.33	4.44	4.48	4.72	4.98	5.28
Cs	1.54	0.11	2.46	2.39	2.43	2.76	2.59	2.58	2.78	2.40
Sc	2.67	0.50	2.95	3.44	3.33	2.91	2.98	3.18	3.34	3.24
Rb	141.20	38.94	142.65	113.83	105.55	176.36	150.29	146.75	180.63	114.55
Fe (%)	0.55	0.13	0.61	0.74	0.73	0.61	0.62	0.66	0.71	0.85
Co	1.08	0.48	1.00	15.90	1.36	0.91	3.14	1.16	1.03	0.81
La	27.31	3.85	28.23	34.04	31.77	29.05	30.12	29.07	30.40	36.22
			1.14	2.55	1.95	0.58	0.93	0.15	9.85	2.49

Elemento	OA11	OA12	OA13	OA14	OA15	OA16	OA17	OA18	OA19	OA20	OA21
	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM
Eu	0.22	0.04	0.40	0.38	0.15	0.17	0.14	0.14	0.59	0.45	0.17
Ce	61.85	13.45	68.64	66.21	69.45	59.05	69.03	64.39	63.22	67.74	61.57
Lu	0.73	0.09	0.71	0.67	0.76	0.69	0.82	0.91	0.70	0.78	0.69
Np (U)	4.47	0.85	4.94	4.15	5.31	4.61	5.78	6.25	3.77	4.11	4.54
Pa(Th)	14.40	1.25	13.58	12.59	16.90	13.25	16.00	14.84	13.71	14.57	16.00
Yb	4.88	0.30	4.87	4.34	5.15	4.57	5.30	4.72	4.47	4.70	5.15
Cs	2.54	0.15	1.81	2.59	3.61	2.98	3.81	1.53	2.50	3.20	2.60
Sc	2.98	0.38	3.75	3.51	3.41	2.89	3.39	3.18	2.86	2.99	3.18
Rb	124.11	31.39	159.44	128.37	180.74	134.67	144.22	146.75	122.35	134.10	141.20
Fe (%)	0.67	0.06	0.80	0.75	0.70	0.60	0.63	0.66	0.62	0.64	0.61
Co	1.21	0.01	1.15	0.87	0.56	5.02	4.71	1.16	4.14	6.41	5.02
La	33.78	1.41	33.99	32.01	31.91	33.45	30.97	29.07	28.51	31.93	30.12
			3.16	1.82	2.29	9.36	1.02	0.15	1.17	2.01	0.93

● Fig. 4 Caracterización multielemental de 21 muestras de obsidiana procedentes de la Sierra de Los Agustinos, Guanajuato.

Bibliografía

- Aguirre-Díaz, Gerardo; Rufino Lozano-Santacruz, Margarita López Martínez
1998. "Geología y geoquímica del complejo volcánico Los Agustinos, Guanajuato", en *Libro de resúmenes de la Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*, México, Facultad de Ciencias-UNAM.

- Cruz Jiménez, Leonel; Dolores Tenorio y Melania Jiménez Reyes
2002. "Caracterización por ANN de muestras de yacimientos de obsidiana del Golfo de México", en *Ciencia UANL*, vol. 5, núm. 3, pp. 351-356.

- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (<http://www.proteccioncivil.org/vademecum/vdm02511.htm>), página consultada el 15 de agosto de 2006.

- INEGI
1984. *Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del Estado de Guanajuato*, México, INEGI.

- Jiménez-Reyes, Melania *et al.*
2001. "Neutron Activation Analysis of Obsidians from Quarries of the Central Quaternary Trans-Mexican Volcanic Axis", en *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 250, núm. 3, pp. 465-471.

- Lugo Hubp, José
1989. *Diccionario geomorfológico*, México, Instituto de Geografía-Coordinación de Ciencias-UNAM.

- Mata González, Filiberto
1981. "Estudios edáficos de la región centro-norte del municipio de Acámbaro, Estado de Guanajuato", tesis de licenciatura en Biología, México, Facultad de Ciencias-UNAM.

- Neff, Héctor y Michael Glascock
1995. "The State of Nuclear Archaeology in North America", en *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 196, núm. 2, pp. 275-286.

- Peralta, Rosario y Antonio Hernández
2005. "Estudio petrográfico realizado a dos obsidianas", México, informe inédito de laboratorio Petroanálisis.

- Vogt, James *et al.*
1990. "Sources of Error in Trace Element Characterization of Lithic Materials", en *Nuevos enfoques en el estudio de la litica*, María de los Dolores Soto de Arechavaleta (coord.), México, IIA-UNAM, 135-152.

