



Las gemas de México

Juan Carlos Cruz-Ocampo¹, Carles Canet^{2,*}, Darío Peña-García¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México D.F.

² Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México D.F.

*ccanet@geofisica.unam.mx

Resumen

México posee diversos yacimientos célebres por proporcionar cristales altamente valorados como gemas o como ejemplares de colección. Son muchas las especies y variedades minerales y las rocas que, como el jade, la turquesa, la amazonita, la serpentina, el ónice mexicano (o alabastro calizo), el cinabrio, la malaquita, la obsidiana, diversas micas y el ámbar, han sido, en algún momento de la Historia de México, objeto de un aprovechamiento con finalidades ornamentales y ceremoniales. La importancia de los minerales ornamentales para las culturas mesoamericanas se refleja en la riqueza de la lengua náhuatl en términos referentes a minerales y rocas, así como en la abundancia de piezas elaboradas con estos materiales en la gran mayoría de sitios arqueológicos del país. Entre los minerales que logran reunir las cualidades necesarias para ser considerados gemas, el ópalo, el ámbar, la fluorapatita, el topacio y la danburita son cinco de las más emblemáticas y apreciadas en México. De ellas, en la actualidad, únicamente el ópalo y el ámbar son objeto de una explotación regular orientada a su aprovechamiento como gemas, mientras que el topacio se explota de manera ocasional. La danburita y la fluorapatita se presentan principalmente como minerales de ganga en yacimientos metalíferos, si bien al ser apreciadas por los coleccionistas son asimismo comercializadas a pequeña escala.

Palabras clave: gemas, lapidaria, ópalo, ámbar, fluorapatita, topacio, danburita, México.

Abstract

Several mineral localities in Mexico are well known for being sources of fine gems and mineral specimens. In Mexico, numerous minerals and rocks have been profited as ornamental commodities at some time in History, as jade, turquoise, amazonite, serpentine, Mexican onyx (travertine), cinnabar, malachite, obsidian, micas and amber. The importance of ornamental minerals for Mesoamerican civilizations is evidenced by a wide terminology in the Nahuatl language specifically referred to them. In addition, abundant decorative and ceremonial pieces made with ornamental minerals have been found in most archaeological sites in the country.

Five of the most valued and emblematic minerals that achieve the qualities of a gemstone in Mexico are fire opal, amber, topaz, fluorapatite and danburite. Among them, only amber and opal are regularly mined as gemstones at present, and topaz is only occasionally mined. On the other hand, danburite and fluorapatite are gangue minerals of presently mined ore deposits, but they are commercialized on a small scale due to their high esteem by mineral collectors.

Key words: gemstones, lapidary, opal, amber, fluorapatite, topaz, danburite, Mexico.

1. Las gemas en México:

Introducción y perspectiva histórica

El territorio de México cuenta con una gran riqueza mineral y con una larga tradición minera (p.e. González-Reyna, 1956). Tradicionalmente México ha atraído a los coleccionistas de minerales por sus reconocidos yacimientos con bellos ejemplares y por poseer localidades tipo célebres. Bastan como ejemplos de dichas localidades El Boleo, en Santa Rosalía (Baja California Sur), destacado por el descubrimiento de la boleíta $KPb_{26}Ag_9Cu_{24}Cl_{62}(OH)_{48}$, la pseudoboleíta $Pb_5Cu_4Cl_{10}(OH)_8 \cdot 2(H_2O)$ y la cumengita $Pb_{21}Cu_{20}Cl_{42}(OH)_{40}$, la mina de Moctezuma (Sonora), por la moctezumita $Pb(UO_2)(TeO_3)_2$, la quetzalcoatlita $Zn_8Cu_4(TeO_3)_3(OH)_{18}$, y la tlalocita $Cu_{10}Zn_6(TeO_3)(TeO_4)_2Cl(OH)_{25} \cdot 27H_2O$, juntamente con 20 especies minerales más, y la mina de Cosalá (Sinaloa), por la cosalita $Pb_2Bi_2S_5$ (Panczner, 1987; Jolyon e Ida, 2006).

Son muchas las especies y variedades minerales, así como rocas, que por sus cualidades ornamentales han sido en algún momento de la Historia objeto de un aprovechamiento a muy diversa escala a partir de yacimientos mexicanos. Algunas de ellas reúnen las cualidades necesarias para ser consideradas gemas. Entre las más representativas y apreciadas por gemólogos y coleccionistas cabe destacar el ópalo $SiO_2 \cdot nH_2O$, el ámbar (resina fósil, compuesta por sustancias orgánicas), la fluorapatita $Ca_5(PO_4)_3F$, el topacio $Al_2SiO_4(F,OH)_2$, y la danburita $CaB_2(SiO_4)_2$. De ellas, en la actualidad únicamente el ópalo y el ámbar son objeto de una explotación regular y específicamente orientada a su aprovechamiento como gemas, mientras que el topacio se explota ocasionalmente. La danburita y la fluorapatita, en cambio, son esencialmente minerales de ganga de yacimientos metalíferos si bien, al ser apreciadas internacionalmente como minerales de colección, llegan a ser comercializadas a pequeña escala y en ocasiones se venden como piedras talladas y faceteadas (calidad gema).

El interés del hombre por los minerales se remonta a los periodos iniciales de su desarrollo cultural (p.e. Camprubí et al., 2003; Canet y Camprubí, 2006). En México, como en otras partes del mundo, esta fascinación queda evidenciada en muchos vestigios arqueológicos, algunos de los cuales datan del Paleolítico.

La importancia de los minerales ornamentales para las culturas mesoamericanas es indiscutible (p.e. Secretaría del Patrimonio Nacional, 1970), y se refleja en la riqueza de la lengua náhuatl en términos específicos referentes a minerales y rocas. Mucha de esta terminología hace referencia a minerales o variedades minerales ornamentales y gemas, como *izcactehuilotl* (cuarzo), *huitzitziltecpatl* (ópalo), *tlapaltehuilotl* (amatista), *quetzalxoquiyae* (esmeralda), *cuacocoztic* (rubí), *chalchihuitl* (jade) y *teoxihuitl* (turquesa) (Canet y Camprubí, 2006). Los objetos elaborados con minerales ornamentales y gemas tuvieron un papel destacado en las ceremonias sociales y religiosas, y se usaron

como medio de intercambio comercial (Robles-Camacho y Sánchez-Hernández, 2006).

El metal más apreciado para estos usos fue el oro (*teocuitlatl*, en náhuatl), debido a que por su color se relacionaba con las deidades solares (p.e. Canet y Camprubí, 2006). En la fabricación de ornamentos, el oro se solía asociar de forma artesanal a minerales y rocas con o sin lapidar, predominando entre ellos el jade, la turquesa, la amazonita, la serpentina, el cinabrio, la malaquita, la obsidiana, diversas micas, el ónice mexicano (o alabastro calizo), la concha de nácar y el ámbar (Canet y Camprubí, 2006; Robles-Camacho y Sánchez-Hernández, 2006; Sánchez-Hernández y Robles-Camacho, 2006). Entre estos materiales, el jade, que procedía esencialmente de los yacimientos de Motagua (Guatemala), fue especialmente apreciado y se utilizó con mucha frecuencia. Sin embargo, para los mismos fines, se utilizaron otras rocas y minerales verdes, principalmente rocas ultrabásicas y metamórficas de Tehuizingo (Puebla), Cuicatlán (Oaxaca), La Merced (Veracruz) y La Venta (Tabasco), así como amazonita (O. J. Riveron, 2006, com. pers.). Por otra parte, en la actualidad, el llamado ónice mexicano (o alabastro calizo), frecuentemente se tiñe de verde y se vende bajo la denominación incorrecta de “jade mexicano” (Hurlbut y Kammerling, 1993).

En ocasiones, los trabajos de lapidaria se realizaban con gran detalle y maestría. Es el caso de los cráneos tallados en cristal de roca encontrados en la Península de Yucatán, los cuchillos de pedernal y obsidiana utilizados en sacrificios y en el combate, y las esferas de obsidiana y mármol encontradas en algunas ofrendas en referencia al juego de pelota. Los trabajos de orfebrería alcanzaron un espléndido desarrollo en la cultura Mixteca de Oaxaca (Spores, 1967).

Actualmente, el comercio de minerales y rocas ornamentales y, específicamente, de gemas tiene una indiscutible importancia económica y se realiza a escala mundial. Algunos de los yacimientos mexicanos de gemas son reconocidos por la calidad y las características distintivas de sus ejemplares. Cinco de las gemas más emblemáticas y apreciadas de México, incluidas las de mayor importancia económica actual, así como sus principales yacimientos, se describen en el presente trabajo (Figura 1).

2. Ópalo

El ópalo, en su variedad de calidad gema conocida como *ópalo de fuego*, es característico de diversos yacimientos del estado de Querétaro, obteniéndose principalmente en las minas Iris y Guacamaya del distrito minero de Colón (Figura 1). Además, existen diversas explotaciones menores distribuidas en los municipios de San Juan del Río, Tequisquiapan, Ezequiel Montes y Cadereyta (Coremi, 1992). Otras localidades donde se encuentra ópalo precioso son La Magdalena y Tequila en Jalisco (Figura 1), y

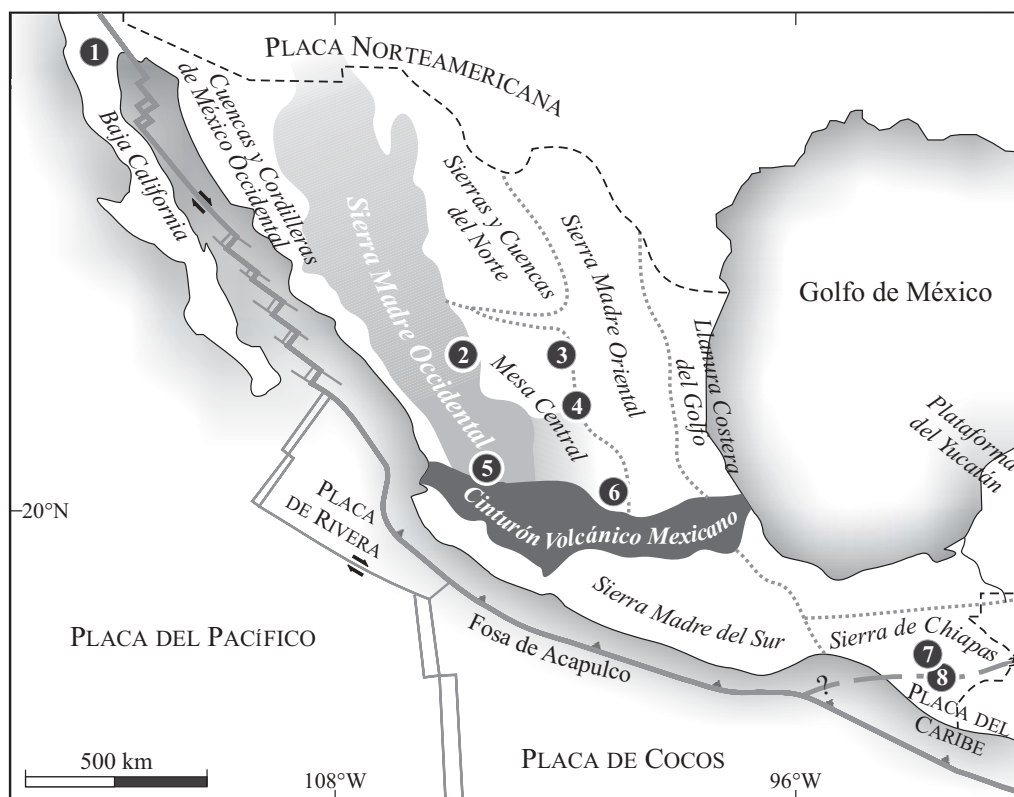


Figura 1. Yacimientos de gemas en México. Se muestran las localidades mencionadas en este trabajo: (1) Mina Verde (Baja California), danburita y elbaíta en una pegmatita de litio; (2) Cerro de Mercado (Durango), fluorapatita en un yacimiento de hierro IOCG; (3) Distrito Minero de Charcas (San Luis Potosí), danburita en un skarn de Ag-Pb-Zn-Cu; (4) El Tepetate (San Luis Potosí), topacio en riolitas ricas en flúor y elementos litófilos; (5) La Magdalena y Tequila (Jalisco), ópalo de fuego, alteración de rocas volcánicas ácidas; (6) Distrito Minero de Colón (Querétaro), ópalo de fuego, alteración de rocas volcánicas ácidas; (7) Simojovel (Chiapas), ámbar; (8) Totolapa (Chiapas), ámbar. Las unidades geológicas y fisiográficas se tomaron de Sedlock *et al.* (1993).

Zimapán en Hidalgo. Aunque los ejemplares de estas localidades no suelen alcanzar la calidad de los que se obtienen en Querétaro, gran cantidad de los ópalos que se venden en dicho estado proceden en realidad de Jalisco.

El ópalo de fuego de Querétaro ya fue utilizado por los aztecas en la elaboración de artículos ornamentales y ceremoniales entre los siglos XIII y XVI. Durante la época colonial los yacimientos de ópalo cayeron en el olvido, hasta que en 1840 Don José María Siurub los redescubrió e inició la explotación moderna de la mina Santa María Iris, en la Hacienda Esmeralda (Foshag, 1953). En 1855 se descubrió el yacimiento que daría lugar a la mina La Carbonera. A principios del siglo XX, las minas fueron trabajadas principalmente por extranjeros, y la actividad extractiva alcanzó su apogeo en 1969, debido a la creciente demanda por parte de los países europeos y Japón.

2.1. Yacimientos y explotación

Actualmente la actividad extractiva es muy reducida y se realiza a pequeña escala (Coremi, 1992). Los principales yacimientos (Iris y Guacamaya, en Querétaro) se explotan

semiartesanalmente y al nivel de gambusinaje, empleando, cuando mucho, dinamita y herramientas neumáticas. Probablemente todavía quedan por explotar muchas zonas potencialmente ricas en ópalo de fuego. Diariamente se obtienen en cada mina uno o dos ejemplares en promedio de tamaño y calidad suficiente para su uso como gemas.

En los yacimientos de Querétaro, el ópalo de fuego se asocia a riolitas terciarias relacionadas genéticamente con el volcanismo félsico de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas son muy ricas en cuarzo y presentan texturas porfídicas con matriz afanítica o vítrea. Constituyen estructuras dómicas, las cuales se hallan intensamente afectadas por fracturas de dirección predominante NO-SE. Dichas fracturas canalizaron preferentemente la circulación de fluidos hidrotermales, hecho por el cual se asocian a ellas abundantes depósitos de ópalo y caolín. Las soluciones hidrotermales redepusieron la sílice de las riolitas en forma de ópalo, rellenando cavidades miarolíticas, vesículas y fracturas (Foote, 1986), y reemplazando parcialmente la roca encajonante (Huspeni *et al.*, 1984). Además, la circulación de fluidos hidrotermales produjo una alteración de las riolitas que consiste en argilización seguida de silicificación y de limonitización.

2.2. Características de la gema

El ópalo de Querétaro presenta un brillo vítreo a resinoso y puede ser transparente, translúcido u opaco. Su color más característico es el anaranjado rojizo, por lo que se considera *ópalo de fuego*. Sin duda, su iridiscencia distintiva u *opalescencia* es el aspecto determinativo en la valoración de su calidad como gema (Figura 2). Esta propiedad es infrecuente en la mayor parte de los ópalos de fuego de otras localidades.

El ópalo de fuego de Querétaro presenta un índice de refracción de 1.42 ± 0.01 , y puede mostrar una fluorescencia (UV) moderada en tonos pardos y verdes y, más raramente, fosforescencia.

En México, también se conoce a esta gema con el nombre tradicional de “*Piedra de la bruja*”, debido a que en ocasiones se blanquea y se fractura o se desprende de su montura. Esto se debe a la desestabilización del ópalo, fenómeno relacionado con una pérdida de agua de su estructura (Aguilar-Reyes *et al.*, 2005), aunque las creencias populares lo han atribuido a maldiciones y hechizos.

Algunos ejemplares de ópalo de fuego de Querétaro han sido importantes por su calidad y trascendencia histórica. Entre ellos, cabe destacar el Águila Azteca (32 ct), Phoebus (35 ct), el Dios Azteca del Sol (199.52 ct), actualmente en el Museo de Historia Natural de Chicago, en EUA, el Peón

Negro (90 ct), el Dragón Mexicano (54 ct), y el Arco Iris Mexicano (10 ct) (Eckert, 1997).

3. Topacio

El topacio es un mineral relativamente común en México. Principalmente se presenta en riolitas ricas en flúor y elementos litófilos, a pesar de que también se ha descrito en algunos granitos y pegmatitas.

Se conocen numerosas mineralizaciones de topacio a lo largo del territorio mexicano, por ejemplo, en la Mina Delicias (Baja California), en la Mina San Antonio (Chihuahua), en las minas Remedios y Barranca (Durango), en Villa García (Zacatecas), así como en diversas localidades de Guanajuato, Guerrero, Hidalgo y San Luis Potosí (Panczner, 1987; Jolyon e Ida, 2006). El yacimiento más reconocido por la calidad, tamaño y abundancia de sus cristales se conoce como El Tepetate, y se localiza en el municipio de Villa de Arriaga, en San Luis Potosí (Figura 1). Este yacimiento se encuentra aproximadamente a 2 km hacia el NO del poblado del mismo nombre, y en él se han obtenido cristales de topacio de hasta 15 cm de longitud.

La palabra *tepetate* es un mexicanismo usado en la jerga minera para designar la roca estéril (Gómez-Caballero *et al.*, 2004), aunque localmente hace referencia a los depósitos tobáceos alterados (Jolyon e Ida, 2006).

3.1. Yacimientos y explotación

La explotación de cristales de topacio en México es una actividad muy exigua, que recae en muy pocas personas. Actualmente, la extracción de ejemplares de topacio con fines comerciales se lleva a cabo únicamente en El Tepetate. Esta actividad se realiza eventualmente, al nivel de gambusinaje, con la ayuda de explosivos, pico, pala y barretas. Los ejemplares de topacio de mayor calidad se facetan y se comercializan como gemas, y los demás se destinan al coleccionismo.

Los yacimientos de topacio de El Tepetate están asociados a un complejo de domos de riolitas terciarias ricas en flúor, que asimismo alojan mineralizaciones menores de estaño. De hecho, El Tepetate constituye una de las 26 localidades conocidas de riolitas con topacio dispersas entre el centro de México y los estados de Colorado y Utah, en EUA (Christiansen *et al.*, 1986; Menzies, 1995).

Además de riolitas, el área mineralizada de El Tepetate contiene otras rocas volcánicas ácidas terciarias, principalmente a modo de depósitos de ignimbritas y flujos de andesitas y latitas (Coremi, 1996). Geológicamente, todas estas rocas, cuya edad se estima alrededor de 30 Ma, corresponden al extremo SE de Sierra Madre Occidental. Mucho más escasas, las rocas volcánicas más recientes, de edad cuaternaria, constituyen pequeños derrames basálticos y depósitos de pumicitas (Coremi, 1996).

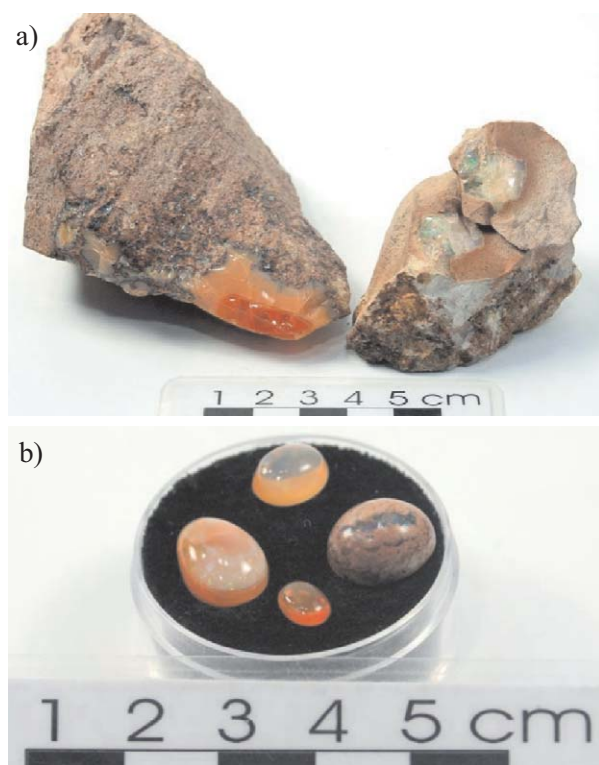


Figura 2. Ópalo de fuego de Querétaro. (A) Muestras al natural de riolitas alteradas con ópalo de fuego; (B) ópalo de fuego tallado en cabujones elípticos y en gota.

La extrusión del magma que generó las rocas volcánicas ácidas en el Terciario originó grandes estructuras volcánico-tectónicas de orientación NE-SO, como la fosa tectónica de Villa de Reyes (Labarthe-Hernández *et al.*, 1992; Nieto-Samaniego *et al.*, 2005). En relación con estos procesos tuvo lugar la formación de los domos de riolita con topacio. Los magmas riolíticos que originaron las mineralizaciones de topacio eran muy ricos en volátiles (F, Cl) y en elementos litófilos (Sn, Li) (Webster *et al.*, 1996).

El topacio cristaliza principalmente en las cavidades miarolíticas de la riolita, asociado a cuarzo y ópalo hialino (Figura 3). Las mineralizaciones de estaño que se asocian a las riolitas con topacio de El Tepetate consisten en brechas y fracturas rellenas de casiterita y hematites (Coremi, 1996).

3.2. Características de la gema

Los mayores cristales de topacio encontrados en El Tepetate alcanzan 15 cm de longitud y 1 cm de diámetro (Panczner, 1987). Usualmente, los cristales desarrollan prismas terminados por una pirámide truncada por un pinacoide (Figura 3). Como norma general, los cristales más grandes desarrollan formas simples y son poco transparentes, mientras que los cristales menores son morfo-

lógicamente más complejos y por su diafanidad son más apreciados como gemas (Menzies, 1995).

La coloración de los cristales de topacio es variable; si bien los ejemplares más característicos presentan tonos ambarinos y pardo-rojizos (color *champagne*), los cristales incoloros también son habituales. Las coloraciones más oscuras se han atribuido a la presencia de inclusiones de rutilo y hematites (Menzies, 1995) y de centros de color.

4. Ámbar

En México, todos los yacimientos económicos de ámbar se encuentran en el estado de Chiapas (Figura 1). Dicha gema se explota principalmente en el distrito de Simojovel de Allende, aunque se conocen otros yacimientos en los vecinos municipios de Huitiupan y Totolapa, así como en los alrededores de San Cristóbal de las Casas y en diversas localidades dispersas al este de Chiapas (Rice, 1993; Ytuarte-Núñez, 2001).

El ámbar de Chiapas tuvo un significado y una importancia especiales para las culturas mesoamericanas, que lo usaron para elaborar ornamentos y para realizar ofrendas funerarias. Por este motivo, fue objeto de un intenso comercio por parte de los pobladores autóctonos de Chiapas, principalmente chontales, tzotziles y zoques, y su destino fue, principalmente, la elite azteca (Ytuarte-Núñez, 2001).

4.1. Yacimientos y explotación

Actualmente la extracción de ámbar en las minas de Chiapas es una actividad irregular y que se realiza a pequeña escala. La explotación de ámbar es efectuada de modo totalmente artesanal por grupos familiares que se han dedicado esta actividad desde hace décadas. La producción de ámbar en Chiapas es muy limitada: en el año 1997, por ejemplo, únicamente se extrajeron en total 850 kg de esta gema (Coremi, 1999).

En el distrito de Simojovel se efectúa un minado mediante socavones y tiros, mientras que en Totolapa y en los otros yacimientos el ámbar se extrae mediante pequeñas explotaciones a cielo abierto.

Geológicamente, los yacimientos de ámbar de Chiapas se localizan en la provincia del Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas, la cual está constituida esencialmente por una secuencia de rocas sedimentarias de edad mesozoica y cenozoica (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). Dichos sedimentos consisten principalmente en rocas carbonatadas cretácicas cubiertas por secuencias detríticas continentales y marinas del Terciario (Coremi, 1999).

El yacimiento de Simojovel está encajonado en la Formación El Bosque, del Eoceno, la cual se compone esencialmente de areniscas y lutitas con intercalaciones carbonatadas (Coremi, 1999). Estas rocas se depositaron

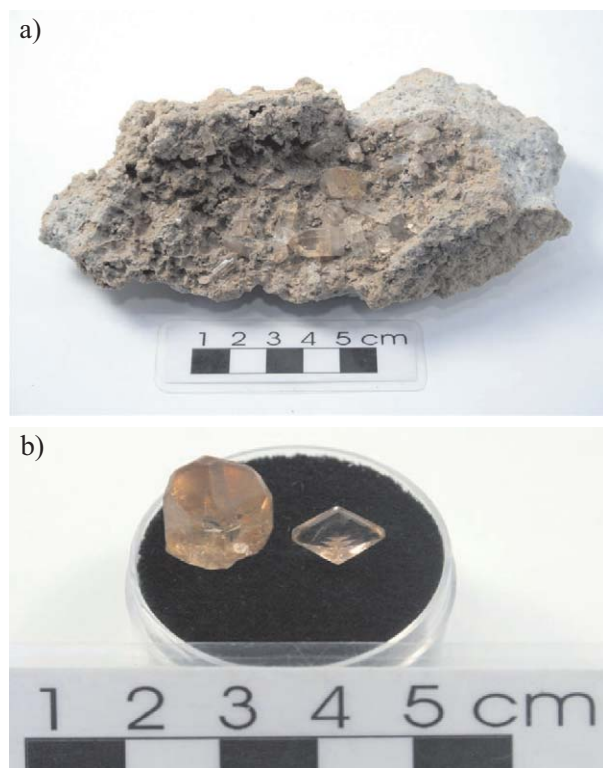


Figura 3. Topacio de El tepetate, San Luis Potosí. (A) Cristales en una cavidad miarolítica de riolita; (B) detalle de cristal euhedral (izquierda) y de cristal tallado.

en un ambiente sedimentario de marismas de manglar y marjales, hecho que explica la gran variedad de crustáceos, gasterópodos e insectos que se encuentran fosilizados como inclusiones en el ámbar (Ytuarte-Núñez, 2001). El ámbar se asocia a un tramo de lutitas carbonosas, de unos 30 m de espesor, y se halla en forma de nódulos (Figura 4). La resina que originó el ámbar corresponde al guapinol (*Hymenaea courbaril*), especie arbórea de la familia de las leguminosas (Langenheim, 1966).

4.2. Características de la gema

Tanto por su índice de refracción como por su peso específico, el ámbar de Chiapas es similar al del Báltico, aunque su dureza es menor.

Los ejemplares de ámbar de Chiapas muestran una amplia variedad de colores, como son amarillo claro, *miel*, *musgo* y color vino (Rice, 1993). Esa diversidad de tonos, aunada a la profusión de organismos fósiles incluidos (principalmente artrópodos), hacen del ámbar de Chiapas un preciado objeto de coleccionismo (Figura 4). Además, la facilidad en la lapidación y tallado del ámbar ha favorecido el arraigo de una sólida tradición artesanal entre los pobladores de Simojovel, y las piezas talladas en dicha localidad gozan de gran aceptación en las joyerías de todo el país.

5. Fluorapatita

La fluorapatita se ha descrito en México en múltiples yacimientos pertenecientes a diversas tipologías (Panczner, 1987). Desde el punto de vista de la calidad de sus cristales, la localidad más sobresaliente es la mina de hierro del Cerro de Mercado, situada hacia las afueras de la ciudad de Durango (Figura 1). En este yacimiento, la fluorapatita es el principal mineral de ganga y representa un problema tecnológico en el beneficio del hierro (el contenido máximo permisible de fluorapatita en el concentrado final es de 0.05% en peso). Los cristales de fluorapatita son euédricos, diáfanos y de color verde claro a amarillo, por lo que son muy valorados entre los coleccionistas de minerales. No obstante, debido a su baja dureza (5 en la escala de Mohs), la fluorapatita no es muy apreciada como gema.

5.1. Yacimientos y explotación

La explotación de hierro en el yacimiento del Cerro de Mercado inició en el año 1828. El periodo de mayor actividad extractiva fue el comprendido entre los años 1934 y 1986, durante los cuales operó la *Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey*. Después de su cese, la mina reabrió en 1996, año en que fue adquirida por el *Grupo Acerero del Norte*. Últimamente, la fluorapatita ha sido

objeto de explotación como mena de fósforo, aunque ello no ha logrado frenar la tendencia recesiva de la actividad minera en el yacimiento.

Geológicamente, el yacimiento del Cerro de Mercado se localiza en la provincia de Sierra Madre Occidental, cuya formación se asocia a un ambiente de arco magmático (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). De esta suerte, las rocas que predominan en el área mineralizada pertenecen a una secuencia volcánica ácida del Terciario. Las formaciones Águila y Cacaria, en la base de la secuencia, están constituidas esencialmente por lavas y tobas riolíticas. Les sucede la Formación Santuario, compuesta por ignimbritas y riolitas fechadas en unos 30 Ma y que contiene los cuerpos mineralizados de hierro con fluorapatita (McDowell y Keizer, 1977). El Grupo Río Chico, techo de la secuencia, está formado por ignimbritas, riolitas y basaltos, y su edad se estima en 28 Ma (Coremi, 1993). Al norte del yacimiento, cubriendo las unidades terciarias, hay derrames de basaltos con olivino de la Formación Metates, del Cuaternario (Coremi, 1993).

El depósito de hierro del Cerro de Mercado consiste en diversos cuerpos masivos de disposición subhorizontal encajonados en rocas volcánicas ácidas (Lyons, 1988). Dichos cuerpos presentan texturas granulares y brechadas, en los que la fluorapatita se asocia a calcita, calcedonia, hematites, magnetita y dióxido-hedenbergita (Coremi, 1993). La mineralización está claramente vinculada a procesos magmáticos y pertenece, según Pollard (2000) y Tritilla *et al.* (2005), a la tipología IOCG (*Iron Oxide Copper-Gold Deposits*).

5.2. Características de la gema

El yacimiento del Cerro de Mercado sobresale a escala mundial por la abundancia y tamaño de los cristales de fluorapatita (hasta 10 cm de longitud; Panczner, 1987), así como por su diafanidad, belleza y perfección (Figura 5). Por su homogeneidad y pureza, estos cristales se utilizan como estándar en las técnicas de datación por trazas de fisión y por (U-Th)/He (McDowell *et al.*, 2005).

La tonalidad amarillenta de la fluorapatita propia de algunos cristales del Cerro de Mercado no es muy común. Esta coloración distintiva se ha reconocido en cristales de Jumilla (Murcia, España) y de algunos yacimientos de Canadá, Brasil, Japón, Zimbabue y Tanzania. En los cristales del Cerro de Mercado, la coloración amarillenta se atribuye a su elevado contenido en Nd, de hasta 0.45% en peso de Nd₂O₃ (Cruz-Ocampo, 2000).

6. Danburita

Por sus características físicas y cristalográficas, la danburita es apropiada para la talla de gemas, si bien es bastante desconocida y, consecuentemente, poco utiliza-

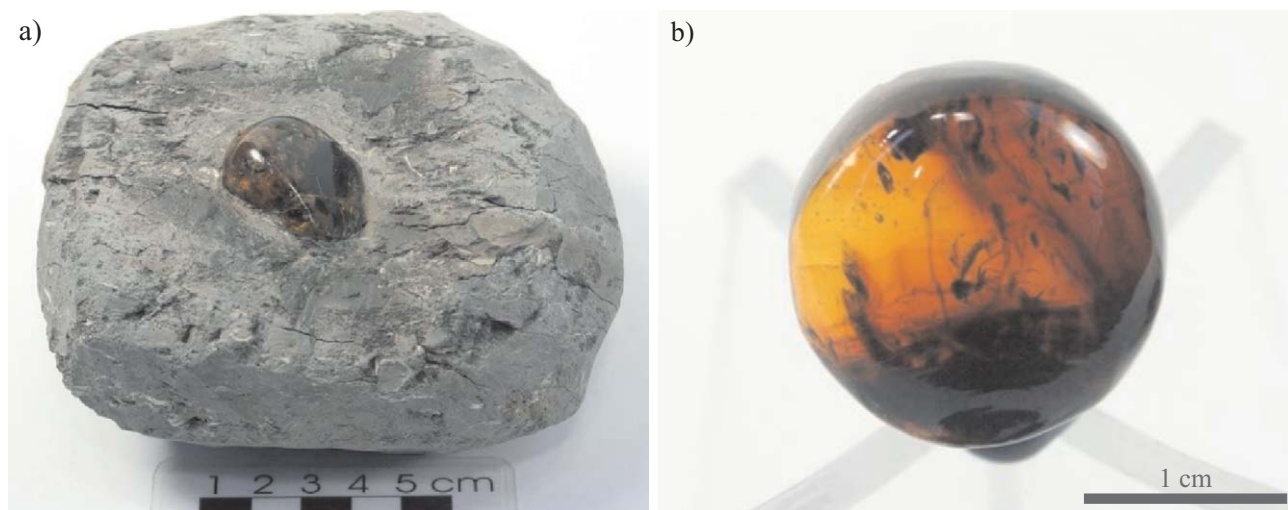


Figura 4. Ámbar de Chiapas. (A) Nódulo de ámbar incluido en lutita carbonosa; (B) pieza de ámbar tallado en cabujón, con un insecto incluido en la parte central.

da. Las causas del desconocimiento de este mineral en el ámbito de la gemología son su relativa rareza y el hecho de que las localidades con cristales de buena calidad son muy escasas (Arem, 1977). En efecto, la mayor parte de los ejemplares de danburita que se comercializan como gemas y piezas de colección son originarios de unos pocos yacimientos localizados en Madagascar y México, y en menor cantidad, de Myanmar.

En México, la danburita se ha descrito en dos localidades de Baja California, la Mina Verde (municipio de Ensenada) y la Mina Chuqui (municipio de Tecate), y en Charcas, en San Luis Potosí (Panczner, 1987; Jolyon e Ida, 2006). Esta última localidad es sin duda la más célebre, tanto por la abundancia como por el tamaño y perfección de los cristales que ahí se obtienen (Figura 6).

6.1. Yacimientos y explotación

El yacimiento de la Mina Verde de Ensenada (Baja California; Figura 1) es una pegmatita de litio en la que la danburita se asocia a elbaíta, microclina, estilbita, cuarzo ahumado, lepidolita y moscovita (Panczner, 1987; Jolyon e Ida, 2006). En este yacimiento operó en 1970 una mina destinada a la extracción de turmalina (elbaíta) gema, y en él se han obtenido algunos cristales de danburita de calidad.

El distrito minero de Charcas se ubica 110 km al norte de la ciudad de San Luis Potosí (Figura 1), y mantiene en actividad diversas minas que benefician plata, cobre, zinc, plomo, y a menor escala, oro y manganeso. La riqueza mineral de Charcas se conoce desde los inicios de la época



Figura 5. Muestras de mano de fluorapatita del Cerro de Mercado, Durango.



Figura 6. Danburita del distrito minero de Charcas (San Luis Potosí). (A) y (B) Cristales euédricos al natural; (C), (D) y (E) cristales facetados.

colonial. La explotación minera inició en 1583 y desde entonces no se ha interrumpido, aunque se han sucedido múltiples concesionarios (Coremi, 1996). Actualmente, la compañía que opera la extracción es el Grupo México y las minas que se mantienen en actividad son: San Sebastián, Morelos, La Bufa y Tiro General.

En Charcas, la obtención y comercio de cristales de danburita es una actividad totalmente secundaria y casual, ya que se limita a los ejemplares que encuentran los mineros, posteriormente vendidos directamente a comerciantes y coleccionistas.

Geológicamente, el distrito minero de Charcas forma parte de la Provincia Zacatecana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), en la cual afloran principalmente rocas mesozoicas detríticas y carbonatadas y, en menor grado, metamórficas e intrusivas. Estas rocas están plegadas en dirección NNO-SSE como consecuencia de la deformación laramídica. Las rocas y estructuras mesozoicas están parcialmente cubiertas por depósitos terciarios de tobas e ignimbritas riolíticas, los cuales se relacionan con el vulcanismo ácido de la Sierra Madre Occidental (Coremi, 1996).

De la misma forma, en el distrito minero de Charcas aflora una secuencia de rocas sedimentarias y metasedimentarias mesozoicas. En la base de esta secuencia se halla la Formación Zacatecas, de naturaleza metasedimentaria, que se compone esencialmente de pizarras y filitas, y cuya edad corresponde al Triásico Superior (Morán, 1984; Coremi, 1996). Le sobryace discordantemente la Formación La Joya, del Jurásico Medio, constituida por conglomerados, lutitas y areniscas rojas, cuya sedimentación tuvo lugar en un ambiente continental. Una secuencia arcillosa-carbonatada de edad Jurásico Superior a Cretácico Superior se dispone discordantemente sobre las anteriores unidades. Un cuerpo intrusivo granodiorítico del Eoceno corta toda la secuencia mesozoica (Coremi, 1996).

El yacimiento de Charcas es de tipo skarn y, por lo tanto, está relacionado con el contacto entre la intrusión granodiorítica y los sedimentos mesozoicos. La mineralización de Ag-Pb-Zn-Cu forma reemplazamientos masivos (mantos) en las rocas carbonatadas mesozoicas y, además, rellena sistemas de fracturas cerca del contacto (Coremi, 1996).

La danburita se encuentra en los cuerpos de reemplazamiento metasomático, asociada principalmente a datolita $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$, cuarzo, calcita, apofilita, pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, cinabrio y estibina.

6.2. Características de la gema

La danburita presenta una dureza elevada (7–7.2 en la escala de Mohs) y no tiene exfoliación. Los cristales de danburita son similares a los de topacio, aunque tienen menor densidad, y son asimismo muy apropiados para la talla de gemas (Figura 6).

Los cristales de danburita del distrito minero de Charcas gozan de gran popularidad entre los coleccionistas de minerales por su perfección y tamaño (Figura 6). Típicamente desarrollan prismas rómbicos euédricos de hasta 16 cm de longitud por 7 cm de ancho (Panczner, 1987). Usualmente, los cristales de mayor tamaño son opacos y presentan una coloración blanca o a veces rosada. Los cristales de menor tamaño suelen desarrollar caras cristalinas más perfectas y, al ser los más transparentes, son los más apropiados para la talla de gemas.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó bajo el apoyo económico del proyecto PAPIIT IN107003. Agradecemos a S.I. Franco y a R.M. Prol Ledesma sus comentarios acerca del trabajo. Las revisiones realizadas por A. Camprubí y J.M. Nogués Carulla contribuyeron significativamente a mejorar el manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Reyes, B.O., Ostrooumov, M., Fritsch, E., 2005, Estudio mineralógico de la desestabilización de ópalos mexicanos: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 391–400.
- Arem, J.E., 1977, *Color encyclopedia of gemstones*: Van Nostrand Reinhold Company, New York, EUA, 248 p.
- Camprubí, A., Melgarejo, J.C., Proenza, J.A., Costa, F., Bosch, J., Estrada, A., Borrell, F., Yushkin, N.P., Andreichev, V.L., 2003, Mining and geological knowledge during the Neolithic: a geological study on the variscite mines at Gavà, Catalonia: *Episodes*, 26, 295–301.
- Canet, C., Camprubí, A., 2006, Yacimientos minerales: los tesoros de la tierra: Fondo de Cultura Económica, México DF, México, 232 p.
- Christiansen, E.H., Burt, D.M., Sheridan, M.F., 1986, The geology of topaz rhyolites from the western United States: *Geological Society of America Special Paper* 205, 82 p.
- Consejo de Recursos Minerales (Coremi), 1992, Monografía geológico-minera del estado de Querétaro: México, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 218 p.
- Consejo de Recursos Minerales (Coremi), 1993, Monografía geológico-minera del estado de Durango: México, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 204 p.
- Consejo de Recursos Minerales (Coremi), 1996, Monografía geológico-minera del estado de San Luis Potosí: México, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 217 p.
- Consejo de Recursos Minerales (Coremi), 1999, Monografía geológico-minera del estado de Chiapas: México, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 204 p.
- Cruz-Ocampo, J.C., 2000, Caracterización mineralógica de roca huésped y zona de mineralización, y propiedades magnéticas del yacimiento del Cerro de Mercado, Durango, México: México DF., Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis Profesional (inérita), 73 p.
- Eckert, A.W., 1997, *The world of Opals*: John Wiley & Sons, New York, EUA, 448 p.
- Foote, A., 1986, The Opal Mines of Querétaro, México: *Economic Geology, Proceedings of the Academy of Natural Science of Philadelphia*, EUA, 278–280.
- Foshag, W.F., 1953, Mexican Opal: *Gems and Gemmology*, 9, 278–282.
- Gómez-Caballero, J.A., Miranda-Gasca, M., Tritlla, J., Camprubí, A., Nieto-Obregón, J., 2004, Términos mineros, *en*: Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Tolson, G. (eds.), *Léxico Geológico Mexicano*, Sociedad Geológica de México, México DF, México, 39–42.
- González-Reyna, J., 1956, Riqueza minera y yacimientos minerales de México, 3ª edición: Banco de México, México DF, México, 497 p.
- Hurlbut, C.S., Kammerling, R.C., 1993, *Gemología*, 2ª edición: Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 337 p.
- Huspeni, J.R., Kesler, S.E., Ruiz, J., Tuta, Z., Sutter, J.F., Jones, L.M., 1984, Petrology and geochemistry of rhyolites associated with tin mineralization in northern México: *Economic Geology*, 79, 87–105.
- Jolyon, R., Ida, C., 2006, mindat.org - the mineral and location database, <http://www.mindat.org/>
- Labarthe-Hernández, G., Jiménez-López, L.S., 1992, Características físicas y estructura de lavas e ignimbritas riolíticas en la sierra de San Miguelito, S.L.P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto técnico, 114, 36 p.
- Langenheim, J.H., 1966, Botanical Source of Amber from Chiapas, México: *Ciencia*, 24, 201–210.
- Lyons, J.I., 1988, Volcanogenic iron oxide deposits, Cerro de Mercado and vicinity, Durango, Mexico: *Economic Geology*, 83, 1886–1906.
- McDowell, F.W., Keizer, R.P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1479–1487.
- McDowell, F.W., McIntosh, W.C., Farley, K.A., 2005, A precise ^{40}Ar – ^{39}Ar reference age for the Durango apatite (U–Th)/He and fission-track dating standard: *Chemical Geology*, 214, 249–263.
- Menzies, M.A., 1995, The mineralogy, geology and occurrence of topaz: *The Mineralogical Record*, 26, 5–53.
- Morán, D.J., 1984, Geología de la República Mexicana: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México DF, México, 89 p.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Camprubí, A., 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57 (3), 285–318.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, L.M., Roldán, J., Aranda, J.J., Morán, D., Alaniz, S.A., Nieto, A.F., 1992, Carta geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000, 5ª edición: Instituto de Geología, UNAM, Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México, 74 p.
- Panczner, W.D., 1987, *Minerals of Mexico*: Van Nostrand Reinhold Company, New York, EUA, 459 p.
- Pollard, P.J., 2000, Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization, *en* Porter, T.M. (ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective*: Glenside, South Australia, Australia, Australian Mineral Foundation, 1, 27–41.
- Rice, P.C., 1993, Amber the golden gem of the ages: The Kosciuszko Foundation, New York, EUA, 289 p.
- Robles-Camacho, J., Sánchez-Hernández, R., 2006, Análisis mineral y químico de especies micáceas y hojosas identificadas en piezas

- arqueológicas mesoamericanas: *Boletín de Mineralogía*, 17: 155.
- Secretaría del Patrimonio Nacional, 1970, *Minería prehispánica en la Sierra de Querétaro*: Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Secretaría del Patrimonio Nacional, México DF, 131 p.
- Sánchez-Hernández, R., Robles-Camacho, J., 2006, Avance de la investigación geoarqueológica de amazonita en el contexto mesoamericano: *Boletín de Mineralogía*, 17, 157.
- Sedlock, R.L., Ortega, F., Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Geological Society of America, Special Paper, 278, 153 p.
- Spores, R., 1967, *The Mixtec kings and their people*: University of Oklahoma Press, EUA, 270 p.
- Tritlla, J., Camprubí, A., Centeno-García, E., Corona-Esquivel, R., Iriando, A., Sánchez-Martínez, S., Gasca-Durán, A., Cienfuegos-Alvarado, E., Morales-Puente, P., 2003, Estructura y edad del depósito de hierro de Peña Colorada (Colima): un posible equivalente fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20 (3), 182–201.
- Ytuarte-Núñez, C., 2001, *Rutas comerciales del ámbar mexicano: Chiapas (comunicación, cultura y política)*: México DF, Universidad Autónoma Metropolitana, Tesis de Maestría en Ciencias Antropológicas (inédita), 48 p.
- Webster, J.D., Burt, D.M., Aguilon, R.A., 1996, Volatile and lithophile trace-element geochemistry of Mexican tin rhyolite magmas deduced from melt inclusions: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 3267–3283.

Manuscrito recibido: Junio 29, 2006

Manuscrito corregido recibido: Agosto 16, 2006

Manuscrito aceptado: Agosto 21, 2006