



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
División de Ciencias de la Tierra
Proyecto PAPIME PE-101320



El Boleo

Baja California Sur.



SOBRE LOS PARTICIPANTES.

Trabajamos en este proyecto profesores de carrera de la Facultad de Ingeniería, profesores de asignatura, técnicos académicos, estudiantes de la carrera de Ingeniería Geológica y de la de Ingeniería de Minas y Metalurgia, técnicos académicos del Instituto de Geología y del Instituto de Geofísica.

ACADÉMICOS

Adela Margarita Reyes Salas, Doctora en Ciencias área Geología. Técnica académica especialista en Microsonda electrónica.

Aldo Ramos Rosique Doctor en Geología, profesor de carrera imparte las asignaturas Metalogenia y Petrología Ígnea en la Facultad de Ingeniería.

Alfredo Victoria Morales, Ingeniero Geólogo, profesor de carrera imparte las asignaturas, Mineralogía, Yacimientos minerales y técnicas determinativas y Petrología Metamórfica. En la Facultad de Ingeniería. **RESPONSABLE DEL PROYECTO.**

Carlos Heinrich Schulze Scheirber, Dr. en Ciencias área Geología, profesor de asignatura impartió Mineralogía, Metalogenia, Petrología Metamórfica.

Karina Martínez Bautista, Ingeniera Geóloga, ayudante de Profesor y Profesor de la asignatura Mineralogía. En la Facultad de Ingeniería.

Javier Medina Escutia, Ingeniero Geólogo, profesor de las asignaturas Mineralogía y Mineralogía Óptica. En la Facultad de Ingeniería.

Juan Carlos Cruz Ocampo, Ingeniero Geólogo, Gemólogo, Trabaja en Vinculación en el Instituto de Geología.

Lauro Bucio Galindo, Dr. En Física. Especialidad Cristalografía. Trabaja en el Instituto de Física.

Leticia Alba Física, Técnica académica en del Instituto de Geología especialista en Espectrometría de Raman.

Marco Antonio Rubio Ramos Ingeniero Geólogo, profesor de la asignatura Geología Aplicada a la Minería, Prospección y Exploración Minera y Temas Selectos de Exploración Minera en la Facultad de Ingeniería.

Mayumy Amparo Cabrera Dra. En ciencias. Área Geología Marina. Técnica académica, profesora de la asignatura Geología Marina, Sedimentología y Petrología.

Oscar Irazaba, Ingeniero Geólogo, Curador del Museo de Geología de la UNAM.

Patricia Girón García, Química, Técnica académica especialista en Fluorescencia y difracción de Rayos X. Trabaja en el del Instituto de Geología.

Sonia Ángeles García. Química. Técnica académica especialista en Microscopía electrónica de barrido.

Teodoro Hernández Treviño, Ingeniero Geólogo, Técnico Académico, trabaja en el LUGIS del Instituto de Geofísica, es profesor de Mineralogía Óptica y Tierra Sólida en la

Licenciatura de Ciencias de la tierra que se imparte en La Facultad de Ciencias, profesor de Petrología en la Facultad de Ingeniería. CORRESPONSABLE DEL PROYECTO.

ESTUDIANTES

Adrián Gómez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Minas y Metalurgia. Prestador de Servicio Social.

Ana Briseida Solís Corona, estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica. Prestadora del Servicio Social. Becaria del Proyecto.

Lizbeth Rosillo Sicardo de la Carrera de Ingeniería en Minas y Metalurgia. Prestadora de Servicio Social.

Jimena Méndez Terán, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Minas y Metalurgia. Prestadora de Servicio Social.

Irvin Jonathan Cruz Ojeda, estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica. Preparó como trabajo de titulación, el material didáctico Cristaloquímica. Becario del Proyecto.

Jorge Ramón Mendosa Zurita, estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica. Se encuentra trabajando la Tesis de licenciatura. Los minerales de La Mina La Ojuela, Mapimí, Durango. Becario del proyecto.

Mónica Regina Gómez Aguilar, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Minas y Metalurgia. Prestadora de Servicio Social.

Santiago Armando Zarate Soto, estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica. Becario del Proyecto.

INTRODUCCIÓN

La Mineralogía es una ciencia que sirve como sustento en los estudios geológicos. México es un país que cuenta con una amplia diversidad geológica, en nuestro territorio afloran rocas de casi todos los tipos conocidos, donde predominan las rocas ígneas, principalmente volcánicas, e inclusive existen zonas con vulcanismo activo, por lo que contamos con una gran variedad mineralógica, y alrededor de 80 minerales son “minerales tipo” mexicano, quiere decir que fueron encontrados y descritos por primera vez en localidades mexicanas.

México tiene una amplia tradición minera, en la época colonial se formó gracias a la exploración de recursos mineros. Hoy en día Pueblos mágicos y grandes ciudades subsisten gracias al desarrollo esta industria, e incluso alrededor del 4% del PIB lo aporta la minería. La Mineralogía nace para satisfacer las necesidades de la minería. Conocer la mineralogía de un distrito minero resuelve problemas de exploración, explotación, procesos de beneficio y abatimiento de la contaminación que conlleva el trabajo minero.

La difusión de la mineralogía es un esfuerzo que durante años profesores, investigadores y alumnos de la Facultad de Ingeniería, han estado llevando a cabo. Como parte de este esfuerzo se planea hacer una Guía de excursiones a localidades mineralógicas de México, que servirán para la planeación de prácticas de campo, excursiones para eventos de ciencias de la tierra, inclusive como guía de congresos, cuyo contenido tendrá sitios de interés, con historia del Distrito Minero, tipo de yacimiento mineral, minerales de interés económico y de colección, rutas de carreteras y coordenadas.

En una primera etapa de la metodología que se lleva a cabo para la elaboración de la Guía de localidades mineralógicas de México, se han seleccionado a las cinco primeras localidades de las cuales se ha realizado una síntesis sobre el tipo de yacimiento, historia del Distrito Minero al que pertenecen y una lista de los minerales reportados en esos sitios.

Objetivo

Reforzar la difusión de la mineralogía, con un panorama general de la ocurrencia de minerales en el territorio nacional, con ejemplos de localidades tipo donde se pueden coleccionar ejemplares facilitando su ubicación a través de las distintas excursiones mineralógicas. Para fortalecer la formación integral del estudiante de Mineralogía, asignatura que se imparte en las carreras de Ingeniería Geológica, Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Licenciatura en Geología, Ingeniería de Geología Ambiental, Ingeniería en Minas y Metalurgia, Ingeniería Geofísica y de las demás licenciaturas relacionadas con las Ciencias de la Tierra.

EL BOLEO, BAJA CALIFORNIA SUR

El Boleo se ubica en el municipio de Mulegé en el estado de Baja California Sur, a 5.5 km al Norte de la ciudad de Santa Rosalía, cabecera municipal del municipio. En la Mineral y metalúrgica del Boleo, S. A P. I. de C. V se extraen 3 millones de toneladas anualmente, en las cuales se tiene una ley promedio de 17 miles de Ton/año de Cu, 0.3 miles de Ton/año de Co y 1.5 miles de Ton/año de Zn.

¿CÓMO LLEGAR?

Se puede llegar desde la ciudad de La Paz, BCS conduciendo hacia el norte por la carretera transpeninsular (Sta. Rosalía-San Ignacio) hasta el km 5.5, 23920 Santa Rosalía, BCS (figura 1).

Actualmente el distrito es explotado por Minera y Metalúrgia del Boleo, S. A. P. I. de C. V. cuyo capital es mexicano y coreano.

Para poder acceder a sus instalaciones es necesario solicitarlo al personal de Recursos Humanos.

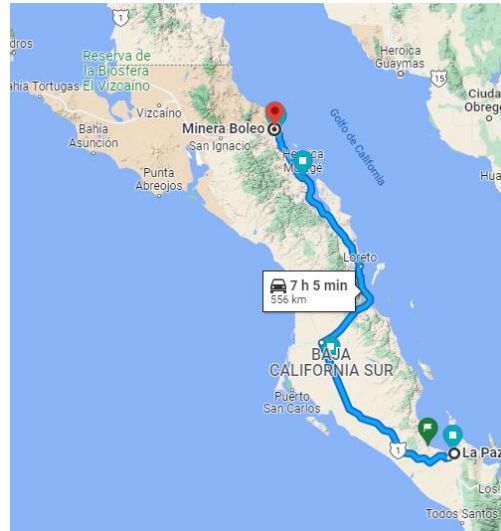


Figura 1. Mapa de localización.

RESEÑA HISTORICA

La mina el Boleo se encuentra el poblado de Santa Rosalía, el cual fue construido a partir de que la compañía minera El Boleo comenzó a extraer mineral de Cu de este yacimiento, para 1885 Porfirio Díaz concedió la exención de pago de impuestos a la compañía de origen Frances con la condición de construir un pueblo y dar trabajo a todo mexicano que lo solicitará, por ello el poblado de Santa Rosalía tiene una fuerte influencia francesa en su arquitectura, y entre sus edificios destaca la iglesia de Santa Barbará la cual fue diseñada y construida por Gustav Eiffel, famoso ingeniero civil de origen francés, quien diseño la famosa Torre Eiffel, emblema de la ciudad de Paris, en Francia.



Figura 2. Iglesia de Santa Barbará, en Santa Rosalía, BCS

RESEÑA GEOLÓGICA

El Boleo fue una de las minas más importantes en la extracción de Cu durante la mitad del siglo XX. Se trata de un yacimiento de tipo VMS el cual está conformado por al menos cinco cuerpos estratiformes, hospedados dentro de una secuencia clástica deltaica del Mioceno Superior, y depositados durante diferentes etapas de subsidencia de la cuenca de Santa Rosalía. La mineralización de Cu-Co-Zn, con altas leyes de Cu y Co, la presencia de cuerpos evaporíticos asociados y la estrecha relación con la apertura del Golfo de California, hacen de El Boleo un yacimiento único en México (Ochoa-Landín, L., *et. al.* (2009)).

MINERALOGÍA

Además de ser una importante mina de Cu, El Boleo es mundialmente famoso por sus oxiclорuros de Cu-Pb-Ag, los cuales fueron encontrados a finales del siglo XIX por Edouard Cumenge, quien fue el geólogo encargado de El Boleo, y al no contar con el equipo suficiente para la caracterización de estos cristales, llevo personalmente las muestras para su estudio a la Sorbona en París, donde junto con el cristalógrafo Mallard realizo la caracterización de los cristales cúbicos de color azul índigo a los cuales nombraron Boleíta por la localidad en la que fueron encontrados estos cristales. la formula empírica de la boleíta es $KAg_9Cu_{24}Pb_{26}Cl_{62}(OH)_{48}$.

Otro de los minerales que llaman la atención de EL Boleo es la cummengeita, oxiclорuros de Cu-Pb que cristalizan en bipirámides tetragonales y que normalmente presenta una macla penetrativa que da como resultado un intercrecimiento parecido a estrellas, el nombre fue propuesto por Mallard quien junto a Cumenge habían estudiado las muestras, pero no fue 1895 que Alfred Lacroix propone la formula definitiva para la cummengeita y la cual es libre de Ag, $Cu_{20}Pb_{21}Cl_{42}(OH)_{40} \cdot 6(H_2O)$.

Finalmente, también se describió a la Pseudobleita cuyos cristales son similares a los de la boleita, pero se diferencian en que de las caras del hexaedro salen pirámides tetragonales que además están truncadas por pinacoides, se trata de un oxiclорuro $Pb_{31}Cu_{24}Cl_{62}(OH)_{48}$.

Al haber sido encontrados y descritos por primera vez en un yacimiento mexicano se les conoce como minerales tipo mexicano.

Tabla 1 – Algunos minerales reportados en el distrito El Boleo

| Especies minerales | Composición |
|---------------------------|--|
| Alofano | $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_2)_{1.3-2.0} \cdot 2.5-3.0 \text{ H}_2\text{O}$ |
| Anglesita | PbSO_4 |
| Anhidrita | CaSO_4 |
| Apatito | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ |
| Azurita | $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ |
| Barita | BaSO_4 |
| Boleita | $\text{KAg}_9\text{Cu}_{24}\text{Pb}_{26}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$ |
| Bornita | $\text{Cu}_5 \text{ Fe S}_4$ |
| Calcita | CaCO_3 |
| Calcosita | Cu_2S |
| Crednerita | CuMnO_2 |
| Cobre nativo | Cu |
| Cumengeita | $\text{Cu}_{20}\text{Pb}_{21}\text{Cl}_{42}(\text{OH})_{40} \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$ |
| Cuprita | Cu_2O |
| Dolomita | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ |
| Epidota | $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$ |
| Galena | PbS |
| Yeso | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Hematita | Fe_2O_3 |
| Magnesita | MgCO_3 |
| Malaquita | $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ |
| Paratacamita | $(\text{Cu}^{2+})_3(\text{Cu}, \text{Zn})(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ |
| Pseudoboleita | $\text{Pb}_{31}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$ |
| Pirita | FeS_2 |
| Cuarzo | SiO_2 |
| Plata nativa | Ag |
| Smithsonita | ZnCO_3 |
| Azufre nativo | S |

Minerales famosos del Boleo, BCS.

| PHYSICAL PROPERTIES OF THE RARE BOLEO COPPER DISTRICT MINERALS | | | |
|--|--|---|---|
| PROPERTIES | BOLEITE | CUMENGITE | PSEUDOBOLITE |
| Chemical composition | Hydroxide-chloride of lead, copper, and silver. | Hydroxide-chloride of lead and copper. | Hydroxide-chloride of lead and copper. |
| Formula | $Pb(Cu,Ag)Cl_2(OH)_2 \cdot 2H_2O$ (?) | $PbCuCl_2(OH)_2$ | $Pb_2Cu_2Cl_2(OH)_2 \cdot 2H_2O$ (?) |
| Named by and date | Mallard and Cumenge, 1891 | Mallard, 1893 | Lacroix, 1895 |
| Named for | Boleo Copper District | Edouard Cumenge (1828-1903) | Boleo Copper District. |
| Crystal system | Tetragonal; pseudocubic (?) | Tetragonal | Tetragonal (pseudocubic). |
| Habit | Cubic; each crystal is composed of three individuals with their c-axes parallel to cubic axes and the basal planes of each individual forming the pseudocubic faces. The crystals are often overgrown in parallel position by cumengite and pseudoboleite. | Octahedral, or cubo-octahedral. Occurs as parallel overgrowths on crystals of boleite and pseudoboleite, sometimes completely enveloping them and giving regular groupings that simulate twins. | Observed only in parallel growth upon boleite, with the {001} faces of the two minerals in common. Euhedral crystals of pseudoboleite may thus project from the several cube faces of boleite, forming re-entrant angles along the cube edges and simulating twins. |
| Size of crystals | Up to $\frac{1}{4}$ inch; usually $\frac{1}{8}$ inch or less. | Same as boleite. | Same as boleite. |
| Cleavage | {001} perfect {101} good {100} poor. | {101} good {110} distinct {001} poor | {001} perfect {101} nearly perfect |
| Hardness | 3 to 3.5 | 2.5 | 2.5 |
| Specific gravity | 5.05 | 4.67 | 4.85 |
| Luster | Weakly vitreous, pearly on the cleavages. | Weakly vitreous, not pearly on the cleavage surfaces. | Pearly on the cleavages. |
| Color | Deep Prussian blue inclining to blackish blue on crystal faces. | Indigo blue. | Indigo blue, closely resembling boleite. |
| Streak | Blue with a greenish tint. | Sky-blue. | |
| Diaphaneity | Translucent | Translucent | Translucent. |
| Refractive index | 2.03 to 2.05 | 1.985 to 2.041 | 2.00 to 2.03 |
| Pleochroism | None | Dichroic. Dark blue with tint of green, to pure blue. | None |
| Optical character | Uniaxial negative | Uniaxial negative. | Uniaxial negative. |
| Environment | Oxidized zone of copper deposits. | Oxidized zone of copper deposits. | Oxidized zone of copper deposits. |
| Tests | In the closed tube it loses water and fuses. It is soluble in nitric acid and not attacked by water. | Soluble in nitric acid. | Before blowpipe fuses easily. Soluble in nitric acid. |
| Remarks | Blackish green in transmitted light. Sections parallel to the pseudocubic faces show an isotropic core due to the orientation and overlap of the several individuals, and a birefringent border. | In transmitted light cumengite is a purer blue than the boleite and pseudoboleite with which it is intergrown. Found with boleite and pseudoboleite. | Found with boleite and cumengite. |

Boleíta

La composición química de este mineral es $KPb_{26}Ag_9Cu_{24}(OH)_{48}Cl_{62}$, recibe ese nombre en relación con la localidad en donde fueron encontrados y descritos por vez primera. La primera publicación donde se describe data de 1891.

Es un mineral idiocromático que se presenta en color azul índigo, y casi siempre se presenta en formas cubicas y en ocasiones con los vértices truncados, dando como resultado cristales con formas combinadas (figura 13). Presenta un lustre vitreo a nacarado, con una dureza de 3-3.5 en la escala de Mosh, pertenece al sistema cristalino isométrico, pertenece a la clase de oxihalogenuros, hidroxihaluros y haluros.

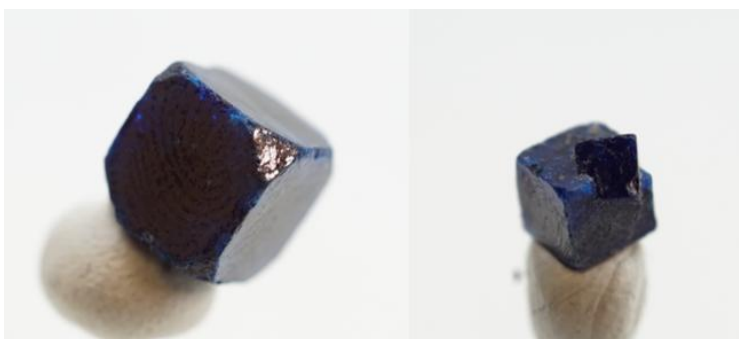


Figura 3. Cristales de boleíta. A la izquierda se observa un cristal con formas combinadas o bien un cubo con los vértices truncados. A la derecha una epitaxis de cubos de boleíta.

Pseudoboleíta

La composición química de este mineral es $\text{Pb}_{31}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$, recibe el nombre por su amplia similitud con la boleíta, pero como se observa en la composición hay ligeras variaciones, que además se reflejan en las formas en que aparece este mineral, por lo regular se encuentran cristales formando maclas cíclicas en las que 3 bipirámides tetragonales con los vértices truncados por pinacoides se unen por el centro (figura 14.1).

Se trata de un mineral idiocromático que se presenta en un bello color azul índigo, presenta un lustre vítreo a nacarado, con dureza de 2.5 en la escala de Mohs, raya verde, pertenece al sistema tetragonal y entra en la clase de los Oxihalogenuros, hidroxihalogenuros y haluros dobles relacionados con Pb y Cu.

Cummengita

Este mineral tiene la composición química $\text{Pb}_{21}\text{Cu}_{20}\text{Cl}_{42}(\text{OH})_{40} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y recibe su nombre en honor a Bernard Louis Philippe Édouard Cumenge (16 de abril de 1828, Castres, Francia - 20 de julio de 1902, París, Francia), ingeniero de minas en Boleo, México, quien recolectó los primeros especímenes de estos tres minerales descritos.

Se trata de un mineral idiocromático que se presenta en ese característico azul índigo, con un lustre subvítreo, con una dureza de 2.5 en la escala de Mohs. Los cristales idiomórficos de este mineral se presenta en forma de maclas cíclicas con 3 individuos, que por individual se presentan en dipirámides tetragonales convergiendo en el centro (figura 14.2). Pertenece al sistema tetragonal y es de la clase de los Oxihalogenuros, hidroxihaluros y haluros dobles relacionados con Pb y Cu.



Figura 4. 1) cristal maclado de pseudoboleíta. 2) Cristal tetragonal con formas combinadas de cummengaíta. 3) Cristal maclado de cummengaíta.