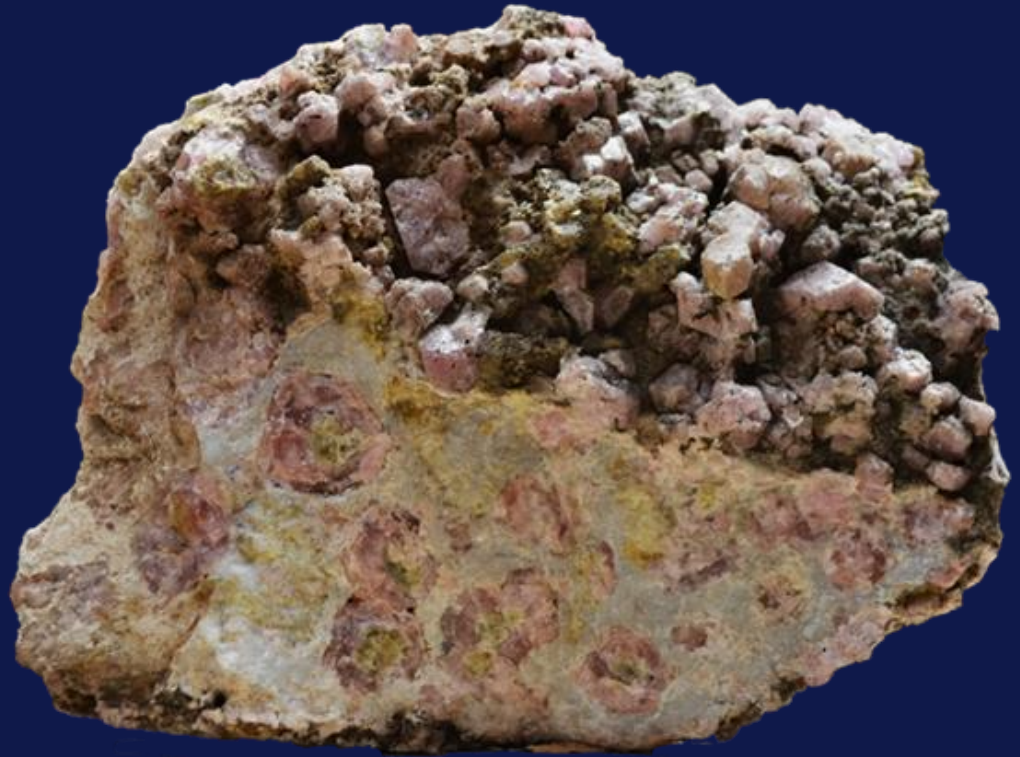




Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería
División de Ciencias de la Tierra
Proyecto PAPIME PE-101320



Xalostoc

Morelos.



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.

ZONA DE XALOSTOC, MORELOS.

Este sitio es famoso por haber sido el sitio donde se describió por primera vez a la Xalostoquita, nombre del mineral tipo mexicano que fue discontinuado por la Comisión de Nuevos Minerales y Nombres de Minerales, Glossary of Obsolete Mineral Names escrito por Peter Bayles en el año 2000 para Mineralogical Record, debido a que corresponde con una grosularita de color rosado.

El nombre grosularita se atribuye a que los primeros especímenes estudiados de este mineral tienen el mismo color y apariencia que la *gooseberry una grosella silvestre*. Schmitter-Villada, Eduardo, et al (1890).

Se pueden obtener ejemplares de este granate con tamaños que varían de unos cuantos milímetros a centímetros, también es posible coleccionar ejemplares muy bellos de vesuvianita, Estos minerales forman parte de un skarn muy erosionado que se encuentra aflorando en la Sierra de Tlayca.

LOCALIZACIÓN.

La Sierra de Tlayca se encuentra al lado izquierdo de la carretera Cuautla - Izucar de Matamoros, camino viejo a Oaxaca, a la altura del kilómetro 112 de la carretera federal 115. Para llegar a los afloramientos donde es posible coleccionar estos minerales se puede subir desde el poblado Xalostoc al sur, o desde el poblado Tlayecac al norte.

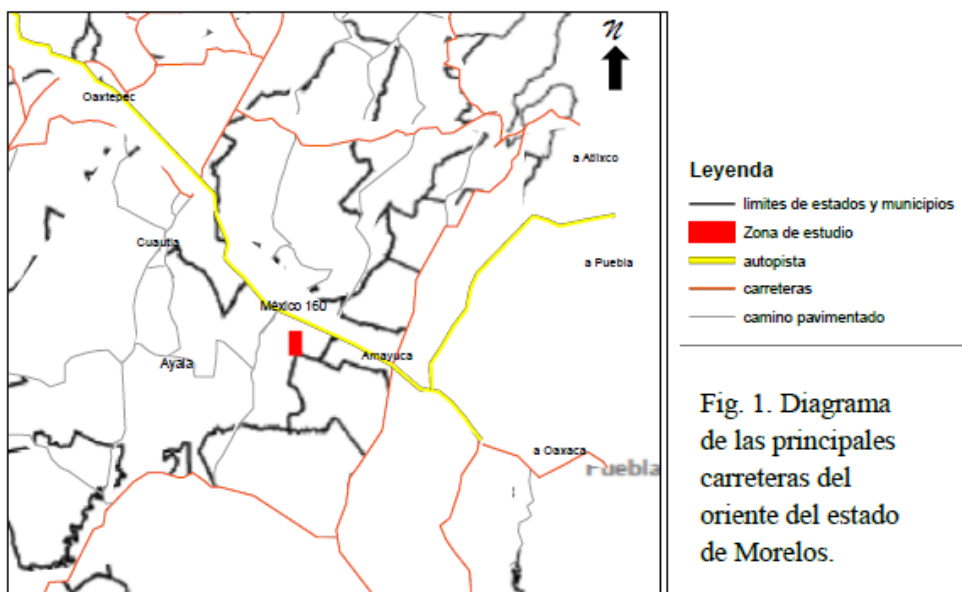


Figura 1. Plano de localización y vías de acceso.

GEOLOGÍA LOCAL.

En el área aflora un skarn, formado por grosularita, diópsida de color blanco con escasa calcita y en ocasiones wollastonita. Esta roca se formó por procesos

metasomáticos ocasionados por una la intrusión de una roca que varía de granodiorítica a monzodiorítica de edad Oligoceno tardío 30 + 3 MA, De cerna 19974., que afectó a una secuencia de rocas carbonatadas del Cretácico conocida como formación Morelos y a un conglomerado oligomictico formado por fragmentos de caliza que se correlaciona con la formación Balsas del Cretácico superior Terciario Fries 1960.

También aflora una secuencia volcánica en las partes más altas de la Sierra que corresponde a una secuencia de tobas y derrames de composición riolítica de la formación Tlayca. La distribución de estas rocas se aprecia en la figura 16.

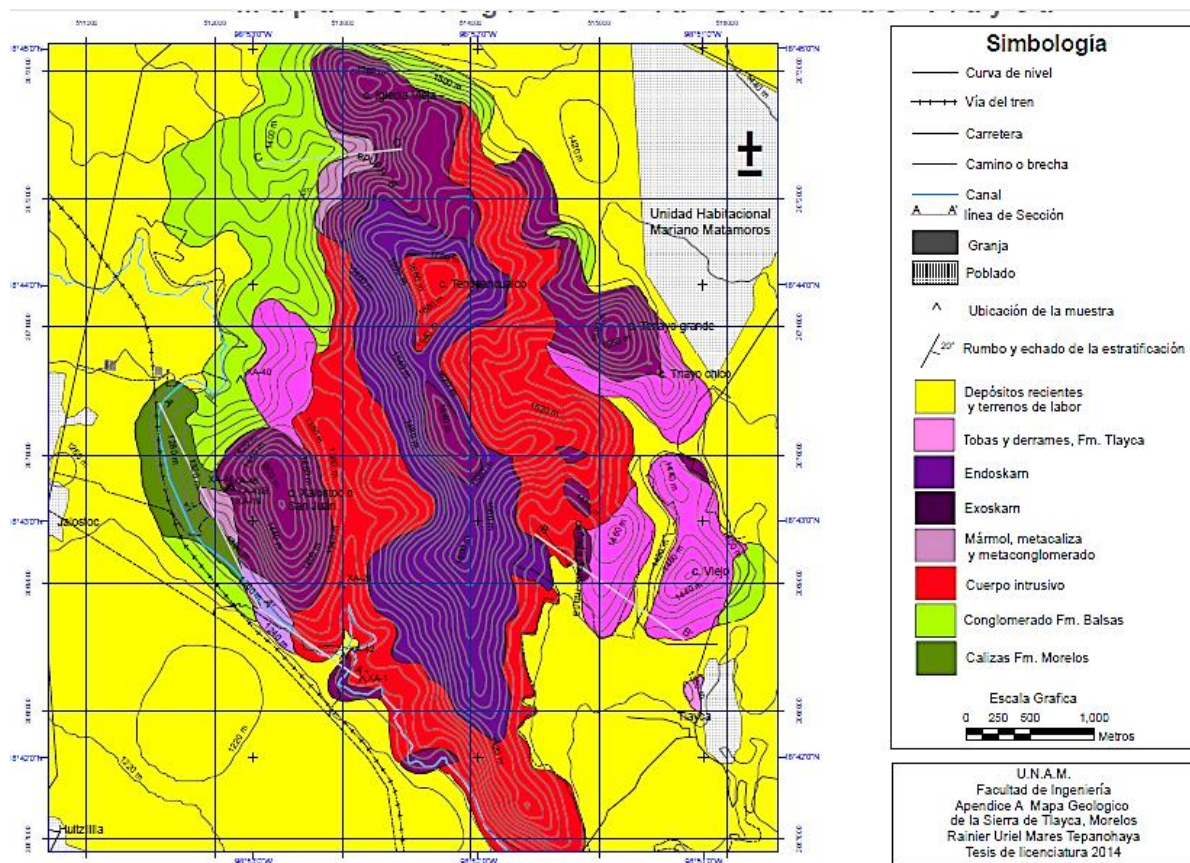


Figura 2. plano geológico de la Sierra de Tlayca, tomado de Mares, 2014.

Formación Morelos.

En esta localidad la formación Moreslo corresponde a bancos arrecifales de estratificación masiva a gruesa, con gran cantidad de fósiles entre los que sobresalen rudistas, en partes corresponde a una caliza micrítica con abundantes microfósiles que solo se puede observar al microscopio petrográfico.

Algo muy interesante que se puede observar es como va cambiando a una caliza recrystalizada, a mármol de grano fino, mármol de grano grueso hasta entrar en contacto brusco con el skarn, caminando rumbo al intrusivo, es una sección muy

didáctica para observar este fenómeno. También otro rasgo que la distingue es que los fósiles de rudistas se encuentran transformados a wollastonita en la caliza recristalizada.

Formación Balsas.

Esta formación corresponde a una secuencia de conglomerados formados por fragmentos de caliza intercalados con estratos delgados de caliza en su parte baja. Tiene una amplia distribución, aflora desde el noroeste del cerro Xalostoc hasta las cercanías del poblado de Tlayecac, al norte de la sierra, y al este forma parte de una porción del cerro Viejo en las cercanías de Tlayca.

Su límite inferior se encuentra en contacto con la formación Morelos al noroeste del cerro Xalostoc por una discordancia angular erosiva, su contacto superiores angular erosivo con las tobas de la formación Tlaica.

Está constituida por fragmentos sub redondeados a sub-angulosos de calizas de textura mudstone, wackestone y packstone en tamaños que van de 1 a 5 cm., en algunas partes presentan formas discoidales. La parte superior de la unidad se encuentran clastos de areniscas de 1 a 3 centímetros tabulares y sub-angulosos. Los clastos en algunos casos presentan contactos lineales y suturados que indican que fueron sometidos a compresión.

Skarn.

En la Sierra de Tlayca el skarn es producto del metasomatismo de caliza, incluido el conglomerado oligomictico de la Formación Balsas que está constituido por fragmentos de caliza y químicamente sería también una caliza. Está constituido por granate (andradita-grosularita), clinopiroxenos (diopsida-hedembergita), wollastonita, epidota y magnetita, por lo que de acuerdo con Enaudi (1982) se clasifica como skarn cálcico.

También de acuerdo al mismo autor se pueden diferenciar un endoskarn producto del metasomatismo con el cuerpo intrusivo y el exoskarn formado por el metasomatismo de las rocas carbonatadas.

El endoskarn se encuentra en la parte central de la Sierra, forma brechas y vetas en el intrusivo.

“El exoskarn se encuentra distribuido indistintamente, en la parte sur de la Sierra de Tlayca en pequeños afloramientos en las partes bajas y en lo alto de los cerros Xalostoc, Iglesia Vieja, y parte del cerro Tencuancualco donde se desarrolló con un amplio espesor y extensión. En la mayoría de los casos presenta textura porfidoblástica, la parte meteorizada se presenta en color gris con fragmentos rosas, mientras que en superficie fresca es de color blanco con zonas rosas y verdes. Se encuentra compuesto de cristales de granate anhedrales a euhedrales con tamaños

que van de 0.5 a 2 cm de diámetro, además de cristales subhedrales de wollastonita, vesuvianita, calcita azul, y magnetita anhedral” Mares (2014)

En de la cañada Doña María es fácil de apreciar el zoneamiento de color en los granates ya que en esta localidad se pueden encontrar granates de 1 a 3 cm con el centro verde y capas de crecimiento de granate rosa.

Cuerpo intrusivo

Se han identificado al menos tres tipos de rocas intrusivas, una de composición diorítica monzodiorítica, la cual se encuentra ampliamente extendida por la Sierra de Tlayca y es afectada por metasomatismo, tiene textura fanerítica de grano grueso y está constituida por plagioclasas, anfíboles y escaso cuarzo, al microscopio se encontró feldespato potásico. Se observó una diorita porfídica constituida por plagioclasa, anfíboles, estos últimos forman autolitos de 5 a 30 cm. Otra roca corresponde a una felsita que afecta a las dos anteriores, que puede observarse al sur este del cerro Xalostoc en la barranquilla de los Sabinos.



Figura 3. Muestra de skarn de granate.

Cristales de granate.

El granate es el principal constituyente del skarn, se observa como un intercrecimiento de granates rosas, negros y verdes, formando en algunas partes verdaderas granatitas, Figura. 17. Están intercrecidos con diopsida, calcita azul y

vesuvianita, formando una roca de carácter masivo muy dura y por lo mismo difícil de romper. En la mayoría de los casos se presenta como fenoblastos euhedrales en el skarn y son más resistentes al intemperismo que los otros minerales de esta roca por lo que sobresalen en algunos afloramientos, como se aprecia en la figura 18.



Figura 4. Superficie meteorizada del exoskar en el Cerro Tencuancualco donde se aprecia como sobresalen los granates prácticamente sin alteración.

Se presentan como cristales euhedrales formando rombododecaedros en muchos casos casi geométricamente perfectos, forma cerrada simple típica de este mineral.

La mayoría de los granates están zonados ya que presentan variaciones de color en un mismo cristal, pueden ser negros al centro con bordes rosa o verde. Forman cristales con tamaños que varían de 3 mm a 4 cm de diámetro.



Figura 5. cristales de grosularita de la sierra de Tayca con diferentes colores, en el cristal de en medio se aprecia el zoneamiento y el de mayor tamaño presenta los colores como manchas, parentemente por haber perdido su parte externa.

Los colores que presentan los granates varían de blanco, verde, rosado y negro. Con el objeto de conocer las causas del color, se realizó un análisis por

espectrometría Raman encontrando que los cambios estructurales se deben a la presencia de diferentes elementos, por lo que se concluye que la composición química origina los diferentes colores. En los intercrecimientos de granate de diferentes colores se pueden distinguir una pequeña variación estructural observada en el ancho de la banda del espectro Raman.

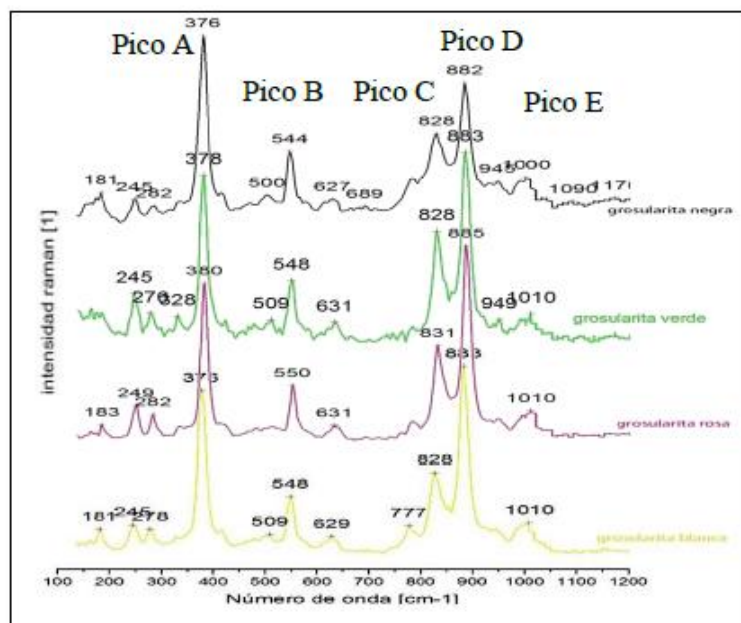


Figura 6. Espectrogramas obtenidos por Espectrometría de Raman en granate con diferentes colores.

El granate negro está enriquecido más en titanio que el resto de los granates, mientras que el granate verde tiene mayor contenido de Magnesio que el resto. En el caso del granate rosa el contenido de manganeso es mayor y la grosularita blanca es el más pobre en Hierro, estos elementos permiten relacionarlos con cada uno de los colores presentes en los granates.

Indistintamente es algunos afloramientos se encuentran cristales de granate deformados adquiriendo una forma alargada como se aprecia en la figura 21. No se ha encontrado una explicación a este fenómeno, pues los lápices de granate (cristales alargados de este mineral) se encuentran por lo general en zonas con alta deformación, que no se observa en la Sierra de Tlayca.

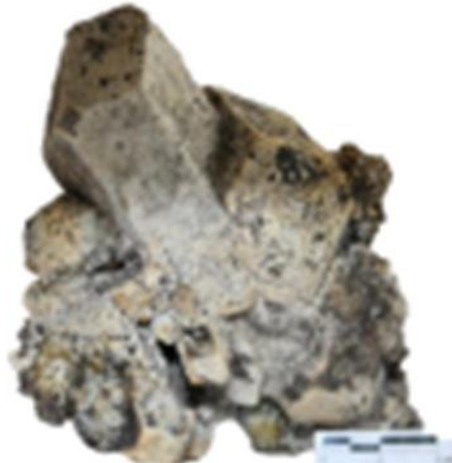


Figura 7. Cristal de granate deformado con una aparente simetría tetragonal y donde se observa su superficie cubierta con finos cristales de otros calco-silicatos.

En muchos de los cristales de mayor tamaño se observa un fenómeno de crecimiento paralelo, en donde el cristal se está formando a partir de arreglos paralelos de cristales más pequeños, como se aprecia en la figura 22. Este es otro de los fenómenos que tendremos que investigar.

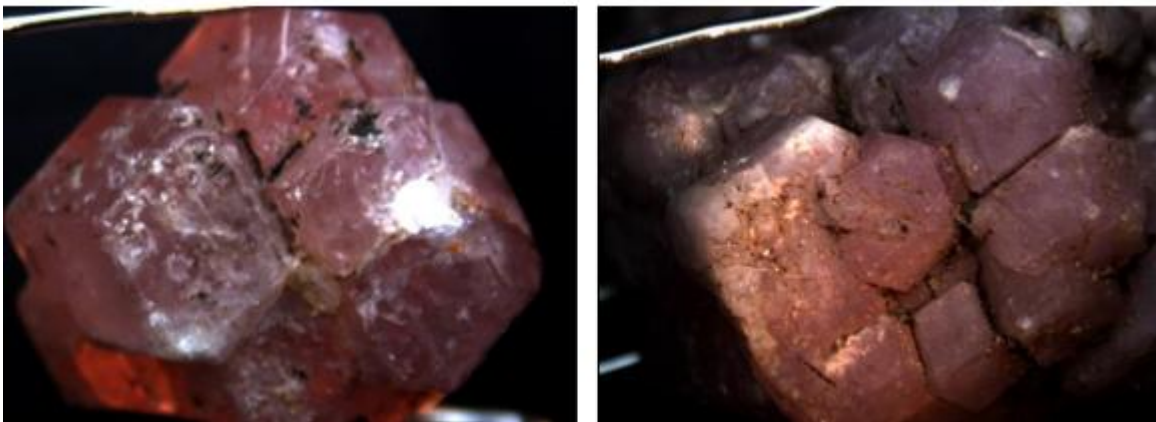


Figura 8. Cristales de grosularita rosada donde se aprecia el crecimiento paralelo de cristales más pequeños. El de la izquierda mide 1x1 1x0.8 cm, el de la derecha mide 2x1 2x2.5 cm.

Composición química de los granates.

Los datos que se presentan a continuación son algunos de los que obtuvo Mares (2014) para la realización de su tesis profesional con objeto de obtener el grado de Ingeniero Geólogo. Para mayor detalle se recomienda consultar ese trabajo.

En estudios petrográficos se aprecia el zoneamiento de los cristales de granate por lo que se realizó un estudio de microscopía electrónica de barrido para conocer con detalle la composición química de las distintas bandas que forman el zoneamiento.

Los diagramas de variación de elementos mayores de los granates de la sierra de Tlayca figura 23,

Se observan las variaciones entre el contenido de calcio, hierro, titanio e itrio, donde estos últimos disminuyen en proporción en cuanto el calcio aumenta, otra relación observable es la que se tiene entre hierro y aluminio uno disminuye mientras aumenta el otro.

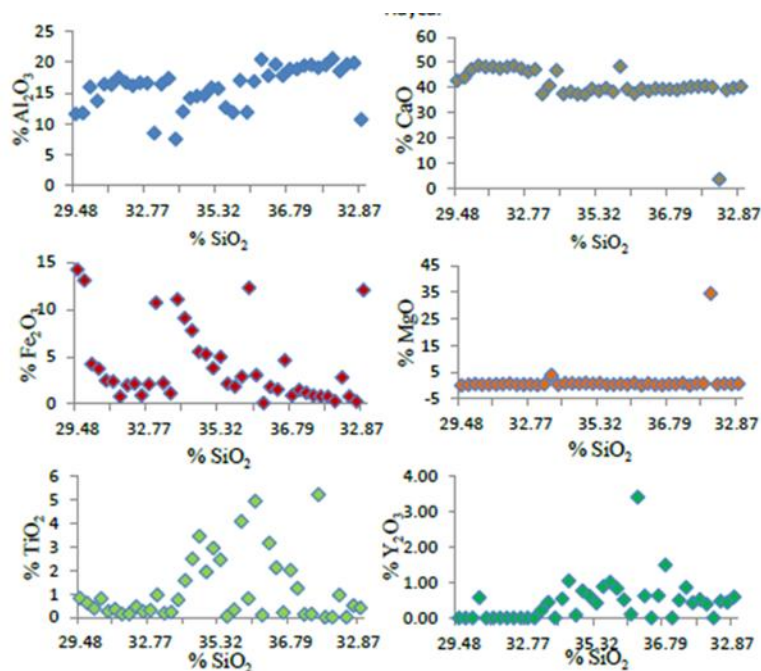


Figura 9. Diagrama de variación de elementos mayores en los granates de la Sierra de Tlayca.

Con el mismo estudio se pudo observar como son las variaciones de estos elementos en un cristal de granate, son cambios rítmicos en la composición de las bandas, variando en el contenido de hierro y aluminio, estos cambios posiblemente sean la causa de anisotropía óptica, ya que los radio iónicos de estos elementos son diferentes y pueden causar este efecto, 0.57 Å para el Al 3+ y 0.67 Å para el Fe3+, según Akizuki, (1984), al igual que marcan los cambios en la composición del material del cual cristalizó el cristal como se aprecia en la figura 8.

En siguiente figura 24 se puede observar cómo cambian las composiciones de las distintas andas de un cristal de granate. La fotografía de la izquierda es una vista al microscopio electrónico de barrido donde se indican los puntos analizados, los cuales son graficados en el diagrama grosularita-andradita-**piralspita**.

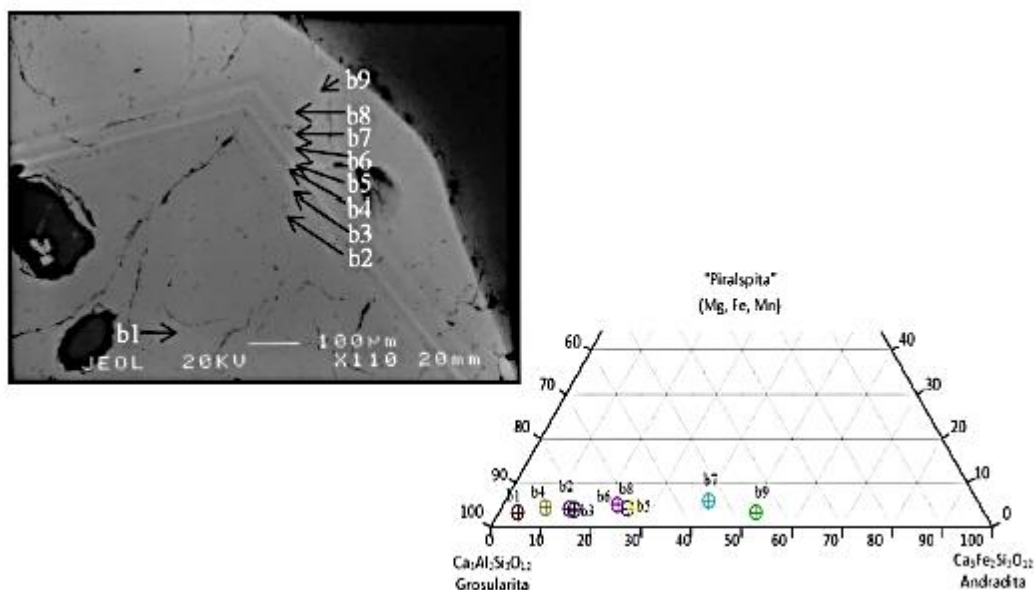


Figura 10. Puntos analizados en bandas de un cristal de granate en el microscopio electrónico de barrido graficados en un diagrama grosularita-andradita-piralspita.

En muy raras ocasiones se encuentran granates calidad gema, ya que casi siempre no son diáfanos. Las muestras pequeñas pueden ser más transparentes y tener un color rosado intenso, lo que permite utilizarlos como gemas. Se recomienda utilizar directamente los cristales sin cortar y pulir para joyería.

Cristales de vesuvianita.

La vesuvianita denominada en la antigüedad como idocrasa del *griego idos* forma y *crasos* mezcla debido a que sus formas cristalinas se parecen a las de otras especies, Schmitter, 1980, nombre discontinuado por la Comisión de Nuevos Minerales y Nombres de Minerales, Glossary of Obsolete Mineral Names Bayliss, 2000. El termino vesuvianita se debe a que fue encontrado en las primeras eyecciones del Vesubio, Schmitter, 1980.

Este mineral tiene como fórmula general: $\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$ sin embargo, en su estructura pueden entrar diferentes elementos como Fe^{+2} y Mn^{+2} , puede presentar fluor.

Pertenece al sistema tetragonal, es un mineral de alta dureza 6.5, peso específico de 3.35 a 3.45, crucero imperfecto, con lustre vítreo y alocromático.

En esta localidad la vesuvianita tiende a tener un color verde amarillento y se presenta en cristales de anhedrales a euhedrales intercrecida con granate, diopsida y calcita, formando el skarn. Los más bellos ejemplares forman cristales euhedrales formando un prisma ditetragonal bipiramidal con pinacoides.

Este mineral se intemperiza fácilmente y es muy difícil encontrar cristales sanos, aunque los alterados mantienen por lo regular sus formas cristalográficas (figura 25).



Figura 11. Cristal de vesuvianita completamente alterado, con cristales de granate sanos.



Figura 12. afloramiento en la localidad La Torre donde se encuentran cristales de vesuvianita euhedrales intercrecidos con grosularita rosada. Se puede observar el intenso intemperismo a minerles arcillosos y goethita limonita.

Por las relaciones texturales observadas en el skarn, la vesuvianita se formó posterior al granate y en algunos huecos es posible coleccionar cristales euhedrales como el que se aprecia en figura 27. En algunas zonas los granates se encuentran

acompañados de cristales de vesuvianita euhedrales y subhedrales de 1 a 5 cm de largo, estos aglomerados de cristales se presentan en una matriz de óxidos y caliche. Una localidad importante para obtener este mineral es cerro el Jumilar.

La vesuvianita al igual que el granate se puede encontrar como cristales aislados en los depósitos aluviales, aunque es difícil conseguir cristales en buen estado.



Figura 13. cristal de vesuvianita de 4x1 5x1,5 sobre granate. Colección Victoria-Morales.