

## **7 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE SKARN EN LA SIERRA DE TLAYCA Y TLAYECAC.**

A lo largo de toda la zona serrana de Tlayca y Tlayecac, se pueden observar evidencias de la formación de skarn en sus fases de endoskarn y exoskarn, presentando un abundante desarrollo de minerales como granate, piroxenos, escapolita y wollastonita debido al intercambio mineralógico entre la roca intrusiva y las diferentes rocas carbonatadas (metasomatismo), formados durante la etapa de skarn progrado y retrogrado.

Este tipo de skarn se presenta como grandes masas extendidas en forma de halos o zonamiento de granate, piroxeno, escapolita-analcima, wollastonita, además de hornfels y mármol en menores cantidades hacia las periferias como evidencias de un metamorfismo de contacto. La presencia de estos minerales ocurre de forma independiente o combinada entre ellos, situándose a lo largo del cuerpo intrusivo (Figura 10). Esta alteración puede presentarse rellenando fracturas o en forma de parches o costras dentro del cuerpo intrusivo o de formas masivas en las rocas carbonatadas (evidencias del endoskarn y exoskarn). Según Grajales-Nishimura y Sánchez -Hernández (1979), se trata de zonas de skarn y mármol, formadas las últimas por recristalización de la Fm. Cuautla y las primeras por metasomatismo debido a la adición de cantidades apreciables de sílice, aluminio, hierro y titanio por parte de los cuerpos intrusivos.

Anteriormente, el área de estudio ha sido prospectada por Au-Ag, Zn, Fe y granate, presentando varias obras mineras pequeñas en zonas del skarn masivo, desarrolladas principalmente sobre los sistemas estructurales principales. Es notoria la concentración de minerales calcosilicatados contenidas en las rocas intrusivas y la presencia de zonas marmolizadas y hornfels, demostrando así una fuerte alteración a skarn, siendo esta clara evidencia la alteración progradante.

## Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac

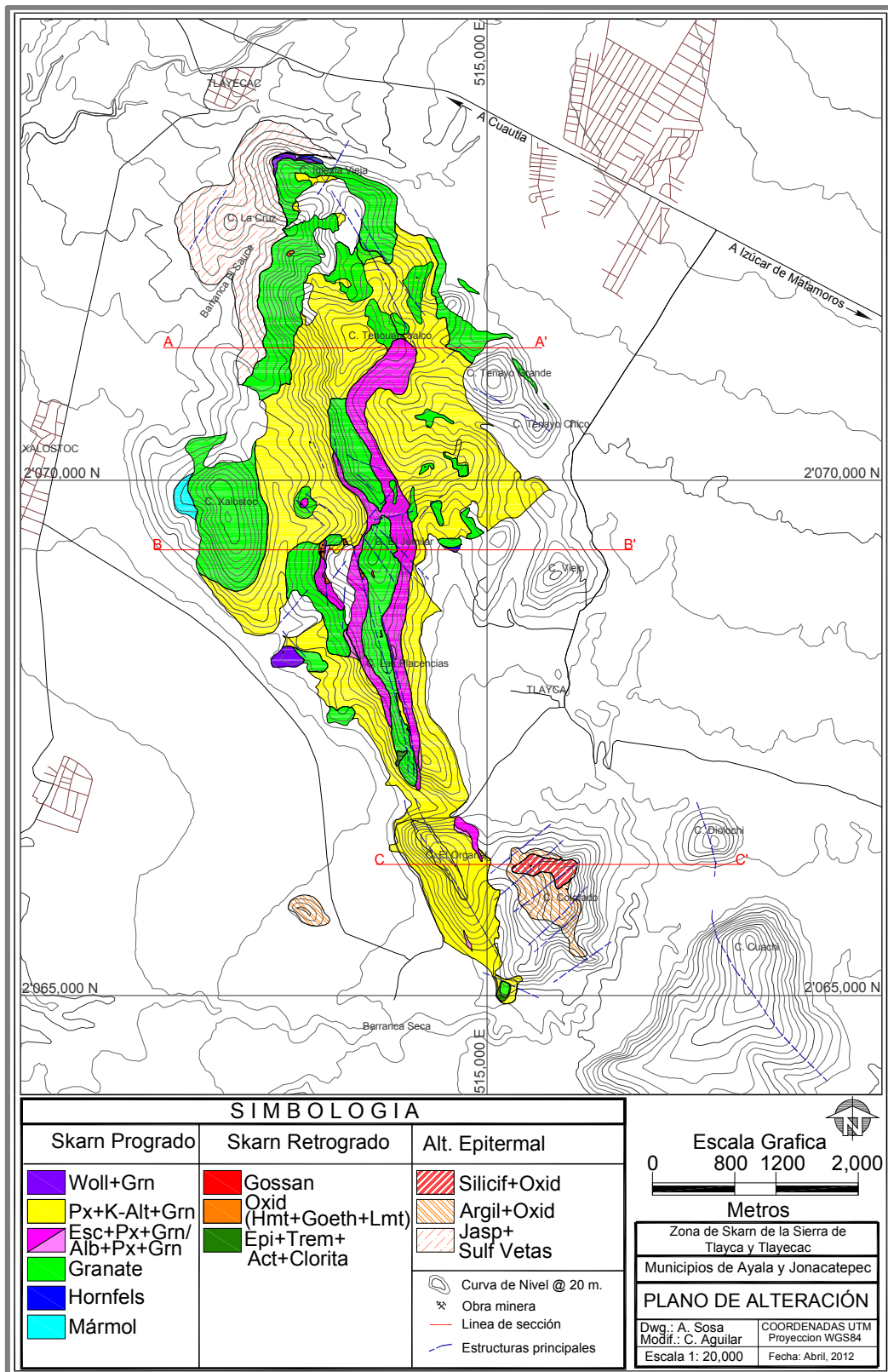


Figura 10. Mapa de alteración del área de estudio, en el cual de diferencia de forma general la zonación de los minerales calcosilicatados encontrados dentro del sistema de skarn.

### ***Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac***

---

La presencia de zonas de alteración retrograda se encuentran constituidas por evidencias de minerales hidratados como clorita, epidota, tremolita-actinolita, además de calcita secundaria, relictos de zonas de gossan y óxidos derivados de pirita-pirrotita, restringidas a lo largo de sistemas estructurales que al parecer son las que representan el interés económico del área de estudio, ya que sobre estas estructuras, se desarrollaron pequeños trabajos mineros antiguos.

Para los fines y comprensión de este estudio ha sido posible dividir las zonas de exoskarn y endoskarn, encontrando sus evidencias en la mayor parte del área de estudio. Además ha sido posible reconocer y diferenciar el zonamiento de minerales calcosilicatados típicos de depósitos de skarn en rocas carbonatadas, catalogándolos dentro de la etapa de skarn progradante y minerales hidratados correspondientes a la etapa de skarn retrogrado, los cuales se describen a continuación.

#### **7.1 Exoskarn**

La zona determinada como exoskarn fue desarrollada durante el proceso de formación del skarn debido a procesos metasomáticos, los cuales se llevaron a cabo debido a la ascensión de fluidos de alta temperatura enriquecidos en el contenido de silicio, aluminio, y menores cantidades de titanio y hierro, a través de fracturas en el cuerpo del intrusivo ascendiendo hacia fuera y penetrando a la roca encajonante, formándose así la variedad de minerales calcosilicatados. La zona de exoskarn se puede apreciar principalmente en la zona norte y los límites sur-oeste, cercano al contacto entre el cuerpo intrusivo con el conglomerado calcáreo y las calizas, respectivamente (Foto 20), la zona de influencia está formada principalmente por relictos o parches marmolizados y zonas masivas de granates (andradita, grosularita, uvarovita) reemplazando parcial o completamente a las rocas carbonatadas. También se pueden observar relictos del exoskarn en otras zonas, por ejemplo hacia la zona sur donde se observan grandes cuerpos enriquecidos por calcita recristalizada, granate y wollastonita, además de extensas zonas de caliche formadas por la disolución de las rocas carbonatadas. La extensión del exoskarn no se puede apreciar más allá de las zonas

### *Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac*

topográficamente elevadas debido a que las unidades carbonatadas se encuentran cubiertas por depósitos clásticos y lahares.



Foto 20. Evidencias de la zona del exoskarn, donde se pueden apreciar la forma masiva de rocas calcáreas reemplazadas por calcosilicatos.

## **7.2 Endoskarn**

La zona del endoskarn fue desarrollada debido al retroceso del flujo de fluidos metasomáticos ahora enriquecidos en calcio, hacia el cuerpo intrusivo diorítico - granodiorítico, a través de estructuras o planos de debilidad, ahora bien para el caso particular del área de estudio, se puede clasificar a éste como una zona de endoskarn de granate-piroxeno, en base a la concentración de estos minerales dentro de este sistema. El desarrollo o evidencias del endoskarn se encuentra presente en la mayor parte del cuerpo intrusivo expuesto en superficie, presentándose como parches, costras y como un fuerte enrejado de fracturas rellenas principalmente de cristales de granate y piroxeno, mostrando una aureola blanqueada de pocos centímetros de espesor, alrededor de estas fracturas dentro del cuerpo intrusivo. La profundidad de esta alteración hacia el centro del intrusivo, no se aprecia en campo, pero es muy notorio el incremento en el grado de

### ***Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac***

intensidad del desarrollo en forma de costras o parches de calcosilicatos, conforme se acerca al contacto con las rocas carbonatadas o cercano a la zona del exoskarn, (Foto 21).



Foto 21. Evidencias del desarrollo de zonas de endoskarn en rocas intrusivas de composición diorítica, presentando fracturas rellenas de granate y piroxeno.

### **7.3 Alteración Prograda**

Inicialmente al ocurrir el proceso de metamorfismo de contacto, entre el cuerpo intrusivo y las rocas carbonatadas, alteran las propiedades de la roca encajonante y generan el desarrollo de zonas marmolizadas, hornfels y wollastonita hacia la periferia. Durante el proceso de metasomatismo que es donde ocurre un intercambio mineralógico, entre las rocas del cuerpo intrusivo y las rocas encajonantes carbonatadas, desencadenado por la circulación de fluidos a alta temperatura, enriquecidos en silicio, aluminio, y menores cantidades de titanio y hierro. Las soluciones fluyeron a través de las zonas de fractura y debilidad del cuerpo intrusivo. Al ocurrir estos intercambios mineralógicos, dieron lugar a la formación de minerales calcosilicados, produciendo así, halos bien definidos del desarrollo de estos minerales, en base a factores como

### ***Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac***

concentración o enriquecimiento mineralógico, temperatura y presión. La zonación o distribución de estos minerales, formados durante el proceso progradante, es notable en el campo dentro del área de estudio, en un orden proximal a distal de granate –granate+piroxeno –escapolita+granate+piroxeno – wollastonita+granate – mármol+hornfels, según el modelo de la Figura 8.

#### **7.3.1 Zona de Granate**

La zona de granate se encuentra desarrollada, principalmente, sobre el eje del que pudo haber sido el pliegue anticlinal de la roca carbonatada encajonante, formando un fuerte halo sobre la cima de la zona serrana, corriendo en dirección casi norte sur, correspondiente a la orientación de los principales sistemas estructurales de este lugar. Esta zona forma un cuerpo de granate masivo compuesto por varios tipos, entre ellos, grosularita  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , andradita  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$  y uvarovita  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ , según Grajales-Nishimura y Sánchez-Hernández, (1979). Los granates se encuentran bien desarrollados llegando a medir de 0.5-5.0 cm de largo, con una pureza moderada a pobre, con variedad de colores como se aprecia en la Muestra LC-05, LC-08 y LC-360 (Foto 22). Dentro de esta zona de granate masivo se encontraron pequeñas obras mineras de las cuales extraían estos cristales de granate, debido a su variedad de tamaños, formas y colores para uso comercial.

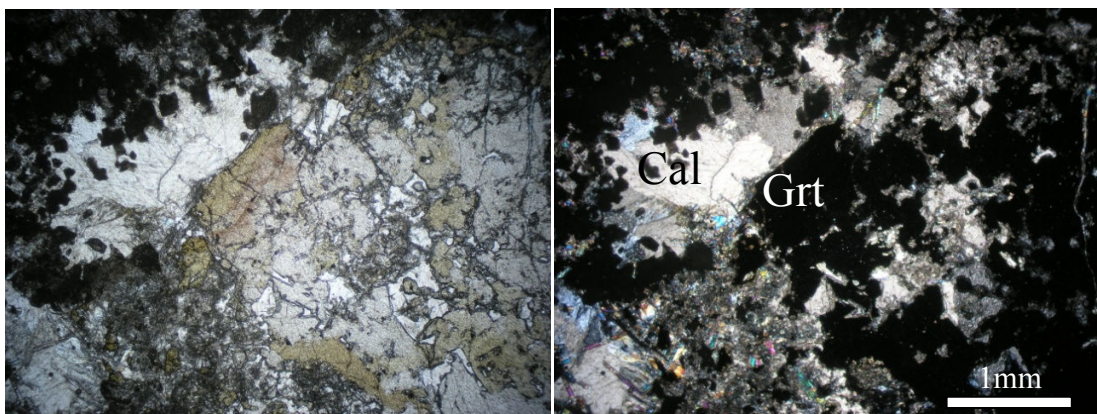


Foto 20. Microfotografía: Muestra LC-360, con luz natural (izq.) y luz polarizada (der.) a 4x. Se puede apreciar la abundancia de fenocristales de granate y en menor proporción clinopiroxeno, en una matriz con cristales de calcita, zona de granate.

### 7.3.2 Zona de Escapolita + Piroxeno + Granate

La zona formada por un extenso halo de cristales de escapolita, piroxenos y granates, se encuentra principalmente en las zonas centro y sur, rodeando al halo de granate masivo, alineado casi norte sur al igual que el sistema estructural principal. Se presenta junto con cristales de piroxenos y granate además de sulfuros como pirita y pirrotita.

La escapolita  $(\text{Na,Ca,K})_4\text{Al}_3(\text{Al,Si})_3\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{Cl,SO}_4,\text{CO}_3)$ , es un silicato complejo que mineralógicamente sería un alumino-silicato de calcio y sodio con carbonato, este mineral metamórfico presenta una fórmula química similar a los feldespatos, formada por un metamorfismo de contacto, indicando un movimiento de sodio en el sistema. En el área de estudio la escapolita, se caracteriza por presentarse como masas o agregados en forma de columnas apiladas o radiales de hasta 3 cm de largo, con coloraciones gris-azulado con brillos tornasol, además de presentarse junto con cristales de piroxeno y granate, (Foto 23).



Foto 21. Muestra de roca con desarrollo de fenocristales de escapolita, los cuales se presentan en forma de masas o agregados columnares de coloración gris azulada porcelanizada.

## Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac

Para poder confirmar la presencia de una zona formada por cristales de escapolita, fue necesario realizar estudios de petrografía como en el caso de la muestra LC-M-6 (Foto 24) y difracción de rayos x, (Gráfico 1). Los resultados fueron interesantes, ya que no solo se confirmó que efectivamente se trataba

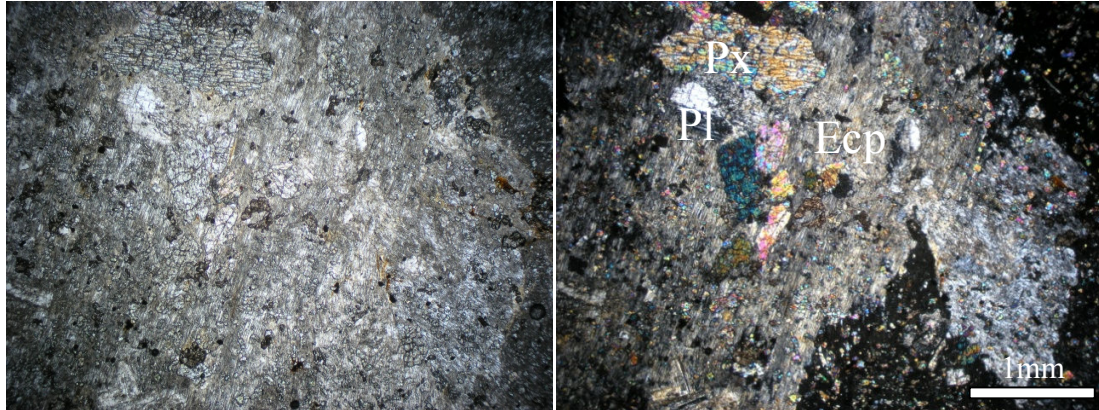


Foto 22. Microfotografía: Muestra LC-M-6, con luz natural (izq.) y luz polarizada (der.) a 4x. Se observa un fenocristal de escapolita al fondo, con algunos cristales de piroxeno, granate y plagioclasas subhedrales, zona de escapolita-piroxeno-granate.

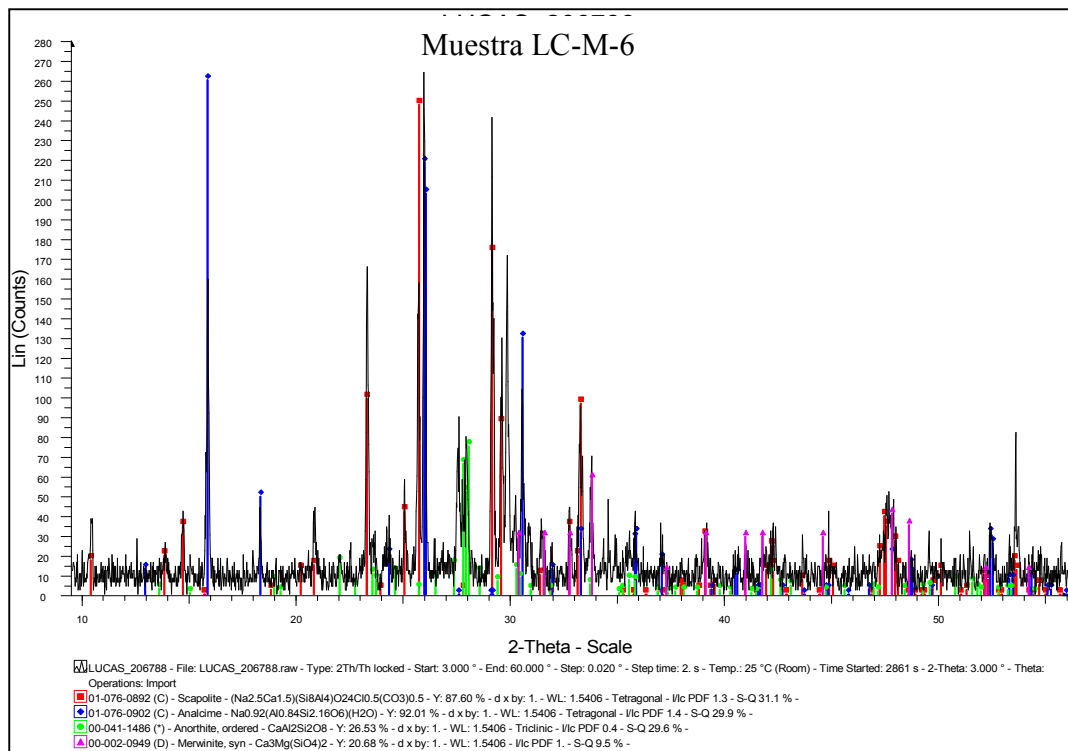


Gráfico 1. Resultado del estudio de difracción de Rayos-X realizado a la muestra LC-M-6, el cual confirma la presencia de escapolita y analcima.



### ***Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac***

de cristales de escapolita, sino que también se detectó analcima, esto indicaría que existe un metamorfismo de bajo grado posterior a la formación del halo de escapolita. Asociado al halo de escapolita, se pueden encontrar zonas albitizadas, alterando al cuerpo intrusivo, hacia los márgenes exteriores de la zona de escapolita. Se pudo reconocer la presencia de albita,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , al analizar las muestras petrográficas cercanas al halo de escapolita, junto con evidencias de feldespatización. La presencia de escapolita y albita, indican que uno de los plutones, o cuerpos intrusivos asociados, incluyó un metasomatismo alcalino al sistema de skarn, agregado al metasomatismo primario rico en sílice, aluminio y hierro, o que simplemente representa una fase tardía de la misma intrusión.

#### **7.3.3 Zona de Piroxeno + Granate**

La zona determinada como el halo de piroxenos y granates, se encuentra rodeando al halo de granate masivo en la zona norte, y en la zona sur se encuentra rodeando el halo de escapolita-piroxeno-granate; esto es debido a que el desarrollo del halo de escapolita está asociado únicamente al cuerpo intrusivo diorítico. Las evidencias de la zona de piroxenos se encontraron en la mayoría de las muestras petrográficas que se recolectaron de los cuerpos intrusivos como se observa en las láminas petrográficas de las muestras LC-2, LC-4 y LC-5 (Foto 25). Se pudieron reconocer al menos dos tipos de piroxenos, clino y orto piroxenos, probablemente augita  $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al},\text{Ti})(\text{SiAl})_2\text{O}_6$ , diópsida  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  e hiperstena  $(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  los cuales corresponden a la facies corneana de piroxeno de Turner y Verhoogen de 1975, (Grajales-Nishimura y Sánchez-Hernández, 1979), según la cual estos minerales se formaron a temperaturas entre 600-700°C y presiones menores a 5 kbar.

### *Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac*

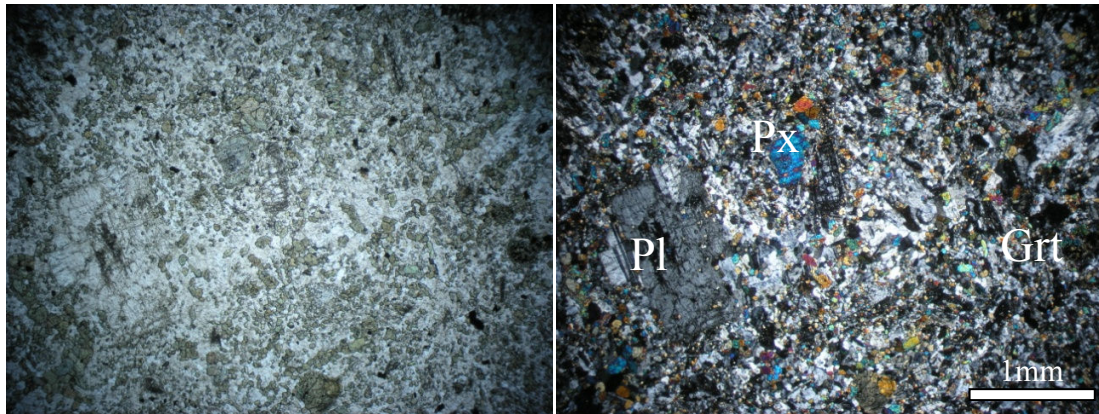


Foto 23. Microfotografía: Muestra LC-4, con luz natural (izq.) y luz polarizada (der.) a 4x. Se observa gran cantidad de fenocristales de piroxenos sobre una matriz compuesta de fenocristales de plagioclasas, zona de piroxeno-granate.

#### 7.3.4 Zona de Wollastonita + Granate

La zona formada por el halo de wollastonita y granate, se puede encontrar en las periferias del sistema estructural principal, cercano a las zonas de exoskarn, en sitios donde es fácilmente inferible el contacto del cuerpo intrusivo con las rocas carbonatadas, estableciendo zonas de wollastonita y granate, poco extensas. Para poder confirmar la presencia de wollastonita, se realizaron estudios petrográficos y de difracción de rayos-x. En las muestras petrográficas LC-459 y LC-460, (Foto 26), se pueden observar los cristales de wollastonita como pequeños cristales aciculares en una matriz carbonatada así como algunos cristales de granate y piroxeno.

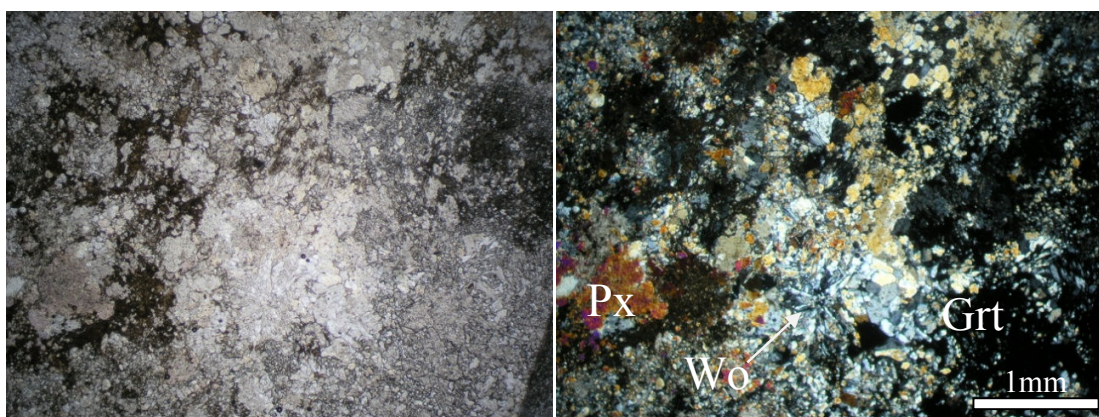


Foto 24. Microfotografía: Muestra LC-460, con luz natural (izq.) y luz polarizada (der.) a 4x. Escasos cristales de wollastonita rodeados por abundantes fenocristales de granates y piroxenos dominando sobre una matriz con relictos de calcita, zona de wollastonita-granate.

## *Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac*

Los resultados del estudio de difracción de rayos-x, (Gráfico 2) confirmaron la presencia de cristales de wollastonita  $\text{CaSiO}_3$ , además del tipo de granate encontrado en esa zona, el cual corresponde al tipo grosularita  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , ambos minerales típicos de un ambiente de metamorfismo de contacto en rocas calcáreas o marmolizadas.

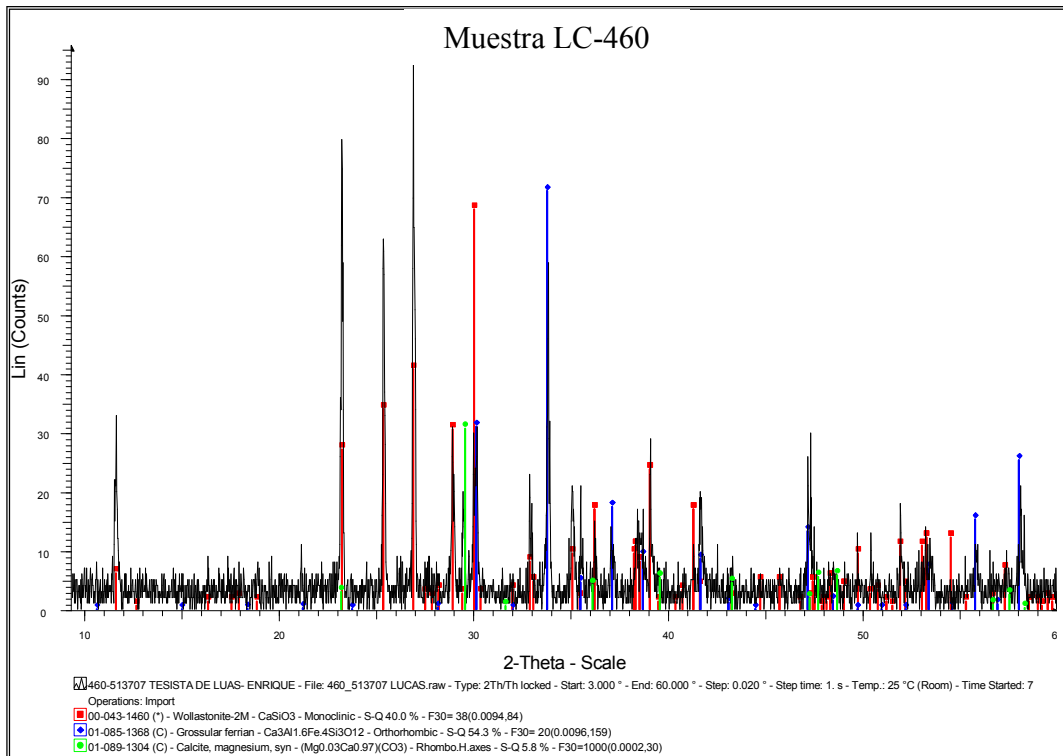


Gráfico 2. Resultado del estudio de difracción de Rayos-X realizado a la muestra LC-460, el cual confirma la presencia de wollastonita y grosularita.

### 7.3.5 Zona Marmolizada y de Hornfels

En el área de estudio, las zonas marmolizadas son escasas y de muy poca extensión, encontrándose como relictos de una zona semi marmolizada en los bordes o periferias del halo de wollastonita en la zona norte, en el Cerro de La Cruz, junto con afloramientos de zonas de hornfels, formada por capas delgadas, compuestas por material fino a grueso granular, de color café claro a beige, que en muestras petrográficas presentan evidencias de un protolito calcáreo, según Grajales-Nishimura y Sánchez -Hernández (1979), corresponden a la Fm. Cuautla.

### ***Características de la zona de skarn en la sierra de Tlayca y Tlayecac***

---

Se pueden encontrar pequeños cuerpos con desarrollo de mármol, hacia el este del Cerro Colorado, cercano a una zona de contacto entre las rocas carbonatadas y rocas volcánicas (Foto 5).

El cuerpo marmolizado más importante, relacionado a este sistema de skarn, se encuentra restringido al flanco occidental del Cerro San Juan. Esta zona se encuentra dentro del territorio perteneciente al poblado de Jalostoc, la cual estaba restringida para poder realizar estudios geológicos, por lo cual solo se obtuvieron datos bibliográficos de ella.

#### **7.4 Alteración Retrógrada**

A partir de la depositación de los sulfuros, generalmente continúa una etapa de cese del desarrollo del skarn, debido a una disminución de la actividad magmática y una consecuente disminución de la temperatura del sistema. Durante el enfriamiento del cuerpo intrusivo y la circulación de aguas de temperaturas más bajas, oxigenadas, dan inicio a la etapa de alteración retrógrada, en la cual los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos, son modificados por la disolución del calcio e introducción de volátiles en el sistema de skarn, formando nuevos minerales hidratados de baja temperatura, a partir de estos minerales anhidros. Dentro de estas fases minerales hidratadas encontramos epidota, clorita y calcita secundaria reemplazando a grosularita; cuarzo, óxidos de hierro, y calcita reemplazando andradita; tremolita-actinolita reemplazando diópsido, (Foto 27).



Foto 25. Evidencias de alteración retrógrada en una muestra de mano tomada de una de las pequeñas obras mineras encontradas en el área de estudio, la cual presenta clorita, tremolita-actinolita y óxidos de hierro (Hematita-Limonita-Pirita oxidada).

Además de las de zonas con fuerte oxidación, con Hematita pervasiva+ Goethita+ Limonita+ PyOx, como relictos de una zona de gossan, controladas por el sistema estructural principal. En el área de estudio es muy notable este sistema presentando una dirección casi norte-sur, sobre la cual se encontraron algunas pequeñas obras mineras antiguas, en zonas de alto grado de oxidación, en las cuales esta alteración se impone a la alteración progradante. Las evidencias de la alteración retrógrada en campo, en general, son escasas, con poca influencia, pero es posible inferir que este tipo de alteración pudiera tener una extensión a lo largo del sistema de skarn de hasta 2 kilómetros, al compilar los datos de las obras mineras asociada al sistema estructural, principalmente hacia la zona sur dentro del sistema de skarn.