



INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALÚRGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

**Facultad: Geología y Minería**

**Departamento de Geología**

# **Trabajo de Diploma**

**Para optar por el Título de**

## **Ingeniero Geólogo**

**Metodología para precisar la caracterización  
petrográfica de las rocas que afloran en el sector  
Cantarrana, Complejo Ofiolítico Moa - Baracoa**

***Autor: Jorge Felix Cruz Pérez***

***Tutores: Dr.C Gerardo Orozco Melgar***

***Dra.C María Margarita Hernández Sarlabous***

**Moa, 2014**

**“Año 56 de la Revolución”**

## PENSAMIENTO

*... emplearse en lo estéril cuando se puede hacer lo útil; ocuparse en lo fácil cuando se tienen bríos para intentar lo difícil, es despojar de su dignidad al talento. Todo el que deja de hacer lo que es capaz de hacer, peca.*

*José Martí.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco primeramente a Dios por permitir graduarme de Ingeniero Geólogo con excelentes resultados académicos.*

*Agradezco grandemente a Pedrito, Nelvita y su familia por brindarme todo su amor y su ayuda.*

*Un agradecimiento especial para Lesy y Vero que fueron como dos madres ya que me brindaron todo su amor incondicional y sus gratos consejos.*

*A Aracelis por ayudarme en todo aunque a veces protestara un poco y no estuviera de acuerdo con muchas cosas ya que es un poco refunfuñona.*

*Agradezco grandemente a Patricia, Erick y Zulema.*

*Un agradecimiento súper especial para el profesor, aunque principalmente amigo Yurisley Valdés Mariño por ayudarme, apoyarme y guiarme en todo y cuanto pudo por mi bien en estos cinco años de carrera.*

*A Mileydis por todo su amor y apoyo desde que la conocí y por tanta ayuda que he recibido de su parte.*

*A mis tutores: Dr. Gerardo Orozco Melgar y Dra.C María Margarita Hernández Sarlabous por toda su ayuda y apoyo.*

*Al Ing. Iván Brea Pérez por ayudarme incondicionalmente para la realización del trabajo de diploma. ¡GRACIAS!*

*A mis compañeros de aula por ayudarme todos estos años en todo lo que estuvo a su alcance y darle las gracias por compartir juntos todos esos momentos inolvidables. Principalmente quiero agradecer a quien considero una hermana Ildanelis Furones Cantillo porque siempre pude contar con ella en todo.*

*A los profesores del departamento por toda su ayuda en estos cinco años.*

*Pero principalmente quiero agradecer a mi más adorado tesoro, mi querida MADRE que siempre ha estado ahí para mí: Ángela Pérez Mayo, te amo con todas las fuerzas de mi corazón.*

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a la persona más importante en mi vida, la cual me ha dado todo su apoyo, ayuda incondicional y por enseñarme que nada es imposible si lo deseas con todas las fuerzas de tu corazón y que a la meta se llega si perseveras, aunque el camino sea de tropiezos y obstáculos: mi madre querida Ángela Pérez Mayo a quien amo con todas las fuerzas de mi corazón.*

## RESUMEN

El presente trabajo de diploma titulado: **Metodología para precisar la caracterización petrográfica de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, Complejo Ofiolítico Moa - Baracoa** se basa en la cuantificación de los minerales componentes de las rocas tomadas durante el levantamiento geológico. Se utilizó una metodología que emplea la video- cámara digital ocular MDCE- 5A, con cable USB 2,0 y el software *ScopePhoto*. Se analizaron 16 secciones delgadas de las cuales 8 fueron estudiadas con la metodología de cálculo. Se partió de las descripciones petrográficas las que se precisaron a través de los cálculos cuantitativos. Las rocas estudiadas se clasificaron en tres grupos litológicos: serpentinitas, dunitas y troctolita. Para la clasificación petrográfica de las rocas se utilizaron los diagramas de Streckeisen y Le Maitre.

Palabras claves: Petrografía, serpentinitas, dunitas, troctolita, cálculos mineralógicos cuantitativos, Cantarrana, ofiolitas.

## ABSTRACT

The present investigation titled: **Methodology to specify the petrographic characterization of the rocks that appear in the sector Cantarrana, Moa – Baracoa Ophiolite Complex** is based on the quantification of the mineral components of the rocks taken during the geologic survey. The methodology employed uses the video - ocular, digital camera MDCE- 5A with the software ScopePhoto. 16 thin sections were analyzed, 8 of which were studied with the methodology calculation. As a result of quantitative calculations, petrographic descriptions were also done. The studied rocks were classified in three lithological groups: serpentines, dunites and troctolite. The diagrams of Streckeisen and Le Maitre were used for the petrographic classification of the rocks.

Keywords: Petrographic, serpentinites, dunites, troctolite, quantitative mineralogical calculations, Cantarrana, ophiolites.

## ÍNDICE

PENSAMIENTO .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS GENERALES. ....	8
1.1 Introducción .....	8
1.2. Ubicación geográfica del área de estudio .....	8
1.3 Características socioeconómicas.....	10
1.4 Vegetación .....	10
1.5 Clima.....	11
1.6 Relieve .....	12
1.6.1 Dominios geomorfológicos del área de estudio: .....	14
1.7 Hidrografía .....	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	17
2.1 Introducción .....	17
2.2 Metodología empleada para la realización de la investigación .....	18
2.3 Etapa preliminar .....	19
2.4 Trabajos de laboratorio .....	19
2.4.1 Análisis petrográfico.....	19
2.4.2 Metodología de trabajo para el ajuste de medición del microscopio JENALAB POL con el uso de la cámara MDCE-5A.....	22

2.4.3 Procedimiento para el cálculo cuantitativo de minerales .....	29
2.5 Etapa de gabinete .....	31
CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS QUE AFLOTRAN EN EL SECTOR CANTARRANA.....	33
3.1 Introducción .....	33
3.2 Petrografía .....	35
3.2.1 Serpentinitas.....	38
3.2.2 Dunitas.....	52
3.2.3 Troctolita .....	55
3.3 Resultados .....	58
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	65
ANEXOS .....	67



## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos ferroniquelíferos ubicados en el extremo nororiental del territorio cubano, específicamente en el municipio Moa, constituyen uno de los recursos minerales más importante del país debido a su extensión y reservas, desempeñando un rol fundamental en el desarrollo económico de nuestro archipiélago. Ellos se ubican dentro del sistema montañoso Mayarí-Sagua-Baracoa donde se encuentran los principales yacimientos de este tipo.

El sector Cantarrana constituye una de las áreas menos estudiadas dentro de la geología de Cuba oriental formando parte del macizo ofiolítico Moa-Baracoa. En el año 2012 se llevó a cabo un proyecto de exploración geológica en dicha área. Durante los trabajos de levantamiento geológico realizados en las etapas preliminares del proyecto fueron documentados afloramientos donde se tomaron muestras de rocas para su posterior análisis y clasificación. El estudio de estos tipos de rocas permitirá caracterizarlas petrológicamente, una etapa que es muy importante para los trabajos de exploración geológica de los yacimientos minerales. Los procesos de alteración de los minerales que se presentan en las rocas ultramáficas en esta zona del oriente del país complican, a menudo, el proceso de determinación de las rocas. Por tal motivo se hace necesario precisar la caracterización petrográfica de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, para ampliar el conocimiento sobre su constitución geológica y contribuir al conocimiento geológico de la zona.

### **Problema**

No se emplea una metodología para calcular cuantitativamente los contenidos minerales de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, Complejo Ofiolítico Moa - Baracoa a partir de la descripción petrográfica de las mismas.

### **Objeto de estudio**

Los contenidos minerales de las rocas que afloran en el sector Cantarrana.

### **Objetivo general**

Desarrollar una metodología para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales de las rocas que afloran en el sector Cantarrana para precisar su clasificación petrográfica.

**Objetivos específicos**

- Desarrollar una metodología para la determinación de los contenidos minerales con el uso de la video-cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0 y el uso del software ScopePhoto.
- Determinar los tipos de rocas presentes a partir de la composición mineralógica cuantitativa.
- Clasificar petrográficamente las rocas a partir de los diagramas de Streckeisen y Le Maitre.

**Hipótesis**

Si se precisan cuantitativamente los contenidos minerales de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, Complejo Ofiolítico Moa - Baracoa a partir de la descripción petrográfica de las mismas, entonces se podrán determinar los tipos de rocas según de la composición mineralógica cuantitativa empleando los diagramas de clasificación de Streckeisen y Le Maitre.

## MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

Antes de la aplicación de la computación, las tecnologías desarrolladas para la determinación cuantitativa de los minerales en secciones delgadas utilizaban la mesa de conteo de minerales con platina de integración a través de los métodos de integración lineal y de integración por puntos como se puede observar en las figuras 1 y 2.

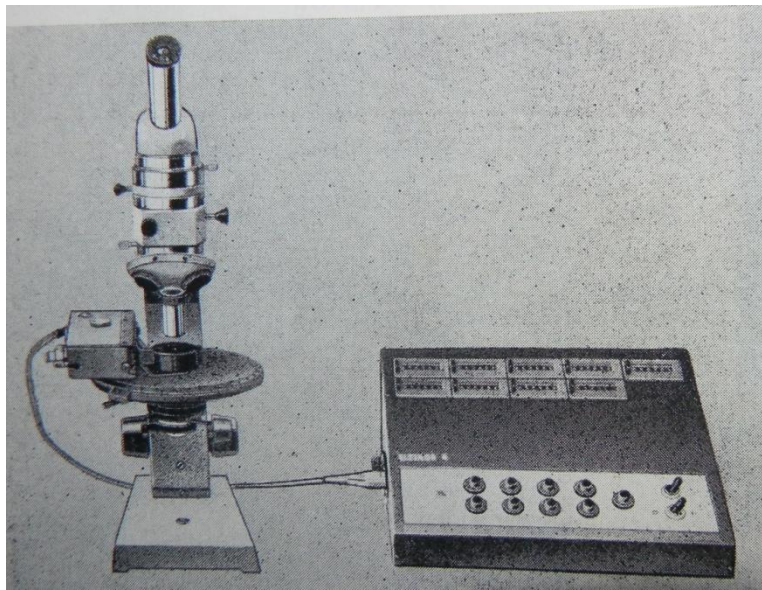
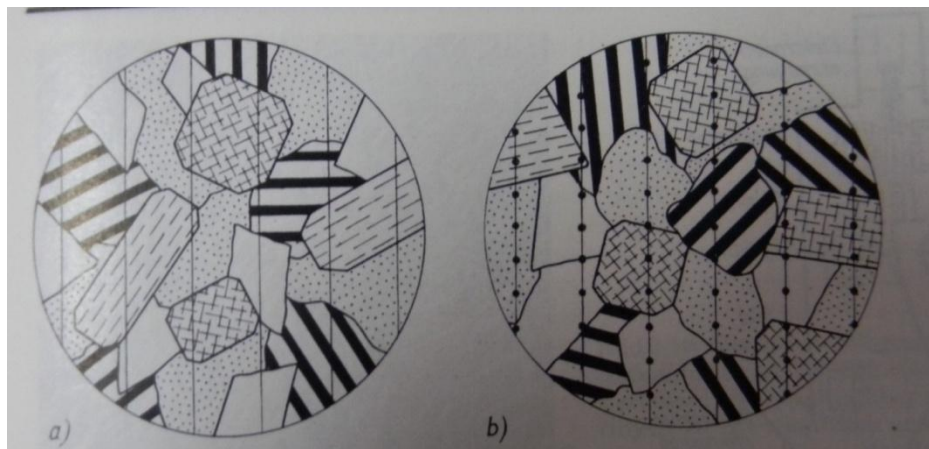


Figura 1: Mesa de conteo de minerales acoplada al microscopio.



a) Método de integración lineal.

b) Método de integración por puntos.

Figura 2: Figuras que muestran el método de integración lineal (a) y por puntos (b).

Con el paso de los años y el desarrollo de las tecnologías se han venido desarrollando otros trabajos más avanzados como es el caso del microscopio óptico polarizado *Axio Scope A1* en el año 2009.



**Figura 3: Fotografía del microscopio óptico de polarización *Axio Scope A1*.**

El microscopio *Axio Scope.A1* de la firma *ZEISS*, versión específica para captura de imágenes en luz polarizada, permite configurar una amplia variedad de fines y requisitos individuales, y personalizar la configuración del microscopio según sus preferencias por sencillos o complejos que sean sus requisitos.

La platina rotativa se centra en relación con la posición de referencia del objetivo fijo en la torreta del objetivo. Como consecuencia, el resto de las posiciones de objetivo se pueden centrar individualmente en relación con la referencia, de modo que la posición de la imagen permanezca inalterada al cambiar el aumento. El puente nasal de seis posiciones está equipado con roscas M27 y, por lo tanto, admite toda la gama de técnicas de contraste estándares en luz reflejada y transmitida, así como aplicaciones de campo oscuro de luz reflejada. Además de las cinco posiciones de los objetivos de alta definición, el puente nasal presenta

una posición para alojar un control deslizante DIC para contraste de interferencia diferencial.

Pérez Barnuevo, L. (2008) público en la revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de Perú (Vol 11, No. 22) el Ensayo metodológico para la caracterización automatizada de menas metálicas mediante análisis digital de imagen. Aplicación geometalúrgica. Este es un ejemplo de la utilización de las técnicas computarizadas para el conteo de minerales utilizando el análisis de imágenes digitales.

El Laboratorio de Microscopía Aplicada y Análisis de Imagen de la Universidad Politécnica de Madrid, integrado en la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid ubicado en la ETS Ing. de Minas, cuenta con equipamiento avanzado en los campos de la Microscopía Óptica de Transmisión y Reflexión, Petrografía, Mineragrafía, Análisis de Imagen y Microtermometría de Inclusiones Fluídas. Investiga materiales pétreos y de construcción, minerales y menas metálicas. Desarrolla aplicaciones a problemas de génesis mineral, metalogenia, exploración minera y geometalurgia o mineralurgia y sus implicaciones medio-ambientales, así como proyectos de investigación variados, ya sea de convocatorias públicas competitivas o financiados por la industria. Actualmente trabaja en el desarrollo de un sistema experto para el reconocimiento automatizado y caracterización de menas metálicas.

La técnica de Análisis Digital de Imagen (ADI) se basa en la utilización de un equipo de ADI compuesto por un microscopio de reflexión, una cámara de video 3CCD, una tarjeta digitalizadora y un software de análisis de imagen. Todos estos elementos se interrelacionan de manera que las escenas visualizadas en el microscopio son capturadas con la cámara de video y digitalizadas y almacenadas en el ordenador, donde, a través del software de análisis de imagen serán tratadas para obtener la información necesaria. Para que esta información sea fiable y reproducible es necesario que el equipo trabaje en condiciones estables.

Berrezueta, E. (2004) desarrolló una metodología de trabajo con el equipo de ADI del Laboratorio de Microscopía Aplicada de la Escuela Técnica Superior de

Ingenieros de Minas de Madrid, que ha sido ensayada para constatar cómo un usuario sin experiencia previa es capaz de lograr la puesta a punto del equipo de ADI, obteniendo resultados fiables y reproducibles. La validez del método ha sido comprobada mediante la aplicación de ADI a la cuantificación mineral de probetas pulidas estudiadas previamente por un mineralogista experto, y cuantificadas por el método tradicional del contador de puntos.

Ramos Lores, C. (2012) presento una guía de estudio para estudiantes de Geología, como tema de su trabajo de diploma. Cuantificó minerales utilizando el microscopio petrográfico NOVEL, empleando el procesamiento de imágenes y el uso del software *ScopePhoto 2.0*. Este trabajo no ha sido puesto en práctica para el estudio de las rocas de los complejos ofiolíticos de la región de Moa-Baracoa y para la cuantificación de minerales en las mismas, por lo que surge la propuesta del presente trabajo de diploma.

# CAPÍTULO I

## **CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS GENERALES.**

- 1.1 Introducción**
- 1.2 Ubicación geográfica del área de estudio**
- 1.3 Características socioeconómicas**
- 1.4 Vegetación**
- 1.5 Clima**
- 1.6 Relieve**
- 1.6.1 Dominios geomorfológicos del área de estudio**
- 1.7 Hidrografía**

### **1.1 Introducción**

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, geológicos, hidrogeológicos, climáticos, las características de la vegetación y las características socioeconómicas del sector de estudio lo que permitirá tener una panorámica sobre las generalidades del área.

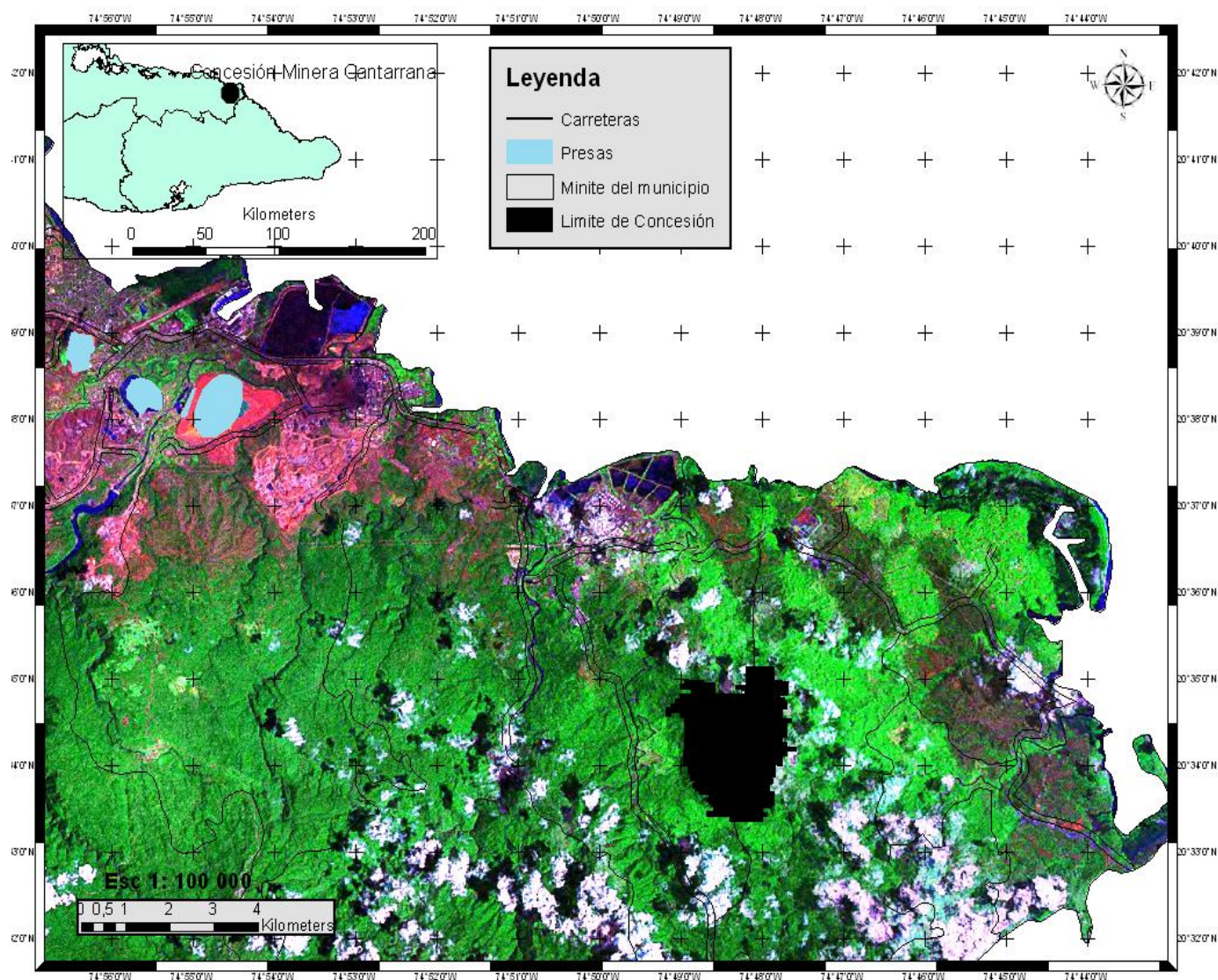
### **1.2. Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio se encuentra ubicada en el extremo nororiental del territorio cubano específicamente en el municipio Moa, provincia Holguín. Situada al Este del río Quesigua y al Oeste del río Yamanigüey, limitada al Norte por la falla El Medio y al Sur por los cuerpos de gabra. En la figura 1.1 se muestra el mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Según el sistema Lambert se ubica en las coordenadas siguientes:

X: 710 100- 712 600

Y: 212 600- 215 600





**Figura 1.1.** Versión digital del mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Esc: 1: 100 000. Barea, 2014.

### **1.3 Características socioeconómicas**

Económicamente la región de Moa, donde se encuentra enmarcada el área de estudio es una de las más desarrolladas en el país desde el punto de vista industrial, debido a que cuenta con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Soto Alba y Ernesto Che Guevara que impulsan el desarrollo de la rama minero – metalúrgica en la región y el país en general.

Además existen otras entidades tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, la Empresa Constructora y Reparadora de Industrias del Níquel (ECRIN), el Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONÍQUEL), el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINÍQ) y la Empresa de Servicios de la Unión del Níquel (ESUNI), todas en apoyo al desarrollo de este renglón económico. Cuenta además con otros organismos de los cuales depende la economía de la región como son: Empresa Geólogo-Minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social como son la presa Nuevo Mundo (la más profunda del país), el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo. *Tomado de Cobas, R. 2012.*

### **1.4 Vegetación**

La flora del municipio Moa es muy variada en toda su magnitud, por eso se destaca tanto por su endemismo genérico, como específico. También hay especies significativas por considerarse relictos de eras pasadas. La vegetación presente forma parte de 5 formaciones vegetales:

**Pinares:** es un bosque siempre verde, con hojas en forma de agujas, generalmente con un solo estrato arbóreo dominante (*pinus cubensis*), con altura de 20 -30m y una cobertura entre 80 y 90% de la superficie pudiendo llegar en ocasiones hasta el 100%. Especies más representativas: *pinus cubensis*, framboyán azul, guao y copey.

**Pluvsilvas:** es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m de altura. Especies más representativas: majagual azul, ocuje colorado, roble y yagruma.

**Carrascales:** son formaciones de bosques siempre verde o matorrales bajos siempre verdes.

Alcanzan una altura de 6 y 8 m. Especie más representativa: jaracanda arbórea.

**Bosques de galería:** Se desarrollan en las laderas de los ríos, arroyos, cañadas y diferentes cursos de agua. Pueden alcanzar hasta 20 m de altura o más. Especie representativa: ocuje colorado y diferentes tipos de helechos.

**Manglares:** Son bosques siempre verdes que pueden oscilar desde 5 a 15 m y en ocasiones hasta 25 de acuerdo a las condiciones ecológicas de las zonas. Se localizan en zonas costeras bajas, fangosas, parcial o totalmente inundadas por agua salada, con acción directa del agua de mar.

Especies características: mangle rojo, mangle prieto, patabán, yana. Esta formación vegetal resulta extremadamente importante no solo económica y biológicamente sino desde el punto de vista ecológico ya que funciona como la barrera principal en la interacción de todos los acontecimientos entre los ecosistemas marinos y terrestres. *Tomado de Pérez, Y. 2012.*

## 1.5 Clima

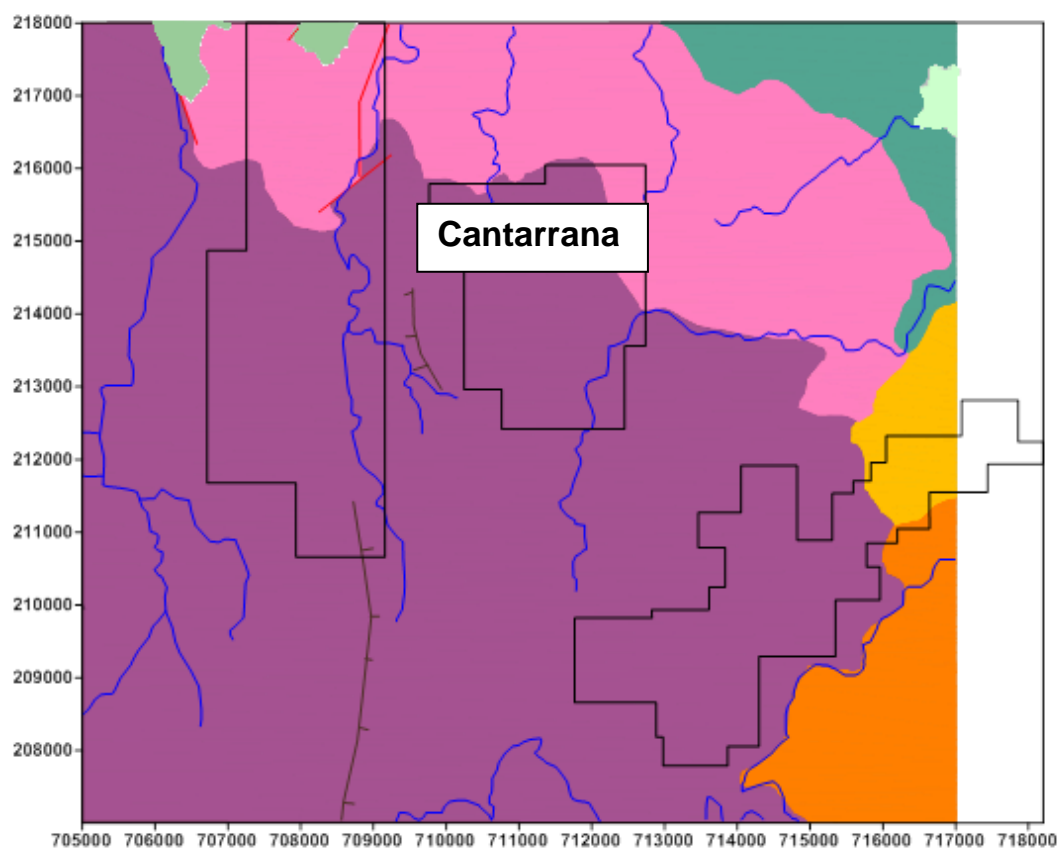
El clima de la zona es del tipo tropical húmedo, el cual se ve influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos alisios del NE, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte de la región. En la misma se distinguen de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos períodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre).

La temperatura media anual oscila entre 22.26 y 30.5 C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto. *Tomado de Cobas, R. 2012.*

## **1.6 Relieve**

El área de estudio se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región, lo que le confiere una mayor inestabilidad e irregularidad de la topografía, por lo que aun cuando predomina el relieve de montañas bajas aplanadas, en su morfología aparecen numerosos barrancos, escarpes y deslizamientos, así como sectores diseccionados. Los barrancos son frecuentes en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural, alcanzando su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. En la figura 1.2 se muestra el mapa geomorfológico del área de estudio. *Tomado de Cobas, R. 2012.*

En la figura 1.2 se muestra el mapa geomorfológico del área de estudio.




### LEYENDA

Zona Geomorfológicas.

Montañas de horst.


 Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

 Submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas


 Montañas bajas diseccionadas.

 Montañas bajas aplanadas.

Llanuras.

 Fluviales erosivas acumulativas.

 Fluviales acumulativas.

 Acumulativas palustres.

**Figura 1.2. Versión digital del mapa geomorfológico del área de estudio. Esc: 1: 25 000. (Rodríguez, 1998).**

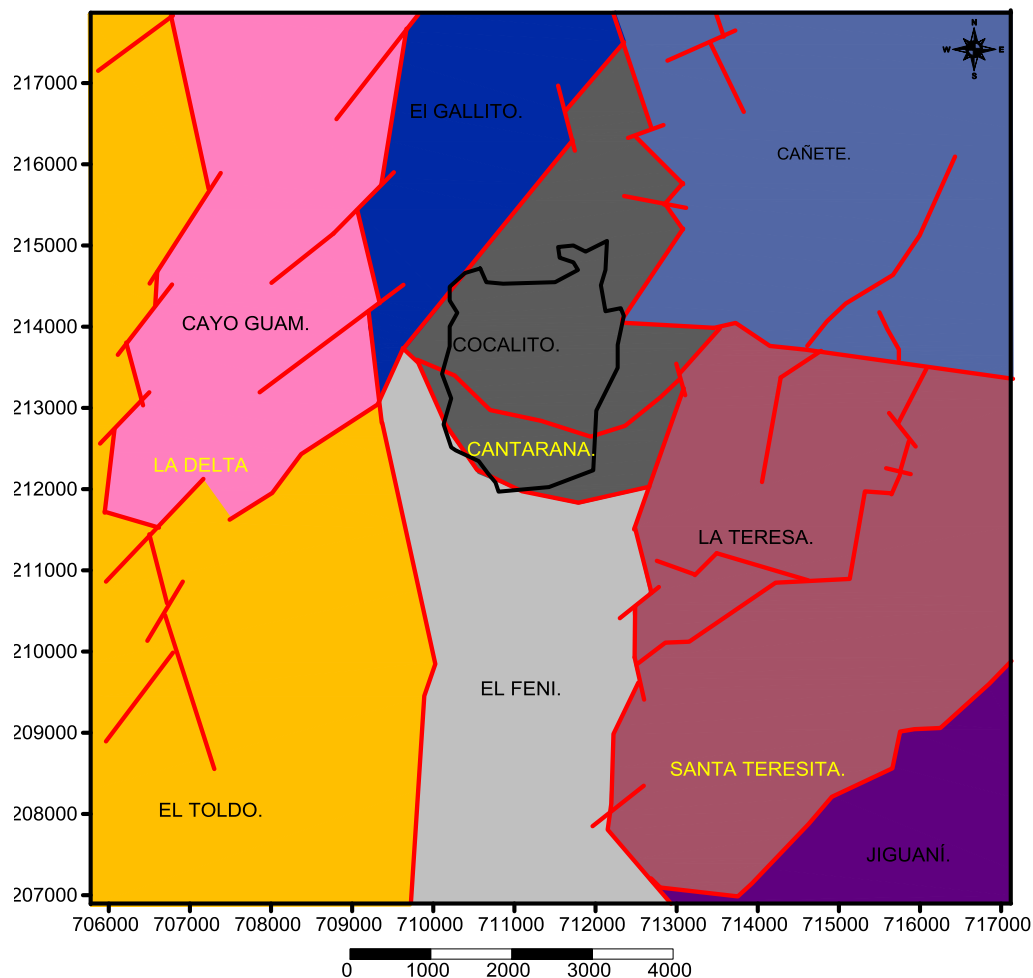
### **1.6.1 Dominios geomorfológicos del área de estudio:**

La corteza laterítica del sector Cantarrana está constituida por dos dominios geomorfológicos: Cantarrana Norte (CR-1) y Cantarrana Sur (CR-2), desarrollados sobre el microbloque Cocalito perteneciente al bloque Cupey que se encuentra entre la falla Quesigua y Yamanigüey, dividido en seis microbloques morfotectónicos: Cocalito, El Gallito, Cañete, El Feni, Jiguaní y La Teresa como se muestran en la figura 1.3.

Las cotas absolutas del área de estudio están entre 150 y 310 metros. En su porción central se encuentra afectada por la falla Arco Norte la que trae consigo el desarrollo de grandes espesores de corteza laterítica.

Microbloque Cocalito: Se encuentra ubicado entre los microbloques El Gallito, El Feni, La Teresa y Cañete, dentro de las estructuras que constituyen límite de este microbloque podemos mencionar El Medio, Potosí y Arco Sur, siendo cortado en su parte meridional por la falla Arco Norte que es una estructura que presenta un relieve en forma de un arco cóncavo hacia la parte sur, donde en su parte más occidental presenta una dirección N340W y en la porción oriental N600E. Esta estructura está limitada al este y oeste por estructuras más jóvenes: Potosí y El Medio respectivamente. Al parecer esta estructura está asociada al emplazamiento de las ofiolitas que genera un relieve en forma de escama.  
*Tomado de Barea y Barrera. 2008.*





**Figura 1.3.** Versión digital del mapa de bloques y microbloques del área de estudio. Esc: 1: 25 000. (Rodríguez, 1998).

## 1.7 Hidrografía

El sector analizado presenta una red fluvial que se comporta de forma homogénea constituida por el río Quesigua y el arroyo Semillero los cuales corren de sur a norte desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

La red hidrográfica aunque mantiene sectores con configuración dendrítica, en la zona norte del área de estudio presenta una forma radial lo que demuestra que esta parte experimenta un ascenso.

# CAPÍTULO II





## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.**

- 2.1 Introducción**
- 2.2 Metodología empleada para la realización de la investigación**
- 2.3 Etapa preliminar**
- 2.4 Trabajo de laboratorio**
  - 2.4.1 Análisis petrográfico**
  - 2.4.2 Metodología de trabajo para el ajuste de medición del microscopio Novel con el uso de la video- cámara digital ocular MDCE-5A**
  - 2.4.3 Procedimiento para el cálculo cuantitativo de los minerales**
- 2.5 Etapa de gabinete**

### **2.1 Introducción**

El presente capítulo contiene la metodología aplicada en la investigación para la clasificación petrográfica de las rocas. Se recopiló la información bibliográfica a partir de la búsqueda de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio. El trabajo se dividió en cuatro etapas fundamentales:

- ✓ **Etapa I: Etapa preliminar.**
- ✓ **Etapa II: Trabajo de laboratorio.**
- ✓ **Etapa III: Trabajo de gabinete.**

## 2.2 Metodología empleada para la realización de la investigación



Figura 2.1. Esquema del diseño metodológico empleado en el trabajo de diploma.



A continuación se describen las cuatro etapas en las cuales se dividió el presente trabajo.

### **2.3 Etapa preliminar**

La revisión y análisis de la bibliografía comprende una etapa importante y se debe considerar al realizar una buena investigación. Con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información posible se consultaron varios trabajos geológicos realizados en el área de estudio.

Durante esta primera etapa de la investigación, se hizo una búsqueda de información bibliográfica, a través de la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, revistas y otros documentos relacionados con la temática a tratar. Para ello se utilizó la base de datos con que cuenta el Centro de información del ISMMM, así como información suministrada por el fondo geológico y sitios web de la INTERNET especializados en el tema. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo.

### **2.4 Trabajos de laboratorio**

Para el análisis de las muestras de rocas seleccionadas en la presente investigación fue necesario realizar trabajos de laboratorio que estuvieron dirigidos hacia la petrografía microscópica para las determinaciones mineralógicas de las muestras.

#### **2.4.1 Análisis petrográfico**

Para la realización de los análisis petrográficos se confeccionaron una serie de secciones delgadas a partir de la muestras que fueron tomadas en las salidas al campo en las zonas más significativas del área de estudio, las cuales posteriormente fueron llevadas al laboratorio de preparación de muestras de rocas y minerales del ISMMM, donde se procedió a la elaboración de 16 secciones delgadas.



Luego de confeccionadas las secciones delgadas las muestras fueron analizadas por la Dra. María Margarita Hernández bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca NOVEL de procedencia China como se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2. Fotografía del microscopio petrográfico de luz polarizada modelo NP-400B, marca NOVEL.**

Estas descripciones fueron la base para el recalcu lo cuantitativo de los % minerales con el uso del software ScopePhoto y la utilización del microscopio petrográfico JENALAB POL (ver figura 2.3). Se utilizaron los objetivos 2,5x y 10x y la video cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2,0 insertada al microscopio para tomar las microfotografías que fueron analizadas.



**Figura 2.3.** Fotografía del microscopio petrográfico de luz polarizada JENALAB POL de la CARLZEISS JENA con la video- cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0 insertada. La video cámara digital ocular se inserta al microscopio y al puerto USB de la computadora dando una imagen en el monitor del campo visual seleccionado como ilustra la figura 2.4.



**Figura 2.4.** Fotografía de la computadora con el microscopio petrográfico de luz polarizada JENALAB POL y la video- cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0 insertados.



La video- cámara digital ocular permitió convertir el microscopio tradicional en un sistema digital de imagen que resulto ideal para la aplicación microscópica que se requirió en el trabajo de diploma. (Ver figura 2.5).



Figura 2.5. Fotografía de la video- cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0.

Las fotografías de las muestras macroscópicas se tomaron con la cámara fotográfica marca **Nikon**, modelo **Colpix**.

#### 2.4.2 Metodología de trabajo para el ajuste de medición del microscopio JENALAB POL con el uso de la cámara MDCE-5A

##### Sistema de aumento.

El ajuste correcto del poder de aumento del microscopio es la premisa para una medición correcta. Este parámetro debe ser colocado por el usuario. Para ajustar el sistema de aumento deben de seguirse los pasos siguientes. (Nota: se utilizó una escala micrométrica con una precisión de 0.01 mm).

Paso 1 : se coloca la video-cámara digital MDCE-5A en el microscopio y se inserta el extremo USB en el puerto USB de la PC la cual debe tener instalado el sistema Windows XP. Posteriormente se abre el programa *ScopePhoto 2.0*.

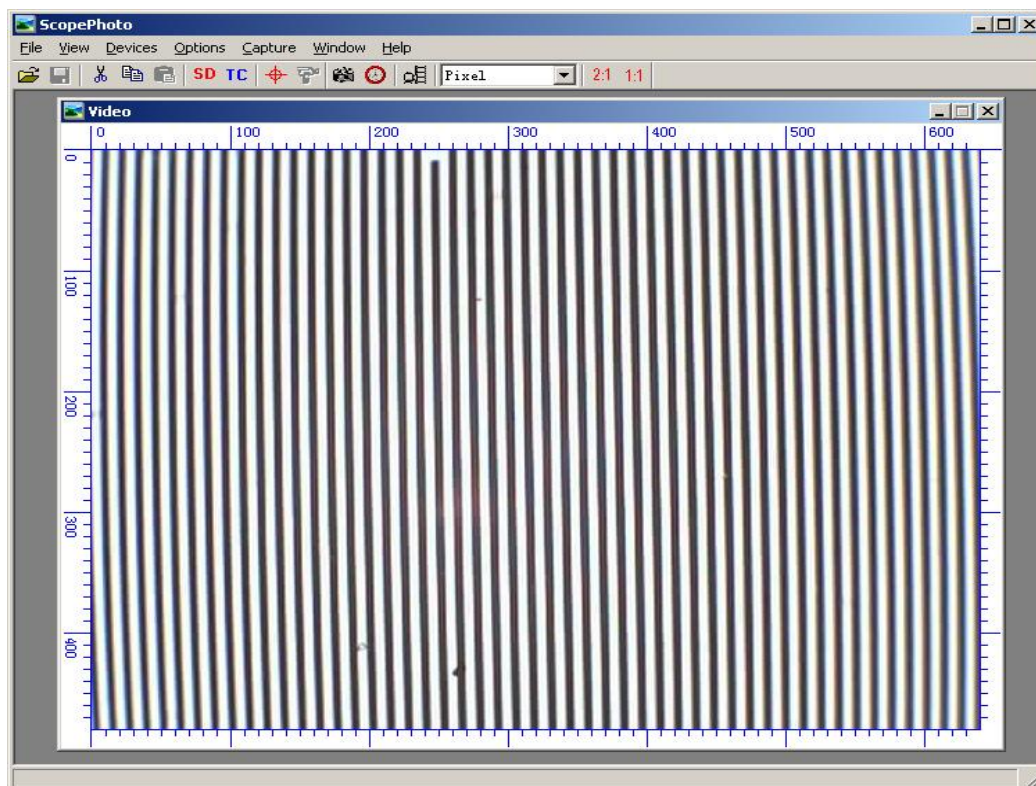


Figura 2.6. Foto de la ventana de video con el objetivo y la escala micrométrica.

**Paso 2:** Se ejecuta el comando *File->Direct Show Capture., Select Device->"Device Driver Name"* y se coloca el índice de aumento en "Pixel". Se coloca el objetivo 4X en el microscopio NOVEL o el 2.5x del microscopio JENALAB, la ventana de Video se muestra en la figura 2.6.

**Paso 3:** posteriormente se colocan los objetivos del microscopio NOVEL en 4X, 10X y 40X y se capturan 3 imágenes respectivamente como muestran las figuras 2.7, 2.8 y 2.9. El periodo exacto de la escala micrométrica es de  $10\ \mu\text{m}$ . Se adiciona una nueva capa al procedimiento de *Layer Manager Tool* en la imagen y se dibuja una línea en las 3 imágenes respectivamente. La línea debe estar alineada al periodo exacto de la red micrométrica o a un número de una distancia del periodo. De acuerdo con el *Measurement Manager*, se va a la línea del número de pixels como se lista en la tabla 2.1.



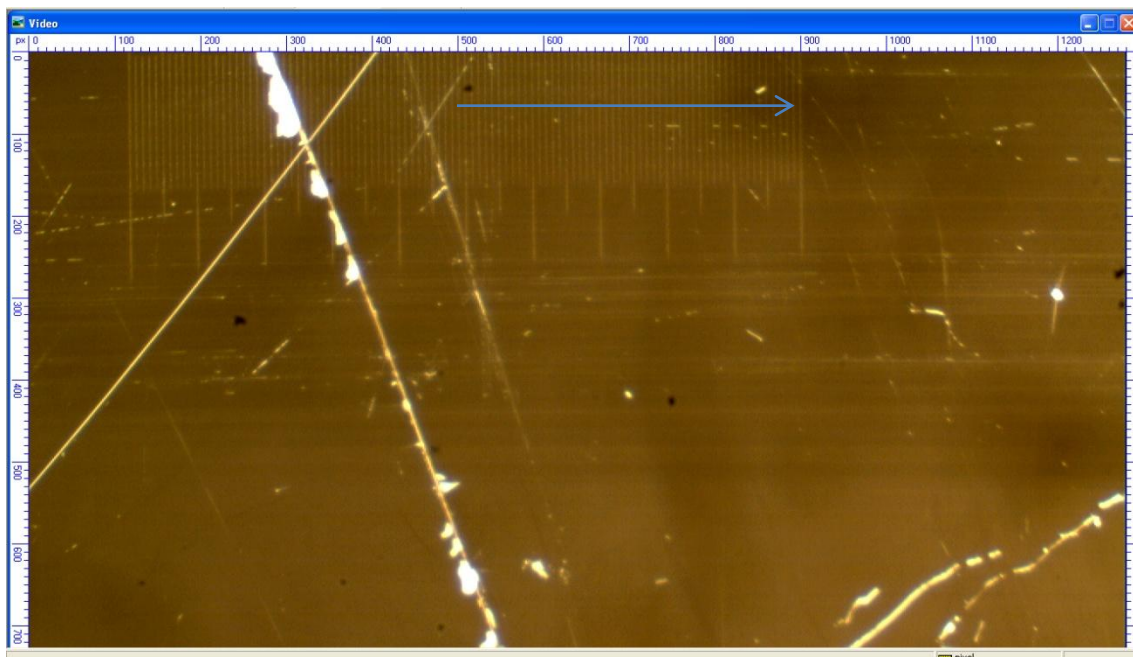


Figura 2.7. El total de líneas es 51, la longitud entre líneas es de 10  $\mu\text{m}$ , por tanto el tamaño actual es  $51 \times 10 = 510 \mu\text{m}$  (Actual size). La cantidad de pixels en la línea azul es 400.

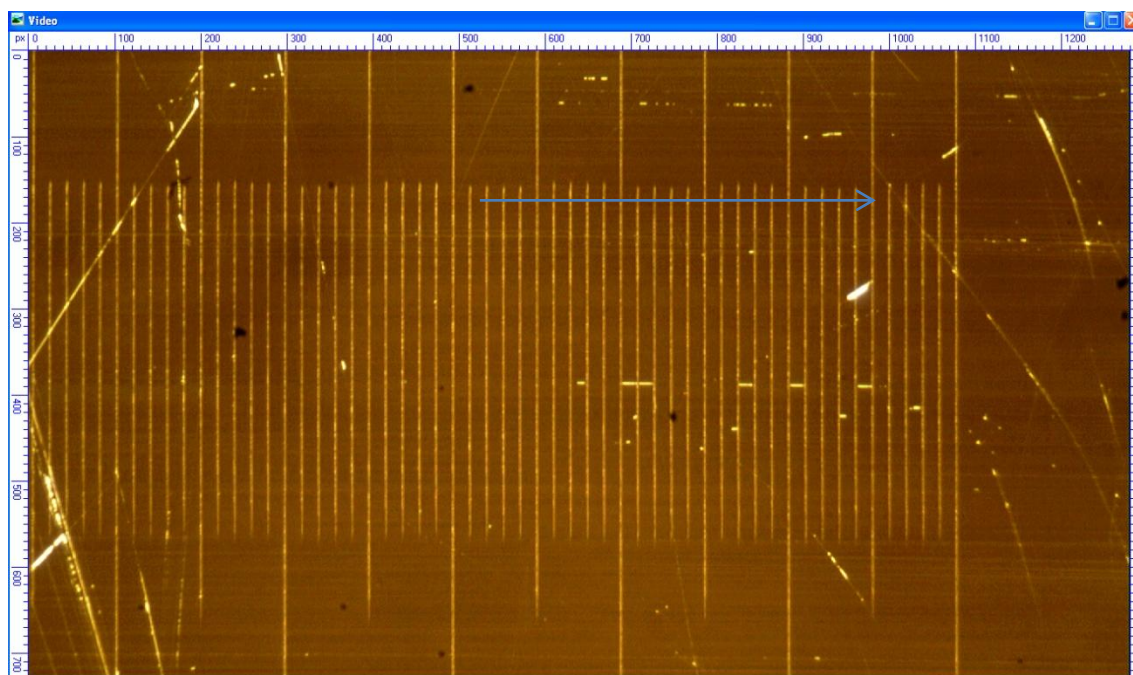


Figura 2.8. El total de líneas es 20, la longitud de la línea es  $20 \times 10 = 200 \mu\text{m}$  (Actual size). La cantidad de pixels en la línea azul es de 390.



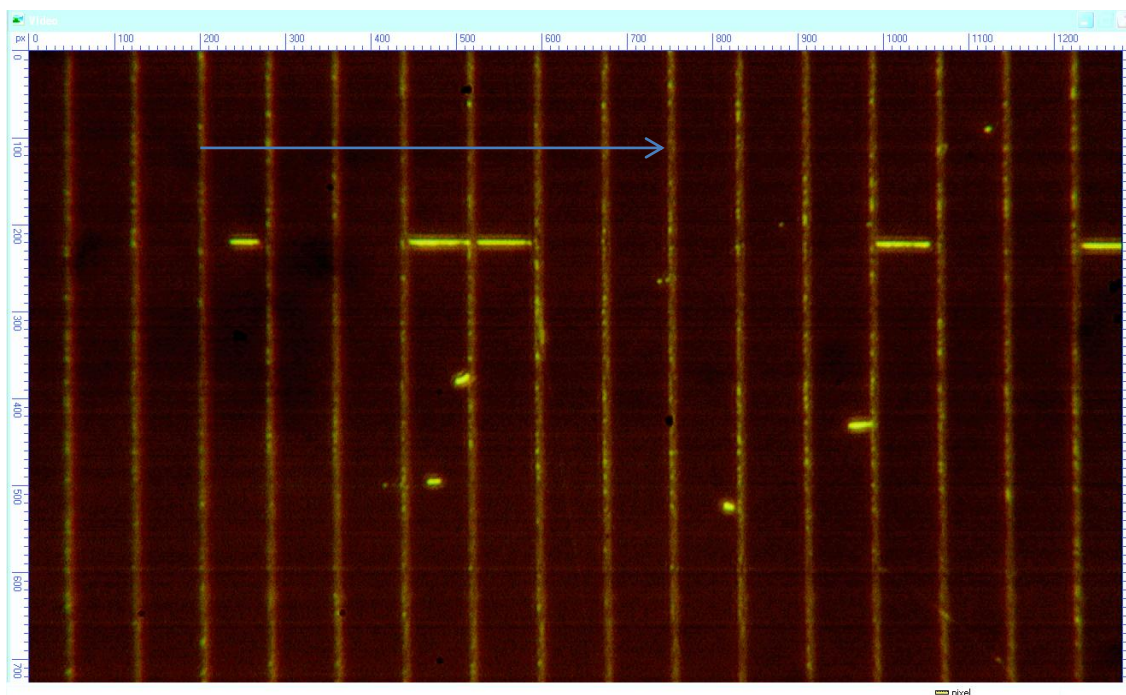


Figura 2.9. El total de líneas es 7, la longitud de la línea es  $7 \times 10 = 70 \mu\text{m}$  (Actual size). La cantidad de pixels en la línea azul es de 550.

Magnificación (Índice de aumento)	Index	Actual Size (Tamaño actual)	Dots On Image (Pixel Number) número de pixels
Valores para el microscopio NOVEL			
4X		51X10 $\mu\text{m}$	400
10X		20X10 $\mu\text{m}$	390
40X		7X10 $\mu\text{m}$	550
Valores para el microscopio JENALAB POL			
2.5X		1000 $\mu\text{m}$	500
10X		100 $\mu\text{m}$	200

Tabla 2.1. Tamaño actual (Actual size) vs número de pixels a diferentes índices de aumento.

**Paso 4:** Se selecciona *Import Image->System Magnificación* menú, una caja de diálogo *System Magnificación* aparecerá, como se muestra en la figura 2.10.

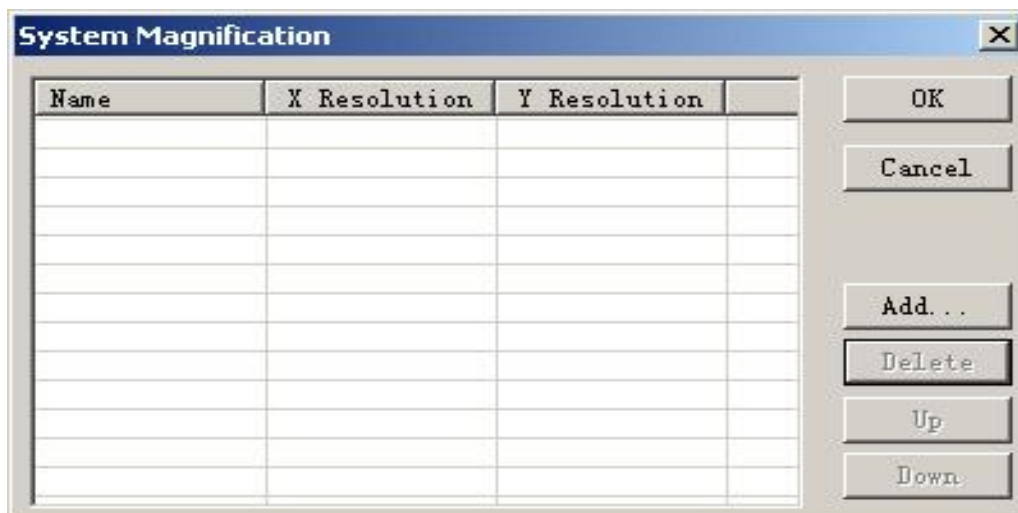


Figura 2.10. Iniciación del poder de aumento del microscopio.

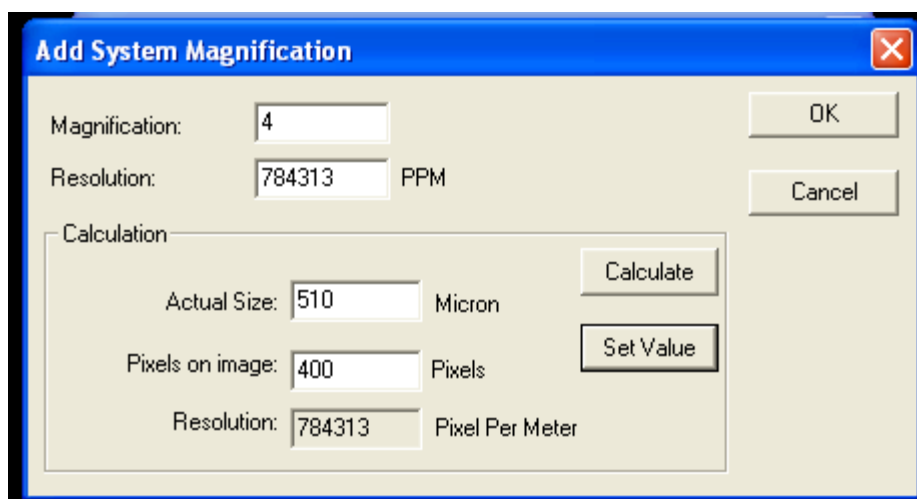


Figura 2.11. Ajuste del poder de aumento del microscopio.

**Paso 6:** Se introduce el poder de aumento del microscopio pinchando el botón *Add*, por ejemplo: 4x. Se inserta el tamaño actual (*Actual Size*) y los puntos sobre la imagen (*Dots on Image*) según los valores de la tabla 1. Se pincha el botón *Calcular* (*Calculate*). Se coloca el valor (*Set Value*) y la *Resolución* será mostrada en la caja de edición. Se pincha el botón *OK* y se encuentra que el valor añadido será mostrado en la caja de control *System Magnificación* (ver figura 2.11).

**Paso 7:** Se repite el paso 6 para colocar la resolución 10x. El poder de aumento final y sus resoluciones son mostrados en la figura 2.12.

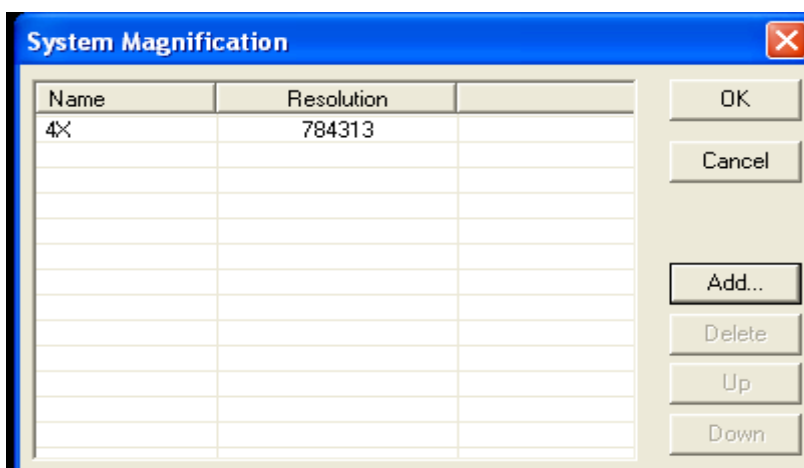


Figura 2.12. Poder de aumento del Microscopio ajustado para 10X.

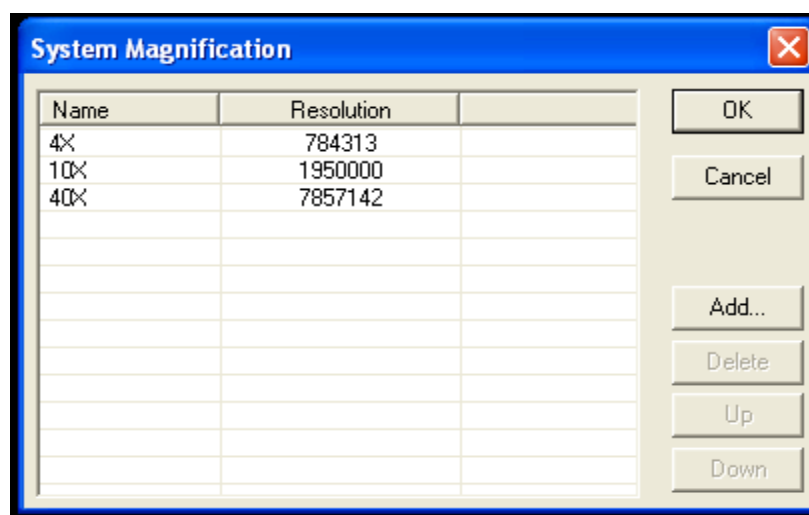


Figura. 2.13. Poder de aumento del Microscopio ajustado para 4X, 10X y 40X.

**Paso 8:** Para evaluar si los ajustes son correctos, se selecciona *Import Image->Direct Show Capture*, aparecerá una ventana de video como muestra la figura 2.14. Se ajusta el poder de aumento del microscopio JANALAB a 10x. Se enfoca el microscopio para que la imagen se vea clara. Se pincha en la escala y aparece un cuadro de dialogo donde se selecciona *Two- Point Measurement*. Se mide entonces la barra que tiene una longitud de 20 unidades. Como cada unidad de la



escala micrométrica tiene 10  $\mu\text{m}$  la barra representa una longitud de 200  $\mu\text{m}$  como se aprecia en el cuadro que aparece en la figura 2.14.

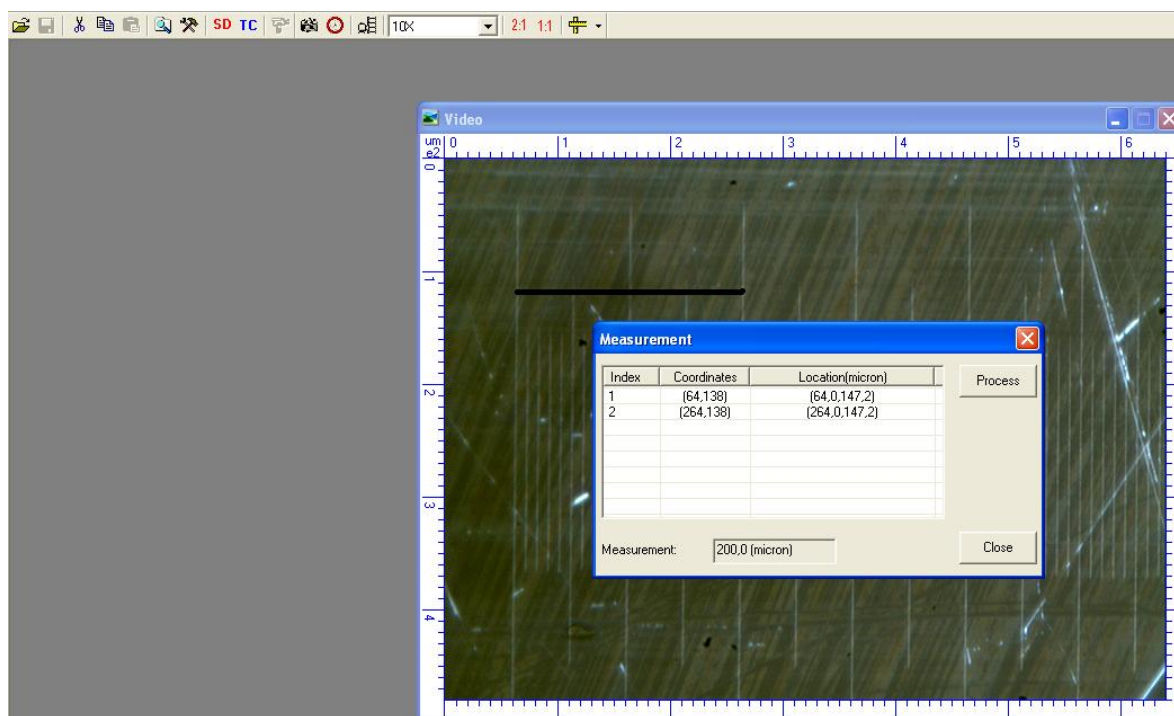


Figura 2.14. Ventana de video de la escala micrométrica con el objetivo 10x. Microscopio JENALAB.



### 2.4.3 Procedimiento para el cálculo cuantitativo de minerales

El procedimiento que se utilizó para la instalación del software y la captura de la imagen se describe a continuación.

- Se utiliza el microscopio JENALAB POL de marca alemana.
- Se emplea el objetivo 2.5x (en el programa *ScopePhoto* se toma como 2X).
- Se utiliza la video- cámara ocular digital MDCE-5A.
- Se carga el programa *ScopePhoto*.
- Se coloca la sección delgada en el porta muestra deslizante.
- Para capturar la imagen del campo se presiona *Print Screen SysRq*.
- Se toma una foto del campo sin analizador y con filtro azul (a).
- Se repite la foto con analizador y sin filtro (b).
- Se carga a través del Total Commander el programa Photoshop.
- Se va en la barra de herramientas a Archivo- Nuevo.
- Sale una ventana donde se le pone el número o nombre a la muestra que se va a procesar (figura 2.15).

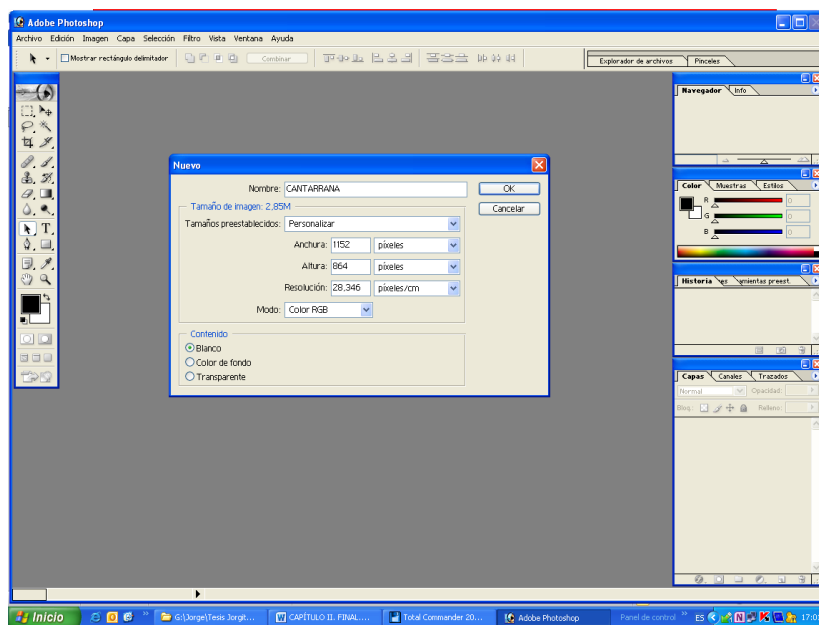


Figura 2.15. Foto que muestra la ventana donde se le pone el nombre de la muestra.



- Posteriormente se pincha OK y sale una ventana en blanco (figura 2.16).

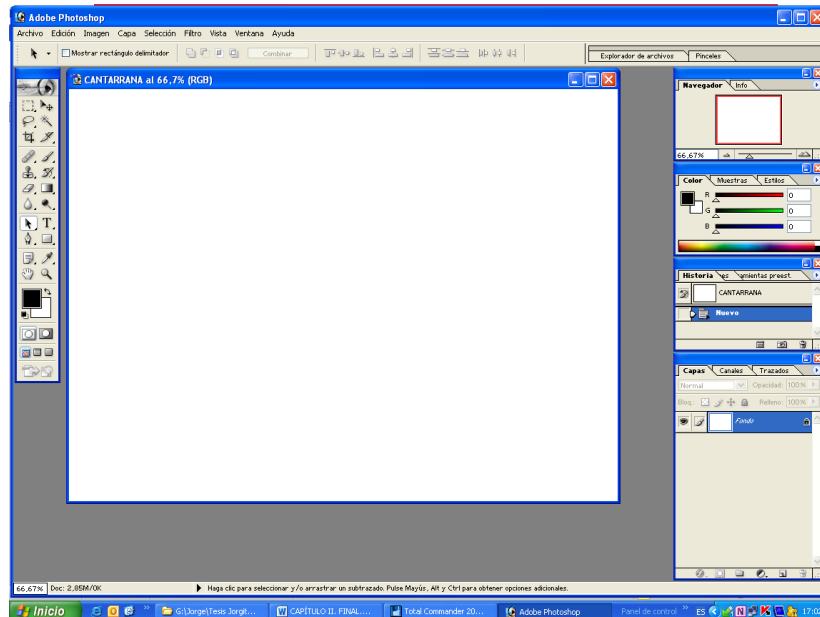


Figura 2.16. Foto que muestra la ventana en blanco.

- Se pincha Ctrl-V para pegar la foto como se muestra en la figura 2.17.

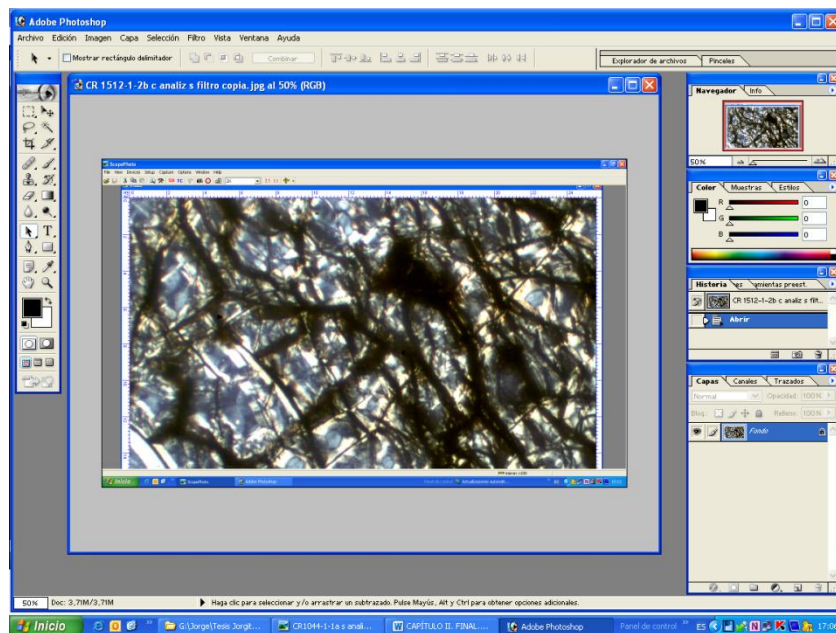
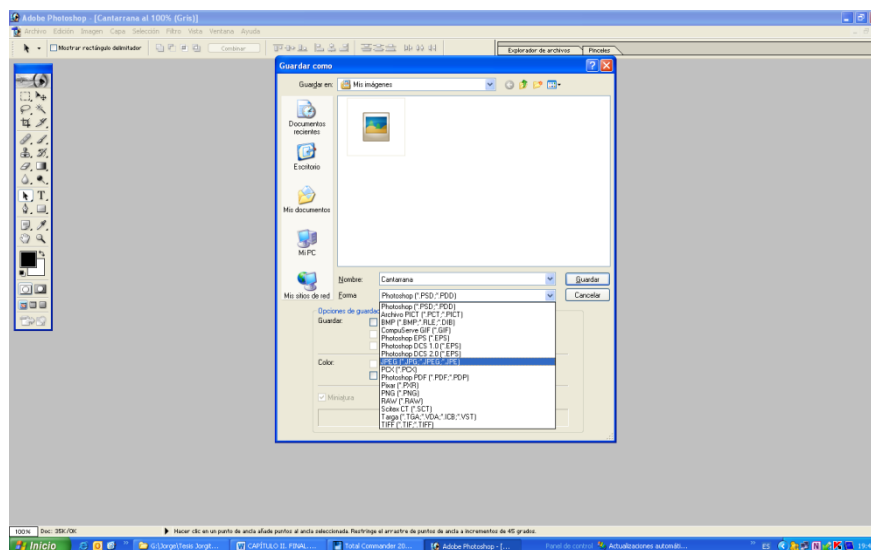


Figura 2.17. Foto que muestra la imagen de la foto pegada al Photoshop.

- Se recorta la foto por todos los extremos con las herramientas que aparecen en la parte izquierda del monitor.
- Luego se presionan las teclas Ctrl- Shift- S o se va a Archivo- Guardar como y se guarda la foto en la dirección que se desee y con la extensión



jpg\* como se ilustra en la figura 2.18.



**Figura 2.18. Foto que muestra cómo se guarda la foto después de presionar Ctrl- Shift- S o Archivo- Guardar como.**

- Después de realizar las fotos del primer campo con nicoles // y X se desplaza la sección delgada con el porta muestra deslizante hasta llegar a un nuevo campo de la sección y se repite el procedimiento hasta que se llega al límite de la muestra. Se toman tantas fotos de la misma sección como sean necesarias en dependencia de la longitud que tenga.

## 2.5 Etapa de gabinete

Durante esta etapa se procesó la información primaria obtenida en las etapas anteriores con la ayuda de programas informáticos como Microsoft Excel 2003, Power Point, Surfer 11, diagramas de clasificación según Streckeisen y Le Maitre.

# CAPÍTULO III





## **CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS QUE AFLORAN EN EL SECTOR CANTARRANA.**

### **3.1 Introducción**

### **3.2 Petrografía**

#### **3.2.1 Serpentinitas**

#### **3.2.2 Dunitas**

#### **3.2.3 Troctolita**

### **3.3 Resultados**

### **3.1 Introducción**

En el siguiente capítulo se precisan las principales características petrográficas de las rocas que afloran en el sector Cantarrana. Las descripciones se basan en el estudio de 16 muestras seleccionadas para la investigación. Se clasifican las rocas utilizando los diagramas de clasificación de Streckeisen y Le Maitre. En la figura 3.1 se presenta el mapa de ubicación de las muestras en el área de estudio. Se representan 12 muestras ya que de 4 no se tienen las coordenadas.

La simbología utilizada en las microfotografías es la siguiente:

Pl.- Plagioclasa

Atg.- Antigorita

Tlc.- Talco

Mgt.- Magnetita

Px.- Piroxeno

Chl.- Clorita

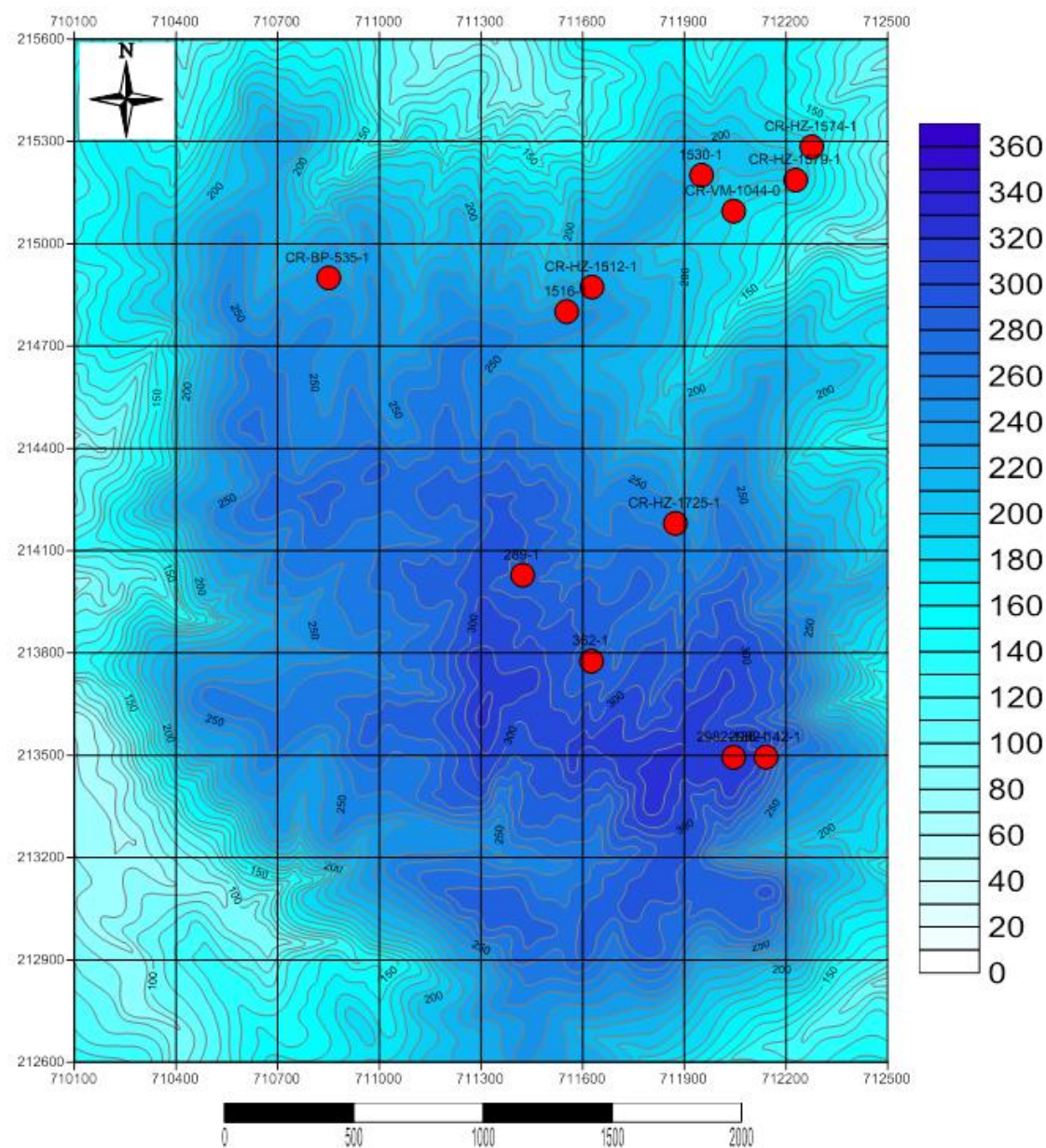
Ol.- Olivino

Chr.- Cromo espinela.



### Capítulo III

*Precisar la caracterización petrográfica de las rocas que aforan en el sector Cantarrana.*



**Figura 3.1.** Versión digital del mapa de ubicación de las muestras. Esc: 1: 15 000.



### 3.2 Petrografía

Macroscópicamente estas rocas se caracterizan por presentar una granulometría de fina a media que dificulta la correcta identificación de los minerales constituyentes. Es típico en ellas un color verde grisáceo y negruzco debido al predominio de minerales máficos. Se caracterizan por presentar estructura masiva (ver figura 3.2), son densas y los granos minerales se encuentran distribuidos de forma homogénea sin ningún signo de orientación preferente.



**Figura 3.2.** Estructura masiva de una serpentinita a partir dunita plagioclásica. Muestra CR 1044-1.

En función de las fases minerales identificadas y de los rasgos texturales, las rocas del sector de estudio se clasifican en tres grupos litológicos principales:

- Serpentinitas
- Dunitas
- Troctolita

En la tabla 3.1 se observa la relación de muestras fotografiadas a las cuales se les calcularon los % de minerales con respecto al volumen total de la roca para su clasificación petrográfica y las fotografiadas no calculadas.



Nro. Muestra	Relación de muestras.	Nombre de la roca	Composición general
CR 2201	Fotografiada no calculada.	Serpentinita.	Minerales del grupo de la serpentina.
CR 1574-1	Fotografiada no calcular.	Serpentinita	Antigorita, cromo espinela, talco?, magnetita.
CR-1579-1	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de dunita plagioclásica.	Minerales del grupo de la serpentina, minerales irregulares casi isótropos, mena metálica.
CR- 1512	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de peridotita plagioclásica.	Minerales del grupo de la serpentina, piroxeno rómbico, plagioclase alterada, mena metálica.
CR 1044- 1	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de dunita plagioclásica.	Olivino, minerales de la serpentina, plagioclase alterada, mena metálica, vetillas de carbonato (talco?).
CR 2578- 42- 1	Fotografiada no calculada.	Serpentinita a partir de Dunita.	Olivino, piroxeno rómbico, minerales del grupo de la serpentina, iddingsita, mena metálica.
CR 2982- 142- 1	Fotografiada no calculada.	Serpentinita a partir de Dunita	Minerales de la serpentina, olivino, piroxeno rómbico, óxido de Fe.
CR 2880- 29	Fotografiada no calculada.	Serpentinita a partir de Dunita	Minerales del grupo de la serpentina, olivino, piroxeno bastitizado.

Tabla 3.1: Relación de muestras fotografiadas calculadas y fotografiadas no calculadas.



CR 3281-38-1	Fotografiada no calculada.	Serpentinita a partir de Dunita	Minerales de la serpentina, olivino, piroxeno rómbico (bastitizado), mena metálica.
CR 2981-1	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de harzburgita.	Olivino, piroxeno rómbico, minerales del grupo de la serpentina, iddingsita, cromo espinela.
CR 1725- 1	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de dunita.	Antigorita, olivino, piroxeno rómbico, mena metálica
CR 3182- 38-1	Fotografiada calculada.	Serpentinita a partir de Dunita	Olivino, piroxeno rómbico, minerales de la serpentina, iddingsita, mena metálica.
CR 2982- 138-1	Fotografiada no calculada.	Dunita	Olivino, antigorita, piroxeno rómbico, mena metálica.
CR 318194- 1	Fotografiada no calculada.	Dunita en parte serpentinizada	Olivino, minerales de la serpentina, piroxeno rómbico, iddingsita, cromo espinela.
CR-1516-1	Fotografiada calculada.	Dunita.	Olivino, piroxeno rómbico Enstatita, iddingsita, minerales de la serpentina, mena metálica.
CR 1530- 1	Fotografiada calculada.	Troctolita	Olivino, plagioclasa alterada, minerales de la serpentina, iddingsita, mena metálica.

Continuación de la tabla 3.1.



### **3.2.1 Serpentinitas**

Compuestas por minerales del grupo de la serpentina principalmente antigorita y en menor proporción crisotilo. La antigorita se presenta con extinción ondulatoria y en ocasiones en forma lamelar y finos cordones. Presentan texturas pseudomórficas, reticulares y en parte alotriomórficas. Las estructuras son masivas; algunas rocas presentan pátinas de oxidación. En su composición tienen olivino y piroxeno rómbico enstatita, el que generalmente se presenta totalmente bastitizado. Algunas de estas rocas han sido formadas a partir de dunitas, de dunitas plagioclásicas y de harzburgitas. La mena metálica es la picotita aunque en ocasiones aparecen magnetita y cromo espinela. De las 16 muestras fueron clasificadas como serpentinitas 12 ya que los minerales de la serpentina ocupan más del 60% en esas rocas. A continuación se describen en detalle las siguientes seis muestras de serpentinitas que fueron analizadas con la metodología de cuantificación de los minerales.

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1. CR-1579-1    | Serpentinita a partir de dunita plagioclásica.     |
| 2. CR- 1512     | Serpentinita a partir de peridotita plagioclásica. |
| 3. CR 1044-1    | Serpentinita a partir de dunita plagioclásica.     |
| 4. CR 2981-1    | Serpentinita a partir de harzburgita.              |
| 5. CR 1725- 1   | Serpentinita a partir de dunita.                   |
| 6. CR 3182-38-1 | Serpentinita a partir de dunita.                   |

El resto de las serpentinitas están descritas en el anexo 1.



## DESCRIPCIÓN GENERAL

**No Muestra:** CR-1579-1

**Coordenadas:** X: 712228,5  
Y: 215186,9

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita plagioclásica.

**Textura:** pseudomórfica.

**Estructura:** masiva.

**Color:** verde grisáceo.

**Composición general:** minerales del grupo de la serpentina, minerales irregulares casi isótropos, mena metálica.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

Se observa en la roca un mineral del grupo de la serpentina al parecer antigorita en forma de finos cordoncillos y en menor proporción en forma lamelar. La antigorita aparece formando una red o mallado alrededor de los huecos vacíos donde posiblemente hubo olivino primario. El mineral de la serpentina alcanza aproximadamente el 84% del volumen total de la roca.

La roca esta surcada en varias direcciones por mena metálica (magnetita) la cual se encuentra polvos finos y pequeños cristales. La magnetita ocupa el 9,9% del volumen total de la roca. No se observan minerales primarios relícticos.

Se observan materiales irregulares que pueden ser alteraciones de la plagioclasa a minerales arcillosos. Este material es casi isótropo y alcanza aproximadamente el 5,27% del volumen total de la roca. Ver figura 3.3.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 2.



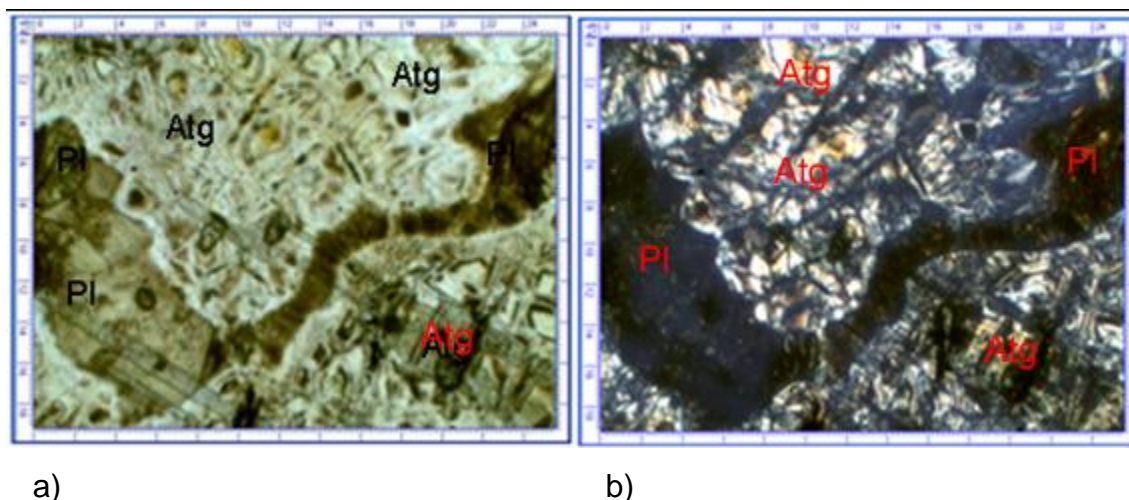


Figura 3.3: Microfotografías de la muestra 1579-1. a) con nicoles paralelos se observa la antigorita (Atg) de color blanco amarillento, la plagioclasa (Pl) alterada de color amarillo claro. b) con nicoles cruzados se observa la plagioclasa de color oscuro casi isótropa y la antigorita con un color de interferencia blanco gris de I orden. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Figura 3.4: Fotografía de la muestra CR 1579-1.

Muestra	Minerales	
	PI	Mena metálica
CR 1579-1		
Área que ocupa	115690	218791
% que representa	5,27	9,9

Tabla 3.2: Cálculo de los contenidos minerales.





## DESCRIPCIÓN GENERAL

**No Muestra:** CR- 1512

**Coordenadas:** X: 711627,5

Y: 214873,1

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de peridotita plagioclásica.

**Textura:** pseudomórfica.

**Color:** verde con tonalidades rojizas.

**Estructura:** masiva con patina de oxidación.

**Composición general:** minerales del grupo de la serpentina, plagioclasa alterada, piroxeno rómbico, mena metálica.

## DESCRIPCIÓN DE DETALLE.

En la roca se observa antigorita en cordones finos- gruesos, con birrefringencia blanco gris del I orden. Al parecer la antigorita ha sustituido totalmente al mineral primario olivino como se puede ver en la figura 3.5. La antigorita representa alrededor del 88% del volumen total de la roca.

En la figura 3.6 se muestra la fotografía de detalle que muestra la textura en forma de reloj de arena en la antigorita producto de la extinción ondulatoria.

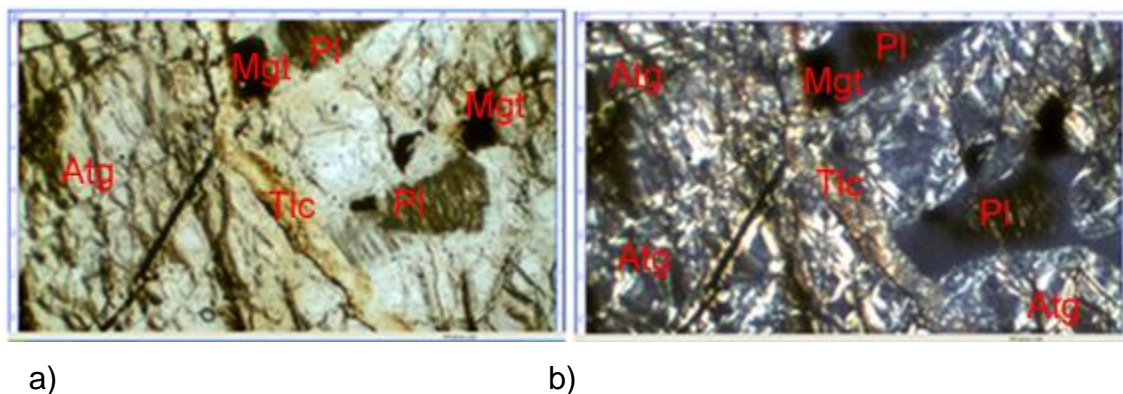
Se observan formas irregulares de un mineral bastitizado al parecer piroxenos que representan el 0,89% del volumen total de la roca.

Se observan áreas que parecen estar alteradas a minerales arcillosos y/o cloritizadas. Con nicoles cruzados estas áreas se observan completamente oscuras y bien podrían ser de plagioclasas alteradas. Estas áreas representan el 7,5% de la roca.

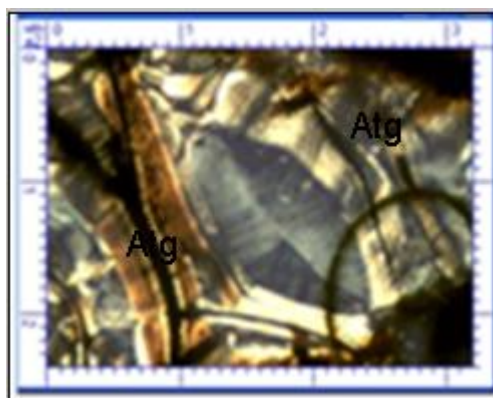
Se observan además áreas de un mineral de alta birrefringencia que hemos descrito como talco?.

La mena metálica es la magnetita que está presente en las grietas con procesos de oxidación y ocupa el 1,9% de la roca.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 3.



**Figura 3.5:** Microfotografías de la muestra 1512. a) con nicoles paralelos se observa antigorita (Atg) de color gris, las plagioclasa (Pl) están alteradas y poseen un color pardo, la magnetita (Mgt) tiene color negro y el talco? (Tlc) es de color blanco amarillento. b) con nicoles cruzados se observa que las plagioclases son casi isótropas; el talco?, tiene una alta birrefringencia; la magnetita totalmente extinguida y la antigorita con un color de interferencia gris de I orden. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



**Figura 3.6:** Microfotografía de la muestra 1512. c) con nicoles cruzados se muestra en detalle la textura en forma de reloj de arena en la antigorita (Atg). Longitud de la foto 0,32 mm (320 micrones) y ancho 0,26 mm (260 micrones). Objetivo 10x.



Figura 3.7: Fotografía de la muestra CR 1512-1.

Muestra	Minerales		
CR 1512	Pl	Px	Mena metálica
Área que ocupa	553545,5	65773,5	145029
% que representa	7,5	0,89	1,9

Tabla 3.3: Cálculo de los contenidos minerales.

## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 1044-1

**Coordenadas:** X: 712045,5

Y: 215095,8

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita plagioclásica.

**Textura:** pseudomórfica.

**Color:** negro

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** minerales de la serpentina, olivino, plagioclasa alterada, mena metálica, vetillas de carbonato (talco?).



### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está compuesta por minerales de la serpentina (antigorita), olivino y mena metálica. La antigorita de color verde pálido- incolora y con nicoles cruzados llega hasta el amarillo de I orden, formando malla o rejilla alrededor del olivino relíctico, ocupando alrededor del 92% del volumen total de la roca. Ver figura 3.8.

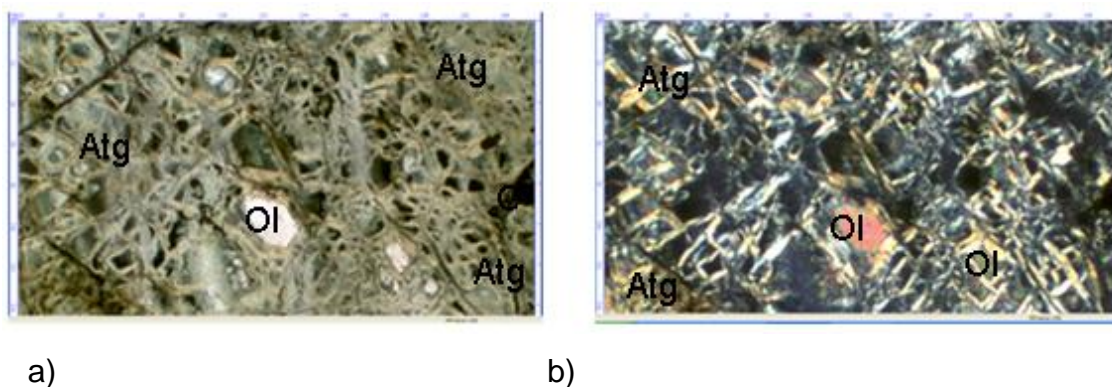
Los relictos de olivino tienen forma idiomórfica y alotriomórfica y representan el 3% de la roca.

En la roca se observan productos de alteración que corresponden a plagioclasas alteradas y representan el 2,2% de la roca. Ver figura 3.9 del detalle de la plagioclasa.

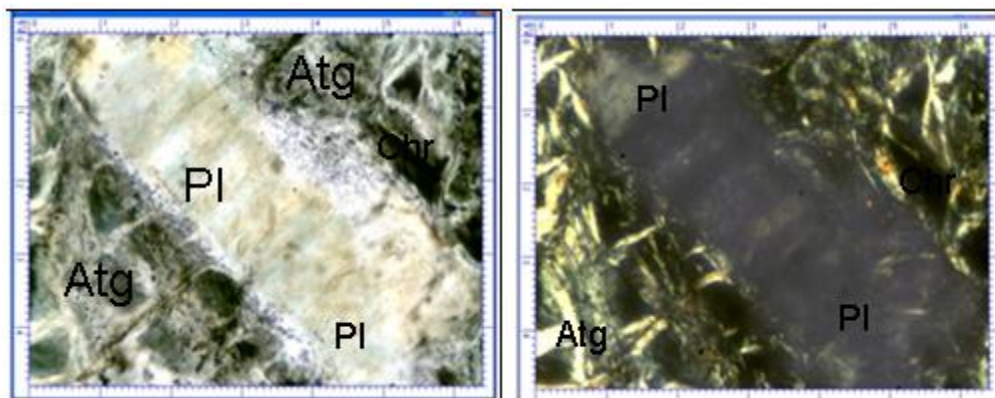
La mena metálica es la cromita y representa el 1%.

En la muestra se observan procesos de cloritización y finas vetillas al parecer con carbonato cortando a la roca, se supone podría ser talco?

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 4.



**Figura 3.8: Microfotografías de la muestra 1044-1. a) con nicoles paralelos se observa la antigorita (Atg) de color verde amarillento, los relictos de olivino (Ol) de color blanco y la cromo espinela (Chr) de color negro oscuro. b) con nicoles cruzados se observa el olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita con un color de interferencia blanco gris de I orden, formando una textura en forma de malla alrededor del olivino y la cromita de color oscuro. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.**



c)

d)

Figura 3.9: Microfotografías de la muestra 1044-1. a) con nicols paralelos se observa en detalle la plagioclasa (Pl) alterada de color blanco amarillento, la antigorita (Atg) alrededor de la plagioclasa con un color gris claro y la cromo espinela (Chr) de color negro. b) con nicols cruzados se observa la plagioclasa casi isótropa, la antigorita formando una malla alrededor de la plagioclasa y la cromita de color negro. Longitud de la foto 0,64mm (640 micrones) y ancho 0,47mm (470 micrones). Objetivo 10x.



Figura 3.10: Fotografía de la muestra CR 1044-1.

Muestra	Minerales	
	PI	OI
CR 1044-1		
Área que ocupa	149522	200230,5
% que representa	3	2,2

Tabla 3.4: Cálculo de los contenidos minerales.





## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 2981-1

**Coordenadas:**

X: 711625,923

Y: 213776,163

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de harzburgita.

**Textura:** reticular en parte alotriomórfica.

**Color:** negro.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, piroxeno rómbico, minerales del grupo de la serpentina, iddingsita, cromo espinela.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca en sección delgada está algo oxidada por lo que se observa una tonalidad parduzca en la misma. Ver figura 3.11.

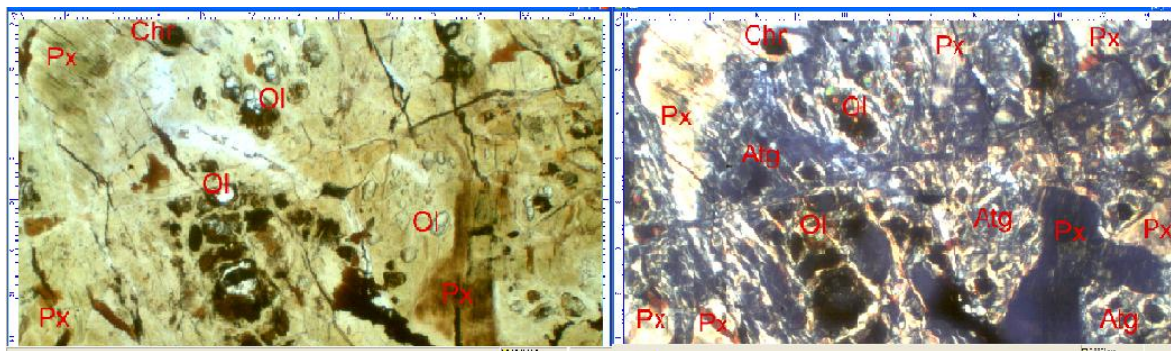
Se presenta el olivino en cristales finos (0,6mm) de forma alotriomórfica (irregular), raras veces se observan granos idiomórficos, algunos de los cristales de olivino están sustituidos por óxido de Fe. La abundancia del olivino en la roca alcanza el 8,6%.

El piroxeno rómbico está bastitizado raras veces en alteración a serpentina. Se presenta en forma tabular e irregular, granulometría fina (0,6mm) y alcanza el 8,9 % del volumen total de la roca.

La antigorita es el mineral de la serpentina presente en la roca, en forma de finos cordones dando un aspecto de malla a la misma y representa alrededor del 80% del volumen total de la roca.

La mena metálica es la cromo espinela en cristales esqueléticos, irregulares está dispersa en la roca y representa alrededor del 1%.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 5.



a)

b)

**Figura 3.11:** Microfotografías de la muestra 2981-1. a) con nicoles paralelos se observa piroxeno (Px) bastitizado, los relictos de olivino (Ol) de color blanco y cromo espinela (Chr) con tonalidad rojiza. b) con nicoles cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita (Atg) en forma de retículos alrededor del olivino relíctico y el piroxeno totalmente bastitizado de color amarillento. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



**Figura 3.12:** Fotografía de la muestra 2981-1.

Muestra	Minerales	
CR 1044-1	Px	Ol
Área que ocupa	714790,5	690551,5
% que representa	8,9	8,6

**Tabla 3.5:** Cálculo de los contenidos minerales.



## **DESCRIPCION GENERAL.**

**No Muestra:** CR 1725- 1

**Coordenadas:** X: 711873,5

Y: 214180,1

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.

**Textura:** reticular.

**Color:** verde oscuro.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** antigorita, olivino, piroxeno rómbico, mena metálica.

## **DESCRIPCION DE DETALLE.**

La antigorita es el mineral de la serpentina más representativo en la roca. Se presenta en finos cordones y en forma lamelar formando malla alrededor del olivino. Representa el 90% del volumen total de la roca. Ver figura 3.13.

El olivino de forma alotiomórfica de granulometría fina rodeado de la antigorita, esta última dando una textura de red o malla. El olivino representa el 6,4% de la roca.

El piroxeno rómbico totalmente bastitizado, de cristales tabulares e irregulares tamaño medio 0,7mm en ocasiones con estructura schlierin. El piroxeno rómbico alcanza el 2,4% del volumen total de la roca.

La mena metálica dispersa y en poca cantidad, al parecer cromita? magnetita? y representa alrededor del 0,6%.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 6.



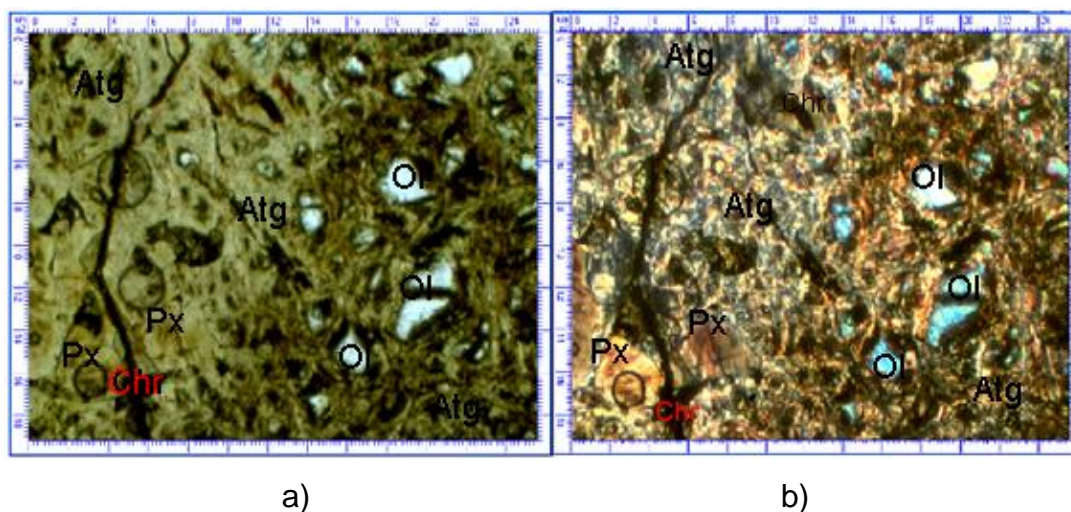


Figura 3.13: Microfotografías de la muestra 1725-1. a) con nicols paralelos se observan los relictos de olivino (Ol) de color blanco, la antigorita (Atg) de color verde claro, piroxeno (Px) bastitizado y cromo espinela (Chr) de color oscuro. b) con nicols cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita formando una malla alrededor de los relictos de olivino. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Figura 3.14: Fotografía de la muestra 1725-1.

Muestra	Minerales	
	Px	Ol
CR 1725-1		
Área que ocupa	88923,5	238646,5
% que representa	2,4	6,4

Tabla 3.6: Cálculo de los contenidos minerales.



## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 3182- 38-1

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.

**Textura:** alotriomórfica en parte reticular

**Color:** verde negruzco.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, piroxeno rómbico, minerales de la serpentina, iddingsita, mena metálica.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está compuesta por olivino en forma alotriomórfica y granulometría fina. Alrededor del olivino se observan cordones de minerales de la serpentina (antigorita principalmente). El olivino alcanza el 11,5% del volumen total de la roca. Ver figura 3.15.

El piroxeno rómbico en ocasiones bastitizado forma aglomeraciones en la roca (textura glomeroporfídica). Su tamaño varia de fino a medio (0,5-0,9mm). Se observa en una dirección este mineral. El piroxeno alcanza el 1,63% del volumen total de la roca.

La antigorita? crisotilo? son los minerales de la serpentina más representativos, formando hojuelas pequeñas y dispersas en la roca y se encuentran formando vetas?, ocupando espacios vacíos en la roca en forma fibrosa. El crisotilo no se observa macroscópicamente. Estos minerales alcanzan aproximadamente el 85% del volumen total de la roca.

La mena metálica es cromo espinela en pequeños y finos cristales esqueléticos aunque en poca cantidad (aproximadamente el 0,7%).

Se observan posibles procesos de cloritización que se visualizan mejor sin analizador.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 7.

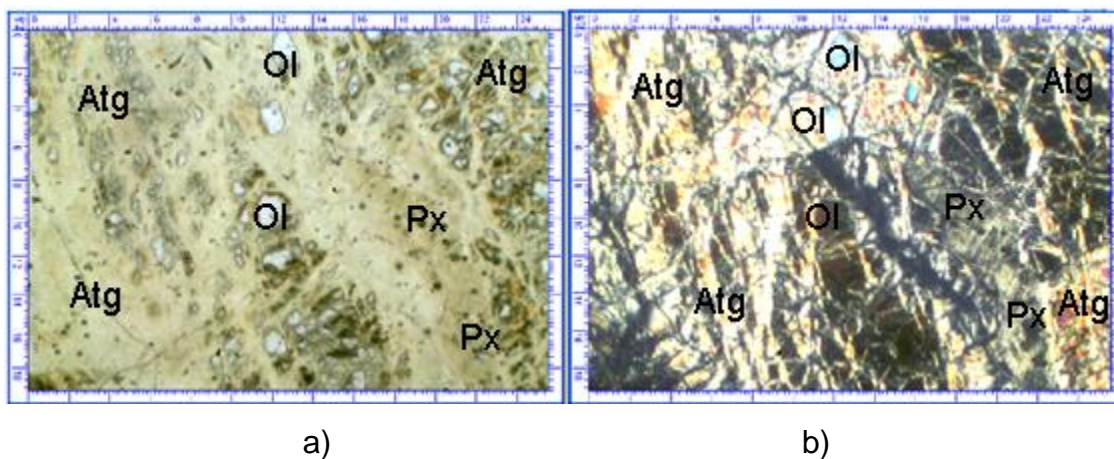


Figura 3.15: Microfotografías de la muestra 3182-38-1. a) con nicols paralelos se observan los relictos de olivino (Ol) de color blanco, la antigorita (Atg) de color blanco gris y piroxeno (Px). b) con nicols cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita formando una malla alrededor de los relictos de olivino y piroxenos totalmente bastitizados. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Figura 3.16: Fotografía de la muestra 3182-38-1.

Muestra	Minerales	
	Px	Ol
CR 1725-1		
Área que ocupa	40619	286531,5
% que representa	1,63	11,5

Tabla 3.7: Cálculo de los contenidos minerales.



### **3.2.2 Dunitas**

Compuestas por olivino y piroxeno rómbico enstatita. Los piroxenos aparecen en cristales irregulares totalmente bastitizados. Los minerales secundarios o de alteración más comunes son la antigorita y en el menor de los casos iddingsita. La estructura es masiva y la textura es idiomórfica equigranular, panidiomórfica en parte reticular y reticular en parte pseudomórfica. Cortando a la roca se observan pequeñas vetillas rellenas de minerales del grupo de la sílice. También se observan procesos de cloritización en la roca. De las 16 muestras fueron clasificadas como dunitas 3 ya que el olivino ocupa más del 80% en esas rocas. A continuación se describen en detalle la muestra 1516-1 de dunita que fue analizada con la metodología de cuantificación de los minerales. Las descripciones de las otras dos muestras se encuentran en el anexo 1.



## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR-1516-1

**Coordenadas:** X: 711552,755

Y: 214801,063

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** dunita.

**Textura:** idiomórfica equigranular.

**Color:** verde negruzco.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, piroxeno rómbico enstatita, iddingsita, minerales de la serpentina, mena metálica.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

Roca constituida por olivino que representa el 81% del volumen total de la roca. El olivino con formas bien definidas (idiomórficas) formando un mosaico de cristales de tamaño 0,5- 0,8 mm, su birrefringencia elevada, en ocasiones presenta en superficie fracturas irregulares. Ver figura 3.17.

El piroxeno rómbico enstatita en poca cantidad, en cristales tabulares y alcanza el 1% de la roca.

Se observa además iddingsita como producto de alteración del olivino, formando en ocasiones una textura de red o malla.

Los minerales de la serpentina aparecen como franjas y alcanzan hasta el 16% del volumen total de la roca. Se observan algunas vetillas al parecer de crisotilo y lizardita.

La mena metálica es la cromo espinela parda en parte con procesos de oxidación y representa el 1%.

Cortando a la roca se observan pequeñas vetillas rellenas de minerales de sílice (ópalo y calcedonia) en forma radial. Se observan procesos de cloritización en la roca.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 8.



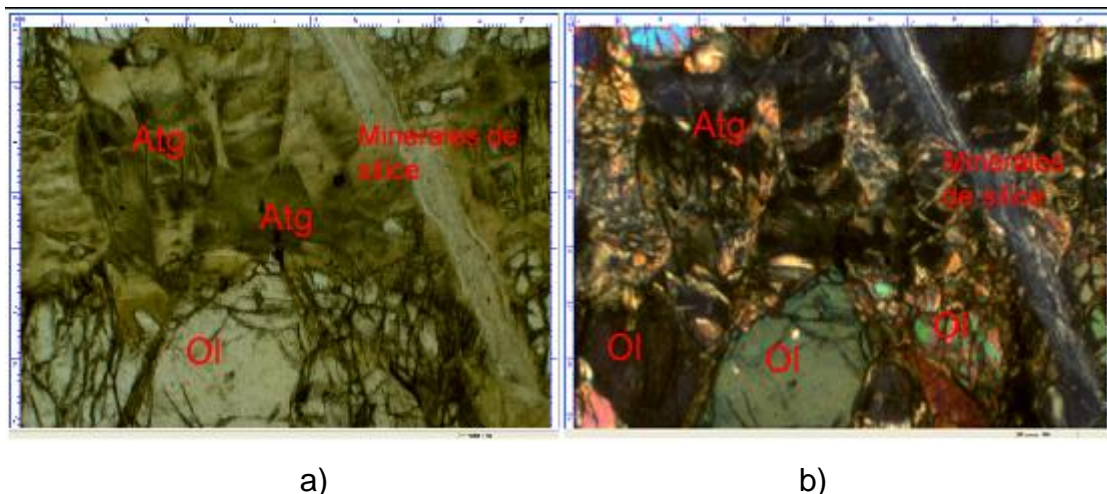


Figura 3.17: Microfotografías de la muestra 1516-1. a) con nicoles paralelos se observa el olivino (Ol) de color blanco gris, la antigorita (Atg) de color verde y minerales de sílice en veta. b) con nicoles cruzados se observa el olivino con su alta birrefringencia característica y la antigorita alrededor del olivino de color oscuro. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Figura 3.18: Fotografía de la muestra 1516-1.

Muestra	Minerales	
	Minerales de serpentina	Ol
CR 1516-1		
Área que ocupa	1557161	7651345,5
% que representa	16	81

Tabla 3.8: Cálculo de los contenidos minerales.



### **3.2.3 Troctolita**

A partir del cálculo cuantitativo realizado se pudo determinar que la muestra 1530-1, descrita inicialmente como peridotita plagioclásica, tiene una composición que cae en el campo de las troctolitas, como se puede observar en las figuras 3.21 y 3.22. Está compuesta por olivino de forma alotriomórfica en ocasiones idiomórfica con su elevada birrefringencia característica, plagioclasas alteradas, iddingsita y mena metálica. El olivino representa el 86% del volumen total de la roca y las plagioclasas el 12%. La roca presenta una textura reticular y estructura masiva.



## **DESCRIPCION GENERAL.**

**No Muestra:** CR 1530- 1

**Coordenadas:**

X: 711950,963

Y: 215201,276

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** troctolita

**Textura:** reticular.

**Color:** gris oscuro con manchas blancas.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, plagioclasa alterada, minerales de la serpentina, iddingsita, mena metálica.

## **DESCRIPCION DE DETALLE.**

Roca representada por olivino de forma alotriomórfica en ocasiones idiomórfica con su elevada birrefringencia característica y cuyos granos o cristales se encuentran rodeados por iddingsita y en menor proporción por minerales de la serpentina dando a la roca un aspecto de malla o retículo, el tamaño de los cristales de olivino es fino. El olivino alcanza el 85% del volumen de la roca. Ver figura 3.19.

La plagioclasa totalmente alterada a minerales arcillosos con birrefringencia muy baja casi isótropa, en forma irregular ocupando espacios vacíos entre el olivino reticular y representa aproximadamente el 12% de la roca.

La iddingsita de forma lamelar y en finos cordones de color parduzco y birrefringencia de moderada a elevada formando retículos con malla alrededor del olivino.

La mena metálica está representada por cromita al parecer a partir de cromo espinela y representa el 1%.

Las microfotografías tomadas de esta muestra para el cálculo cuantitativo de los contenidos minerales aparecen en el anexo 9.



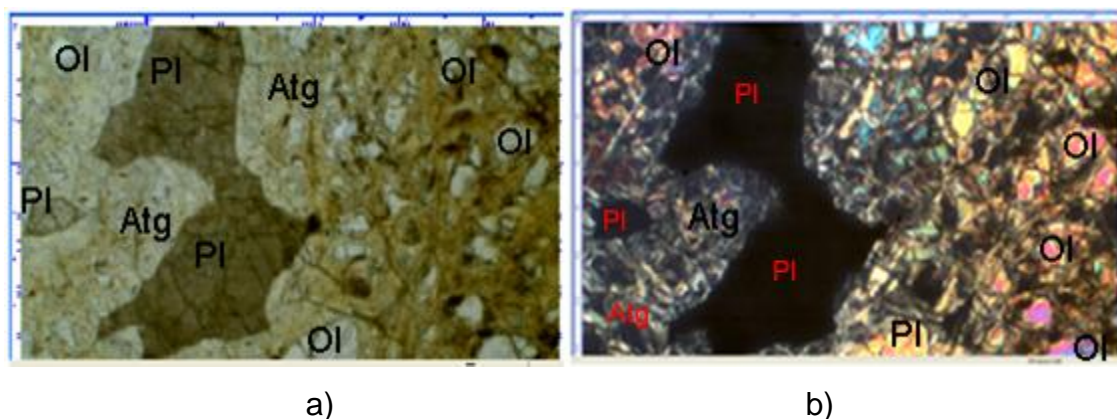


Figura 3.19: Microfotografías de la muestra 1530-1. a) con nicoles paralelos se observa el olivino relíctico (Ol) de color blanco, la antigorita (Atg) alrededor del olivino y la plagioclasa (Pl) alterada de color pardo. b) con nicoles cruzados se observa el olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita alrededor del olivino y la plagioclasa casi isótropa. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.

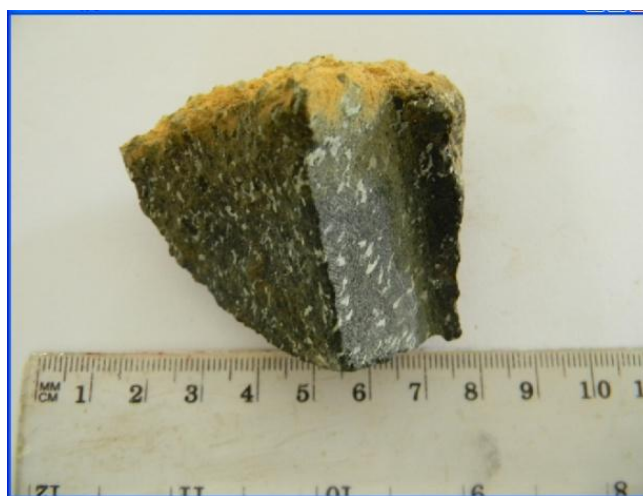


Figura 3.20: Fotografía de la muestra 1530-1.

Muestra	Minerales	
CR 1530-1	Pl	Ol
Área que ocupa	518444,5	3448739
% que representa	12	85

Tabla 3.9: Cálculo de los contenidos minerales.



### 3.3 Resultados

En la tabla 3.10, que se muestra a continuación, se comparan los contenidos minerales en % de las muestras antes de ser analizadas y después de ser analizadas; como resultado de esta investigación.

Nro. Muestra	Antes de analizar	Después de analizar
CR-1579-1	Serpentinita (minerales de la serpentina, piroxeno?, mena metálica magnetita).	Serpentinita a partir de dunita plagioclásica (minerales de la serpentina (84%), plagioclasa (5,27%), mena metálica (9,9%)).
CR- 1512	Serpentinita (minerales de la serpentina, piroxeno rómbico, mena metálica).	Serpentinita a partir de peridotita plagioclásica (minerales de la serpentina (88%), plagioclasa alterada (7,5%), piroxeno rómbico (0,89%), mena metálica (1,9%).
CR 1044- 1	Serpentinita a partir de dunita (olivino (35%), minerales de la serpentina, mena metálica (1%)).	Serpentinita a partir de dunita plagioclásica (minerales de la serpentina (92%), olivino (3%) plagioclasa alterada (2,2%), mena metálica (1%), vetillas de carbonato (talco?)).
CR 2981-1	Harzburgita (olivino (88%), piroxeno rómbico (10%), minerales del grupo de la serpentina, cromo espinela).	Serpentinita a partir de harzburgita (olivino (8,6%), piroxeno rómbico (8,9%), minerales del grupo de la serpentina (80%), iddingsita, cromo espinela (1%)).

**Tabla 3.10: Comparación del % de los minerales en las muestras antes de analizar y después de ser analizadas.**



CR 1725- 1	Dunita (olivino (92%), piroxeno rómbico (3%), antigorita, mena metálica).	Serpentinita a partir de dunita (antigorita (90%), olivino (6,4%), piroxeno rómbico (2,4%), mena metálica (0,6%)).
CR 3182- 38-1	Dunita (olivino (90%), piroxeno rómbico (4%), antigorita? crisotilo?, mena metálica).	Serpentinita a partir de dunita (olivino (11,5%), piroxeno rómbico (1,63%), minerales de la serpentina (85%), iddingsita, mena metálica (0,7%)).
CR-1516-1	Dunita (olivino (94%), piroxeno rómbico enstatita (1%), iddingsita, antigorita, mena metálica (0,8%)).	Dunita (olivino (81%), piroxeno rómbico enstatita (1%), iddingsita, minerales de la serpentina (16%), mena metálica (1%)).
CR 1530- 1	Dunita plagioclásica?, peridotita plagioclásica? (olivino (70%), plagioclasa alterada (25%), iddingsita, mena metálica (1,5%)).	Troctolita (olivino (85%), plagioclasa alterada (12%), minerales de la serpentina, iddingsita, mena metálica (1%)).

**Continuación de la tabla 3.10.**



A partir del cálculo cuantitativo realizado se pudo determinar que la muestra 1530-1, descrita inicialmente como peridotita plagioclásica, tiene una composición que cae en el campo de las troctolitas. Para su clasificación se utilizaron los diagramas que se muestran en las figuras 3.21 y 3.22.

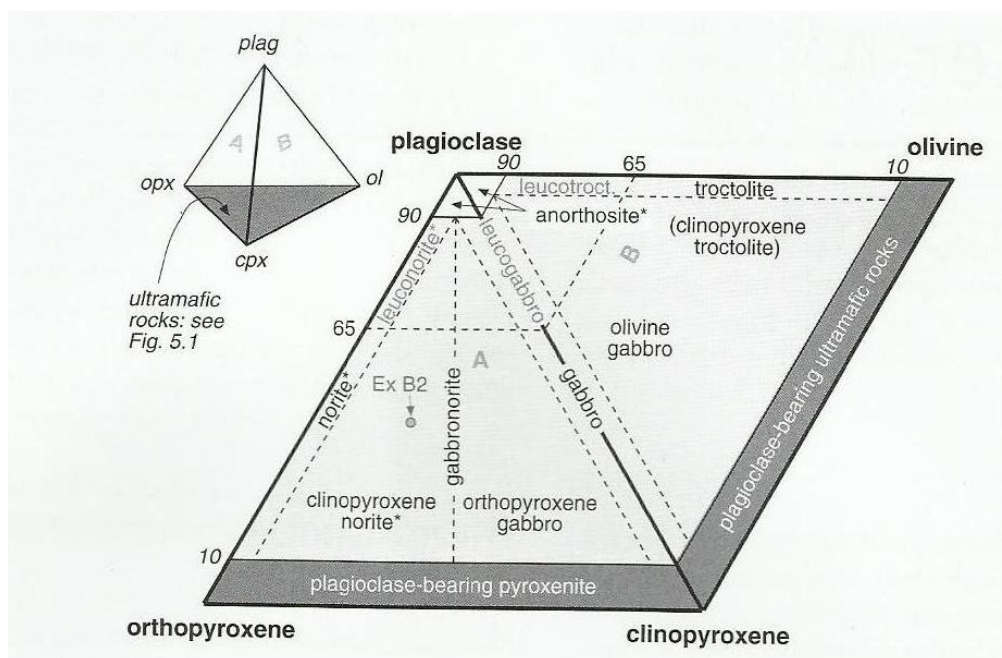


Figura 3.21: Diagrama Plg- Orpx- Cpx- Ol según Le Maitre, 2002 aprobado por la IUGS, que muestra la nomenclatura de las rocas gabroicas.

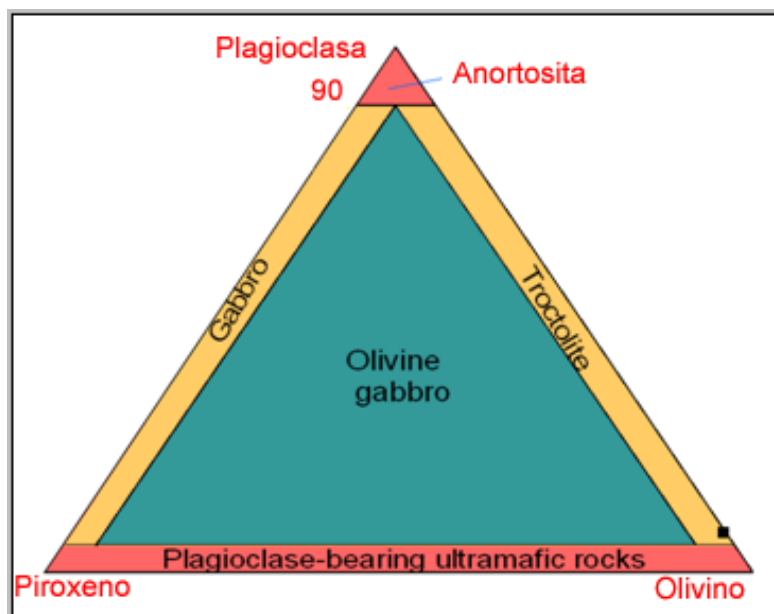


Figura 3.22: Diagrama Pl- Px- Ol según Streckeisen que muestra la clasificación de las rocas gabroicas.



Se determinó que según la composición mineralógica de la muestra 1516-1 cae en el campo de las dunitas. Para su clasificación se utilizó el diagrama PI- Opx- Clpx según Streckeisen como se muestra en la figura 3.23.

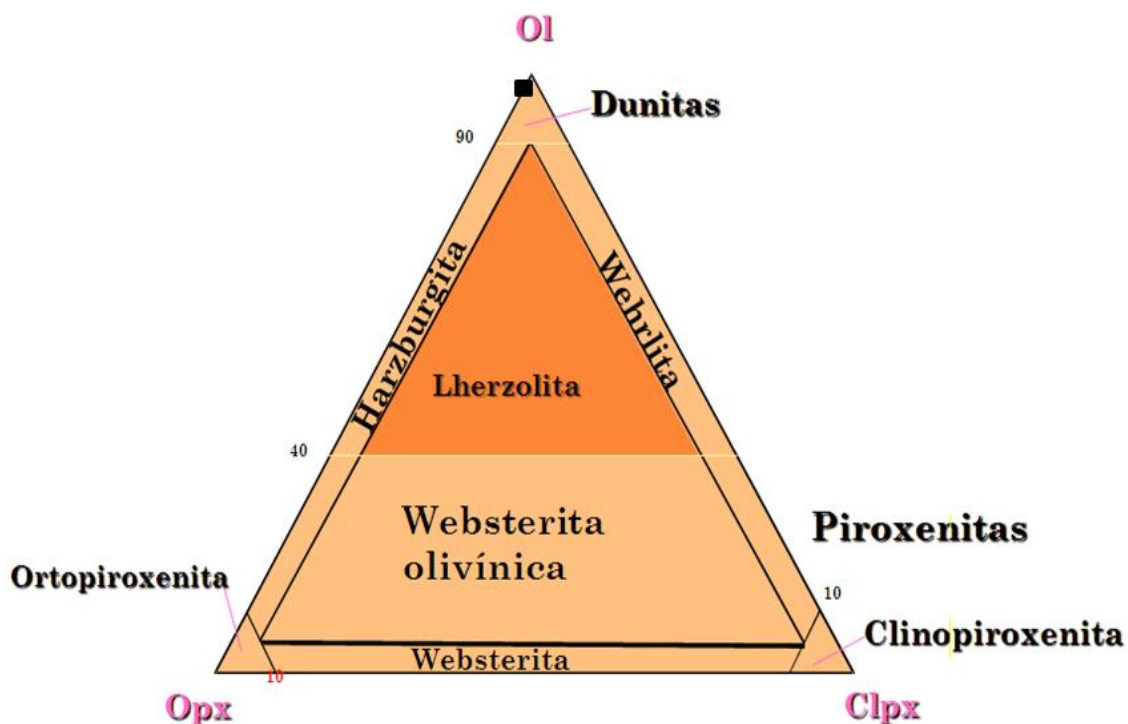


Figura 3.23: Diagrama PI- Opx- Clpx según Streckeisen que muestra la clasificación de las rocas ultramáficas.





Sobre el mapa de la corteza se ubicaron los tipos de rocas que afloran en el sector Cantarrana como se muestra en la figura 3.24. Se aprecia que la troctolita y las serpentinitas a partir de dunitas plagioclásicas se encuentran al norte de la zona estudiada.

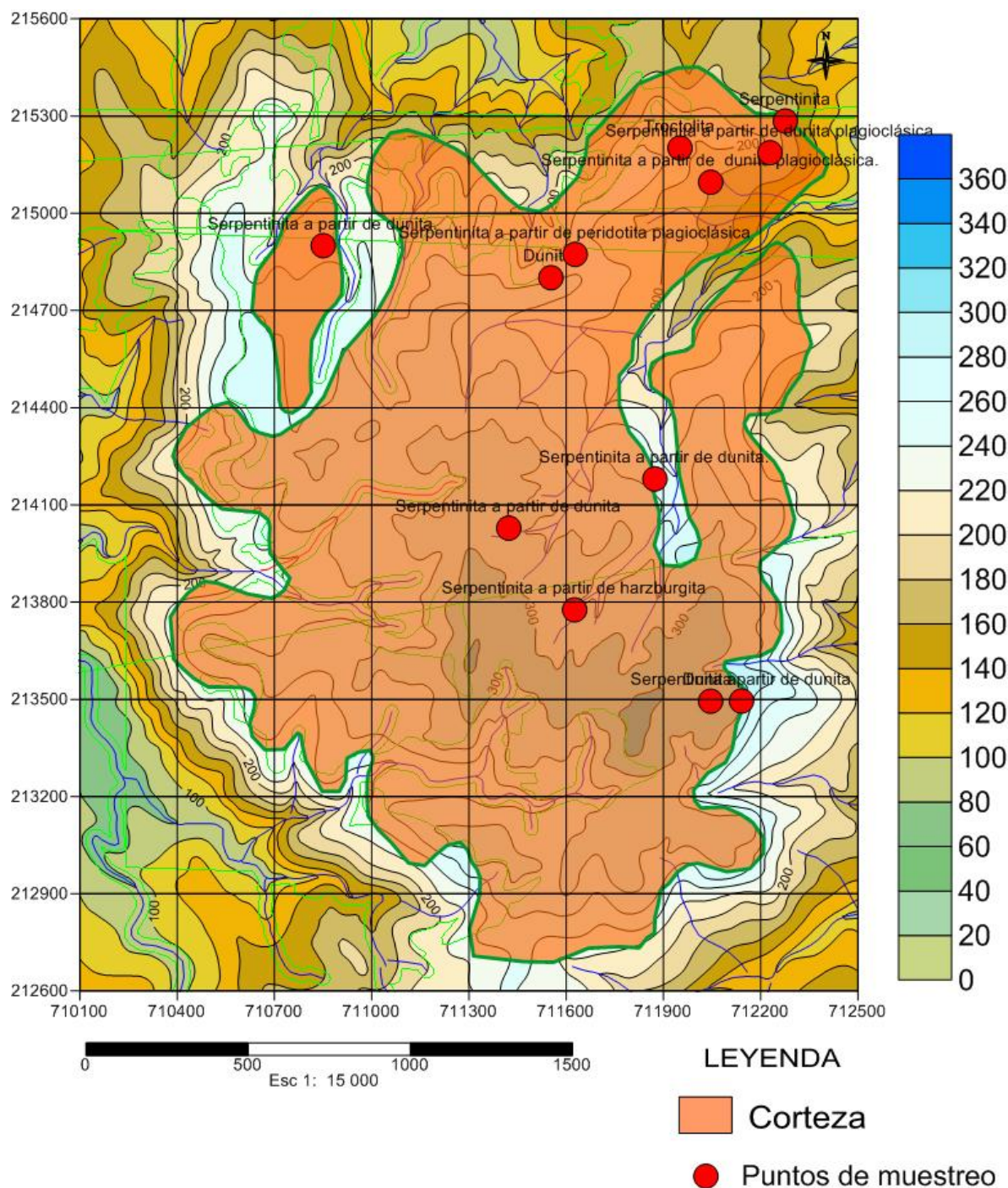


Figura 3.24: Versión digital del mapa de corteza con los tipos rocas que afloran en Cantarrana. Esc: 1: 15 000.



## CONCLUSIONES

1. Se modificó el procedimiento propuesto por Ramos (2012) para el procesamiento de las fotos con la video- cámara digital ocular MDCE-5A y el software ScopePhoto al utilizar el software Photoshop en vez del Paint.
2. Se utilizó el microscopio óptico de polarización JENALAB POL con el objetivo 2.5x lo que permitió ampliar el campo fotografiado de la sección delgada que ocupa un área de 2,48 mm x 1,86 mm en comparación con el objetivo 4x del microscopio NOVEL, que abarca un área menor.
3. En función de las fases minerales identificadas y de los rasgos texturales, las rocas del sector Cantarrana que fueron analizadas se clasifican en tres grupos litológicos principales: serpentinitas, dunitas, y una troctolita.
4. A partir de la determinación petrográfica se pudo definir que las serpentinitas están compuestas principalmente por minerales del grupo de la serpentina (antigorita) y en menor proporción crisotilo, plagioclasas alteradas, piroxenos rómbicos, menas metálicas (magnetita, cromo espinela). En algunas serpentinitas la antigorita muestra una extinción ondulatoria.
5. Se determinó que la composición mineralógica de las dunitas está compuesta por olivino y piroxeno rómbico enstatita. Los minerales secundarios o de alteración más comunes son la antigorita y la iddingsita.
6. A partir del cálculo cuantitativo realizado se pudo determinar que la muestra 1530-1 tiene una composición que cae en el campo de las troctolitas compuesta por olivino en un 87% (con procesos de alteración a antigorita), plagioclasas alteradas en un 12%, iddingsita y mena metálica.

## RECOMENDACIONES

- 1- Realizar análisis químicos a las muestras estudiadas para determinar la composición química de las mismas y utilizar los gráficos de clasificación química.
- 2- Realizar cálculos cuantitativos a las ocho muestras que faltan por analizar del sector Cantarrana.
- 3- Aplicar esta metodología para los cálculos mineralógicos cuantitativos de las rocas del basamento.
- 4- Realizar análisis infrarrojos para precisar los minerales del grupo de la serpentina presentes en las serpentinitas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bogg, S. (1992). Petrology of Sedimentary rock. Macmillan Publishing Company. Chapter 2. Sedimentary Textures. N.Y 707p.
- Higgins, M. (2000). Measurement of crystal size distributions. American Mineralogist, Sciences de la Terre, Université du Québecà Chicoutimi, Canada. Volume 85, p. 1105–1116.
- Nadeau, P. H.; Hurst, A. (1991). Application of back-scattered electron microscopy to the quantification of clay mineral microporosity in sandstones. Jour Sed Petrol., 61(6):921-925.
- Pirson, S. (1965). Geologic well log Analysis. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, p.357.
- Van Den Berg E.; Bense V; Schlager W. (2003). Assessing textural variation in laminated sands using digital image analysis of thin sections Journal of sedimentary Research. Vol.73, No.1. Society for Sedimentary Geology, Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit, De Boelelaan Amsterdam, the Netherlands, P.133–143.
- Gill, Robin. ( 2010). Igneous Rocks and Processes a practical guide. Department of Eart Sciences Royal Holloway University of London. Edit. Wiley- Blackwell; 95, 133pp.
- Roster, H.J. Manual de Mineralogia. Deutscher Verlag fur grund stoffindustrie, Lupng 1981.
- Gillespie, MR and Styles, MT. (1999). BGS Rock Classification Scheme Volume 1. Classification of igneous rocks British Geological Survey Research Report, (2<sup>nd</sup> edition), RR 99-06.
- Barrera Veitía, Mailín; Barea Pérez, Iván. (2008). Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita para el establecimiento de los dominios geomorfológicos.

- Cobas Torres, René. (2013). Caracterización petrológica de las rocas anfibolitizadas del Sector Este de la Presa Nuevo Mundo, Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa.
- Ramos Lores, Camilo. (2013). Guía de estudio para estudiantes de Geología. Cuantificación de minerales bajo el microscopio petrográfico, empleando el procesamiento de imágenes y el uso del software *ScopePhoto 2.0*.
- Jiménez Mejías, Daimara. (2013). Aportes a la geología de la concesión minera La Delta.
- Pérez Jara, Yoel. (2013). Comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos del Yacimiento Zona Septentrional.
- Pérez Barnuevo, L. (2008). Ensayo metodológico para la caracterización automatizada de menas metálicas mediante análisis digital de imagen. Aplicación geometalúrgica. (Vol 11, No. 22). (en línea). - (Consultado: 2014 05 14). Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/471>.
- Berrezueta, E. (2004). Metodología de trabajo con el equipo de ADI del Laboratorio de Microscopia Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. (en línea). - (Consultado: 2014 05 14). Disponible en: <http://www.madrimasd.org/Laboratorios/busquedas/comun/FichLab.asp?Clabo=207>.

### **Referencias electrónicas (internet).**

[http://www.zeiss.es/microscopy/es\\_es/productos/microscopios-opticos/microscopio-optico-polarizado-axio-scope-a1.html](http://www.zeiss.es/microscopy/es_es/productos/microscopios-opticos/microscopio-optico-polarizado-axio-scope-a1.html)

## ANEXOS

**Anexo 1:** Características petrográficas de la rocas del sector Cantarrana realizadas por la Dra. María Margarita Hernández Sarlabous. Estas muestras no fueron calculadas.

### DESCRIPCIÓN GENERAL

**No Muestra:** CR 2201

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita.

**Textura:** pseudomórfica.

**Color:** verde, con espejo de fricción.

**Estructura:** masiva.

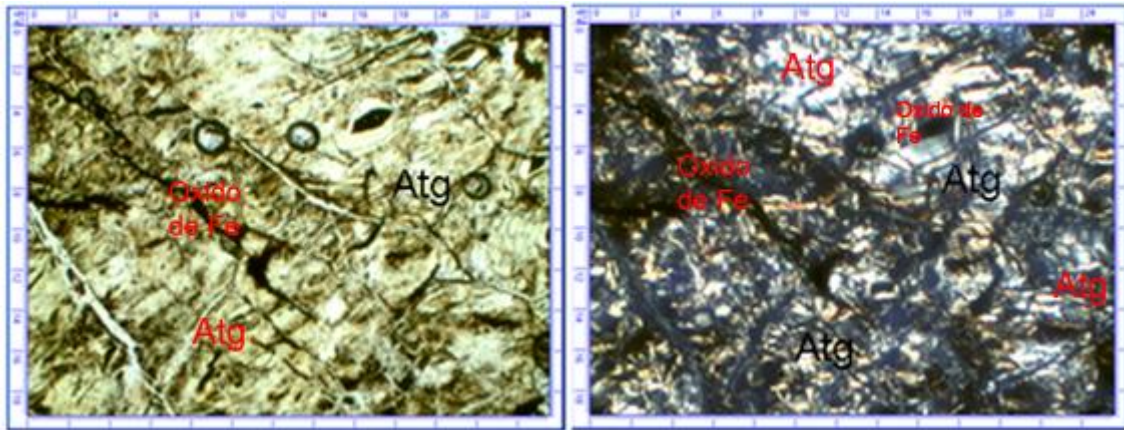
**Composición general:** minerales del grupo de la serpentina.

### DESCRIPCIÓN DE DETALLE.

Roca constituida por minerales del grupo de la serpentina, representada principalmente por antigorita con extinción ondulatoria, la cual se presenta en forma lamelar y finos cordones.

La mena metálica está representada por óxidos de Fe, lo que le infiere a la roca una tonalidad rojiza y se observa en las zonas de grieta.

No se observan minerales primarios relícticos.



a)

b)

Microfotografías de la muestra 2201. a) con nicols paralelos se observa la antigorita (Atg) de color blanco amarillo y oxido de Fe de color negro en las zonas de grieta. b) con nicols cruzados se observa la antigorita con color de interferencia blanco gris de I orden y oxido de Fe de color negro. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 2201.

## DESCRIPCIÓN GENERAL

No Muestra: CR 1574-1

Coordenadas: X: 712276

Y: 215284,6

Tipo de laboreo: levantamiento geológico.

Nombre de la roca: serpentinita.

Textura: pseudomórfica.

Color: oscuro (negruzco)

Estructura: masiva con patina de oxidación.

**Composición general:** antigorita, cromo espinela, magnetita, talco?

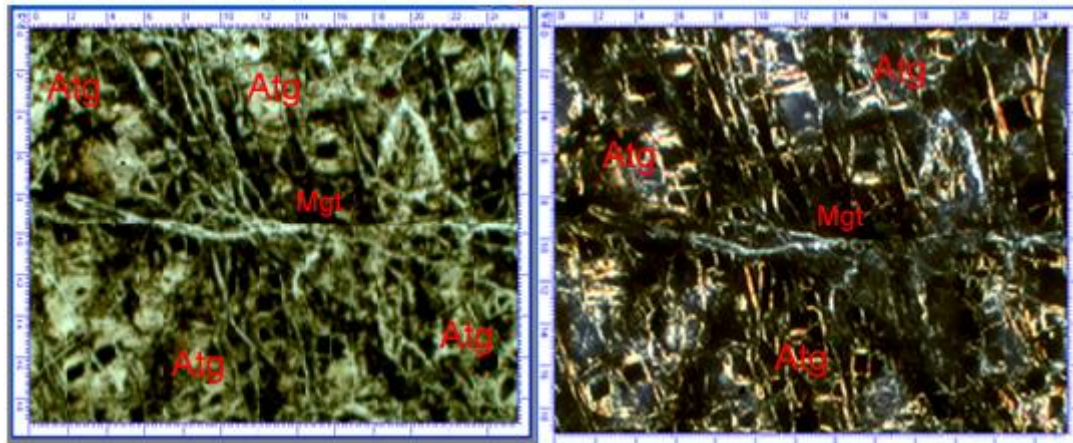
## DESCRIPCION DE DETALLE

La roca analizada es una serpentinita, representada fundamentalmente por antigorita.

En la sección se observa que la roca esta oxidada lo que infiere una coloración parduzca a la misma.

La antigorita en finos cordones, birrefringencia blanco gris del I orden, color propio incoloro y representa prácticamente la composición total de la roca. En ocasiones junto con la antigorita se presentan pequeños prismas incoloros, fuerte birrefringencia que describimos como talco? que bien pudiera ser producto de la sustitución de la roca primaria.

Aparecen además cristales tabulares bastitizados al parecer de piroxenos rómbicos. La mena metálica es picotita parda y magnetita. No se observan minerales relícticos y la roca esta oxidada.



a)

b)

Microfotografías de la muestra 1574-1. a) con nicols paralelos se observa la antigorita (Atg) de color verde amarillento y la magnetita (Mgt) de color negro. b) con nicols cruzados se observa la antigorita con un color de interferencia blanco gris de I orden, en finos cordones y la magnetita oscura. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 1574-1.

### DESCRIPCION GENERAL.

**No Muestra:** CR 2578- 42- 1      **Coordenadas:** X: 710850,378  
Y: 214899,934

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.

**Textura:** pseudomórfica en parte reticular.

**Color:** verde grisáceo.

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, piroxeno rómbico, minerales del grupo de la serpentina, iddingsita, mena metálica.

### DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está representada por olivino el cual se encuentra en forma alotiomórfica, raras veces idiomórfica rodeado por minerales de la serpentina, estos últimos formando una rejilla o malla. El mineral olivino tiene una granulometría fina- media y representa el 40% de la roca.

El piroxeno rómbico enstatita en poca cantidad (2%) totalmente bastitizado, con extinción recta, forma prismática y tamaño aproximado del grano de 0,7mm.

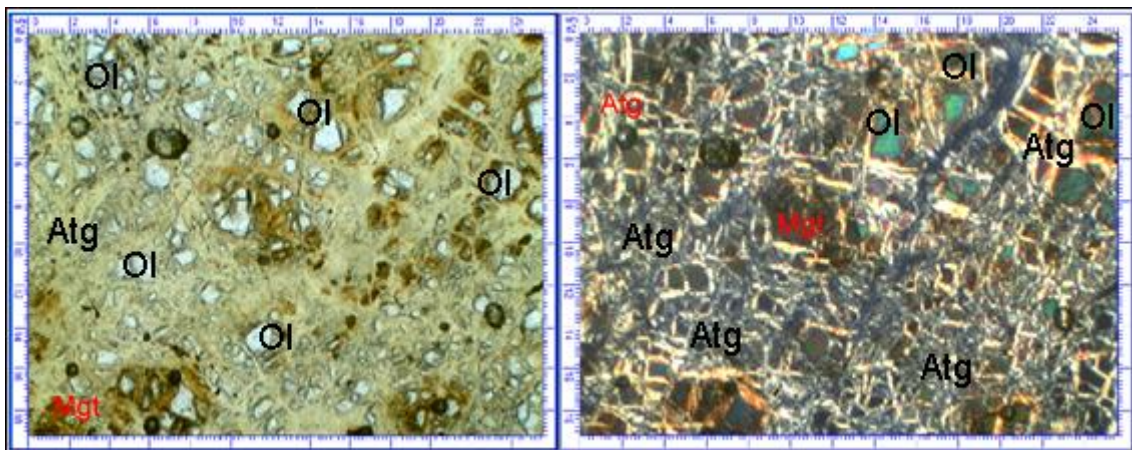
La antigorita es el mineral de la serpentina más representativo en finas venillas y cordones en la roca. La iddingsita por su parte con su color propio pardo



ocupando grietas en el olivino y junto con la antigorita en la estructura de red o de malla.

La mena metálica está representada por picotita, cromita y magnetita.

La picotita, oxidada en forma irregular, la cromita en cristales irregulares y la magnetita en polvo fino, estas menas constituyen el 1.5%.



a) b)

Microfotografías de la muestra 2578-42-1. a) con nicoles paralelos se observa la antigorita (Atg) de color amarillo, los relictos de olivino (Ol) de color blanco y la magnetita (Mgt) de color rojizo. b) con nicoles cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica y la antigorita formando una malla alrededor del olivino. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 2578-42-1.



**DESCRIPCION GENERAL****No Muestra:** CR 2982- 142-1**Coordenadas:**

X: 712140,7

Y: 213494,7

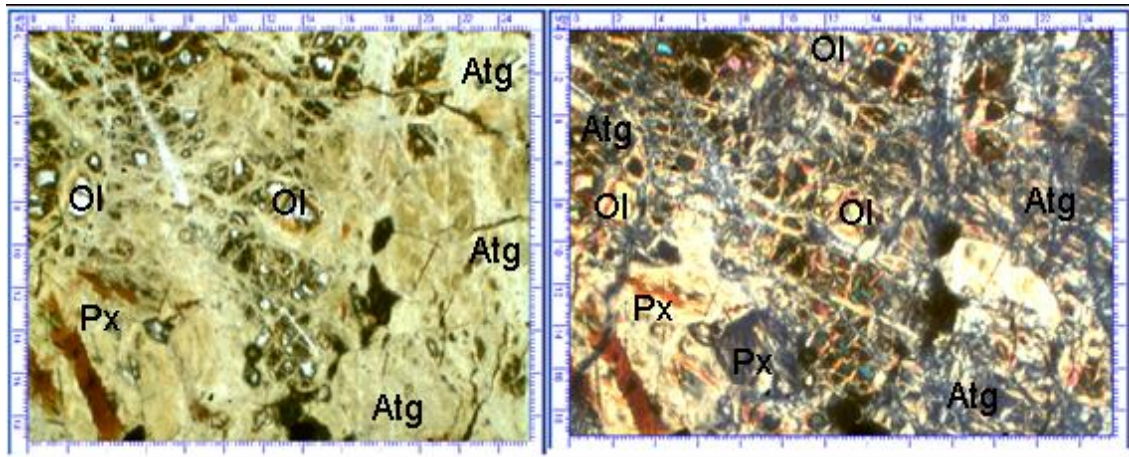
**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.**Textura:** pseudomórfica o de alteración.**Color:** verde parduzca**Estructura:** masiva**Composición general:** minerales de la serpentina, olivino, piroxeno rómbico, óxido de Fe.**DESCRIPCION DE DETALLE.**

La roca está representada por una serpentinita constituida en su gran mayoría por minerales del grupo de la serpentina fundamentalmente por la antigorita la cual se presenta en forma lamelar y finos cordones.

La antigorita forma en ocasiones un retículo o malla alrededor de los diseminados cristales de olivino el cual se encuentra con mineral relíctico de la roca original.

Se observan dispersos cristales tabulares al parecer de piroxeno rómbico totalmente bastitizados.

La mena metálica es óxido de Fe que le infiere a la roca una tonalidad rojiza.



a)

b)

Microfotografías de la muestra 2982-142-1. a) con nicols paralelos se observa la antigorita (Atg) de color amarillo, los relictos de olivino (Ol) de color blanco, los piroxenos (Px) bastitizados y oxido de Fe de color negro. b) con nicols cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita formando una malla alrededor del olivino relíctico y los piroxenos de color amarillo. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 2982-142-1.

**DESCRIPCION GENERAL.****No Muestra:** CR 2880- 29**Coordenadas:** X: 711422,801

Y: 214028,252

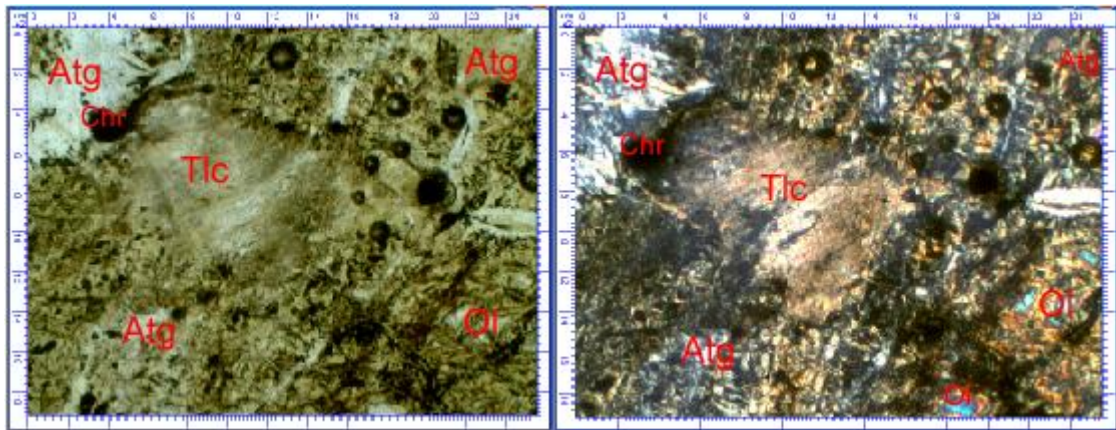
**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.**Textura:** pseudomórfica en parte reticular.**Color:** verde oscuro.**Estructura:** masiva.**Composición general:** minerales del grupo de la serpentina, olivino, piroxeno bastitizado.**DESCRIPCION DE DETALLE.**

La roca corresponde a una serpentinita y está constituida por antigorita en forma lamelar y fibrosa la cual en ocasiones forma retículos alrededor del olivino relíctico.

Los cristales de piroxeno totalmente bastitizados diseminados en la roca aunque en poca cantidad.

La mena metálica es la cromo espinela parda (oxidada) y cromita, ambas menas alcanzan el 1% de cristales irregulares e idiomórficos respetivamente.

La roca inicialmente fue una Dunita. Se observa un mineral de alteración al parecer talco.



a)

b)

Microfotografías de la muestra 2880-29. a) con nicoles paralelos se observa la antigorita (Atg) de color verde, los relictos de olivino (Ol) de color blanco gris, talco (Tlc) y cromo espinela (Chr) de color negro. b) con nicoles cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita en forma de retículos alrededor del olivino relictico y el talco con alta birrefringencia. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 2880-29.

## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 3281-38-1

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** serpentinita a partir de dunita.

**Textura:** pseudomórfica.

**Color:** gris verdoso, se observa pátina de óxido de Fe. **Estructura:** masiva.

**Composición general:** minerales de la serpentina, olivino, piroxeno rómbico (bastitizado), mena metálica.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca está constituida por minerales del grupo de la serpentina (antigorita) en finos cordones y en forma lamelar rodeando el olivino relíctico dando a la roca un aspecto de red o malla. La roca en general está teñida de óxido de Fe.

El olivino relíctico en granos alotriomórficos raras veces idiomórfico de grano fino y alcanza alrededor del 30% del volumen total de la roca. En ocasiones los granos de olivino están pigmentados de óxido de Fe.

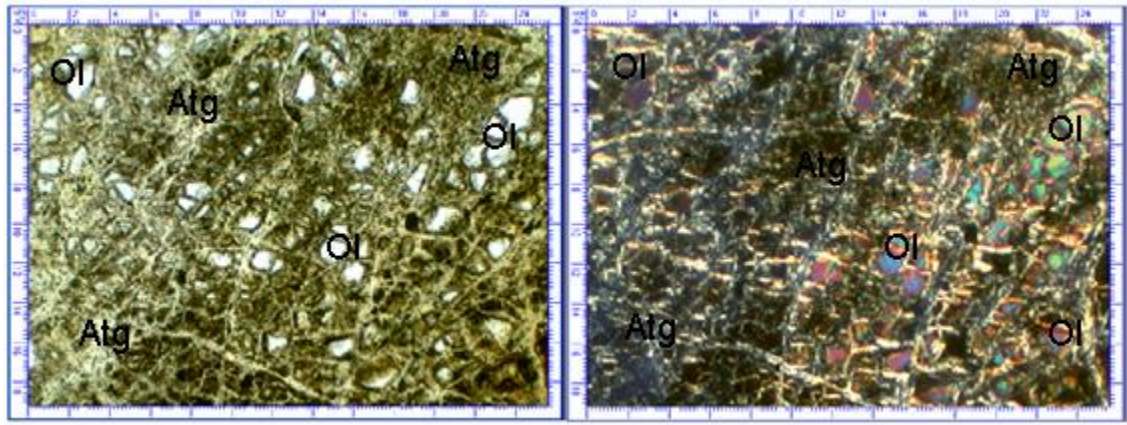
El piroxeno rómbico en cristales prismáticos y tabulares totalmente bastitizados.

Se observan finos cristales prismáticos de un mineral de alta birrefringencia que hemos descrito como talco.

La antigorita en ocasiones se observa tectonizada con cierto curvamiento.

La mena metálica es cromita en cristales irregulares y en finos lentes en ocasiones junto con el óxido de Fe.

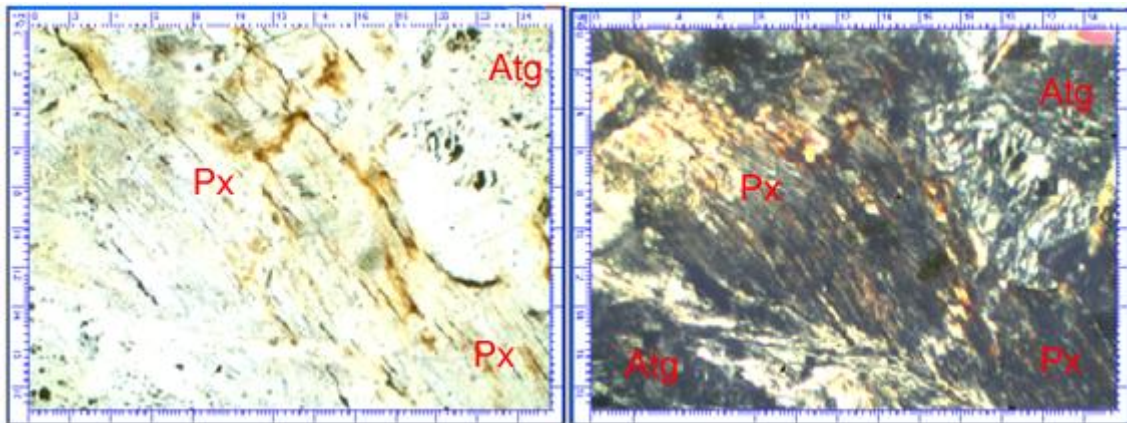




a)

b)

Microfotografías de la muestra 3281-38-1. a) con nicols paralelos se observa antigorita (Atg) de color verde y los relictos de olivino (Ol) de color blanco. b) con nicols cruzados se observan los relictos de olivino con su alta birrefringencia característica, la antigorita en forma de retículos alrededor del olivino relictico. Longitud de la foto 2,4 mm (2400 micrones) y ancho 1,85 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



c)

d)

Microfotografías de la muestra 3281-38-1. c) con nicols paralelos se observa en detalle el piroxeno (Px) totalmente bastitizado y a los lados la antigorita (Atg). d) con nicols cruzados se observa el piroxeno totalmente bastitizado de color amarillo y la antigorita de color verde alrededor. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



Fotografía de la muestra 3281-38-1.

## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 2982- 138-1      **Coordenadas:** X: 712045,4

Y: 213494,2

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** dunita.

**Textura:** panidiomórfica en parte reticular.

**Color:** verde negruzca a parda      **Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, antigorita, piroxeno rómbico, mena metálica.

## DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca analizada está constituida por cristales gruesos de olivino alotriomórfico cuyo tamaño oscila entre cristales finos- medios (0,9- 1,2 mm). Se observa un cristal prismático de olivino cortado por la antigorita que mide alrededor de 1,5mm.

El olivino en forma de mosaico, encerrado en un retículo o malla de antigorita con su birrefringencia característica (elevada) y sus colores de interferencia se encuentran en el límite del II- III orden y su extinción recta o paralela. El contenido de olivino es alrededor del 94%.

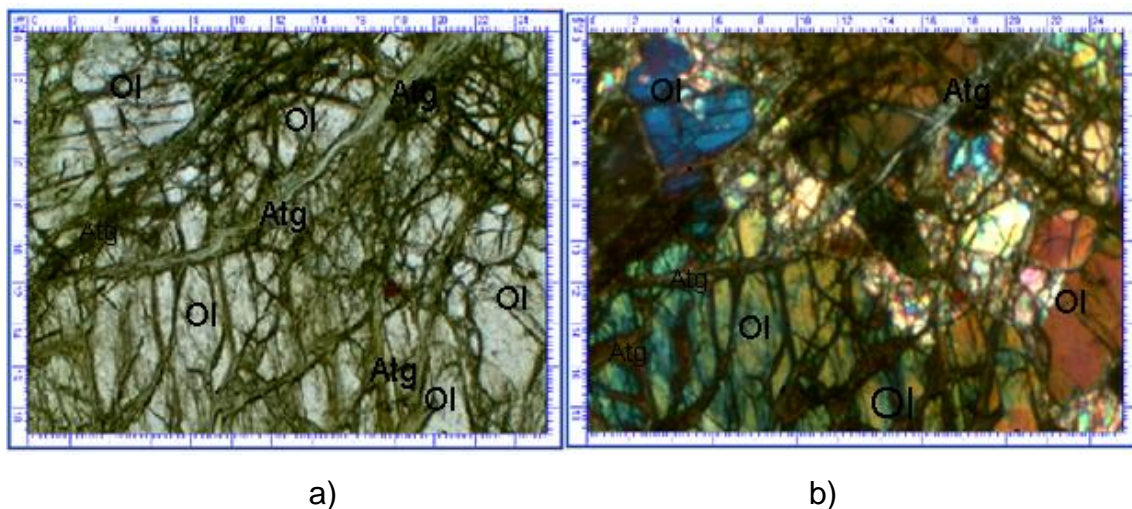


Se encuentran además diseminados y escasos cristales pequeños de piroxenos rómbicos totalmente bastitizados en forma tabular e irregular y alcanzan el 1%.

La antigorita penetrando los cristales de olivino dando a la roca en ocasiones un aspecto reticular o de malla.

La mena metálica es la picotita parda la cual alcanza el 1%.

Cortando a la roca se observan finas vetillas de carbonato y sílice.



**Figura 3.18:** Microfotografías de la muestra 2982-138-1. a) con nicols paralelos se observa el olivino (Ol) de color blanco gris, la antigorita (Atg) de color verde formando una textura en forma de malla alrededor del olivino. b) con nicols cruzados se observa el olivino con su alta birrefringencia característica y la antigorita alrededor de color oscuro. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.



**Fotografía de la muestra 2982-138-1.**

## DESCRIPCION GENERAL

**No Muestra:** CR 318194- 1

**Tipo de laboreo:** levantamiento geológico.

**Nombre de la roca:** dunita en parte serpentinizada.

**Textura:** reticular en parte pseudomórfica.

**Color:** verde negruzco

**Estructura:** masiva.

**Composición general:** olivino, minerales de la serpentina, piroxeno rómbico, iddingsita, cromo espinela.

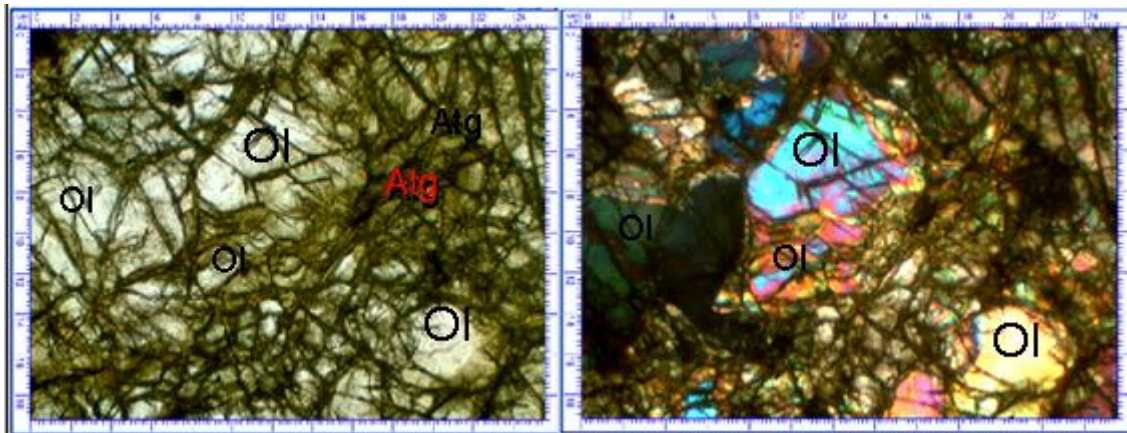
## DESCRIPCION DE DETALLE.

La roca es una dunita serpentinizada, donde el contenido de olivino alcanza el 94% del volumen de la roca, y se presenta en cristales anhedricos, fuerte birrefringencia y con fracturas. El tamaño de los granos de olivino es medio (0,8mm). Alrededor de los cristales de olivino se presenta la iddingsita como producto de alteración de este mineral, con su color parduzco claro.

Junto con la iddingsita se presenta la antigorita en finos cordones y forma lamelar.

El piroxeno rómbico enstatita en cristales irregulares, totalmente bastitizado y constituye el 0,6% de la roca.

La mena metálica es la cromo espinela parda en cristales esqueléticos, con alto relieve y color pardo con nicoles paralelos e isotopo con nicoles cruzados. La picotita representa el 0,1% del volumen de la roca.



a)

b)

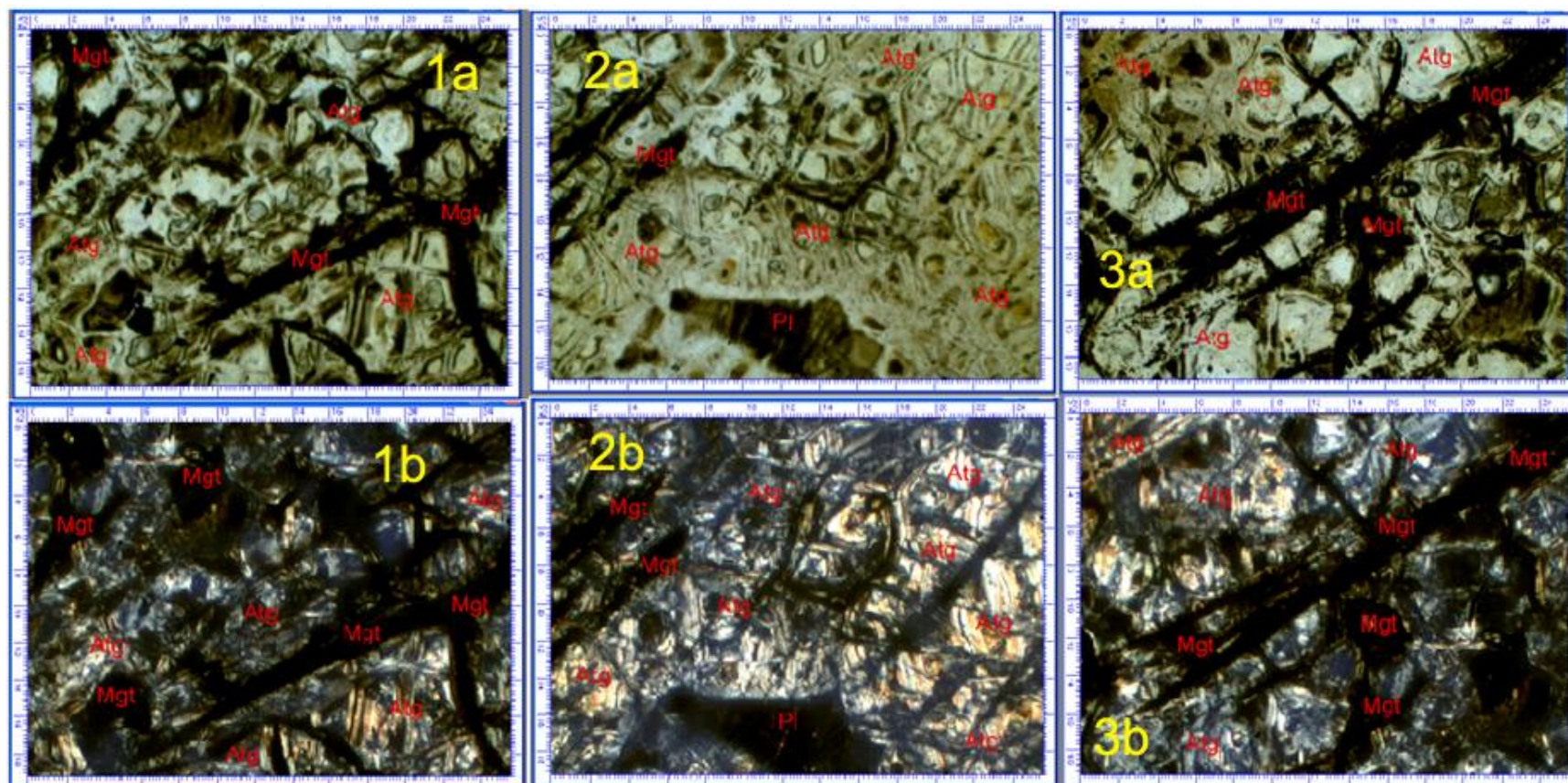
**Figura 3.19: Microfotografías de la muestra 318194-1. a) con nicolas paralelos se observa el olivino (Ol) de color blanco gris, la antigorita (Atg) de color verde formando malla alrededor del olivino. b) con nicolas cruzados se observa el olivino con su alta birrefringencia característica y la antigorita alrededor del olivino de color negro. Longitud de la foto 2,450 mm (2450 micrones) y ancho 1,850 mm (1850 micrones). Objetivo 2.5x.**



**Fotografía de la muestra 318194-1.**

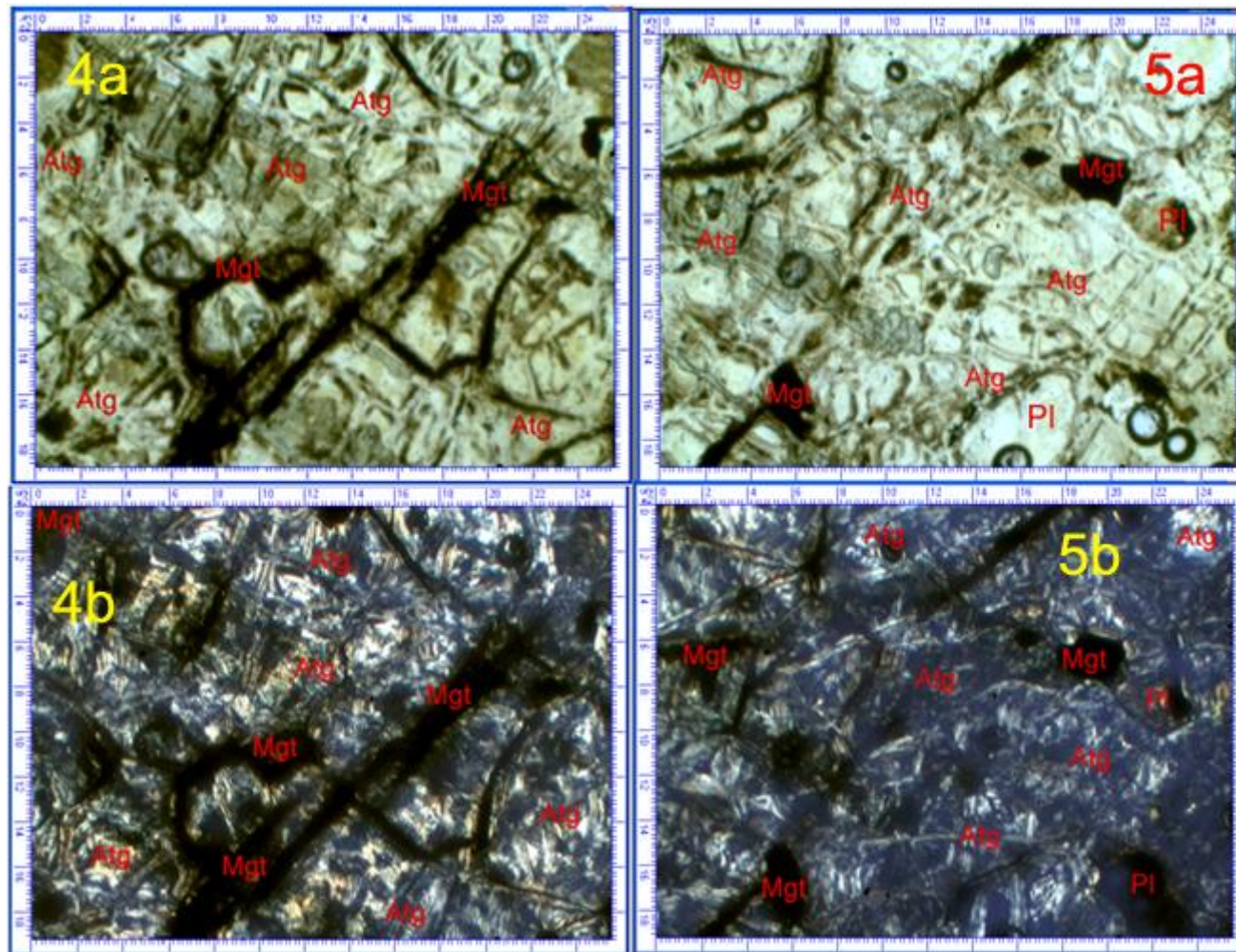


**Anexo 2:** Microfotografías de la muestra CR 1579-1. Se tomaron un total de seis microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).



Microfotografías 1(a y b), 2 (a y b) y 3(a y b).

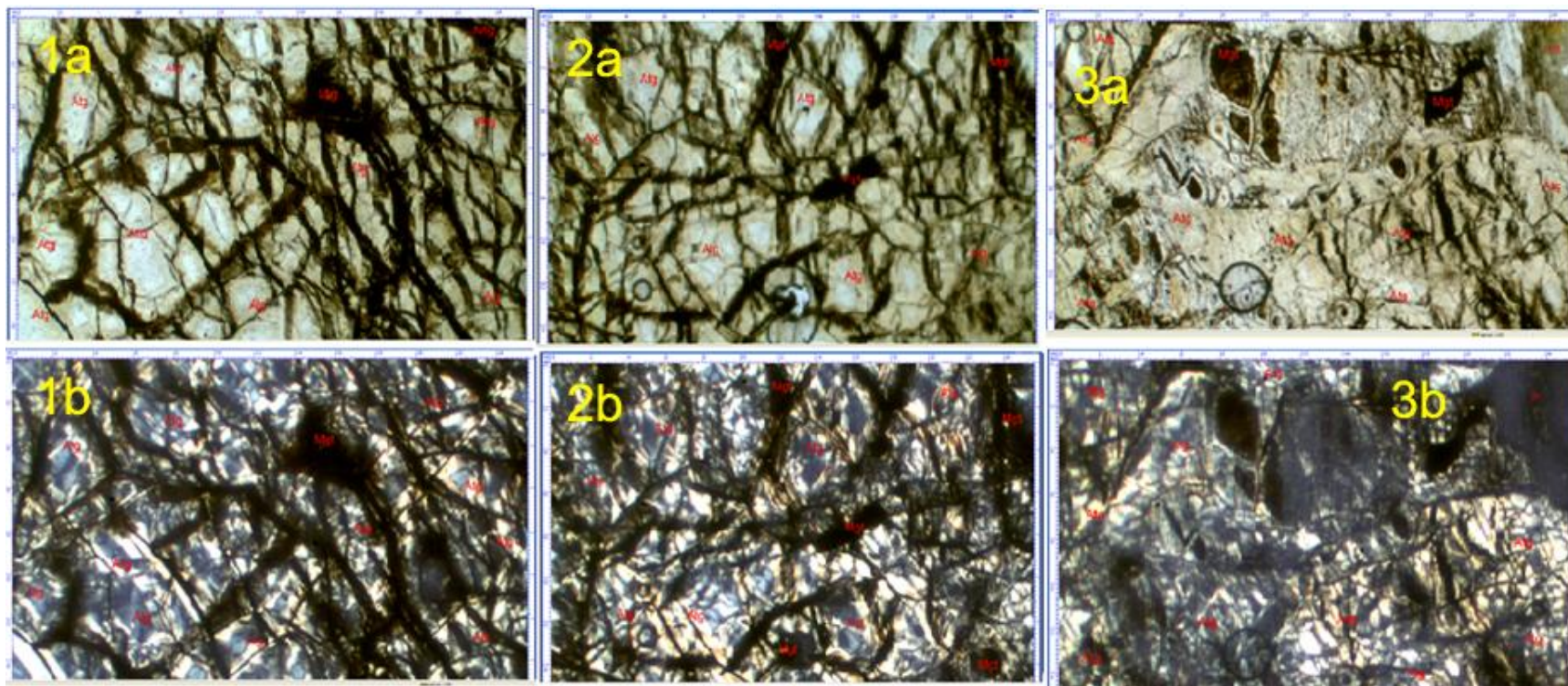




Microfotografías 4 (a y b) y 5 (a y b). La microfotografía 6 aparece en el capítulo 3.

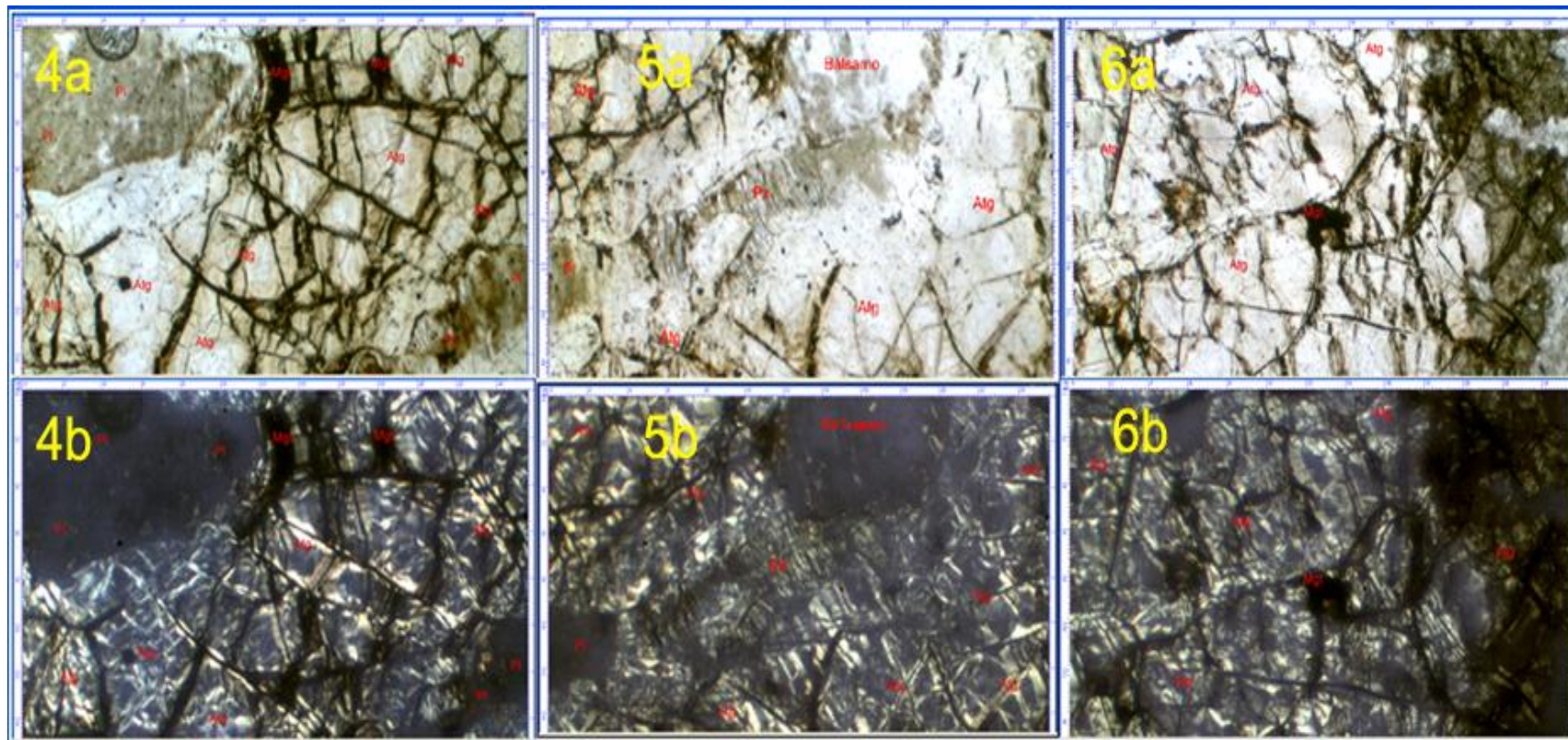


**Anexo 3:** Microfotografías de la muestra CR 1512. Se tomaron un total de siete microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).



Microfotografías 1(a y b), 2 (a y b) y 3(a y b).

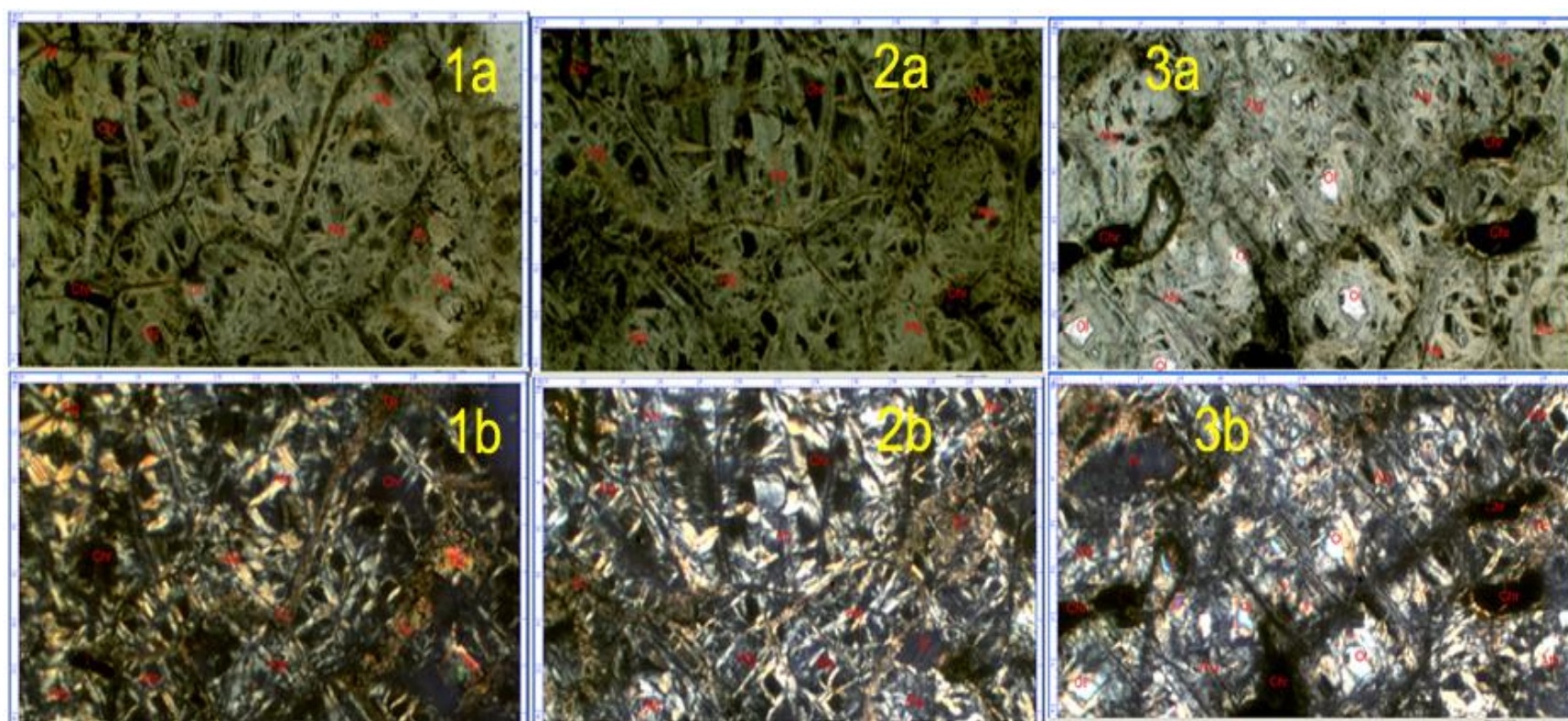




Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b). La microfotografía 7 aparece en el capítulo 3.

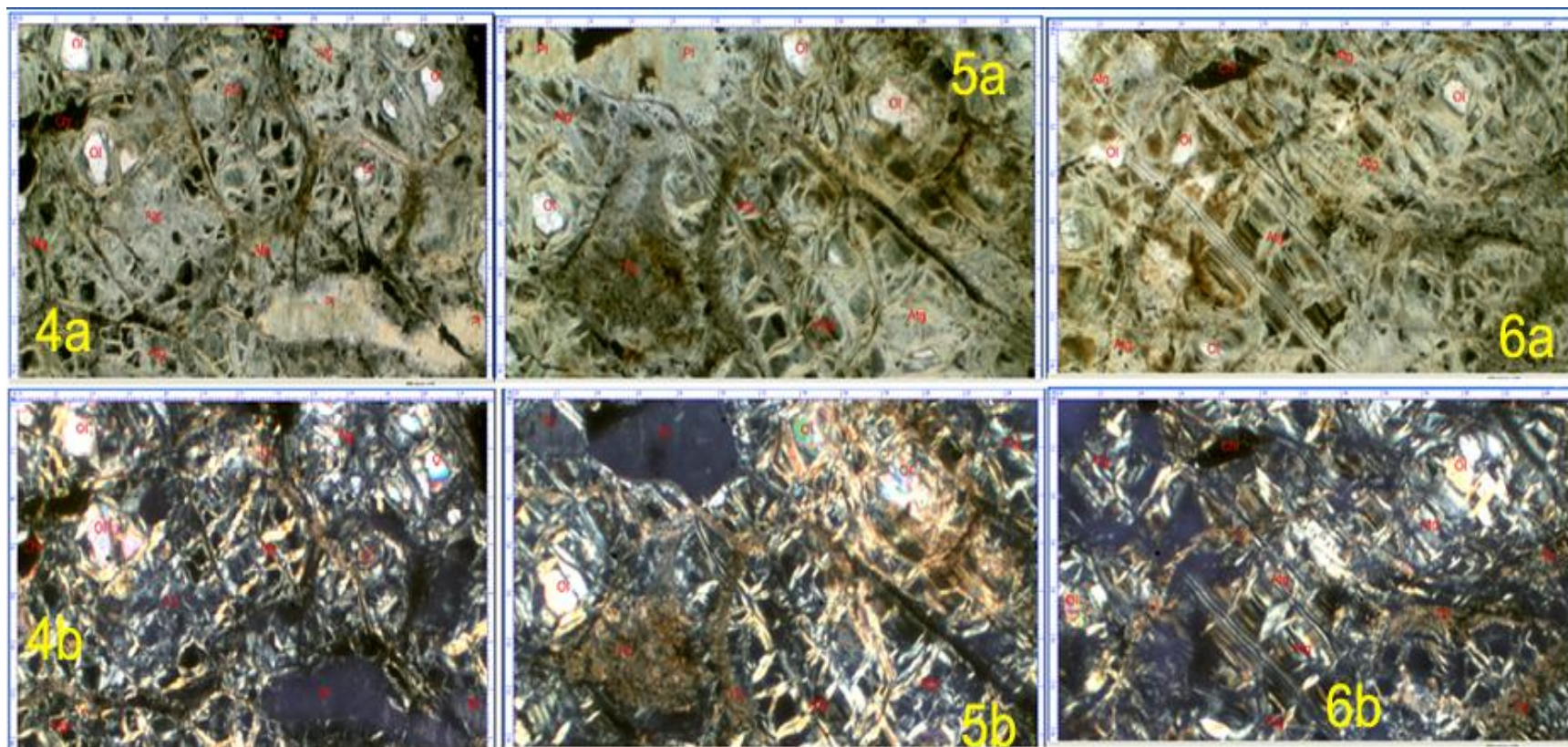


**Anexo 4:** Microfotografías de la muestra CR 1044-1. Se tomaron un total de ocho microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).

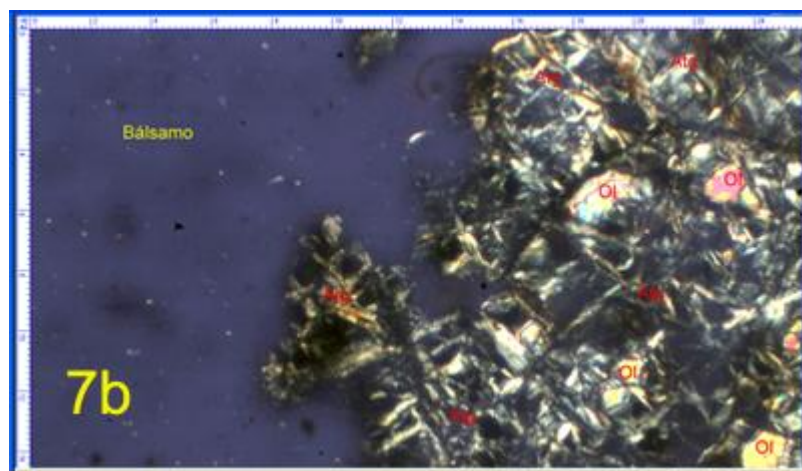
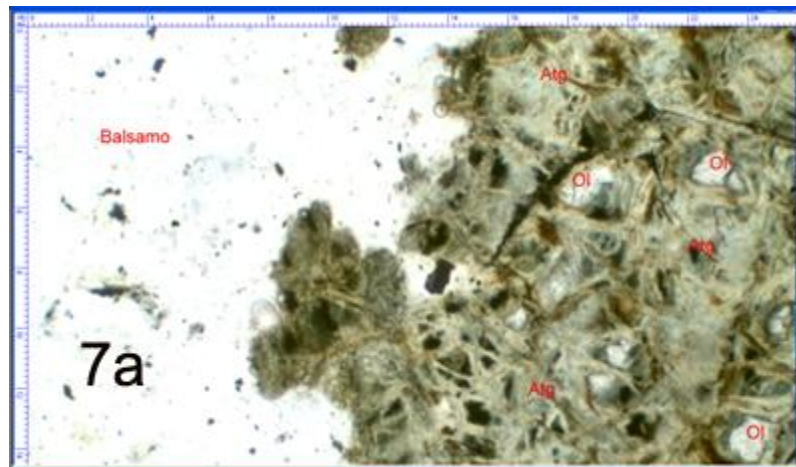


Microfotografías 1(a y b), 2 (a y b) y 3(a y b).





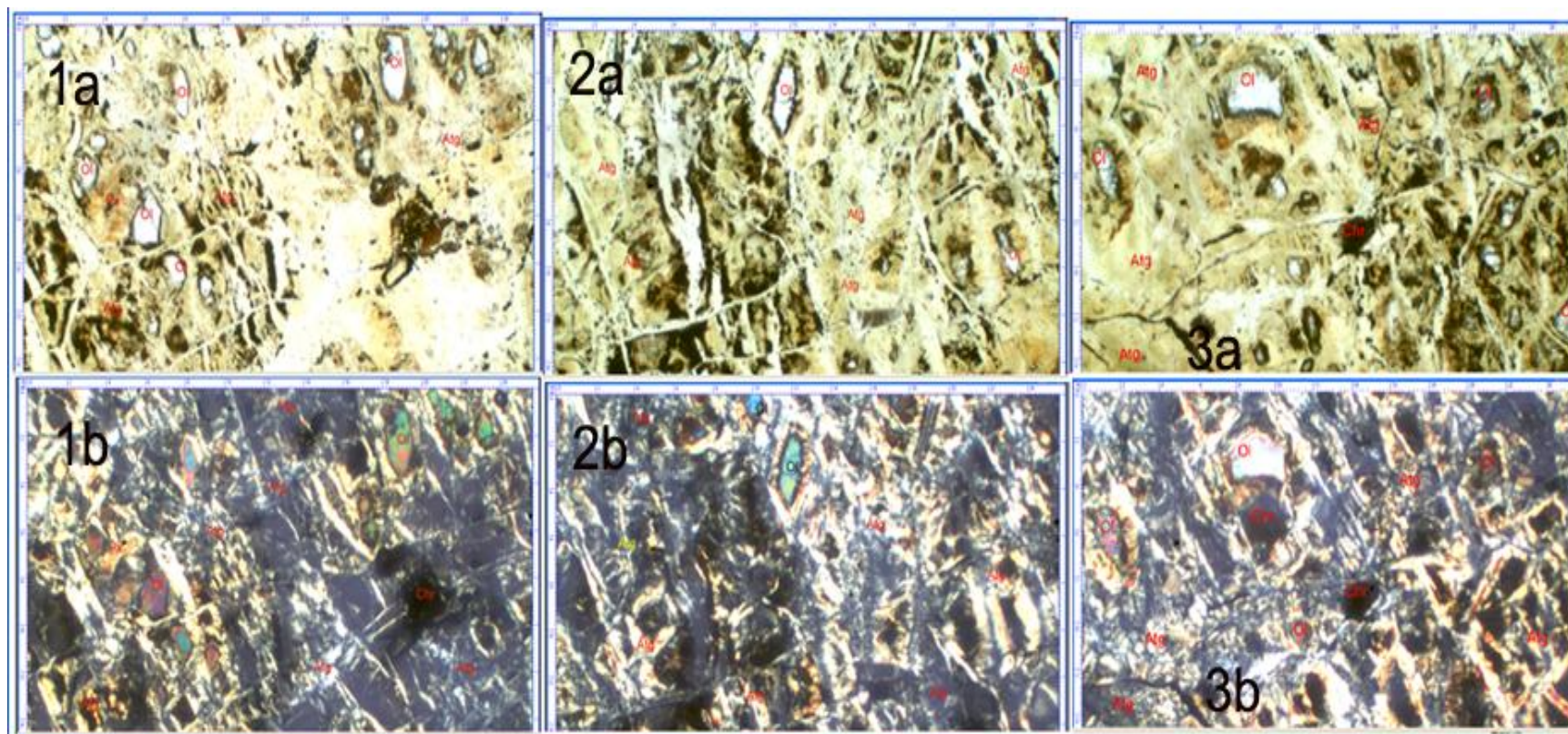
Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b).



Microfotografía 7(a y b). La microfotografía 8 aparece en el capítulo 3.

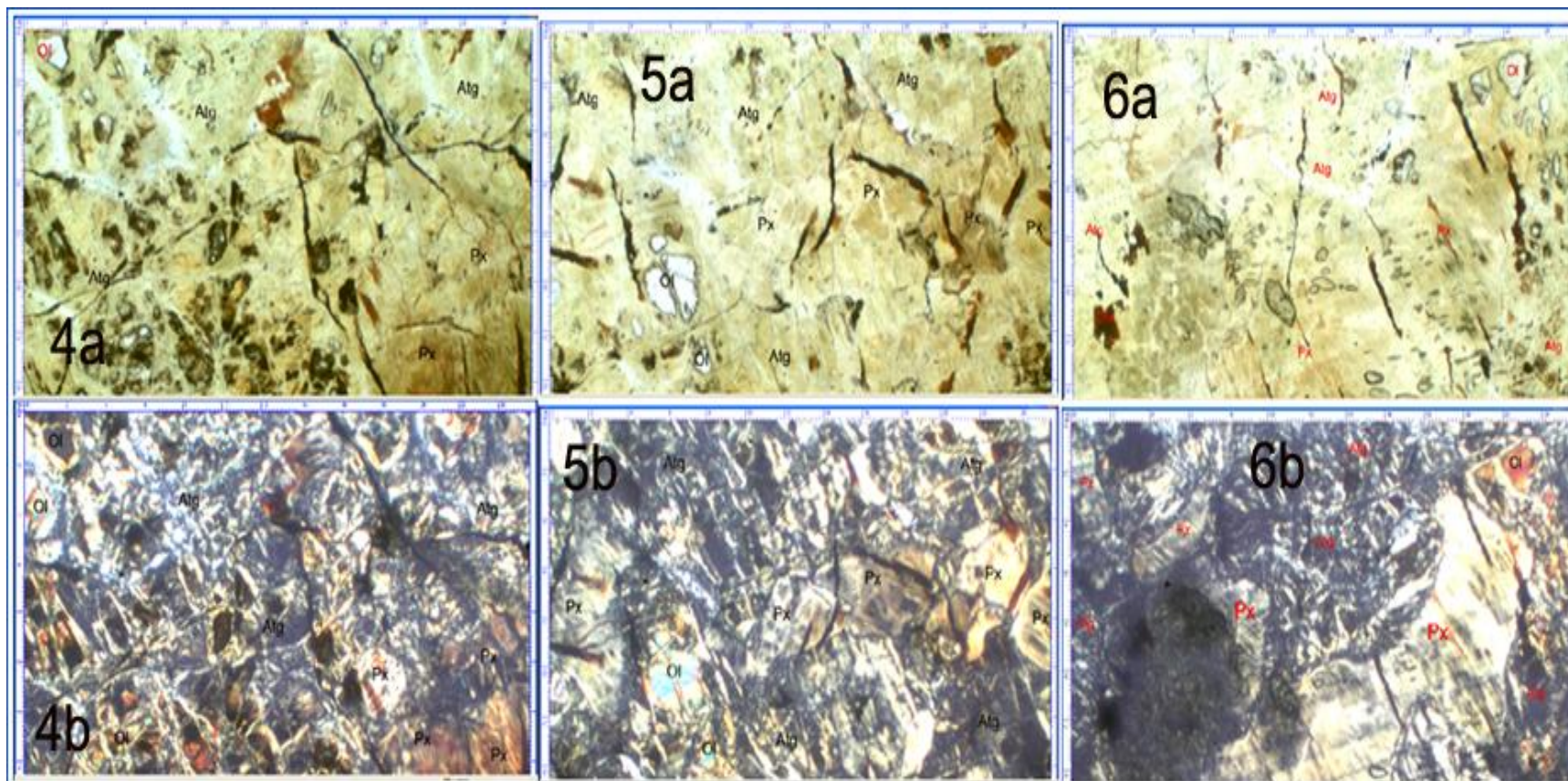


**Anexo 5:** Microfotografías de la muestra 2981- 1. Se tomaron un total de siete microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).



Microfotografías 1(a y b), 2 (a y b) y 3(a y b).

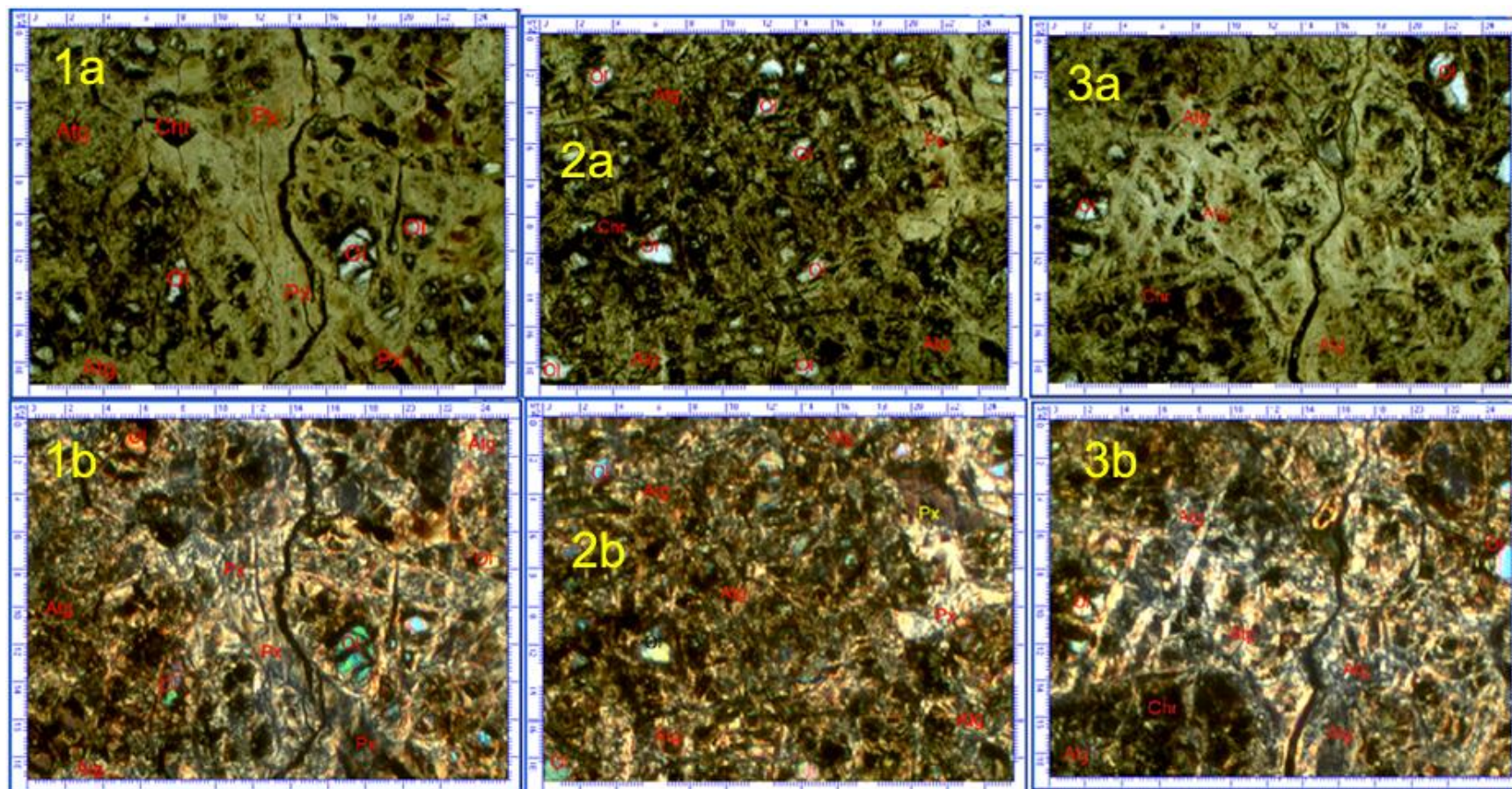




Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b). La microfotografía 7 aparece en el capítulo 3.

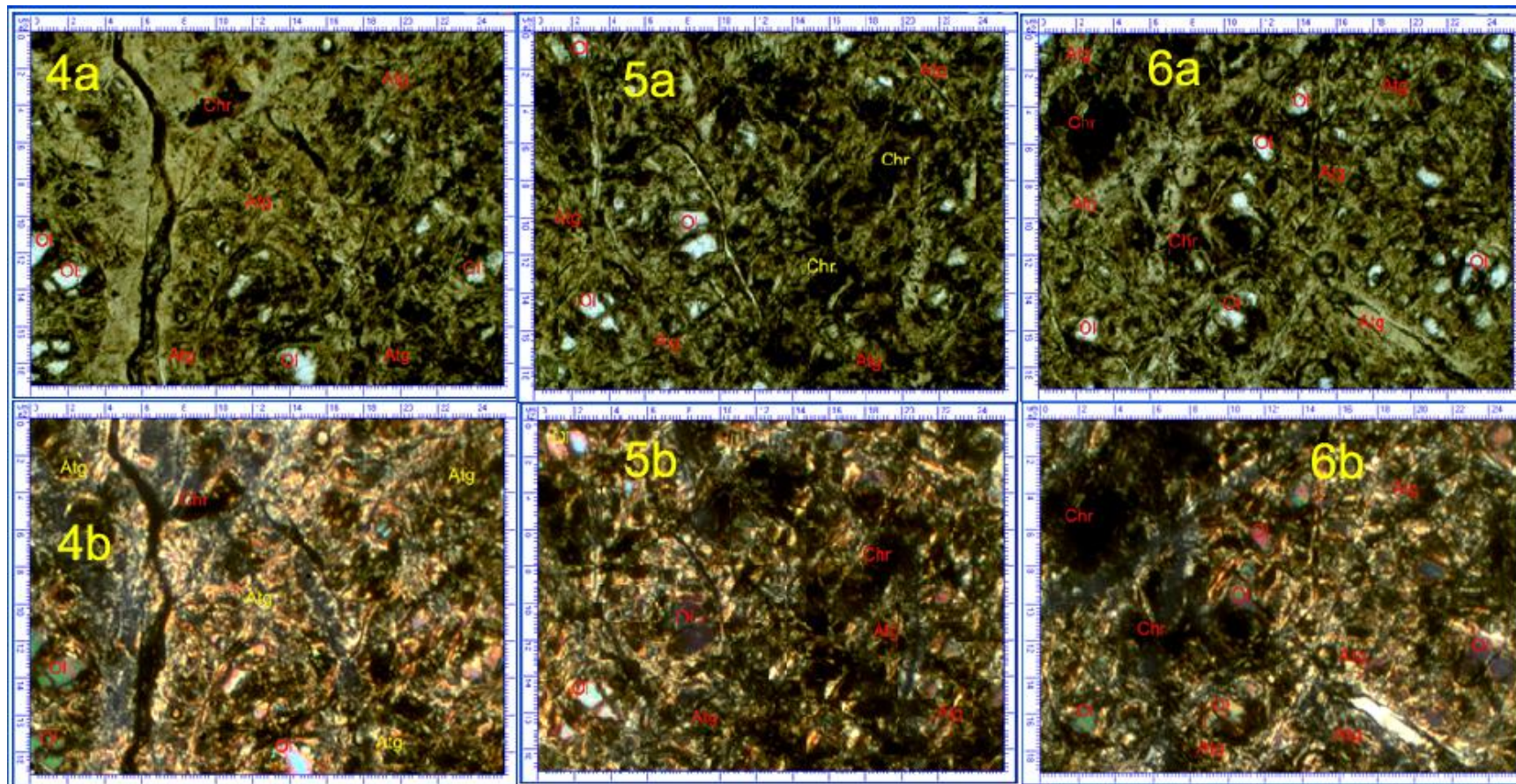


**Anexo 6:** Microfotografías de la muestra CR 1725-1. Se tomaron un total de once microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).



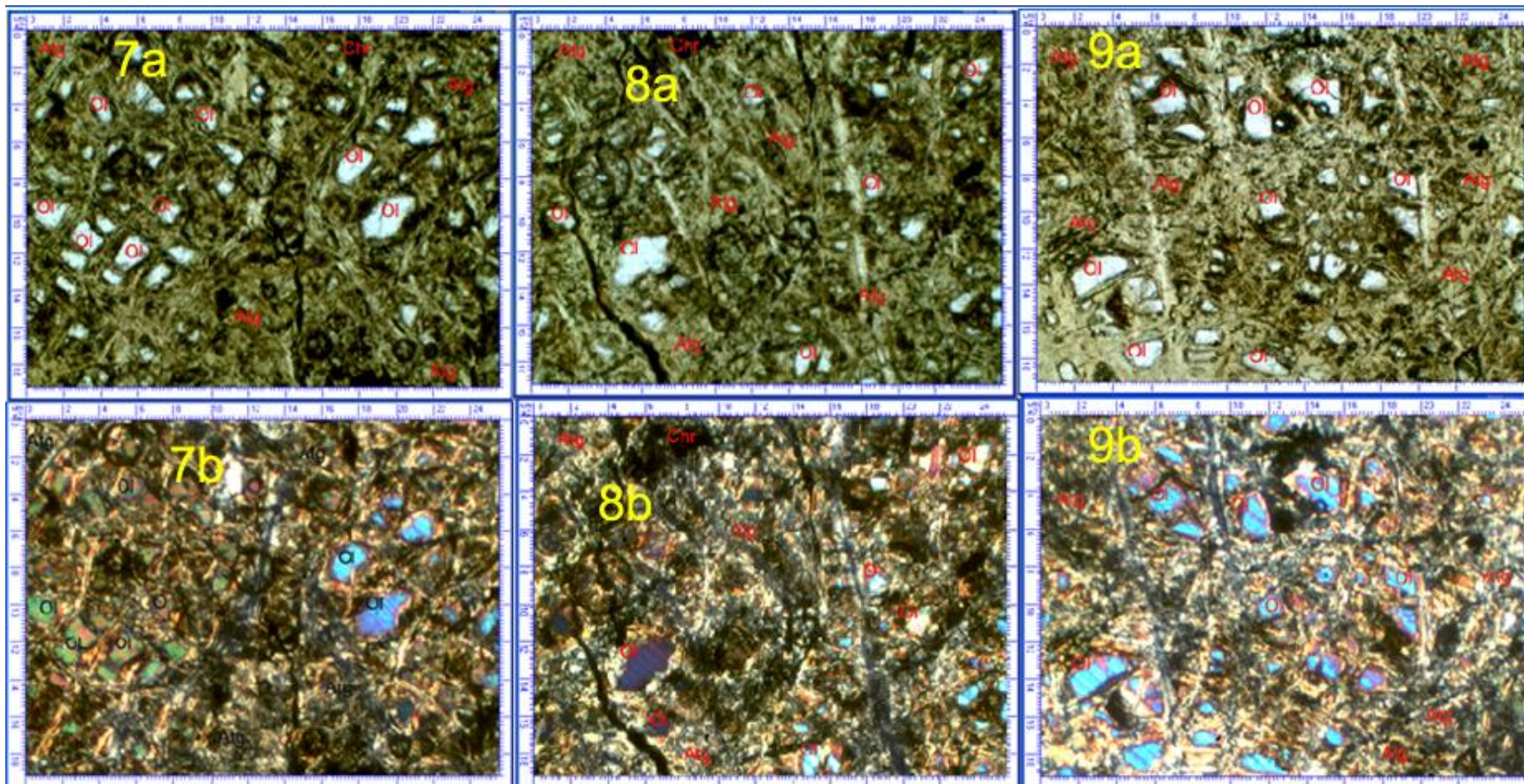
Microfotografías 1(a y b), 2(a y b) y 3(a y b).



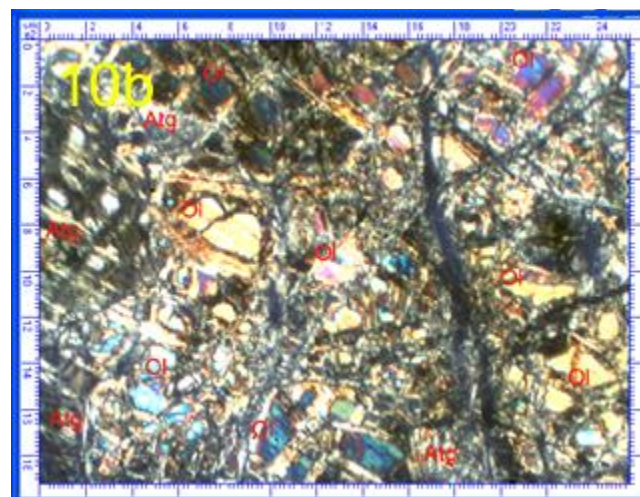
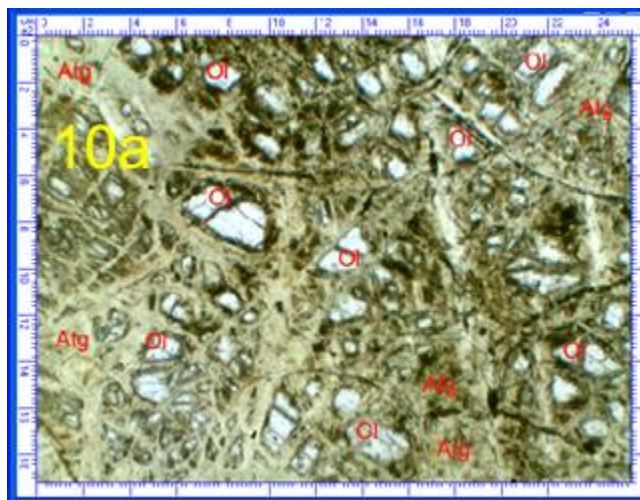


Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b).





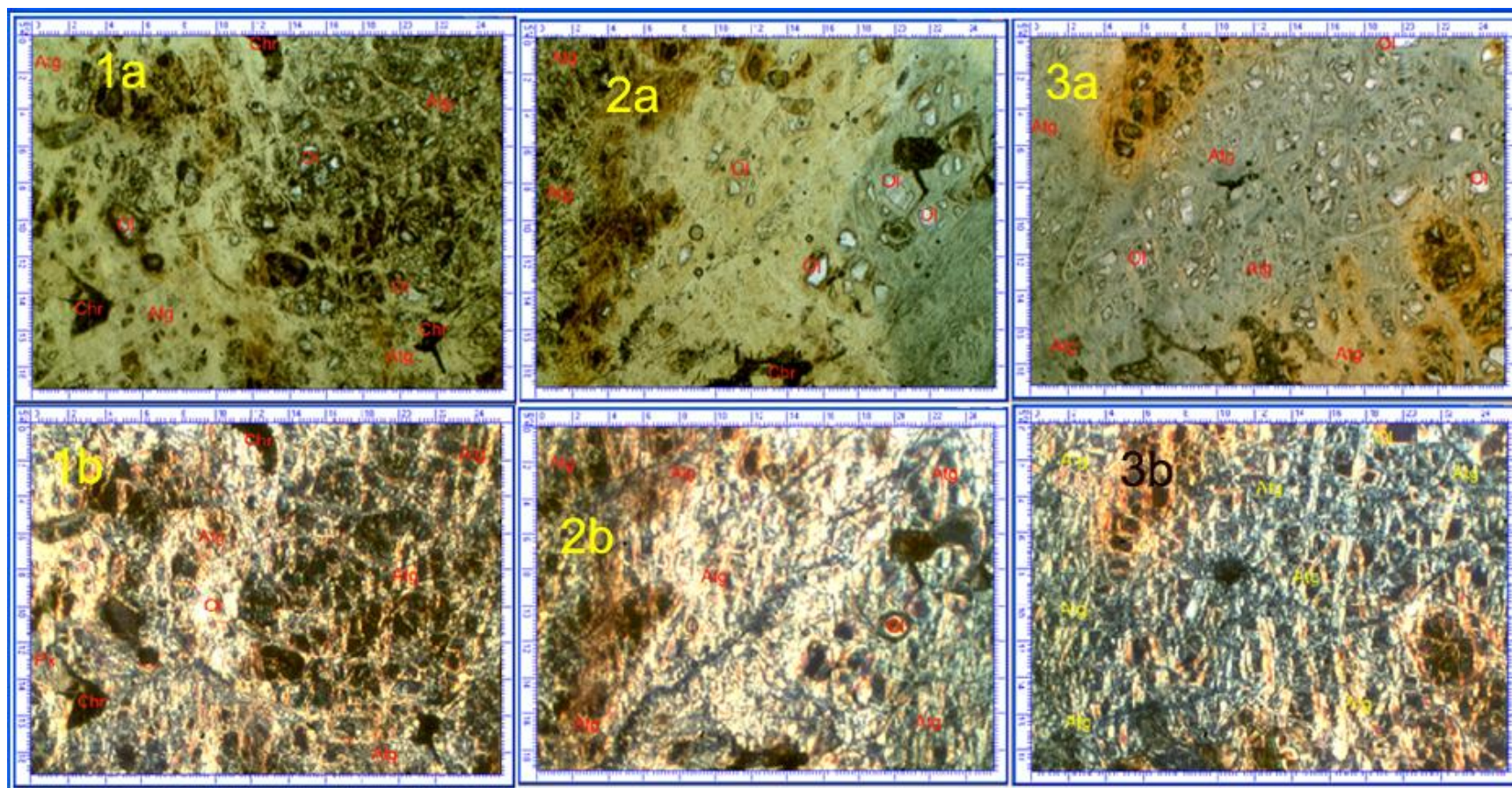
Microfotografías 7(a y b), 8(a y b) y 9(a y b).



Microfotografía 10(a y b). La microfotografía 11 aparece en el capítulo 3.

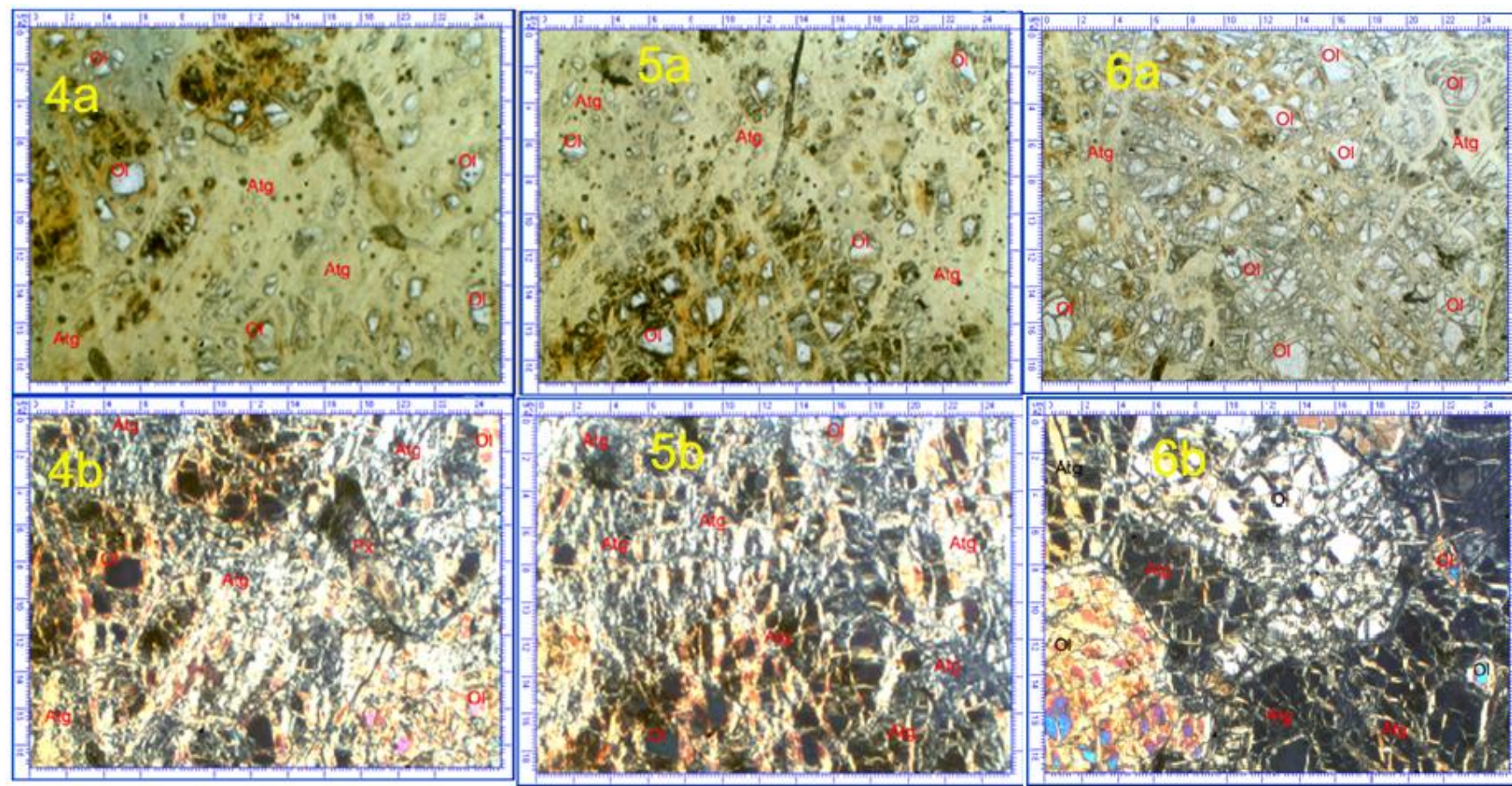


**Anexo 7:** Microfotografías de la muestra CR 3182- 38-1. Se tomaron un total de siete microfotografías (a nicols // y b nicols X).



Microfotografías 1(a y b), 2(a y b) y 3(a y b).

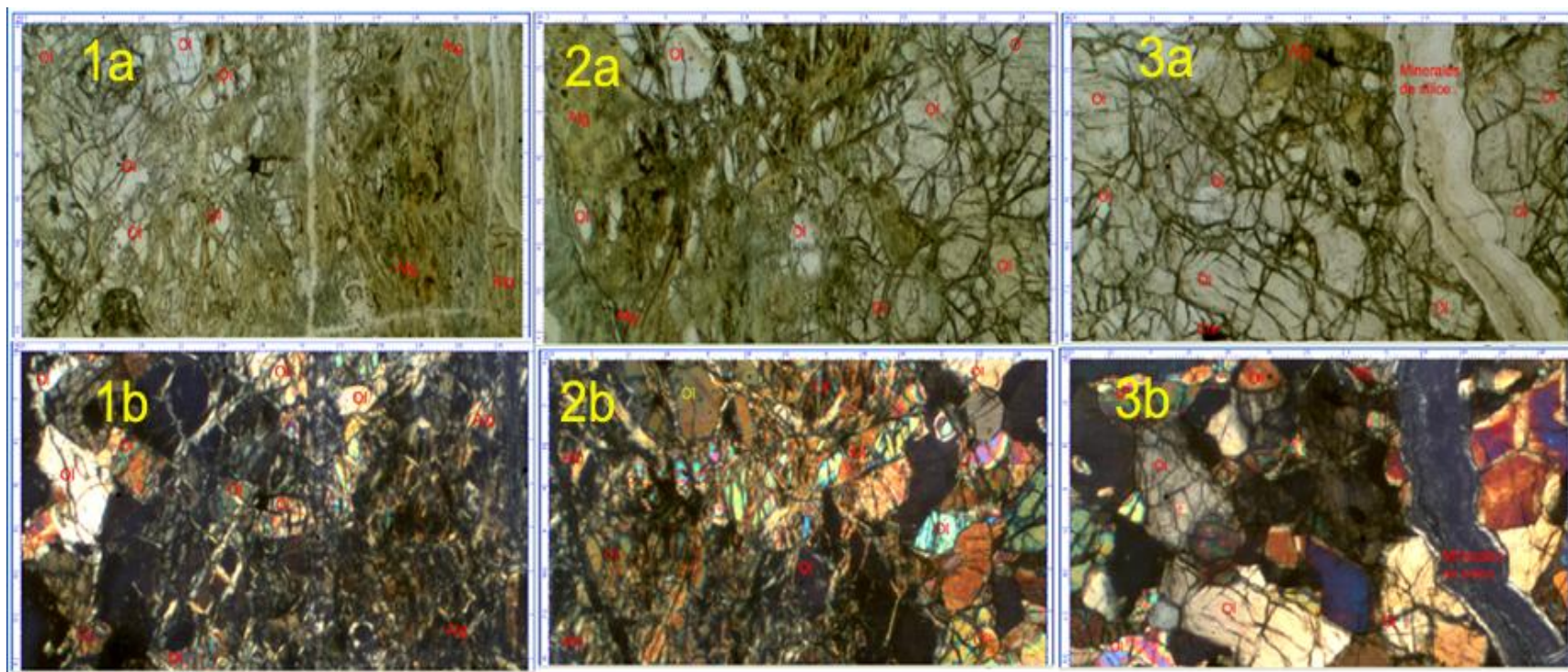




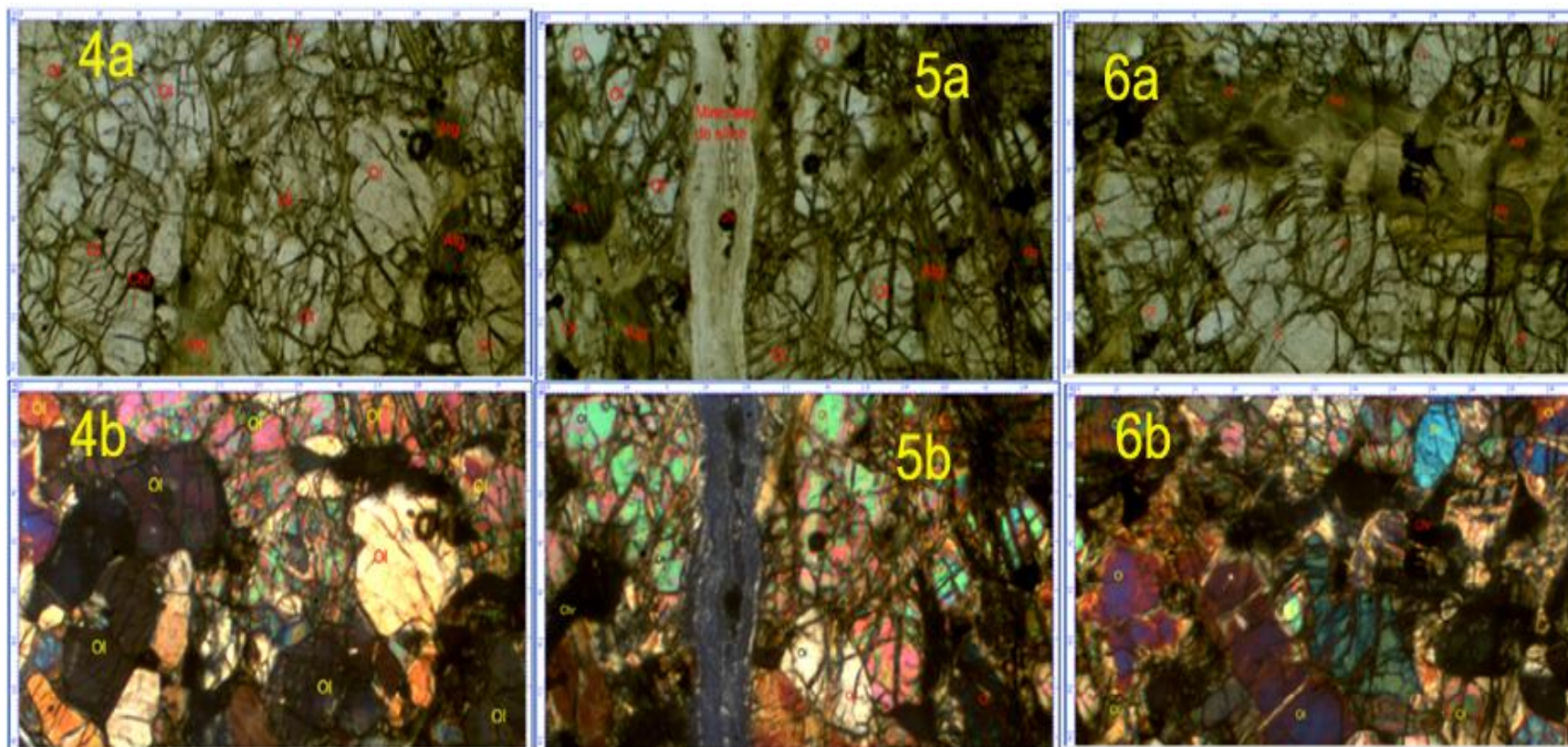
Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b). La microfotografía 7 aparece en el capítulo 3.



**Anexo 8:** Microfotografías de la muestra CR 1516-1. Se tomaron un total de diez microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).

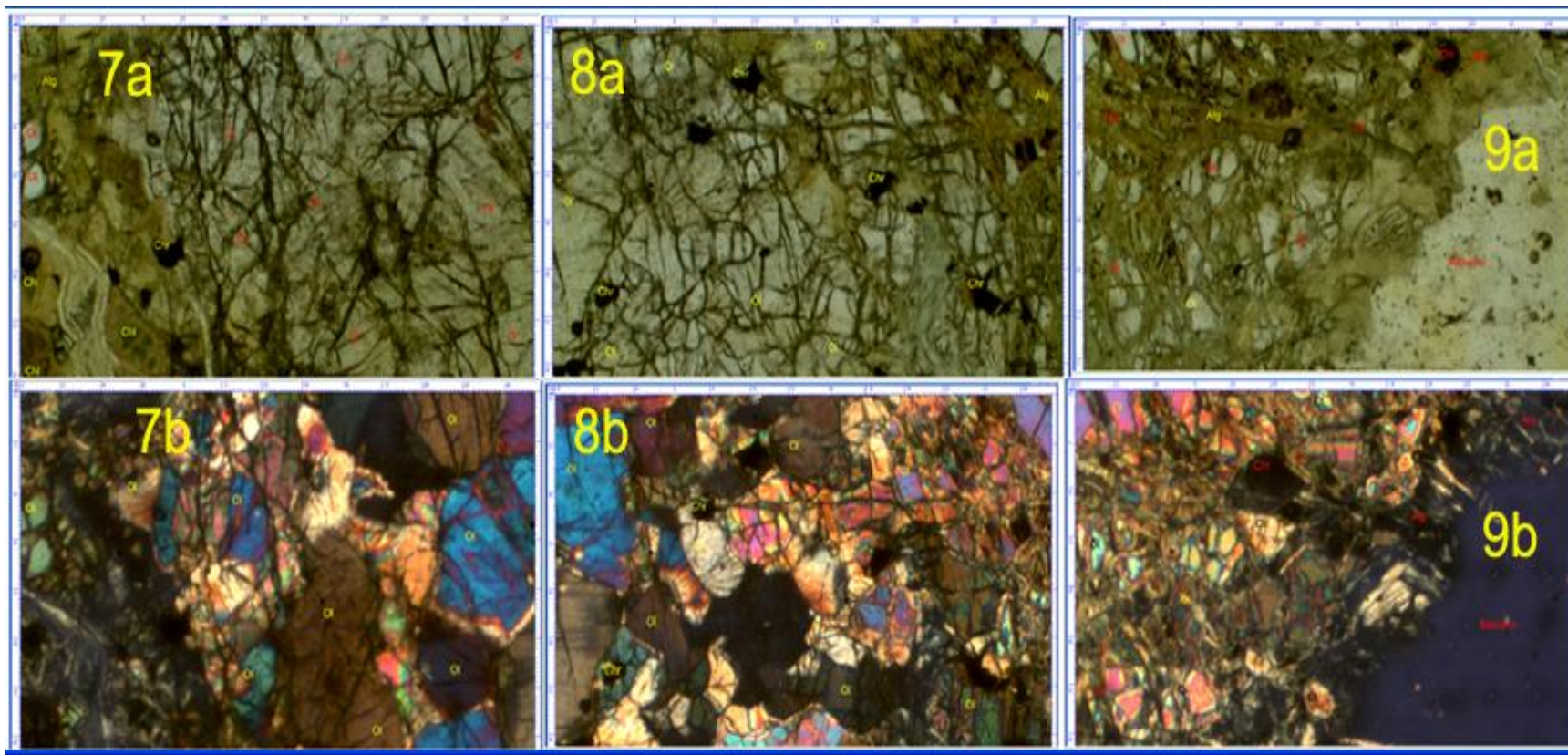


Microfotografías 1(a y b), 2(a y b) y 3(a y b).



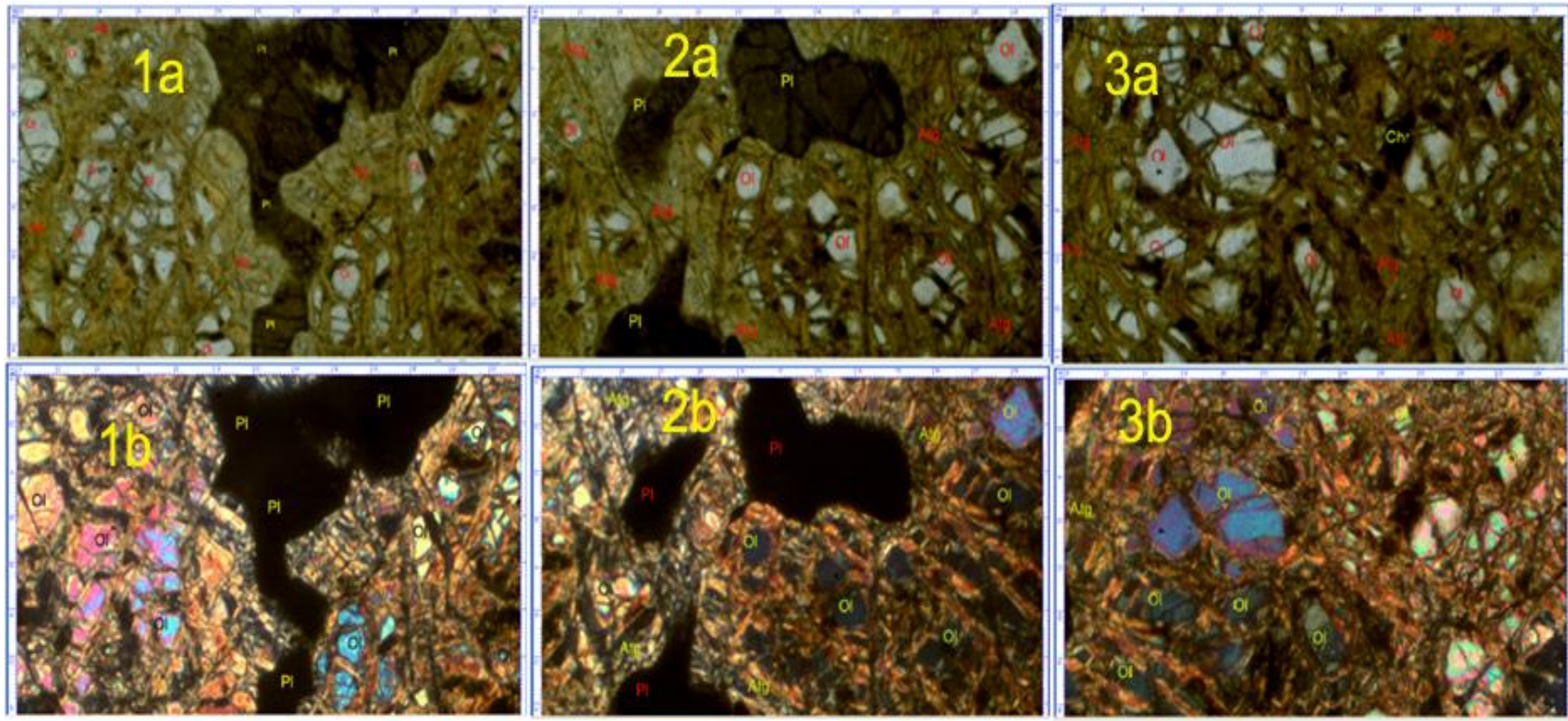
Microfotografías 4(a y b), 5(a y b) y 6(a y b).





Microfotografías 7(a y b), 8(a y b) y 9(a y b). La microfotografía 10 aparece en el capítulo 3.

**Anexo 9:** Microfotografías de la muestra CR1530-1. Se tomaron un total de cuatro microfotografías (a nicoles // y b nicoles X).



Microfotografías 1(a y b), 2(a y b) y 3(a y b). La microfotografía 4 aparece en el capítulo 3.