

REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

TRABAJO DE DIPLOMA



*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.*

AUTOR: Camilo Ramos Lores

TUTOR: Dr. C Jesús Blanco

Dr. C Gerardo Orozco Melgar.

Moa-2012
“Año del 54 de la Revolución”

Pensamiento

... Felicito a todos los que luchan, a los que no desisten jamás ante las dificultades humanas, para crear, sembrar y cultivar valores e ideas, a los que apuestan por la humanidad ¡A todos los que comparten la hermosa convicción de que un mundo mejor es posible!

Fidel Castro Ruz.

Agradecimientos

A nuestro Dios, a mi familia, y muy especialmente a mi madre y mi hermana por tanto amor y confianza que han depositado en mí, a mi papa, a mi hermano, a mi novia y a mi cuñada y mi cuñado.

A mis amigos y compañeros de aula: en especial a Rene, Reidier, Danicer, Cesar, Pedro, por darme su apoyo incondicional.

A todos aquellos que de una forma u otra han contribuido con la realización de este trabajo y en mi formación como futuro profesional.

A mi tutor, Dr.C Geraldo Orozco Melgar e Ing. Yurisley Valdez, Dr.C Jesús Blanco a las profesoras Alina Rodríguez Infante y María Magdalena Toirac por su ayuda y ser guía en todo momento, a mis compañeros de grupo y profesores del departamento.

A todos, gracias...

Camilo Ramos Lores.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas aquellas personas portadoras de los más nobles sentimientos: el amor, la amistad, la confianza, que me mostraron siempre el camino correcto por el cual he de transitar.

En especial:

A mis padres, símbolos de inspiración de todos mis proyectos.

A mis hermanos, faro de mis pasos, por inspirarme a ser un ejemplo y guía para ellos.

A mi novia, por alentarme y estar a mi lado todo el tiempo.

A mis compañeros en el barrio, por aconsejarme por el buen camino.

A mi cuñada por ayudarme en esta investigación y apoyarme

A mi cuñado por ayudarme y apoyarme en todo lo que hizo falta.

En general a todas aquellas personas que no menciono, no por ser menos importantes sino porque no alcanzarían estas pocas líneas para mencionarlos.

Resumen:

En este trabajo de tesis se muestra una guía de estudio para estudiantes de geología que permita la cuantificación de minerales en secciones delgadas bajo el microscopio petrográfico, empleando el procesamiento de imágenes y el uso del software ScopePhoto 2.0. En esta investigación se realiza una aplicación práctica del software con vista a estimar, cuantificar y delimitar de los granos minerales, su tamaño, forma, porosidad y sus respectivos porcentajes para identificar la roca. El ejemplo práctico, se basa en el estudio de las propiedades ópticas y mineralógicas en secciones delgadas de las muestras de rocas tomadas durante el levantamiento geológico del área de la concesión minera Camarioca Sur. Se expone además el cálculo de la porosidad de las rocas, la cual tiene una gran importancia en los estudios de gas, petróleo y agua. El procesamiento de los datos numéricos se realizó empleando el programa Microsoft Excel.

Nuestros resultados serán de gran interés para las prácticas de las asignaturas de petrología del plan de estudio D, de la carrera de geología, al exponer la demostración práctica de las herramientas que brinda el software ScopePhoto 2.0 con vista a la estimación cuantitativa de granos minerales y sus respectivos porcentajes para su identificación. Además, se estableció la cantidad adecuada de imágenes para el procesamiento de las muestras en secciones delgadas, obteniendo como promedio 15 fotos para la representatividad de cada muestra, y un tiempo de análisis de las imágenes de 1 hora.

Abstract:

In this thesis work a study guide is shown for students of geology that allows the quantification of minerals in thin sections under the petrographic microscope, using the prosecution of images and the use of the software ScopePhoto 2.0. In this investigation a practical application of the software with view to estimate, to quantify and to define the mineral grains, its size, forms, porosity and its respective percentages to identify the rock was carried out. The practical example, is based on the study of the optic and mineralogical properties in thin sections of the samples of rocks taken during the geologic survey of the area of the mining concession Camarioca Sur. It is also exposed the calculation of the porosity of the rocks, which has a great importance in the studies of gas, petroleum and water. The processing of the numeric data was carried out using the program Microsoft Excel.

Our results will be of great interest for the practices of the subjects of petrology of the study plan D, of the geology career, when exposing the practical demonstration of the tools that offers the software ScopePhoto 2.0 with view to the quantitative estimate of mineral grains and their respective percentages for their identification. Also, the appropriate quantity of images settled down for the processing of the samples in thin sections, obtaining an average of 15 pictures for the representativeness of each sample, and a time of analysis of the images of 1 hour.

INDICE

Carátula.....	1
Pensamiento.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Índice.....	7
Introducción.....	8
Marco Teórico Conceptual de la Investigación.....	11

CAPITULO I. Caracterización Teórica de la Asignatura de Petrología.

1.1-Introduccion.....	17
1.1.1-Sistema de habilidades.....	18
1.2-Petrología Ígnea.....	18
1.2.1-Fundamentación de la Asignatura.....	18
1.2.2-Objetivos Generales Educativos e Instructivos de la Asignatura.....	20
1.3-Petrología Sedimentaria.....	21
1.3.1-Fundamentación de la asignatura.....	21
1.3.2-Objetivos Generales Educativos e Instructivos de la Asignatura.....	21
1.4-Petrología Metamórfica.....	22
1.4.1-Fundamentación de la Asignatura.....	22
1.4.2-Objetivos Generales Educativos e Instructivos de la Asignatura.....	23

CAPITULO II. Metodología.

2.1-Introducción.....	25
2.2-Metodología para la Investigación	26
2.3-Preparacion de las muestras.....	27
2.4-Herramientas de Análisis.....	29
2.4.1-Microscopio de Polarización.....	29
2.4.2-Partes del Microscopio Polarizante. Funciones.....	30
2.4.3-Video Cámara Digital.....	38
2.5-Manejo de la cámara y el software.....	41
2.5.1-Instalación de la Cámara.....	41

2.5.2-Instalación del Software ScopePhoto 2.0.....	46
2.6-Captura de imagen.....	49
2.7-Mediciones de las imágenes.....	50
2.7.1-Metodología para las mediciones de las Imágenes.....	51
2.8-Exportación de los datos.....	53

CAPITULO III. Análisis de los resultados obtenidos para los diferentes tipos de rocas estudiadas.

3.1-Introducción.....	55
3.2-Characterización geológica más generales.....	56
3.3-Descripción del material investigado.....	56
3.4-Procesamientos de las muestras.....	62
3.5-Representación gráfica de los porcentos minerales.....	68
3.6-Cálculo de Porosidad.....	73
3.7-Tipos de Porosidades en las Areniscas.....	77
3.8-Factores que afectan a la Porosidad.....	79
3.9-Metodología para el cálculo del área porosa.....	80
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	84

INTRODUCCION

Las Tecnologías de Informatización y Comunicación (TIC) permiten el desarrollo integral del ingeniero, con su implementación se logra la modelación de procesos físicos y su simulación en el más breve tiempo posible con un gasto mínimo de recursos, facilitando la investigación y la predicción de determinados fenómenos. La experiencia adquirida durante la impartición de la asignatura de Petrología, indica que necesariamente se requiere la aplicación de nuevos planes y programas de estudio perfeccionados, ya que se observó poco dominio de los conocimientos prácticos en otras ramas como la informática de estas asignaturas, a pesar de la importancia que tiene en el desarrollo de las habilidades profesionales de la carrera. Esta investigación surge con el objetivo de que los estudiantes de la carrera de geología tenga una guía, para el estudio y desarrollo del conocimiento práctico y teórico en la asignatura de Petrología, con la aplicación del software ScopePhoto 2.0, que le permitirá cuantificar los minerales y sus porcentajes para la identificación de las rocas en secciones delgadas a través de las imágenes tomadas por una cámara digital acoplada a un microscopio de polarización. La realización práctica de esta guía de estudio para estudiantes de geología, le permitirá el desarrollo del conocimiento, contemplando las nuevas tendencias hacia la semipresencialidad donde el estudiante juega el rol protagónico y activo en todas las actividades de formación, mediante el incremento del estudio individual y creativo, todo basado en una organización del sistema de conocimientos que los motive a estudiar y superarse constantemente. A partir de los elementos expuestos se declara como problema:

PROBLEMA:

No existe una guía de estudio para estudiantes de geología que permita la determinación mineralógica y sus porcentajes con el uso práctico del software ScopePhoto 2.0.

OBJETO:

Imágenes de rocas en sección delgada.

OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar una guía de estudio para estudiantes de geología que permita determinar los minerales y sus respectivos porcentajes, en secciones delgadas bajo el microscopio petrográfico. Utilizando el procesamiento de imágenes, con la aplicación del software ScopePhoto 2.0.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ❖ Poner en práctica las herramientas que brinda el software ScopePhoto 2.0 con vista a la estimación cuantitativa de los minerales.
- ❖ Establecer la cantidad adecuada de imágenes a procesar de cada tipo de roca en sección delgada.
- ❖ Confeccionar ejemplos prácticos de análisis mineralógico y cuantitativo de los minerales en las secciones delgadas.

HIPOTESIS:

Si se desarrolla una guía de estudio para estudiantes de geología aplicada a la asignatura petrología, los mismos pueden llegar a cuantificar los minerales y sus porcentajes, presentes en las secciones delgadas de las rocas en estudio, con la aplicación práctica del análisis de imágenes utilizando el software ScopePhoto 2.0.

MARCO TEORICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACION

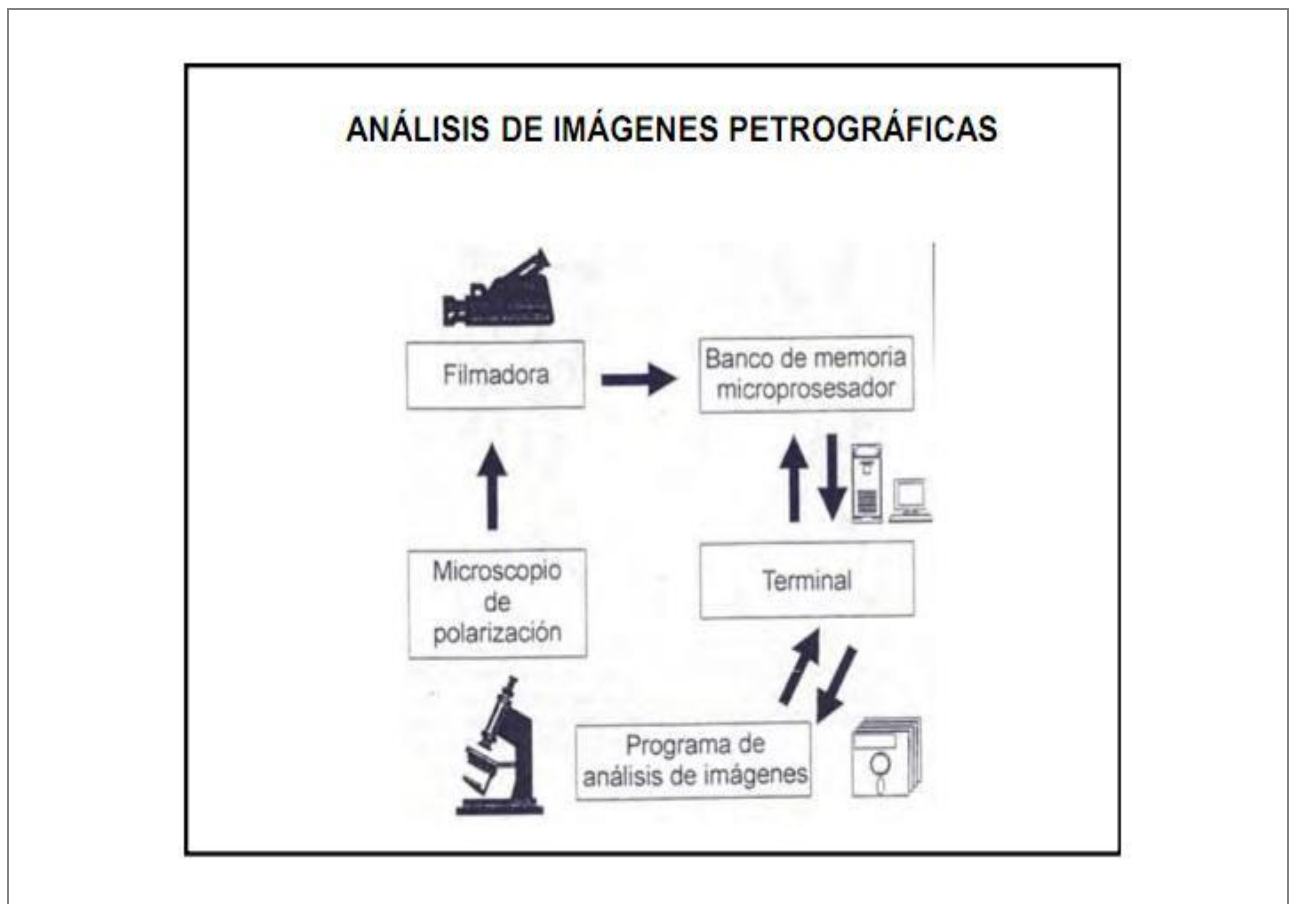
Análisis de imágenes petrográficas.

1) ¿Qué es un programa de análisis de imágenes Petrográficas?

Es una herramienta que procesa la imagen obtenida del microscopio a través de una cámara fotográfica o filmadora digital, que permite cuantizar, caracterizar y describir uno o varios rasgos petrográficos particulares de las rocas como porosidad, forma de granos, tamaños de granos, cementos y otros.

2) ¿Qué programas hay?

- ❖ SCION IMAGE BETA 4.02
- ❖ PETROG
- ❖ W/C-CHECK
- ❖ **SCOPEPHOTO 2.0**



(Figura 1) Analisis de Imágenes.

Investigaciones precedentes.

Nadeau y Hurst (1991); tomado de Sandoval M (2000) cuantificaron la microporosidad en los minerales de arcillas presentes en areniscas del Mar del Norte, a través de estudios de microscopía electrónica, asistidos por una computadora de análisis de imágenes.

Bogg S. (1992) realizó estudios matemáticos a través de imágenes visuales de partículas en dos dimensiones, para caracterizar la forma de las partículas.

Higgins M. (2000) realizó estudios de medidas de las distribuciones de tamaño de partículas cristalinas mediante estereografía y programación (CSD) sobre secciones finas, para determinar las características texturales de las rocas, que permiten revelar cómo solidifican las rocas y bajo qué condiciones.

Lundy C. (2000) realizó un modelo experimental con capas de nieve a través de un programa de imágenes llamado **snowpack** que simulan la evolución de aludes de una montaña. Usando parámetros meteorológicos medidos en varios sitios de la montaña, y modelando las características de nieve como la profundidad de nieve, la temperatura, densidad, tamaño de grano, y el tipo de cristal.

Van Den Berg E., Bense V., y Schlager W. (2003) determinaron la variación textural, distribución de tamaño y porosidad en arenas laminadas usando el análisis de imágenes digitales de secciones finas, el procedimiento demostró ser una herramienta útil y versátil para cuantificar variaciones de características texturales.

Flores J, y Méndez A. (2005) realizaron el análisis de imágenes de partículas, minerales pesados, longitudes de huellas de fisión, huellas de fisión, mediante programa Scion Image y métodos estadísticos para determinar correlación estratigráfica y geocronológica de las quebradas Hoyos y Vichú.

Miranda Ma. E., Oleschko K, Parrot J. F, Castrejón F., Taud H. y Brambila F. (2006) realizaron estudios de porosidad de los yacimientos naturalmente fracturados a través de un esquema fractal, estos análisis se hicieron a partir de imágenes digitales de tomografía computarizada de rayos X. Los clasificadores fractales, extraídos de las imágenes digitales, fueron útiles para hacer un diagnóstico simple y rápido del tipo de porosidad de un núcleo a partir de su imagen. Tomas de fotografías para procesar en ScopePhoto.

Tomas de imágenes digitales para procesar en ScopePhoto2.0

Consiste en realizar las diferentes tomas de fotografías a las secciones finas, tomando en cuenta el área más porosa y representativa de los minerales presentes en la sección estudiada. Sin embargo, para mejorar y mantener la calidad de las imágenes se toma en cuenta algunos criterios que se describen a continuación:

-Realización de una malla en papel de acetato para la toma de fotografías, y así evitar el solape de las fotos. La malla tiene una dimensión aproximada de 15mm ancho por 25mm de largo y consta de cuadrados que miden 1,8mm por cada lado, siendo equivalentes al área total del objetivo N° 10x del microscopio de luz polarizada. **(Figura 2).**

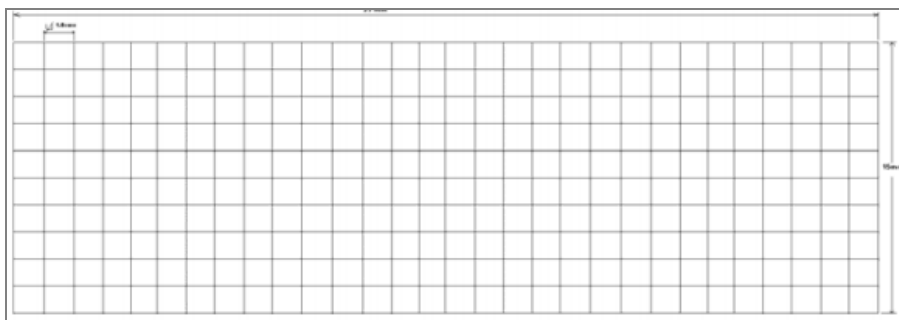


Fig.2 Malla realizada en papel de acetato para la toma de fotografías.

Digitalización de las fotografías.

Las imágenes se analizan mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales como en el programa **PAIN** a un tamaño de 400 x 300 píxeles, y guardadas en formatos (*.bmp), manteniendo la resolución y calidad de la imagen. (Figura 3).



Fig.3 Digitalización de las fotografías con el programa **PAIN**.

Análisis de Imágenes.

Consiste en realizar el análisis de las imágenes digitalizadas de las fotografías de las muestras en secciones delgadas, y que posteriormente son procesadas con el software de análisis para su vectorización, binarización y obtención de parámetros para el cálculo cuantitativo de los granos minerales, sus porcentajes y la porosidad absoluta.

El software **SCOPEPHOTO 2.0** es un programa de procesamiento y análisis de imágenes para PC's compatibles con IBM. Se basa en el programa NIH de la plataforma Macintosh. En este, se puede adquirir, mostrar y editar imágenes. Proporcionando una mayor compatibilidad con otras aplicaciones, incluyendo los programas para escanear, editar y publicar análisis de imagen. Este programa soporta muchas funciones estándar de procesamiento de imágenes, perfiles de densidades, afilados, suavizados, filtros promedios, detección de bordes y convolución espacial con núcleos definidos por el usuario. ScopePhoto para Windows puede ser utilizado para medir áreas, media, centroide, perímetro, longitudes de los ejes mayor y menor, y

desviación estándar, de regiones de interés definidas por el usuario. También, permite realizar análisis automatizado de partículas y proporciona herramientas para medir longitudes de trayectorias y ángulos. Además, se pueden obtener imágenes de superficie en tres dimensiones (3D). Se pueden realizar calibraciones espaciales para proporcionar un universo de datos reales. La calibración de densidad se puede hacer con radiaciones o estándares de densidad óptica usando unidades especificadas definidas por el usuario. Los resultados pueden ser impresos, exportado a los archivos de textos o copiados en el portapapeles.

Una barra de herramientas soporta edición de colores e imágenes en escala grises, incluyendo la capacidad de hacer líneas, rectángulos y texto, además se puede rotar, voltear, invertir y escalar selecciones de la imagen. Este programa soporta múltiples ventanas y ocho niveles de aumento, y todas las funciones aplicadas se pueden deshacer. Solo reconoce y guarda imágenes en los formatos (*.bmp,*.dib,*.rle, (*.jpg,*.jpeg,*.jpe,*.jif,*.jfif, *.png, *.sft, *.jbg, *.psd...)) (Figura 4).

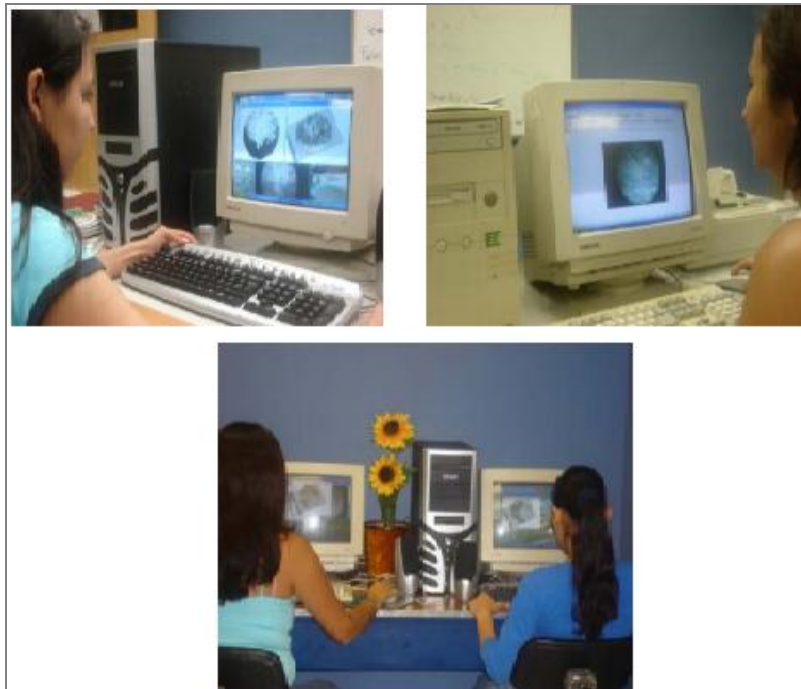


Fig.4 Ilustración del Análisis de Imágenes Visuales con el programa ScopePhoto 2.0

Calibración del método de Análisis de imágenes.

Consiste en evaluar los resultados obtenidos del análisis de imágenes de las fotografías, comparándolos con los datos a escala real. Por lo tanto, se tomó en cuenta algunos criterios que se describen a continuación:

- Selección de 14 fotos representativas de variabilidad en los datos de porosidad entre los diferentes campos: tomando en cuenta la madurez textural de la muestra como escogimiento, contenido de matriz, cemento y minerales opacos.
- Colocación de papel en Acetato: radica en fijar el papel encima de la foto.
- Demarcación de los límites de granos y poros: consiste en delinear todos los bordes correspondientes a los granos minerales y poros, con marcador punta fina encima del papel de acetato.
- Cálculo del área de los tipos de minerales y porosa: consiste en determinar el área ocupada por los diferentes minerales y poros de la foto, procedimiento que se efectúa restando el área total de la foto menos el área de los granos minerales.

CAPITULO I. Caracterización Teórica de la Asignatura de Petrología.

1.1 INTRODUCCION

La Asignatura de Petrología, está insertada dentro de la disciplina de Geoquímica, que comenzó a impartirse como tal con la puesta en marcha del plan C, según los requerimientos metodológicos del MES. En la actualidad se imparte desde primero hasta cuarto año de la carrera. Incluye las asignaturas Química I y II, Mineralogía I y II, Petrología I y II y Geoquímica general. Esta disciplina se ocupa de la resolución de toda una serie de problemas tanto geológicos como ambientales sumamente importantes tales como:

- Estudio de la composición química de los objetos naturales y antrópicos.
- Estudio de la distribución de los objetos químicos con sus diversas formas de existencia.
- Estudio de las formas de existencia de los elementos químicos.
- Estudio del comportamiento de los elementos químicos en los diferentes procesos naturales.
- Estudio de los procesos que dan lugar a la concentración y a la dispersión de los elementos químicos.
- Prospección de los recursos minerales.
- Estudio geoquímico de los desechos mineros
- Contaminación del medio por metales pesados

Los estudiantes adquieran una concepción científica del mundo mediante el estudio de los contenidos de la Disciplina Geoquímica, basado en el método materialista dialéctico, destacando las variadas formas de existencia de los elementos químicos en la naturaleza y su comportamiento.

Además los estudiantes como objetivo que se requiere también es que conozcan, caractericen, expliquen e interpreten los fenómenos y procesos geológicos a través de las propiedades de los elementos químicos, la composición mineralógica y la constitución petrográfica de los objetos geológicos que componen la corteza terrestre.

La disciplina describe los elementos químicos y sus propiedades. La ley periódica. Los elementos químicos en la naturaleza. Distribución de los elementos químicos, formas de existencia de los elementos químicos. Química Física de los procesos geológicos. Composición de los minerales, las rocas, las menas, las aguas y los hidrocarburos. Composición mineralógica. Paragénesis de minerales, concentración de los elementos químicos en la naturaleza. Clarke. Formas de existencia de los elementos químicos. Anomalías geoquímicas. Migración de los elementos químicos. Contaminación ambiental por metales pesados y otras sustancias.

1.1.1 Sistema de Habilidades.

Aplicación de métodos químicos para la determinación cualitativa de iones en compuestos químicos naturales. Aplicación de métodos químicos para el estudio cuantitativo de la composición de sustancias naturales. Interpretar los procesos químicos naturales y antropogénicos. Aplicar métodos físico - químicos para el estudio de los objetos naturales. Interpretar procesos físico - químicos naturales. Reconocer y describir minerales por sus índices diagnósticos. Identificar minerales durante ensayos de laboratorios. Aplicar las técnicas analíticas más adecuadas de estudio de los minerales. Preparar muestras de minerales para su estudio. Describir y reconocer muestras macroscópicas. Describir y reconocer rocas con la ayuda de microscopios y otros equipos auxiliares. Procesar e interpretar datos petroquímicos. Preparar muestras petrográficas. Reconocer y describir menas macroscópicamente. Reconocer y describir menas con ayuda de microscopios y otros equipos auxiliares. Tomar, documentar y preparar muestras geoquímicas. Elaborar e interpretar los datos geoquímicos. Confeccionar cartas y perfiles geoquímicos.

1.2. PETROLOGIA IGNEA.

1.2.1 Fundamentación de la Asignatura.

La Petrología Ígnea, que inicia el estudio de las rocas, es una de las ciencias que estudia la constitución de la corteza terrestre, estando en uno de los campos de acción fundamental del ingeniero geólogo e interactúa de forma

directa y dialéctica con las demás asignaturas de la disciplina Geoquímica. Ella surge debido a la necesidad de reconocer e identificar las rocas, ya sea en un yacimiento o como en un macizo rocoso como tal, a partir del conocimiento de sus rasgos texturales y estructurales, así como la composición química, necesitando el microscopio petrográfico para el estudio de las rocas en sección delgada.

El objeto de investigación de la Petrología Ígnea son las rocas magmáticas y su interacción con el medio geológico y el ambiente. En la actualidad la Petrología Ígnea desempeña un importante papel en la actividad geológica, ya que se ocupa de la resolución de toda una serie de problemas entre los que se destacan:

- ❖ Estudio de la composición química de los cuerpos geológicos en los yacimientos minerales y los depósitos de rocas.
- ❖ Evaluación de los recursos minerales: como las rocas, teniendo en cuenta la calidad y las posibilidades para su explotación futura según sus aspectos de su constitución y composición.
- ❖ Contribuye al descubrimiento de nuevos tipos de materias primas minerales y rocas.

Con el plan de estudio D la Petrología Ígnea contribuye notablemente a través del estudio de las rocas a poder acercar más los resultados teóricos con la utilización de la materia prima mineral. Por otra parte es una asignatura más que tributa a entender y consolidar mejor los procesos y transformaciones que tienen lugar en el planeta tierra y en todo el sistema solar, bajo una óptica dialéctica materialista.

1.2.2 OBJETIVOS GENERALES EDUCATIVOS E INSTRUCTIVOS DE LA ASIGNATURA.

Educativos:

- ❖ Consolidar los conocimientos acerca de las propiedades de las rocas en el desarrollo económico y cultural de la humanidad y comprendan la necesidad del empleo racional de los macizos rocosos, en correspondencia con los factores económicos y ambientales.
- ❖ Desarrollar en los estudiantes la convicción filosófica materialista del mundo y la ética sobre el rigor y la honestidad científica en la realización de las investigaciones y en la presentación de sus resultados, mediante la discusión y observancia de este aspecto en la ejercitación del trabajo investigativo.

Instructivos:

- ❖ Identificar los tipos principales de rocas ígneas propias de un marco geológico dado y originadas en determinadas condiciones geotectónicas, mediante el empleo de los métodos de la Petrología.
- ❖ Analizar e interpretar los diferentes escenarios geológicos en que se desarrollan los conjuntos litológicos ígneos de una región dada de la corteza terrestre.

Habilidades fundamentales:

Describir muestras de rocas microscópicas y en afloramientos desde el punto de vista petrográfico. Dominar el trabajo con el microscópico petrográfico. Determinar los principales parámetros cristalópticos de los minerales. Identificar los principales minerales formadores de rocas. Reconocer las principales características de las rocas magmáticas. Identificar los principales tipos de rocas magmáticas empleando el método microscópico.

1.3. PETROLOGÍA SEDIMENTARIA

1.3.1 Fundamentación de la asignatura:

La asignatura Petrología sedimentaria constituye uno de los campos de acción fundamental del ingeniero geólogo que es el estudio de las rocas, en este caso, para caracterizar y evaluar las rocas sedimentarias en un territorio dado, a partir del conocimiento de sus características texturales y estructurales, así como su composición química y mineralógica.

El objeto de investigación son las rocas sedimentarias en interacción con el medio geológico y el ambiente.

En la actualidad la Petrología sedimentaria desempeña un papel preponderante en la actividad geológica, ya que se ocupa del estudio y descubrimiento de nuevos tipos de materias primas minerales: las rocas sedimentarias, tanto con fines ornamentales, como materiales que forman parte de determinados yacimientos minerales metálicos y los de petróleo y gas.

Esta asignatura en su concepción actual logra una mayor integración de los contenidos teóricos y prácticos en el reconocimiento, identificación y evaluación de las rocas sedimentarias, teniendo necesidad de integrar los contenidos de la Química general, Mineralogía y Petrología ígnea y Sedimentología, utilizando los métodos petrográficos y petroquímicos en el estudio de las rocas sedimentarias, donde su enfoque multidisciplinario permite formar el profesional de perfil amplio que exige los tiempos actuales.

1.3.2 OBJETIVOS GENERALES EDUCATIVOS E INSTRUCTIVOS-DE LA ASIGNATURA

Educativos:

- ❖ Consolidar los conocimientos acerca de las propiedades de las rocas en el desarrollo económico y cultural de la humanidad y comprendan la necesidad del empleo racional de los macizos rocosos, en correspondencia con los factores económicos y ambientales.

- ❖ Desarrollar en los estudiantes la convicción filosófica materialista del mundo y la ética sobre el rigor y la honestidad científica en la realización de las investigaciones y en la presentación de sus resultados, mediante la discusión y observancia de este aspecto en la ejercitación del trabajo investigativo.

Instructivos:

- ❖ Identificar los tipos principales de rocas sedimentarias propias de un marco geológico dado y originadas en determinadas condiciones geotectónicas, mediante el empleo de los métodos de la Petrología.
- ❖ Analizar e interpretar los diferentes escenarios geológicos en que se desarrollan los conjuntos litológicos sedimentarios de una región dada de la corteza terrestre.

Habilidades fundamentales a dominar:

- ❖ Reconocer las principales características de las rocas sedimentarias. Identificar los principales tipos de rocas sedimentarias por el color, composición mineralógica, caracteres estructurales y texturales, etc. Emplear el método microscópico durante el estudio y determinación de las rocas sedimentarias. Emplear los métodos de la petrología más generales durante el estudio de los diferentes tipos de rocas sedimentarias.

1.4. PETROLOGÍA METAMÓRFICA**1.4.1 Fundamentación de la asignatura:**

La asignatura Petrología metamórfica constituye uno de los campos de acción fundamental del ingeniero geólogo que es el estudio de las rocas, en este caso, para caracterizar y evaluar las rocas metamórficas en un territorio dado, a partir del conocimiento de sus características texturales y estructurales, así como su composición química y mineralógica.

El objeto de investigación son las rocas metamórficas en interacción con el medio geológico y el ambiente.

En la actualidad la Petrología metamórfica desempeña un papel preponderante en la actividad geológica, ya que se ocupa del estudio y descubrimiento de nuevos tipos de materias primas minerales: las rocas metamórficas, tanto con fines ornamentales, como materiales que forman parte de determinados yacimientos minerales metálicos.

Esta asignatura en su concepción actual logra una mayor integración de los contenidos teóricos y prácticos en el reconocimiento, identificación y evaluación de las rocas metamórficas, teniendo necesidad de integrar los contenidos de la Química general, Mineralogía, Geoquímica, la Petrología ígnea y sedimentaria, utilizando los métodos petrográficos y petroquímicos en el estudio de las rocas metamórficas, donde su enfoque multidisciplinario permite formar el profesional de perfil amplio que exige los tiempos actuales.

1.4.2 OBJETIVOS GENERALES EDUCATIVOS E INSTRUCTIVOS-DE LA ASIGNATURA

Educativos:

- ❖ Consolidar los conocimientos acerca de las propiedades de las rocas en el desarrollo económico y cultural de la humanidad y comprendan la necesidad del empleo racional de los macizos rocosos, en correspondencia con los factores económicos y ambientales.

- ❖ Desarrollar en los estudiantes la convicción filosófica materialista del mundo y la ética sobre el rigor y la honestidad científica en la realización de las investigaciones y en la presentación de sus resultados, mediante la discusión y observancia de este aspecto en la ejercitación del trabajo investigativo.

Instructivos:

- ❖ Identificar los tipos principales de rocas metamórficas propias de un marco geológico dado y originadas en determinadas condiciones geotectónicas, mediante el empleo de los métodos de la Petrología.

- ❖ Analizar e interpretar los diferentes escenarios geológicos en que se desarrollan los conjuntos litológicos metamórfico de una región dada de la corteza terrestre

Habilidades fundamentales a dominar:

Reconocer las principales características de las rocas metamórficas. Identificar los principales tipos de rocas metamórficas por el color, composición mineralógica, caracteres estructurales y texturales, etc. Emplear el método microscópico durante el estudio y determinación de las rocas metamórficas. Emplear los métodos de la petrología más generales durante el estudio de los diferentes tipos de rocas metamórficas.

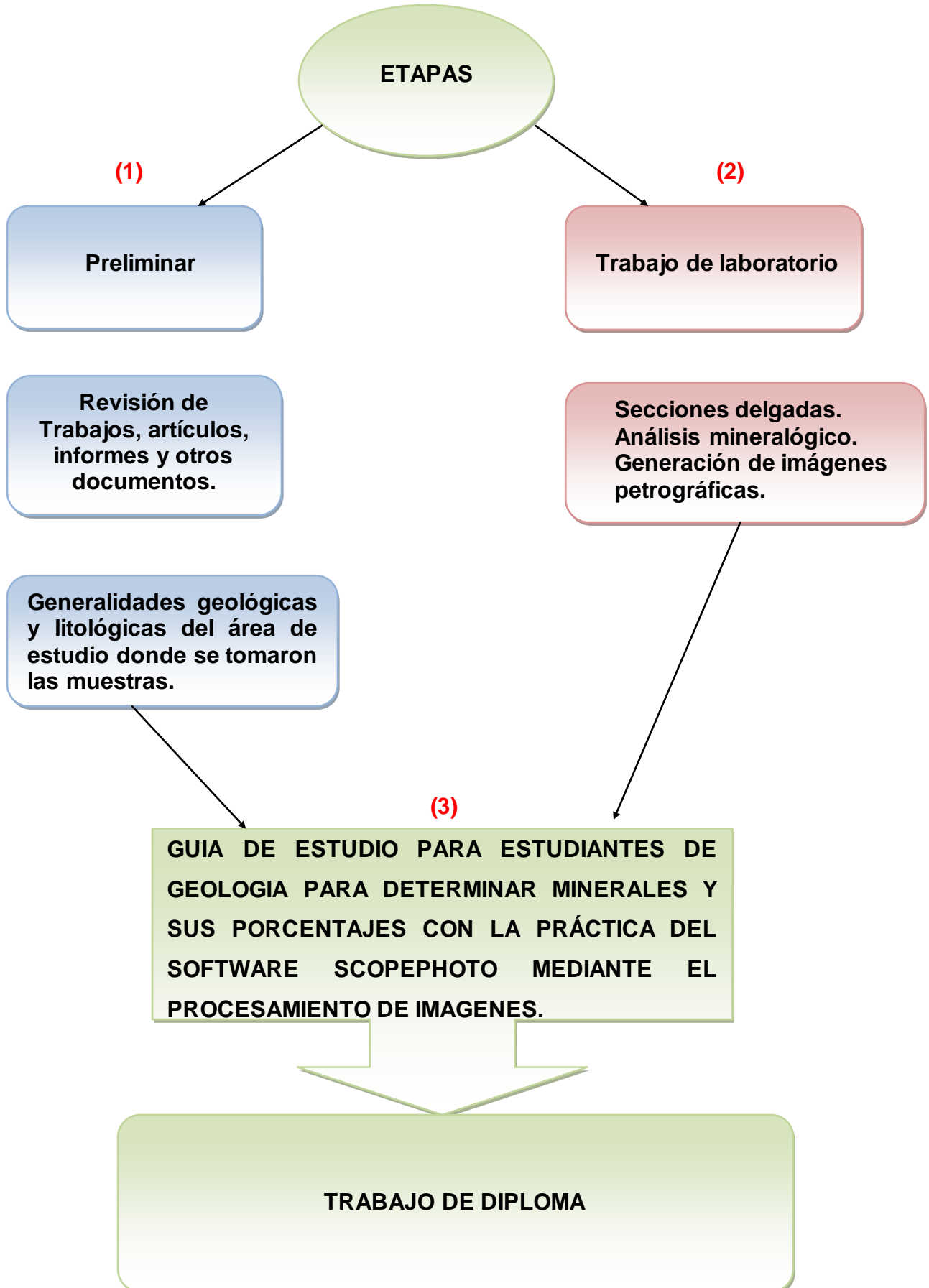
CAPITULO II. Metodología.

2.1. Introducción

En este capítulo se plantea de manera más detallada los aspectos centrales de la investigación. Se desarrolla la metodología más eficiente para resolver los objetivos específicos que se tienen en consideración. También se analiza las muestras en sección delgada para su procesamiento, analizando así: los tipos de instrumentos a utilizar, tamaño de los granos, las áreas correspondientes de los granos minerales en las muestras, las diferentes aplicaciones o las herramientas que brinda el software ScopePhoto, el manejo y la manipulación del microscopio de polarización, la captura y procesamiento de las imágenes tomadas con el empleo de una video cámara acoplada al microscopio de polarización y por último la exportación de los datos que se procesan con la aplicación del software.

2.2. Metodología de la Investigación

La metodología aplicada en el trabajo para la estimación cuantitativa de los granos minerales para diferentes tipos de rocas con el uso del software ScopePhoto para el procesamiento de imágenes es la siguiente:



2.3. Preparación de las muestras

La caracterización petrográfica se realiza sobre secciones o láminas delgadas, cuyo espesor es de 30 μm , se observa una sección bidimensional de los componentes de la roca, para obtener la lámina delgada (**Ver figura 5**) se desarrolla una serie de etapas a seguir las cuales son las siguientes:

Corte

En primer lugar el trozo de roca ha de ser cortado con una sierra de borde de diamante para obtener una superficie plana con el tamaño de la preparación microscópica que se quiera obtener.

Pulido

Una vez obtenida una superficie plana esta se pulimenta para eliminar las huellas del corte y obtener un plano lo más suave posible.

Pegado

La superficie pulida se pega sobre un portaobjetos de vidrio con un agente cementante incoloro e isótropo (Bálsamo de Canadá, Eukit, resinas de poliéster, etc.).

Corte final

Una vez pegado el trozo de roca al portaobjetos se corta para obtener una rodaja lo más fina posible.

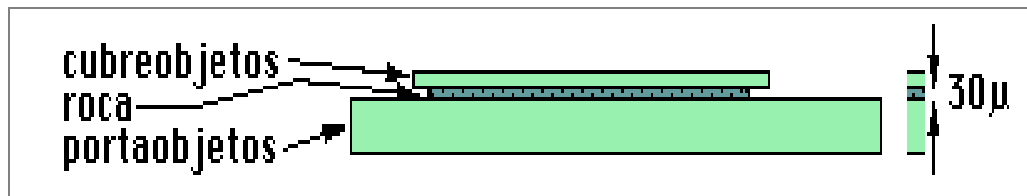
Desgaste

La muestra se desgasta hasta que alcance un espesor de unas 30 micras.

Cubrir

Finalmente la muestra se recubre con un cubreobjetos pegándolo con un cemento similar al usado para pegar la roca al portaobjetos.

Figura5



El estudio mineralógico y composicional de la roca pasa por reconocer los distintos minerales y partículas que forman la roca. Esto se hace teniendo en cuenta las propiedades ópticas de los distintos minerales y las características de los distintos componentes que pueden estar presentes (bioclastos, terrígenos, matriz, cemento, etc.). Las propiedades de mayor utilidad para la identificación de los distintos constituyentes son: color, relieve, exfoliación, birrefringencia, pleocroísmo, presencia de maclas, tipos de extinción, etc.

La textura de la roca define el aspecto físico general de la misma, incluyendo los aspectos geométricos y las relaciones mutuas entre sus componentes. Propiedades texturales son el tamaño de los granos o cristales, su forma, ordenación, el tipo de contacto entre las distintas partículas, etc. La caracterización de la textura de la roca es fundamental en el entendimiento de la durabilidad de la roca porque va a incidir directamente en el tipo de textura, el tamaño, morfología de los granos minerales y su grado de conexión, etc. Y por otro lado, en el grado de cementación de las rocas, que está estrechamente con sus propiedades mecánicas.

2.4. Herramientas de Análisis

2.4.1 Microscopio Óptico de Polarización

El microscopio óptico de polarización, también denominado microscopio petrográfico, permite, a partir de una lámina delgada, obtener información mineralógica, textural y del sistema poroso de la roca de forma sencilla y rápida. (**Ver foto figura 6 y 7**).

Las características más importantes son el poseer lentes denominadas polarizador, entre la fuente luminosa y la sección delgada, que permite realizar observaciones con luz polarizadas, una herramienta fundamental es el polarizador, un polarizador es una placa polarizante o prisma Nicol que trasmite la luz que vibra solo en una dirección. Cuando los dos polares, analizador y polarizador, están en posición se dice que están cruzados, en esta posición si hay cristales isótopos o materiales amorfos no se ve la luz. Está compuesto también por una platina giratoria con limbo graduada que permite girar la preparación y medir los ángulos que ésta va tomando y tener intercalada en el tubo, entre el objetivo y el ocular, otra lente denominada analizador que tiene un plano de polarización perpendicular a la del polarizador, y que puede interponerse o no.

El microscopio utilizado en la presente Tesis es un Novel de fabricación China, donde se utiliza en el laboratorio de Petrología del ISMM. El cual está equipado con una cámara digital que permite obtener imágenes con una resolución máxima de 1280x1024 pixeles.

La función del microscopio petrográfico es suministrar la imagen aumentada por la combinación de dos tipos de lentes: el objetivo y el ocular. El microscopio Novel lleva incorporado 4 objetivos (4x, 10x, 20x, 40x).

La caracterización petrográfica se realiza sobre secciones o láminas delgadas, cuyo espesor es de 30 μm (micrones), se observa una sección bidimensional de los componentes de la roca. A partir de las imágenes obtenidas con el microscopio petrográfico Novel acoplado con la cámara digital, se puede cuantificar y estimar con un software de tratamiento de imágenes **ScopePhoto**, los diferentes minerales que constituyen una roca, así como el tamaño de grano, textura y morfología de la misma.

Las partes componentes del microscopio polarizante son las Siguietes:

- Oculares
- Objetivos
- Analizador
- Polarizador
- Lentes de Bertrand-Amici-
- Condensador
- Diafragma de iris
- Espejos
- Accesorios

2.4.2 Partes del microscopio polarizante. Funciones:**Oculares**

Son un sistema de lentes, acopladas en la parte superior del tubo del microscopio, cuya función es formar una imagen virtual y ampliada de la imagen real creada por el objetivo. El ocular contiene dos hilos reticulares, orientados en las direcciones norte-sur y este-oeste, que coinciden con las direcciones de vibración de la luz en el polarizador y el analizador. La mayoría de los oculares son de x8 y x10 aumentos.

Analizador

Está situado encima de los objetivos y de la ranura para introducir las láminas auxiliares o compensadores. Es una lámina polaroide que produce luz polarizada plana, similar al polarizador pero colocado con su dirección de vibración perpendicular. A diferencia del polarizador, el analizador no está siempre incorporado, pudiéndose poner o quitar de la marcha de los rayos (unas propiedades lo necesitan mientras que otras no). Cuando está

incorporado produce en los minerales unos colores anormales (3) producidos por una interferencia de las ondas polarizadas a la salida de los cristales anisótrpos, que no guardan relación con los colores que aparecen al trabajar sólo con el polarizador (en este caso el color se debe a una absorción selectiva de las ondas) (1). Si en el campo microscópico no existe ningún mineral que descomponga la luz esta no puede pasar a través del analizador (viene del polarizador vibrando en dirección perpendicular a la permitida en el analizador) y se ve oscuridad (2), se dice que hay extinción.

Objetivos

Son unas lentes diseñadas para ampliar la imagen de los objetos situados en la platina del microscopio. La imagen real (e invertida) que forman se amplía con el sistema óptico del ocular. Normalmente se usa una combinación de cuatro objetivos (4x, 10x, 20x, 40x). Para un fácil intercambio de aumento los objetivos se montan muy frecuentemente en un tambor (1). Para que no se produzca el desplazamiento de los objetos fuera del campo de observación al girar la platina del microscopio, es necesario que el eje de giro coincida con el eje óptico del objetivo. Para conseguirlo cada objetivo está montado sobre unas piezas excéntricas de manera que estos pueden ser desplazados al girar unos anillos o unos tornillos de centrado situado en sus monturas externas (2). La luz polarizada los atraviesa sin sufrir ninguna deformación.

Platina

Sirve como soporte para las preparaciones microscópicas, o láminas delgadas, (1) que van a ser estudiadas. Está dotada de un carro para sujetar las láminas y frecuentemente dispone de unos tornillos (T) para desplazarlas gradualmente. Mediante unos anillos (2) se puede subir y bajar para buscar el foco (en los microscopios antiguos la platina permanece fija, siendo los objetivos los que se desplazan). En el microscopio petrográfico es siempre de forma circular y puede rotar sobre su punto central. Su borde está graduado con una escala y dispone de un nonius fijo (3) para medir ángulos con precisión.

Condensador

Se encuentra situado entre el polarizador y la platina. En su parte superior tiene una lente removible (1) que puede ser intercalada o no en el camino de los rayos luminosos. Cuando la lente frontal se encuentra retirada (2) de la marcha de los rayos luminosos, estos salen recorriendo caminos paralelos y se habla de iluminación ortoscópica. Cuando la lente se encuentra incorporada (3) los rayos convergen en el plano de la preparación microscópica y a esta iluminación se le denomina conoscópica. Un diafragma iris, conocido como diafragma de apertura, permite regular la intensidad del haz luminoso

Polarizador

Se encuentra situado inmediatamente encima del sistema de iluminación y por debajo del condensador. Está rígidamente unido al condensador y a la platina del microscopio. Su función es convertir la luz que sale del sistema de iluminación en luz polarizada plana. El plano de vibración de la luz dentro del polarizador puede ser girado en algunos microscopios, pero su posición de trabajo está fijada a 0 grados, casi siempre coincidiendo con la dirección este-oeste (en los modelos más antiguos era norte-sur). Es importante recordar que en el microscopio petrográfico el polarizador está siempre incorporado en el camino de los rayos luminosos. En los actuales microscopios el polarizador está constituido por una simple lámina polaroide, pero en los primitivos equipos la polarización se conseguía por un ingenioso sistema de prismas de calcita descrito por W. Nicol y conocido como nicoles.

Lente de Bertrand Amici

Se encuentra situada inmediatamente debajo del ocular. Puede estar incorporada o removida. Se utiliza sólo para ver la propiedad llamada Figura de Interferencia. La lente de Bertrand-Amici no produce la figura de interferencia, sólo mejora su visión. Con el ocular forma un sistema óptico que enfoca la imagen producida por el objetivo y la amplía. La figura de interferencia también puede observarse sin la lente de Bertrand, quitando el ocular del microscopio.

(Se llama así pues fue utilizada primero por Amici en 1844 y luego por Bertrand en 1878).

Sistema de iluminación

El sistema de iluminación está en la base de los microscopios. En los equipos más modestos se trata simplemente de una bombilla, mientras que en los microscopios de investigación la fuente de iluminación conlleva un complejo sistema de filtros y lentes. Un sistema de este tipo se reproduce en la siguiente figura. La luz procedente de una bombilla (1) pasa a través de un sistema de filtros (2) que concentran la luz en un haz de rayos paralelos. Un filtro anticalorífico (3) evita que el calor se propague a través del microscopio. La correcta coloración se consigue por unos filtros cromáticos (4). Finalmente mediante un espejo (5) se conduce a los rayos en la dirección correcta. La intensidad del haz luminoso se regula mediante un diafragma de tipo iris (6), llamada diafragma de campo luminoso.

Enfoque

El enfoque de la imagen en el microscopio se realiza separando el objeto a estudiar de los objetivos. Mediante unos anillos (1 y 2) se puede subir y bajar la platina para buscar el foco (en los microscopios antiguos la platina permanece fija, siendo los objetivos los que se desplazan). En este microscopio existe un amilla "macro" de desplazamiento brusco (1), para aproximar el enfoque, y uno, llamado "micro" (2), para ajustarlo. La operación de enfoque requiere seguir unos determinados pasos para realizarla con seguridad. El procedimiento correcto es el siguiente. Mirando por fuera del microscopio se lleva el objetivo junto a la preparación y mirando luego por el ocular se va separando lentamente hasta obtener la imagen. Si se busca el enfoque acercando el objetivo a la preparación se corre el riesgo de producir fracturas (en la preparación o, en lo que es mucho peor, en la lente frontal del objetivo) si nos pasamos del plano de foco.

Ranura

Está situada inmediatamente encima del objetivo y por debajo del analizador. Forma un ángulo de 45 grados con las direcciones de vibración del polarizador y del analizador. Sirve para introducir las láminas auxiliares y los compensadores.

Láminas auxiliares y compensadoras

Las láminas auxiliares y compensadores están construidas de sustancias transparentes, incoloras y anisótropas (generalmente se trata de tallas de minerales) incluidas en un marco metálico. Están montadas de tal manera que sus dos direcciones de vibración son paralelas a los dos lados de la lámina. El componente rápido coincide con la dirección más larga y el lento con la corta. Su espesor está calculado para que al introducirlo en el microscopio bajo iluminación XPL (nicoses cruzados, es decir con el analizador incorporado) produzcan un determinado retardo entre sus ondas (lo que se traducirá en un determinado color de interferencia). Unas láminas presentan espesor constante (igual retardo en todo el campo) mientras que otras están talladas en forma de cuña (al ir introduciendo se va metiendo cada vez más retardo; el color irá variando). Los efectos que estos compensadores introducen se superponen a los debidos al mineral que se está estudiando. Se usan para analizar el color de interferencia y la figura de interferencia.

Diafragma de Iris:

Situado en la parte de abajo del tubo que contiene el polarizador. Sirve para reducir el cono de luz, disminuyendo la luz del campo visual y aumenta el relieve de los objetos.

Precauciones para la observación:

Para una mejor observación debemos emplear algunas condiciones, pues se esfuerza mucho la vista, y para que no nos afecte tanto debemos adaptar una posición erecta, el tubo del microscopio inclinado. Al mirar por el instrumento se debe hacer con los 2 ojos abiertos.

Cuidado del instrumento:

Correctamente nos puede durar muchos años. En el caso de la limpieza es solo para que lo conozcan pues de esto se encargan los especialistas, aunque en nuestro caso lo podemos realizar nosotros mismos, aquí lo hacemos con un algodoncito y alcohol de 90 o con un cepillo se le pasa a los oculares, objetivos, sistemas de subplatinas. Los objetivos deben de saber que un microscopio polarizante es caro, pero si lo usamos cambiarse por el revólver, no dejar los microscopios encendidos sino se están utilizando, protegerlos del polvo.

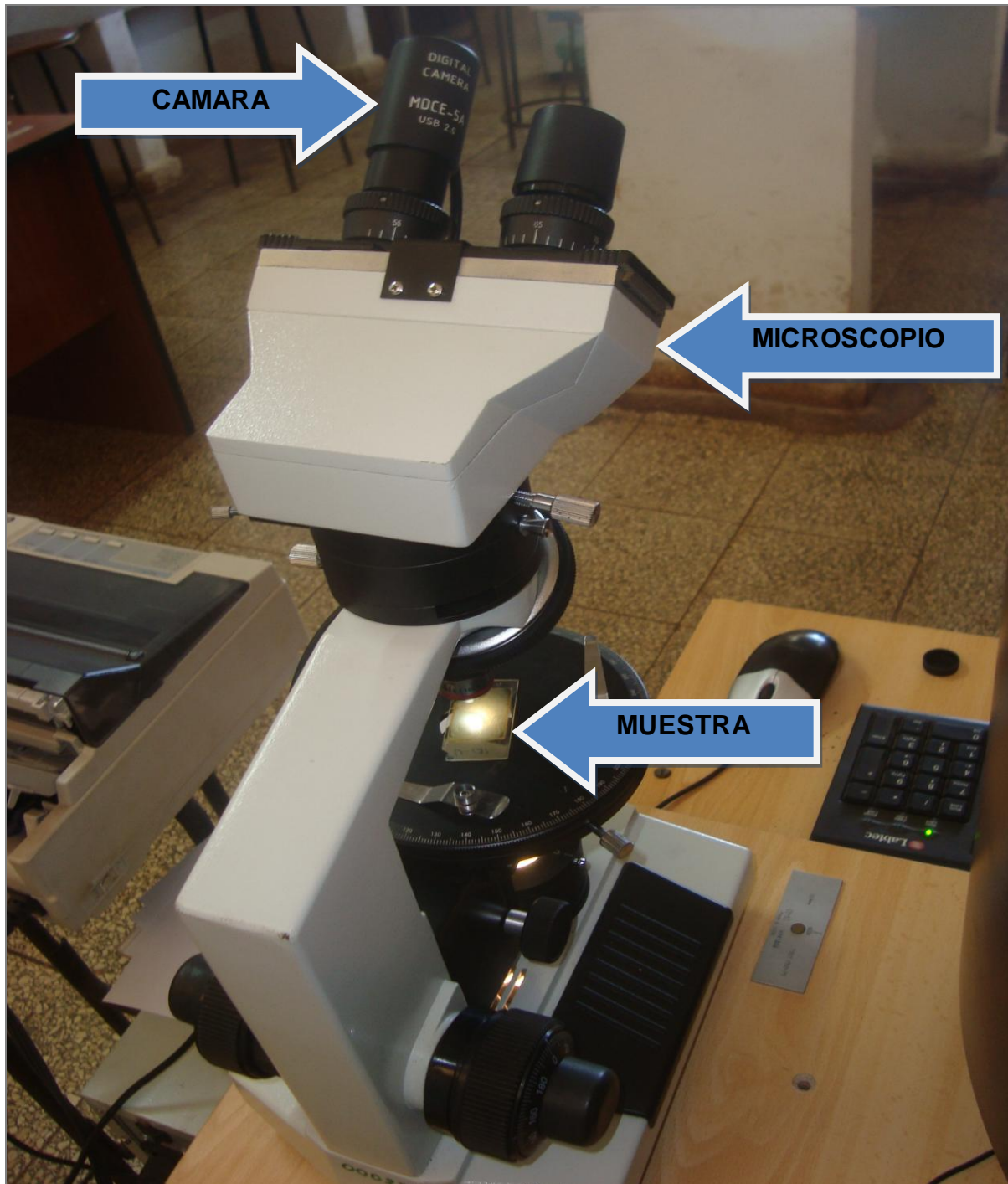


Figura6. Cámara Digital acoplado al Microscopio Novel.



Figura7. Cámara Digital acoplado al Microscopio Novel.

2.4.3 Video Cámara Digital

Las video cámaras oculares le permitirán convertir su microscopio tradicional en un sistema digital de imagen, resultando ideales para cualquier aplicación microscópica que requiera imágenes de calidad en el campo de la medicina, biología, geología, investigación o enseñanza (**Ver foto figura 8**). Las videocámaras pueden ser utilizadas con todo tipo de microscopios o estereomicroscopios que utilicen oculares estándar (de 23 y 30 mm respectivamente) para obtener imágenes y videos de cualquier tipo de muestras. Su manejo es muy cómodo dado que presenta un único cable para alimentación, transferencia de datos y control de la cámara. Las videocámaras modelo USB incluyen un completo software de captura, manipulación y análisis de imagen con el que podrá realizar multitud de operaciones de manera sencilla.

Entre algunas de las prestaciones del software **ScopePhoto** se encuentran:

OPERACIONES:

- ✓ Vídeo en tiempo real y almacenamiento de fotogramas.
- ✓ Grabación de videos en formato AVI.
- ✓ Ajuste de la secuencia de imágenes y de la duración de la grabación.
- ✓ Almacenamiento de imágenes en diversos formatos (jpg, tiff, bmp, gif, psd, etc.).
- ✓ Optimización de parámetros de color, brillo o contraste.
- ✓ Función de zoom.
- ✓ Cálculo de longitud, perímetro, radio y área de diversas formas geométricas (círculo, elipse, polígonos y formas irregulares) y cálculo de ángulos.



Figura8. Video Cámara Digital.

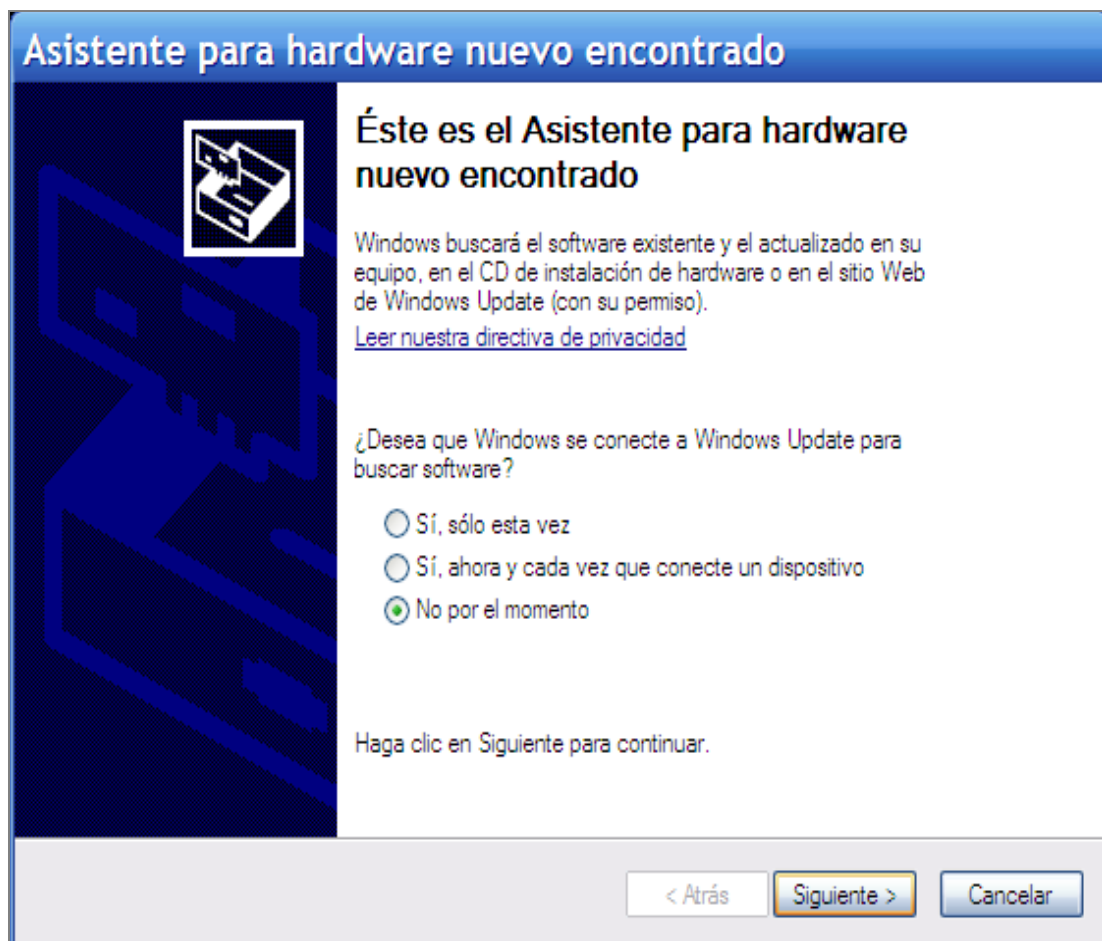
PROPIEDADES DE LA CAMARA

Image Sensor	1/2"CMOS
Digital Output	24-bit (color)
Valid Pixel (YUY2)	1280×1024(1.3M Pixel)
Image Format (YUY2)	1280×1024
	1280×960
	640×480
	352×288
	320×240
	176×144
	160×120
Data Format	YUY2,I420
Image Output	USB2.0 Plug and Unplug Freely.
Connecting Mode	Insert it into Eyepiece Tube of Microscope Directly(23.2mmor30mm)
Image Velocity	30PFS@VGA(I420) 15PFS@VGA(YUY2)
Lowest Illumination	2.5lux
SNR	>48dB
Camera Image Control	Saturation、 Contrast、 Sharpness and so on
White Balance	Auto、 Manual
Exposure	Auto、 Manual
Working Current	<200mA
Dormant Current	<1mA
Storage Temperature	-20°C~+60°C
Working Temperature	0°C~+40°C

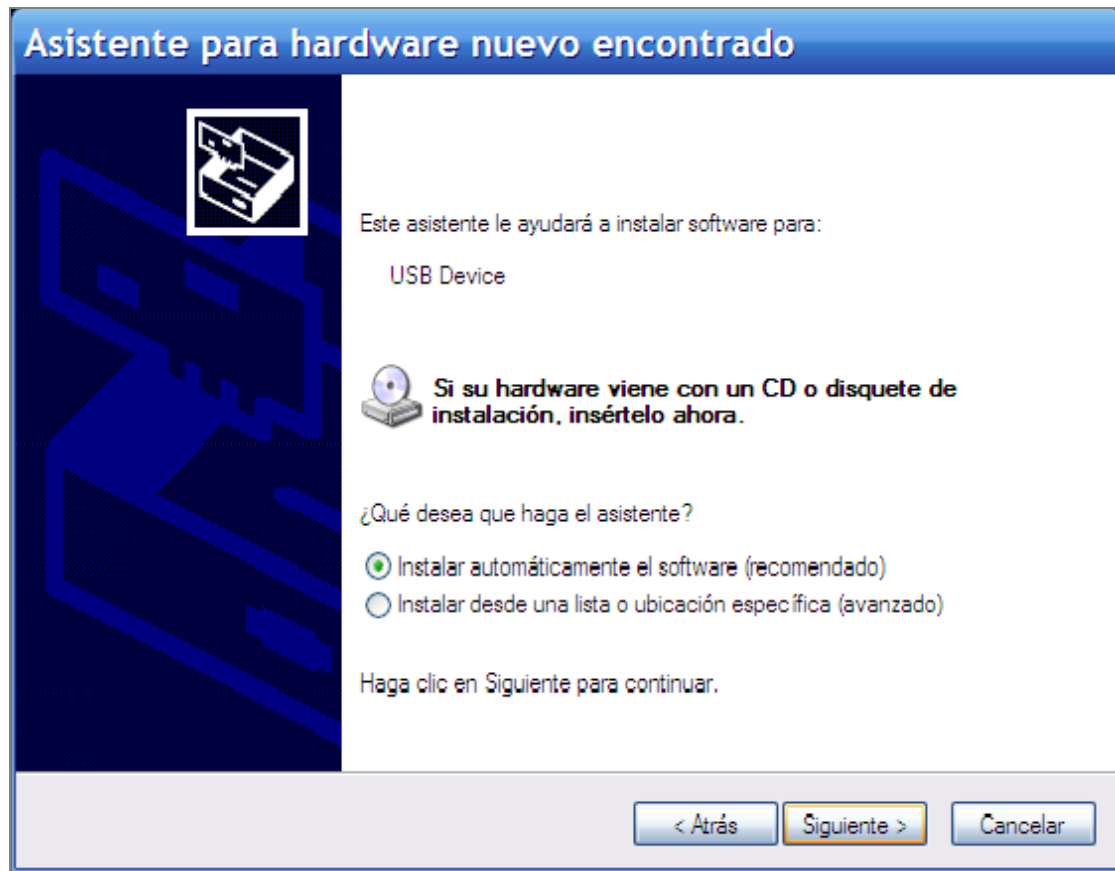
2.5. Manejo de la Cámara y el Software.

2.5.1 Instalación de la Cámara:

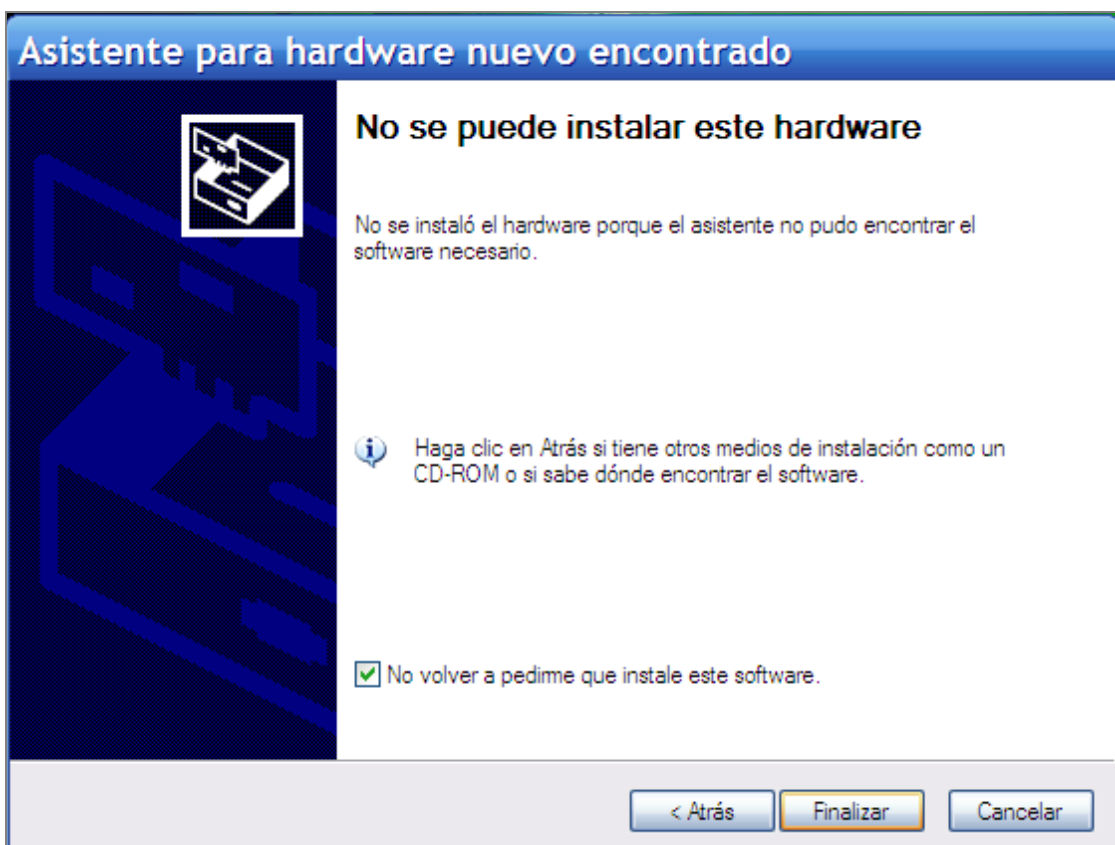
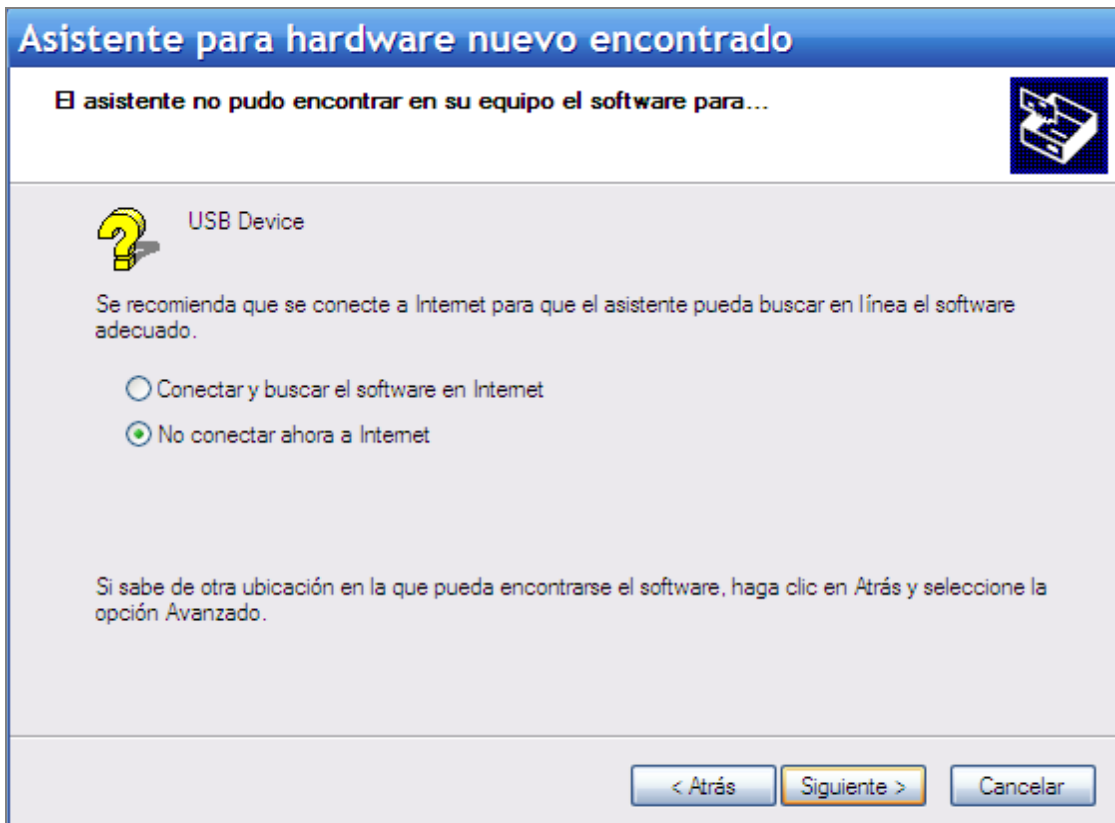
(1)- Conecte el cable USB (cámara) a la PC, ponga el CD en la computadora "encuentre el nuevo hardware" al mismo tiempo, y habrá una guía de instalación de paseo en el escritorio. Escoja la última opción "No, por el momento", entonces haga clic "siguiente".



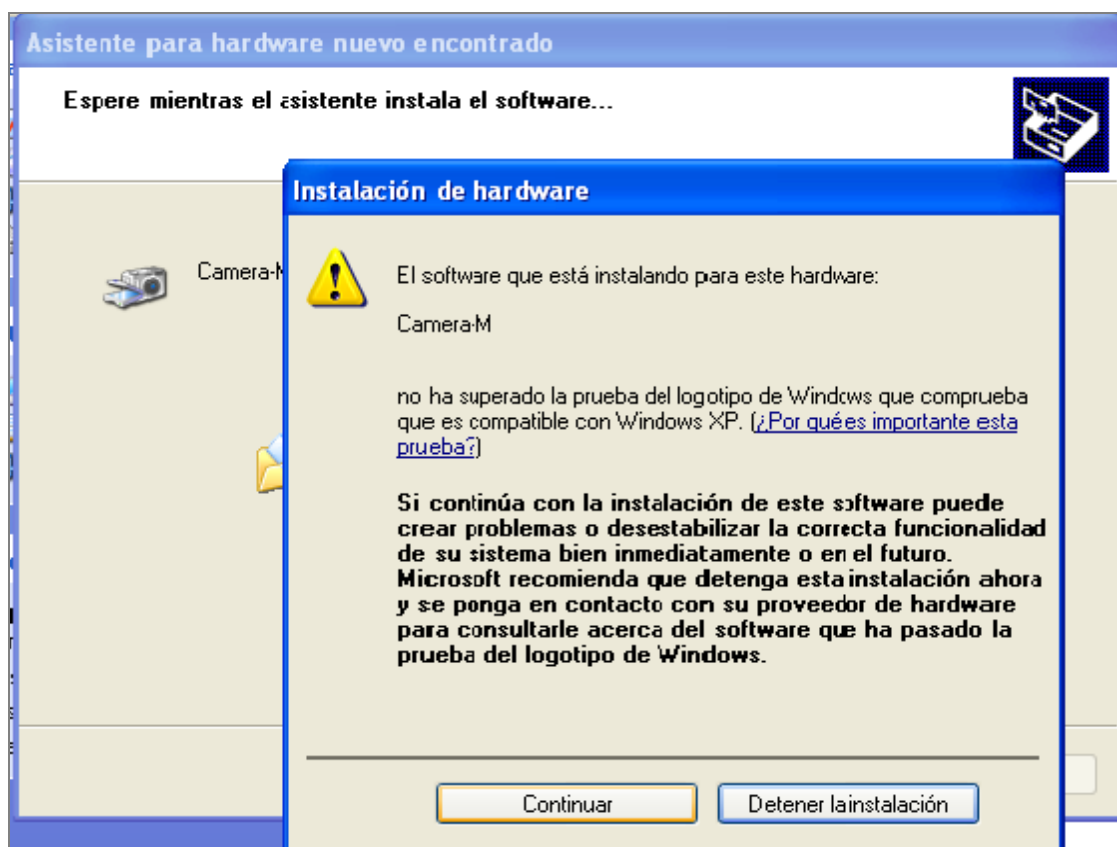
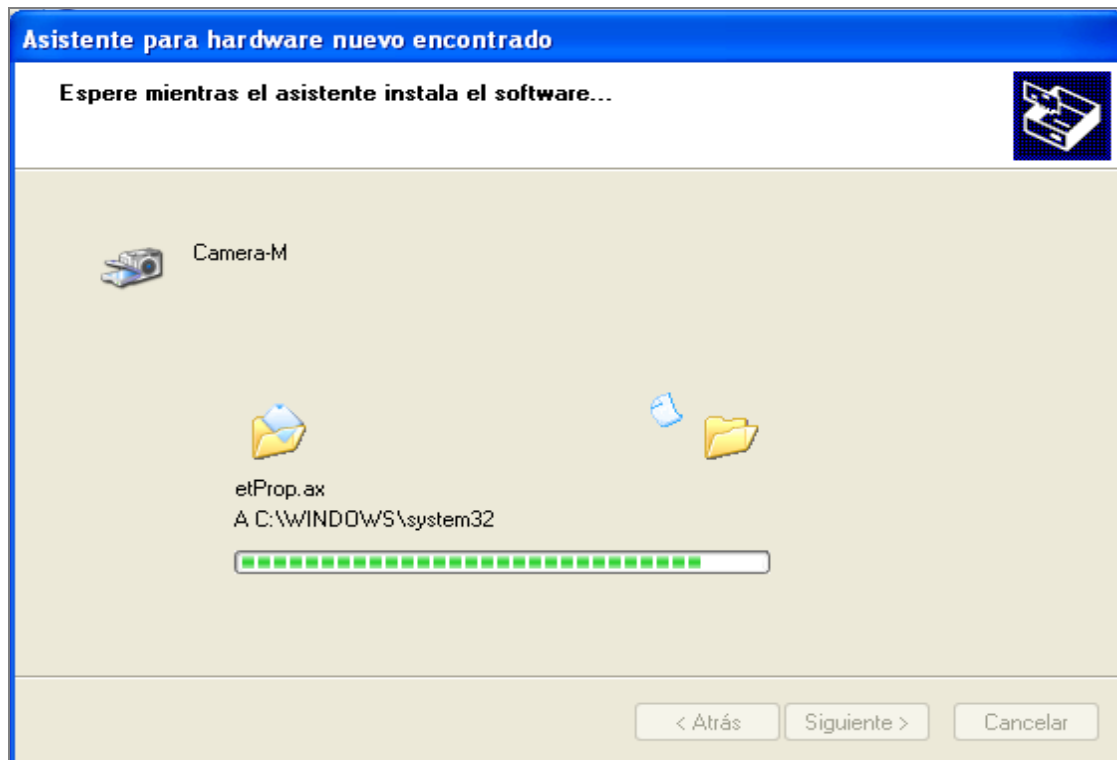
(2)- Escoja "Instalar automáticamente el software (Recomendado) ", entonces haga clic "siguiente"



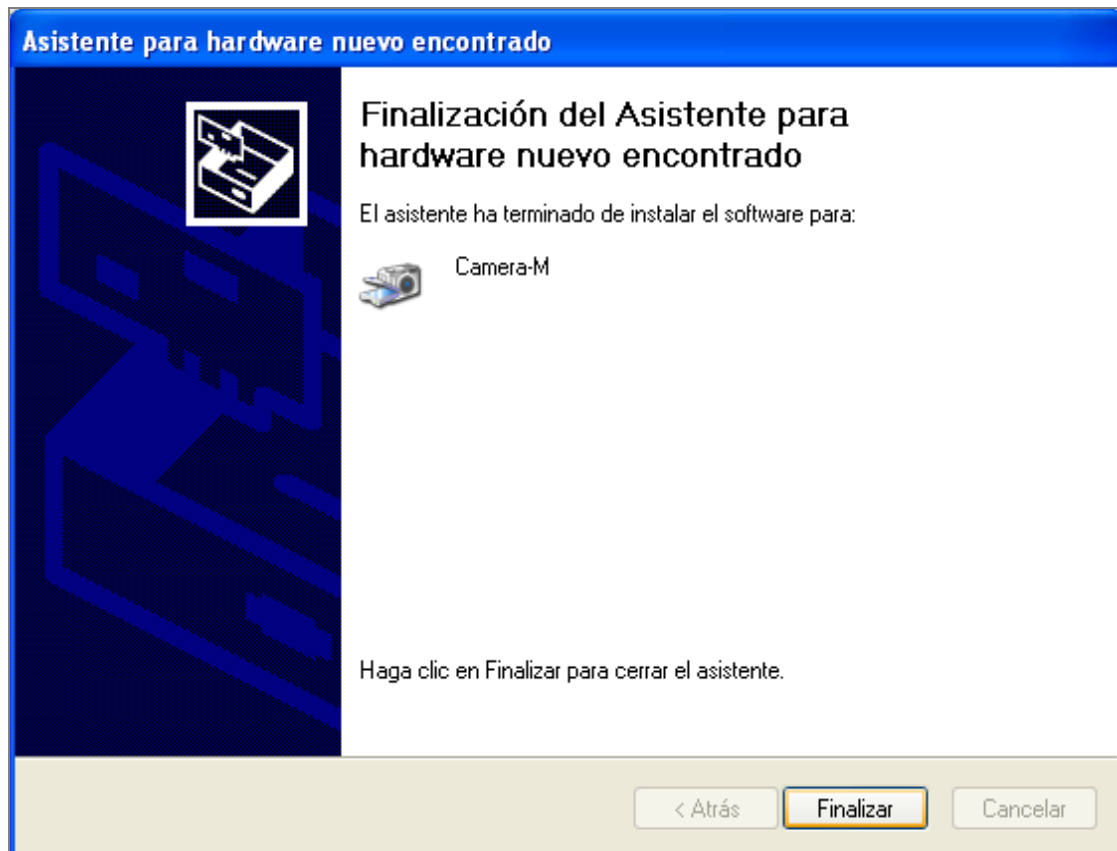
Seguidamente aparece otro cuadro de instrucciones y se selecciona la opción "No conectar ahora a Internet", haga clic en "siguiente" y para terminar con esta opción se elige "finalizar".



(3)- Haga clic "Continuar".



(4)- El paseo de la instalación ha terminado, haga clic en finalizar, la cámara esta lista para usarse.

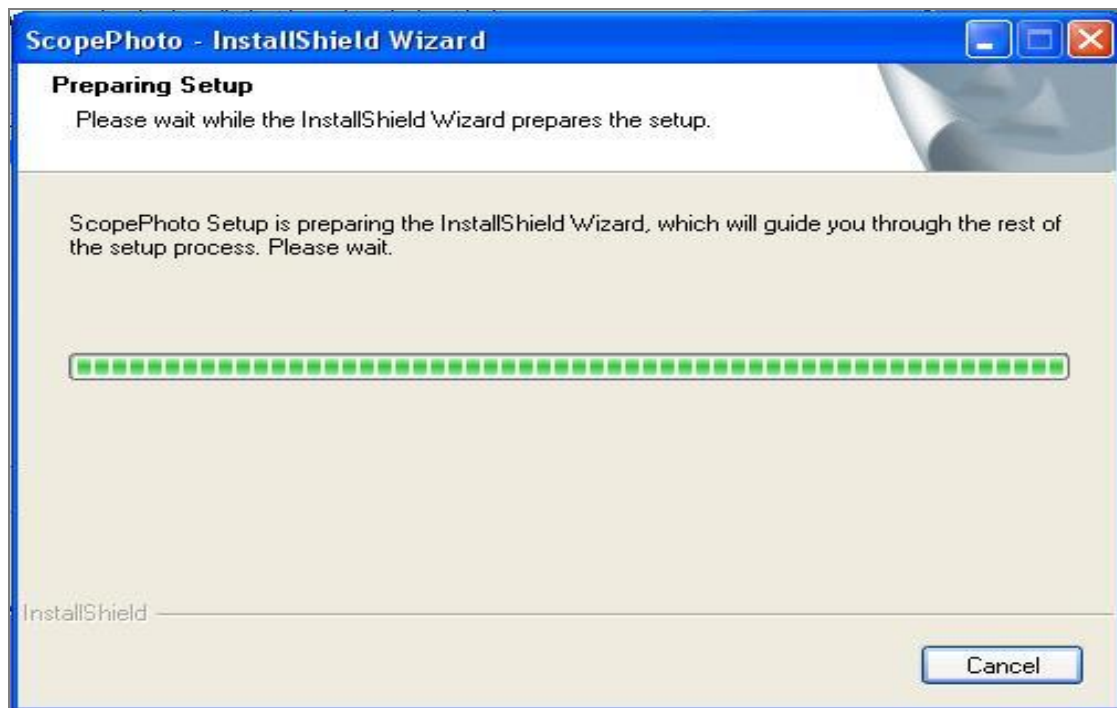
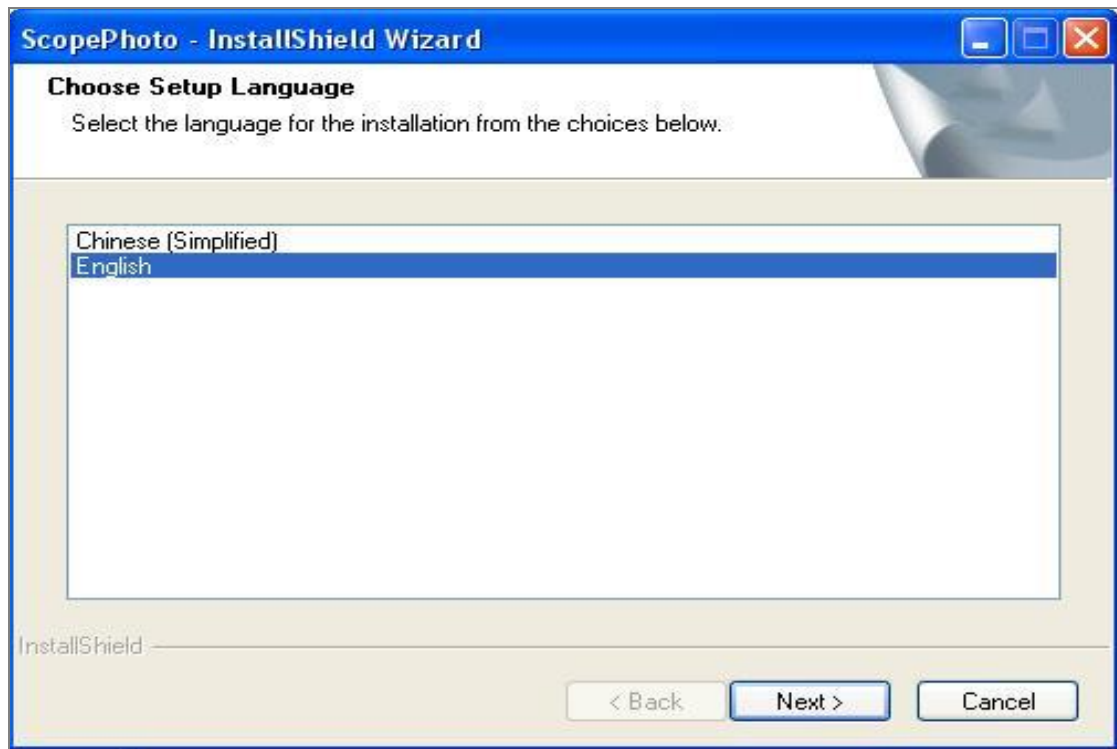


Limpieza de la cámara digital.

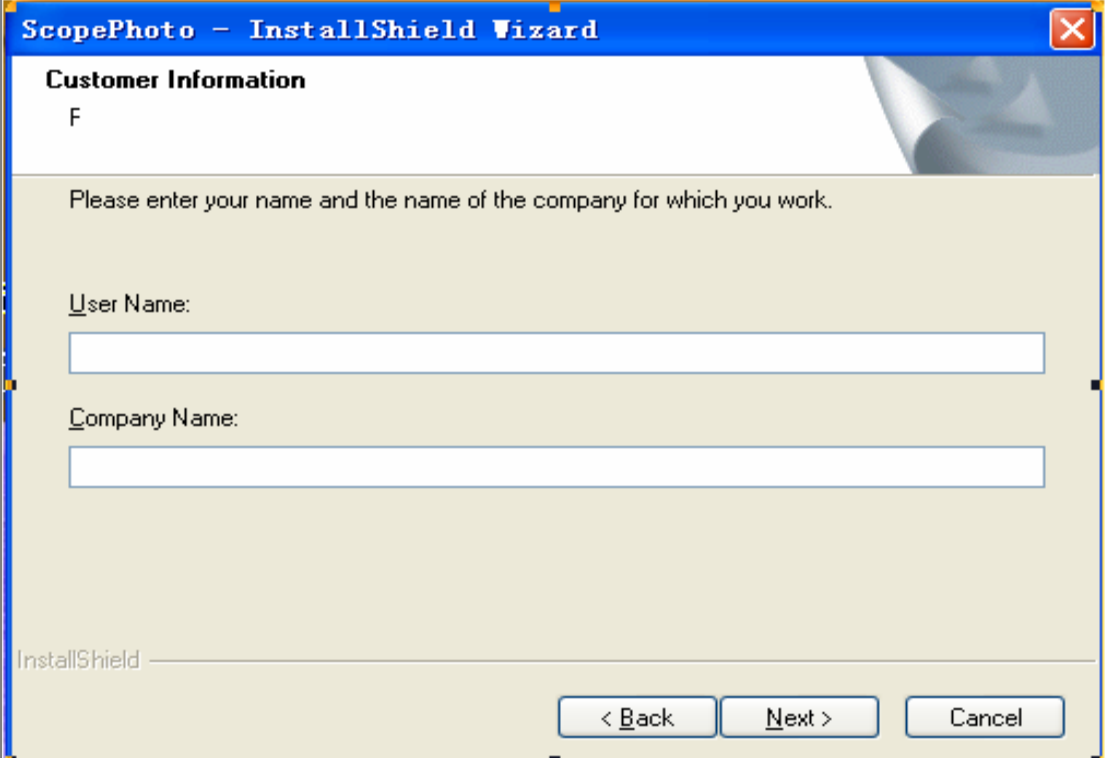
- Para la limpieza de las partes metálicas, acero inoxidable, aluminio, pinturas, etc.
- Nunca utilice estropajos o productos que puedan rayar, ya que deterioran la videocámara, limitando la vida útil del equipo.
- Para quitar el polvo que se haya posado sobre la lente utilice una pera o un cepillo suave o límpielo con una gasa especial para lentes humedecida.
- Bajo ningún concepto desmonte la parte óptica para su limpieza; ante cualquier problema póngase en contacto con el Servicio Técnico de fabricación.

2.5.2 Instalación del software ScopePhoto 2.0.

(1)- Clic doble el "Setup.exe". Para instalar el software, escoja inglés, entonces haga clic en "siguiente".



(2)- Escribe el nombre del usuario y de la compañía, se hace clic "siguiente".



The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "ScopePhoto - InstallShield Wizard". The window has a blue title bar with a close button (X) in the top right corner. The main content area is titled "Customer Information" and contains the following elements:

- A small letter "F" in the top left corner.
- A prompt: "Please enter your name and the name of the company for which you work."
- A label "User Name:" followed by a text input field.
- A label "Company Name:" followed by a text input field.
- A status bar at the bottom left with the text "InstallShield".
- Three buttons at the bottom right: "< Back", "Next >", and "Cancel".

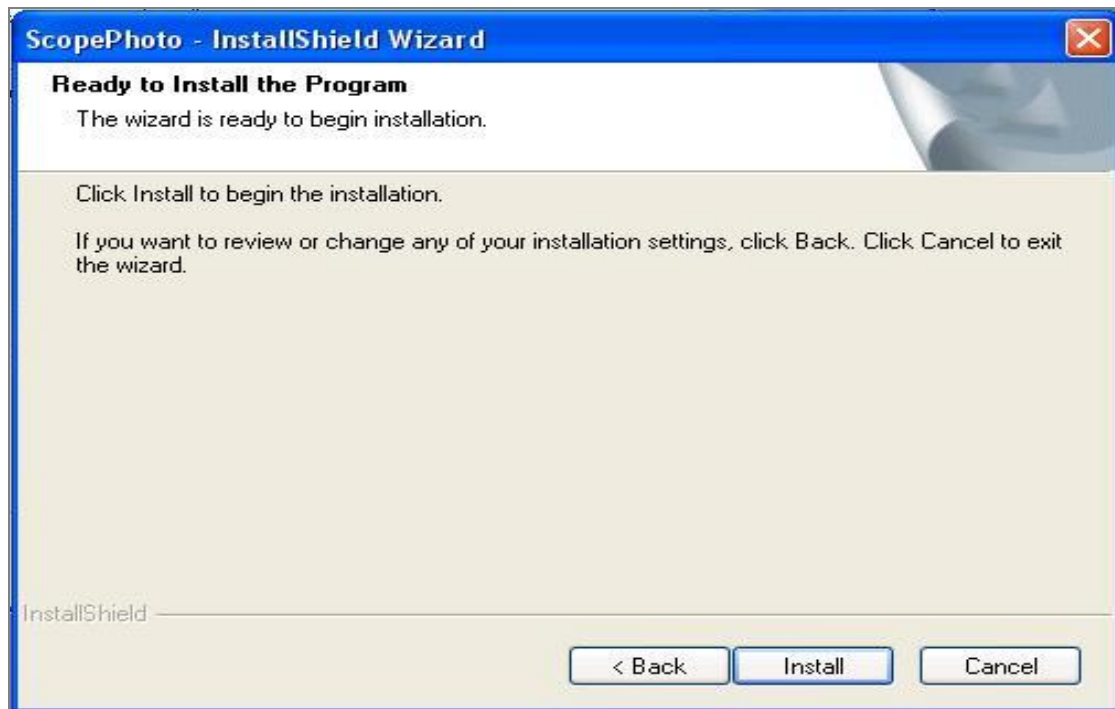
(3)- Seleccionar Completo "siguiente".



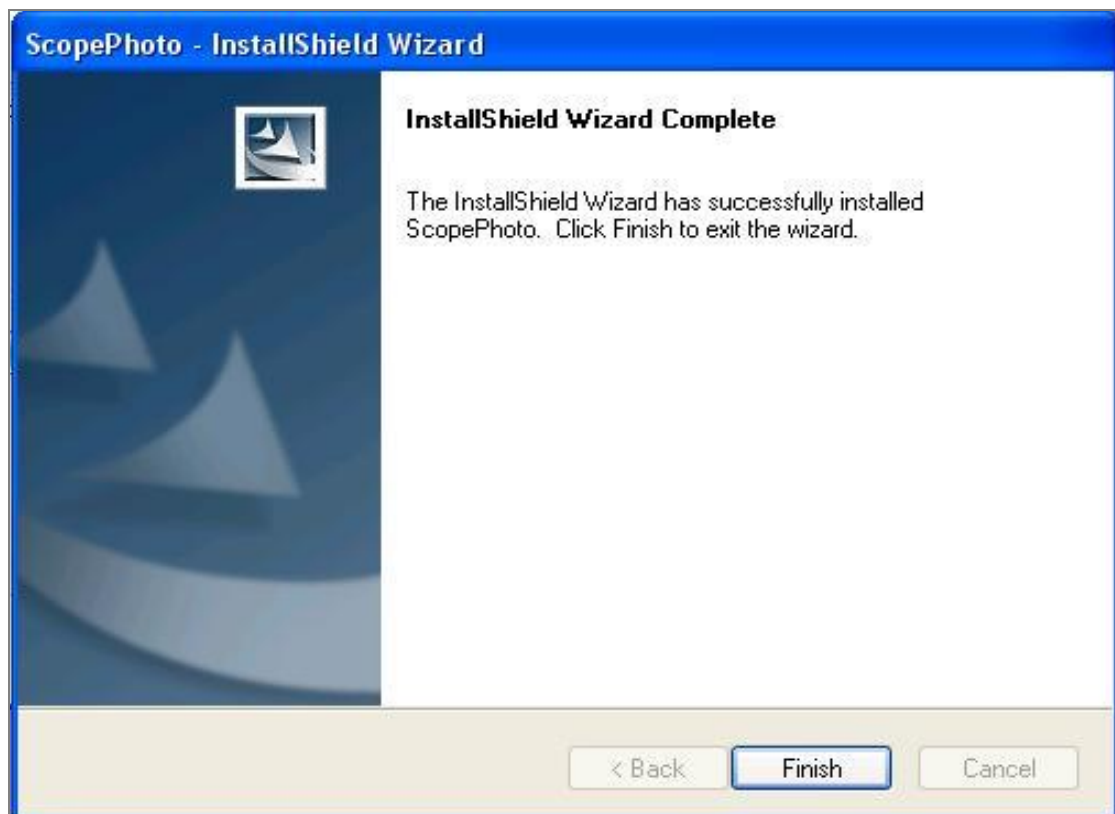
The screenshot shows the same "ScopePhoto - InstallShield Wizard" dialog box, now at the "Setup Type" step. The window title and close button remain the same. The main content area is titled "Setup Type" and contains the following elements:

- A prompt: "Select the setup type to install."
- A sub-prompt: "Please select a setup type."
- Two radio button options, each with a small icon of a computer tower and monitor:
 - The "Complete" option is selected (radio button is filled). Its description is: "All program features will be installed. (Requires the most disk space.)"
 - The "Custom" option is unselected (radio button is empty). Its description is: "Select which program features you want installed. Recommended for advanced users."
- A status bar at the bottom left with the text "InstallShield".
- Three buttons at the bottom right: "< Back", "Next >", and "Cancel".

(4)- Clic “Instalar”.



(5)- La instalación está acabada, y usted puede usar el software. Clic en “finalizar”.



2.6. Captura de la Imagen.

Para la captura de las imágenes para su proceso y cumplir las tareas recomendadas en este trabajo de tesis se tomaron una determinada cantidad de fotografías en forma de líneas para abarcar un área determinada de la sección que sea representativa de la muestra, se plantea como se puede capturar las imágenes y trabajarlas a una escala determinada (micrométrica). Para esto se realizó los siguientes pasos:

- ❖ Como paso inicial se debe tener preparado el microscopio acoplado a la cámara y a la computadora con la muestra ya a procesar.
- ❖ Se abre el programa ScopePhoto y seguidamente en la barra de tareas del mismo se marca con el puntero en la barra del menú **File-Import Image-DirectShow Capture-Devices (Cámara M)** y se verá en pantalla la muestra en análisis. (**Sección delgada**).
- ❖ Una vez que en la pantalla aparece la foto con la escala micrométrica se toca la tecla (**Print Screen SysRq**).
- ❖ Se desplaza hacia el programa **Paint** y se pega.
- ❖ Se recorta la foto por todos los extremos de la misma desde la escala micrométrica.
- ❖ Luego se va a la barra de tareas y se selecciona **Archivo-Nuevo**.
- ❖ Se selecciona Edición y se pega la foto.
- ❖ Nuevamente en la barra de tarea se elige **Archivo-Guardar como** y se guarda con la extensión (*.bmp, *.dit...etc.).

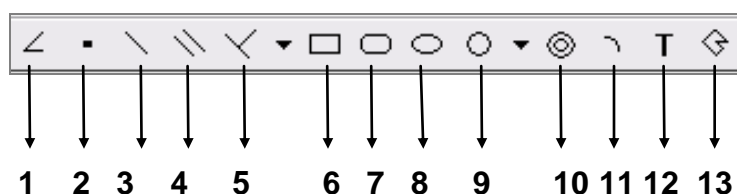
Nota: También existen otras opciones en las herramientas del software ScopePhoto que permite la captura de determinada imagen, lo que no me permite tener la muestra en análisis en una escala real o significativa. Esto se determina una vez que ya se tiene la muestra en pantalla, en la barra de tareas

en la opción **Capture** haga clic y seleccione **Capture a Frame** y automáticamente aparece la imagen capturada pero en escala de pixel.

2.7. Mediciones de las imágenes

Las mediciones de las imágenes a procesar durante estos análisis bajo la aplicación del software ScopePhoto y la ayuda del microscopio de polarización marca Novel podemos establecer las medidas exactas de los granos minerales en secciones delgadas, se establecen comparaciones en dependencia del tamaño del grano mineral. Se establece también con la ayuda de las herramientas que brinda el software diferentes áreas con sus respectivos valores o cálculos que representan en la muestra. Se delimitan bien los espacios o distancias entre cada tipo de grano que en este caso durante el análisis representa una determinada área en la muestra. Es importante conocer o saber que representa las simbologías de cada herramienta de este software para el manejo de las mismas a la hora de analizar una determinada muestra, en este caso lo que se plantea es como se realiza las medidas de las imágenes a procesar. Independientemente, con estas herramientas le daremos las formas que poseen los granos minerales en las muestras, los cuales representan una determinada área, quedando así los granos minerales en sectores en dependencia de su forma y tamaño. A continuación se plantea diferentes herramientas que nos ofrece este software para el manejo, aplicación y conocimiento para llevar a cabo las mediciones de las imágenes en secciones delgadas o pulidas.

Barra de Herramientas:



Simbología:

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1- Angulo. | 8- Elipse. |
| 2- Punto. | 9- Círculo. |
| 3- Línea. | 10- Círculo Doble. |
| 4- Dos líneas paralelas. | 11- Arco. |
| 5- Perpendicularidad. | 12- Texto. |
| 6- Rectángulo. | 13- Polígono. |
| 7- Rectángulo Redondeado. | |

2.7.1 Metodología para las mediciones de las imágenes:

A continuación se presenta una serie de pasos a seguir para el manejo de las imágenes y sus mediciones, los cuales son:

- (1)- Abrir el software ScopePhoto.
- (2)- Importar la imagen a procesar.
- (3)- Seleccionar en la barra de estado **view** seguidamente seleccionar **tool box**.
- (4)- Aparecerá un cuadro de 3 fichas, **Operations**, **Layer manager** y **Property**, seleccionar **Layer manager**.
- (5)- Hacer clic secundario en el cuadro y clic en **new**.

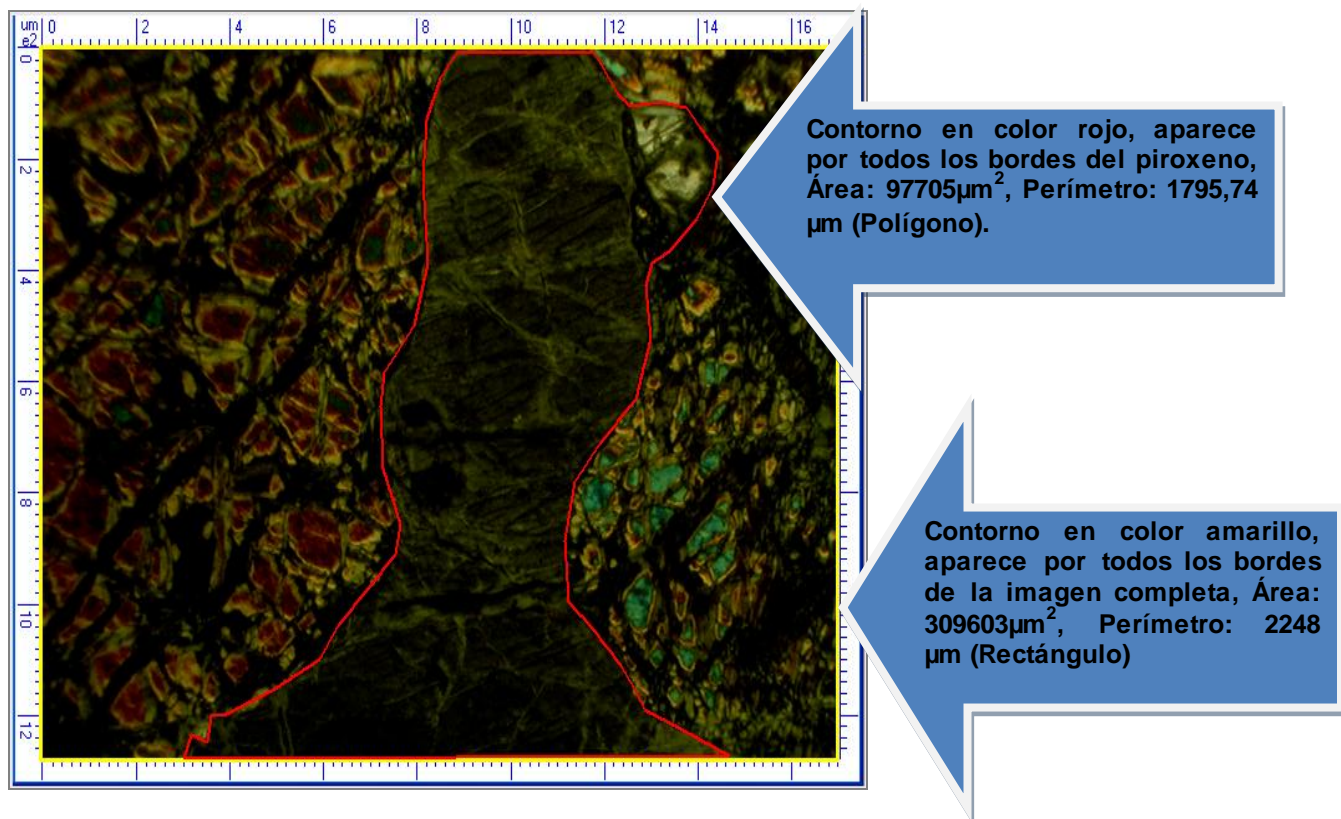
(6)- Aparecerá otro cuadro titulado Layer, con una serie de opciones donde aparecen los tipos de formas en que podemos trabajar las imágenes, los colores que podremos darles a los extremos de estas figuras etc. Le ponemos nombre a la imagen a procesar y automáticamente se activara estas opciones en la barra de herramienta.

(7)- Por último se selecciona cualquiera de estas opciones en dependencia de la complejidad, forma y tamaño que tengas los granos minerales en la imagen en sección delgada. (Ver figura 9 y10).



(Figura 9)

Ejemplo:



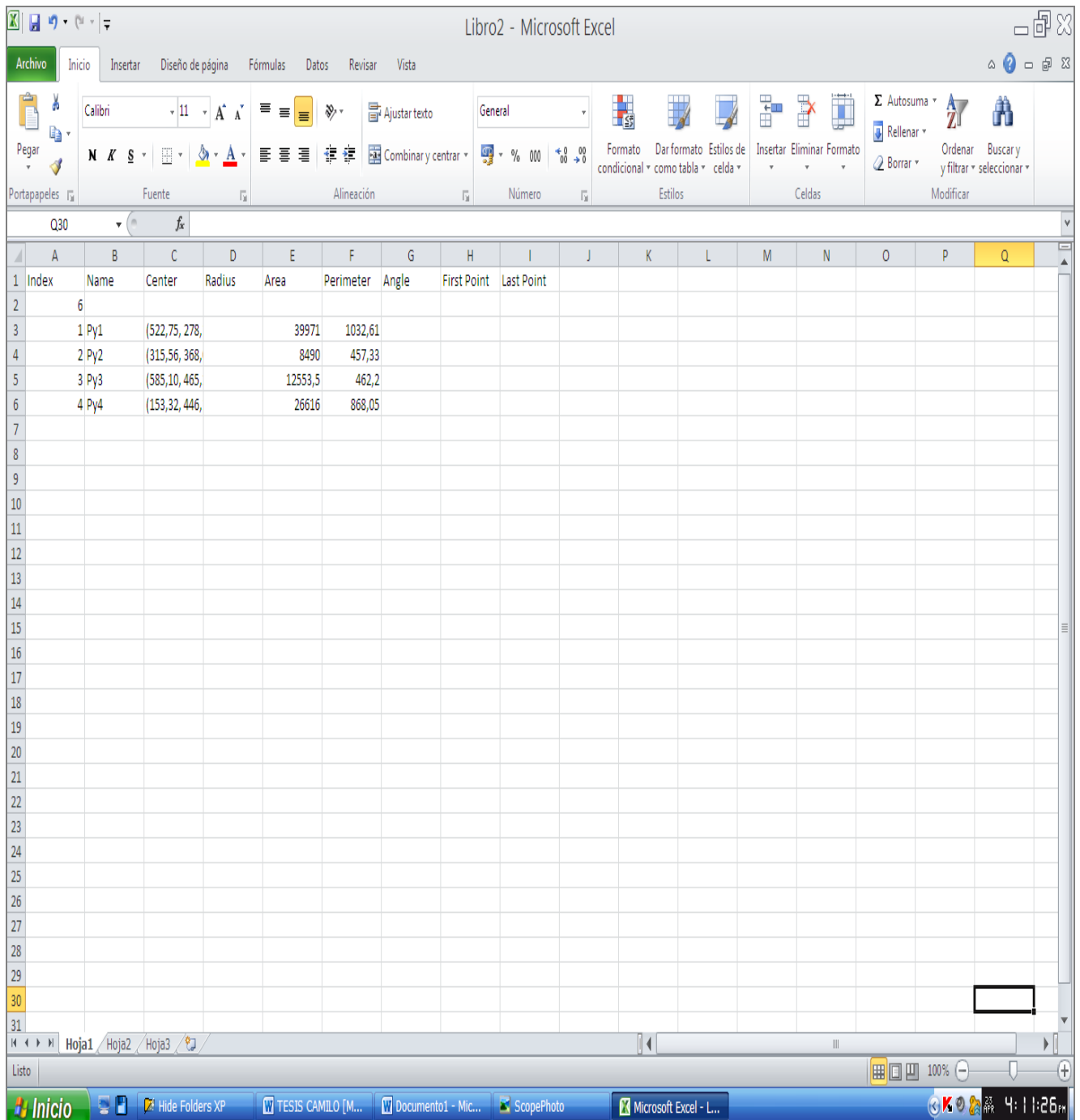
(Figura 10)

2.8. Exportación de los datos.

Para la exportación de los datos obtenidos durante el proceso de análisis de las muestras, es muy importante los mismos porque a través de estos podemos exportarlos en otros programas como el Excel para los cálculos cuantitativos de las áreas minerales respectivos en la muestras, representación de gráficos de áreas para saber qué cantidad de espacio ocupan los granos minerales en la muestras, podremos saber aproximadamente los porcentos que representan los granos minerales en la muestra de análisis, para la identificación del tipo de roca específica en que se está procesando con la ayuda de la aplicación del Diagrama Streckeisen.

Luego de tener la imagen importada en el software ScopePhoto y todas las medidas ya hechas es decir, definir los diferentes minerales que aparezcan en la muestra, nos trasladamos a la barra de estado y seleccionamos **View** seguidamente **Measurement Manager** y se activara en la parte de abajo todas las acciones realizadas durante el proceso de cuantificar los granos minerales. Para exportar estos datos realizados, hacemos clic secundario en cualquiera de los puntos que aparecen y seleccionamos **Export** seguidamente clic en **To Clipboard** se elige **All Layer** (s) que significa todas las capas o puntos u o **Current Layer** que significa la capa actual o punto actual, abrimos el programa Microsoft Excel y pegamos los datos seleccionados, obteniendo una tabla de datos, suministrando información de las áreas obtenidas, los perímetros, ángulos, centros entre otras información en dependencia del interés y objetivo propio. (Ver Ejemplo Figura 11).

Ejemplo:



(Figura 11)

CAPITULO III. Análisis de los resultados obtenidos para los diferentes tipos de rocas estudiadas.

3.1. INTRODUCCION

En el siguiente capítulo se exponen la aplicación de la cuantificación de minerales bajo el microscopio petrográfico, empleando el procesamiento de imágenes y el uso del software ScopePhoto 2.0.

Para ello se describen las características de las muestras que se investigaron. Se establecen los diferentes rasgos litológicos y geológicos más generales del área de estudio donde se tomaron las muestras para su análisis con la ayuda del microscopio de polarización. En esta investigación, el estudio de estos tipos de rocas no solo permitirá analizarlas petrológicamente, sino que brindará un conocimiento relacionado con la informática, que no es más que la aplicación del software ScopePhoto en la geología. Es por ello que surge esta investigación para desarrollar una guía de estudio para estudiantes de geología adecuada, ajustada y precisa para determinación de minerales y sus porcentajes con la aplicación práctica del software ScopePhoto 2.0 para el procesamiento de imágenes en secciones delgadas. Estas muestras fueron tomadas del yacimiento Camarioca Sur y fueron procesadas en el laboratorio petrográfico del departamento de Geología del ISMM.

3.2. Características geológicas más generales.

Las características geológicas del área de estudio son complejas, ya que existe una distribución heterogénea de los diferentes tipos de litologías y las mismas presentan génesis diferentes. Las litologías predominantes en la zona son rocas ultramáficas del complejo inferior de la asociación ofiolítica que están metamorfizadas, tales como harzburgitas y dunitas todas ellas afectadas en mayor o menor grado por procesos metamórficos tales como serpentización, cloritización, talcificación, antigoritización, anfibolitización y carbonatización.

Petrologicamente este sector se caracteriza por la presencia de Dunitas, Harzburgitas, Lerzholitas, Peridotitas plagioclásicas, Serpentinitas, Esquistos antigoríticos, Esquistos cloríticos, Anfibolitas, Anfibolitas gneisicas y metatrandhjemitas. Encima de estas litologías se desarrollan diferentes espesores de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas las cuales ocupan una gran extensión superficial del yacimiento.

3.3. Descripción del material investigado.

A continuación se emplean 5 muestras que se procesaron durante el desarrollo de este trabajo de tesis donde aparece el nombre de la roca y las imágenes de las mismas con sus respectivos minerales predominantes, también se interponen las escalas de estas muestras (**Escala micrométrica**), escala horizontal 1720 μm y escala vertical 1200 μm . En esta descripción se exponen por 4 rocas ígneas, de ellas 3 son harzburgitas serpentizadas (**Ver en la foto 1, 2 y 3**), se muestra también 2 rocas sedimentaria, de ellas 1 caliza oolítica (**Ver foto 4**) y 1 arenisca (**Ver foto 5**). También se plantea una breve caracterización de las imágenes procesadas a través del software ScopePhoto, hay que señalar que para un mejor tratamiento con las imágenes, se deben tener en cuenta que las muestras que se analicen deben ser simples, es decir, los granos minerales deben estar bien ordenados regularmente para un mejor tratamiento, tiempo y precisión a la hora de cuantificar los minerales siendo así menor el error a cometer. A continuación se exponen las muestras tomadas a

través de fotos con a la ayuda del microscopio de polarización, la cámara digital y software ScopePhoto. Las muestras son las siguientes:

Muestra 1.

La roca está compuesta por cristales relictos de olivino debido al proceso de serpentización (lizardita). Se observan grandes cristales de piroxenos ortorrómbicos también serpentizados. La cromopicotita está subordinada. Hay intensos procesos de hematización.

Roca: Harzburgita Serpentinizada.

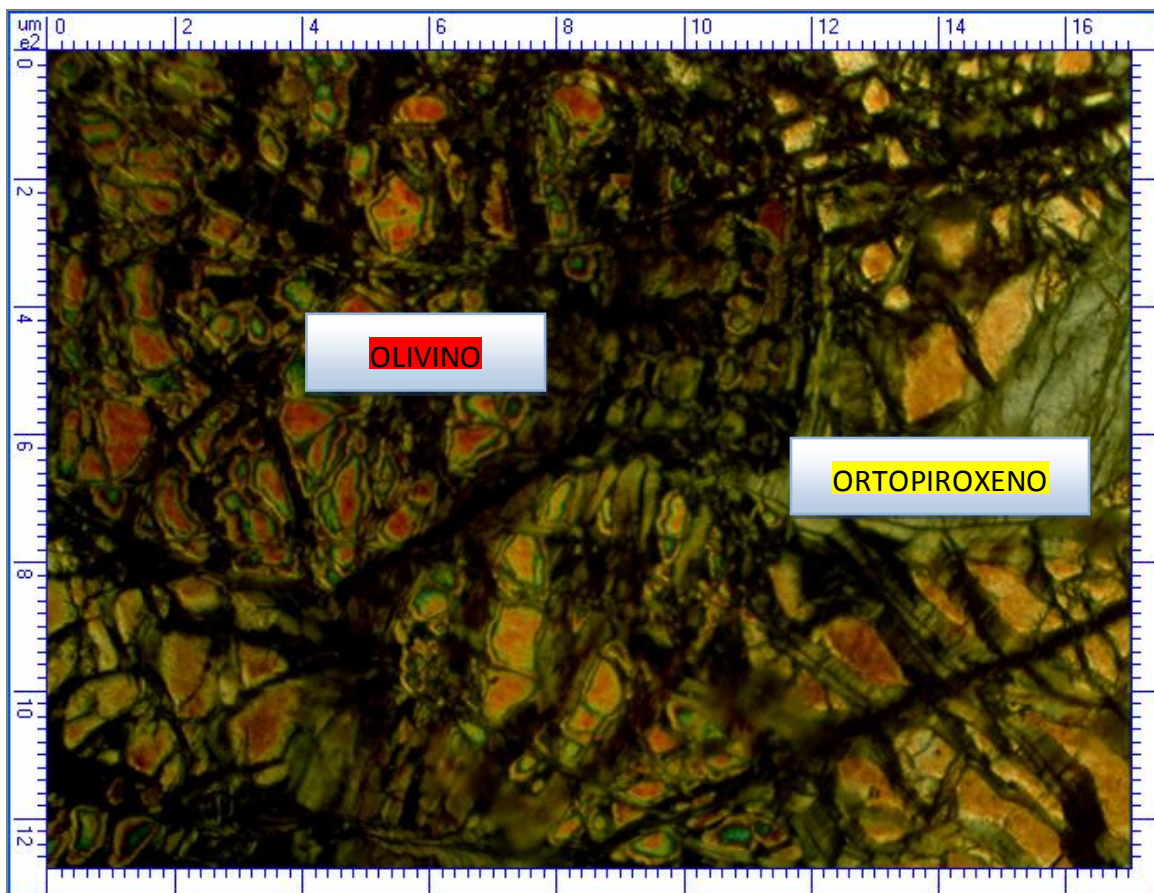


Foto 1: Con nicoles cruzados. Se observan los procesos de serpentización de los cristales de olivino que tienen alta birrefringencia. Hay intensa hematización. Objetivo 4X. Escala horizontal: 1720 µm.

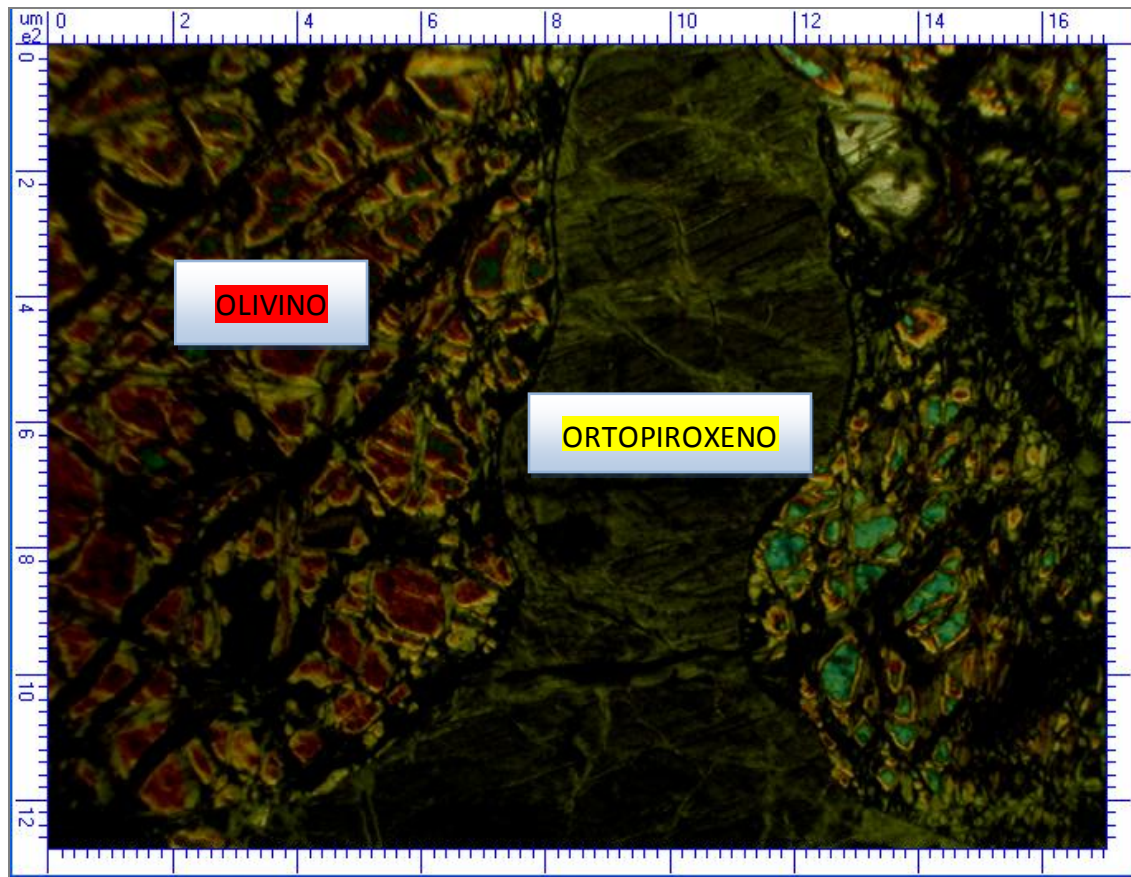
Muestra2.**Roca: Harzburgita Serpentinizada.**

Foto 2: Con nicoles cruzados. Se observan los procesos de serpentinización de los cristales de olivino que tienen alta birrefringencia. Hay intensa hematitización. Objetivo 4X. Escala horizontal: 1720 μm .

Muestra 3.

En la muestra se observan relictos de cristales de olivino, con elevados colores de interferencia, los mismos están rodeados por minerales del grupo de la serpentina, lizardita, que se disponen en forma de malla, formando la típica textura mallada. Se presentan además grandes cristales de piroxenos (clinopiroxenos que han sufrido al igual que los cristales de olivino proceso de serpentinización). Se observa proceso de hematización y algunos granos isótopos e irregulares de magnetita. La textura es pseudomórfica (relictica).

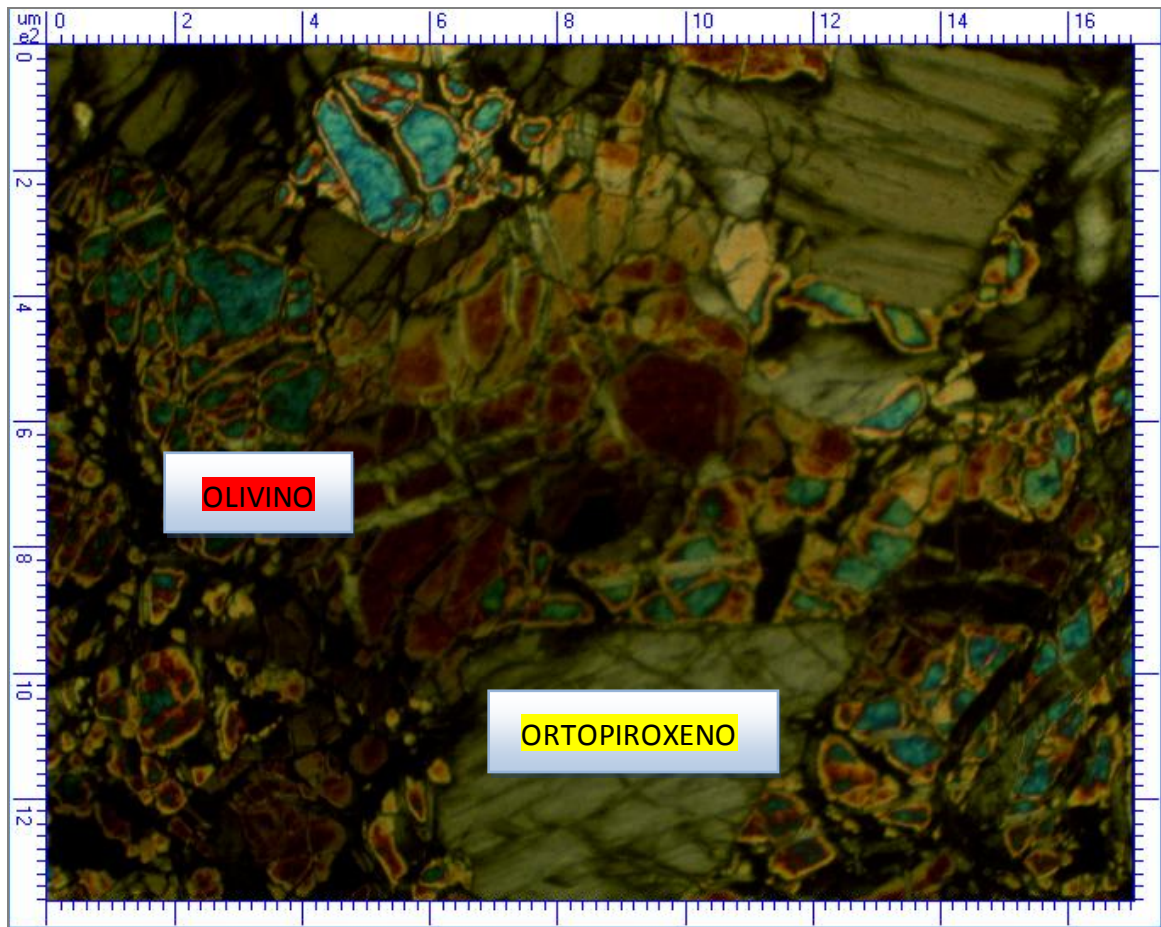
Roca: Harzburgita Serpentinizada.

Foto 3: Con nicoles cruzados. Se observan los procesos de serpentinización de los cristales de olivino que tienen alta birrefringencia. Hay intensa hematitización. Objetivo 4X. Escala horizontal: 1720 μm .

Muestra 4.**Caliza oolítica**

Caliza compuesta preferentemente por oolitas u ooides, en cemento esparítico, (Folk 1959-1962). Un depósito de oolitas está constituido por un agregado de aloquemas esféricos denominados oolitas u ooides. Microscópicamente los granos presentan dos o más capas concéntricas alrededor de un núcleo (ver oolita). Las calizas oolíticas pertenecen a secuencias marinas relacionadas con corrientes mareales que las mueven constantemente en un u otra dirección. Los granos remanentes sufren movimientos constantes de modo que, actuando como núcleos, precipitan el carbonato a su alrededor.

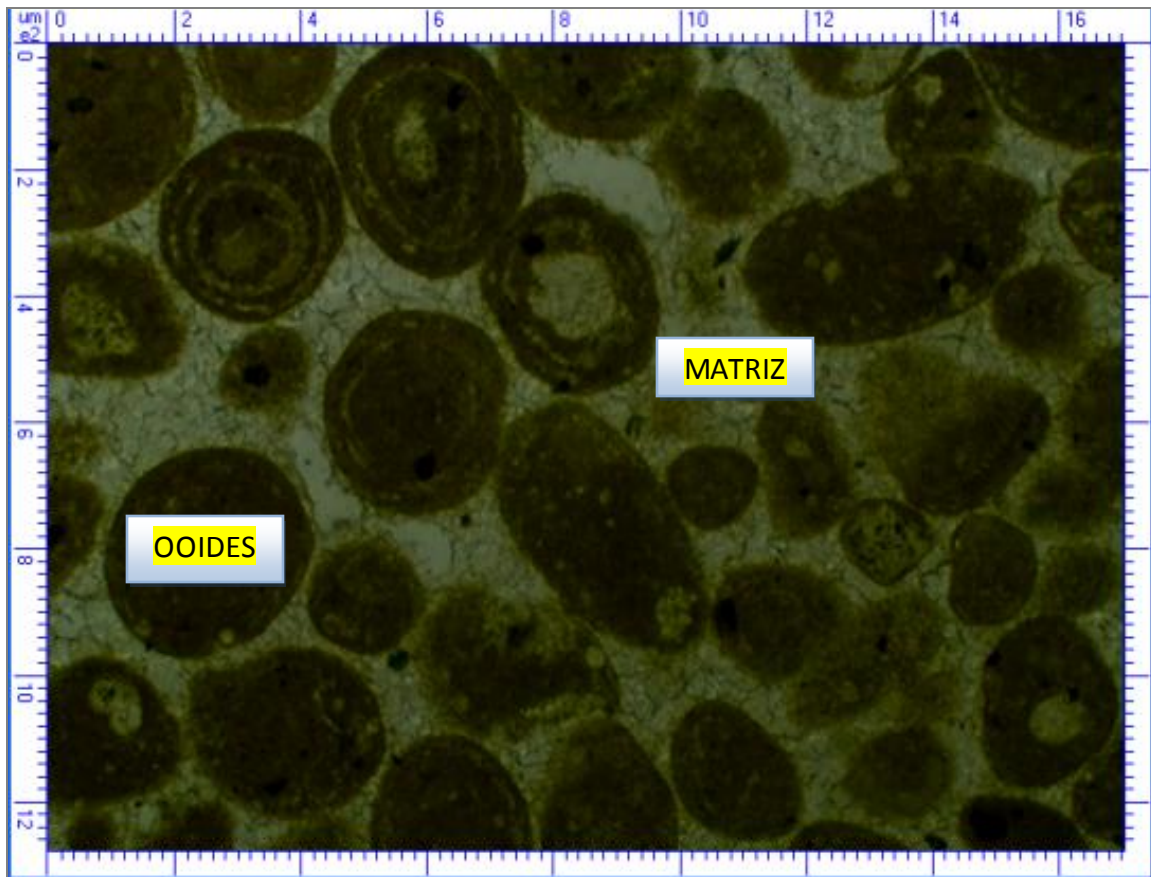
Roca: Ooesparita

Foto 4: Con nicoles cruzados. Se observan los procesos de segmentación, se observa además una matriz de calcita cristalina que se encuentran en los bordes de los ooides. Objetivo 4X. Escala horizontal: 1720 μm .

Muestra 5.**Arenisca.**

Roca sedimentaria con granulado grueso formado por masas consolidadas de arena. Su composición química es la misma que la de la arena; así, la roca está compuesta en esencia de cuarzo. El material cimentador que mantiene unidos los granos de arena suele estar compuesto por sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. El color de la roca viene determinado por el material cimentador: los óxidos de hierro generan arenisca roja o pardo rojiza, mientras que los otros producen arenisca blanca, amarillenta o grisácea. Cuando la arenisca se rompe, los granos de arena permanecen enteros, con lo que las superficies cobran un aspecto granular.

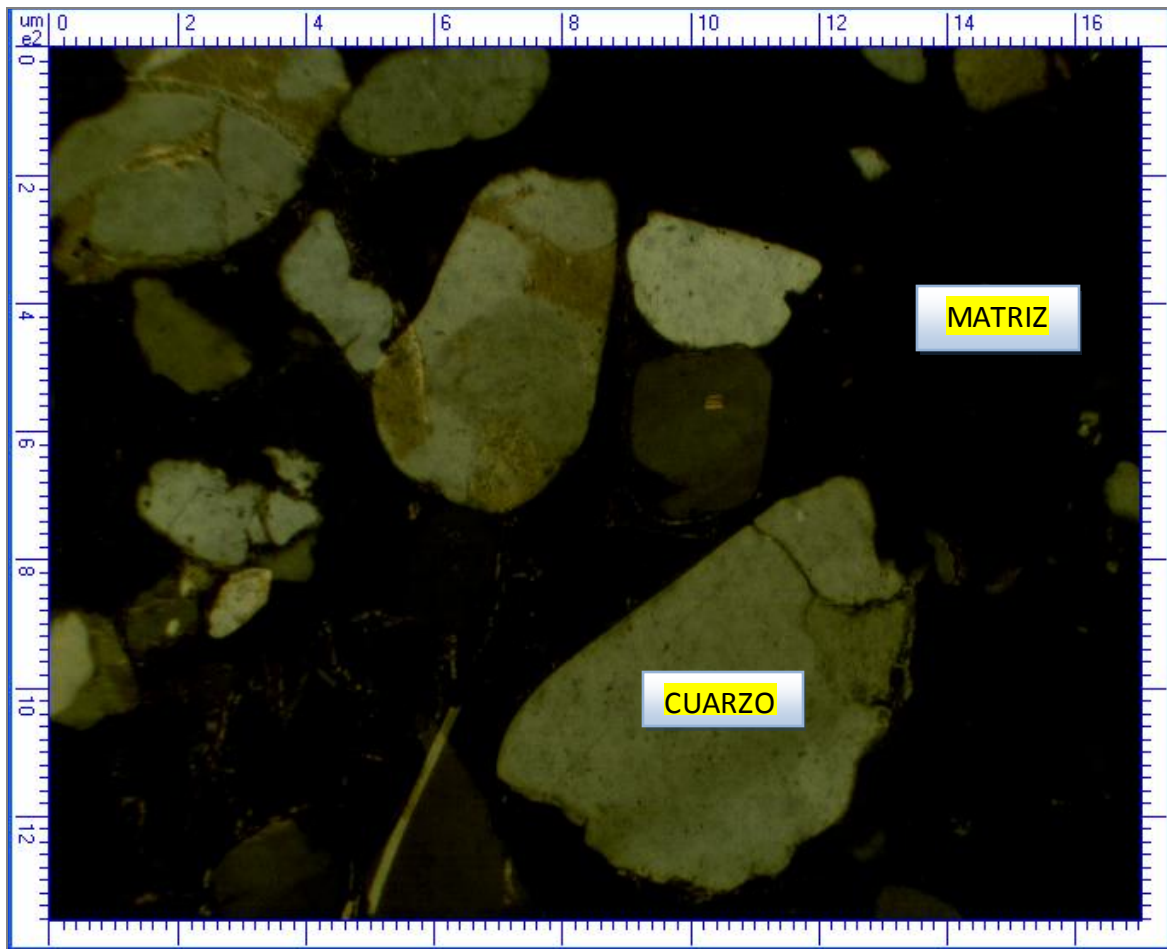
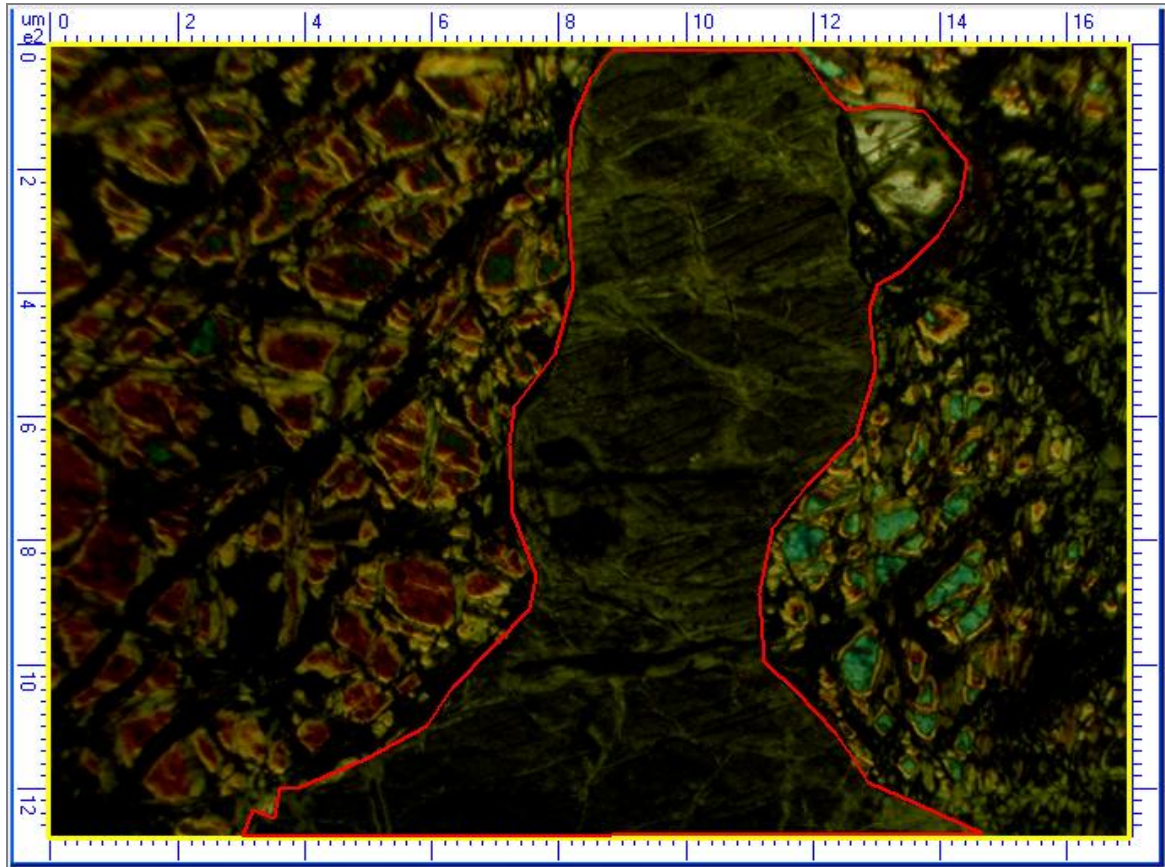
Roca: Cuarciarenita

Foto 5: Con nicoles cruzados. Se observan los procesos de segmentación de los cristales de cuarzo que tienen baja birrefringencia, presenta una matriz silíceica por todo el contorno de los granos de cuarzo. Objetivo 4X. Escala horizontal: 1720 µm.

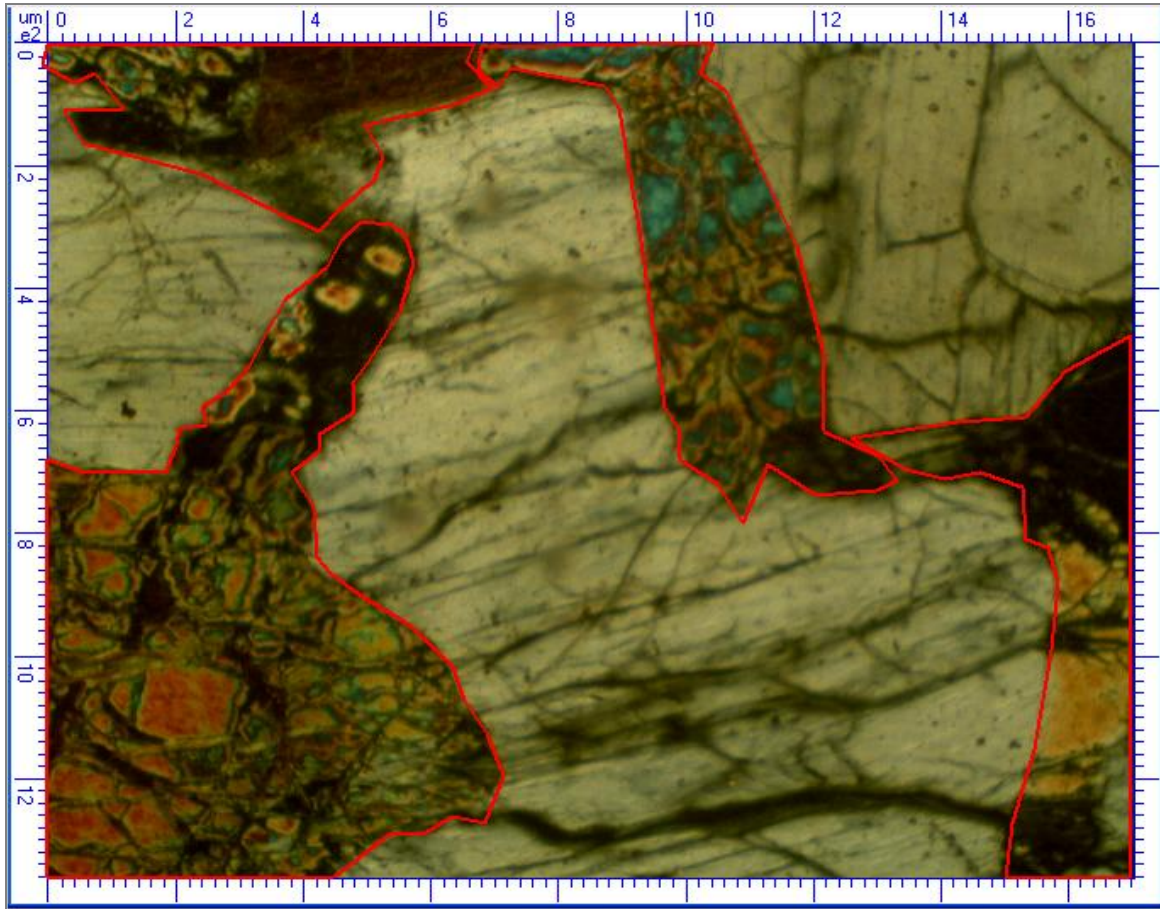
3.4. Procesamiento de las muestras

El procesamiento de las muestras o imágenes de las secciones delgadas de esta investigación se desarrollaran a continuación con la ayuda del software aplicado en este trabajo de tesis llamado ScopePhoto 2.0, donde se expondrán los resultados obtenidos a través de las herramientas del mismo. En la presente tesis se ha calculado los porcentajes minerales con esta metodología para compararla con otras técnicas de baja eficiencia y mala precisión, donde la distribución del tamaño de los granos y el factor de forma se han evaluado para complementar la caracterización petrográfica de las rocas estudiadas. También hay que señalar que la exactitud de los cálculos de cuantificación de los granos minerales con esta técnica puede estar influenciada por diferentes errores. Se pueden detectar los errores producidos por la muestra, a causa de la impregnación, pulidos o presencia de burbujas de aire en la resina, etc. La imagen y el software también pueden producir errores, tales como el error de escala, brillo, poros en el borde de la imagen o la elección de los límites para resolver los tamaños de los granos minerales. Por último se ha considerado que se despreció el cálculo de la serpentización en algunas muestras (**Muestras 1, 2 y 3**), o sea, se estimó el contenido del Olivino sin tomar en cuenta que estaba más o menos serpentizados, es decir, se asumió el contorno del grano original y que las rocas son homogéneas por lo que las imágenes se consideran representativas de la roca. En el caso de las rocas muy heterogéneas este problema se puede resolver realizando, más imágenes por muestras.

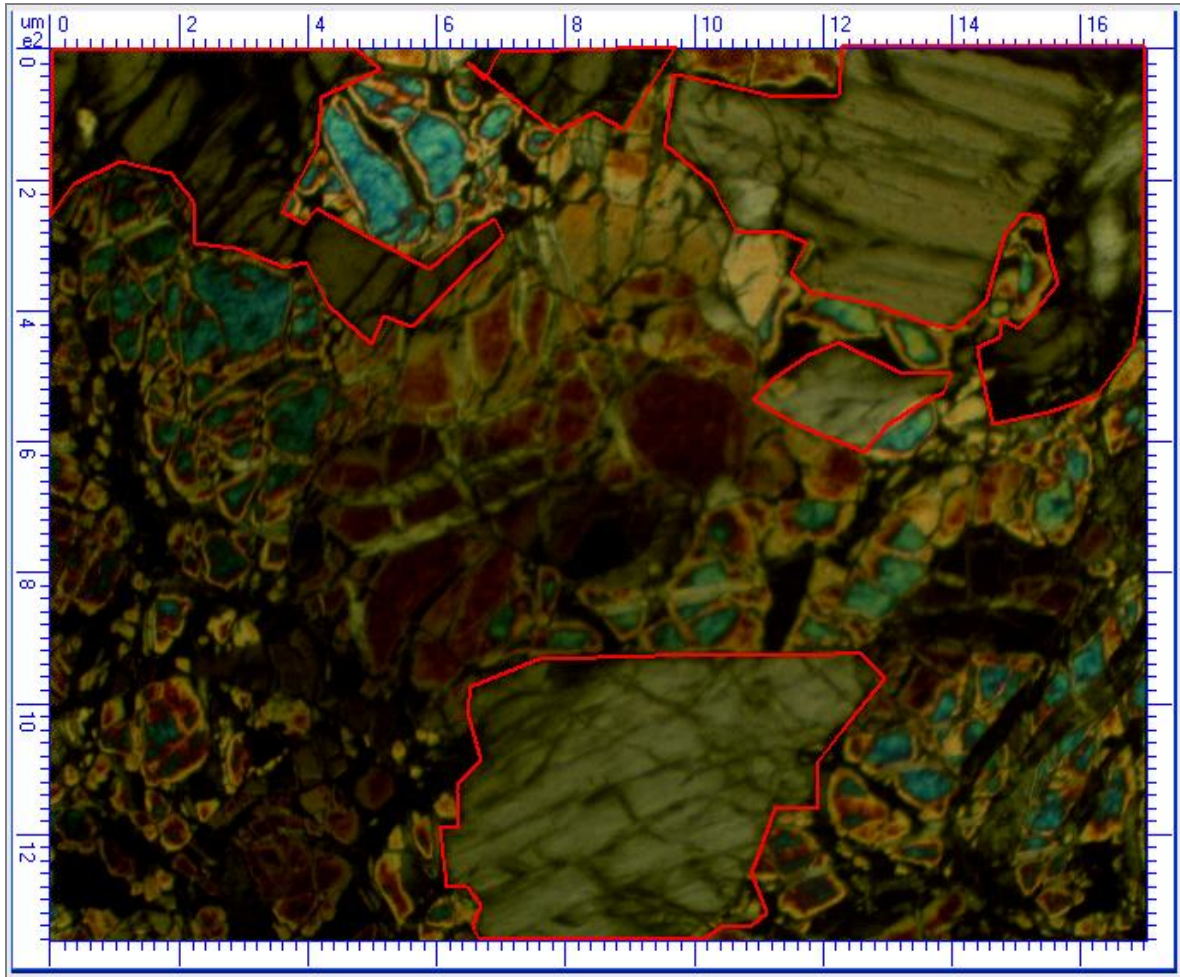
La desventaja más importante que presenta esta técnica es su dependencia con el usuario y con el tipo de roca estudiada. El usuario debe elegir la amplificación óptima para estimación cuantitativa de los granos minerales y situarlo en el marco petrográfico. Es habitual encontrar en bibliografía, por ejemplo Berryman y Blair (1986) y Lebro et al., (1999), la mejor amplificación es la que produce los resultados más cercanos a los obtenidos con otras técnicas. Esto implicaría que el tratamiento de imágenes no es una técnica independiente del cálculo cuantitativo de los minerales en una muestra determinada. Por lo que la elección de los parámetros en el tratamiento de imágenes depende fuertemente del tipo de roca estudiada.

Foto1 Muestra: 1

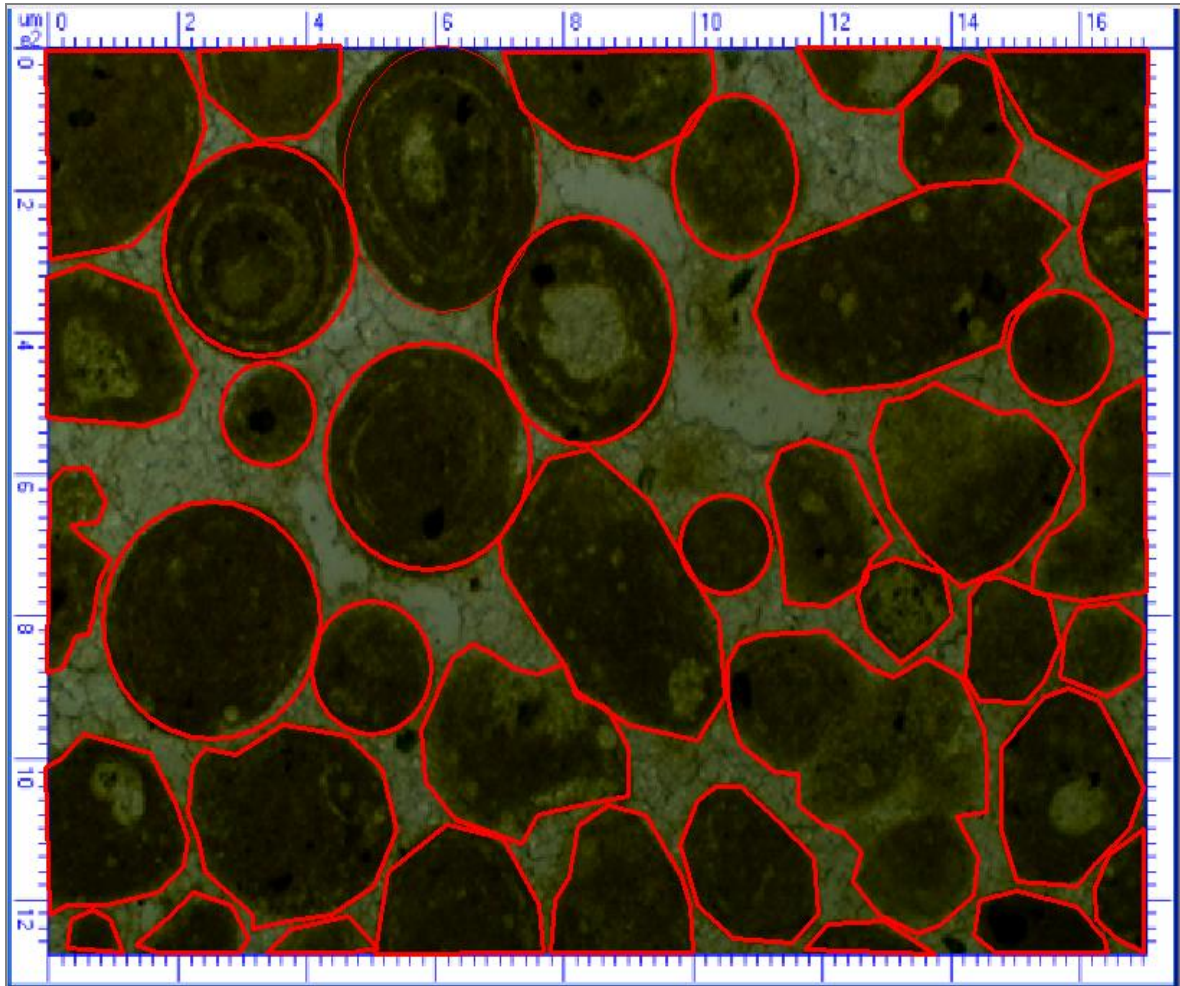
En la presente foto se observa un contorno en color amarillo que significa el área total de la imagen que consta con un valor $\approx 309603 \mu\text{m}^2$. Seguidamente se visualiza un contorno en color rojo señalando el área que ocupa el piroxeno que tiene un valor de $\approx 97705 \mu\text{m}^2$. Por una diferencia de áreas (matemática) se logró calcular el área de los granos de olivinos que se plantearía de esta manera: $AT - AP = AOI$, lo que significa área total de la imagen menos área del piroxeno sería igual a el área de los olivinos, un algoritmo matemático muy sencillo para aplicar. En esta muestra contó con la elaboración de 15 fotos para la cuantificar, estimar y caracterizar los granos minerales dando paso del tipo de roca específica.

Foto 2 Muestra: 2

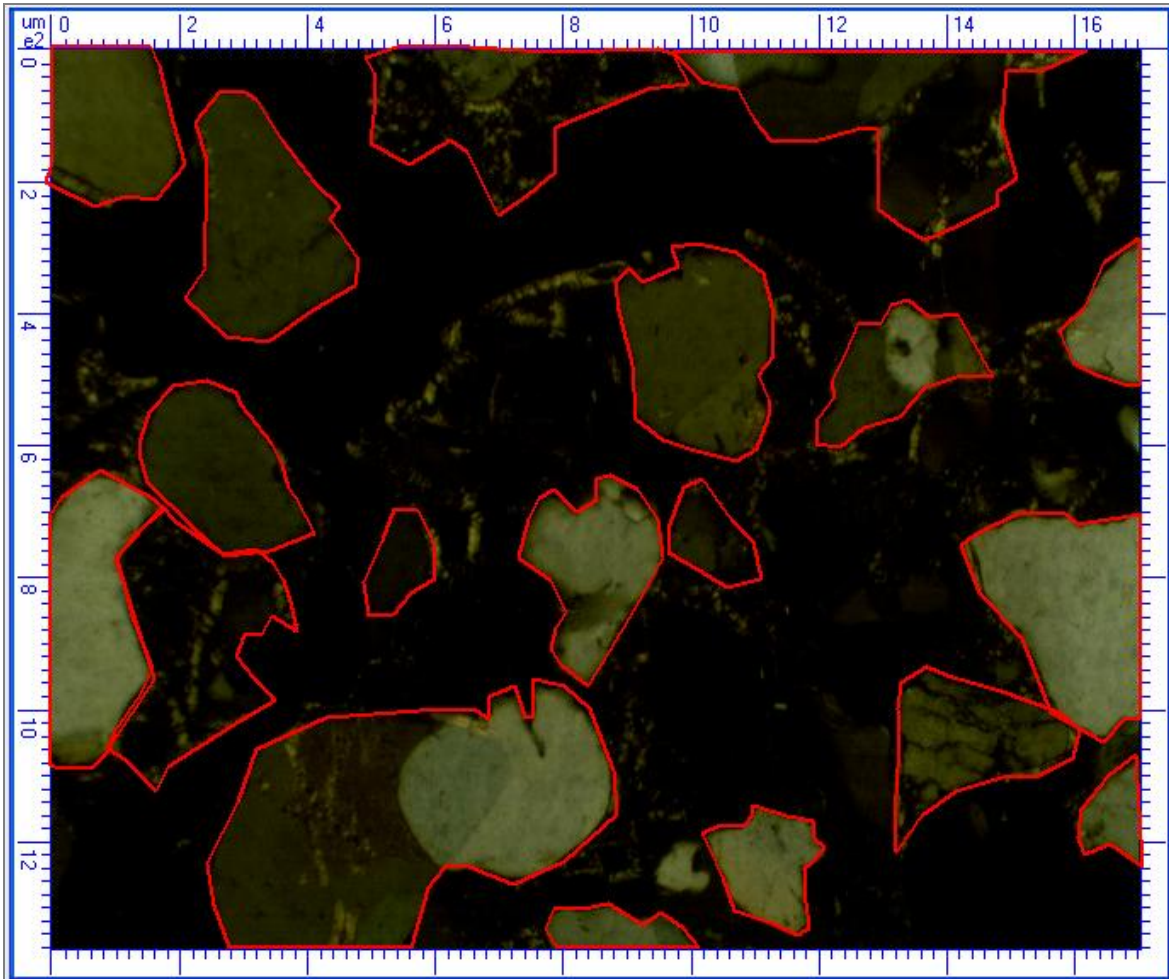
En la siguiente foto se muestra en color rojo las respectivas áreas marcadas por los olivinos que en total suman un área $\approx 126574 \mu\text{m}^2$. Por una diferencia de áreas se logra calcular las áreas de los granos de piroxenos, en el cual el algoritmo matemático está dado por la fórmula $AT - AOL = AP$, es decir, el área total de la muestra menos el área de los olivinos es igual $\approx 183029 \mu\text{m}^2$. Esta muestra fue analizada por la confección de 15 fotos para los cálculos de los respectivos granos minerales.

Foto 3 Muestra: 3

En la consecutiva foto aparece en color rojo 5 granos de piroxeno representados o valorados por un área total $\approx 95604.5 \mu\text{m}^2$. En la presente muestra también se plantea el mismo algoritmo matemático, que está dado por la fórmula siguiente $AT - AP = AOL$. En otras palabras podemos decir que la diferencia entre el área total de la imagen y el área de los piroxenos es igual al área de los olivinos que está dado por el valor de $\approx 213998,5 \mu\text{m}^2$. Hay que decir que en estos análisis a la hora de delimitar o diferenciar los minerales en las muestras estos están representados por sectores o zonas, para una mejor visualización durante el proceso de cuantificación de los granos minerales.

Foto 4 Muestra: 4

En esta foto se observa en color rojo 41 granos de ooides, los cuales suman entre si un área total de $\approx 145172,22 \mu\text{m}^2$. En la siguiente muestra se calculó la matriz carbonatada (**Calcita cristalina**) de la misma, para esto se planteó el algoritmo matemático para su cálculo, $AT - AO = AMZ$, lo que significa que la diferencia entre el área total de la foto y el área de los ooides es igual a el área de la matriz, dada por el valor de $\approx 184173,78 \mu\text{m}^2$. Esta muestra fue analizada con la elaboración de 1 foto, por la simple, uniforme e igualdad de los granos de ooides.

Foto 5 Muestra: 5

En esta última foto está caracterizada por la presencia en color rojo por 19 granos minerales de cuarzo, que suman entre los mismos un área $\approx 131714,5 \mu\text{m}^2$. En esta muestra se calculó la matriz constituida por sílice mediante un algoritmo matemático muy simple planteado en las fotos anteriores. La cual se compone de la siguiente manera: $AT - AQ = AMZ$, es decir que el área total de la foto menos la suma total de los granos de cuarzo, van hacer igual al área de la matriz con un valor de $\approx 17888,5 \mu\text{m}^2$. Hay que aclarar que en esta muestra de este tipo de roca (**Arenisca**) pueden ocurrir errores a la hora de definir los granos de cuarzo, pues como se conoce que el mismo puede aparecer oscuro, por una manipulación de la platina del microscopio (**cuando se gira**) y este tergiversa. Esta muestra fue analizada por la toma de 10 fotos por su simple y poca irregularidad en sus granos minerales.

3.5. Representación gráfica de los porcentajes minerales.

En este epígrafe a continuación se plantean una serie de gráficos de áreas los cuales enfatizan las diferencias entre diferentes conjuntos de datos en un periodo de tiempo, se elaboraron durante el análisis de la estimación cuantitativa de los granos minerales en las rocas estudiadas. Se plantea de una manera muy representativa los porcentajes minerales de las muestras analizadas durante esta investigación. Esto fue consigo gracias a la ayuda del programa Microsoft Excel con la importación de los datos procesados en el software ScopePhoto. Más adelante se muestran estos gráficos donde se usan como base en este trabajo de tesis, visualizando los contenidos de los porcentajes minerales en las muestras en secciones delgadas.

Gráfico 1 Muestra: 1

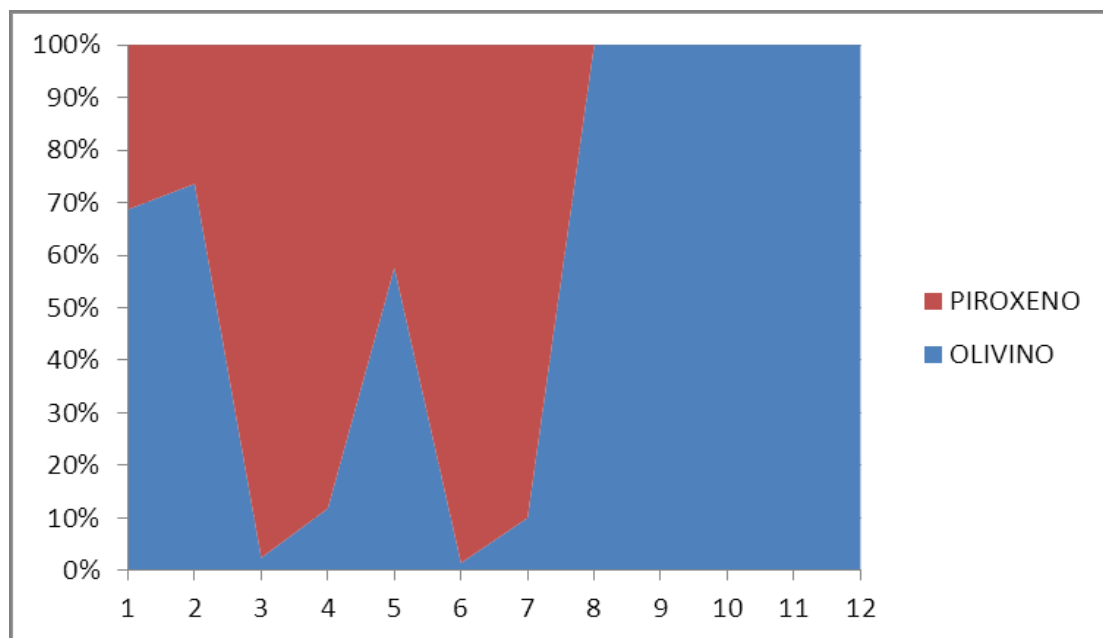
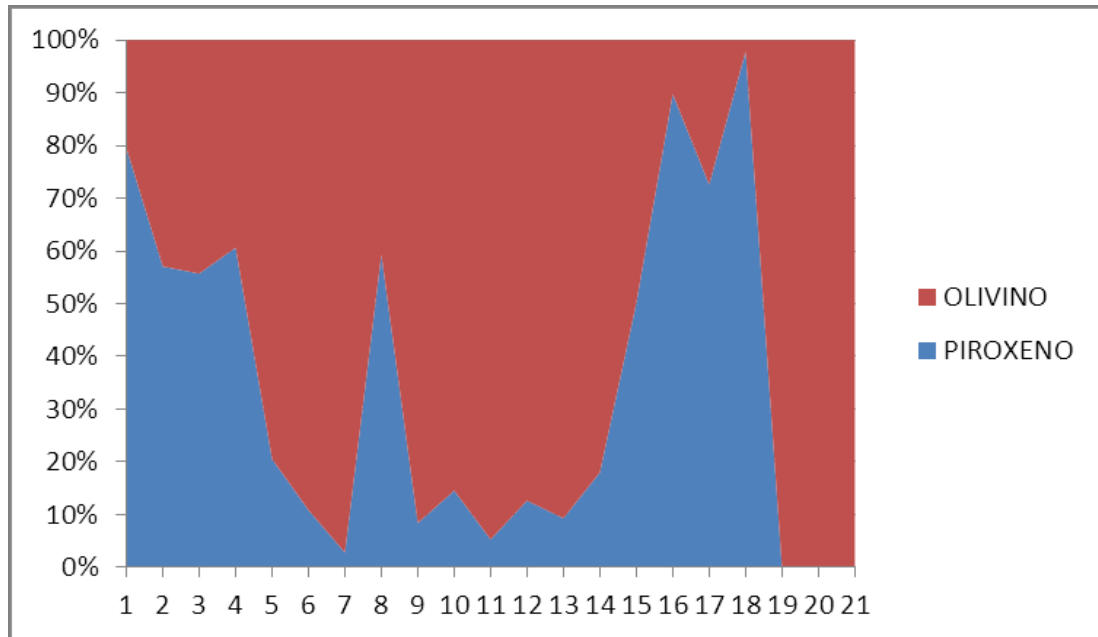


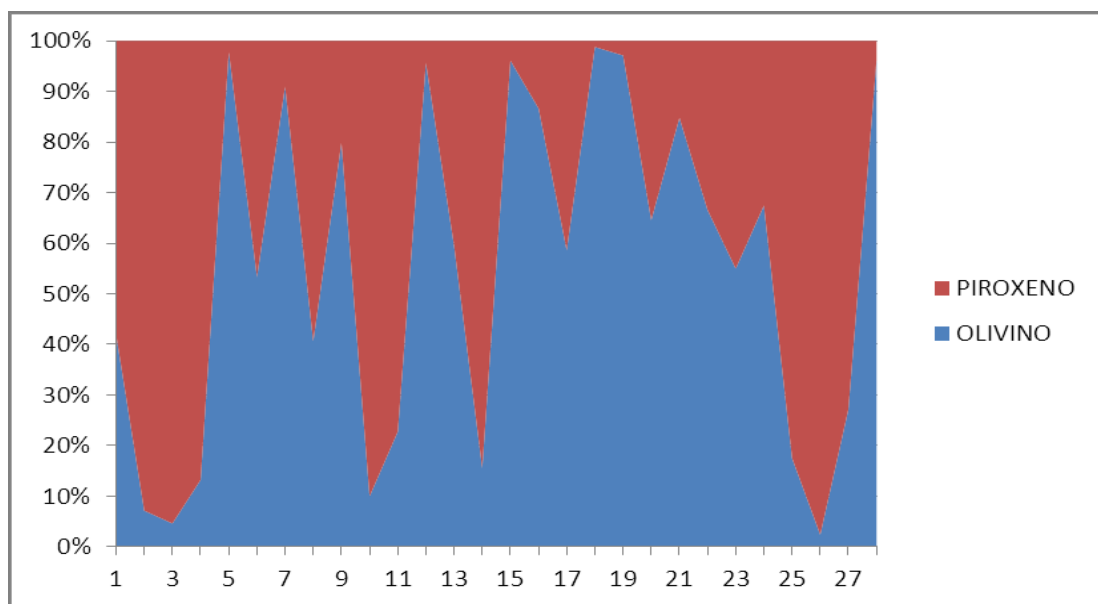
Gráfico constituido por dos minerales primarios, piroxenos y olivinos, este gráfico representa a una roca ígnea (**Harzburgita serpentizada**), los porcentajes minerales están dados por: piroxenos $\approx 32,05\%$ y olivinos $\approx 67,95\%$.

Gráfico 2 Muestra: 2



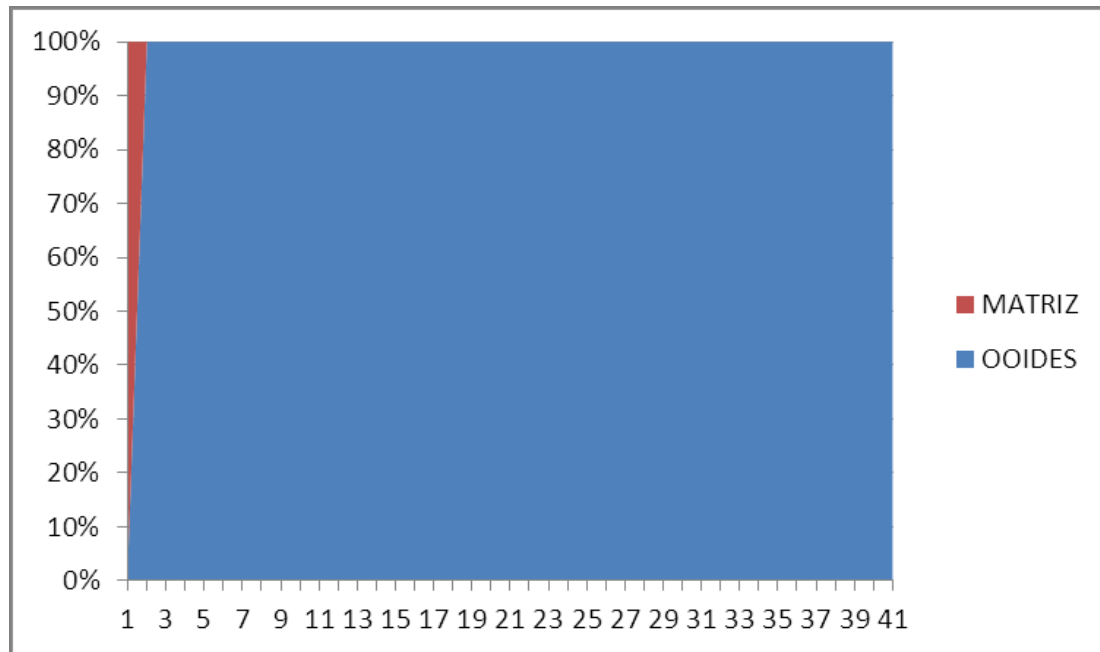
En este gráfico compuesto por dos minerales primarios, olivinos y piroxenos, el mismo está representado por una roca ignea (**Harzburgita serpentizada**), los porcentos de estos minerales son los siguientes: olivinos $\approx 68,68\%$ y piroxenos $\approx 31,32\%$.

Gráfico 3 Muestra: 3



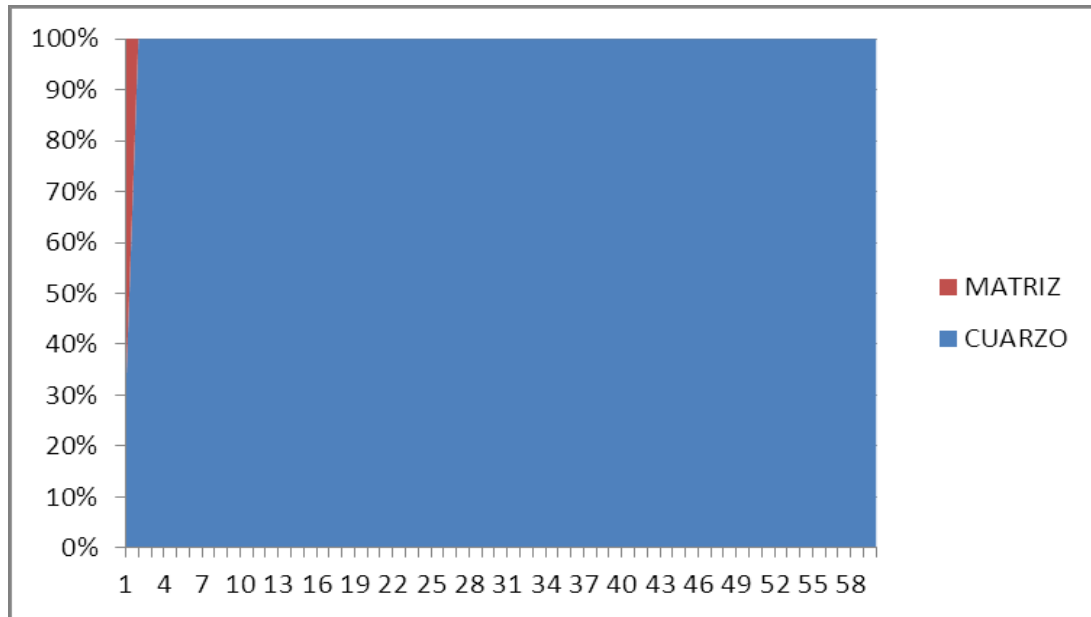
Este gráfico está formado por dos minerales primarios, piroxenos y olivinos, estos conforman a una roca ignea (**Harzburgita serpentizada**), se componen los granos minerales por : piroxenos $\approx 39,65\%$ y olivinos $\approx 60,35\%$.

Gráfico 4 Muestra: 4



En este gráfico se describe una roca sedimentaria (**Caliza oolítica**) la presencia en mayor proporción de los ooides, mientras que la matriz (**cemento esparítico**) se observa que aparece también un muy poca proporción. Los granos de ooides están representados por un valor $\approx 68,64\%$, mientras que la matriz está dada por $\approx 31,36\%$. En esta muestra gráficamente los porcentajes de la matriz está claramente altos, pues el número de fotos elaboradas fue técnicamente mínimo, es decir se tomó una sola foto, lo que conlleva a que no se tome en cuenta los otros granos minerales de la muestra ya sea ooides o matriz.

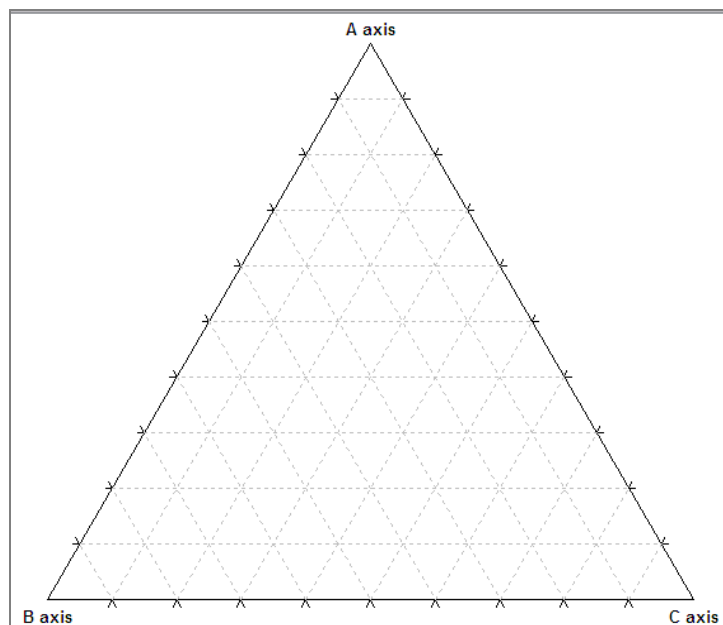
Gráfico 5 Muestra: 5



En este último gráfico se representa otra roca sedimentaria (**Arenisca cuarzosa, Cuarzoarenita**), también se evidencia la presencia en mayor proporción de los granos de cuarzo que tienen un valor de $\approx 82,95\%$, mientras que la matriz (**Silíceo**) está dada por un valor de $\approx 17,05\%$.

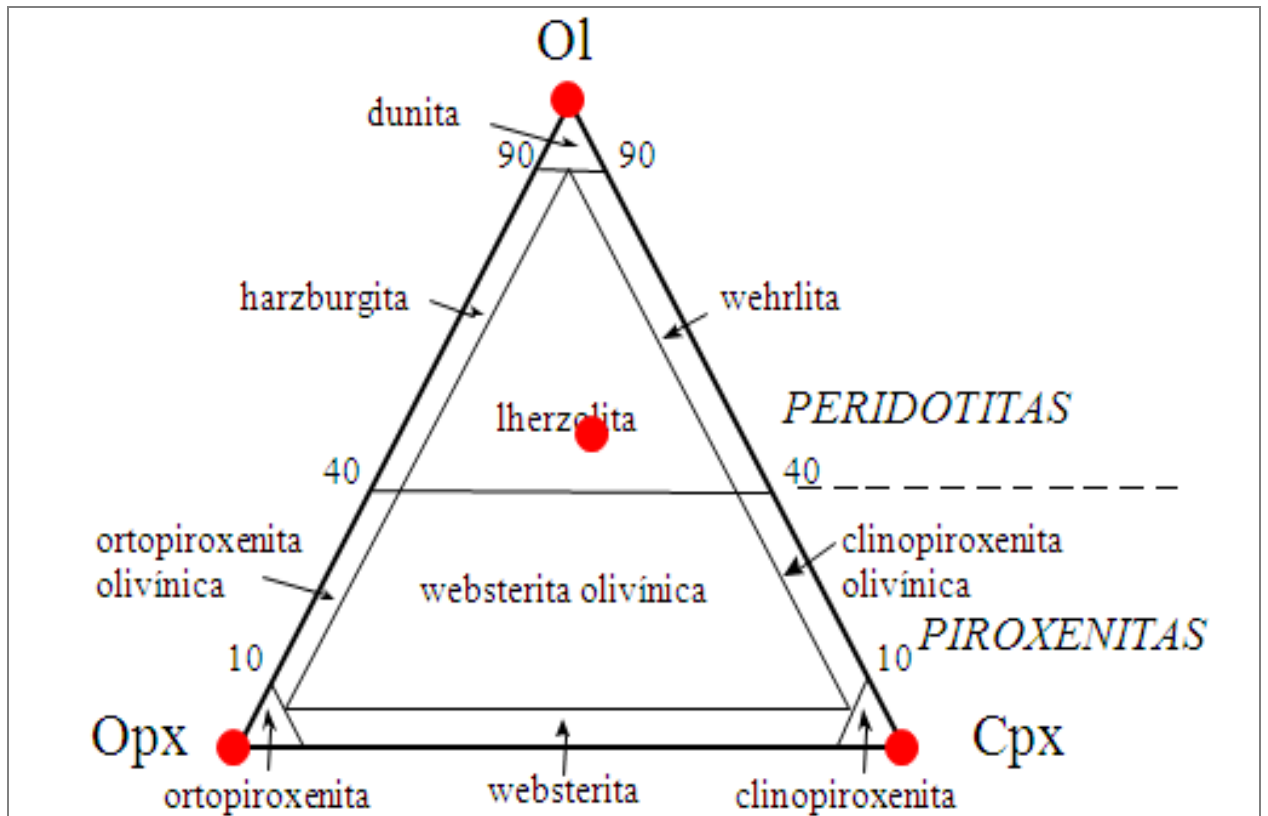
Diagramas que se utilizaron:

TRIPLLOT: Aquí se analizaron los porcentajes de las muestras para ver dónde caen los puntos, para llevar la información al diagrama para identificar la roca.



(Figura 12)

Para los gráficos 1,2 y 3. Clasificación Modal de una roca ultramáfica.
(Streckeisen, 1976).



(Figura 13).

3.6. CALCULO DE LA POROSIDAD

De acuerdo con Selley (1976), la porosidad es una propiedad de gran importancia en el estudio de las rocas sedimentarias (**Arenisca Cuarzosa, Ver Muestra 5**). Es una medida de la cantidad de espacios vacíos que tiene una roca y dependiendo del tipo de comunicación entre ellas, se define de dos formas:

$$\Phi_a = \frac{\text{Volumen espacios vacíos}}{\text{Volumen total de roca}} \times 100$$

$$\Phi_e = \frac{\text{Volumen de poros interconectados}}{\text{Volumen total de rocas}} \times 100$$

Donde:

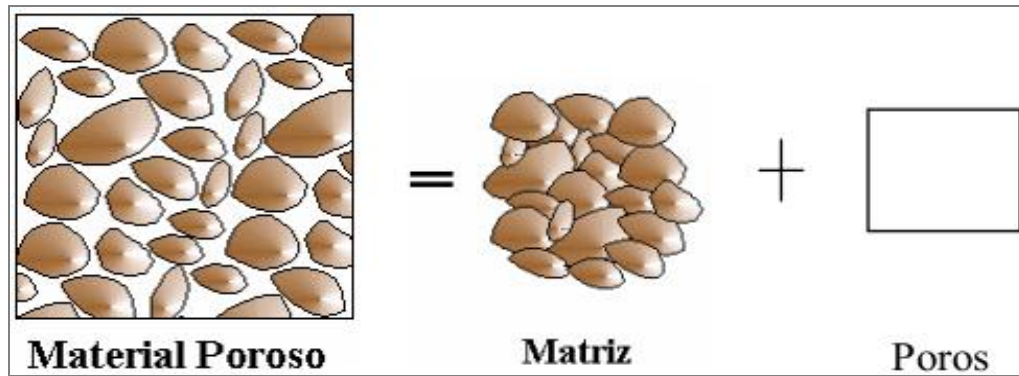
Φ_a = Porosidad absoluta

Φ_e = Porosidad efectiva

Porosidad Absoluta:

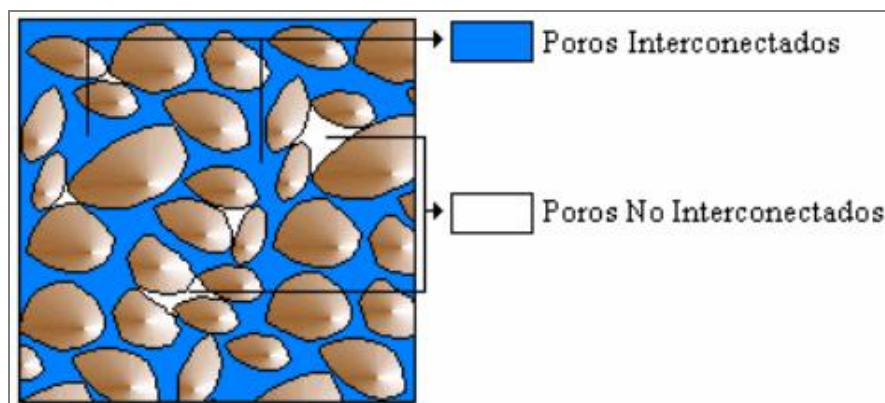
Porcentaje del espacio total con respecto al volumen total de la roca sin tener en cuenta si los poros están interconectados entre sí o no. A efectos de nuestro estudio se utilizará la fórmula de porosidad absoluta para los cálculos y análisis de la porosidad.

$$\Phi_a = \frac{\text{Volumen total de Rocas} - \text{Volumen de los granos}}{\text{Volumen total de Rocas}} \times 100$$



(Figura 14)

Ilustración del material constituyente en una sección fina para cálculo de porosidad (Tomado de Azuaje E.; 2006)



(Figura 15)

Ilustración de la forma de los poros en la roca (Tomado de Azuaje E.; 2006)

Porosidad Efectiva:

Es el porcentaje de espacio poroso intercomunicado con respecto al volumen total de la roca. Es indicativo de la conductividad de los fluidos aunque no es una medida de ello.

Porosidad no Efectiva: es el porcentaje de espacio poroso no intercomunicado con respecto al volumen total de la roca.

$$\Phi_T = \Phi_{\text{efectiva}} + \Phi_{\text{no efectiva}}$$

Evaluación cualitativa de la porosidad (Tomado de North F.; 1985)

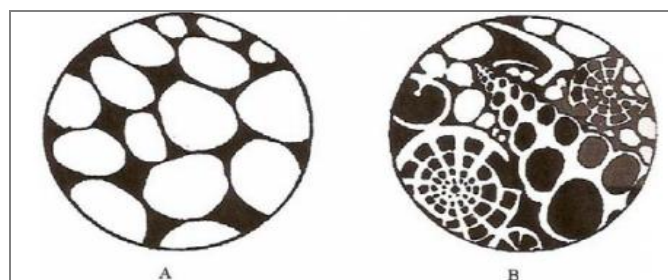
<i>Porosidad (%)</i>	<i>Evaluación Cualitativa</i>
<i>0-5</i>	<i>Despreciable</i>
<i>5-10</i>	<i>Pobre</i>
<i>10-15</i>	<i>Moderada</i>
<i>15-20</i>	<i>Buena</i>
<i>20+</i>	<i>Muy Buena</i>

(Figura 16)

El origen de la porosidad en una arenisca puede ser de dos tipos según Selley (1976).

1. Porosidad Primaria, la cual se origina durante la depositación de los sedimentos y puede ser a su vez intergranular (Figura 24 A) e intrapartícula (Figura 24 B). En una arena limpia, la matriz de la roca se compone de granos de arena individuales, con una forma más o menos esférica, y apiñados de manera que los poros se hallan entre los granos.

2. Porosidad Secundaria, se forma por procesos posteriores a la depositación de los sedimentos los cuales pueden modificar la porosidad primaria e incluso crear u originar nuevos poros o intersticios.



(Figura 17)

Esbozo ilustrativo de cómo se vería en sección fina la porosidad primaria depositacional.

A) Porosidad intergranular, comúnmente encontrada en las areniscas. **B)** porosidad intrapartícula e intergranular, típica de areniscas esqueléticas. Tomado de Selley (1976) y Modificado de Sandoval, 2000).

Los principales procesos generadores de porosidades secundarias son el proceso de disolución, el reemplazo y el fracturamiento bien sea por efecto de la compactación o por movimientos tectónicos. Otro proceso que genera porosidades secundarias es la deshidratación del material original, lo que da lugar a un “encogimiento” con la respectiva formación de porosidades secundarias. El proceso de disolución genera mayor volumen de porosidad secundaria, sobre todo en aquellas areniscas con un alto contenido de carbonatos (en cualquiera de sus formas: granos del esqueleto, matriz y/o cemento) y de feldspatos u otras partículas inestables.

Clasificación de los tipos de porosidad. Tomado de Selley (1976).

<i>POROSIDAD</i>	<i>TIPOS</i>	<i>ORIGEN</i>
<i>PRIMARIA O DEPOSITACIONAL</i>	<i>Intergranular o interpartícula</i>	<i>Sedimentación</i>
	<i>Intrapartícula</i>	<i>Sedimentación</i>
<i>SECUNDARIA O POST-DEPOSITACIONAL</i>	<i>Intercristalina</i>	<i>Cementación</i>
	<i>Fenestral</i>	<i>Cementación</i>
	<i>Móldica</i>	<i>Solución</i>
	<i>Cavidades</i>	<i>Solución</i>
	<i>Fractura</i>	<i>Movimientos tectónicos, Compactación o deshidratación.</i>

(Figura 18)

Según Hayes (1979), durante el soterramiento de muchas areniscas, la distribución y evolución de las porosidades, primaria y secundaria, varían con la profundidad de soterramiento, y por lo general es de la siguiente manera:

- 1.- Inicialmente la porosidad primaria es reducida por el proceso de compactación mecánica y por la precipitación química de minerales, durante la “etapa de diagénesis somera”.
- 2.- A medida que aumentan la profundidad, temperatura y velocidad de generación de hidrocarburos, soluciones acuosas químicamente activas migran de las lutitas adyacentes hacia las areniscas, originando la disolución

de compuestos inestables, formándose las porosidades secundarias en la “etapa de diagénesis intermedia”.

3.- A mayor profundidad y durante la “etapa de diagénesis profunda”, la porosidad secundaria generada puede ser destruida por procesos de compactación y cementación.

3.7. TIPOS DE POROSIDAD EN LAS ARENISCAS

El estudio y determinación de las porosidades secundarias en las areniscas, recibió muy poca atención hasta el año 1975. Debido a que gran parte de esta porosidad fue considerada de origen primario con excepción de las que se formaron por fracturas. Sin embargo, en investigaciones posteriores a ese año se determinó que el volumen de las porosidades secundarias en las areniscas, representa al menos 1/3 del total de espacios vacíos en dichas rocas y en muchas ocasiones es más abundante que la porosidad primaria.

Por lo anterior, algunos investigadores han determinado y clasificado los diferentes tipos de porosidad de origen secundario que pueden tener lugar en las areniscas las cuales son:

Según Pittman (1979) reconoce tres tipos de porosidad:

- Porosidad intergranular (primaria): es aquella porosidad entre las partículas.
- Porosidad por disolución (secundaria): que resulta de la remoción de cualquier material soluble, bien sea granos detríticos, cemento o minerales reemplazantes.
- Microporosidad (tanto primaria como secundaria): se define como todos aquellos poros cuyo radio de apertura es menor a 0.5 micras. Es típica en los minerales de arcillas o de zonas de interconexión de poros.

Según Schmidt y Mc Donald (1979) reconocen tres tipos principales de porosidad secundaria en las areniscas, las cuales son diferenciadas sobre la base de los procesos que les dieron origen y su relación con las fábricas de las rocas, las cuales son:

- Porosidad por fracturas: incluye todo tipo de fracturas originadas por esfuerzos e incluso las originadas por encogimiento del material.

- Porosidad por encogimiento (shrinkage) o deshidratación: se origina por deshidratación y/o recristalización de ciertos minerales tales como la glauconita y la goethita o materiales lodosos.
- Porosidad por disolución de material sedimentario, cemento autigénico y/o de los materiales reemplazantes: es la más común e importante. Resulta de la disolución selectiva de materiales solubles o inestables, bien sean granos, matriz, cemento o cualquier otro material autigénico. Por este proceso, se puede originar una gran variedad de tipos texturales de porosidad secundaria.

Según Scholle (1981) se puede encontrar estas porosidades asociadas:

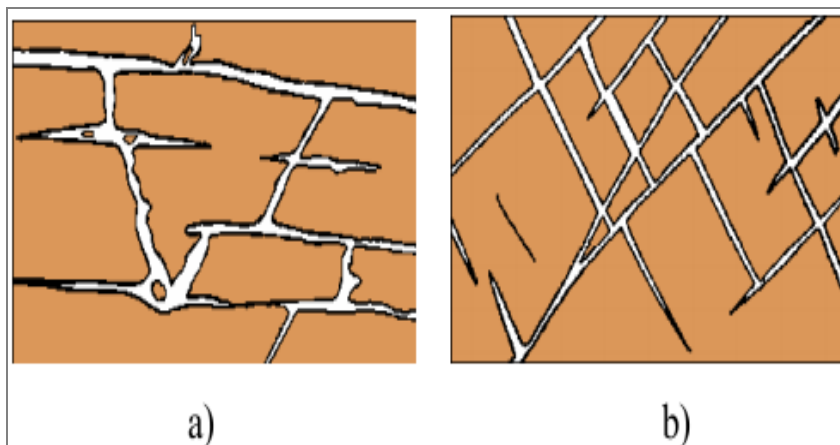
Porosidad Primaria:

- Interpartícula: muy común en las areniscas
- Intrapartícula: muy escasa, pero posible en fragmentos de rocas, fósiles y otros granos detríticos como feldespatos.
- Inter cristal: no es muy común.

Porosidad secundaria:

- Disolución de granos detríticos, de cementos y de reemplazamiento de minerales autigénicos: común, especialmente en remoción de feldespatos, fragmentos de rocas carbonáticas o fósiles y sulfatos detríticos. (Figura 28 a)
- Fracturas: poco común, excepto localmente. (Figura 28 b)

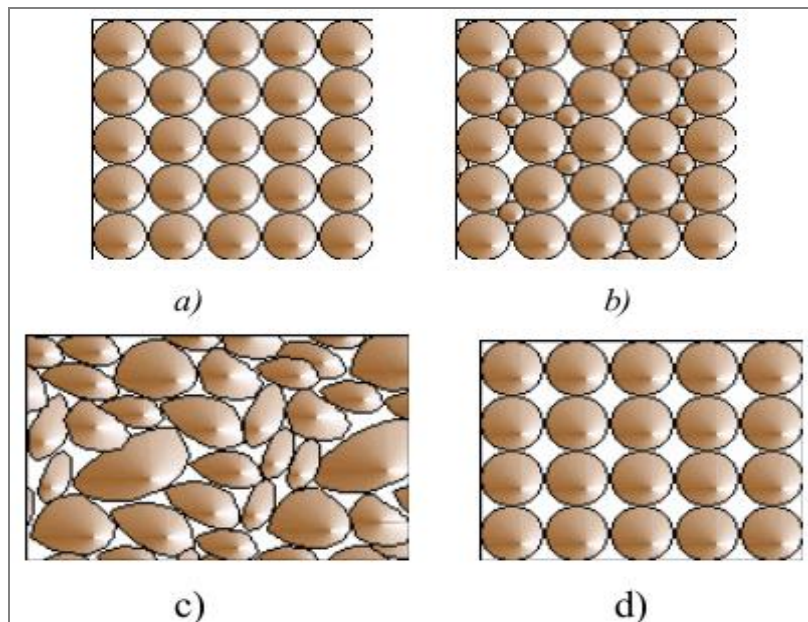
Ilustración de Porosidad Secundaria: a) por Disolución y **b)** por Fracturas
(Tomado de Azuaje E.; 2006)



(Figura 19)

3.8. FACTORES QUE AFECTAN LA POROSIDAD:

- Uniformidad del tamaño (Escogimiento) y forma de los granos: la porosidad no depende del tamaño de grano pero si de su arreglo. Es decir, la porosidad depende del escogimiento de los granos. A mayor escogimiento se tiene mayor porosidad. (Figura 29 a, b, c, d).
- Profundidad de Soterramiento: a mayor profundidad mayor grado de empaquetamiento de las partículas.
- Empaquetamiento de los granos: el aumento del grado de empaquetamiento reduce la porosidad.
- Deformación de partículas dúctiles: las areniscas con mayor porcentaje de partículas dúctiles tales como fragmentos de rocas, micas, glauconitas y fósiles entre otros, son más propensos a la deformación plástica, fracturamiento y trituramiento entre las partículas adyacentes más rígidas, y tienden a perder más rápidamente la porosidad y permeabilidad.



(Figura 20).

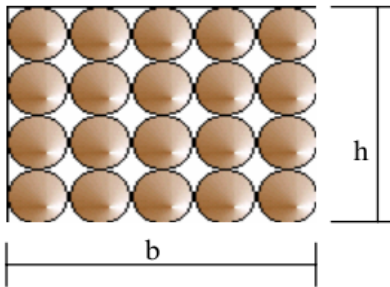
Ilustra el comportamiento de la porosidad de acuerdo con el escogimiento y forma de los granos. A mayor escogimiento se tiene mayor porosidad.: **a)** Granos grandes **b)** Granos pequeños mezclados con granos grandes **c)** Granos no redondeados **d)** Granos redondeados (Tomado de Azuaje E.; 2006)

3.9. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA POROSA

La porosidad absoluta se determina con la misma fórmula que para el caso de las secciones finas, lo que cambia es que en vez de hablar de volumen de espacios vacíos se hablará de área de espacios vacíos. Porosidad Absoluta: porcentaje del espacio total con respecto al área total de la roca sin tener en cuenta si los poros están interconectado entre sí o no.

$$\Phi_a = \frac{\text{Área total de Rocas} - \text{Área de los granos}}{\text{Área total de Rocas}} \times 100$$

Caso isotrópico (homogéneo): granos de la misma composición, de igual tamaño de radio r (mm) y matriz homogénea. Representa un caso ideal para el cálculo de la porosidad.



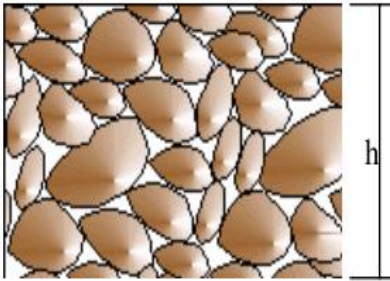
$A \text{ círculos} = \pi * r^2$

$A \text{ total} = b * h$

$A \text{ porosa} = A \text{ total} - A \text{ total círculos}$

Índice de Poros = $I_p = \frac{A \text{ total círculos}}{A \text{ total}}$

Caso anisotrópico: granos de diferente composición, diferentes tamaños de radio r (mm) y matriz no homogénea.

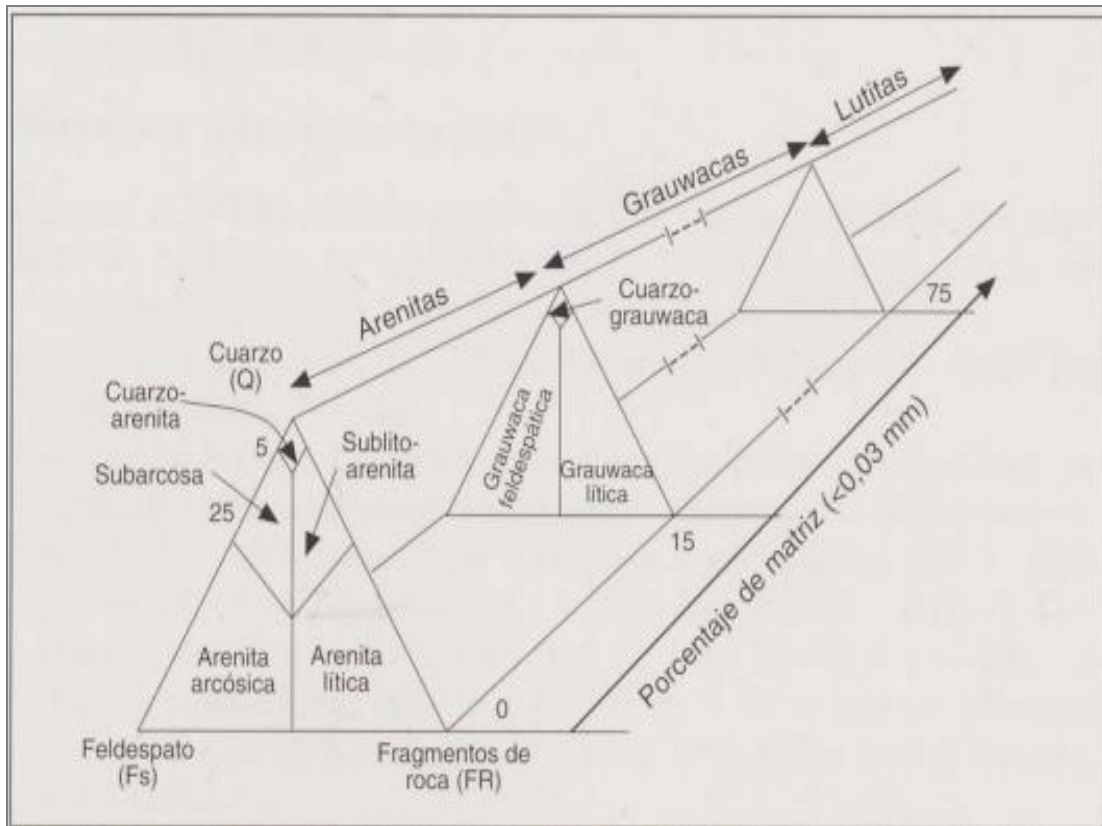


$A \text{ total} = b * h$

$A \text{ porosa} = A \text{ total} - \sum A \text{ ocupadas por partículas}$

$I_p = \frac{\sum A \text{ ocupadas por partículas}}{A \text{ total}}$

Clasificación de las rocas detríticas propuesta por Pettijhon et al (1987) modificando la propuesta original de Dott (1964). (Para el gráfico 5).



(Figura 21).

CONCLUSIONES

- ❖ Se conforma la guía para las prácticas de las asignaturas de petrología del plan de estudio D, de la carrera de geología, se expone la demostración práctica de las herramientas que brinda el software ScopePhoto 2.0 con vista a la estimación cuantitativa de granos minerales y sus respectivos porcentajes para su identificación.

- ❖ Se estableció la cantidad adecuada de imágenes durante el procesamiento de las muestras en secciones delgadas, dando como promedio de 15 fotos representativas para cada muestra, para un tiempo de análisis de imágenes de 1 hora.

- ❖ Se realizó el análisis cuantitativo para los granos minerales con sus respectivos porcentajes, analizando su tamaño, forma y textura de los mismos.

RECOMENDACIONES

- ❖ Desarrollar esta guía de estudio con más profundidad para las rocas metamórficas.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos en esta investigación con otras técnicas. para su perfeccionamiento.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ÁLVAREZ K. (1996). Caracterización genética de propiedades de porosidad y Permeabilidad en facies fluvio- deltáicas. T.E.G. UCV, p.269.

AZUAJE E. (2006). Guía de Yacimientos I. Capítulos I y II, Escuela de Petróleo UCV. Caracas-Venezuela.

BARRIOS A. y LOZANO A. (2004). Estudio de procedencia y grado diagenético de los sedimentos en las Formaciones Carbonera, Lagunillas e Isnotú, ubicadas en la Cuenca de Maracaibo , T.E.G. UCV, p. 469-487.

BOGG, S. (1992). Petrology of Sedimentary rock. Macmillan Publishing Company. Chapter 2. Sedimentary Textures. N.Y 707p.

CARDOZO L. (1996). Procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo y su relación con la Tectónica Caribe . T.E.G. UCV, p.261.

CRAFT, B. y HAWKINS M. (1977). Ingeniería aplicada de yacimientos petrolífero Editorial Tecnos. Madrid-España, p. 556.

ESCANDÓN G, y MORENO M. (1998). Modelo Estocástico y sedimentológico de las Formaciones Eocenas Del Campo Barúa . T.E.G. UCV, p.177.

FLORES J., y MÉNDEZ A. (2005). Correlación Estratigráfica y Geocronológica de las Quebradas Hoyos y Vichú por el Método de Huellas de Fisión, Fm. Betijoque Edo. Trujillo, T.E.G. UCV, p. 86-104.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. AZORENA y X. C. PICARD (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas, Foninves, Caracas, 1031 pp.

HAYES, J. (1979). Sandstone Diagenesis- The hole truth . S.E.P.M., Spec, PubNº26, p. 127-139.

HIGGINS, M. (2000). Measurement of crystal size distributions . American Mineralogist, Sciences de la Terre, Université du Québecà Chicoutimi, Canadá Volumen 85, p. 1105–1116.

LAMBE T. y WHITMAN R. (1972). Mecánica de suelos. Limusa Wiley. México p.582.

LUNDY C. (2000). Statistical validation of a numerical snow cover model and preliminary experimental results to facilitate model improvement . Thesis Master of Science in Civil. Montana State University Bozeman, Montana, p. 116.

MARTINEZ-ANGELES, R. (2002). Metodología de caracterización estática mediante tomografía de Rayos X. México, D.F., Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Informe de investigación, p. 103.

MIRANDA MA. E., OLESCHKO K, PARROT J. F, CASTREJÓN F., TAUD H. Y BRAMBILA F. (2006). Porosidad de los yacimientos naturalmente fracturados: una clasificación fractal. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol.23, Núm. 2, México D.F. p. 199-214.

NADEAU, P. H., y 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.

NORTH F. (1985). Petroleum Geology . Unwin HYMAN Boston, p. 631

PEÑA A. (1999). Interpretación sísmica 3D en el Domo Norte del Campo Motatán estados Zulia-Trujillo . U.C.V, T.E.G., p. 92.

PIRSON S. (1965). Geologic well log Analysis. Gulf Publishing Company, Houston, Texas, p.357.

PITTMAN, E. (1979). Porosity, Diagénesis and productive capability of sandston Reservoirs. S.E.P.M., Spec. Pub. N° 26, p. 159-173.

RIVERO C. (2003). Reinterpretación Petrofísica de las Arenas basales de la Fm. Paují y Misoa del Campo Barúa, Cuenca del Lago de Maracaibo Edo. Zulia. T.E.G UCV, p.217.

ROJAS M. (2002). Evaluación diagenética del miembro informal B-6-X de la Formación Misoa en el área de Cabimas-Punta Benítez, Cuenca de Maracaibo Zulia. U.C.V. T.E.G, p. 180.

SANCHEZ M. (1999). Estratigrafía Secuencial de las arenas C de la Forma Misoa Bloque VII del Lago de Maracaibo. U.C.V, T.E.G, 120p.

SANDOVAL M. (1987). Estudio Petrográfico Diagenético de la Formación Río Negro en la Subcuenca de Machiques y Cuenca del Lago de Maracaibo Edo. Zulia. ASCEN UCV, 137p.

SCHLUMBERGER (1984). Principios y Aplicaciones de la interpretación de registro, p. 210.

SCHMIDT, V. y Mc. DONALD, D. (1979). The role of secondary porosity sandstone. S.E.P.M., Spec. Pub. N° 26, p. 175-207 y p. 209-225.

SCHOLLE P. A. (1981). Constituents, Textures, Cements and porosities of Sandstone and Associated Rocks. 2^a Edition. AAPG, Tulsa 201p.

SELLEY R. (1976). An introduction to Sedimentology. Academic Press, p. 408.

VAN DEN BERG E., BENSE V., y 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.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS (INTERNET)

- ❖ `wec\MAC_FILE\SPANISH`.
- ❖ <http://www.autodesk.es/adsk/servlet/index?siteID=455755&id=6694085>
(Consulta Junio 2006).
- ❖ Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclaturas (2007). Léxico Estratigráfico de Venezuela. (L.E.V). PDVSA-Intevp.
- ❖ <http://www.pdv.com/lexico/camposp/cp031.htm> (Consulta Junio 2007).
- ❖ <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica /unidades/medidas/medidas.htm> (Consulta Febrero 2007).
- ❖ <http://iit.jalisco.gob.mx/glosario/e.html>. (Consulta Febrero 2007).
- ❖ Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclaturas (2007). Léxico Estratigráfico de Venezuela. Código Geológico-Posters. PDVSA-Intevp.
- ❖ <http://www.pdv.com/lexico/poster/tk9603.jpg> (Consulta Julio 2007).

