

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE LA COLECCIÓN DE
SECCIONES DELGADAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA MINERALOGÍA ÓPTICA

Juan José Cáceres Salazar y María Fernanda Delgado Rueda

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Carlos Alberto Ríos Reyes

PhD. Ciencias Aplicadas

Codirector

Eliana Rocío Jaramillo Pérez

M Sc. Ciencias Geológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2024

Dedicatorias

A mis increíbles padres, Eduardo y Nubia, esto es lo que tengo para entregarles después de tantos años de sacrificio. Papá, gracias por enseñarme la disciplina y que las recompensas del trabajo duro siempre van a valer la pena; mamá, a ti te debo la resiliencia y la fortaleza que he aprendido a tener para no darme por vencido incluso cuando tengo mi corazón herido. Le contaré a todo el mundo cada una de las mañanas que ustedes se levantaron cuando me escucharon despierto, para hacerme algo de comer o transportarme a la universidad, por hacerme la vida más fácil, los amo con todo mi corazón.

A mi gran hermano, Jorge, no habría podido lograr esto sin ti, has sido el apoyo más grande, estaré agradecido toda la vida contigo por tus palabras de aliento y tu confianza en que iba a lograrlo, incluso desde la distancia conseguiste mantenerte cerca, eres la inspiración más grande que tengo.

A mis hermosas pequeñas criaturas, Billy, Orión y Tigre, a quienes busco inmortalizar en este documento; ya sea en este plano astral o en otro, su compañía en las tardes de estrés y noches de desvelo en mi habitación, irradiando amor, me ayudó en mis momentos más grises a tranquilizarme.

A mis mejores amigas en el mundo, Paula, Gabriela e Isabella, siempre he dicho que llegamos a nuestras metas gracias a las personas que nos aman sin interés, y su amistad es una de las razones por las cuales he conseguido llegar hasta aquí, no se imaginan cuanto las quiero.

A mi amiga y compañera de tesis, Maria Fernanda, por cada día que llegaste del trabajo cansada a reunirme conmigo para concluir este documento, has sido la mejor compañera de proyecto de grado que alguien haya podido tener.

A toda mi familia, que me ha visto crecer a lo largo de todo este proceso, sé que todos han tenido únicamente buenos deseos para mí, me siento completamente orgulloso de llevar mis apellidos a donde quiera que vaya.

A los amigos y amigas que he sembrado desde mi infancia hasta mi adultez, y a aquellas amistades que se me han quedado a lo largo del camino también, su granito de arena en palabras reconfortantes y tiempo de calidad, siempre lo voy a llevar en el corazón.

A mis profesores y compañeros de clase, que conocí por mi paso en la escuela de geología UIS, el conocimiento que compartieron conmigo es totalmente invaluable y llevaré por siempre en mis recuerdos las risas y experiencias compartidas en cada una de las salidas de campo.

- Juan José Cáceres Salazar

A mis papás, por ser mi apoyo de manera incondicional, por creer en mí y dedicar diariamente su esfuerzo para que yo pudiera cumplir este sueño. Gracias por siempre enseñarme con el ejemplo que ante las adversidades hay que esforzarse más y seguir adelante. Mamá gracias por ser la personificación del amor; la paciencia y la fuerza.

A mi hermanito, Juanjo, porque desde que llegó a mi vida es una de mis principales motivaciones para hacer las cosas bien, por cada sonrisa y cada gesto de amor que me reconforta.

A Felipe, mi compañero en la vida, por ser luz en los momentos oscuros. Por su paciencia y amor incondicional que han sido cruciales para conseguir avanzar y cumplir este sueño.

Gracias por enseñarme siempre con paciencia.

A toda mi familia, mis tías, tíos y abuelos, por siempre estar pendientes de mi bienestar, por creer en mí, ayudarme y motivarme en cada momento. Por demostrarme que cada persona siempre tiene algo importante para aportar y que todos somos necesarios. Mi admiración y cariño para cada uno.

A Juan José, mi amigo y compañero de trabajo de grado, gracias por aceptar ser mi equipo en este trabajo tan importante para la vida profesional de cada uno y por ayudarme a cumplir mis sueños, entendiéndome y asumiendo el rol de los dos en algunos momentos.

A las amigas que me dejó la universidad Sara, Zaray y Gissell, por enseñarme que la amistad es sinónimo de apoyo, ánimo y cariño, porque hacen que cada día me sienta más orgullosa de ser mujer.

- Maria Fernanda Delgado Rueda

Agradecimientos

A nuestro director de tesis, el PhD. Carlos Alberto Ríos Reyes, por haber compartido todo su conocimiento en mineralogía óptica con nosotros, por el tiempo invertido para concluir el proyecto de la mejor manera, por la motivación a seguir adelante y las oportunidades brindadas para tener un acercamiento al trabajo que implica ser docente en un laboratorio.

A nuestra codirectora, la profesora M Sc. Eliana Rocío Jaramillo Pérez, por haberse embarcado en la realización de este trabajo, por todo el conocimiento y experiencia que compartió con nosotros, por la paciencia, la disposición y el cariño con el que nos guio, y principalmente por ayudarnos a distinguir una cara completamente nueva de lo que significó realizar este proyecto.

Al Laboratorio de Petrografía de la Escuela de Geología UIS, por permitirnos hacer uso de los mejores equipos disponibles, por estar pendientes y al servicio de las necesidades que se nos presentaron y por permitirnos tener un acercamiento a nuestros compañeros y estudiantes, para conocerlos y brindarles un buen material de desarrollo.

Al Laboratorio de Microscopía y al Laboratorio de Preparación de Secciones Delgadas de la Universidad Industrial de Santander – Sede Guatiguará, por su disponibilidad y acogernos en sus instalaciones todo el tiempo que necesitamos para hacer uso de sus espacios, por brindarnos su ayuda, conocimiento y calidad humana cada vez que lo necesitamos.

Finalmente, a cada profesor y laboratorista de la UIS que, con sus consejos, ayuda, paciencia y conocimiento, nos impulsaron a la conclusión y presentación de este documento.

- Maria Fernanda Delgado Rueda y Juan José Cáceres Salazar

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos.....	18
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
2. Antecedentes	19
2.1 Colecciones geológicas.....	19
2.2 Gestión de colecciones en sección delgada de la Escuela de Geología UIS: estado actual	19
3. Metodología	21
4. Desarrollo del Plan de Gestión	24
4.1 Inicio: Revisión bibliográfica y comprensión del estado actual	24
4.2 Planificación	25
4.2.1 Definición de los criterios para la selección	26
4.2.2 Selección.....	26
4.2.3 Marcado y etiquetado.....	27
4.2.4 Definición de criterios de catalogación.....	28
4.2.5 Definición del diseño de los productos.....	29
4.2.5.1 Definición del diseño del Manual de Prácticas.....	30
4.2.5.2 Plan para el Desarrollo del Catálogo Digital de Secciones Delgadas.....	30
4.2.5.3 Diseño para la formulación de Flujos y Formatos Operativos para la Gestión de Muestras en el Laboratorio de Mineralogía Óptica	30

4.2.5.4	Definición de Estrategias de divulgación y capacitación del Plan de Gestión	31
4.3	Ejecución.....	31
4.3.1	Desarrollo del Manual de Prácticas	32
4.3.1.1	Laboratorios.....	32
4.3.1.3	Referencias.....	33
4.3.1.4	Ilustración del Manual	35
4.3.1.5	Microfotografías y videos ilustrativos.....	38
4.3.1.6	Elaboración Listado de secciones sugeridas para el desarrollo de cada práctica (Anexo 4 del Manual de Prácticas).....	40
4.3.2	Consolidación del Catálogo Digital	40
4.3.2.1	Revisión petrográfica y registro en base de datos.....	40
4.3.2.2	Levantamiento de microfotografías	43
4.3.3	Elaboración de Flujos y Formatos Operativos en el laboratorio.....	44
4.3.3.1	Revisión de protocolos operativos actuales	44
4.3.3.2	Desarrollo y formulación de Flujos y Formatos operativos.....	45
4.3.4	Estrategias de divulgación	46
4.4	Monitoreo y control	49
4.4.1	Sesión de Divulgación y Socialización a la Comunidad Académica	50
5.	Cierre y Resultados.....	51
5.1	Resultados de la Sesión de Divulgación y Socialización a la comunidad Académica	51
5.2	Manual de Prácticas de laboratorio.....	54
5.2.1	Contenido y estructura del Manual de Prácticas de laboratorio	54

5.2.1.1	Laboratorio 1 - El microscopio de luz transmitida	54
5.2.1.2	Laboratorio 2 - Preparación de secciones delgadas	55
5.2.1.3	Laboratorio 3 – Introducción a conceptos teóricos sobre la luz y sus interacciones en el microscopio.....	55
5.2.1.4	Laboratorio 4 - Descripción sistemática de minerales en sección delgada con luz polarizada plana (LPP).....	56
5.2.1.5	Laboratorio 5 - Descripción sistemática de minerales en sección delgada con luz polarizada cruzada (LPX.....	59
5.2.1.6	Laboratorio 6 - Determinación del carácter y signo óptico de un mineral	62
5.2.1.7	Laboratorio 7 - Propiedades ópticas generales de los feldespatos	65
5.2.1.8	Laboratorio 8 - Propiedades ópticas generales del Olivino, Piroxeno y Anfíbol.	66
5.2.1.9	Laboratorio 9 - Propiedades ópticas generales de las Micas (Biotita y Moscovita) y Clorita	69
5.2.1.10	Laboratorio 10 - Propiedades ópticas generales de los Carbonatos.....	70
5.2.1.11	Laboratorio 11 - Descripción de minerales en sección delgada haciendo uso de un Software Interactivo.....	72
5.2.2	Evaluación e Impacto del Manual de Prácticas de laboratorio en la asignatura Mineralogía Óptica.	73
5.3	Catálogo Digital	73
5.3.1	Contenido y estructura del Catálogo Digital.....	74
5.4	Flujos y Formatos Operativos de la colección de Mineralogía óptica.....	77
5.4.1	Contenido y Estructura de los Flujos y Formatos Operativos	77
5.4.1	Evaluación e Impacto de los Flujos y Formatos Operativos de Laboratorio	79

Conclusiones	82
Referencias Bibliográficas	84

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Categorías de la representatividad de las muestras</i>	29
Tabla 2 <i>Referencias utilizadas en la construcción de cada una de las prácticas de laboratorio</i>	33

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Estado actual del repositorio</i>	21
Figura 2 <i>Metodología del Plan de Gestión de la Colección de Secciones Delgadas de Mineralogía Óptica</i>	22
Figura 3 <i>Secciones delgadas del repositorio de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander</i>	25
Figura 4 <i>Fase de selección</i>	27
Figura 5 <i>Marcado y etiquetado de las secciones delgadas</i>	28
Figura 6 <i>Imágenes modificadas para los laboratorios 1, 2 y 3</i>	36
Figura 7 <i>Figuras modificadas de las propiedades en LPP, LPX y figuras de Interferencia para los Laboratorios 4, 5 y 6</i>	37
Figura 8 <i>Figuras modificadas para determinar la composición de las plagioclasas, laboratorio 7</i>	38
Figura 9 <i>Levantamiento de las microfotografías y edición de estas para apoyar la información de los laboratorios</i>	39

Figura 10 <i>Ventana de contenido del canal de YouTube LABORATORIO DE PETROGRAFÍA UIS</i>	39
Figura 11 <i>Diagramas de clasificación para rocas ígneas y sedimentarias</i>	42
Figura 12 <i>Microscopio binocular de polarización marca Nikon - modelo ECLIPSE 50i POL ...</i>	44
Figura 13 <i>Formato para la recepción de muestras de la Litoteca Nacional Tierra de Paz - SGC</i>	46
Figura 14 <i>Difusión del flyer para la socialización de los productos</i>	47
Figura 15 <i>Formulario para la recolección de sugerencias durante el evento de divulgación</i>	49
Figura 16 <i>Sesión de Divulgación: capturas de pantalla</i>	50
Figura 17 <i>Resultados del formulario de sugerencias</i>	53
Figura 18 <i>Movimiento de la línea de Becke hacía el mineral</i>	56
Figura 19 <i>Microfotografías de las propiedades en LPP</i>	58
Figura 20 <i>Microfotografías para ilustrar las propiedades ópticas en LPX en el laboratorio 5 ..</i>	61
Figura 21 <i>Microfotografías de las figuras de interferencia</i>	64
Figura 22 <i>Feldespatos Plagioclasa y Alcalinos</i>	66
Figura 23 <i>Cristales de Olivino, Clinopiroxeno y Anfíboles</i>	68
Figura 24 <i>Cristales de micas (Biotita y Moscovita) y Clorita</i>	70
Figura 25 <i>Cristales de Carbonato</i>	72
Figura 26 <i>Catálogo Digital</i>	76
Figura 27 <i>Formatos Operativos</i>	80
Figura 28 <i>Flujos Operativos</i>	81

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Manual de Prácticas de Laboratorio

Apéndice B. Catálogo Digital

Apéndice C. Flujos y Formatos Operativos

Apéndice D. Vídeo sesión de Divulgación

Glosario

Catálogo digital: es una selección organizada de información virtual que busca mostrar los elementos de una colección incluyendo detalles o información relevante, se utiliza principalmente como una referencia visual.

Colección científica: conjunto de muestras reunidas y organizadas con el objetivo de ser estudiadas.

Luz transmitida: hace referencia a la luz que pasa a través de un cuerpo semi-opaco, cuando entre la fuente de luz y el observador se ubica el cuerpo a analizar.

Manual de laboratorio: es un documento que reúne las prácticas, demostraciones y protocolos para el desarrollo de estas.

Microscopio petrográfico: el microscopio es un instrumento que permite observar objetos en escala micro, en particular el microscopio petrográfico se diferencia de otros microscopios porque cuenta con algunos accesorios específicos como placas compensadoras y lente de Bertrand, adicionalmente tiene un sistema de polarización de la luz incorporado y una platina para las muestras giratoria.

Mineral: sustancia sólida inorgánica natural con estructura química definida.

Mineralogía: es una ciencia que se enfoca en el estudio de los minerales, sus propiedades y estructura físicas y químicas.

Petrografía: hace referencia al estudio de las rocas y minerales (observación y clasificación) en escala microscópica haciendo uso de secciones delgadas.

Plan de gestión: un plan de gestión de una colección científica es un documento que reúne las directrices para organizar y administrar los recursos que hacen parte de la colección garantizando su aprovechamiento y preservación.

Propiedades ópticas: son las propiedades que se reflejan luego de la interacción de un mineral/roca con la luz visible.

Sección delgada: producto de una preparación que se realiza a una roca en la que se consigue tener un corte generalmente de un espesor aproximado de 30um sobre un vidrio porta muestras, estas se realizan con el objetivo de analizar las propiedades ópticas de los minerales en escala micro.

Resumen

Título: Diseño e implementación del plan de gestión de la colección de secciones delgadas para la enseñanza de la mineralogía óptica*

Autor: Juan José Cáceres Salazar, Maria Fernanda Delgado Rueda**

Palabras Clave: mineralogía óptica, secciones delgadas, plan de gestión, manual de laboratorio, catálogo digital.

Descripción: El desarrollo del proyecto de creación del plan de gestión de la colección de mineralogía óptica adquiere relevancia gracias a la necesidad de optimizar el aprovechamiento del material disponible en el repositorio de secciones delgadas de la Escuela de Geología – UIS y de proporcionar una noción de este mismo a estudiantes y docentes que se están familiarizando con la asignatura. Como parte de la pasantía de investigación, se llevó a cabo un acercamiento al desarrollo de la asignatura, participando como auxiliares durante las prácticas de laboratorio, experiencia que contribuyó, junto con el apoyo de los docentes, a la preparación y selección del material; de esta manera se realizó el planteamiento de los laboratorios, que constituye el eje central de este proceso de organización. Las etapas del proyecto abarcaron desde la evaluación del estado del material en uso para las prácticas de la asignatura, la revisión del material disponible en el repositorio (que no se utiliza actualmente), la selección de los ejemplares que mejor representen las características de los laboratorios planteados y la preparación de los entregables. Los productos de esta pasantía de investigación son: los Flujos y Formatos Operativos, en los que se establecen las nociones básicas para el correcto uso de los ejemplares y que además contiene una serie de procedimientos que aseguran el desarrollo y crecimiento constante de la colección; un Manual de Laboratorio, en el que se presentan las prácticas planteadas junto con información teórica básica que sirve como apoyo durante las horas de trabajo en el laboratorio para los estudiantes; y un catálogo digital con fotografías que contiene material tomado de las muestras de la colección mineralógica, ilustrando las propiedades a estudiar.

* Trabajo de Grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Geología. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes. PhD. Ciencias Aplicadas. Codirector: Eliana Rocío Jaramillo Pérez. M Sc. Ciencias Geológicas.

Abstract

Title: Design and implementation of the management plan of the thin section collection for teaching about optical mineralogy*

Author(s): Juan José Cáceres Salazar, Maria Fernanda Delgado Rueda**

Key Words: optical mineralogy, thin sections, management plan, laboratory manual, digital catalog.

Description: The project development for the optical mineralogy collection management plan's creation, have relevancy because the necessity of optimize the utilization to the material available in the Geology school UIS' repository of thin sections and provide a notion of itself to students and professors that are new to the subject. As part of the investigation internship, it was carried out an approach to the subject's development, participating as auxiliaries during the laboratory's practices, experience that contributed, along with professors' help, to prepare and select the material; in this way we could made an approach to the laboratory's practices, same one that constitutes the central axis of this organization project. The project's stages covered the evaluation of the material's status in use for the subject's practices, a revision of the material available in the repository (that's not being used at the moment), the selection of the samples that represent the most the characteristics of the laboratories proposed and the preparation of this thesis' products. This investigation internship's products are: operational flows and formats, which include the basic notions to the correct use of the samples and additionally contain a procedures' serie that ensure the utilization and constant growth of the collection; a laboratory's manual, which present the practices proposed along with basic theory that helps as information support during worktime in the laboratory to the students; and a digital catalog with pictures that contains photos and videos of the samples of the mineralogy collection, that illustrate the properties to study.

* Degree Work

** Universidad Industrial de Santander. Physicochemical Engineering Faculty. Geology School. Geology. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes. PhD. Applied Sciences. Co-director: Eliana Rocío Jaramillo Pérez. M Sc. Geological Sciences.

Introducción

La Mineralogía Óptica, se enfoca en determinar, mediante las propiedades ópticas, los minerales formadores de rocas o yacimientos minerales (Castellanos & López, 2020), siendo un elemento crucial en la investigación geológica al explorar la composición mineralógica, y su relación con elementos texturales y estructurales entre los componentes minerales de las rocas, aportando información sobre las condiciones geológicas de su formación (Cepeda-Dávila, s.f., como se citó en Castellanos & López, 2020).

La gestión de colecciones comprende dos componentes: la muestra física, es decir la sección delgada, y toda la información geológica asociada a la muestra, que corresponde al componente digital. Estos elementos son de suma importancia, y su preservación y manejo implica el seguimiento de un plan de gestión adecuado que permita el aseguramiento de la muestra, así como el manejo de la información asociada a la misma (Jerez y Suárez, 2023). La gestión integral de colecciones de secciones delgadas representa un compromiso con la conservación y comprensión de la historia geológica de estos materiales que conforman el patrimonio geológico del territorio (Cadena, 2022). La rigurosa catalogación y el adecuado almacenamiento aseguran que estas piezas microscópicas estén disponibles para las generaciones futuras de investigadores y estudiantes. Estas colecciones sirven como archivos dinámicos que permiten la revisión, comparación y análisis recurrente de las mismas con el paso del tiempo, proporcionando valiosos recursos educativos que enriquecen la comprensión de la mineralogía y su aplicación en contextos geológicos específicos (Peluso et al., 2016 como se citó en Jerez y Suarez, 2023).

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un plan de gestión que comprenda las directrices operativas y técnicas para el manejo de colecciones de secciones delgadas, el

desarrollo y aseguramiento del Catálogo Digital asociado a las colecciones, junto con la elaboración del Manual para el desarrollo de prácticas de laboratorio de Mineralogía Óptica. De esta forma se busca integrar, el modelo pedagógico, a través de la enseñanza de habilidades técnicas para el estudio petrográfico, la conservación del patrimonio geológico, mediante la preservación y aseguramiento de las muestras como activo físico, y la información digital asociada correspondiente al catálogo digital.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar el plan de gestión para la colección de secciones delgadas destinada a la enseñanza de mineralogía óptica del programa de Geología de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de garantizar su conservación, accesibilidad y uso efectivo.

1.2 Objetivos específicos

Proponer y diseñar un manual de prácticas de laboratorio de mineralogía óptica que sirva como material de apoyo para docentes y estudiantes, y que garantice el uso adecuado de la colección de mineralogía óptica (mineralogía II, en el plan de estudios del pregrado en geología de la Universidad Industrial de Santander).

Elaborar un catálogo digital con microfotografías de las secciones delgadas seleccionadas para conformar la colección, que ilustre un ejemplo del contenido de la respectiva sección y suministre información como código de referencia, tipo de roca, nombre, minerales asociados, alteraciones, propiedades, localización y recolector.

Formular los flujos y formatos de operación para servicios de ingreso, salida, y préstamo de muestras de la colección del laboratorio de Mineralogía óptica, priorizando criterios de preservación, organización, accesibilidad y desarrollo continuo.

Divulgar a través de sesiones de socialización y capacitación la información concerniente a la gestión y uso adecuado de la colección de mineralogía óptica, involucrando a todos los interesados.

2. Antecedentes

2.1 Colecciones geológicas

La Universidad Industrial de Santander cuenta con diferentes colecciones científicas que empezaron a desarrollarse con la fundación del Museo de Historia Natural en 1967 (Colecciones. Museo de Historia Natural, 2018). A la fecha la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander cuenta con una litoteca ubicada en la facultad de ingenierías fisicoquímicas, Jorge Bautista Vesga, donde se conservan muestras de roca, núcleos y ripios de perforación para proyectos de investigación minera, petrolera, hidrogeológica, entre otras, que contribuyen al desarrollo de la geología en el país. El objetivo es facilitar el acceso a materiales geológicos para la investigación académica y científica para la comunidad universitaria, contribuyendo al desarrollo del programa de la Escuela de Geología. Actualmente, La Escuela adelanta procesos de aseguramiento y catalogación para las siguientes colecciones: Colección de minerales, Colección geológica de fósiles, Colección de yacimientos minerales, Colección de rocas ígneas y Colección de rocas sedimentarias. Dentro del conjunto de colecciones geológicas de la Escuela de Geología – UIS, el número real de ejemplares se desconoce debido a la variabilidad y aumento constante de la recolección periódica de especímenes en trabajos de campo, preparación de secciones delgadas para trabajos de grado, proyectos de investigación y otras actividades académicas de las asignaturas que hacen parte del programa, evidenciando la necesidad y urgencia de la implementación de un plan para su gestión y administración.

2.2 Gestión de colecciones en sección delgada de la Escuela de Geología UIS: estado actual

Las secciones delgadas son láminas de materiales geológicos (principalmente rocas o minerales) de en promedio 30 μm de espesor que se utilizan para determinar y describir minerales según sus características ópticas (Eberspächer et al., 2015), su importancia en el desarrollo de

investigaciones radica en que permiten determinar rasgos microestructurales y texturales (Eberspächer et al., 2015).

En la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander se encuentra el laboratorio de petrografía, que tiene como objetivo principal poner a disposición de la comunidad académica los microscopios petrográficos con el fin de adquirir y desarrollar conocimientos en Microscopía y Petrología (Escuela de Geología, 2022), “El laboratorio cuenta con colecciones de secciones delgadas para el estudio de diferentes fenómenos y particularidades de cada grupo de rocas” (Universidad Industrial de Santander, 2024), sin embargo, estas colecciones no han sido gestionadas, es decir, no presentan una organización que garantice su correcto aseguramiento y manejo.

A partir de un conteo preliminar de las secciones disponibles para el estudio de la asignatura, se estableció un número de 293 secciones delgadas, algunas de las cuales están clasificadas de acuerdo con el tipo de roca o mineral y otras sin una clasificación específica. En la Figura 1 se muestran algunas de las cajas donde se almacenan actualmente las secciones en uso para el desarrollo de la asignatura.

Figura 1

Estado actual del repositorio



Nota. Vista al estado actual de la organización de las secciones delgadas de la Escuela de Geología – UIS, (A) y (B) muestra la mitad de las secciones en uso para el desarrollo de laboratorios de la asignatura mineralogía óptica (mineralogía II). (C) muestra algunas secciones almacenadas.

3. Metodología

La metodología para el desarrollo del proyecto toma como base los dominios de desempeño de proyectos y los grupos de procesos presentados en la guía del PMBOOK por el Project Management Institute (PMI). Los grupos de procesos contemplados son; inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre (PMI, 2000, 2021). La correcta definición, entendimiento y aplicación de cada uno estos procesos, garantiza la culminación de cada una de las actividades previstas y por lo tanto el alcance planteado.

La planificación es el dominio encargado de la elaboración, coordinación y organización de las actividades a lo largo de todo el proyecto, por lo tanto, se usa como eje central de la metodología de este trabajo y permite establecer la ruta a seguir (PMI, 2021). La gestión de las fases metodológicas se adapta al modelo del ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) que es una estrategia interactiva de resolución de problemas para mejorar procesos e implementar cambios. El ciclo PHVA es un método de mejoras continuas, que busca mejorar los procesos e iteraciones (Martins, 2024).

Basados en estos modelos se estableció un plan de proyecto enfocado en una metodología por fases que se describen a continuación (Figura 2):

Figura 2

Metodología del Plan de Gestión de la Colección de Secciones Delgadas de Mineralogía Óptica



Nota. Figura de elaboración propia para representar la metodología de este proyecto haciendo uso de los grupos de procesos presentados en la guía del PMBOOK (PMI, 2000, 2021).

- Inicio: Revisión de la bibliografía, evaluación preliminar del material disponible, e identificación de los procesos actuales de gestión de estos recursos. Establecimiento del alcance del proyecto con base en el estado actual del material y los requerimientos para el desarrollo e implementación de un plan de gestión que se ajuste a las necesidades operativas del laboratorio y al modelo pedagógico de la asignatura de mineralogía óptica (mineralogía II) de la Escuela de Geología – UIS.
- Planificación: Definición de los criterios para la selección (estado de preservación y competencia mineral), y criterios de clasificación (representatividad). Selección del material de la colección a partir de criterios definidos previamente. Preparación del material seleccionado, a través del registro e identificación de las muestras. Definición de criterios de representatividad de las muestras. Definición y diseño de los productos requeridos para el desarrollo del plan de gestión.
- Ejecución: Desarrollo de los productos: elaboración del Manual de Prácticas, consolidación del Catálogo Digital, formulación de los Flujos y formatos de operación para la gestión y administración del material, y desarrollo de las estrategias de divulgación de los productos.
- Monitoreo y control: Revisión de los productos por parte de los docentes encargados, y divulgación a la comunidad académica.
- Cierre y Resultados: Optimización y ajustes de procesos posteriores a la etapa de divulgación, Evaluación de la implementación del plan. Impacto en la comunidad académica y en el desarrollo de la asignatura de Mineralogía óptica. Sugerencias para la gestión en el futuro.

4. Desarrollo del Plan de Gestión

Con base en la metodología establecida se llevaron a cabo las siguientes actividades:

4.1 Inicio: Revisión bibliográfica y comprensión del estado actual

Con el objetivo de entender en qué estado se encontraban las secciones delgadas en uso para el desarrollo de las prácticas de laboratorio de la asignatura de mineralogía óptica (mineralogía II), se consultó a los docentes encargados de impartir estas prácticas y se encontró un aproximado de 293 secciones delgadas (se pueden observar algunas en la Figura 3), de las cuales 86 no se encontraban marcadas con un código consecutivo que permitiera su fácil acceso, por lo que para facilitar la revisión se les asignó un nuevo rotulo con el código consecutivo MOPT – XX, iniciales que hacen referencia al termino Mineralogía Óptica (dichas secciones se organizaron durante la revisión pero no fueron seleccionadas para hacer parte de la colección puesto que no cumplieron con los criterios consignados en la sección 4.2.1).

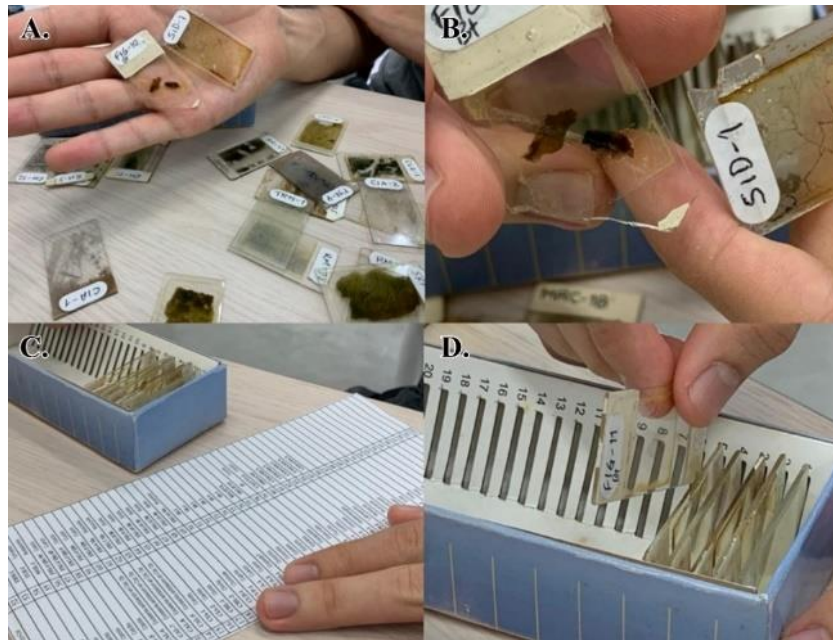
Como protocolos para la gestión, se pudo determinar que el préstamo de secciones solo se lleva a cabo a docentes de la asignatura y los encargados de estos procedimientos son los auxiliares administrativos, quienes además cuentan con un formato/planilla en el que registran todos los materiales de los que están a cargo.

4.2.1 Definición de los criterios para la selección

Con base en la revisión y basados en las necesidades y los requerimientos del material a utilizar, se estableció el principal criterio para la selección del material; el estado de conservación y/o preservación de las secciones delgadas, es decir, que se descartaron las muestras que a través de una inspección visual y física presentaron marcas sobre el área de la roca o mineral, fracturas o grietas tanto en el vidrio porta muestras como en el cubreobjetos, o que tenían el cubreobjetos suelto. A continuación, el segundo criterio para la selección del material se denominó competencia mineral y hace referencia a la idoneidad de las secciones para ejemplificar las características ópticas, por ejemplo, se descartaron las muestras que presentan tamaños de grano muy fino.

4.2.2 Selección

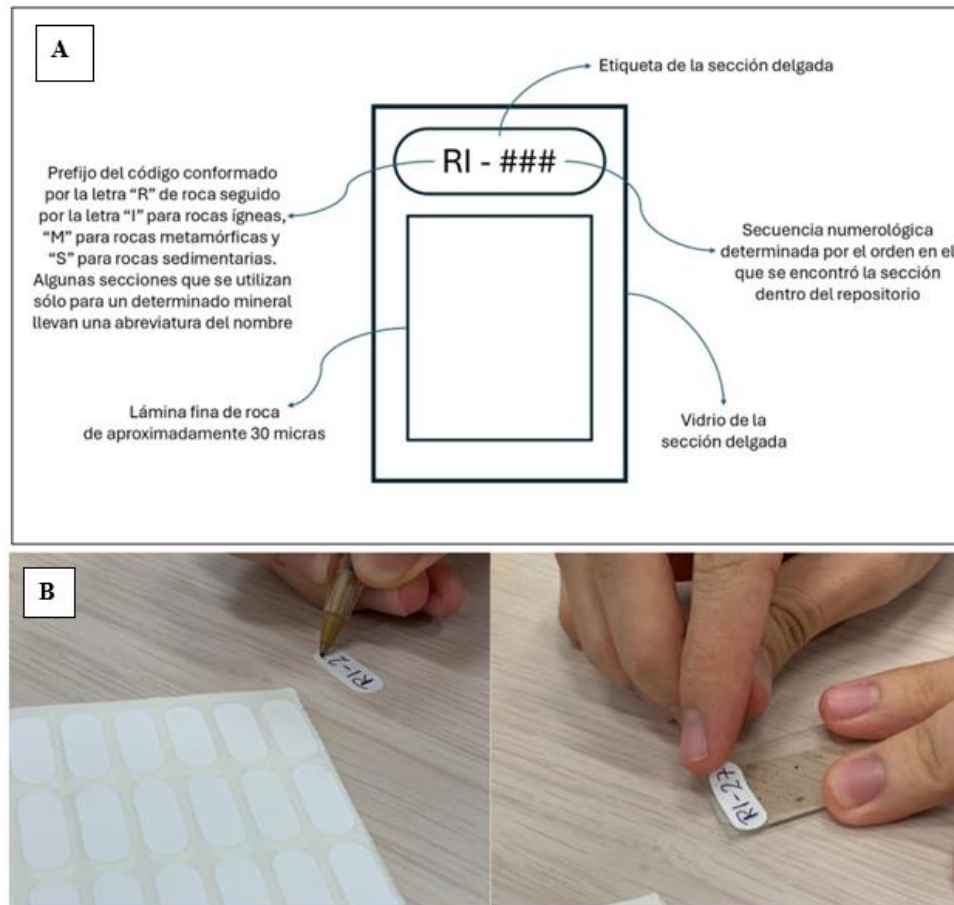
A partir de la revisión preliminar de las muestras, se pudo estimar que de las 293 secciones disponibles aproximadamente un 15% no cumplían con los criterios definidos para selección. Dentro de estas se encontraron laminas partidas, con el cubreobjetos despegado, y algunas contaminadas por insectos. (Figura 4, A y B). Posteriormente, en el 85% restante que, si cumplió, se llevó una segunda revisión para determinar competencia mineral, y finalmente, de estas se escogieron 88 secciones para el desarrollo del proyecto, que equivalen al 30% del total (Figura 4, C y D).

Figura 4*Fase de selección*

Nota. A. y B. *Secciones delgadas en mal estado de conservación.* C. y D. *Secciones delgadas seleccionadas para ejemplificar las características de las prácticas de laboratorio planteadas*

4.2.3 Marcado y etiquetado

Después de tener seleccionado el material, a cada una de las secciones delgadas se le asignó una pequeña etiqueta con un código de identificación (Figura 5B) según el tipo de roca o mineral que se quiere resaltar. Se denominaron los términos RI para rocas ígneas, RM para rocas metamórficas, RS para rocas sedimentarias, IR para las secciones preparadas específicamente para índice de refracción, y para las secciones de algún mineral en específico se utilizó una abreviatura del mineral (Figura 5A).

Figura 5*Marcado y etiquetado de las secciones delgadas***4.2.4 Definición de criterios de catalogación**

En esta fase el material seleccionado fue catalogado, para lo cual era necesario en principio definir los criterios para la clasificación. Las muestras fueron revisadas y se clasificaron de acuerdo con su representatividad, este es un criterio que nos permitió entender y transmitir la importancia de una sección delgada dentro de esta colección. Las categorías se presentan en la Tabla 1.

Las secciones delgadas con representatividad "1" hacen referencia a muestras de roca cuya composición mineral no es muy variable, presentan los mismos minerales en gran proporción a lo largo de toda la lámina, y en caso de ser necesaria su reposición, el espécimen puede ser obtenido nuevamente o alguno similar. La representatividad "2" fue asignada a secciones delgadas para

muestras de roca con una buena variación mineral y que, al mismo tiempo, un ejemplar como este, puede conseguirse nuevamente. Algunos ejemplos para la representatividad 1 y 2 pueden ser muestras de roca obtenidas de afloramientos como El Granito de Pescadero o Los Esquistos del Silgará ubicados en Santander, Colombia. Para los casos de representatividad “3” se tuvo en cuenta las secciones delgadas con una buena variación mineral, y que, en comparación con los ejemplos anteriores, las rocas utilizadas para la preparación de estas secciones no es viable conseguir las de nuevo. Finalmente, a los ejemplares asignados la representatividad “4” hacen referencia a muestras con minerales poco comunes y que no son fáciles de encontrar en la sección, y junto con esto, secciones obtenidas de rocas que no son posible conseguir nuevamente. Un ejemplo para la representatividad 3 y 4 son muestras de mano internacionales.

Tabla 1

Categorías de la representatividad de las muestras

Categoría de representatividad	Descripción
1	Poca distribución de los minerales de interés y muestra fácil de reemplazar.
2	Buena distribución de los minerales de interés y muestra fácil de reemplazar.
3	Poca distribución de los minerales de interés y muestra difícil de reemplazar.
4	Buena distribución de los minerales de interés y muestra difícil de reemplazar.

4.2.5 Definición del diseño de los productos

De acuerdo con los requerimientos del plan de gestión, se definieron los siguientes productos: Manual de prácticas de laboratorio, Catálogo digital, Flujos y Procedimientos operativos estandarizados y las Estrategias de divulgación.

4.2.5.1 Definición del diseño del Manual de Prácticas. Se contempló como un documento integral que incluye las prácticas y los procesos asociados a cada una, diseñado para complementar la enseñanza de la asignatura de Mineralogía Óptica. Para el diseño del Manual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Revisión de Literatura en libros de texto, artículos científicos y otros manuales de prácticas existentes.
- Se planteó una estructura que incluyera secciones como introducción, conceptos teóricos esenciales (con cita y referencia bibliográfica), procedimientos de laboratorio o prácticas, y recursos adicionales (guías e insumos para el desarrollo de las descripciones).
- Se propuso un formato claro, accesible y visualmente atractivo, incluyendo figuras, diagramas, fotografías y videos.

4.2.5.2 Plan para el Desarrollo del Catálogo Digital de Secciones Delgadas. Se planteó la elaboración de una base de datos digital que incluye la información detallada y microfotografías de todas las muestras de la colección, esto con el objetivo de facilitar el acceso y la consulta de las muestras para los estudiantes e investigadores. La consolidación del Catálogo Digital consistió en llevar a cabo la revisión petrográfica y el registro en una base de datos de la información concerniente al código de la muestra, litología (tipo y nombre de roca), los minerales presentes, rasgos texturales y estructurales principales, propiedades ópticas destacadas, representatividad, observaciones adicionales (p.e., localización y recolector) y microfotografías.

4.2.5.3 Diseño para la formulación de Flujos y Formatos Operativos para la Gestión de

Muestras en el Laboratorio de Mineralogía Óptica. Corresponden con los

documentos estandarizados que detallan los procedimientos para el ingreso, registro, almacenamiento, préstamo, salida y manipulación de muestras. Además de estandarizar, se optimizaron los procesos de gestión operativos de las muestras geológicas en el laboratorio de Mineralogía Óptica. Para su desarrollo inicialmente se tuvo en cuenta las prácticas operativas anteriores (Sección 4.1), y luego se desarrollaron flujos, procedimientos y formatos de operación basados en las necesidades evidenciadas a lo largo de la experiencia como auxiliares de la asignatura; se identificó la necesidad de implementar directrices sobre la manipulación de las secciones delgadas y su almacenamiento, además de diseñar un procedimiento a seguir cuando una sección se daña definitivamente y además de abrir la colección para permitir a toda la comunidad universitaria usarla de manera responsable. Se sugiere que este producto se implemente en conjunto con el personal encargado del laboratorio de manera que sea posible garantizar una mejora en la trazabilidad y control de las muestras.

4.2.5.4 Definición de Estrategias de divulgación y capacitación del Plan de Gestión. Con el objetivo de diseñar y ejecutar un conjunto de acciones que contribuyan con la comunicación efectiva y amplia del contenido y resultados del Plan de gestión, se plantearon una serie de estrategias que fueron perfeccionándose o adaptándose en la fase de ejecución del proyecto: Seminarios, Talleres Prácticos, Divulgación del material en medios de comunicación.

4.3 Ejecución

A continuación, se describe de forma detallada el proceso de ejecución de cada producto, describiendo, los criterios empleados para la construcción, las referencias bibliográficas empleadas para el marco teórico, y las herramientas visuales utilizadas. El contenido detallado de cada producto es descrito en el capítulo de Resultados.

4.3.1 *Desarrollo del Manual de Prácticas*

4.3.1.1 Laboratorios. La descripción detallada del contenido del Manual se encuentra consignada en el capítulo de Resultados (Sección 5.2). Aquí se presentan los procesos para la elaboración discriminados en cuatro etapas:

4.3.1.2 Temáticas. La definición de las temáticas de cada practica de laboratorio se llevó a cabo partiendo de él orden actual en el que se imparte el contenido teórico de la asignatura (información suministrada por los docentes) y referencias bibliográficas de textos de guía de mineralogía óptica; *Introduction to Optical Mineralogy* (Nesse, 2003) & *Transmitted Light Microscopy of Rock-Forming Minerals* (Schmidt, 2023), en estos los temas se distribuyen iniciando por conceptos básicos sobre la luz, la interacción de esta en el microscopio y los fenómenos que se pueden observar, luego continúan con las características ópticas y finalizan con la presentación de grupos minerales (Nesse, 2003), de esta manera y añadiendo un laboratorio en el que se busca implementar el uso de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) mediante el uso de un software, se eligieron las temáticas para las 11 prácticas de laboratorio, se determinó plantear estas 11 practicas, debido a que generalmente el semestre cuenta en promedio con 14 semanas de clases, por lo que las dos clases restantes se disponen para el desarrollo de actividades evaluativas.

4.3.1.3 Referencias.

Tabla 2

Referencias utilizadas en la construcción de cada una de las prácticas de laboratorio

Prácticas	Referencias	Explicación
Laboratorio 1	Manual Nikon ALPHAPHOT-2 POL Instructions	Información técnica de los recursos y el material a emplear durante el semestre académico; definición de recomendaciones sobre el buen manejo y cuidado del equipo.
Laboratorio 2	Metodología de Kemet International Ltd., Eberspächer et al., 2015	Generalidades de las secciones delgadas y parámetros a seguir para la elaboración de las mismas.
Laboratorio 3	<i>Optical Mineralogy: Principles and Practice</i> (Gribble & Hall, 1992), <i>Introduction to Optical Mineralogy</i> , (Nesse, 2003)	Introducción a los conceptos universales sobre la naturaleza de la luz para asimilar el fundamento teórico sobre el comportamiento de la luz y sus interacciones con los filtros del microscopio. Método de la Línea de Becke.
Laboratorio 4	<i>Transmitted Light Microscopy of Rock-Forming Minerals</i> (Schmidt, 2023), <i>Optical Mineralogy: Principles and Practice</i> (Gribble & Hall, 1992) y <i>Introduction to Optical Mineralogy</i> (Nesse, 2003)	Estudio de las propiedades ópticas de los minerales haciendo uso de la luz polarizada plana (LPP) con ilustraciones y fotografías para ejemplificar características sujetas a criterios de subjetividad. Cuenta con formato para describir sistemáticamente las características ópticas de los minerales.
Laboratorio 5	<i>Transmitted Light Microscopy of Rock-Forming Minerals</i> (Schmidt, 2023), <i>Optical Mineralogy: Principles and Practice</i> (Gribble & Hall, 1992) y <i>Introduction to Optical Mineralogy</i> (Nesse, 2003)	Estudio de las propiedades ópticas de los minerales haciendo uso de la luz polarizada cruzada (LPX) con descripciones e ilustraciones, a través de imágenes y fotografías, según los parámetros asociados a los minerales. Cuenta con formato para describir sistemáticamente las características ópticas de los minerales.

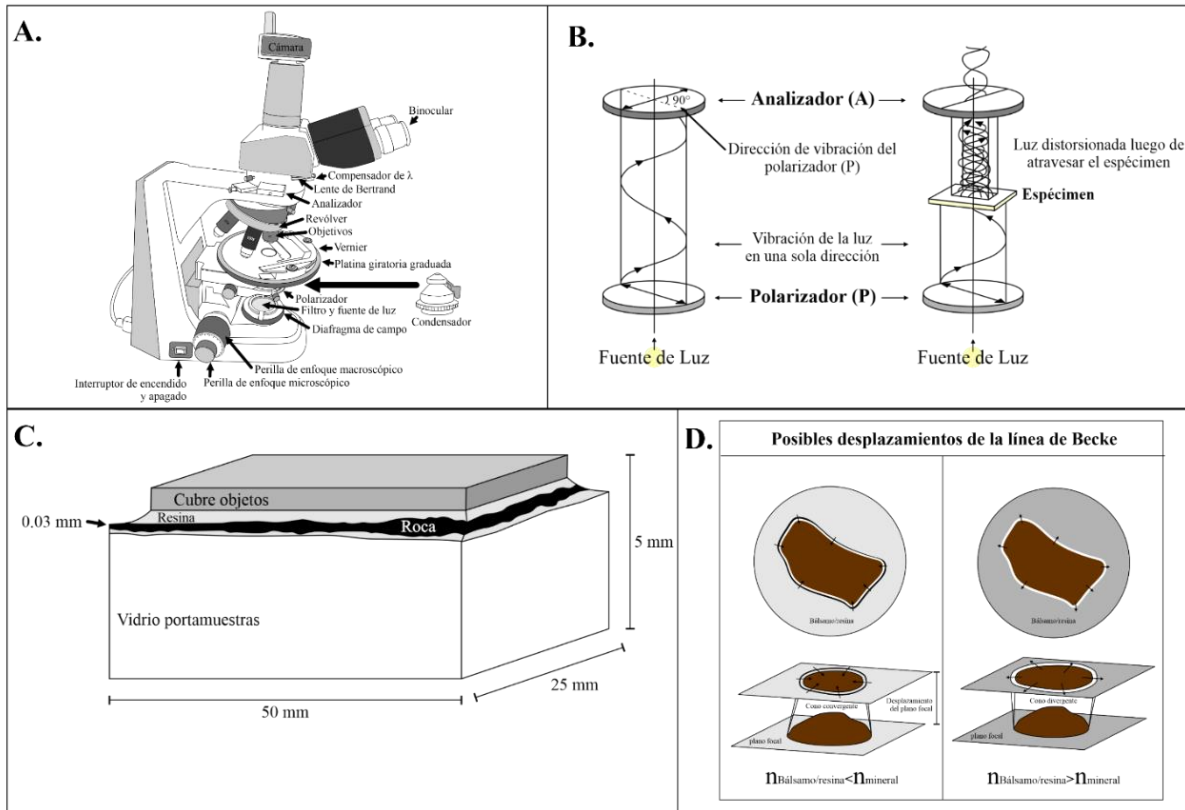
Laboratorio 6	<i>Transmitted Light Microscopy of Rock-Forming Minerals</i> (Schmidt, 2023) e ilustraciones modificadas de publicaciones de la Universidad Brock	Introducción al concepto de figuras de interferencia y procedimiento para configurar el microscopio haciendo uso de las partes que son necesarias. Identificación de figuras de interferencia uniáxicas y biáxicas, ángulo óptico 2V y determinación del signo óptico. Cuenta con formato para consignar la información adquirida durante la práctica.
Laboratorio 7	Atlas de Mineralogía Óptica – EHU (Gil, 2024), Grupo de los Feldespatos (Geoxnet, 2020), Catálogo de Unidades Estratigráficas de Colombia (Rodríguez et al., 2017), Manual de Mineralogía (Hulbort & Klein, 1982) y Cátedra de Mineralogía: Actividad Practica 7 (Universidad Nacional de Jujuy, 2020)	Recopilación de las características fundamentales para la identificación de cristales de Feldespato y análisis de sus generalidades. Se presenta la determinación óptica de la composición de la plagioclasa, que se puede llevar a cabo a partir de dos métodos de Michel-Levy y Maclas Combinadas de albita-Carlsbad.
Laboratorio 8	Atlas de Mineralogía Óptica (Gil-Crespo, 2024), Atlas de Minerales Vistos Bajo el Microscopio de la Luz Transmitida (Ríos & Castellanos, 2005)	Recopilación de propiedades ópticas que exhiben los minerales pertenecientes al grupo de los piroxenos y los anfíboles, se incluyen las características del olivino. Descripción de las características principales que permiten distinguirlos y ejemplificaciones con microfotografías.
Laboratorio 9	Atlas de Mineralogía Óptica (Gil-Crespo, 2024), Atlas de Minerales Vistos Bajo el Microscopio de la Luz Transmitida (Ríos & Castellanos, 2005)	Recopilaron las propiedades ópticas que generalmente se observan en las micas, específicamente en cristales de biotita, moscovita y clorita. Descripción sistemática de cada característica y ejemplificaciones con microfotografías de las secciones delgadas.
Laboratorio 10	Atlas de Mineralogía Óptica (Gil-Crespo, 2024), Atlas de Minerales Vistos Bajo el Microscopio de la Luz Transmitida (Ríos & Castellanos, 2005)	Recopilación de las propiedades ópticas de algunos minerales que pertenecen al grupo de los carbonatos. Descripción de las similitudes y las características para distinguir los minerales dentro de este grupo. Cuenta con microfotografías de las secciones delgadas que ilustran las propiedades descritas.

Laboratorio 11	Microscopio virtual <i>UK Virtual Microscope</i> (The Open University, 2024)	Uso del microscopio virtual UK Virtual Microscope como un simulador para estudiar algunas de las propiedades ópticas de los minerales. Presenta un formato que incluye las propiedades ópticas que es posible determinar haciendo uso de esta herramienta.
---------------------------	---	---

4.3.1.4 Ilustración del Manual. Con base en las referencias relacionadas anteriormente se llevó a cabo la modificación de imágenes, cada una de las ilustraciones del manual fue modificada o elaborada por los autores, para lo que se utilizó el programa CorelDraw. Esta fase permitió apoyar de mejor manera la asimilación de los conceptos. En las siguientes figuras se muestran algunas de las ilustraciones realizadas para el manual, estas se presentan agrupadas en los laboratorios más afines entre sí, la Figura 6 incluye imágenes relacionadas con el microscopio, la interacción de la luz dentro de este, las secciones delgadas y la refractometría; la Figura 7 ilustra diferentes propiedades ópticas de los minerales y la Figura 8 se enfoca en un grupo de minerales en específico, los feldspatos plagioclasa y presenta los métodos para determinar su composición.

Figura 6

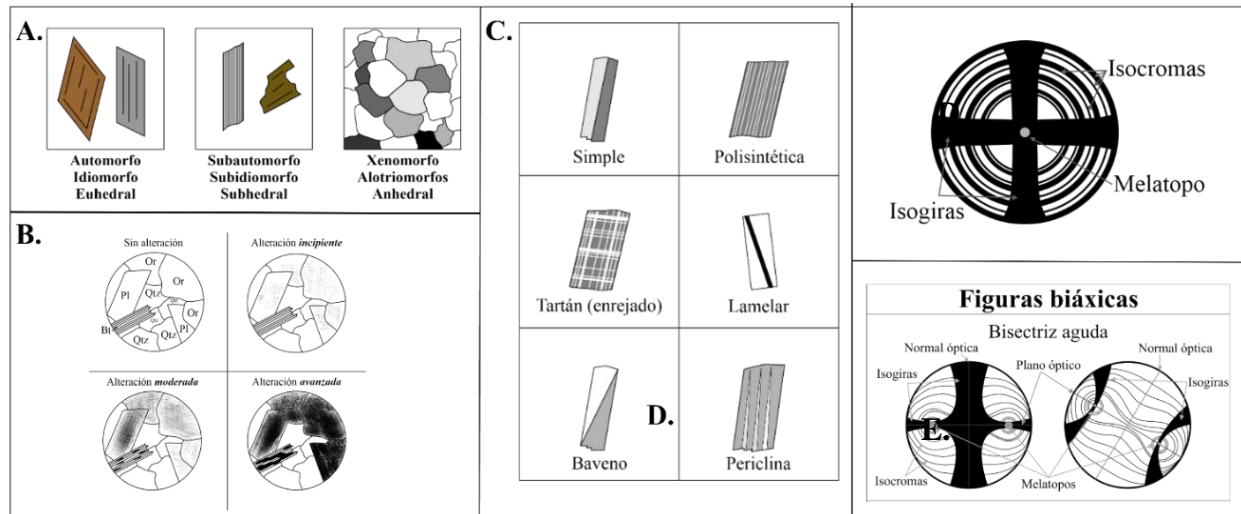
Imágenes modificadas para los laboratorios 1, 2 y 3



Nota. **A.** Figura del microscopio con sus partes. **B.** Comportamiento de la luz en el microscopio petrográfico al atravesar materiales isotrópicos (izquierda) y anisotrópicos (derecha). Adaptado de comportamiento de la luz en medios (a) isotrópicos y (b) anisotrópicos, de Nikon ALPHAPHOT-2 POL Instructions, NIKON CORPORATION. **C.** Anatomía de una sección delgada con cubreobjetos. Adaptado de anatomía de una sección delgada, de *Hibbard, 1995*, Petrography to petrogenesis. Prentice-Hall. **D.** Desplazamiento de la línea de Becke de un mineral. Adaptado de Línea de Becke. Iluminación centrada, de Paris, (1983), Manual de mineralogía óptica. Boletín Geológico. 26. 3-110.

Figura 7

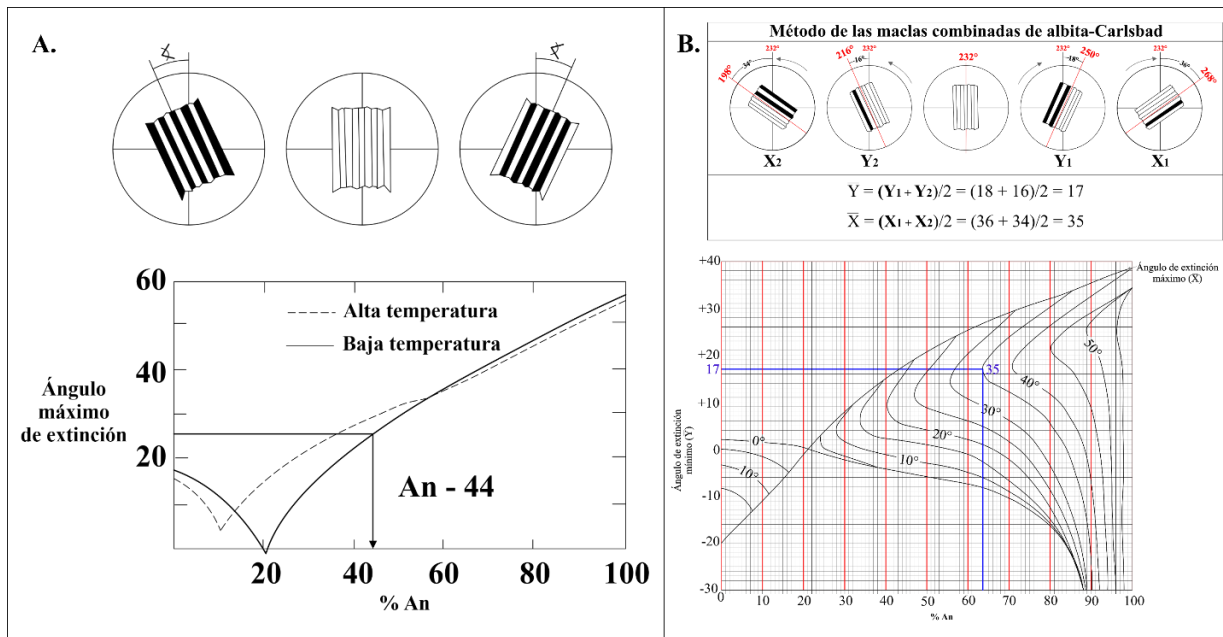
Figuras modificadas de las propiedades en LPP, LPX y figuras de Interferencia para los Laboratorios 4, 5 y 6



Nota. **A.** Clasificación de la forma. **B.** Gra^o de alteración. Adaptado de Intensidad de la alteración. De CAFAE INGEMMET, 2009, Curso teórico – práctico de alteraciones hidrotermales. **C.** Tipos de Maclas. **D.** Figura de interferencia uniaxial centrada y con sus partes. Adaptado de Uniaxial Interference Figure, de Greg Finn, Interference Figures: Uniaxial Minerals, Greg Finn. **E.** Figura de interferencia biaxial con sus partes. Adaptado de Centred Optic Axis Figure, de Greg Finn, Interference Figures Biaxial Minerals, Brock University Greg Finn, ERSC 2P22.

Figura 8

Figuras modificadas para determinar la composición de las plagioclasas, laboratorio 7



Nota. **A.** Método de Michel Levy. Adaptado de Método de Michel Levy, de Cátedra de Mineralogía: Actividad Practica 7. Universidad Nacional de Jujuy. **B.** Método de las Maclas Combinadas. Adaptado de Método de Michel Levy, de Cátedra de Mineralogía: Actividad Practica 7. Universidad Nacional de Jujuy.

4.3.1.5 Microfotografías y videos ilustrativos. A través del acompañamiento a los estudiantes durante las sesiones de auxiliatura, y de forma programada, se asignaron a los estudiantes una selección de secciones delgadas para trabajar. Esta estrategia permitió aprovechar la curiosidad de los estudiantes y realizar hallazgos minerales muy interesantes, los cuales fueron registrados a través de fotografías y videos. Las microfotografías se pueden encontrar dentro del Manual (Figura 9) y en el caso de los videos es posible encontrar los hipervínculos, puesto que estos se encuentran en un canal de YouTube (Figura 10), bajo el nombre de LABORATORIO DE

PETROGRAFÍA UIS. Los videos recopilados en esta etapa fueron cargados al canal con su respectiva etiqueta para facilitar su búsqueda y acceso a la comunidad.

Figura 9

Levantamiento de las microfotografías y edición de estas para apoyar la información de los laboratorios



Nota. **A.** Uso del microscopio con cámara acoplada. **B.** Monitor del microscopio con cámara acoplada. **C.** Edición de las imágenes en el software CorelDraw.

Figura 10

Ventana de contenido del canal de YouTube LABORATORIO DE PETROGRAFÍA UIS

Video	Visibility	Restrictions	Date	Views	Comments	Likes (vs. dislikes)
Figura de Interferencia Biáxica Moscovita 2 Add description	Unlisted	None	Apr 8, 2024 Uploaded	1	0	-
Figura de Interferencia Biáxica 2V=0 Biotita Add description	Unlisted	None	Apr 8, 2024 Uploaded	2	0	-
Figura de Interferencia Biáxica Moscovita 1 Add description	Unlisted	None	Apr 8, 2024 Uploaded	1	0	-
Movimiento convergente de la línea de Becke Add description	Unlisted	None	Apr 6, 2024 Uploaded	9	0	-
Movimiento divergente de la línea de Becke	Unlisted	None	Apr 6, 2024	1	0	-

4.3.1.6 Elaboración Listado de secciones sugeridas para el desarrollo de cada práctica

(**Anexo 4 del Manual de Prácticas**). Se eligieron las secciones delgadas adecuadas para el desarrollo de cada práctica de laboratorio.

4.3.2 Consolidación del Catálogo Digital

Teniendo en cuenta las fuentes consultadas, se determinaron los parámetros para tener en cuenta al momento de hacer el levantamiento del Catálogo Digital partiendo de los atributos que se tienen en común y la información a la que es posible acceder.

4.3.2.1 Revisión petrográfica y registro en base de datos. Con el fin de corroborar y ampliar la información inicial de la Colección de Secciones Delgadas se realizó una revisión petrográfica llevada a cabo en el Laboratorio de Preparación de Secciones Delgadas y el Laboratorio de Petrografía de la Universidad Industrial de Santander; este trabajo inició en octubre de 2023 y se extendió hasta abril de 2024, y al mismo tiempo se mantuvo la actualización de la base de datos destinada a ser el Catálogo Digital teniendo en cuenta los nuevos datos adquiridos, los cuales arrojaron cambios principalmente sobre la composición mineral y algunas características distinguibles en cada muestra. El proceso de revisión se describe a continuación:

- **Registro del código:** Se registró el código que identifica cada sección delgada, el cual fue determinado previamente en la fase de marcación de muestras.

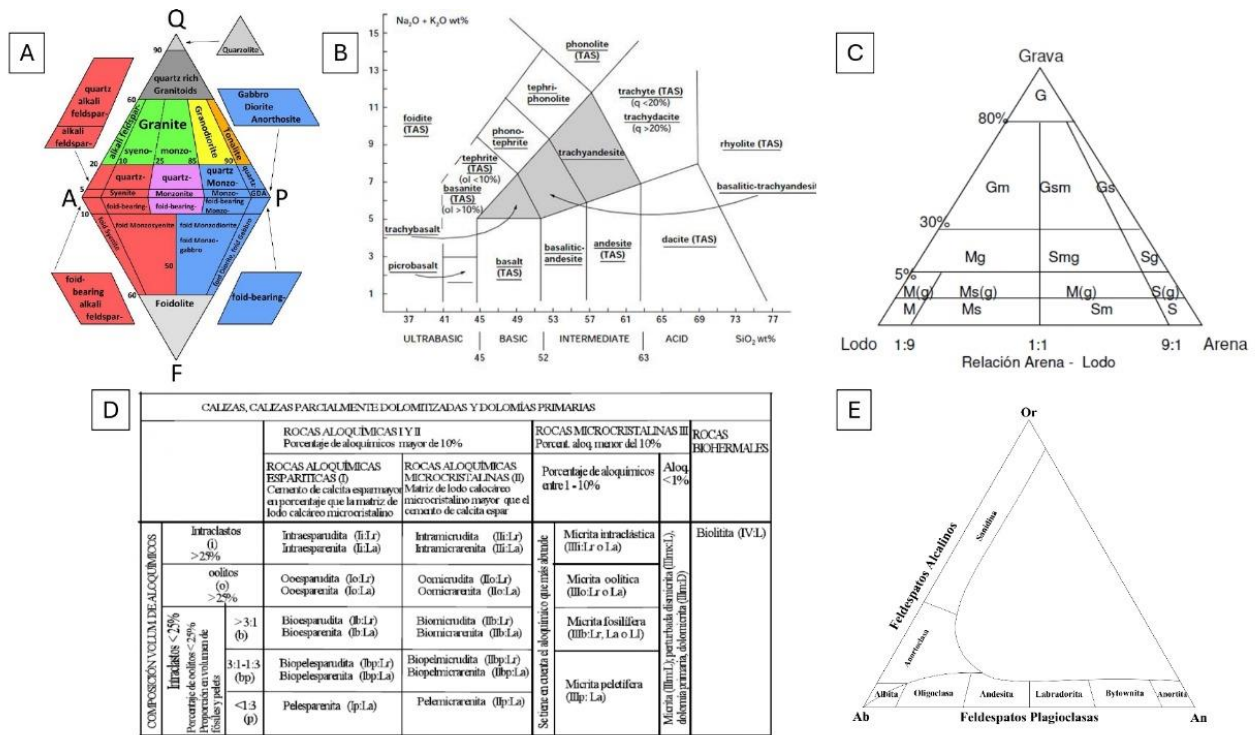
- **Determinación del Tipo y nombre de roca:** la información sobre litología se determinó en dos columnas: una según el tipo de roca (ígneas, metamórficas o sedimentarias) seguida del nombre de la roca por su clasificación, como se presenta en el WGS. Para las muestras de rocas ígneas se utilizaron los triángulos de clasificación de Streckeisen, como el diagrama QAPF (Figura 11A) para rocas plutónicas y el diagrama TAS (Figura 11B) para rocas volcánicas (Da Mommio, 2020). La clasificación de rocas metamórficas se concretó haciendo uso de la información sobre

minerales formadores de roca del Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica de Carlos Alberto García, 2007, y el libro Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas de Antonio Castro Dorado, 2015. Para las rocas sedimentarias se utilizaron los diagramas triangulares para la clasificación textural según el tamaño de grano para rocas siliciclásticas o terrígenas (Figura 11C), y la tabla de clasificación de rocas calcáreas (Figura 11D) de Folk, 1974, como se citó en la Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos de la Escuela de Geología UIS, 2007.

- **Identificación de Minerales y alteraciones:** Para el reconocimiento y la descripción mineralógica se realizó un procedimiento de barrido para las secciones delgadas bajo el microscopio de luz transmitida; todo el proceso de identificación se basó en las características presentadas por los minerales en luz polarizada plana y luz polarizada cruzada según el Atlas de Mineralogía Óptica de la Universidad del País Vasco, el Atlas de Petrografía: Minerales Formadores de Rocas en Lámina Delgada de MacKenzie y Guilford, 1996, y el Atlas de Minerales Vistos Bajo el Microscopio de Luz Transmitida de Ríos & Castellanos, 2005.

Figura 11

Diagramas de clasificación para rocas ígneas y sedimentarias



Nota. **A.** Diagrama QAPF para rocas plutónicas. **B.** Diagrama TAS para rocas volcánicas. **C.** Clasificación textural de rocas sedimentarias. **D.** Tabla de clasificación de rocas calcáreas de Folk. **E.** Diagrama de composición de los feldespatos. Figuras tomadas de: Alex Strekeisen: Plutonic Rocks, Volcanic Rocks, Metamorphic Rocks and Sedimentary Rocks. De: Da Mommio, 2020.

- **Reconocimiento de Rasgos texturales y estructurales:** Se identificaron las características asociadas a deformación por esfuerzos como minerales fracturados y pliegues, y a diferentes tasas de temperatura como lamelas de exsolución y embahiamiento. Para el reconocimiento se emplearon los Atlas de Rocas Ígneas y Sus Texturas de MacKenzie, Donaldson y Guilford (1996), el Atlas de Rocas Metamórficas y Sus Texturas de Yardley, MacKenzie y Guilford (1990) y Practical Guide to Rock Microstructure de Ron H. Verno (2004).

- **Determinación de Propiedades ópticas:** Junto con los rasgos texturales y estructurales que se determinaron, algunas propiedades ópticas destacadas que fueron observadas en cada sección se contemplaron para una columna de propiedades generales. Para ello se estuvo haciendo uso del Atlas de Mineralogía Óptica de la Universidad del País Vasco y el Atlas de Minerales Vistos Bajo el Microscopio de Luz Transmitida de Ríos & Castellanos, 2005.

-**Determinación de la Representatividad:** Este parámetro (Sección 4.2.4) fue asignado al mismo tiempo que se estuvo haciendo la revisión petrográfica de las secciones delgadas.

- **Identificación de Localización y recolector:** Dentro de la información preliminar obtenida de las secciones delgadas, algunas de estas muestras cuentan con información del lugar donde fue obtenida la muestra de mano y el nombre de la persona que se encargó de esta labor. Se realizó la búsqueda de la localización y recolector para cada muestra, en listados de archivos de Excel suministrados por el personal técnico y docente. Se determinó que aunque una colección esté compuesta por muestras antiguas a las cuales no es posible suministrar este tipo de datos, es importante incluir esta información como crédito al recolector, según lo consultado en fuentes como el Washington Geological Survey (WGS) y el British Geological Survey (BGS).

4.3.2.2 Levantamiento de microfotografías. Se realizó la captura de microfotografías divididas en LPP y LPX según, si fue tomada en nicoles paralelos o nicoles cruzados, respectivamente. Para esto se utilizó como referencia la base de datos del WGS, el cual incluye fotografías de las secciones delgadas bajo luz polarizada plana y cruzada. Para el levantamiento se utilizó el microscopio binocular de polarización para petrografía, marca Nikon, modelo ECLIPSE 50i POL (Figura 12) en el Laboratorio de Petrografía de la escuela de Geología UIS, con el cual se obtuvieron imágenes en luz polarizada plana y luz polarizada cruzada, a fin de capturar la vista

de las secciones delgadas bajo el microscopio, usando y retirando el analizador, para mostrar algunos de los rasgos texturales y propiedades ópticas de los minerales.

Figura 12

Microscopio binocular de polarización marca Nikon - modelo ECLIPSE 50i POL



4.3.3 Elaboración de Flujos y Formatos Operativos en el laboratorio

La descripción detallada de los contenidos de los Flujos y Formatos se encuentra consignada en el capítulo de Resultados.

4.3.3.1 Revisión de protocolos operativos actuales. El reconocimiento de los procesos y protocolos operativos del laboratorio de mineralogía óptica se llevó a cabo consultando al personal técnico encargado y gracias a experiencias propias en el trabajo como auxiliar administrativo durante un semestre académico. Como primer resultado de este proceso se establecieron consideraciones generales acerca de las muestras que conforman la colección y nociones básicas para su manipulación y almacenamiento, para lo que se tuvo en cuenta el Manual de Buenas Prácticas de Laboratorios y Litoteca de la Escuela de Geología UIS (Escuela de Geología, 2021). En el caso de las directrices de manipulación, se usó la información consignada en el ítem de

Manejo y uso de secciones delgadas en el capítulo de PROTOCOLO DEL LABORATORIO DE PETROGRAFÍA, y la información dentro del capítulo PROTOCOLO GENERAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN LOS LABORATORIOS DE GEOLOGÍA en el subíndice de seguridad industrial, particularmente en el apartado de Manipulación de materiales de vidrio (teniendo en cuenta que las secciones también están formadas por vidrio y pueden representar los mismos riesgos) (Escuela de Geología, 2021).

4.3.3.2 Desarrollo y formulación de Flujos y Formatos operativos. Los procesos que se abordaron son los de préstamo, salida e ingreso, los flujos asociados se enfocan en los procedimientos que debe seguir el personal encargado de la gestión de la colección, es decir, el personal técnico o docentes a cargo.

Préstamo:

Este es el único procedimiento que ya tiene un flujo y un formato asociado, sin embargo, solo se da en condiciones específicas (solo solicitado por docentes durante la hora asignada), identificando que existe una necesidad de abrir la colección a la comunidad académica, de ahí se plantean los escenarios en los que alguien pudiera estar interesado en acceder.

El formato se formuló para llevar a cabo una trazabilidad sobre la disponibilidad de las muestras, además de añadir una responsabilidad sobre el solicitante, por ejemplo, en caso de no devolver a tiempo puede verse reflejado en una deuda, similar al caso que sucede con los libros de la biblioteca.

Ingreso: se elaboró tomando en cuenta los ítems presentes en el formato del Servicio Geológico Colombiano para la recepción de muestras en su Litoteca Tierra de Paz (Figura 13), consignadas en el Manual de entrega de información técnica y geológica

de evaluación, exploración y producción de hidrocarburos al Banco de Información Petrolera – Anexo 5. Entrega de muestras geológicas a la Litoteca Nacional (SGC,2021), en este se contempla que; si en la inspección física y visual se encontrara alguna sección rota, será rechazada (SGC, 2021).

Figura 13

Formato para la recepción de muestras de la Litoteca Nacional Tierra de Paz - SGC

CONTRATO/BLOQUE _____						TIPO DE CONTRATO _____						
OPERADOR _____						POZO _____						
CUENCA		DEPARTAMENTO			COLECTOR		FECHA					
CAJA	CÓDIGO DE PLACA	ORIGEN DE LA MUESTRA	COORDENADAS					PROFUNDIDAD LOCALIDAD	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	TINCIONES	LABORATORIO
			GEOGRÁFICAS			PLANAS						
			LATITUD	LONGITUD	N	E	ORIGEN					

Salida: Buscando tener un control/registro de las muestras que se descartan, se formula un procedimiento y un formato que se relaciona con los criterios de categorización, de esta manera se transmite la importancia de la muestra.

4.3.4 Estrategias de divulgación

- Gestión del espacio: de acuerdo con las condiciones académicas, fue necesario solicitar a la Escuela de Geología UIS un espacio en una plataforma remota (ZOOM) de una hora para llevar a cabo la sesión de divulgación y capacitación.

- Diseño y estructura de la presentación: con el objetivo de hacer una presentación didáctica, se buscó hacer uso de estrategias de presentación que permitieran que las imágenes fueran protagonistas, para esto se tomó en cuenta el modelo de presentaciones Pecha Kucha, presentado en el 2003 en Tokyo por los arquitectos Astrid Klein y Mark Dytham, este modelo consiste en la elaboración de 20 diapositivas que pasan automáticamente cada 20 segundos y que además reducen la cantidad de texto presente en ellas al máximo favoreciendo la aparición de

imágenes que respaldan el discurso y ayudan a que el mensaje pueda ser asimilado con mayor facilidad (IREUB, 2019), de este modelo solo se tomó para la presentación el esquema de diseño de las diapositivas. Para la elaboración se utilizó la plataforma Canva, en la que se crearon 16 diapositivas que desarrollaron el tema desde el trabajo realizado durante el proyecto (estado actual, metodología y gestión) a los productos que conforman el plan de gestión, además de ilustraciones y microfotografías también se utilizaron vídeos que hacen parte del material recogido durante el desarrollo del proyecto y algunos textos cortos.

Para invitar a la comunidad académica también fue necesario crear una postal que captara la atención y motivara a las personas a ingresar a la sesión de divulgación, esta también se diseñó en la plataforma Canva y se utilizaron algunas microfotografías que se pueden encontrar en el Manual de Prácticas (Figura 14).

Figura 14

Difusión del flyer para la socialización de los productos



Nota: **A.** Flyer realizado para invitar a la comunidad académica a la socialización del proyecto. **B.** Invitación remitida a través de la Geoweb a toda la comunidad académica.

- Formulario: teniendo en cuenta la necesidad de establecer un acercamiento con los estudiantes y de poder registrar las opiniones de la comunidad académica en general acerca de los productos se desarrolló un formulario haciendo uso de la plataforma Formularios de Google, en la que se hicieron seis preguntas (Figura 15):

- a. Sugerencias sobre el Manual de Laboratorio: ¿Considera usted que hacen falta contenidos esenciales para fortalecer el aprendizaje de la mineralogía óptica? ¿Cuáles?
- b. Sugerencias sobre el Manual de Laboratorio: ¿Cuáles considera usted que son los mejores medios para compartir este recurso?
- c. Sugerencias sobre el Catálogo Digital: ¿Considera usted que hace falta más información (columnas) sobre las secciones delgadas en esta base de datos? ¿Cuáles?
- d. Sugerencias sobre los Flujos y Formatos Operativos: ¿Hay algún proceso adicional que considera debería ser incluido? ¿Cuál?
- e. ¿Cuál de los productos presentados tiene para usted como miembro de la comunidad académica un mayor impacto?
- f. Otras sugerencias.

Figura 15

Formulario para la recolección de sugerencias durante el evento de divulgación



Divulgación y socialización: Plan de Gestión de la Colección de Secciones Delgadas para la enseñanza de la Mineralogía II

B I U  

El objetivo de este formulario es recopilar las opiniones y comentarios de los estudiantes de Geología UIS que asistieron a la jornada de socialización y divulgación concernientes a los productos.

4.4 Monitoreo y control

En esta fase primero se llevó a cabo la revisión de los productos por parte de los docentes, como resultado de este proceso se solicitó incluir los perfiles y responsabilidades asociadas de los implicados en la gestión y manipulación de las muestras dentro de los Flujos y Formatos Operativos del Laboratorio.

- Perfiles y responsabilidades de los implicados en la gestión de la colección: para el desarrollo de este apartado se tomó como base la información consignada en el apartado de disposiciones generales del Manual de Buenas Prácticas de Laboratorios y Litoteca de la Escuela de Geología UIS (Escuela de Geología, 2021), allí se definen los lineamientos que debe seguir el personal docente, el técnico encargado de laboratorios y litoteca, el académico responsable, el auxiliar docente y los estudiantes, en la construcción de los perfiles en los Flujos y Formatos Operativos del laboratorio los estudiantes y auxiliares docentes se presentan en el mismo apartado puesto que las consideraciones son similares, por otra parte los docentes, técnicos y el académico

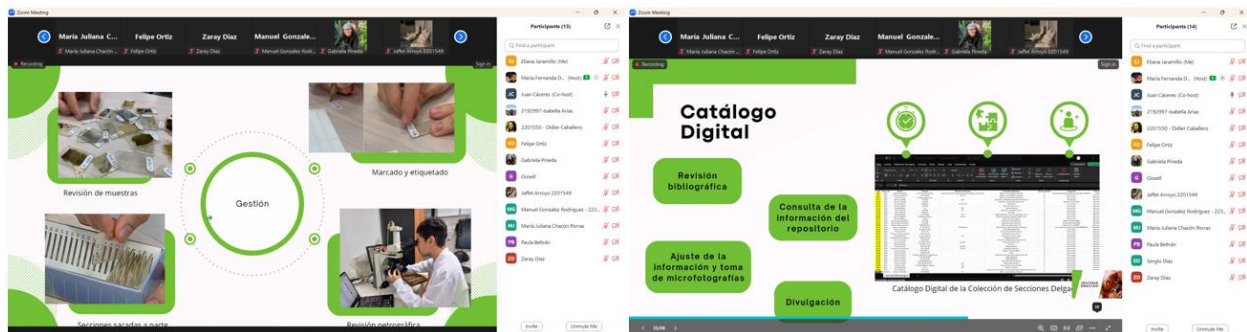
responsable si se presentan por separado, adicionalmente se hace mención de la preparación esperada.

4.4.1 Sesión de Divulgación y Socialización a la Comunidad Académica

A continuación, durante el monitoreo y control se llevó a cabo la divulgación y socialización a la comunidad académica: la sesión se llevó a cabo a través de la plataforma ZOOM el día 4 de Julio del 2024 a las 6 p.m. y tuvo una duración aproximada de 45 minutos, se contó con la participación de alrededor de 15 personas (incluyendo personal docente) (Figura 16). Al finalizar la presentación de los productos se desarrollaron 10 minutos de socialización en la que los asistentes dieron sus opiniones y sugerencias para la optimización y mejora de los productos, además de llenar el formulario planteado.

Figura 16

Sesión de Divulgación: capturas de pantalla



Las sugerencias se relacionan con tres temáticas principales; primero a la posibilidad de tener un mayor acceso a las secciones delgadas de la colección (centralizar el almacenamiento), segundo, a que exista una mayor variedad (muestras de minerales metálicos y de rocas volcánicas) y tercero, que se dé una clasificación sencilla (p.e., por tipo de mineral) que les permita a los estudiantes que apenas ingresan al programa realizar búsquedas eficientes.

5. Cierre y Resultados

En esta fase se describen de forma detallada cada uno de los resultados obtenidos a partir de la implementación del Plan de Gestión.

5.1 Resultados de la Sesión de Divulgación y Socialización a la comunidad Académica

Después de llevar a cabo la fase de divulgación, se obtuvieron respuestas variadas, compilados a partir del formulario desarrollado (Figura 17). En el Apéndice D se encuentra el video de la sesión.

A continuación, se presentan los resultados compilados en la Figura 17; para la primera pregunta ¿considera usted que hacen falta contenidos esenciales para fortalecer el aprendizaje de la mineralogía óptica? Se obtuvieron sugerencias dirigidas hacia la forma de publicar o compartir los contenidos, sugiriendo que sean de fácil acceso para los estudiantes, y también que estén disponible de manera física. Esta propuesta es viable, y se podría gestionar a través del personal de la Escuela, destinando un sitio ya sea en página de la Geoweb, o en el Aula Virtual (Moodle), de manera que se pueda garantizar el acceso a la información para la comunidad interesada.

Dentro de las respuestas a esta pregunta se sugirió “añadir minerales opacos y metálicos dentro de las temáticas de la asignatura”. Para esto se requiere la gestión de recursos institucionales para adquirir un microscopio de luz reflejada, de esta forma se podría aprovechar material disponible para la observación de minerales opacos.

Con respecto a la segunda pregunta sobre los mejores medios para compartir estos recursos, un 33.3% considera que es mejor hacer su difusión digital a través de una página web, un 33.3% prefiere que sea de manera digital a través de plataformas educativas (Moodle), un 16.7% votó por su difusión de manera digital como formato PDF y un 16.7% prefiere que se comparta como

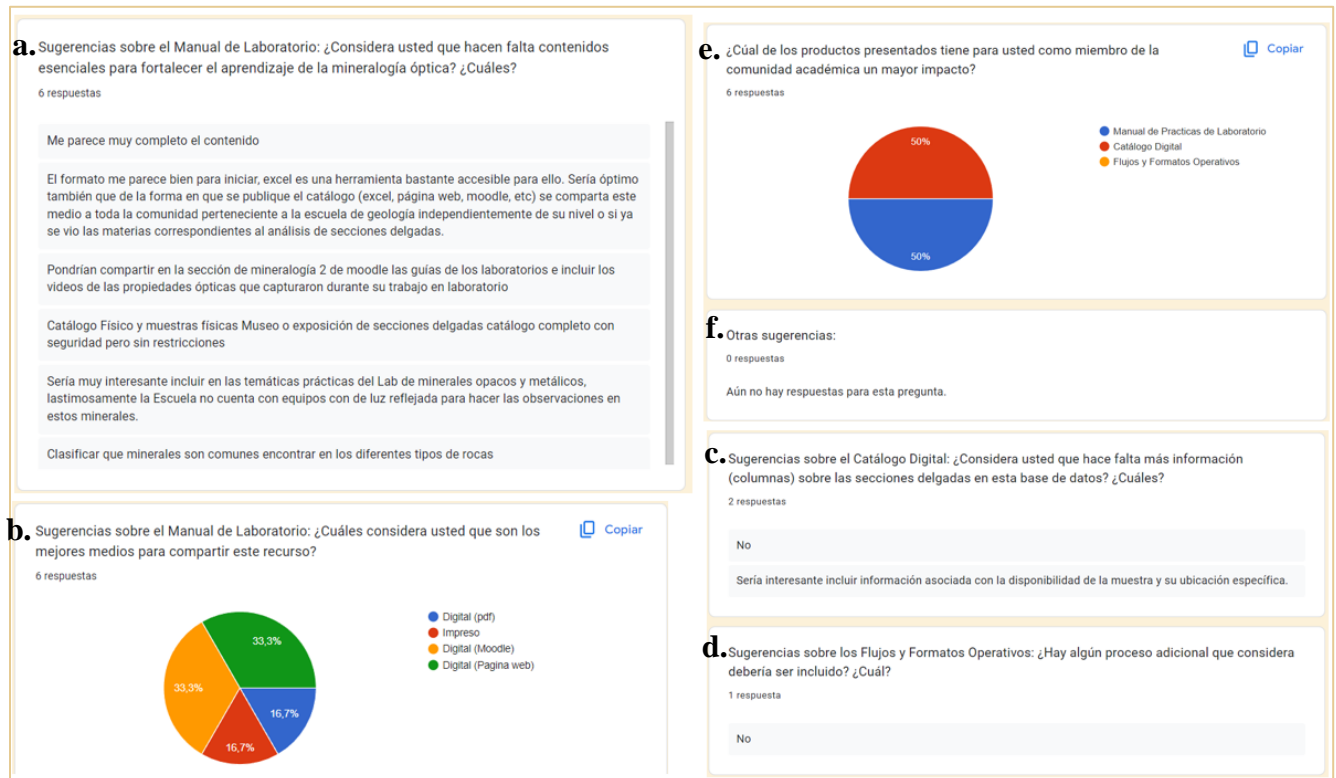
material físico. De acuerdo con estos resultados, la mayoría sugiere una difusión a través de medios digitales en línea, consecuente con las respuestas aportadas en la sección anterior.

Para la pregunta ¿Considera usted que hace falta más información (columnas) sobre las secciones delgadas en esta base de datos? ¿Cuáles?, se sugirió información asociada con la disponibilidad de la muestra y su ubicación específica. Atendiendo a esta sugerencia se incorporó en la base de datos del Catálogo la ubicación de la muestra, relacionada con el lugar en el que se encuentra almacenada.

Respecto a la quinta pregunta, la comunidad universitaria que hizo parte de la socialización determinó que un 50% de los asistentes considera que el Catálogo Digital es el producto que va dirigido hacia ellos y el otro 50% considera lo mismo para el Manual de Laboratorio. Esto evidencia que los productos mencionados tienen gran aceptación por partes de la comunidad. Por otra parte, los flujos y formatos operativos probablemente requieren mayor socialización, para la comprensión detallada de su funcionalidad.

Figura 17

Resultados del formulario de sugerencias



Nota. Las letras de las preguntas se relacionan con el orden en que se presentan en el listado del apartado 4.4.1 en la página 50.

Finalmente, es importante tener en cuenta que la asistencia a la sesión de divulgación no representa un porcentaje significativo dentro del total de estudiantes de la Escuela de Geología, que de acuerdo con la información reportada en la página de la Universidad Industrial de Santander en el segundo semestre del 2023 contaba con 523 estudiantes (UIS, 2024), por lo tanto, los 12 asistentes equivalen al 2.3%, esto demuestra que existe una necesidad de hacer más actividades de divulgación.

5.2 Manual de Prácticas de laboratorio

El objetivo del Manual de Laboratorio es preparar al estudiante de geología en las técnicas y fundamentos de la mineralogía óptica, así como introducir al estudiante en la observación e identificación de minerales formadores de rocas en sección delgada que pueden observarse bajo el microscopio de luz transmitida. Con la ayuda de este documento, al finalizar el curso, los estudiantes aprenden a desarrollar la capacidad de identificar algunos minerales y familiarizarse con sus propiedades ópticas y características más comunes. Este material guía está dirigido a la comunidad de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander y surge de la necesidad de contar con herramientas pedagógicas útiles para el reconocimiento de minerales en sección delgada en las prácticas de petrología. Apéndice A.

5.2.1 Contenido y estructura del Manual de Prácticas de laboratorio

A continuación, se presenta el contenido de cada uno de los laboratorios consignados en el Manual de Prácticas.

5.2.1.1 Laboratorio 1 - El microscopio de luz transmitida. El microscopio se define dentro de este apartado como un instrumento que facilita la observación de imágenes magnificadas (Hamblin & Christiansen, 2003) de objetos diminutos usando una combinación de lentes por los cuales viaja un haz de luz polarizada (Schmidt, 2023). Se presenta un esquema de las partes del microscopio binocular de polarización para petrografía, marca Nikon modelo ECLIPSE E200i POL, que es con el que cuenta el laboratorio de petrografía de la Universidad Industrial de Santander. Y para finalizar este laboratorio se destaca el papel del polarizador y el analizador, los cuales se ajustan de manera que cada uno de estos permite el paso de un haz de luz sintetizado en una sola dirección y cuya vibración es perpendicular a aquella de la luz que el otro transmite. (NIKON CORPORATION, s. f.).

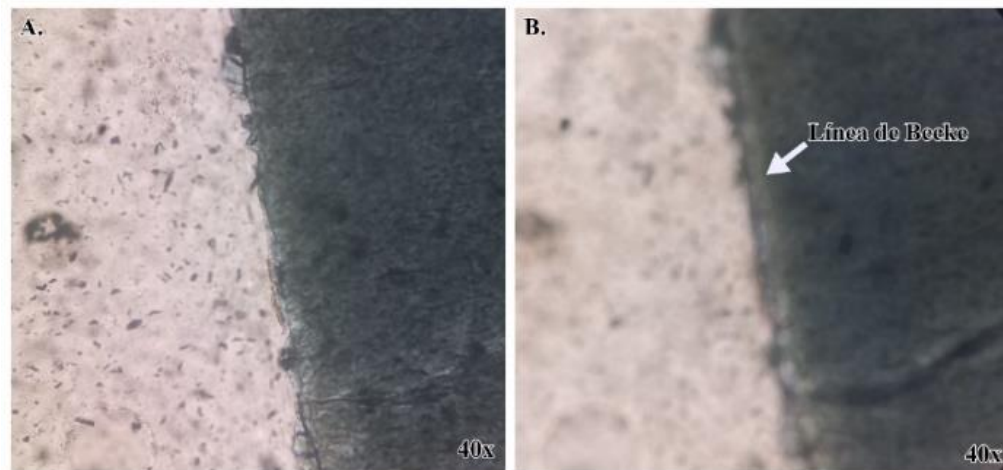
5.2.1.2 Laboratorio 2 - Preparación de secciones delgadas. De manera general, se presenta la definición de sección delgada como una preparación de laboratorio en la que se obtiene una lámina de roca, mineral o fósil, presentada en un espesor normal de 30 micrómetros, que son cubiertas y montadas haciendo uso de una resina, en este caso Bálsamo de Canadá (Eberspächer et al., 2015). La elaboración de la sección delgada se describe en 16 pasos que abordan desde la elección de la muestra de mano y la dirección del corte, hasta el lavado final de la sección delgada antes de utilizarse.

5.2.1.3 Laboratorio 3 – Introducción a conceptos teóricos sobre la luz y sus interacciones en el microscopio. Se describen los conceptos teóricos necesarios para el entendimiento de la práctica, en primer lugar, se aborda la naturaleza de la luz, en este apartado se define que la luz visible está compuesta de todas las longitudes de onda entre 380nm (violeta) y 760nm (rojo) que representan una pequeña parte de todo el espectro electromagnético (Schmidt, 2023), a continuación, se busca introducir las teorías que permiten entender el comportamiento de la luz; primero la teoría corpuscular (Isaac Newton, 1704), en la que el rayo de luz se define como una corriente de partículas (corpúsculos) que viajan a gran velocidad y en línea recta, y por otro lado, la teoría ondulatoria (Christian Huygens, 1678) que supone a la luz como una onda electromagnética que se propaga en línea recta con un movimiento ondulatorio transversal. Continuando con los conceptos acerca de la luz se clasifican los minerales, de acuerdo con, el paso de la luz en sección delgada; minerales opacos, que tienen una estructura cristalina que no permite el paso de la luz, y minerales transparentes; que sí permiten el paso de la luz y que a su vez se dividen en isotrópicos y anisotrópicos con base en el comportamiento de la luz transmitida al pasar por los polarizadores del microscopio. Finalmente se aborda la refractometría, fenómeno que implica la determinación de los índices de refracción (IR) de los minerales, para el cual se definen

dos alternativas; el método de inmersión y el método de la línea de Becke, siendo este segundo el que se utiliza para el desarrollo de la práctica y que consiste básicamente en comparar con los minerales adyacentes o con el medio de montaje (p.e., bálsamo de Canadá) de índice de refracción conocido, como se observa en la Figura 18 (Nesse, 2003).

Figura 18

Movimiento de la línea de Becke hacia el mineral



Nota. A. Borde del cristal enfocado. B. Desenfoque del cristal para observar la línea de Becke. Muestra IR-1. Pulse [aquí](#) para ver un vídeo del movimiento convergente de la línea de Becke.

Secciones recomendadas para el desarrollo de esta práctica: IR-1, IR-2, IR-3, IR-4, IR-5, IR-6

5.2.1.4 Laboratorio 4 - Descripción sistemática de minerales en sección delgada con luz

polarizada plana (LPP). En este capítulo el primer concepto es la transparencia, los minerales transparentes son aquellos que permiten el paso de la luz a través de su estructura cristalina (Figura 19A).

Posteriormente se abordan los conceptos de color de absorción y pleocroísmo (Figura 19B). El color resulta de la absorción de algunas longitudes de onda del espectro de luz visible y la transmisión de otras, dicha absorción se encuentra muy relacionada con la composición química y la estructura cristalina (Schmidt, 2023), adicionalmente, las distintas orientaciones de los cortes pueden provocar que refleje una variedad de colores para un mismo mineral o cambios al girar la platina del microscopio. De lo anterior se deriva el concepto de pleocroísmo que es una variación del color en función de la orientación del cristal respecto al plano de polarización de la luz, causado por la absorción de diferentes longitudes de onda que viajan a través de las diferentes direcciones de un cristal (Nesse, 2003).

También se expone el concepto de la forma (Figura 19C), este toma en cuenta qué tan definidos se encuentran los bordes de las diferentes caras que limitan un mismo cristal, relacionados con los procesos de cristalización, se pueden clasificar en idiomorfos (automorfos), que son los que tienen límites rectilíneos, subidiomorfos (subautomorfos), los cuales tienen algunos límites rectilíneos y otros irregulares que no se asemejan a una cara cristalina y alotriomorfos (xenomorfos), los cuales carecen de límites rectilíneos. Relacionado a esto se presenta el hábito se refiere a la disposición de los cristales en muestra de mano (escala macroscópica) y es deducido del estudio de varios cristales con diferente orientación en sección delgada, esta es una observación tridimensional a diferencia de la forma, pero puede definirse en un mineral en sección delgada dependiendo del eje que se haya cortado al realizar la muestra.

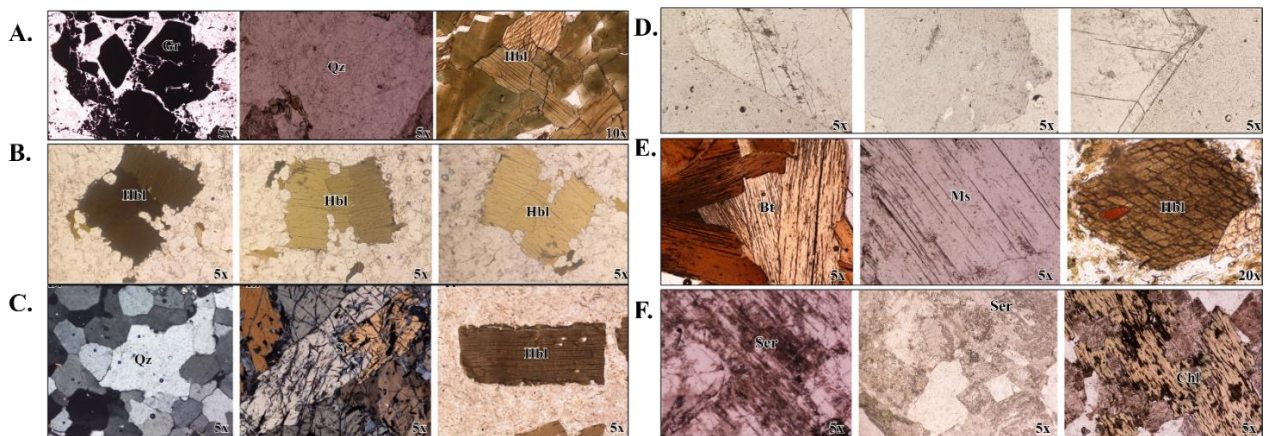
El siguiente concepto es el relieve (Figura 19D) que se define como la intensidad con la que se reflejan los bordes del mineral en relación con los minerales adyacentes o el medio sobre el que está montado, cuanto mayor sea la diferencia entre el índice de refracción de un mineral y el del material que lo rodea (sea positivo o negativo), mayor es su relieve.

Continuando con la descripción de las características ópticas, se presenta la exfoliación o fractura (Figura 19E), que hace referencia a la dirección por donde el mineral tenderá a romperse más fácilmente, los minerales se fragmentan o se exfolian según planos determinados, cuyas posiciones están definidas por la estructura cristalina, es decir, entre los planos de exfoliación hay un enlace atómico débil respecto a la existente en el interior del plano.

Finalmente, dentro de las propiedades que pueden observarse con luz polarizada plana (LPP), se describen las alteraciones (Figura 19F), que pueden reconocerse también con luz polarizada cruzada, estas alteraciones son evidencias de procesos de transformación de un mineral (reemplazamiento total o parcial) y se describen de acuerdo con el grado o avance de reemplazamiento.

Figura 19

Microfotografías de las propiedades en LPP



Nota. **A.** Transparencia: Cristales opacos de grafito (Gr) en la muestra CAL-3, incoloros de Cuarzo (Qtz) en la muestra RI-1 y coloreados de Hornblenda (Hbl) en la muestra RI-38. **B.** Pleocroísmo: Cambios en el tono de un cristal de Hornblenda (Hbl) al girar la platina, en la muestra RI-13. **C.** Forma: Cristales de cuarzo (Qtz) xenomorfos (en LPX) en la muestra RM-21, cristal subautomorfo de estaurolita (St) en LPX, en la muestra EST-1, cristal automorfo de hornblenda en un hábito

tabular, en la muestra RI-13. **D.** Relieve: relieve medio, muestra IR de la 1 a la 6. **E.** Exfoliación: Exfoliación en un único plano de dirección en diferentes cristales de biotita (Bt), muestra GRT-1 y en uno de moscovita (Ms), muestra RI-39; y en dos planos de dirección característicos de los anfíboles, con ángulos de aproximadamente 60° y 120° , en un cristal de hornblenda (Hbl), muestra RI-19. **F.** Alteraciones: Alteraciones de sericítica (Ser) en muestras RI-42 y RI-1, y de clorita (Chl), muestra CHL-2.

5.2.1.5 Laboratorio 5 - Descripción sistemática de minerales en sección delgada con luz

polarizada cruzada (LPX). Inicialmente se describen los minerales isotrópicos (Figura 20A), que son los que cristalizan en el sistema cúbico, estos permanecen oscuros cuando se observan con luz polarizada cruzada (LPX), por el contrario, un mineral anisotrópico usualmente aparece coloreado al insertar el analizador, y queda en posición de extinción cuatro veces, cada 90° , durante un giro de 360° de la sección delgada en la platina; no obstante, esta propiedad depende de la orientación cristalográfica y cada mineral posee al menos una orientación, la cual le da un carácter isotrópico.

Continuando con las propiedades ópticas de los minerales en LPX, se abordó la extinción e iluminación (Figura 20B); cuando en el microscopio se inserta el analizador, esta placa transmite únicamente la luz cuya vibración está en dirección perpendicular al polarizador, lo que hace que las ondas paralelas no puedan pasar a través de él, proyectando oscuridad total. Al analizar un mineral anisotrópico en LPX, la luz que viene del polarizador es distorsionada por el mineral de manera que esta vibra en diferentes direcciones y con diferentes niveles de amplitud, sólo aquellas ondas que vibran en la misma dirección del analizador alcanzarán al observador, produciendo la imagen del mineral (Schmidt, 2023) y esta varía en la intensidad del color al girar la platina. Cada 90° durante una rotación completa la luz es nula y se dice que el mineral se encuentra en posición

de extinción; a 45° de cada posición de extinción ocurre una posición de máxima iluminación, de la misma manera el ángulo entre la dirección de vibración de un rayo de luz y cualquier dirección cristalográfica bien definida, se denomina ángulo de extinción, y se mide usando cristales euhedrales o subhedrales, que hayan sido cortados paralelos al eje c (eje de alargamiento). Se denomina extinción recta o paralela cuando la posición de extinción coincide con la del polarizador o analizador, con un ángulo de extinción 0° ; en caso de que el ángulo sea diferente de 0° se denomina extinción oblicua, algunos cristales del mismo mineral, en distintas orientaciones, mostrarán diferentes ángulos de extinción, en este caso es necesario determinar el máximo ángulo de extinción. Para minerales cortados de manera perpendicular al eje c, no es posible determinar el ángulo de extinción, por lo que se dice que presentan extinción simétrica.

La siguiente propiedad óptica es el color de interferencia (Figura 20C), que se relaciona con el retardo provocado por el mineral, está dado por la expresión: $D = e(N-n)$, donde: D es el retraso o diferencia de fase, e es el espesor y (N-n) la birrefringencia. Los colores de interferencia se clasifican en ordenes de acuerdo con el retardo, cada 550nm, y se compilan en la Carta de Color de Michel Levy.

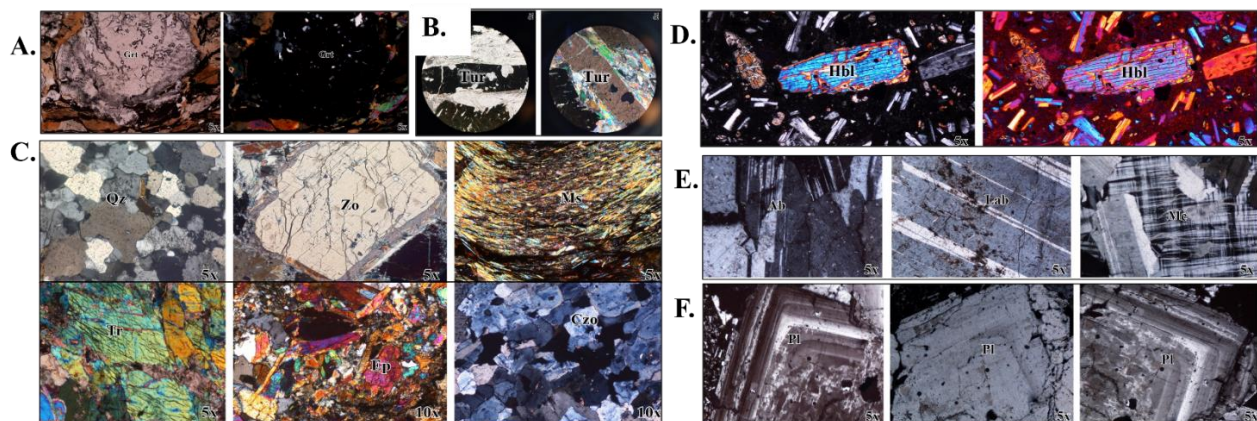
El siguiente concepto se determina cuando un rayo de luz polarizado atraviesa un mineral anisotrópico, orientado adecuadamente, sufre el fenómeno de la doble refracción, desarrollándose dos rayos (lento y rápido), cuyas velocidades son inversamente proporcionales a sus índices de refracción, la diferencia numérica entre estos dos índices de refracción es lo que se conoce como birrefringencia (Schmidt, 2023). Relacionado con lo anterior se presenta el concepto del signo de elongación (Figura 20D), que es definido exclusivamente para minerales que presentan una dirección preferente/hábito alargado, la elongación puede ser positiva o negativa; cuando el rayo rápido del mineral vibra paralelo a la longitud del mineral elongado o paralelo a la exfoliación es

negativa y cuando el rayo lento del mineral vibra paralelo a la longitud del mineral elongado o paralelo a la exfoliación, se denomina elongación positiva (Schmidt, 2023).

Finalmente, se describen propiedades texturales como las maclas, la zonación y las inclusiones. Las maclas están constituidas por cristales (dos o más) del mismo mineral cuyas orientaciones cristalográficas están relacionadas por un elemento simple, ciertos tipos de maclas son características de algunos minerales en particular como las plagioclasas (Schmidt, 2023) (Figura 20E). La zonación describe los cambios composicionales que se producen entre el núcleo y el borde de un cristal de un mineral (Schmidt, 2023) (Figura 20F). Por último, se describen como inclusiones los cristales de otro mineral, o cualquier otra sustancia, que han quedado atrapadas, dentro de un mineral durante su cristalización.

Figura 20

Microfotografías para ilustrar las propiedades ópticas en LPX en el laboratorio 5



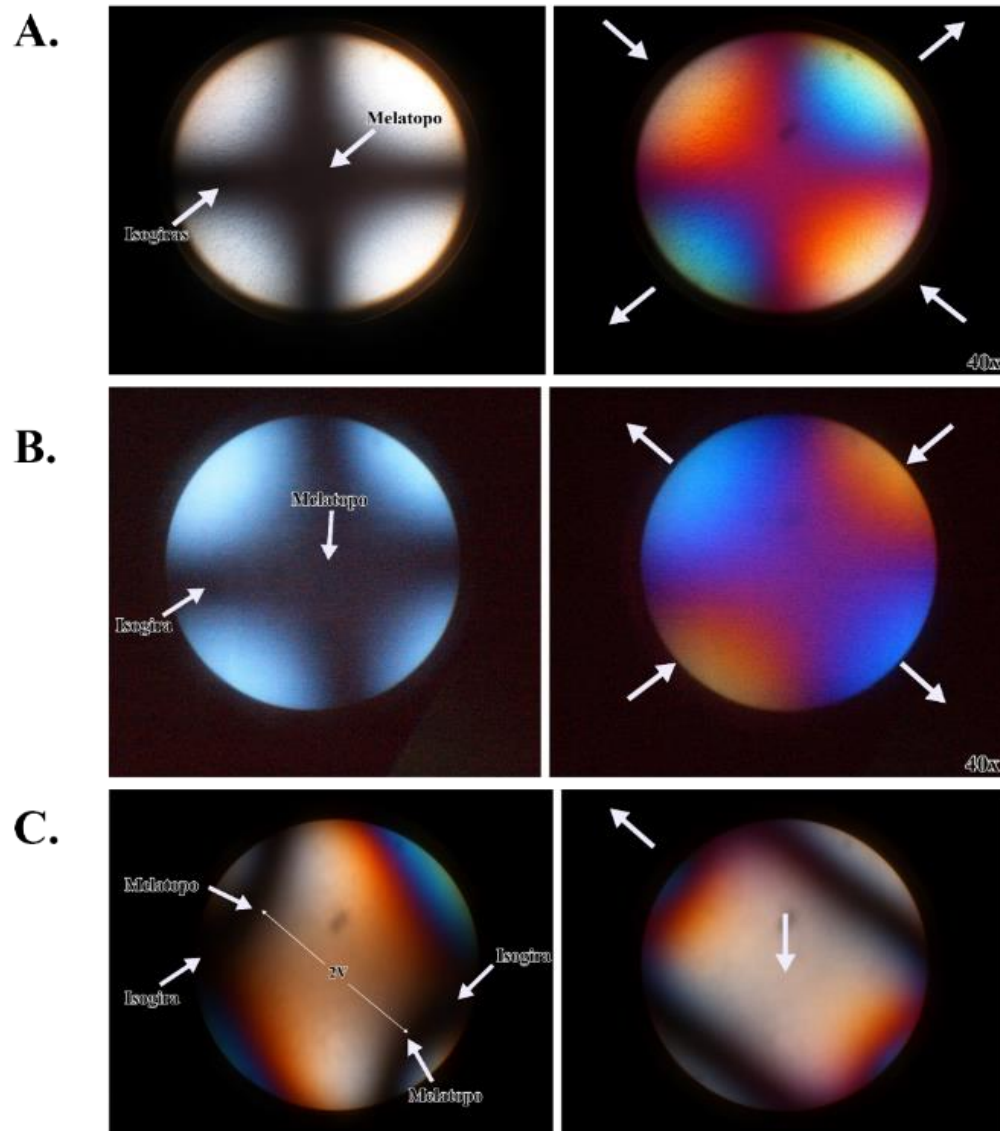
Nota. **A.** Isotropismo: Cristal de Granate (Grt) isotrópico en LPP y LPX, en la muestra RM-8. **B.** Angulo de extinción en un cristal de Turmalina (Tur), en la muestra RM-14. **C.** Colores de interferencia: colores grises de primer orden del cuarzo (Qtz) en la muestra RI-1, amarillos de primer orden de la zoisita (Zo) en la muestra RM-27, de segundo orden en cristales de moscovita (Ms) en la muestra RM-16, de segundo y tercer orden en tremolita (Tr) en la muestra TRM-1 y

epidota (Ep) en la muestra RM-55, y Colores de interferencia anómalos, en tonalidades azules, en cristales de clinozoisita (Czo) en la muestra RM-35. **D.** Elongación: Carácter de elongación positivo (+) en un cristal de anfíbol (Hornblenda, Hbl) en la muestra RM-19. **E.** Maclas: cristal de albita (Ab) en la muestra ALB-1, labradorita (Lab) con macla periclina en la muestra LAB-1 y cristales de microclina (Mc) con su característica macla de Tartán o enrejado en la muestra RI-63. **F.** Zonación: Cristal de plagioclasa (Pl) con zonación, visto en diferentes posiciones con LPX, en la muestra RI-31.

5.2.1.6 Laboratorio 6 - Determinación del carácter y signo óptico de un mineral. En este laboratorio se presentan las figuras de interferencia como curvas o patrones de colores birrefringentes llamados isocromas cruzados por las isogiras, que son bandas/brazos negros, con un punto central denominado melatopo. Las figuras de interferencia de un mineral se observan en secciones delgadas, debidamente orientadas, bajo luz polarizada cruzada, haciendo uso de la luz conoscópica y un lente auxiliar ubicado sobre el analizador conocido como lente de Bertrand (Schmidt, 2023). Los minerales pueden evidenciar figuras de interferencia uniáxicas o biáxicas; las primeras sólo tienen un eje óptico (Figura 21A-B) y las segundas presentan dos isogiras hiperbólicas que se separan a medida que se gira la platina del microscopio (Figura 21C). Las figuras de interferencia pueden ser centradas, ligeramente descentradas, completamente descentradas o “flash”, de acuerdo con el corte en relación con el eje óptico y el tipo de figura.

A continuación, se aborda el concepto del ángulo $2V$; el ángulo agudo definido por los ejes ópticos de un mineral biáxico es conocido como ángulo óptico y es designado como $2V$, puede determinarse a partir de la separación de las isogiras de una figura de interferencia biáxica en bisectriz aguda centrada en posición de 45° o en figuras centradas con base en la curvatura de las isogiras (Finn, s. f.).

Por último, se define el procedimiento para distinguir el signo de las figuras de interferencia, para determinarlo se hace uso de los colores de las isocromas al insertar una placa de yeso. En minerales uniaxiales esta placa produce el efecto de superponer rojo de primer orden a la figura de interferencia, el resultado mostrará que en los cuadrantes donde hay aumento, el rojo más el gris produce azul y en los cuadrantes alternos el rojo menos el gris produce amarillo, en consecuencia, se observará una distribución de colores que a su vez permitirán identificar el signo. En minerales positivos, el amarillo se dispone en sentido SE-NW, y azul en NE y SW (Figura 21A), y viceversa para los negativos (Figura 21B). En minerales biáxicos, al hacer uso de la placa de yeso en la trayectoria de la luz que emerge de un mineral biáxico negativo, la dirección del rayo lento de la placa es perpendicular a la dirección del rayo lento del mineral (viajando a lo largo del plano de la bisectriz aguda (Bxa)) provocando una reducción de la interferencia (substracción) sobre los rayos de luz de movimiento lento y un color amarillo se manifiesta sobre el lado convexo de la isogira. Lo contrario ocurre en el caso de un mineral biáxico positivo, lo que da como resultado un color azul sobre el lado convexo de la isogira (Finn, s. f.).

Figura 21*Microfotografías de las figuras de interferencia*

Nota. **A.** Figura de interferencia uniaxial positiva del cuarzo en la muestra Fig. Qtz 1. **B.** Figura de interferencia uniaxial negativa de la Turmalina en la muestra Fig. Tur. **C.** Figura de interferencia biaxial positiva de la moscovita en la muestra Fig. Ms.

5.2.1.7 Laboratorio 7 - Propiedades ópticas generales de los feldespatos. A continuación, los laboratorios buscan entrenar al estudiante para reconocer las propiedades ópticas de los minerales formadores de roca más comunes. Inicialmente se abordan los feldespatos que se definen como los minerales más frecuentes en las rocas de la corteza terrestre y que comprenden dos series: los feldespatos alcalinos, cuyas composiciones varían entre la de la ortoclasa (Con alto contenido de K) y la de la albita (Alto contenido de Na), y los feldespatos plagioclasas, que forman una serie continua cuya composición varía entre la albita (Miembro rico en Na) y la anortita (Miembro rico en Ca) (Geoxnet, s. f.).

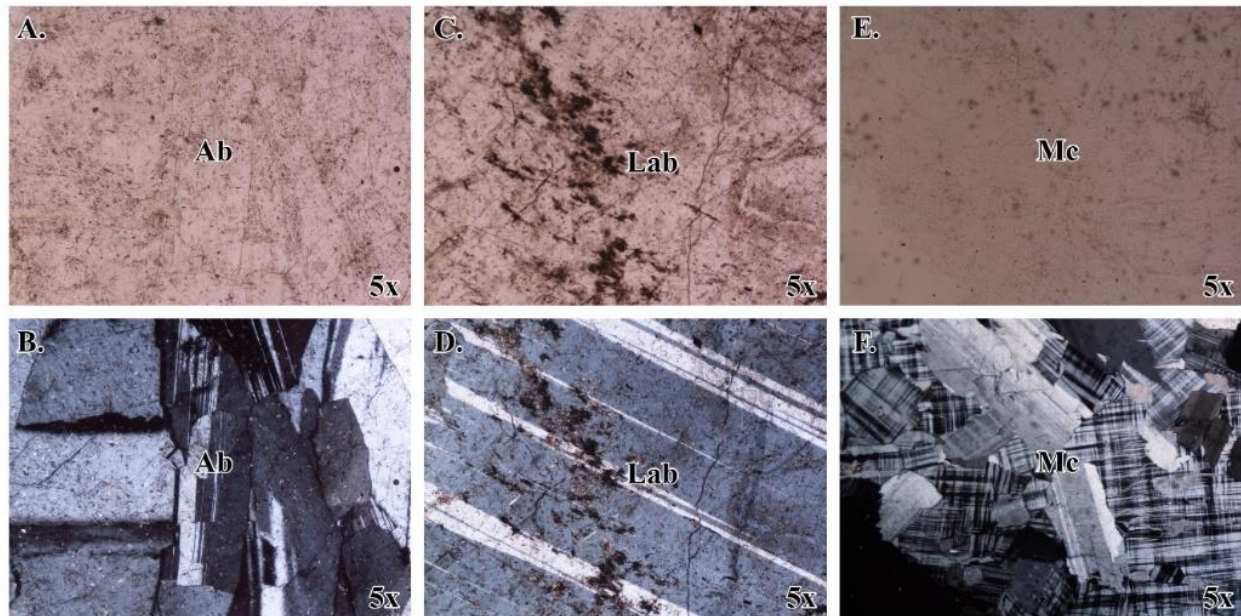
A escala microscópica las características ópticas más comunes son: en LPP, bajo relieve, incoloro (Figura 22A-C-E), en cristales subhedrales, exfoliación en una dirección y alteración a sericita, y en LPX se observan colores de interferencia de grises a amarillos del primer orden, maclas y zonación composicional (Figura 22B-D-F) (Gil-Crespo, 2024).

Como segunda parte de este laboratorio se aborda la determinación óptica de la composición de la plagioclasa, para la que se presentan dos métodos: (1) Método de Michel-Levy y (2) Método de las Maclas Combinadas de albita-Carlsbad (Universidad Nacional de Jujuy, s. f.). En el primer Método, se mide el ángulo de extinción de las maclas de albita en mínimo 10 cristales, teniendo en cuenta que estos deben tener el plano (010) perpendicular a la platina del microscopio, es decir, al orientar el cristal N-S las lamelas de este deben tener el mismo color (Universidad Nacional de Jujuy, s. f.), y finalmente el máximo ángulo medido es usado para determinar la composición haciendo uso del gráfico para la determinación del %An en plagioclasas. En el caso del Método de las Maclas Combinadas, solo es necesario un cristal que tenga los dos tipos de macla y que la sección sea perpendicular a 010, generalmente se obtienen cuatro posiciones de

extinción para el cristal de plagioclasa: X1, X2 y Y1, Y2 (Universidad Nacional de Jujuy, s. f.) y posteriormente también se hace uso de una gráfica que permite determinar el % An.

Figura 22

Feldespatos Plagioclasa y Alcalinos



Nota. **A.** Cristales de albita (Ab) en LPP en la muestra ALB-1. **B.** Cristales de albita en LPX en la muestra ALB-1. **C.** Cristal de labradorita (Lab) en LPP en la muestra LAB-1. **D.** Cristal de labradorita en LPX en la muestra LAB-1. **E.** Cristales de microclina (Mc) con LPP en la muestra RI-63. **F.** Cristales de microclina en LPX en la muestra RI-63.

Secciones recomendadas para esta práctica de laboratorio: LAB-1, RI-1, RI-7, RI-19, RI-31, RI-42, RI-48, RI-51, RI-63, RI-70, RM-53, ALB-1

5.2.1.8 Laboratorio 8 - Propiedades ópticas generales del Olivino, Piroxeno y Anfíbol. En principio se presenta el Olivino (Figura 23A-B), cuya serie isomorfa va desde la forsterita (Rica en Mg) hasta la fayalita (Rica en Fe); en sección delgada las principales características son; en LPP es incoloro o ligeramente amarillento/verdoso, tiene relieve fuerte, fracturas irregulares y

generalmente xenomorfo en cristales redondeados, y en LPX el olivino puede mostrar colores de interferencia de primer, segundo y tercer orden, según la orientación del corte de sus cristales, birrefringencia alta, con zonación en algunos cristales marcada por un color de interferencia diferente en el centro, debido un cambio en la composición, que hace que el exterior sea más rico en Fe (con mayor birrefringencia) (Gil, 2024).

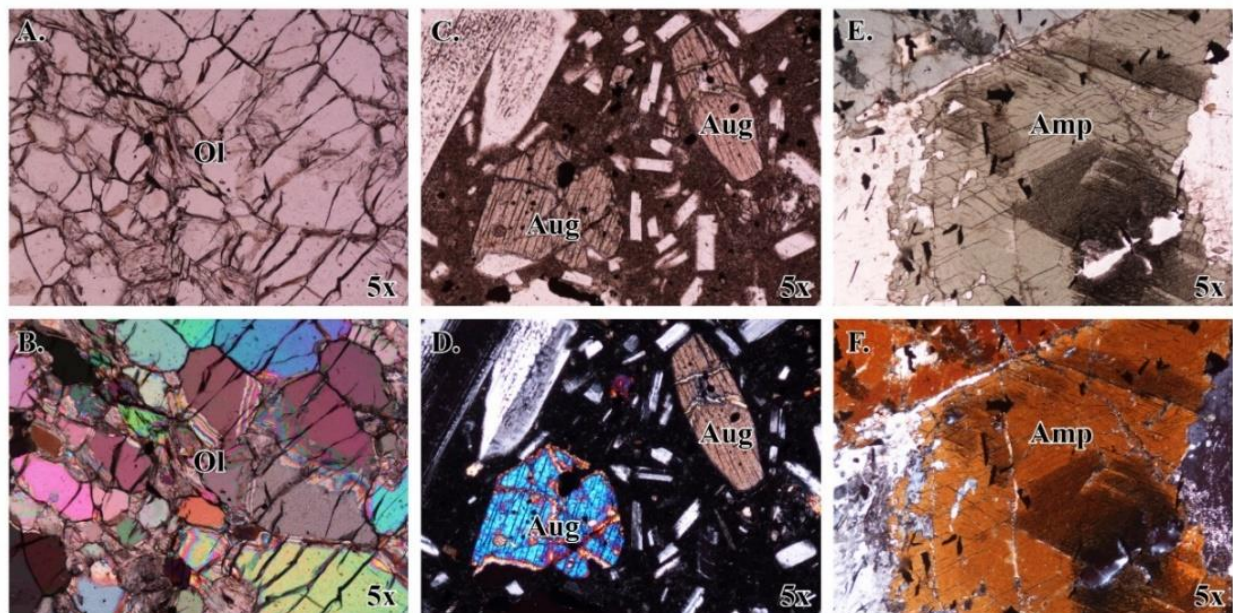
Posteriormente, las propiedades ópticas características de los Piroxenos (Ortopiroxenos y Clinopiroxenos); su característica más destacada es la presencia de lamelas de exsolución y se denota que los dos tipos coexisten generalmente en las rocas. Los Ortopiroxenos también tienen una serie que va desde un miembro rico en magnesio (Enstatita, con alto contenido de Mg) hasta uno rico en hierro (Ferrosilita, con alto contenido de Fe), en sección delgada algunos presentan exfoliación y otras fracturas irregulares, tienen colores de interferencia del primer orden, por lo que su birrefringencia es baja, el pleocroísmo de pardo rojizo a verde es una característica particular, sin embargo, no siempre se puede observar, la extinción recta en secciones con una única exfoliación permite diferenciarlos de los clinopiroxenos que pueden tener extinción oblicua (Gil, 2024). Por su parte los Clinopiroxeno, cuya serie se encuentra entre el diópsido (rico en Mg) y la hedenbergita (rica en Fe), puede presentar colores de absorción desde incoloro a verde pálido, en algunos casos los cristales exhiben pleocroísmo, con relieves medios a alto, formas subhedrales y euhedrales, colores de interferencia del segundo orden y presencia de maclas polisintéticas o simples. Adicionalmente, se describen las características ópticas de otras variedades como la Piegionita, Augita (Figura 23C-D), Jadeíta, Aegirina, Onfacita y Espodumena.

Para finalizar este laboratorio se abordan las características de los Anfiboles (Figura 23E-F), un grupo de variadas composiciones (estructuras cristalinas similares con diversas sustituciones químicas) que forma una serie continua junto con la actinolita. En sección delgada pueden

presentar características variadas, los colores son variados entre una gama de verdes, amarillos, marrones y rojizos, la exfoliación permite diferenciarlos de otros minerales de características similares, pues casi siempre presentan al menos en una dirección, en cuanto su relieve este puede variar de medio a alto, de la misma manera que lo hacen los colores de interferencia, siendo el color pardo de segundo orden el más alto (Ríos & Castellanos, 2005. Gil, 2024).

Figura 23

Cristales de Olivino, Clinopiroxeno y Anfíboles



Nota. **A.** Cristales de olivino (Ol) en LPP en la muestra RI-37. **B.** Cristales de olivino en LPX en la muestra RI-37. **C.** Cristales de augita (Aug) en LPP en la muestra RI-19. **D.** Cristales de augita en LPX en la muestra RI-19. **E.** Cristal de anfíbol en LPP en la muestra EST-1. **F.** Cristal de anfíbol en LPX en la muestra EST-1.

Secciones recomendadas para este laboratorio: RI-37, RI-7, RI-13, RI-19, TRM-1, EST-1, RI-31, RI-38, RI-39

5.2.1.9 Laboratorio 9 - Propiedades ópticas generales de las Micas (Biotita y Moscovita)

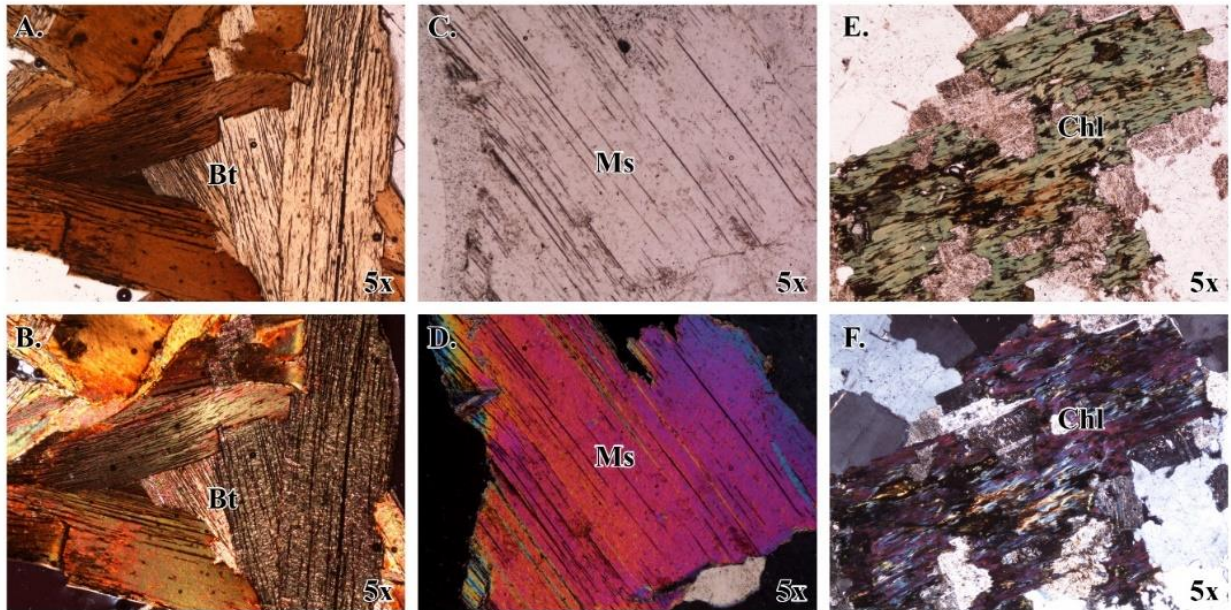
y Clorita. En este laboratorio el primer mineral descrito es la Biotita (Figura 24A-B), éste forma una serie con la flogopita y se exfolia con facilidad en delgadas láminas flexibles. Dentro de sus características principales los colores de absorción varían entre pardo rojizo y marrón, la presencia de exfoliación es bastante común, perfecta en una única dirección, presenta relieve medio en cristales subhedrales con un hábito tabular.

A continuación, se presenta la Moscovita (Figura 24C-D) es la siguiente mica descrita dentro de este capítulo; sus principales características ópticas son: incolora en LPP, su forma es generalmente subhedral, con hábito alargado o tabular, y además presenta un bajo relieve; sus colores de absorción son variados y vivos, van desde el final del segundo orden hacia arriba en la Carta de Color de Michel Levy.

Por último, se describe la Clorita (Figura 24E-F), este mineral exhibe colores de absorción verdes con pleocroísmo marcado entre verde y amarillo pálido. La birrefringencia de la clorita es menor que la de la biotita y la moscovita; las cloritas muestran con frecuencia colores de interferencia anormales (habitualmente pardo o azul), es decir, colores que no aparecen en la escala de birrefringencia para este mineral.

Figura 24

Cristales de micas (Biotita y Moscovita) y Clorita



Nota. **A.** Cristales de biotita (Bt) con LPP en la muestra GRT-1. **B.** Cristales de biotita en LPX en la muestra GRT-1. **C.** Cristal de moscovita (Ms) en LPP en la muestra MUS-1. **D.** Cristal de moscovita en LPX en la muestra MUS-1. **E.** Clorita (Chl) reemplazando un cristal de biotita en LPP en la muestra CHL-2. **F.** Clorita en LPX en la muestra CHL-2.

Secciones recomendadas para este laboratorio: GRT-1, RI-19, RI-83, CHL-2, RM-16, MUS-1, RM-8, RI-1

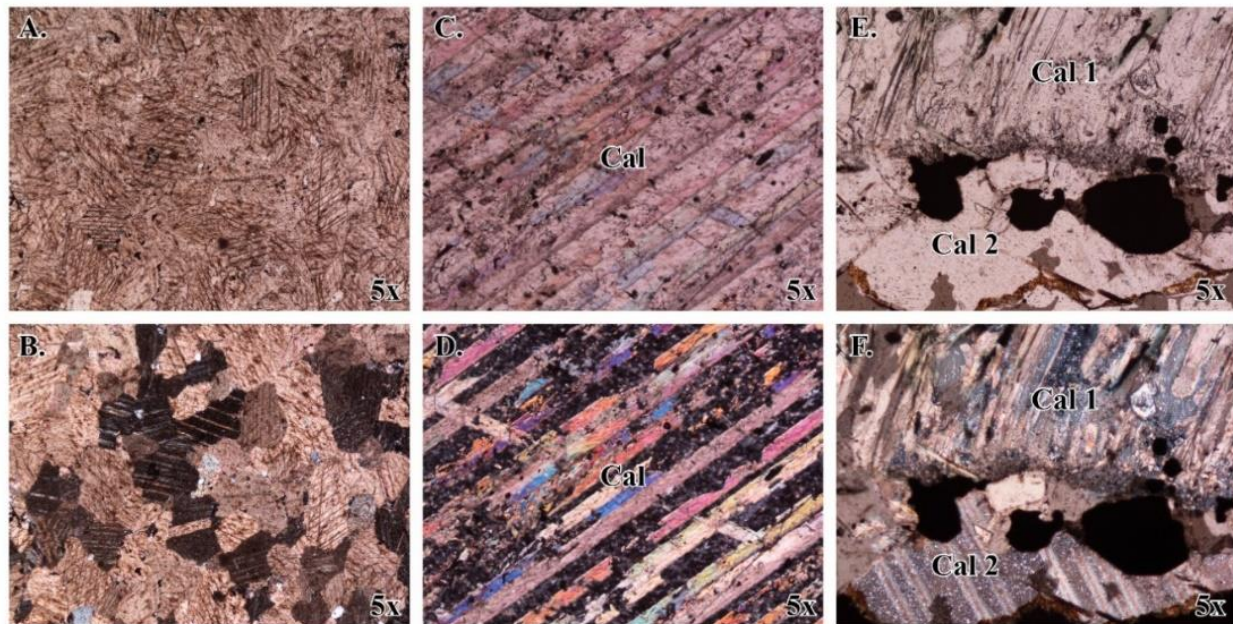
5.2.1.10 Laboratorio 10 - Propiedades ópticas generales de los Carbonatos. Para la presentación del grupo de los carbonatos se inició con el mineral más común, la calcita (Figura 25). Algunas de sus características representativas son; que es incolora, en cristales xenomorfos y presenta una exfoliación perfecta en una única dirección. La calcita presenta pleocroísmo del relieve, lo que significa que este varía a medida que se gira la muestra en el microscopio, este cambio suele ser de medio a alto.

El segundo mineral mencionado es la dolomita (con presencia de Mg) (Figura 25). Los cristales de dolomita son comunes en rocas sedimentarias generalmente por procesos de precipitación. Las características ópticas de este mineral son muy parecidas a la de la calcita, por lo que para hacer su identificación en sección delgada es necesario utilizar un método de tinción, como es el caso del rojo de alizarina y ferricianuro potásico.

Siguiendo con el grupo de minerales, se encuentra la Ankerita. La ankerita forma una serie continua con la dolomita y se encuentra generalmente en cristales euhedrales romboédricos. Puede ser incolora o encontrarse en tonalidades marrones, pero sin pleocroísmo. También presenta pleocroísmo en el relieve, maclas polisintéticas y un alto valor de birrefringencia con altos colores de interferencia.

Otro mineral del grupo carbonato es la siderita. También es predominante de las rocas sedimentarias, como nódulo y septarias, aunque pueden aparecer como ganga en depósitos hidrotermales y rocas metamórficas. Sus propiedades ópticas son muy similares a la de la calcita, aunque en algunos casos se puede observar de color amarillo y marrón. Adicionalmente puede presentar alteración a óxidos por su contenido en hierro.

Finalmente se presenta la magnesita. Forma una serie continua con la siderita y algunas ocasiones puede aparecer como mineral por alteración en rocas con abundante silicato de magnesio. En sección delgada puede encontrarse con un hábito fibroso en cristales incoloros, tiene exfoliación perfecta en un único plano y relieve medio. En cuanto a su birrefringencia y colores de interferencia, exhibe las mismas características de los minerales mencionados anteriormente.

Figura 25*Cristales de Carbonato*

Nota. En la parte superior (**A**, **B** y **C**) son vistos con LPP. En la parte inferior, las figuras se observan con LPX y en las maclas (**D.**) pueden observarse los altos colores de interferencia. En **E.** y **F.** se puede observar dos maneras de encontrar la calcita, de tipo fibrosa (Cal 1) o en hábito masivo (Cal 2). Muestras RM-9, CAL-1 y ACT-1.

Secciones de la colección recomendadas para el desarrollo de este laboratorio: RM-9, CAL-1, CAL-2, CAL-3, CAL-4, CAL-5, CAL-6, ACT-1, RI-27

5.2.1.11 Laboratorio 11 - Descripción de minerales en sección delgada haciendo uso de un Software Interactivo. Para el desarrollo de esta práctica, se recomendó la plataforma [VIRTUAL MICROSCOPE](#) de la propiedad de The Open University, para el estudio de ciencias de la tierra; este recurso educativo abierto amplía el acceso a colecciones geológicas de diferentes universidades.

Se debe tener en cuenta que esta herramienta tiene algunas limitaciones que dificultan realizar la descripción sistemática de propiedades ópticas de minerales completa, sin embargo, presentan un importante acercamiento a los minerales en sección delgada y puede utilizarse como una manera de aprender en cualquier lugar y a cualquier hora.

5.2.2 Evaluación e Impacto del Manual de Prácticas de laboratorio en la asignatura Mineralogía Óptica.

El Manual está diseñado para ser utilizado antes, durante y después de las prácticas de laboratorio, con el fin de que los estudiantes puedan; repasar los conceptos antes de la visita al laboratorio, y tengan en mente lo que deben hacer, durante la práctica ayuda desarrollar un sentido de autonomía en el estudiante, evitando que dependa solamente del docente y los auxiliares, y posteriormente al realizar el informe de laboratorio permite recordar conceptos o procedimientos.

La distribución de este material ha sido uno de los objetivos clave para la creación de estos productos con la idea de que éstos puedan llegar a la mayor cantidad de personas. Teniendo en cuenta algunos parámetros como la facilidad al acceso, y otros factores como la responsabilidad con el medio ambiente, se determinó como fuente para su distribución digital en archivo PDF, que se encontrará disponible en la sección virtual de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander dentro de este proyecto de grado, sin embargo, queda la sugerencia para llevar a cabo la distribución física y/o a través de otras plataformas en línea.

5.3 Catálogo Digital

El Catálogo Digital está pensado como una herramienta dirigida a los docentes y a los estudiantes de la Escuela de Geología. Este puede ser un apoyo en caso de tener dudas respecto a lo que se está observando en cada sección delgada, o si se requiere encontrar una muestra con determinado tipo de información antes de visitar el laboratorio. La intención de presentar este

producto como un archivo de Excel es que se pueda manejar de manera intuitiva, con las opciones de búsqueda a través de filtros, facilitando el acceso a la información y que los datos puedan ser actualizados periódicamente de forma estandarizada (Apéndice A). El archivo original será encontrado en la sección virtual de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander dentro de este proyecto de grado, sin embargo, se propone que la Escuela de Geología pueda tener una copia que se encuentre actualizada junto con la Colección y que permita ser visualizada sin acceso a edición por terceros no autorizados.

5.3.1 Contenido y estructura del Catálogo Digital

En la Figura 26 se proporciona una vista general del Catálogo Digital (Apéndice B).

Código: iniciales y números que permiten la identificación de las muestras, asignados en la sección 4.2.3.

Tipo y nombre de roca: Con el uso de los diagramas de clasificación propuestos en el capítulo de ejecución, se determinaron 37 muestras como rocas ígneas (17 intrusivas y 20 extrusivas), 25 como rocas metamórficas y 5 como rocas sedimentarias. Además, 15 muestras fueron catalogadas a partir de un mineral en específico.

Minerales y alteraciones: Asociación de minerales encontrados en las muestras junto con los minerales resultados por alteración. Cuarzo, plagioclasa, hornblenda, biotita, apatito, minerales opacos, calcita, zeolita, epidota, feldespato potásico, piroxeno, moscovita, pirocloro, olivino, zircón, turmalina, granate, zoisita, wollastonita, estaurolita, cianita, serpentina, berilo, labradorita, siderita, y por último se identificaron fósiles, estos no fueron caracterizados.

Como minerales de alteración hidrotermal se encontraron clorita, saursorita, sericita y caolinita.

Propiedades destacadas: Esta columna se encuentra constituida por algunos rasgos texturales y estructurales que se identificaron en los minerales, así como por propiedades ópticas específicas que se encuentran bien representadas en cada sección. Dentro de las propiedades destacadas tenemos, algunos minerales tienen texturas de embahamiento, también presentan colores de interferencia anómalos, varios tipos de macla en cristales de calcita y feldespato, extinción, zonación, presencia de pleocroísmo, carácter óptico: isotropismo, presencia de clivaje/exfoliación.

Representatividad: Hace referencia al valor que representa dentro de la Colección de Secciones Delgadas. De acuerdo con los criterios de representatividad se encontraron: 7 secciones que corresponden a la representatividad 1, 38 de representatividad 2, 13 de representatividad 3, 4 de representatividad 4, y 21 secciones que no se tuvieron en cuenta para definir su parámetro de representatividad debido a que no se cuenta con ningún tipo de información adicional, por lo tanto éstas corresponden a el dato “no aplica” para este parámetro.

Localización y recolector: Lugar en el que se recolectó la muestra de mano y nombre de la persona recolectora. A continuación, se menciona las localidades consultadas y obtenidas en el levantamiento de la base de datos: Boulder, Colorado (USA), Complejo Arquía, Pijao (COLOMBIA), Daisen Volcanoe (JAPAN), Fm. Neis de Bucaramanga, Matanza (COLOMBIA), Fm. Silgará, Macizo de Santander (COLOMBIA), Fm. Silgará, Matanza (COLOMBIA), Fm. Silgará, Pescadero (COLOMBIA), Lugiin Gol Nepheline Syenite Complex (MONGOLIA), Mt. Aono Volcanoe (JAPAN), Rocas graníticas de la Cordillera Litoral Catalana (ESPAÑA), Sambagawa Metamorphic Belt (JAPAN), Toledo (COLOMBIA), Tonaru, Sambagawa Metamorphic Belt (JAPAN), Yacimiento Minero de Tintaya (PERÚ) y se marcan como “desconocido” para aquellas láminas donde no se encontró información relacionada.

Dentro de los recolectores identificados sólo se encontraron dos: B. Munkhtsengel y C. Ríos, para los demás se denominan como “desconocido”.

Microfotografías: Fotografías obtenidas en el laboratorio con el microscopio de luz transmitida con luz polarizada plana (LPP) y luz polarizada cruzada (PLX) como vista previa del contenido de las secciones delgadas. Para algunas de las muestras no fue posible recolectar ningún tipo de imagen, 4 muestras de rocas metamórficas no cuentan con esta información debido a que no fue posible realizar su traslado de la Sede UIS-Guatiguará al Campus Central que es donde se encuentra el microscopio de luz transmitida con la cámara digital, por dificultades en la logística de acceso al lugar de almacenamiento. Adicional a esto, para las muestras preparadas para el laboratorio sobre índice de refracción, sólo fue necesario obtener fotografías de las secciones bajo luz polarizada plana, puesto que es la luz que se necesita para observar esta propiedad.

Figura 26

Catálogo Digital

Número	Código	Ubicación	Nombre	Tipos de roca	Minerales	Alteraciones	Minerales	Propiedades Destacadas	Representatividad	Localización	Recolector	LPP	PLX
1	R1-3	Campus central	Intrusiva/Granodiorita	Ignea	Qz, Pl, Bt, Chl, Ap, Opaos	Sr de Ser con minerales del	Ser, Chl	Macías, micas, arboles, alteración	4	Rocas graníticas de la Cordillera Litoral Catalana (ESPAÑA)	C. Ríos		
2	R1-7	Campus central	Intrusiva/Granodiorita	Ignea	Qz, Pl, Bt, Hbl	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, micas, arboles, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
3	R1-8	Campus central	Intrusiva, Diabro	Ignea	Pl, Nph, Bt, Ap, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, micas, arboles, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
4	R1-11	Campus central	Extrusiva, Andesita	Ignea	Qz, Pl, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, forma tabular, pleocroismo, alteración	1	Desconocido	Desconocido		
5	R1-13	Campus central	Extrusiva, Andesita	Ignea	Qz, Pl, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, forma tabular, pleocroismo	3	Boulder, Colorado (USA)	Desconocido		
6	R1-15	Campus central	Extrusiva, Basalto	Ignea	Pl, Hbl, Px	Ser, Chl	Ser, Chl	Alteraciones	2	Desconocido	Desconocido		
7	R1-16	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, pleocroismo	2	Desconocido	Desconocido		
8	R1-17	Campus central	Extrusiva, Riolita	Ignea	Qz	Ser, Chl	Ser, Chl	Cuarzo embaldado	1	Desconocido	Desconocido		
9	R1-18	Campus central	Intrusiva, Diorita	Ignea	Qz, Pl, Bt	Ser	Ser	Pleocroismo, alteración, macías	2	Desconocido	Desconocido		
10	R1-19	Campus central	Extrusiva, Basalto	Ignea	Pl, Hbl, Px	Ser	Ser	Efoliación	2	Desconocido	Desconocido		
11	R1-20	Campus central	Extrusiva, Riolita	Ignea	Qz, Pl, Bt, Hbl	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías polisintética y zonación en Pl, pleocroismo	2	Desconocido	Desconocido		
12	R1-26	Campus central	Extrusiva, Diabasa	Ignea	Pl, Bt, Hbl, Ep, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías polisintéticas y simple en Pl, pleocroismo	2	Desconocido	Desconocido		
13	R1-27	Campus central	Extrusiva, Diabasa	Ignea	Cal, Zco	Ser, Chl	Ser, Chl	Macía de la calclita, zeolitas	2	Desconocido	Desconocido		
14	R1-31	Campus central	Extrusiva, Dactiloporfírica	Ignea	Pl, Bt, Hbl	Ser, Chl	Ser, Chl	Zonación, macías, efoliación	3	Daisen Volcane (JAPAN)	Desconocido		
15	R1-32	Campus central	Extrusiva, Dactiloporfírica	Ignea	Pl, Bt, Hbl	Ser, Chl	Ser, Chl	Zonación, macías, efoliación	3	Mt. Aono Volcane (JAPAN)	Desconocido		
16	R1-34	Campus central	Extrusiva, Dactiloporfírica	Ignea	Pl, Bt, Hbl, Px, Ap	Ser, Chl	Ser, Chl	Zonación, macías, efoliación	3	Daisen Volcane (JAPAN)	Desconocido		
17	R1-35	Campus central	Intrusiva, Carbonatita	Ignea	Pl, Cal, Ms, Pcl	Ol (alógenita)	Ol (alógenita)	Alteración de los cristales de olivino a alógenita	4	Lugin (Mt. Nephelene Syntite Complex (MONGOLIA))	B. Munkhtsengel		
18	R1-36	Campus central	Extrusiva, Fandita	Ignea	Nes, Hyl, Sr, Amp	Ser, Chl	Ser, Chl	Pleocroismo, Macías (Sl)	3	Desconocido	Desconocido		
19	R1-37	Campus central	Intrusiva, Dunita	Ignea	Ol, Trm, Ms	Ser, Chl	Ser, Chl	Colores de interferencia, fractura	3	Desconocido	Desconocido		
20	R1-39	Campus central	Extrusiva, Andesita porfírica	Ignea	Pl, Bt, Amp, Py	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, forma tabular	2	Desconocido	Desconocido		
21	R1-41	Campus central	Extrusiva, Basalto	Ignea	Qz, Pl, Anz, Ep, En	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, alteración, macías	2	Desconocido	Desconocido		
22	R1-42	Campus central	Extrusiva, Porfido andesítico	Ignea	Pl, Bt, Amp, Spn	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, alteración	3	Desconocido	Desconocido		
23	R1-43	Campus central	Extrusiva, Andesita	Ignea	Qz, Pl, Bt, Ep	Ser, Chl	Ser, Chl	Pleocroismo, Macía simple y zonación en Pl	2	Desconocido	Desconocido		
24	R1-44	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Hbl, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macía polisintética en Pl	2	Desconocido	Desconocido		
25	R1-51	Campus central	Extrusiva, Porfido	Ignea	Qz, Bt, Pl, Zrn, Ep	Ser, Chl	Ser, Chl	Zonación	2	Desconocido	Desconocido		
26	R1-52	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Hbl, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
27	R1-57	Campus central	Intrusiva, Cuarzozonatita	Ignea	Qz, Pl, Hbl, Px	Ser, Chl	Ser, Chl	Efoliación, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
28	R1-63	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Kfs, Tur	Ser, Chl	Ser, Chl	Macía de Tartán (esrajado)	3	Desconocido	Desconocido		
29	R1-64	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Kfs, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías	2	Desconocido	Desconocido		
30	R1-66	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Kfs, Bt, Hbl, Ap, Tur, Zrn, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, Cronones en Bt, Lamelas de resolución (Pl)	3	Desconocido	Desconocido		
31	R1-67	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Kfs, Bt, Hbl	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
32	R1-68	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Kfs, Bt	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, alteración	2	Desconocido	Desconocido		
33	R1-70	Campus central	Extrusiva, Andesita	Ignea	Qz, Bt, Pl, Hbl, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías (Pl), zonación (Pl, Hbl)	2	Desconocido	Desconocido		
34	R1-83	Campus central	Intrusiva, Granito	Ignea	Qz, Pl, Bt, Ms, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, alteración (Ser)	2	Desconocido	Desconocido		
35	R1-90	Campus central	Intrusiva, Diabro	Ignea	Qz, Pl, Bt, Hbl, Px, Ap, Opaos	Ser, Chl	Ser, Chl	Macías, arboles, alteración (Ser)	2	Desconocido	Desconocido		
36	R1-91	Campus central	Extrusiva, Porfido	Ignea	Qz, Pl	Ser, Chl	Ser, Chl	Alteración a drita	1	Desconocido	Desconocido		
37	R1-95	Campus central	Extrusiva, Porfido	Ignea	Cal, Ap, Qz	Ser, Chl	Ser, Chl	Alterada, Cuarzo embaldado, Muestra muy baja (reemplazar de la colec)	2	Desconocido	Desconocido		
38	R1-72	Campus central	Metamórfica	Óxeno hornblendítico	Pl, Bt, Hbl, Px	Ser	Ser	Macías, micas, arboles, alteración	2	Desconocido	Desconocido		

5.4 Flujos y Formatos Operativos de la colección de Mineralogía óptica

5.4.1 Contenido y Estructura de los Flujos y Formatos Operativos

Este documento (Apéndice C) se divide en diferentes capítulos, dentro de los cuales se encuentran consignados los perfiles de los involucrados en la manipulación de la colección; el personal técnico, los docentes y estudiantes, junto con las responsabilidades o conductas esperadas de cada uno, consideraciones generales de las secciones delgadas, lineamientos para la manipulación y almacenamiento, observaciones y flujos para los procedimientos de ingreso, salida y préstamo, y por último los formatos operativos que respaldan cada uno de los procedimientos.

Los flujos (Figura 28) y formatos (Figura 27) para los procesos de ingreso y salida permiten que la colección se mantenga en constante desarrollo. Los profesionales técnicos y académicos deben conocer los procedimientos para que contribuyan a divulgarlo y promover que se pongan en práctica cada uno de los procedimientos descritos.

Servicio de ingreso

Este flujo (Figura 28A) busca garantizar que las secciones que ingresan a la colección pueden ilustrar las propiedades ópticas que se abordan en las prácticas de laboratorio, además que sea apta de acuerdo con el estado de conservación, teniendo en cuenta que serán usadas varias veces por semana, finalmente el flujo asegura que se haga el correcto registro y catalogación de la sección. De la mano del flujo se desarrolló un formato (Figura 27C) que permite tener control del tipo de muestras que ingresan, la fecha en la que se da el ingreso, el código asignado, la práctica para la que está designada y las características que se destacan en cada sección, si se hizo registro fotográfico, la clasificación de acuerdo con la representatividad, información asociada a testigos (muestras de mano), y la firma de quien autoriza el ingreso después de garantizar el cumplimiento del flujo.

Para el ingreso de nuevas muestras lo primero es tener en cuenta que la sección debe tener las características para ilustrar las propiedades consignadas en el Manual de Practicas junto con el estado de conservación, una vez corroborados estos requisitos puede procederse con la inclusión asignando un código a la muestra, llenando el formato asociado, haciendo el levantamiento de las microfotografías, consignando la información en el Catálogo y almacenándola adecuadamente junto a las otras muestras.

Servicio de salida

En el apartado de Salidas, el flujo (Figura 28B) en principio asegura que las secciones delgadas candidatas a salir sean revisadas y se evalúe la posibilidad de repararlas, en caso de que no se pueda hacer nada se procede con el formato de salida (Figura 27B), en el cual se consigna los responsables que autorizan, el motivo de la salida y características propias de la sección como la práctica asociada y la representatividad, esto con el fin de garantizar la trazabilidad de las causas (evaluar las principales causas con el fin de buscar una oportunidad de mejora) y de las acciones para reemplazarla.

Servicio de préstamo

El flujo de préstamo (Figura 28C) busca en principio identificar plenamente al usuario, que este cuente con la autorización de un docente responsable y adicionalmente con la disponibilidad del laboratorio para poder llevar a cabo el análisis petrográfico, así se garantiza el aseguramiento de las muestras de la colección. De la misma manera el formato (Figura 27A) desarrollado cuenta con las columnas que permiten registrar al usuario (nombre y código), el docente que lo autoriza, el periodo en el que requiere el préstamo (fecha del préstamo y fecha de devolución), los códigos de las secciones solicitadas y las firmas que evidencian el recibimiento y entrega del material.

Ubicación y disposición del material



La caja que incluye los ejemplares que conforman la colección se encontrará dentro del material gestionado por los auxiliares administrativos de la Escuela de Geología UIS y se ubica dentro de la respectiva oficina (Escuela de Geología, edificio Jorge Bautista Vesga, Campus Central de la Universidad Industrial de Santander), por lo tanto, son estos los principales actores encargados de hacer cumplir los procesos designados para la gestión del material, de manera que actúan como puente entre la comunidad académica y la colección.



5.4.1 Evaluación e Impacto de los Flujos y Formatos Operativos de Laboratorio



Con el proceso de gestión y administración de las secciones delgadas, y la conformación de la colección, se consiguió proporcionar unas pautas que dieran solución a problemáticas evidenciadas como el control de plagas o desgastes por exposición a condiciones medio ambientales desfavorables (p.e., la humedad) y otros inconvenientes asociadas a la propia gestión como la pérdida de secciones delgadas, y otros de los impactos más destacados es la posibilidad que brinda a la comunidad académica de acceder a la colección de manera responsable.

Figura 27

Formatos Operativos

A			Formato para préstamo fuera del horario de clase Colección de Mineralogía II Escuela de Geología Universidad Industrial de Santander					
	Nombre	Código	Docente que autoriza	Fecha del préstamo	Fecha de la devolución	Código de la o las secciones	Firma de recibido	Firma de devolución

B			Formato para salidas o descartes de muestras Colección de Mineralogía II Escuela de Geología Universidad Industrial de Santander					
	Código de la sección	Práctica asociada	Fotografías en el catálogo (Si o No)	Representatividad	Fecha	Motivo	Nombre de quien autoriza	Firma

C			Formato para ingresos de muestras Colección de Mineralogía II Escuela de Geología Universidad Industrial de Santander								
	Tipo de muestra*	Fecha de ingreso	Código asignado la sección	Práctica asociada y principal característica	Código de fotografía/s	Representatividad**				Testigo* **	Nombre y firma de quien autoriza
						1	2	3	4		

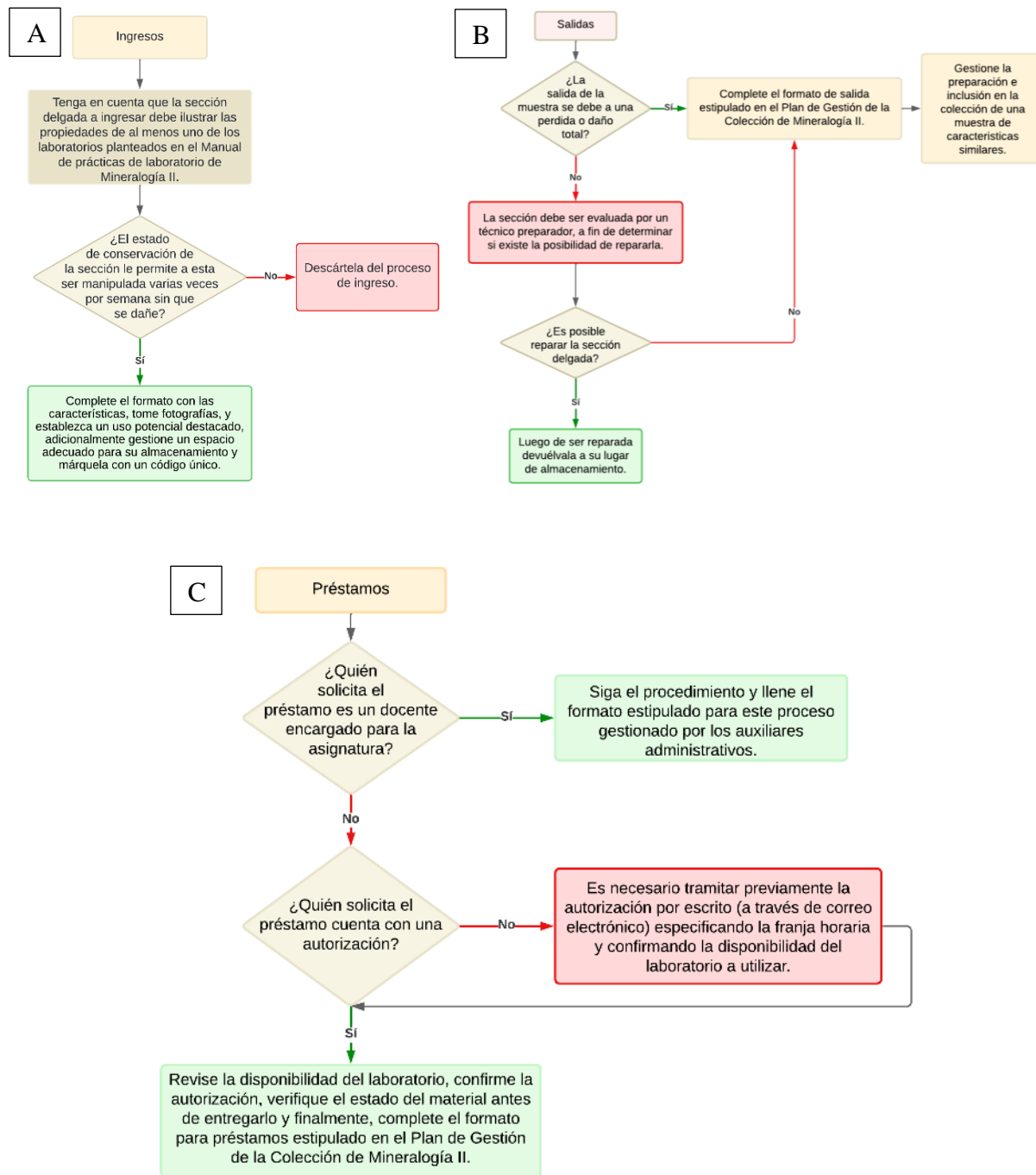
*Tipo de muestra: Roca y/o mineral, tipo de roca o nombre del mineral.

**Representatividad: 1: Poca distribución de las características de interés y roca fácil de reemplazar. 2: Buena distribución y fácil de reemplazar. 3: Poca distribución y difícil de reemplazar. 4: Buena distribución y difícil de reemplazar.

***Testigo: En caso de que exista una muestra de mano asociada a esta sección en otra colección perteneciente a la Escuela de Geología UIS.

Figura 28

Flujos Operativos



Conclusiones

A través del desarrollo de la pasantía de investigación fue posible hacer un reconocimiento de todo el material disponible en el repositorio de secciones delgadas de la Escuela de Geología – UIS, sin embargo, existen un amplio número de ejemplares que todavía podrían tenerse en cuenta por lo que se establecieron mecanismos dentro del plan de gestión que permiten que la colección siga creciendo a medida que más estudiantes y personal académico contribuye revisando el material disponible o aportando nuevos ejemplares.

Partiendo de la idea de que las prácticas de laboratorio son el medio a través del cual se garantiza la correcta gestión de la colección se logró identificar una serie de secciones delgadas con el potencial para que los estudiantes conozcan de primera mano las propiedades ópticas más relevantes, dichas secciones en principio se planteó organizarlas en una sola base de datos que incluyera su código, minerales, fórmula química, laboratorio y propiedades asociadas, sin embargo, durante el proceso se evidenció una mayor utilidad al distribuir estas características dentro de los productos principales, de esta manera se creó un anexo dentro del manual, donde se presentan las prácticas de laboratorio y las secciones recomendadas para cada una, y el Catálogo que es una base de datos en la que se encuentran los códigos, los minerales, las propiedades destacadas y otra información relevante como la localización, el recolector y microfotografías de cada una de las secciones, de esta manera se facilita el acceso a la información.

Gracias a la experiencia como auxiliares de laboratorio fue posible identificar los principales problemas en cuanto a la manipulación y gestión en general de la colección de mineralogía óptica. Teniendo en cuenta que la colección es manipulada por diferentes docentes y personal académico, surgen inconvenientes como la pérdida, alteraciones (marcas) y el incorrecto almacenamiento del material en sus cajas correspondientes, a través del desarrollo del plan de

gestión se crearon procesos que buscan prevenir estos problemas y crean un sentido de responsabilidad sobre las personas que hacen uso de ellas.

Esta pasantía de investigación ha permitido además de la organización y gestión adecuada de la colección de Mineralogía óptica (mineralogía II), la creación de un recurso didáctico y científico de gran importancia para la comunidad académica de la Escuela de Geología – UIS, que no solo facilitará el acceso a los docentes, sino que además motiva a los estudiantes a ser autodidactas y encaminarse en proyectos de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Adams, A., Mackenzie, W. & Guildford, C. (1997). Atlas of sedimentary rocks under the microscope.
- Barrera C. (2020) Colecciones UIS. Museo de Historia Natural. Uis.edu.co.
<http://biologia.uis.edu.co/museo/index.html>
- Cadena, A. (2022). Organización y Estructuración de la Colección Geológica de la Universidad de Santander – UDES. Universidad de Santander
- CAFAE INGEMMET. (2009). Curso teórico – practico de alteraciones hidrotermales.
- Castellanos, E., López, J. (2020). Manual de Mineralogía Óptica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
- Colecciones geológicas | Museu de Ciències Naturals de Barcelona. (2023). Museuciencies.cat.
<https://museuciencies.cat/es/area-cientifica/colecciones/colecciones-geologicas/#:~:text=Las%20colecciones%20geol%C3%B3gicas%20custodian,minerales%20y%20meteoritos>
- CONABIO. 2016. Colecciones biológicas científicas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en www.biodiversidad.gob.mx/especies/colecciones (consultada en noviembre 2023).
- Cristín, A., & Perrilliat, M. (2023). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 63(3), 421–427.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222011000300004

Da Mommio, A. (2020). Alex Strekeisen: Plutonic Rocks, Volcanic Rocks, Metamorphic Rocks and Sedimentary Rocks. Recuperado el 12 de febrero del 2024 de: <http://www.alexstrekeisen.it/english/index.php>

Departamento de física y química, IES La Magdalena. (s. f.). ÓPTICA REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN. IES La Magdalena. Avilés. Asturias. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: <https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Fis/ReflexionRefraccion.pdf>

DGIP, A. (2023). Laboratorio de Láminas Delgadas. Epn.edu.ec. <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas#:~:text=Las%201%C3%A1minas%20delgadas%20o%20secciones,recubiertas%20con%20un%20cubre%20objetos.>

Eberspächer, S., Lange, J., Zaun, J., Kehrer, C. & Heide, G. (2015). The Historical Collection of Rock Thin Sections at the Technische Universität Bergakademie Freiberg and Evaluation of Digitization Methods.

Escuela de Geología - UIS. (2021). Manual de buenas prácticas de laboratorios y litoteca 2021. Laboratorios Escuela de Geología UIS. http://geologia.uis.edu.co/eisi/images/ArchivosEditor/20210622211249-manual_de_laboratorios_y_litoteca_de_la_escuela_d.pdf

Escuela de Geología - UIS. (2022). LAB 315: Laboratorio de Petrografía. <http://geologia.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S350>

Finn, G. (s. f.). Biaxial Optics: Covered in Chapter 7 of Nesse. Brock University. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: https://brocku.ca/mathematics-science/earth-sciences/wp-content/uploads/sites/106/Uniaxial_Optics_I_and_II.pdf

- Finn, G. (s. f.). Interference Figures Biaxial Minerals. Brock University. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: https://brocku.ca/mathematics-science/earth-sciences/wp-content/uploads/sites/106/Biaxial_Interference_Figures_I.pdf
- Finn, G. (s. f.). Interference Figures Uniaxial Minerals. Brock University. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: https://brocku.ca/mathematics-science/earth-sciences/wp-content/uploads/sites/106/Uniaxial_Interference_Figures_I.pdf
- Finn, G. (s. f.). Optic Sign Determination Biaxial Minerals. Brock University. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: https://brocku.ca/mathematics-science/earth-sciences/wp-content/uploads/sites/106/Biaxial_Optic_Sign.pdf
- Finn, G. (s. f.). Uniaxial Optics I: Covered in Chapter 6 of Nesse. Brock University. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: https://brocku.ca/mathematics-science/earth-sciences/wp-content/uploads/sites/106/Biaxial_Optics_I.pdf
- Geoxnet. (2020). GRUPO DE LOS FELDESPATOS. Recuperado el 1 de febrero del 2024 de: <https://www.geoxnet.com/glossary/feldespatos/>
- Gil, P. (20 de febrero 2024). Atlas de Mineralogía Óptica. Ehu.eus. Recuperado el 12 de febrero del 2024 de: <https://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/>
- Gribble, C. & Hall, A. (1992). Optical Mineralogy: Principles and Practice. UCL Press.
- Hibbard, M. (1995). Petrography to petrogenesis. Prentice-Hall.
- Hurlbut, C. Jr. & Klein, C. (1982). Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, S.A., 3^{ra} ed.
- Inventario Nacional de Patrimonio. (2019). Servicio Geológico Colombiano. <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/Inventario-nacional-de-patrimonio-.aspx>

- Jerez, J. Suárez, J. (2023). Organización y Gestión de Colección Geológica de Fósiles. Universidad Industrial de Santander
- Kenneth, W. and Christiansen, E. (1995). Earth's Dynamic Systems. Prentice Edition.
- Kemet. (s. f.). Secciones delgadas como una roca (Preparación de secciones delgadas petrográficas). Recuperado el 2 de Junio del 2024 de: <https://www.kemet-international.com/mx/productos/petrografia/secciones-delgadas-como-una-roca>
- Mackenzie, W. & Adams, A. (1997). Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada. Masson, S.A.
- Mackenzie, W., Donaldson, C. & Guilford, C. (1997). Atlas of igneous rocks and their textures. Longman.
- Mackenzie, W. & Guildford, C. (1997). Atlas of rock-forming minerals in thin section. Longman.
- Martínez, C. (3 de mayo de 2016). Las vitrinas de la exposición de minerales del MNCN explican gran parte de la conquista española de América. Museo Nacional de Ciencias Naturales. <https://www.mncn.csic.es/es/comunicacion/blog/las-vitrinas-de-la-exposicion-de-minerales-del-mncn-explican-gran-parte-de-la>
- Martins, J. (15 de junio de 2024). ¿Qué es el Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA)? ASANA. <https://asana.com/es/resources/pdca-cycle>
- Mesa, D & Bernal, A. (2005). PROTOCOLOS PARA LA PRESERVACIÓN Y MANEJO DE COLECCIONES BIOLÓGICAS. Boletín Científico. Museo de Historia Natural. https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141519/Protocolo_Conser_vacion_manejo_colecciones_biologicas.pdf?sequence=1

- Museo Nacional de ciencias naturales - MNCN. (2010). LA COLECCIÓN HISTÓRICA DE LÁMINAS DELGADAS MICROPETROGRÁFICAS. Recuperado el 1 de abril del 2024 de: https://www.mncn.csic.es/docs/2010/07/07/14440001_4_2_4.pdf
- NIKON CORPORATION. (s. f.). Nikon ALPHAPHOT-2 POL Instructions.
- Paris, G. (1983). Manual de mineralogía óptica. Boletín Geológico. 26. 3-110. Hall. Seventh
https://www.researchgate.net/publication/360106534_Manual_de_mineralogia_optica
- PMI (2021). Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos. Guía del PMBOOK y el Estándar para la Dirección de Proyectos.
- Ríos, C & Castellanos O. (2005). Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. Ediciones UIS.
- Rodríguez, G., Arango, M., Zapata, G. & Correa, A. (2017). CATÁLOGO DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DE COLOMBIA TONALITA DE SAN MARTÍN. Catalogo unidades estratigráficas de Colombia. Servicio Geológico Colombiano.
- Schmidt, S. (2023) Transmitted Light Microscopy of Rock-Forming Minerals.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-19612-6>
- Servicio Geológico Colombiano - SGC & Banco de Información Petrolera - BIP. (2022). Manual de entrega de información técnica y geológica de evaluación, exploración y producción de hidrocarburos al Banco de Información Petrolera – Anexo 5. Entrega de muestras geológicas a la Litoteca Nacional.
- Simmons, J. & Muñoz, Y. (2005). Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas. Conservación Internacional: serie manuales de capo. Universidad Nacional de Colombia.
- The Geology of Colombia. (2018). Servicio Geológico Colombiano.
<https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/decreto-1353-2018/Paginas/Inicio.aspx>

- Institut de Recerca en Educació, Universitat de Barcelona – IREUB. (2019). ¿Conoces el método Pecha Kucha para hacer presentaciones rápidas y sugerentes? Recuperado el 15 de junio del 2024 de: <https://www.ub.edu/ire/es/conoces-el-metodo-pecha-kucha-para-hacer-presentaciones-rapidas-y-sugerentes-aviso-sera-la-modalidad-de-presentacion-de-comunicaciones-en-el-i-congreso-internacional-de-investigacion-en-educac/>
- Universidad de Salamanca - USAL (2022). LA COLECCIÓN: Colección de Yacimientos Minerales. <https://coleccionyacimientosminerales.usal.es/coleccion/>
- Universidad Industrial de Santander. (15 de junio del 2024). Instalaciones Geología. <https://uis.edu.co/ffq-e-geologia-i-es/>
- Universidad Industrial de Santander. (15 de junio del 2024). Pregrado en Geología. <https://pregrados.uis.edu.co/pregrado-en-geologia/>
- Universidad Industrial de Santander. (19 de mayo de 2024). Museo de Historia Natural Colecciones UIS. <https://uis.edu.co/fc-e-biologia-mhn-es/>
- Universidad de Jujuy. (2020). Cátedra de Mineralogía: Actividad Practica 7. Facultad de ingeniería. Recuperado el 1 de abril del 2024 de: https://virtual.unju.edu.ar/pluginfile.php/724761/mod_resource/content/1/TP%2007%20mineralogía%202022%20Mineralogía%20Óptica.pdf
- U.S. Geological Survey - USGS. (2015). A Master Catalog and Collections Management Plan for U.S. Geological Survey Geologic Samples and Sample Collections. GCMS: Circular 1410.
- Yardley, B., Mackenzie, W., and Guildford, C. (1997). Atlas of metamorphic rocks and their textures. Longman.
- Zeiss, C. (2011). *Information on Polarization Microscopy*. Recuperado el 2 de abril del 2024 de: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2020/1/GL5103/2/material_docente/bajar?id=3107286