



Desarrollo de un aplicativo móvil para el estudio de minerales de mena

Microscopía de Mena<sup>®</sup>

Maria del Mar Hernández Madroñero

Nicolás Ramírez Barreto

Programa de Geología  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Caldas

2023

Desarrollo de un aplicativo móvil para el estudio de minerales de mena

Microscopía de Mena<sup>©</sup>

Maria del Mar Hernández Madroñero

Nicolás Ramírez Barreto

Proyecto de grado para optar por el título de Geólogo

Msc. Mauricio Alvarán Echeverri

Msc. Diego Germán Loaiza García

Directores de Proyecto

Programa de Geología

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Caldas

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

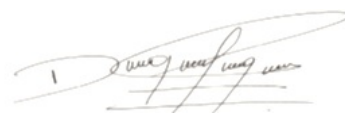
---

**APROBADA**

---

---

---



---

---

DIRECTOR

Manizales, diciembre 2023

## **Agradecimientos**

Todo nuestro agradecimiento a nuestros padres, por darnos la fortaleza y el apoyo para salir adelante con este proyecto y acompañarnos constantemente en los altos y bajos que se presentaron a lo largo del mismo. A los docentes Diego Germán Loaiza García y Mauricio Alvarán Echeverri, por permitirnos materializar su idea con nuestra aplicación, su participación durante la elaboración de este proyecto fue muy valiosa para todos los procesos desarrollados. Al docente Cesar Franco, del departamento de Sistemas e Informática, por su valiosa asesoría en la realización del manual técnico.

A la Universidad de Caldas por la formación académica brindada durante todos estos años. A cada miembro de nuestras familias, compañeros y profesores que nos acompañaron durante todo este proceso y nunca nos dejaron desfallecer, gracias a ustedes por haber contribuido de una u otra forma a nuestro crecimiento personal y profesional. Mil y mil gracias.

## Resumen

La identificación de minerales es una tarea esencial y cotidiana para cualquier profesional del área de la geología, esto mismo aplica para la identificación de minerales de mena, ya que es una herramienta adicional en el proceso de determinar la viabilidad y/o rentabilidad de una exploración de yacimientos minerales. Sin embargo, esta tarea puede resultar un poco compleja, ya que la mayoría de los minerales de mena son muy difíciles de identificar macroscópicamente, por lo cual se recurre al análisis microscópico. En la actualidad, existen limitadas herramientas para el estudio e identificación de minerales de mena, y las pocas que se encuentran presentan diversas restricciones, como no estar disponibles en español, no poseer imágenes de buena calidad o tener precios muy elevados.

En este trabajo se diseñó y desarrolló un aplicativo móvil que brinda información a toda la comunidad acerca de los minerales de mena en microscopio de luz reflejada. Teniendo como objetivo facilitar el acceso a imágenes, videos, información y propiedades de estos minerales. Para su elaboración fue necesario recopilar imágenes, información y propiedades descriptivas de los minerales a incluir en la aplicación. Se realizó un diseño de la interfaz y funcionalidades para posteriormente llevar a cabo un desarrollo desde la plataforma de Visual Studio Code y las herramientas Flutter y el lenguaje Dart. Se realizaron pruebas para verificar su correcto funcionamiento desde el dispositivo virtual del software Android Studio.

Se espera que el aplicativo móvil desarrollado sea una herramienta útil para el estudio e identificación de minerales de mena bajo microscopio de luz reflejada, este aplicativo tiene fundamentos teóricos, vídeos de algunas propiedades, imágenes de alta calidad de minerales de mena en secciones pulidas. Además, incluye propiedades ópticas de cada mineral como: color, reflectancia, pleocroísmo, anisotropía, etc. Así mismo, se incluye la asociación mineralógica, ambientes de formación y demás características y propiedades de cada mineral.

Con el desarrollo de este aplicativo móvil se espera contribuir a la educación y a la investigación de los minerales de mena. Esta herramienta se convertirá en un recurso valioso para los estudiantes de yacimientos minerales. Igualmente, se presenta como una herramienta útil para docentes e investigadores, ya que facilita el acceso a información de alta calidad y actualizada. Además, está disponible en español, haciendo que la información sea accesible para la comunidad hispana interesada en este apartado de las ciencias de la tierra.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	9
2. Planteamiento del problema .....	11
3. Justificación.....	12
4. Objetivos.....	14
4.1. General: .....	14
4.2. Específicos: .....	14
5. Metodología.....	15
5.1. Revisión bibliográfica .....	15
5.2. Recolección de la información.....	17
5.3. Desarrollo de la aplicación.....	19
5.4. Elaboración del manual de usuario .....	19
5.5. Elaboración del manual técnico .....	20
6. Marco conceptual .....	21
6.1. Minerales de mena .....	21
6.2. Análisis de minerales de mena en microscopio .....	21
6.3. Estructura del microscopio de luz reflejada .....	22
6.4. Propiedades ópticas de los minerales de mena.....	23
6.4.1. Color .....	23
6.4.2. Reflectancia.....	26
6.4.3. Birreflectancia.....	28
6.4.4. Pleocroísmo.....	28
6.4.5. Dureza .....	29
6.4.6. Hábito.....	30
6.4.7. Pits Triangulares .....	32
6.4.8. Zonación .....	33

6.4.9.	Anisotropía y extinción.....	34
6.4.10.	Reflexiones internas .....	35
6.4.11.	Rayas de pulido .....	36
6.4.12.	Maclado.....	37
7.	Alcance .....	38
8.	Limitaciones .....	39
9.	Resultados.....	40
10.	Conclusiones .....	44
11.	Recomendaciones .....	45
12.	Referencias.....	46
ANEXOS .....		47
Anexo A. Manual de usuario.....		47

### **Tabla de figuras**

Figura 1.	Microscopio de luz reflejada .....	18
Figura 2.	Tipos de muestras analizadas .....	22
Figura 3.	Corte esquemático del microscopio .....	23
Figura 4.	Esquema refracción de la luz.....	24
Figura 5.	Tonalidades amarillas en minerales.....	25
Figura 6.	Diversas tonalidades en minerales.....	25
Figura 7.	Tonalidades crema en minerales .....	25
Figura 8.	Escala de grises.....	26
Figura 9.	Escala de reflectividad.....	27
Figura 10.	Pleocroismo en estibina.....	29
Figura 11.	Dureza relativa.....	30

Figura 12. Minerales con hábito euهدral.....	31
Figura 13. Minerales con hábito subهدral y anهدral .....	32
Figura 15. Zonación en pirita.....	33
Figura 16. Anisotropía .....	34
Figura 17. Reflexiones internas .....	35
Figura 18. Rayas de pulido .....	36
Figura 19. Maclas.....	37
Figura 20. Vistas principales.....	40
Figura 21. Carrusel de imágenes.....	41
Figura 22. Tarjetas de descripción .....	42
Figura 23. Pestañas desplegable .....	43



## 1. Introducción

La academia, ya sea a nivel escolar, universitario o de formación profesional, se encuentra constantemente enfrentando una serie de problemáticas que impactan de manera significativa en diversos aspectos del sistema educativo. Estas dificultades afectan tanto a estudiantes y maestros, como también se ha observado la manera en la que repercuten en toda la sociedad. Dos de las problemáticas más destacadas en la actualidad, indiscutiblemente son la amplia brecha digital en la población y la falta de acceso a la información. Se ha evidenciado a lo largo de la vida escolar, la necesidad imperante de implementar una amplia variedad de tecnologías en el ámbito educativo.

La implementación de tecnologías en la educación busca facilitar el proceso de aprendizaje, especialmente en el entendimiento y comprensión de temas complejos. La tecnología se caracteriza principalmente por facilitar todo tipo de herramientas interactivas, realizar simulaciones y proporcionar recursos multimedia que permiten a toda la comunidad estudiantil y en general, estudiar conceptos abstractos de una manera más sencilla y práctica.

Además, el uso de tecnologías en el ámbito educativo no solo facilita el acceso a la información, también sirve para realizar simulaciones, ilustrar o ejemplificar temas que pueden llegar a ser muy complejos. La era digital ha demostrado una mayor accesibilidad a todo tipo de información, es decir aumentando el conocimiento en toda la población, esto permite que los estudiantes tengan una amplia gama de recursos en línea. Lo cual resulta bastante beneficioso para aquellos estudiantes con acceso limitado a bibliotecas físicas o recursos educativos de calidad.

El campo de la geología y más específicamente la microscopía de mena no se ha visto exenta a la carencia de información y la limitada accesibilidad a recursos de calidad. La falta de material bibliográfico, recursos visuales e información de minerales de mena representa un obstáculo bastante grande. Esta situación plantea un desafío significativo para los programas académicos que forman a futuros geólogos y científicos de la tierra, ya que, gracias a esto, se limita el correcto entendimiento, estudio e investigación de los minerales de mena, los cuales son muy importantes en el campo profesional de la minería y en la investigación. Debido a las problemáticas mencionadas, desde el departamento de Ciencias Geológicas, docentes del área de Yacimientos Minerales se plantearon la idea de crear un atlas físico de minerales de mena,

pero teniendo en cuenta la amplia disponibilidad de teléfonos celulares entre la población y aprovechando las nuevas tecnologías, se opta por crear un equipo de trabajo compuesto por docentes y estudiantes con la finalidad de desarrollar un aplicativo móvil que facilite el acceso a imágenes, propiedades e información sobre minerales de mena para una correcta identificación y estudio de los mismos, con la facilidad que sea de uso libre y gratuito.

## 2. Planteamiento del problema

En 2022 la población colombiana correspondía a 51.39 millones de personas, de las cuales el 82% se encuentra en zonas urbanizadas. En ese mismo año existían 65.75 millones de teléfonos conectados. En la actualidad existen aproximadamente 35.5 millones de usuarios que tienen acceso a una conexión a internet, esto corresponde al 69.1% de la población total colombiana (Medina, 2022).

A pesar de que los dispositivos móviles suelen tener comúnmente un uso recreativo, en los últimos años se han empezado a implementar como herramientas útiles en los diversos niveles educativos y más aún en la educación superior. El uso de los dispositivos móviles como un recurso educativo o también conocido como mobile learning ha facilitado tanto al profesorado como al alumnado la creación de nuevos ambientes de aprendizaje (Mayoral, Fernández-Caliani, Santos, y Campina, 2018) que a su vez hace de las clases un ambiente interactivo y más atractivo para los estudiantes (Wang, Shen, Novak, y Pan, 2009).

Incluso con el acceso a internet y las facilidades dadas por la tecnología, aún existen limitaciones para el acceso a cierto tipo de información, tal es el caso del estudio de los minerales de mena, una rama importante de la geología que se ha visto rezagada con los años debido a su limitada y muchas veces desactualizada información. Para la identificación de los minerales de mena es fundamental la visualización de los mismos, es de vital importancia el correcto reconocimiento de los colores correspondientes a cada mineral para de esta manera poder observar y evaluar de manera adecuada sus propiedades. El estudio de estos minerales se ha visto opacado por las dificultades presentes en el momento de buscar fuentes de información ya que son muy limitadas, antiguas o en su defecto muchas veces no son asequibles en nuestro territorio.

Dadas las circunstancias anteriormente mencionadas se ha desarrollado una aplicación móvil correspondiente a un atlas de minerales de mena: Microscopía de Mena<sup>®</sup> con el cual se facilitará el acceso a la información de este tema, con esta se podrá tener un aprendizaje ubicuo, lo que quiere decir que se puede acceder a ella en cualquier momento y lugar; además será un apoyo para las clases de Yacimientos Minerales, la maestría en Ciencias de la Tierra la Universidad de Caldas y toda la comunidad académica que estudie los minerales y la microscopía de mena.

### 3. Justificación

La creación de una aplicación móvil dedicada al estudio y la visualización de minerales de mena se plantea como una respuesta directa a todos los desafíos que enfrentan estudiantes y profesionales en el campo de la geología al momento de estudiar los minerales de mena. La poca información detallada y la mínima cantidad de material visual de buena calidad, representa un obstáculo sustancial para el progreso en la investigación, el correcto estudio y la identificación de estos minerales.

En la actualidad no solo la educación sino toda la formación académica se ven cada vez más influenciadas por el uso de tecnologías que favorezcan el aprendizaje, por lo tanto, es crucial proporcionar a estudiantes y profesionales esta herramienta la cual se pretende sea accesible y efectiva para el estudio de minerales de mena en cualquier lugar y en cualquier momento. Para que la investigación científica en el campo de la geología sea impulsada, es esencial dotar a los investigadores y estudiantes de herramientas adecuadas para la correcta identificación y estudio de minerales de mena. Microscopía de Mena<sup>®</sup> facilitará el acceso a información precisa e imágenes de excelente calidad, lo cual favorecerá la generación de conocimiento en esta área de la geología. Para Martínez y Aguilar (2013), la minería es una industria crucial en nuestro país. Por ello, facilitar el estudio y la identificación de minerales de mena mediante un aplicativo móvil podría tener un impacto significativo no solo en el ámbito investigativo, la industria minera del país podría beneficiarse de este recurso al momento de realizar estudios de exploración de yacimientos minerales. La creación de una aplicación móvil, gratuita y de fácil acceso va en aras de la promoción de la educación abierta y accesible para toda la comunidad académica. Microscopía de Mena<sup>®</sup> busca ampliar el acceso a este tipo de recursos educativos de calidad y reduce significativamente la falta de acceso a la información por parte de los estudiantes y profesionales.

La creación de Microscopía de Mena<sup>®</sup> responde a una necesidad real en el campo de la geología y el estudio de minerales de mena, abordando la poca información y el pobre material visual sobre estos minerales. Su desarrollo espera mejorar la formación de profesionales en el campo de la geología, estimular la investigación académica y contribuir al progreso de la educación en Colombia y el resto del mundo. Además, al ser una aplicación gratuita, se garantiza la

democratización del acceso a la información en esta área, beneficiando a toda la comunidad académica y profesional interesada en el estudio e identificación de los minerales de mena.

## **4. Objetivos**

### **4.1. General:**

Desarrollar una aplicación móvil que sea un complemento para la comunidad estudiantil y profesional en el área de geología en aras de facilitar el acceso a la información, teoría y material visual de minerales de mena.

### **4.2. Específicos:**

- Identificar elementos necesarios para el desarrollo y posteriormente realizar un aplicativo móvil capaz de presentar información e imágenes sobre minerales de mena de manera clara e interactiva.
- Desarrollar un producto didáctico, de fácil acceso y abierto al público en general, para el estudio de los minerales de mena.
- Facilitar a estudiantes y usuarios, el uso del aplicativo móvil por medio de manuales realizados por los autores.

## 5. Metodología

### 5.1. Revisión bibliográfica

En el transcurso del desarrollo del proyecto Microscopía de Mena<sup>o</sup> se pudo identificar que en la actualidad no hay un desarrollo continuo de aplicaciones que se enfoquen en el ámbito geológico y son aún más escasas aquellas que tengan como objetivo la caracterización e identificación de minerales de mena. Aunque existen algunos textos que funcionan como atlas o guía en la identificación de minerales de mena, la mayoría de ellos están en un formato físico y poco amigable con las necesidades actuales de información. Además de esto suelen ser textos antiguos cuyas imágenes no son de la mejor calidad y en algunas ocasiones las imágenes no son a color, también se debe resaltar que ninguno de estos libros se encuentra traducido al español, lo que supone una barrera en el momento de utilizarlos. Algunos de estos textos son:

- Microscopic determination of the ore minerals (Short, 1931). Este libro hace un acercamiento al microscopio metalográfico y sus funcionalidades. Además, explica la teoría de los minerales pulidos para su posterior uso en el microscopio. También hace una explicación de las propiedades diagnósticas de los minerales en luz polarizada. Contiene tablas determinativas las cuales identifican al mineral dependiendo de su carácter isotrópico o anisotrópico con sus respectivas descripciones. Además, aporta una serie de microfotografías a color y otras a blanco y negro de algunas especies minerales con sus respectivas descripciones.
- The ore minerals and their intergrowths (Ramdohr, 1969). En este texto se habla de la génesis (meteoritos, magmática, metamórfica, etc) de los depósitos de minerales de mena, a la vez que se muestran una serie de microfotografías a blanco y negro con su respectiva descripción. También se empieza a hablar sobre las texturas de los minerales de mena y se aportan microfotografías de las mismas. Además de esto se encuentran descripciones de diferentes especies minerales, sus relaciones con otros minerales, condiciones de formación y microfotografías de las mismas.
- Ore mineral atlas (Marshall, Anglin, y Mumin, 2004). Este texto es un atlas de minerales de mena que cuenta con diversas especies minerales, en este se aportan tanto fotografías de muestra de mano de los diferentes especímenes como microfotografías

de los mismos. Las fichas descriptivas de los minerales cuentan con información como la fórmula química del mineral, su sistema cristalino y sus características diagnósticas tanto en muestra de mano como en muestra pulida, sus características distintivas para el reconocimiento, asociaciones minerales y su origen.

- The ore minerals under the microscope (Pracejus, 2015) este texto surge como una necesidad a complementar y actualizar el libro de Ramdohr, ya que en este libro se muestran una serie de microfotografías a color con diferentes minerales de mena y minerales de ganga más comunes. También se habla de las posibles asociaciones minerales entre las especies minerales presentadas, se hace una breve descripción de las texturas minerales, se habla de las propiedades diagnósticas y se adiciona una tabla en la cual se pueden identificar diferentes minerales dependiendo de las propiedades de cada uno de ellos. Además, este libro cuenta con una versión electrónica lo cual facilita su uso y disponibilidad para el usuario.

Aparte de los textos mencionados anteriormente, existen algunas herramientas interactivas las cuales pueden ayudar con la identificación de minerales, aunque no necesariamente minerales de mena. Entre estas herramientas tenemos:

- Virtual Microscope – Minerals (farcraft, 2023) es un aplicativo móvil de un microscopio petrográfico virtual que tiene más de 90 minerales en sección delgada con los cuales se puede interactuar observando sus características tanto en nicols paralelos como en nicols cruzados. Este aplicativo tiene diferentes limitaciones entre las cuales están: no permite descargar la aplicación en Latinoamérica, no se encuentra en español y además sólo tiene en su base de datos secciones delgadas que utilizan luz transmitida.
- Museo virtual de mineralogía (Fernández, Fernández, Ponce, y Redondo, 2018) es una página web resultado de un proyecto de innovación docente en el cual se pretende dar a conocer y proyectar el patrimonio mineralógico de la Universidad de Huelva de una manera didáctica. En este museo virtual se muestran diferentes especies minerales en muestras de mano, además cada una de estas especies minerales están ligadas a una web externa que da la información detallada de cada uno de ellos, la web externa utilizada fue webmineral. Este museo tiene limitaciones tales como no tener secciones pulidas de los minerales ni descripciones a nivel microscópico de los mismos.



- Virtual Microscope (The Open University, 2012) es una página web que funciona como un recurso didáctico de un microscopio virtual. Esta web cuenta con una colección de más de cien rocas pertenecientes al Reino Unido, además de estas rocas también cuenta con muestras de meteoritos, muestras de rocas lunares entre otras colecciones. Desde el microscopio virtual se pueden observar las características de las muestras tanto en nicoles paralelos como en nicoles cruzados, se pueden observar todas las propiedades ópticas, el tamaño de grano e incluso algunas texturas. A pesar de ser una herramienta muy completa e interactiva en el momento del estudio de los minerales, este microscopio sólo cuenta con secciones delgadas que utilizan luz transmitida.

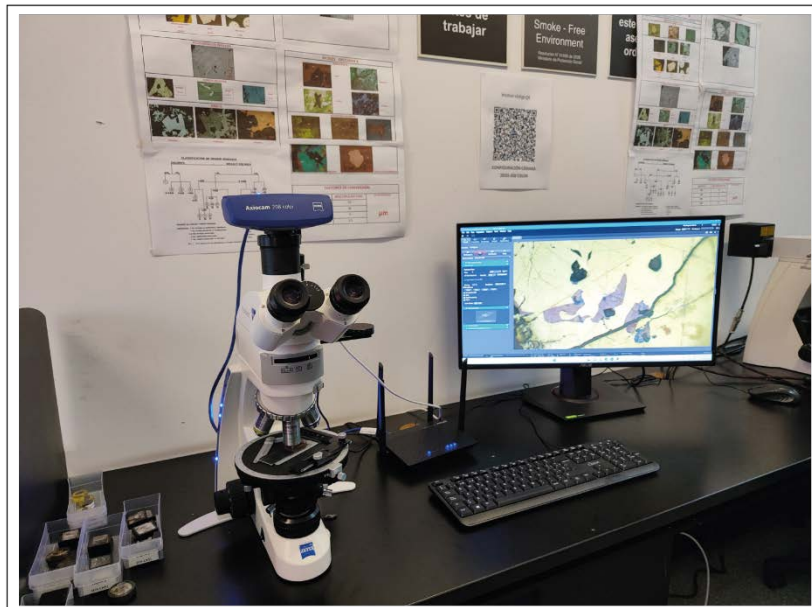
Asimismo, docentes del departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Caldas han trabajado en la creación de un atlas físico de minerales de mena utilizando material fotográfico del laboratorio de Metalografía y Microtermometría del departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Caldas. Este atlas no solo incluye fotos de los minerales, también contiene descripciones detalladas, características relevantes y propiedades ópticas de diversos minerales de mena, toda esta información está descrita y recopilada de manera clara y concisa. Este trabajo realizado por los docentes, es producto de años de experiencia en actividades de docencia, así como de participación en proyectos de investigación y extensión. Toda esta información fue la base fundamental para la creación y desarrollo del aplicativo móvil, ya que aportó la materia prima y el conocimiento necesario para que esta idea pudiera ser llevada a cabo.

## **5.2. Recolección de la información**

Se llevó a cabo un análisis de secciones pulidas y delgadas pulidas pertenecientes al laboratorio de Metalografía y Microtermometría del departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Caldas. La participación activa de los docentes del curso de Yacimientos Minerales desempeñó un papel fundamental en la captura de imágenes y la recopilación detallada de características y propiedades ópticas de los minerales de mena. Además, la participación comprometida de los autores en el semillero de Metalografía, fue fundamental para consolidar bases teóricas sobre minerales de mena e impulsó la creación del aplicativo móvil.

En el laboratorio se encuentran disponibles alrededor de 150 pulidos y 90 especies minerales, entre las cuales se seleccionaron 40 de los minerales más comunes, a estos les fueron identificadas sus propiedades y características distintivas con el propósito de presentar información precisa y esencial a los usuarios de la aplicación.

El microscopio utilizado en el proceso de identificación y clasificación de los minerales en las secciones pulidas corresponde a un Microscopio Carl Zeiss, modelo Primotech, y la captura de imágenes y videos se efectuó mediante una cámara Axiocam 208 color conectada a dicho microscopio, como se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1.** Microscopio Carl Zeiss con su cámara Axiocam 208. **Fuente:** elaboración propia.

Se emplearon diversos objetivos de aumento al momento de realizar la captura de imágenes, estos objetivos eran seleccionados dependiendo del tamaño del mineral y las propiedades específicas que se deseaban resaltar. Cada imagen se revisaba en varios tipos de pantalla, ya que es muy común que una fotografía, distorsione su color dependiendo del dispositivo en el cual se esté visualizando, esto con el fin de garantizar que las propiedades de los minerales vistos en la pantalla del celular se asemejen lo mayor posible a las propiedades vistas desde el microscopio.

### **5.3. Desarrollo de la aplicación**

Para la realización del software, se hizo necesario la investigación acerca del desarrollo de aplicativos móviles, conociendo información referente a bases de datos capaces de almacenar imágenes e información, herramientas para la realización del aplicativo y un lenguaje de programación cómodo que facilite el desarrollo de la aplicación.

Se optó por realizar el desarrollo en el framework Flutter ya que este facilita widgets y herramientas útiles que permiten una programación dinámica y ofrece al usuario vistas más amigables y muy fluidas, todo esto realizado en el lenguaje de programación Dart.

Se realizó la base de datos en la plataforma Firebase, se cargó aquí, toda la información referente a las propiedades y características de los minerales acompañado de 4 fotografías de cada uno, se estructuró la información de cada mineral por medio de un formato JSON, el cual permite ingresar texto en forma de string y se realizó un array para importar las imágenes en la base de datos. Toda esta información es llamada por medio de servicios programados directamente en el código para que posteriormente sean mostrados al usuario en las vistas correspondientes.

Se realizaron bosquejos de vistas en herramientas de diseño, tales como Adobe Illustrator, para posteriormente materializarlos dentro de la aplicación, programando botones, visualización de imágenes y todo tipo de funciones con las que el usuario pueda interactuar. Toda la programación lógica y visual del software se dividió por segmentos, rotulando los segmentos con nombres relevantes a vistas o funciones, esto con el fin de facilitar el entendimiento del código.

Posteriormente se realizaron simulaciones del aplicativo con el servicio de emulación del programa Android Studio, el cual ofrece dispositivos virtuales capaces de reproducir el código, esto permite visualizar la aplicación en tiempo real para verificar cambios realizados, observar errores y corregir cualquier anomalía que se presente.

### **5.4. Elaboración del manual de usuario**

Posterior al desarrollo de la aplicación, se procedió a elaborar un manual con el cual se busca facilitar la experiencia de uso para las personas que utilicen la aplicación. En este manual se

brinda a estudiantes, profesores y cualquier persona interesada la información esencial para aprovechar de manera efectiva y eficiente todas las funcionalidades del aplicativo móvil.

Para la elaboración del manual se tuvieron en cuenta los diferentes apartados e interfaces de la aplicación, se tomaron capturas de pantalla de los mismos y se dieron las respectivas aclaraciones sobre sus funcionalidades.

En el anexo A se encuentra el manual de usuario para una mejor visualización del mismo.

### **5.5. Elaboración del manual técnico**

Posterior al desarrollo de la aplicación, se procedió a elaborar un manual técnico, para la elaboración del documento se contó con la asesoría de un docente del departamento de Sistemas e Informática de la Universidad de Caldas, encargado del área de aplicativos móviles.

Este manual ofrece información precisa de cómo se desarrolló la aplicación, explicando detalladamente la arquitectura interna de la misma. En el documento se hace énfasis en cada módulo, explicando particularidades e incluye imágenes que facilitan al lector entender el funcionamiento interno de la aplicación.

Se especifican los requerimientos de hardware del dispositivo y la manera correcta de la instalación del software en el dispositivo móvil del usuario. Se hace una explicación detallada de la base de datos explicando particularidades, con el fin de que se entienda la manera en la que se organizó la información para posteriormente ser llamada por el código.

El documento contiene credenciales de acceso a la base de datos, repositorio y plataformas de almacenamiento de datos, por lo tanto, únicamente será entregado a los docentes y personal encargado del mantenimiento de la aplicación. Además, se han incluido recomendaciones y el contacto de los desarrolladores para consultar cualquier tipo de interrogante o inquietud que se tenga al momento de verificar la información.

## **6. Marco conceptual**

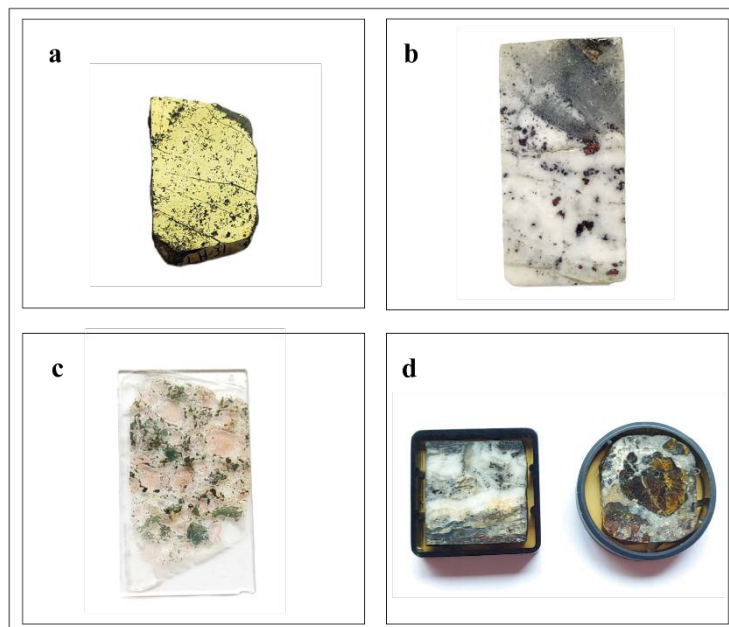
### **6.1. Minerales de mena**

Para Shuey (1975), los minerales de mena son los minerales metálicos de los cuales se puede extraer un beneficio económico, pero actualmente este término ha sido ampliado también a minerales no metálicos con interés económico en la industria. Herrmann y Zappettini (2014) indican que para que un mineral sea llamado mena tiene que presentarse en una concentración suficiente como para que su exploración y explotación sea rentable. Los minerales de mena desempeñan un papel fundamental en la vida cotidiana, ya que representan la materia prima principal en la elaboración y fabricación de electrodomésticos, vehículos, suministros quirúrgicos y toda clase de objetos y herramientas que mejoran la calidad de vida y productividad de todas las personas alrededor del mundo.

### **6.2. Análisis de minerales de mena en microscopio**

Los minerales de mena se pueden identificar y estudiar tanto a nivel macroscópico, es decir en muestras de mano, como a nivel microscópico es decir en un microscopio de luz reflejada. Este proyecto Microscopía de Mena<sup>®</sup>, como su nombre lo indica proporciona datos e información al usuario de propiedades ópticas de los minerales en microscopio de luz reflejada.

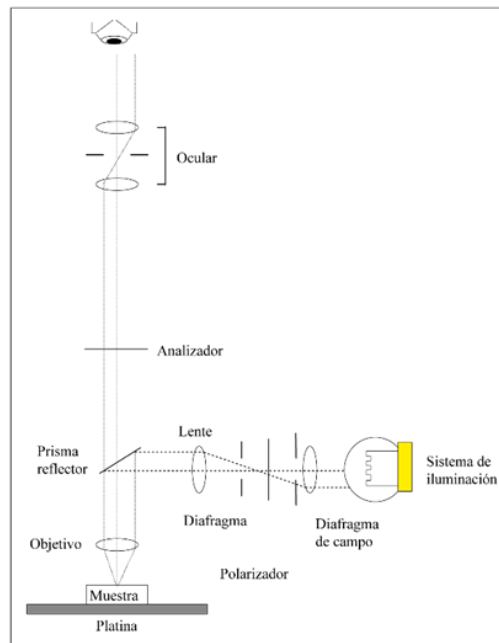
Para llevar a cabo la observación de las propiedades ópticas de las muestras, se empleó un microscopio de luz reflejada con platina redonda giratoria 360°, el cual utiliza luz plana polarizada blanca, emitida desde una lámpara halógena. Este rayo de luz incide sobre los minerales en secciones pulidas, pulidos o secciones delgadas pulidas, y se refleja en la superficie pulida horizontal de los minerales metálicos. Luego, pasa a través del ocular, donde el observador puede identificar las características distintivas de los minerales de mena. En microscopía de menas, es fundamental que las muestras cumplan dos criterios esenciales: primero, que estén niveladas por completo, ya que desigualdades en la parte inferior o superior de la muestra provocan una reflexión de la luz inadecuada y, en consecuencia, la observación del mineral resulta borrosa. Segundo, las muestras deben estar pulidas de manera excepcional, es decir, deben lucir brillantes, ya que esto garantiza una reflexión adecuada de la luz que incide en la muestra. Las muestras analizadas pueden variar y pueden incluir secciones pulidas, briquetas, secciones delgadas pulidas, entre otros formatos, como se aprecia en la Figura 2.



**Figura 2.** Tipos muestras analizadas. **a.** Muestra de mineral pulido **b.** Muestra de roca pulida **c.** Sección delgada pulida **d.** Secciones pulidas. **Fuente:** elaboración propia.

### 6.3. Estructura del microscopio de luz reflejada

La estructura del microscopio de luz reflejada se ilustra en la Figura 3. Está compuesto por un sistema de iluminación, lentes colimadores, diafragmas de campo y apertura, el polarizador, un prisma de reflexión, el lente objetivo, el analizador y el lente ocular. Según Kojima (2018) el prisma de reflexión no permite que haya pérdida de luz, esto causa que el rayo de luz reflejado sea oblicuo, además el polarizador y el analizador son un nícol de calcita.



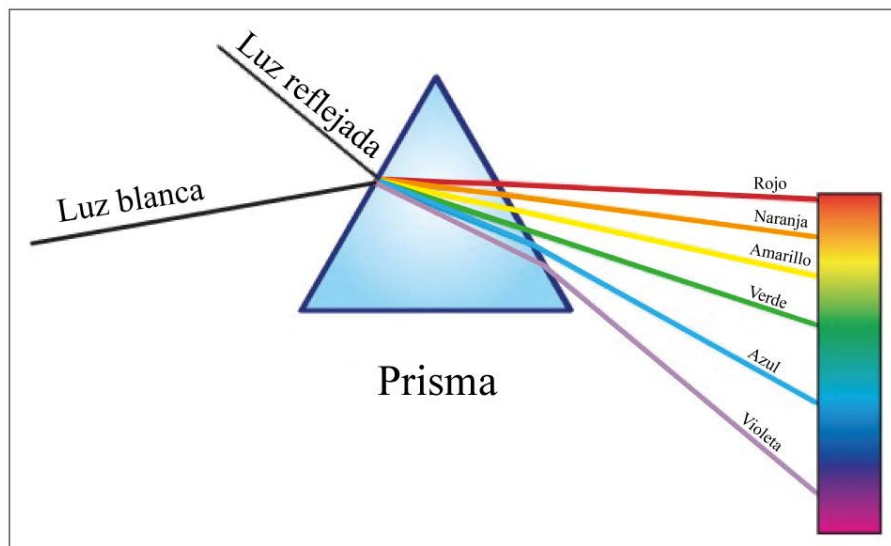
**Figura 3.** Corte esquemático del microscopio de luz reflejada mostrando el camino de la luz.

**Fuente:** tomado de Craig y Vaughan, 1994.

## 6.4. Propiedades ópticas de los minerales de mena

### 6.4.1. Color

El color es la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda (Real Academia Española, 2017). Es fundamental analizar el papel crucial que tiene la luz en el estudio y entendimiento del color, tal y como lo indica Montoya (2012) cuando un objeto es impactado por la luz, su superficie absorbe determinadas longitudes de onda y otras son reflejadas, como se ilustra en la Figura 4. Estas ondas que son reflejadas, las percibe el ojo humano y las interpreta como colores diversos, dependiendo de la longitud de onda asociada a cada una. La luz blanca, es el resultado de la combinación de todos los colores presentes en el espectro visible.



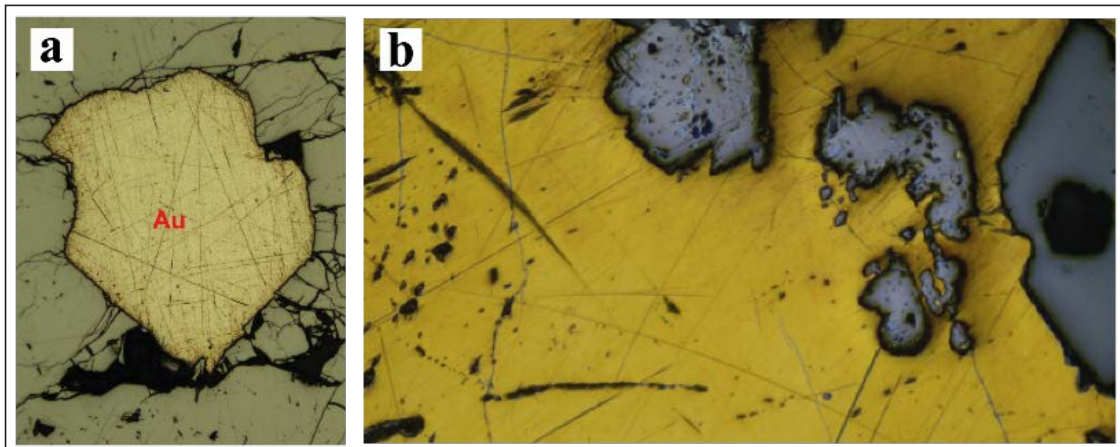
**Figura 4.** Esquema de la refracción de la luz en un prisma.

**Fuente:** adaptado de Novati, 2020.

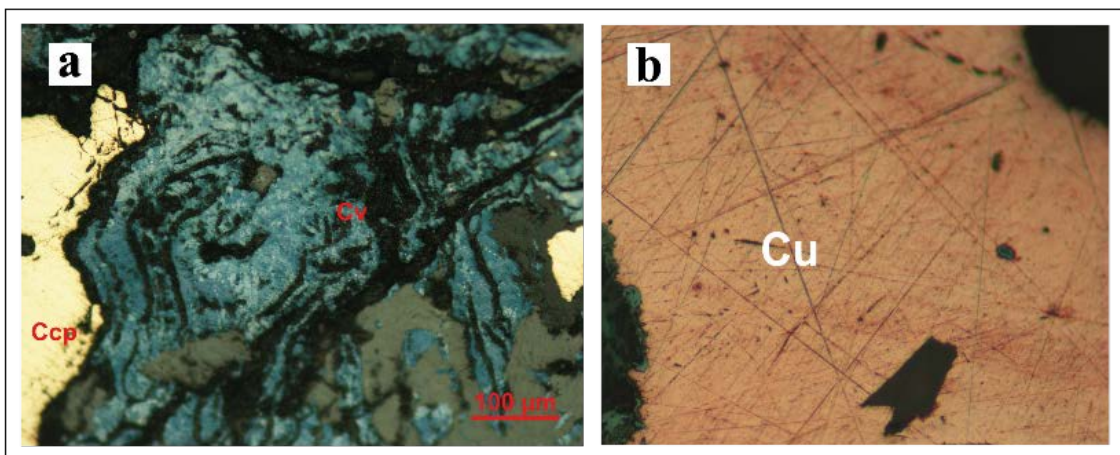
En microscopía de menas se estudia cómo la luz es reflejada por los minerales, esto se debe observar con objetivos de poco aumento y sin filtro de luz (Febrel, 1970). Los colores más comunes presentados por los minerales de mena al microscopio son el gris en diferentes tonalidades, blanco, crema, etc. Esta es una de las características que mayor dificultad presenta para los estudiantes que inician el estudio de microscopía de menas, debido a las múltiples variaciones de los colores y a las diferentes combinaciones y tonalidades entre los minerales, esta tonalidad varía según la asociación mineralógica presente, o sea el mineral que esté en contacto con el espécimen que se está estudiando.

Los colores menos comunes y en ocasiones más difíciles de identificar en los minerales metálicos por los estudiantes, incluyen el amarillo, asociado a minerales como el oro y la calcopirita (ver Figura 5), azul representado por la covelina (ver Figura 6), tonalidades rosadas observadas en el cobre (ver Figura 6), por último, colores cremas presentes en minerales como la pirita y la pirrotina (ver Figura 7).

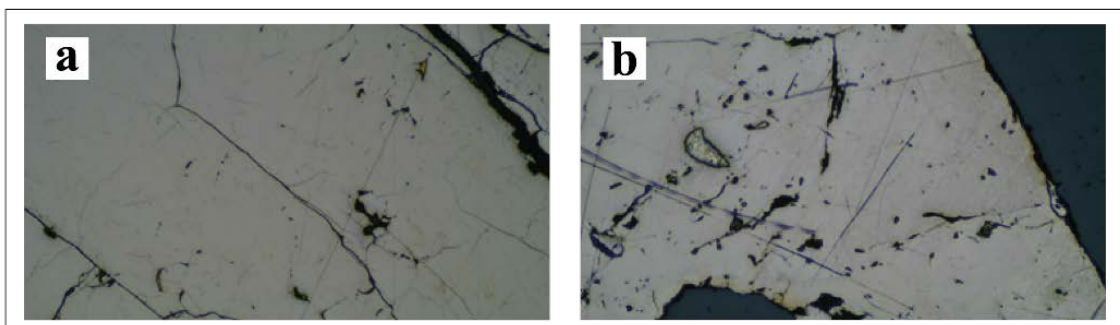




**Figura 5.** Tonalidades amarillas en los minerales **a.** Oro (Au) color amarillo **b.** Calcopirita (Cpy) color amarillo. **Fuente:** elaboración propia.

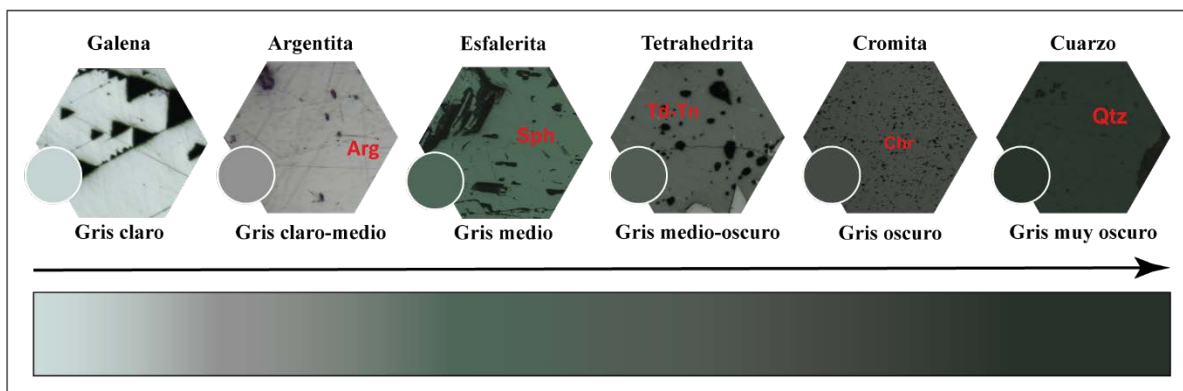


**Figura 6.** Diversas tonalidades en los minerales **a.** Covelina (Cv) color azul **b.** Cobre (Cu) color rosado. **Fuente:** elaboración propia.



**Figura 7.** Tonalidades crema presentes en los minerales **a.** Pirita (Py) color crema **b.** Pirrotina (Po) crema con tonalidad rosada. **Fuente:** elaboración propia.

La dificultad aumenta ya que más del 80% de los minerales analizados en luz reflejada son grises, con diferentes tonalidades, y por el momento no se contaba con una escala de colores que ayudara de forma visual a identificar estas tonalidades correctamente. Por eso aquí, en esta aplicación se incorpora una escala aproximada de la gama de tonalidades o colores más comunes que se pueden observar en luz reflejada, un ejemplo ilustrativo de la escala se presenta en la Figura 8.



**Figura 8.** Escala de grises. Esta escala fue realizada con base en las diferentes tonalidades de grises presentes en los minerales, se debe tener en cuenta que el color también depende de la dispersión de la reflectividad en los mismos, es decir el cambio en la longitud de onda de la luz incidente. **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.2. Reflectancia

Se basa en la propiedad de los minerales metálicos de reflejar la luz que incide sobre sus superficies, esta propiedad importante debe tenerse en cuenta en la identificación de estos minerales de mena. Otra definición es que la reflectancia se entiende como la cantidad de luz rechazada o reflejada por la superficie pulida de un mineral, conocida también como “brillo”. En otras palabras, es la relación expresada en porcentaje, de la intensidad de la luz reflejada por el mineral respecto a la intensidad de la luz incidente, o sea:

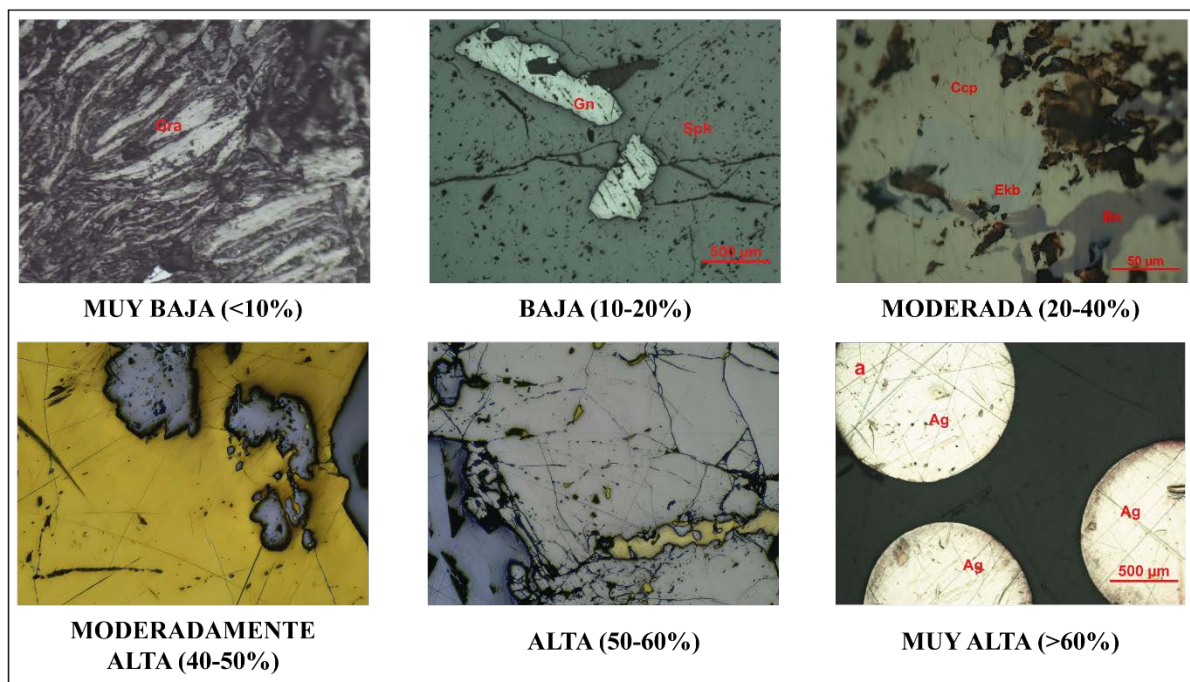
$$\%R = (\text{intensidad de la luz reflejada} / \text{intensidad de la luz incidente}) * 100$$

Siendo *R*: reflectancia

En la mayoría de los minerales de mena, metálicos o con brillo metálico, la reflectancia tiende a ser alta debido a que absorben poca luz y reflejan la mayoría de ésta; para el caso de los minerales de mena semitranslúcidos o los minerales de ganga translúcidos, la mayoría de la luz

incidente es absorbida y una poca cantidad de esta es reflejada. Minerales con reflectividad alta se observan al microscopio con tonalidades claras o muy claras (plata nativa, platino, electrum y oro nativo), minerales que absorben gran cantidad de la luz incidente, como los minerales de ganga se observarán con tonos grises oscuros o negros (cuarzo, silicatos etc.).

La reflectancia puede ser determinada de manera cuantitativa, expresada en porcentaje, con un FOTÓMETRO o REFLECTÓMETRO, o de manera cualitativa (subjetiva) de acuerdo con la tonalidad que presenten los minerales utilizando calificaciones de muy baja, baja, media-baja (para minerales de tonalidad oscura, grises o negros), media, media-alta, alta o muy alta (para minerales muy claros, crema o blancos), como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Escalas de reflectividad con valores cuantitativos y cualitativos.

**Fuente:** elaboración propia.

### 6.4.3. Birreflectancia

La birreflectancia se refiere a la variación de la reflectividad de acuerdo con la orientación del mineral al girar la platina circular 360°. López y Bosch (1971) indican que en los cristales anisotrópicos se define la birreflectancia de un mineral por la diferencia entre los valores de la reflectancia para cada una de las vibraciones en cada longitud de onda. Ya que la reflectividad de un mineral es conocida como “brillo”, la birreflectancia de un mineral es cuando se presenta variación en el “brillo” al giro de la platina.

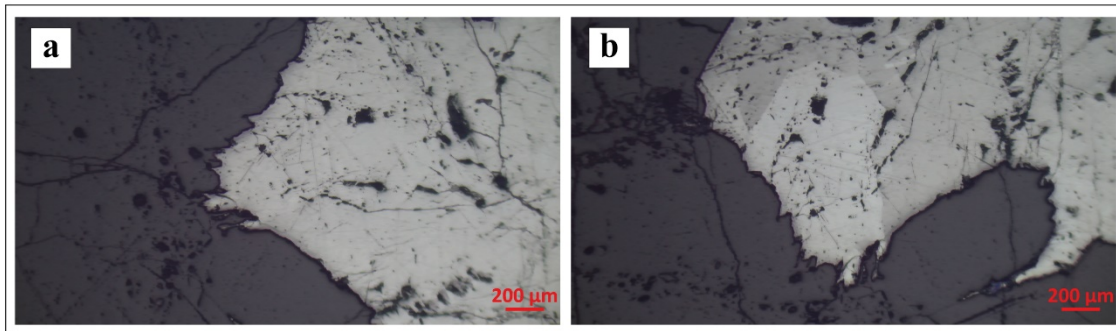
Los minerales pertenecientes al sistema cúbico o isométrico no cambian de color ni de reflectancia con el giro de la platina; por otro lado, la mayoría de los cristales que pertenecen otros sistemas cristalinos tales como, hexagonal, trigonal, tetragonal, etc., presentan cambios en la reflectancia y en el color o en ambos cuando se gira la platina 360°.

Algunos de los minerales que presentan una fuerte birreflectancia son el grafito, ilmenita, molibdenita, covelina, estibina y valeriíta. Otro ejemplo de minerales que presentan una birreflectancia media son marcasita, hematites, niquelina, cubanita y pirrotina. Por el contrario, los minerales que presentan una birreflectancia débil son enargita y arsenopirita.

### 6.4.4. Pleocroísmo

El pleocroísmo tal y como lo indican Klein y Hurlbut (1993) se refiere a la propiedad óptica de algunos minerales de presentar diferentes colores o tonalidades cuando se les observa bajo diferentes ángulos o direcciones de luz polarizada. Teniendo en cuenta esto se puede decir que el pleocroísmo es una propiedad que se determina de manera análoga a la birreflectancia bajo nícoles paralelos. En pocas palabras una definición más comprensible para el pleocroísmo es el cambio de tinte o color en el mineral analizado, como se ilustra en la Figura 10.

Esta propiedad es muy importante al momento de analizar minerales de mena ya que se considera una propiedad diagnóstica, es decir, una propiedad esencial para el reconocimiento de algunos minerales que la presentan de manera muy notoria o característica como es el caso de la molibdenita y el grafito, los cuales están presentando mínimo dos colores diferentes, dependiendo de su posición (máxima extinción e iluminación), al momento de girar la platina.



**Figura 10.** Se observa el cambio de color (pleocroísmo) en estibina (Stb) al girar la platina.

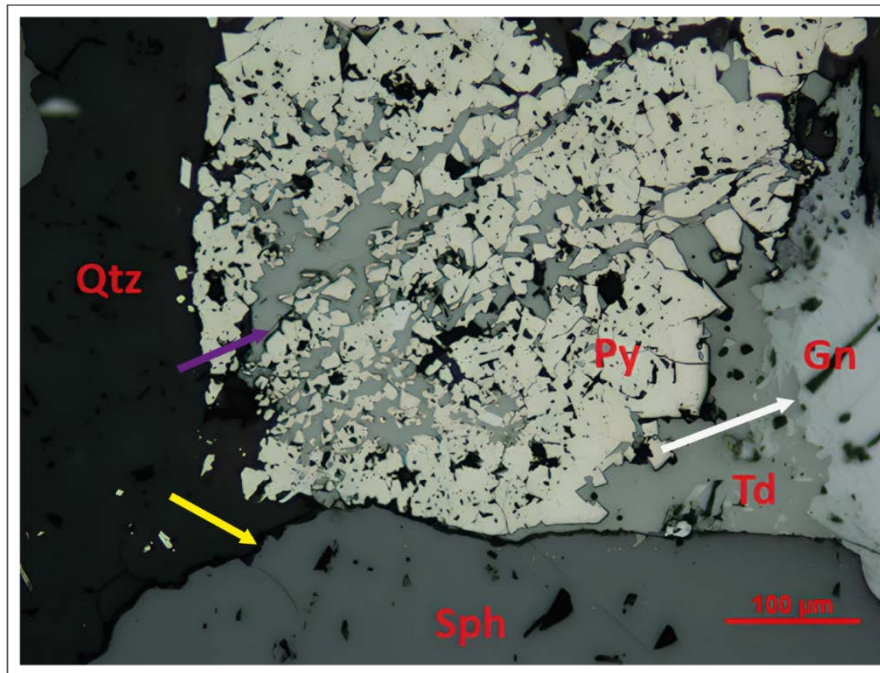
**a.** Disposición del mineral a 45°. **b.** Disposición del mineral a 90°.

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.4.5. Dureza

Usualmente la dureza se asocia con la resistencia de un mineral a ser rayado por otro objeto o material más duro (Pellant, 1992). Pero en microscopía de menas, se estudia el concepto de dureza relativa o dureza de pulido, ya que cada mineral dependiendo de su dureza u oposición a ser cortados por el disco de diamante presentan una diferencia de relieve, el cual va a ser una característica diagnóstica en el estudio de minerales de mena.

Los minerales duros presentan mayor relieve que los minerales menos duros, o sea que se observará una diferencia óptica, es decir que minerales con similar dureza presentan unos bordes o límites muy finos ya que no hay diferencia de relieve entre ellos, pero cuando entre dos especies minerales la diferencia de dureza es notoria, el mineral más duro presenta mayor relieve (mayor resistencia al corte), buenos ejemplos de esto son pirita ( $H=6-6\frac{1}{2}$ ) y galena ( $H=2-2\frac{1}{2}$ ). La línea de Kalb es la característica que se utiliza para determinar esta propiedad en luz reflejada, y es la análoga de la línea de Becke para identificar el relieve en minerales transparentes o translúcidos. Para esto el criterio a utilizar es el siguiente: entre más gruesa y oscura sea esta línea, mayor es la diferencia entre la dureza de los minerales implicados, como se puede apreciar en la Figura 11. Esta prueba establece de manera “relativa” la dureza entre dos cristales.



**Figura 11.** Diferencia de dureza y cómo identificarla en microscopía de menas. En la figura se observan 3 flechas de diferente color que indican las durezas relativas de los minerales implicados. La flecha de color violeta indica una dureza moderada entre pirita (Py) y tetrahedrita (Td), la línea de kalb es moderadamente gruesa debido a la diferencia de las durezas entre ellos dos. La flecha blanca indica durezas semejantes entre la galena (Gn) y la tetrahedrita (Td), que indica una línea tenue o delgada entre ellas. La flecha amarilla indica una diferencia alta en durezas, y se observa una línea de kalb gruesa entre el cuarzo (Qtz) y la esfalerita (Sph). Esto hace que el cuarzo sobresalga en la imagen respecto a los demás minerales. **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.6. Hábito

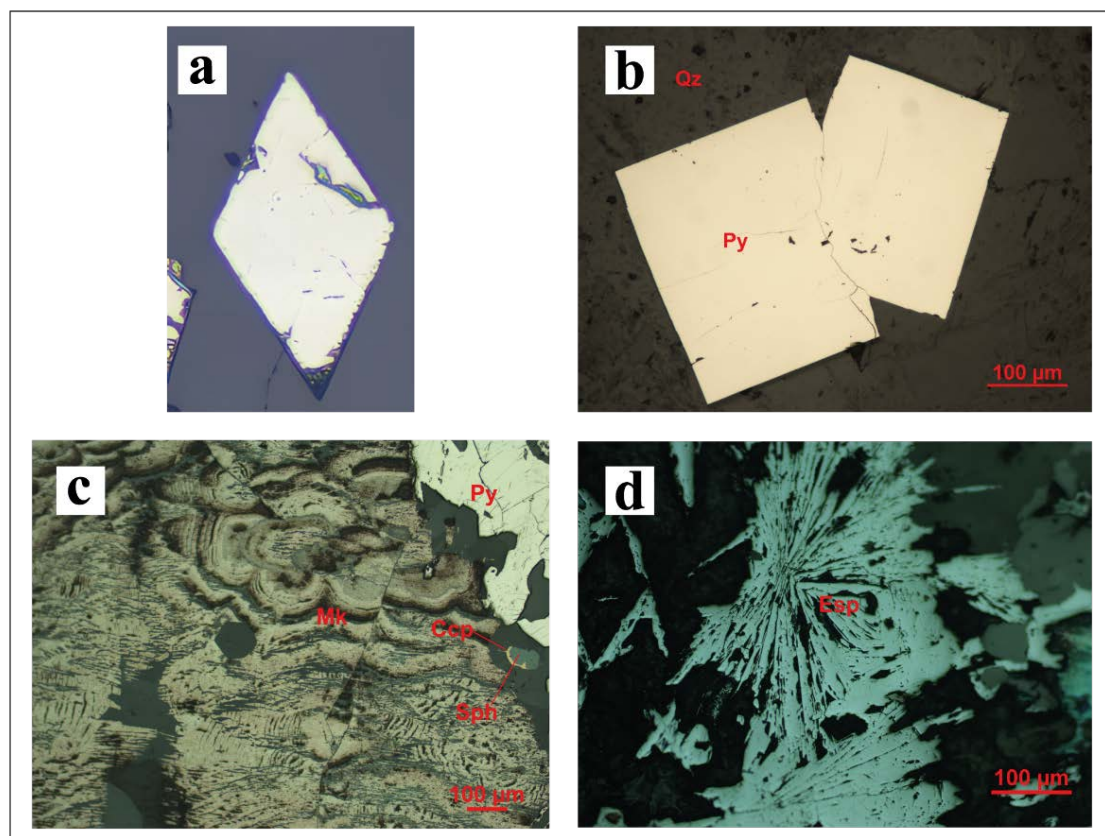
El hábito mineral destaca como una de las propiedades más importantes para el estudio e identificación de minerales, ya sea a nivel microscópico como a nivel macroscópico. En el estudio de minerales de mena en el microscopio, esta propiedad tiene igual relevancia, varios minerales ejemplifican esta afirmación. Un ejemplo claro es la arsenopirita, la cual presenta un hábito idiomórfico o euhedral, con forma romboidal o prismática. Esta característica se convierte en una propiedad diagnóstica muy importante para la identificación de minerales de mena bajo microscopio de luz reflejada.

Los términos utilizados para describirla son los siguientes:

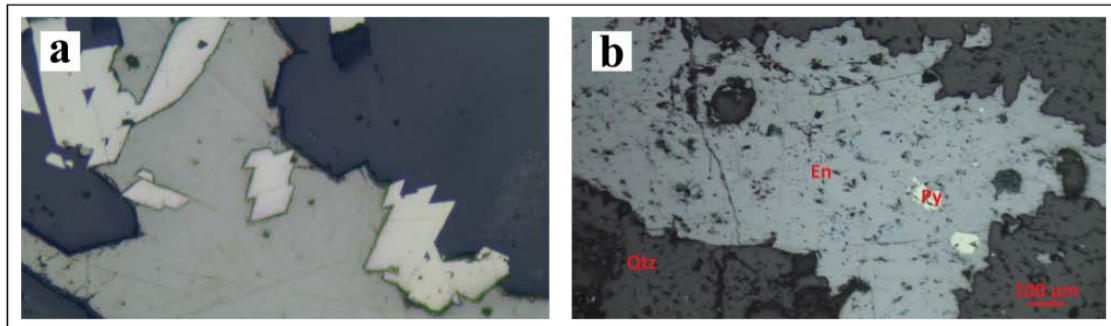
**Euhedral:** minerales con hábito característico y bien desarrollado. Ejemplo: prismáticos, cúbicos, dendríticos, aciculares, laminares, oolíticos, entre otros, como se observa en la Figura 12.

**Subhedral:** minerales con bordes rectos y en el interior masivos. Ejemplo de esto es la tetrahedrita-tennantita, como se observa en la Figura 13.

**Anhedrales:** minerales sin ningún hábito en particular, es decir, masivos. Ejemplo: galena, esfalerita, niquelina, entre otros, como se observa en la Figura 13.



**Figura 12.** Ejemplos de minerales que presentan un hábito euhedral. **a.** Hábito euhedral-rómbico en arsenopirita (Apy) **b.** Hábito euhedral-cúbico en pirita (Py) **c.** Hábito euhedral-coloforme en melnikovita (Mk) **d.** Hábito euhedral-laminar en especularita (Esp). **Fuente:** elaboración propia.



**Figura 13.** Ejemplos de diferentes hábitos en los minerales *a.* Tetrahedrita (*Td*) exhibiendo hábito subhedral. *b.* Enargita (*En*) exhibiendo hábito anhedral-masivo. **Fuente:** elaboración propia.

Algunos minerales disciernen a nivel macro y microscópico de esta propiedad, como es el caso de la galena, que a nivel macroscópico siempre está bien formada (cúbica, octaédrica, etc.) y a nivel microscópico es masiva; esto se debe, a la baja dureza del mineral, y durante el proceso de elaboración de las muestras pulidas se deforman fácilmente quedando masivas.

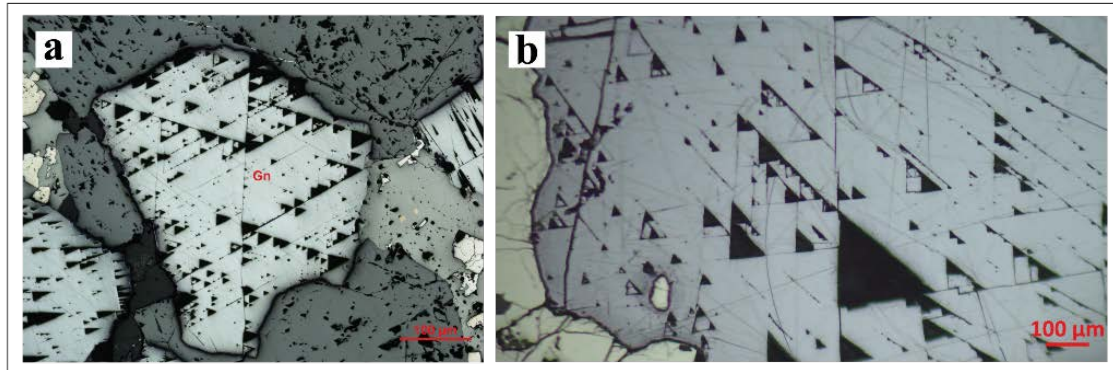
#### 6.4.7. Pits Triangulares

Los pits triangulares hacen referencia a morfologías en forma de hoyos o pequeñas cavidades que se asemejan a triángulos. Para Teng y Dove (1997) los pits triangulares se forman debido a procesos de disolución química o erosión en la superficie de la roca o el mineral, usualmente se observa en minerales como calcita o dolomita, ya que son susceptibles a la disolución por aguas ácidas.

Esta es una de las propiedades más llamativas e interesantes de observar en microscopía de menas, basándose en evidencia y estudio de minerales, esta característica se presenta en minerales, los cuales deben presentar más de 3 direcciones de exfoliación las cuales se cruzan formando ángulos de  $120^\circ$ , generando una serie de triángulos de color negro, como se observa en la Figura 14. Esto se debe a que el entrecruzamiento de estas 3 o más direcciones de exfoliación forman “huecos” de forma triangular (de ahí el nombre de la propiedad) donde la luz incide, y al ser un espacio vacío, no absorbe o refleja alguna longitud de onda en particular, generando solo un color negro dentro de ellos. El mineral que típicamente presenta esta característica (y que es la principal propiedad óptica para identificarlo) es la galena. Otros como



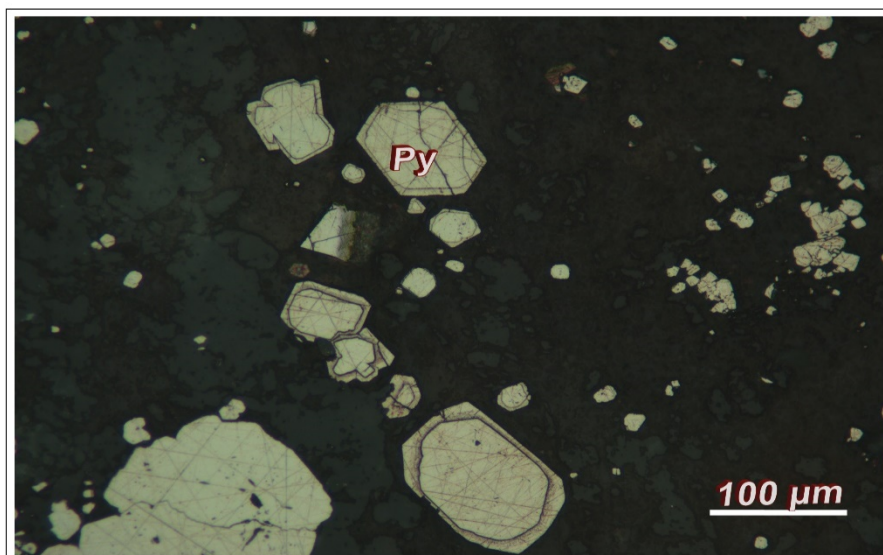
la esfalerita (que presenta 6 direcciones de exfoliación) puede presentarla en ocasiones, la magnetita, la gersdorfitita también la pueden presentar.



**Figura 14.** Pits triangulares en galena (Gn). Tanto en la foto **a.** como en la foto **b.** se observa como los pits triangulares de color negro se marcan de forma notoria en el mineral. **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.8. Zonación

La zonación es muy común en cualquier mineral, esto debido a los cambios composicionales que pueden presentarse dentro de ellos, como se ilustra en la Figura 15. En minerales opacos no es tan común como en otros minerales, sin embargo, un ejemplo de esto lo presenta la bravoíta, que ayuda a diferenciarla en gran medida de la pirrotina, con la cual comparte propiedades ópticas muy semejantes.

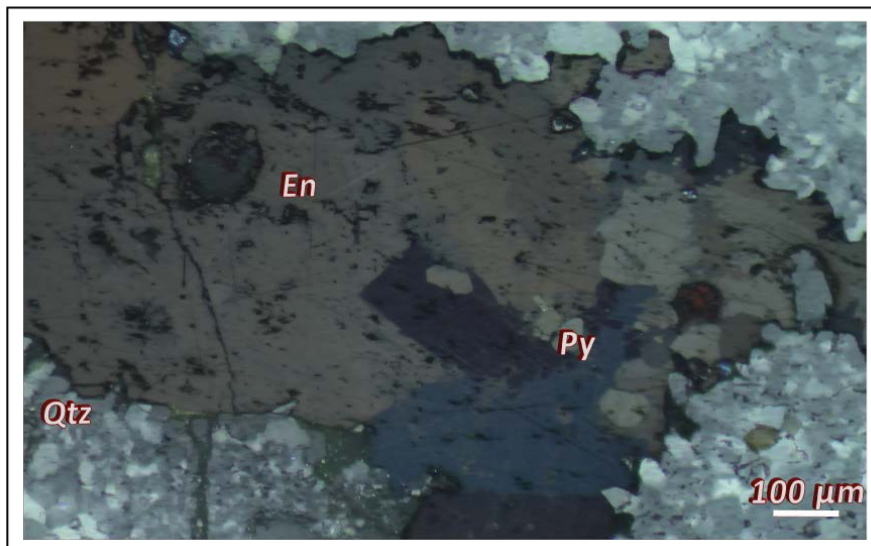


**Figura 15.** Zonación en pirita (Py) PPL. Se observa alteración de pirita a marcasita.

**Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.9. Anisotropía y extinción

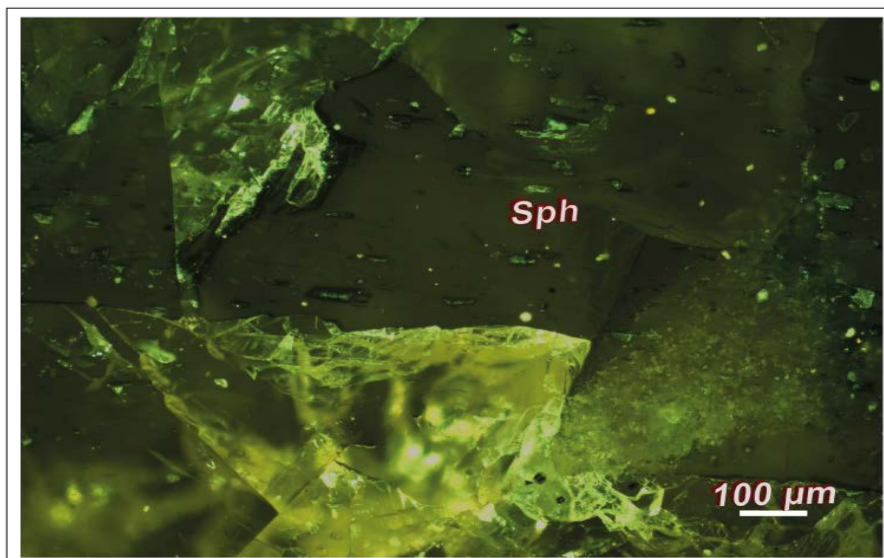
La anisotropía e isotropía son propiedades vectoriales, mecánicas y ópticas, fundamentales para identificar minerales bajo el microscopio de luz reflejada. La isotropía es básicamente la propiedad de no cambio de color en configuración de nícoles cruzados. Por norma cristalográfica, los minerales de los sistemas cúbicos, hexagonal y tetragonal (en corte basal) siempre son isotrópicos. Cabe aclarar que esto depende también del objetivo en el cual se visualice esta propiedad. Cuando se observa con objetivos de menor aumento (por ejemplo, 5X) los minerales no se observan negros, como ocurre en los minerales no opacos (transparentes o translúcidos) sino de color azul, sin embargo, no importa que color que se visualice, nunca cambia de color al girar la platina o la posición en la cual se encuentre el mineral. Por el contrario, la anisotropía es el cambio de color del mineral en esta misma configuración. Una en máxima extinción (90°) y el otro en máxima iluminación (45°). Los minerales anisotrópicos por regla siempre son aquellos de estructura ortorrómbica, monoclinica, triclínica (hexagonal y tetragonal en corte diferente al basal). Cada uno de los minerales de estos sistemas presenta mínimo dos colores dependiendo de la posición de iluminación en la que se posicionen, y son característicos y de suma importancia para su correcta identificación, como se aprecia en la Figura 16.



**Figura 16.** Anisotropía de café a azul violácea en enargita (En) XPL. **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.10. Reflexiones internas

Las reflexiones internas son una propiedad que presentan sólo algunos minerales. Estos minerales deben presentar una reflectancia menor al 35%, ya que por regla están reflejando gran cantidad de la luz que incide sobre ellos, y poca luz queda disponible para que se incorpore a través de los defectos estructurales del mineral, tales como: fracturas, planos de exfoliación, maclas, etc. Todos aquellos minerales que presentan diafanidad transparente a translúcida SIEMPRE presentarán estas reflexiones por su alta capacidad de absorción de la luz. El tamaño y forma varía bastante entre los minerales que la presentan. Sin embargo, una característica importante es que nunca cambian de color al girar la platina, lo que permite diferenciarlas de la anisotropía, ya que muchos minerales pueden presentar simultáneamente ambas propiedades. El color de las reflexiones internas también es importante, ya que muchas están relacionadas con la composición química del mineral. Ejemplo de esto es la esfalerita acaramelada en la Figura 17. La esfalerita rica en Fe (Var. Marmatita) siempre presenta reflexiones internas rojizas, mientras que las variedades pobres en Fe (o más puras) presentan reflexiones internas más claras, como verdes, amarillas, etc. Algunos minerales como el cuarzo, se les puede observar reflexiones internas en configuración de nícoles paralelos, esto se debe a la alta absorción y poca reflectividad (menor al 7%) que presenta este mineral.

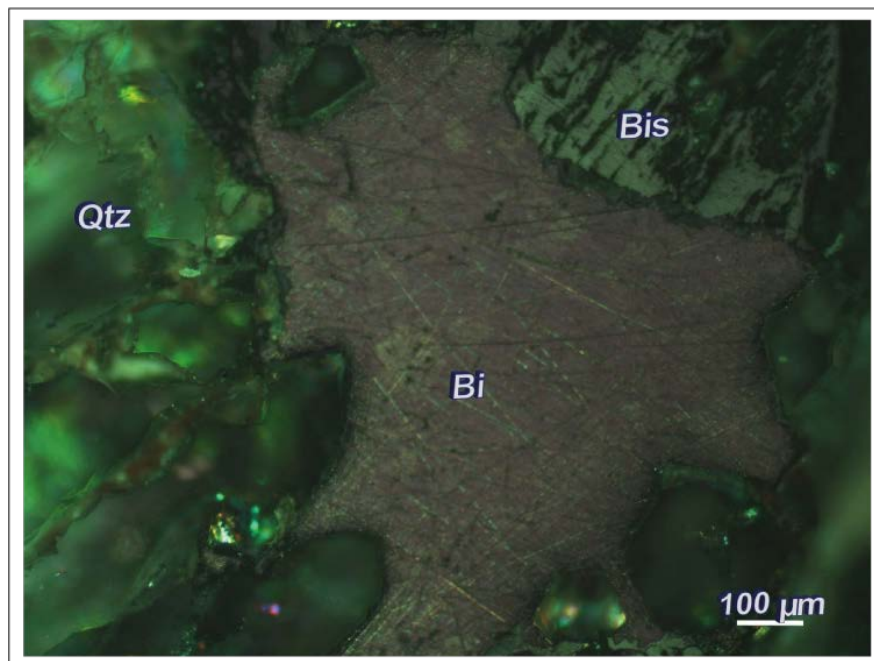


**Figura 17.** Reflexiones internas en esfalerita acaramelada (Sph). **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.11. Rayas de pulido

Las rayas de pulido en microscopía de menas se refieren a las marcas o líneas que se sitúan en la superficie de un mineral, producto de la abrasión al momento de pulir la muestra, como se puede apreciar en la Figura 18. Esta propiedad se considera como antrópica ya que únicamente se presenta en las muestras que han sido manipuladas por el ser humano para su estudio. El caso más común lo presenta el Oro nativo, en donde debido a su baja dureza y alta ductilidad, su superficie presenta esta serie de rasguños.

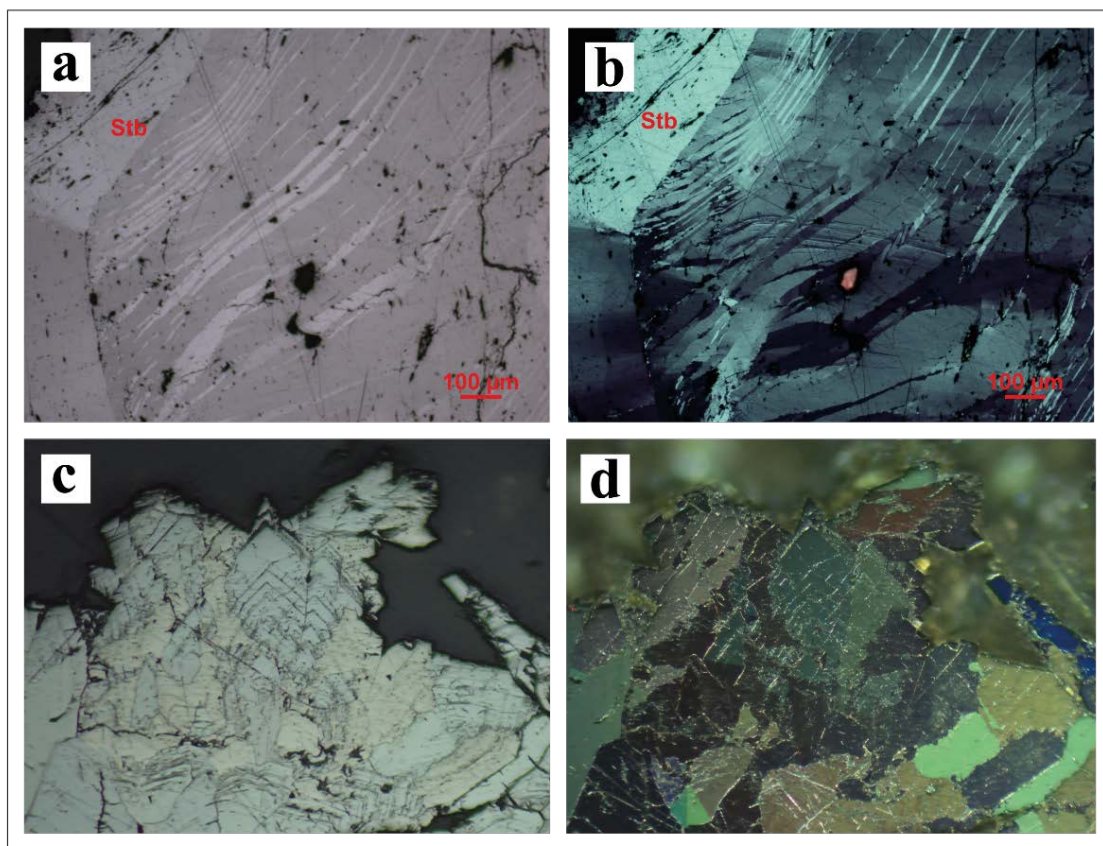
Paradójicamente esta propiedad comúnmente induce a percibir características ópticas erróneas en el mineral estudiado, tales como, el pleocroísmo, la anisotropía (manifestada en tonalidades verdosas en el oro) y reflexiones internas. Es una característica que requiere mucha pericia y cuidado al momento de su estudio y reconocimiento. Otros minerales aparte del oro en los cuales es usual percibir rayas de pulido son: plata, cobre, galena, etc. Hay que aclarar que en algunos minerales más duros que los anteriormente mencionados, se pueden presentar rayas de pulimento por exceso de pulido, por lo tanto, es sensato indicar que no se debe de considerar esta característica como una propiedad diagnóstica.



**Figura 18.** Rayas de pulido presentes en Bismuto nativo (Bi). **Fuente:** elaboración propia.

#### 6.4.12. Maclado

Las maclas son aquellos defectos estructurales que pueden ser causados por condiciones primarias (durante la formación o crecimiento del cristal) y secundarias (generadas después de la formación del cristal). En la Figura 19, se ilustran distintos tipos de maclas observables en luz reflejada. Algunos minerales las presentan de manera característica; por ejemplo, la estibina, la pirrotina (que presentan maclas de deformación), la arsenopirita con maclas cíclicas (o en reloj de arena), maclas simples como las que presenta la wolframita, entre otras.



**Figura 19.** Diferentes tipos de maclas. **a.** Maclas de deformación o en zebra en estibina (Stb) PPL. **b.** Maclas de deformación o en zebra en estibina (Stb) XPL. **c.** Macla de contacto o en cresta de gallo en marcasita PPL. **d.** Macla de contacto o en cresta de gallo en marcasita XPL. **Fuente:** elaboración propia.

## 7. Alcance

Inicialmente se espera que la aplicación Microscopía de Mena<sup>®</sup> sea usada por los estudiantes de sexto semestre de la Universidad de Caldas, específicamente aquellos que estén actualmente inscritos en el curso de Yacimientos Minerales. Su principal propósito es servir como un complemento a las clases, potenciando la experiencia educativa de aquellos estudiantes que se vean en la necesidad de buscar más información sobre los minerales de mena.

Para el resto de estudiantes, los cuales aprobaron satisfactoriamente la asignatura, pueden utilizar Microscopía de Mena<sup>®</sup> como una herramienta que facilite el acceso a la información sobre los minerales de mena. Microscopía de Mena<sup>®</sup> también puede ser empleada como un complemento a la bibliografía para los estudiantes que se encuentren en su etapa final en la universidad y estén realizando trabajos investigativos en el área de los minerales de mena. Sin embargo, su uso potencial puede ser extendido a una mayor cantidad de usuarios, incluyendo estudiantes de posgrado, docentes, investigadores, profesionales de la geología o cualquier otro profesional en el área de la minería.

Es imperativo que se considere la posibilidad de que Microscopía de Mena<sup>®</sup>, sea impulsada por todos los canales de comunicación de la Universidad de Caldas y tenga aceptación en los distintos programas de geología dentro y fuera del país.

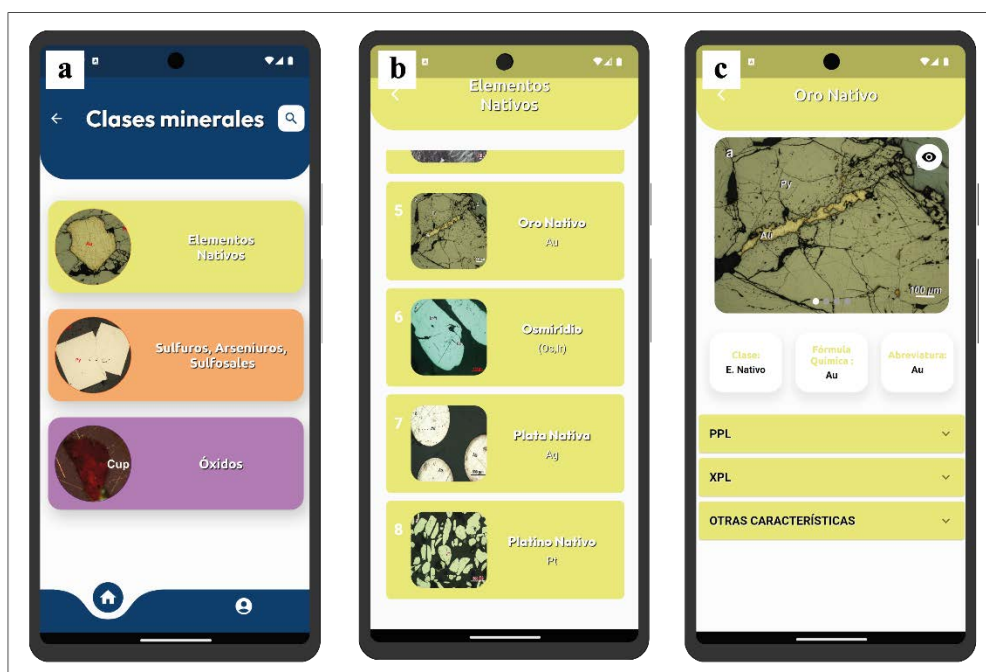
## **8. Limitaciones**

Se hace necesario considerar ciertas limitaciones que presenta Microscopía de Mena<sup>®</sup>. A pesar de que el software fue desarrollado para funcionar tanto en dispositivos Android como en dispositivos iOS, por falta de recursos económicos, únicamente se encuentra disponible para dispositivos Android. Además, hay que tener en cuenta que la aplicación requiere acceso a internet para su óptimo funcionamiento. Adicionalmente, debido a derechos de autor vinculados a la Universidad de Caldas, no es posible publicar o distribuir el aplicativo de manera independiente. Por último, destacar que la aplicación está diseñada para dispositivos móviles, por ende, no se podrá utilizar en computadores.

Es fundamental que estas consideraciones sean tomadas en cuenta por usuarios potenciales, ya que afectan el alcance y accesibilidad de la aplicación.

## 9. Resultados

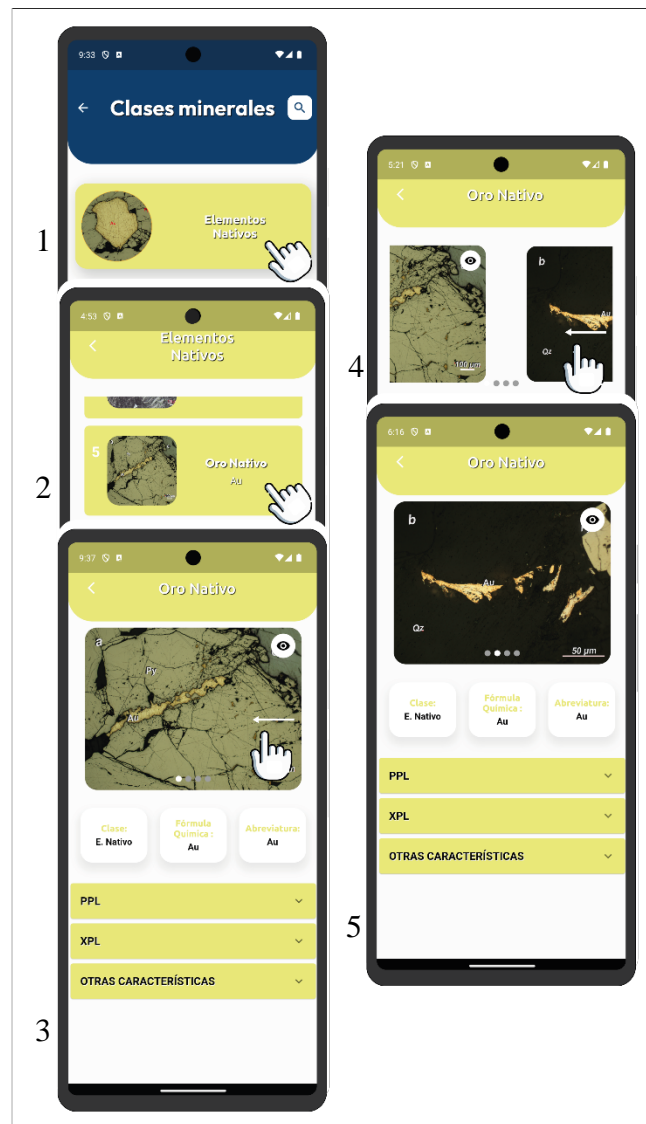
Los contenidos de la aplicación fueron dispuestos con una estructura sencilla, interactiva, organizada, visual y textual. Los textos de las propiedades ópticas de los minerales y las imágenes contenidas dentro del aplicativo móvil están vinculadas a una base de datos externa, la cual es llamada por el código. Se diseñó la aplicación de tal manera que sus funciones se puedan controlar mediante gestos sencillos e intuitivos realizados con las manos de los usuarios. Para el caso de los minerales se diseñaron 3 vistas principales: 1. un menú en el cual se encuentran las diferentes clases minerales (ver Figura 20.a). 2. un listado de los minerales correspondientes a la clase mineral (ver Figura 20.b) y 3. una vista general para cada mineral en la cual se encuentran todas sus propiedades ópticas, características específicas y microfotografías con sus correspondientes descripciones (ver Figura 20.c).



**Figura 20.** Vistas principales dentro del apartado de descripción mineralógica. **a.** Listado de las clases minerales presentes en la aplicación **b.** Listado de minerales dentro de los elementos nativos. **c.** Vista general de un mineral, en este caso oro nativo (Au).

Al seleccionar una de las clases minerales presentes en la aplicación se desplegará un listado con los minerales presentes en la clase mineral. En este listado se pueden observar el número de minerales presentes, el nombre del mineral, su fórmula química además de una microfotografía correspondiente al mineral (ver Figura 19.b) Cuando se selecciona un mineral del listado, se direcciona a una nueva vista en la cual se pueden observar las propiedades del mineral en nícoles paralelos, nícoles cruzados, además se pueden ver las diferentes microfotografías correspondientes al mineral (ver Figura 21). Las imágenes se organizaron en un carrusel de fotos, para visualizarlas se utiliza el gesto de desplazamiento hacia la izquierda como se indica en la Figura 21.





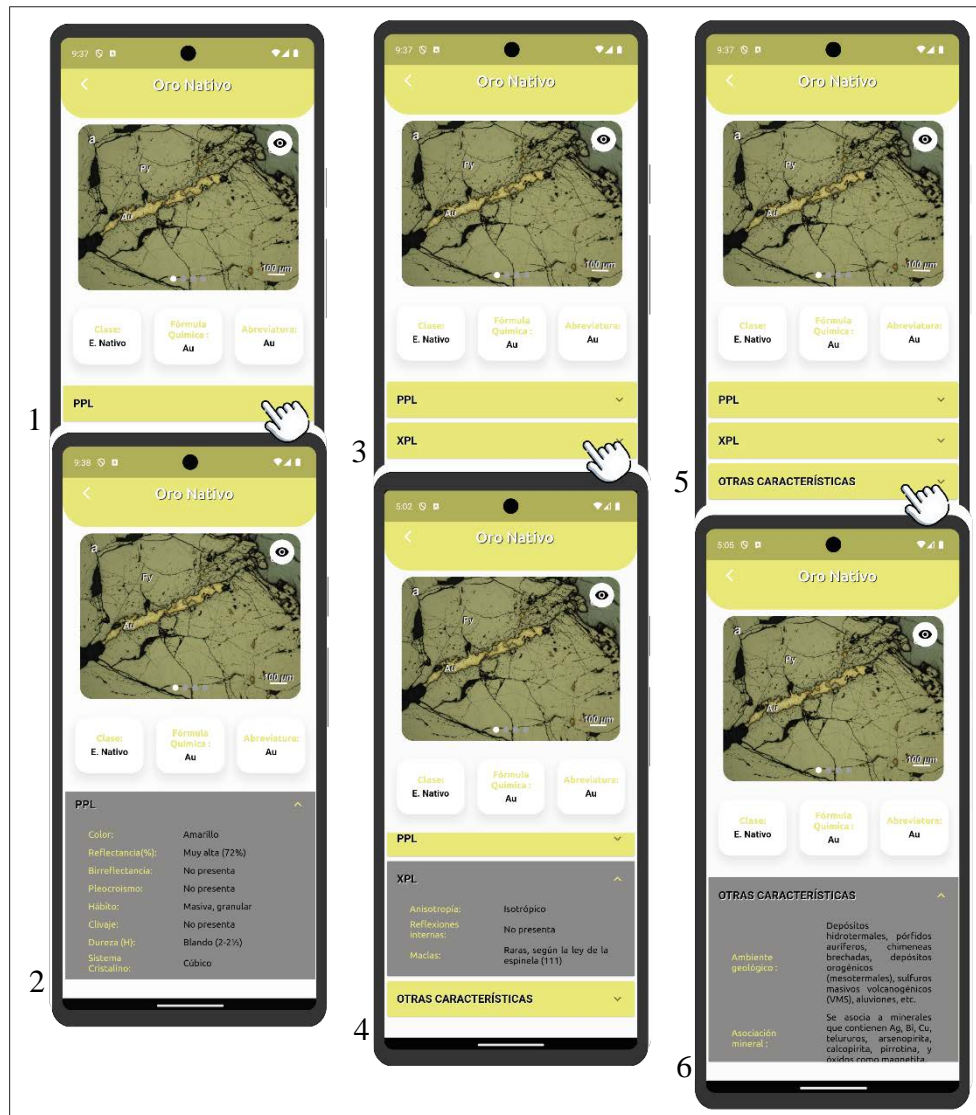
**Figura 21.** Ejemplo ilustrativo de cómo utilizar el carrusel de imágenes dentro de la aplicación. Los números indican los pasos a seguir para visualizar todo el contenido del carrusel.

En la esquina superior derecha de las fotos, existe un icono el cual indica que existe más información acerca de la fotografía. Al pulsar sobre este icono se desplegará una nueva ventana en la cual se podrá leer la descripción correspondiente a la fotografía. Además, en esta ventana existe la posibilidad de hacer zoom a la imagen. Para esto, se utilizará el gesto de acercar o alejar la imagen usando dos dedos (ver Figura 22).



**Figura 22.** Ejemplificación del uso de las tarjetas de descripción de las fotografías, además del uso del zoom dentro de la aplicación. Los números indican la secuencia a seguir para lograr visualizar la ventana emergente que permite la lectura de la descripción de la imagen, cabe aclarar que el zoom sólo se puede hacer en esta ventana emergente.

Al salir de la ventana emergente, se observan una serie de pestañas desplegadas que cuentan con las descripciones en nícoles paralelos, nícoles cruzados y otras características del mineral. Al pulsar sobre cada una de estas se desplegará el texto correspondiente a cada pestaña. Para leerlo en su totalidad el usuario sólo deberá desplazar el dedo hacia arriba o abajo. De igual manera, al pulsar nuevamente sobre las pestañas, ya no mostrarán el texto y solamente se podrá ver el título correspondiente a la pestaña (ver Figura 23).



**Figura 23.** Uso de las pestañas desplegables dentro de la aplicación. En la figura se ejemplifica la manera correcta de visualizar el contenido de las pestañas desplegables.

## 10. Conclusiones

- La aplicación móvil Microscopia de Mena, ofrece una herramienta pedagógica e interactiva basada en la fundamentación teórica para el estudio de minerales de mena en microscopio de luz reflejada, siendo complementada con contenido multimedia que facilita el aprendizaje para todos los usuarios interesados en el estudio de este tipo de minerales.
- Durante los últimos años los proyectos de creación e innovación han experimentado un crecimiento significativo en los diferentes programas académicos, a excepción del programa de geología. Por ende, este proyecto marca un primer paso para la integración de los conocimientos geológicos con el campo tecnológico en la Universidad de Caldas.

## **11. Recomendaciones**

Se recomienda a los encargados de la publicación de la aplicación por parte de la Universidad de Caldas, tener presentes todos los documentos realizados por los autores ya que son de mucha ayuda para entender la arquitectura base de la aplicación.

Se le hace una respetuosa solicitud a la Universidad de Caldas para considerar la posibilidad de realizar una inversión que permita el lanzamiento del aplicativo móvil en la plataforma iOS. Se espera que esta ampliación a iOS contribuya significativamente a la visibilidad y accesibilidad de la aplicación.

Con el fin de lograr un mayor reconocimiento para el aplicativo móvil y ampliar su aceptación entre un público más extenso, se hace una invitación a la Universidad de Caldas para que utilice sus canales de comunicación, como su página web o canal de YouTube, y así promover una mayor difusión del proyecto dentro de la comunidad académica.

Se extiende la invitación a toda la comunidad universitaria y, en especial a los estudiantes del programa de Ciencias Geológicas, para sumarse a esta iniciativa de crear proyectos tecnológicos que impulsen el avance e implementación de la tecnología en las ciencias de la tierra.

Se invita a la comunidad universitaria abstenerse de hacer uso indebido de este tipo de tecnologías, que este aplicativo sea utilizado únicamente como un complemento para las clases y con fines educativos.

## 12. Referencias

- Craig, J.R. y Vaughan, D.J. (1994). *Ore Microscopy and Ore Petrography*. Wiley-Interscience
- Farcraft (2023). *Virtual Microscope – Minerals (2023.8.1)* [Aplicación móvil]. Google Play.  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.geology.virtual.microscope.minerals.thin.sections.pro>
- Febrel, T. (1970). *Microscopía de minerales opacos*. E.T.S de Ingenieros de minas. Madrid.
- Fernández, J. C., Fernández, P. M., Ponce, D., y Redondo, M. (2018). *Museo Virtual de Mineralogía*. Obtenido de Universidad de Huelva:  
<https://www.uhu.es/museovirtualdemineralogia/index.html>
- Herrmann, C. y Zappettini, E.O. (2014). *Recursos Minerales, Minería y Medio Ambiente*. Serie Publicaciones N° 173. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 68p. Buenos Aires.
- Klein, C., y Hurlbut, C. S. Jr. (1993). *Manual de Mineralogía de Dana (21ª ed.)*. Reverté.
- Kojima, S (2018). *Microscopía de Menas*. Universidad Católica del Norte.
- López, Á. y Bosch, J. M. (1971). *Medida de reflectancia de una superficie pulida: estudio microscópico de minerales opacos*.
- Marshall, D., Anglin, C., y Mumin, H. (2004). *Ore mineral Atlas*. St. John's : Geological Association of Canada - Mineral Deposits Division.
- Martínez, A. y Aguilar, T. (2013). *Estudio sobre los impactos socio-económicos del sector minero en Colombia: Encadenamientos sectoriales*. Cuadernos. Fedesarrollo, vol. 47, May. 2013.
- Mayoral, E., Fernández-Caliani, J. C., Santos, A., y Campina, A. (2018). *Geobrary®*. Una aplicación móvil para el reconocimiento visual de minerales y fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 361-365.

- Medina, K. R. (21 de junio de 2022). Branch. Obtenido de <https://branch.com.co/marketing-digital/estadisticas-de-la-situacion-digital-de-colombia-en-el-2021-2022/>
- Montoya. (2012). Guía conceptual de física. Universidad Complutense de Madrid.
- Novati, A. (2020). Why Is the Sky Blue? [Fotografía].
- Pellant, C. (1992). Simon y Schuster's Guide to Rocks and Minerals. Simon y Schuster.
- Pracejus, B. (2015). The ore minerals under the microscope. Muscat: Elsevier.
- Ramdohr, P. (1969). The ore minerals and their intergrowths. Berlin : Pergamon Press.
- Real Academia Española. (2017). Diccionario de la lengua española. Recuperado el 30 de octubre, 2023, de <http://dle.rae.es/?id=9qYXXhD>.
- Short, M. N. (1931). Microscopic determination of the Ore minerals. Washington: Government Printing Office.
- Shuey, R. T. (1975). Semiconducting ore minerals. Developments in Economic Geology (Vol. 4). Elsevier.
- Teng, H. H., y Dove, P. M. (1997). Surface site-specific interactions of aspartate with calcite during dissolution: Implications for biomineralization. American Mineralogist.
- The Open University. (2012). Virtual Microscope. Obtenido de <https://www.virtualmicroscope.org/>
- Wang, M., Shen, R., Novak, D., y Pan, X. (2009). The impact of mobile learning on students' learning behaviours and performance: Report from a large blended classroom. British Journal of Educational Technology, 673-695.

**ANEXOS**





---

# Manual de usuario

---

## Microscopía de Mena

Elaborado por:

Maria del Mar Hernández M.

Nicolás Ramírez Barreto

Versión 1.0

Universidad de Caldas  
Programa de Geología

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN:.....	1
RECONOCIMIENTO DE LA APLICACIÓN.....	2
Navegación .....	4
Configuración .....	5
MENÚ PRINCIPAL .....	6
Fundamentación teórica: .....	6
Desplazamiento y lectura .....	7
Propiedades ópticas .....	9
Descripción mineralógica .....	11



## INTRODUCCIÓN:

¡Bienvenidos a Microscopía de Mena®! Este manual de usuario ha sido creado con el propósito de brindar a estudiantes, profesores y cualquier persona interesada la información esencial para aprovechar de manera efectiva y eficiente todas las funcionalidades de esta aplicación móvil.

Microscopía de Mena® es un proyecto que se terminó desarrollando como respuesta a la creciente necesidad de los estudiantes de geología de contar con un manual que ofrezca material gráfico y características útiles para la identificación de minerales de mena bajo el microscopio.

Este trabajo detallado presenta las propiedades ópticas y físicas de 40 minerales de mena de relevancia económica. La mayoría de estos minerales han sido recolectados en depósitos minerales colombianos, aunque también se han incluido algunos recolectados en depósitos ubicados fuera del país. Cada mineral se encuentra acompañado de una serie de microfotografías a todo color y a escala, con el propósito de permitir a los estudiantes familiarizarse con sus diversas características. Por lo que finalmente Microscopía de Mena® aspira a ser una valiosa herramienta que guíe a los estudiantes y personas interesadas en la correcta identificación de estos minerales, facilitando así su estudio y comprensión.

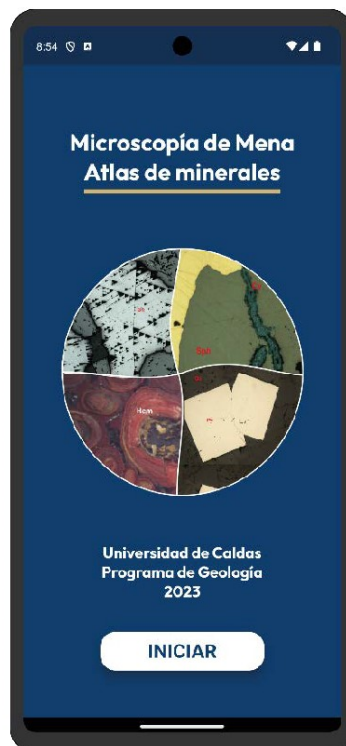
Nuestro compromiso es brindar una experiencia óptima y amena de aprendizaje por medio de un aplicativo móvil, por lo cual este manual de usuario se vuelve una herramienta fundamental para lograr este propósito. Esperamos que esta guía sea de utilidad y le permita aprovechar al máximo esta aplicación que se convierte en un microscopio al alcance de su mano.

## RECONOCIMIENTO DE LA APLICACIÓN

Microscopía de Mena<sup>®</sup> se identifica con el icono mostrado a continuación, para lo cual la aplicación debe de haberse instalado previamente en el dispositivo móvil.



Para empezar a utilizar la aplicación se debe dar clic en el botón de INICIAR



Después de este primer apartado se encontrará con una breve descripción de la aplicación y sus funcionalidades, las cuales puede ver una a uno o en su defecto las puede omitir.

---

## MANUAL DE USUARIO MICROSCOPIA DE MENA



## Navegación

El apartado de navegación de la aplicación consta de dos secciones inferiores, con la primera de estas secciones se puede ir al menú principal de la aplicación y con la segunda se puede acceder a la configuración de la aplicación.



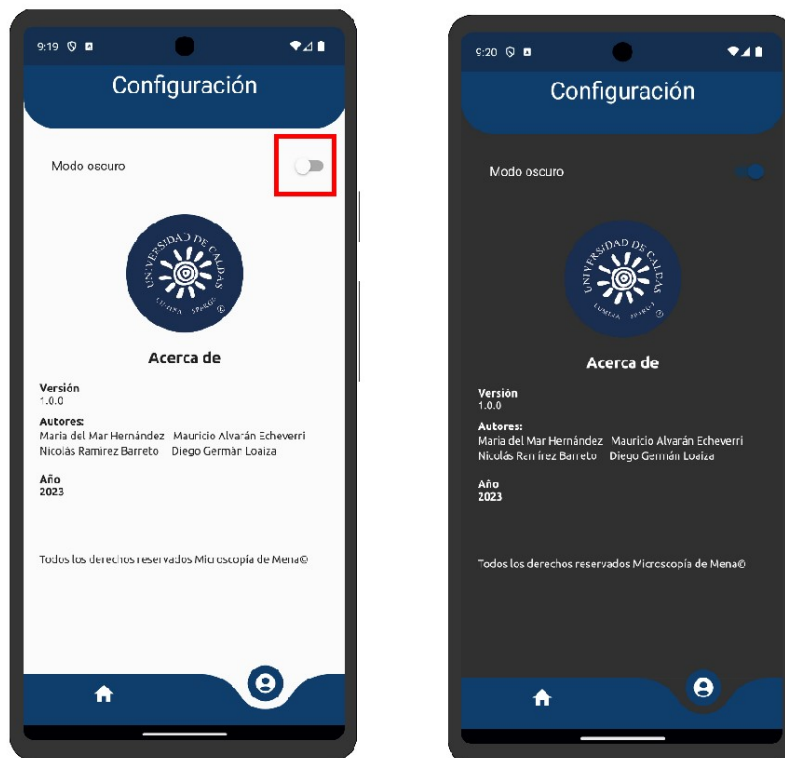
Acceso al  
menú  
principal



Acceso  
a la  
configuración

## Configuración

En el apartado de configuración se encontrará la opción de personalizar la interfaz de la aplicación, teniendo la opción de un modo claro o un modo oscuro, esto dependerá de las necesidades y preferencias personales del usuario. Además de esto se encontrará información sobre los autores de la aplicación, el año de creación y la versión de la aplicación. Además de un enlace para descargar el manual de usuario.



## MENÚ PRINCIPAL

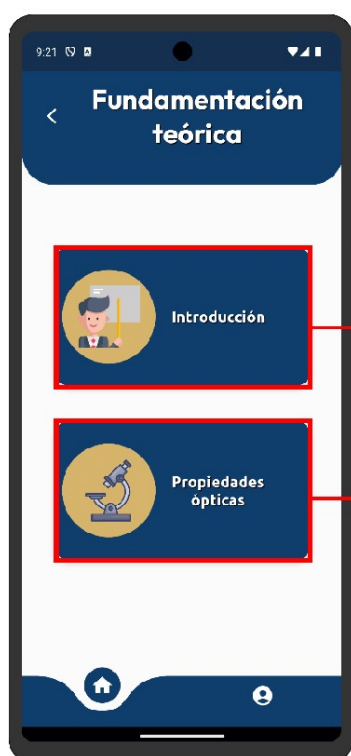
El menú principal consta de dos apartados, la fundamentación teórica que como su nombre lo indica en él se encontrarán las bases teóricas de lo tratado dentro de la aplicación. El otro apartado disponible es la descripción mineralógica en la cual se encuentran los minerales de mena organizados por clases.



### Fundamentación teórica:

La fundamentación teórica se encuentra dividida en dos categorías: una breve introducción a la microscopía de mena y las propiedades ópticas de los minerales.





Aquí puedes encontrar información básica como el tipo de microscopio utilizado para el reconocimiento de minerales de mena y el tipo de muestras utilizadas para el mismo.

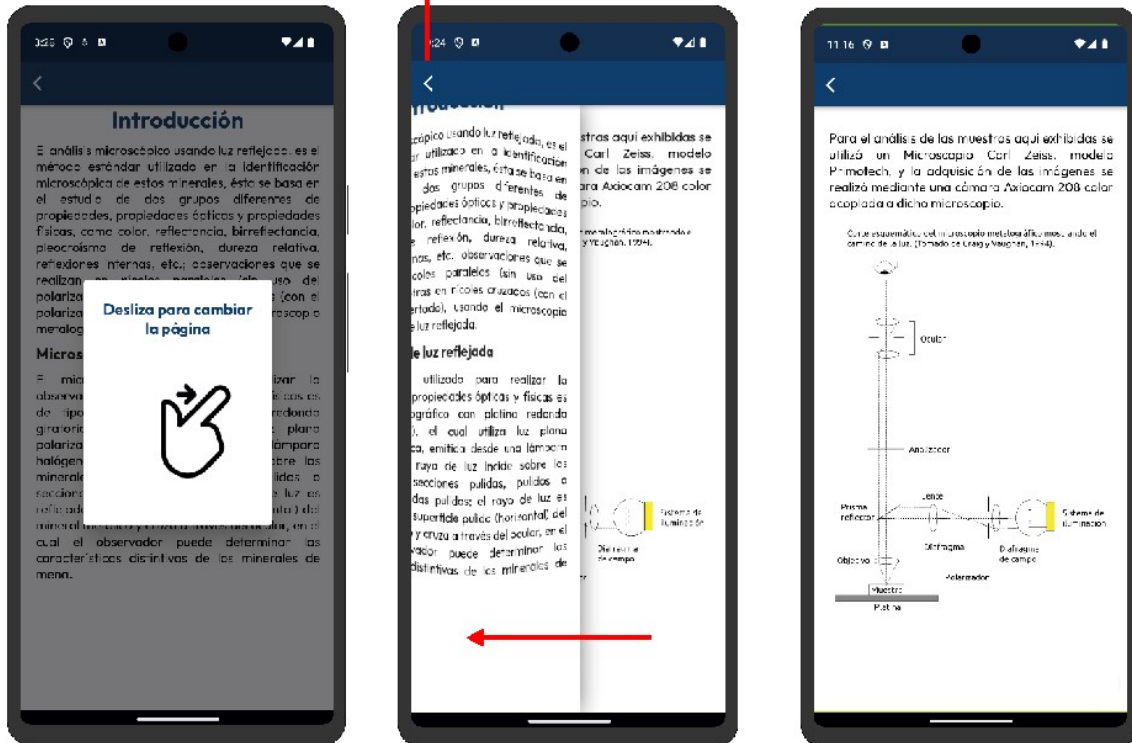
En este apartado encontrarás las propiedades ópticas de los minerales, dentro de las cuales se habla de las propiedades diagnósticas de los mismos, cómo identificarlas y finalmente también se cuentan con algunas fotografías y vídeos con los cuales se ilustran estas propiedades.

### Desplazamiento y lectura

En el apartado correspondiente a fundamentación teórica aparecen diferentes menús en los cuales se encontrará información tanto de lectura, como vídeos e imágenes. Para visualizar de manera correcta los mismos se implementó la opción cambiar página dentro de esta parte teórica. En los apartados en los que se encuentra activa esta opción, aparecerá una ventana emergente que indica que al deslizar el dedo hacia la izquierda se cambiará la página. De igual manera, si se busca retroceder la página simplemente se desplazará el dedo hacia la derecha.

**Nota:** esta ventana emergente solamente aparece en aquellos apartados en los que se encuentre más información, si esta ventana no aparece quiere decir que es una página única de información.

Con esta flecha se regresará al menú inmediatamente anterior



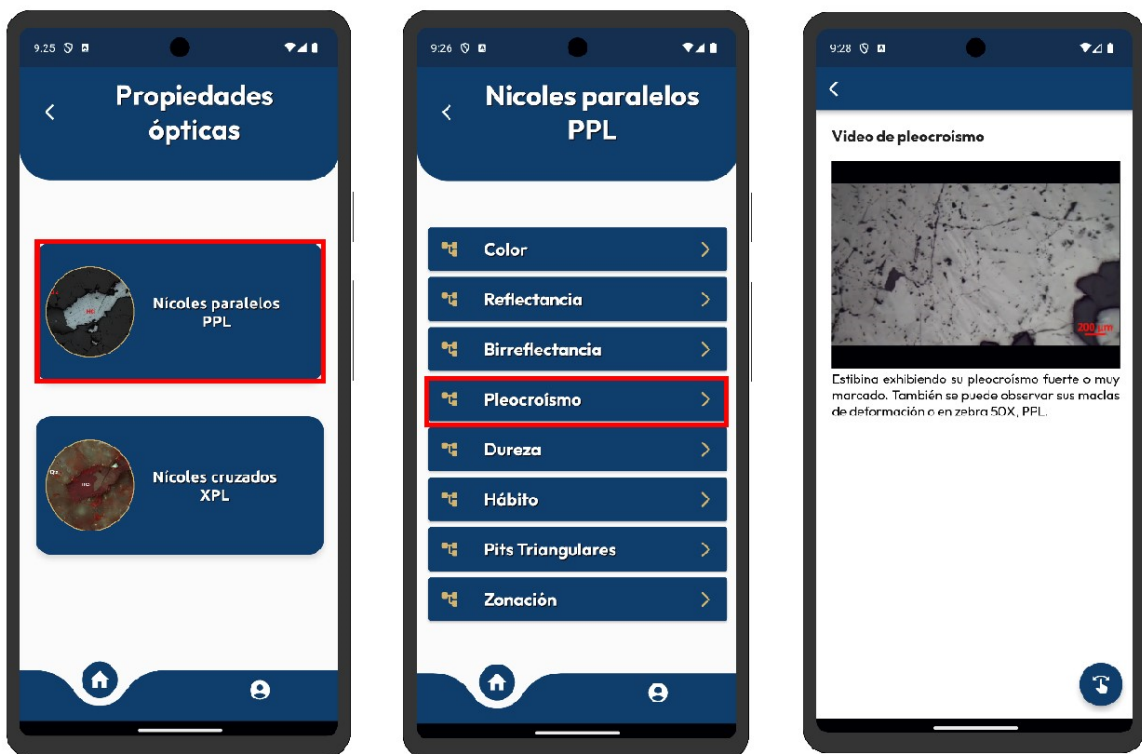
Esta ventana emergente animada indica que, al deslizar el dedo hacia la izquierda, se cambiará a la página siguiente. Si se desea regresar a la página anterior, se debe deslizar a la derecha

Al realizar el desplazamiento se puede observar la información de la página siguiente

Si se desea ampliar las imágenes, el usuario debe de dar doble clic sobre ellas y posteriormente hacer zoom con dos dedos. De esta manera podrá ver más detalladamente la imagen deseada. De igual manera en la esquina superior izquierda existe una flecha con la cual se podrá regresar al menú anterior.

## Propiedades ópticas

Como se menciona anteriormente, en el apartado de propiedades ópticas se encontrarán las propiedades diagnósticas de los minerales, que estas a su vez se encuentran divididas según se observen en nícoles paralelos (PPL) y nícoles cruzados (XPL)



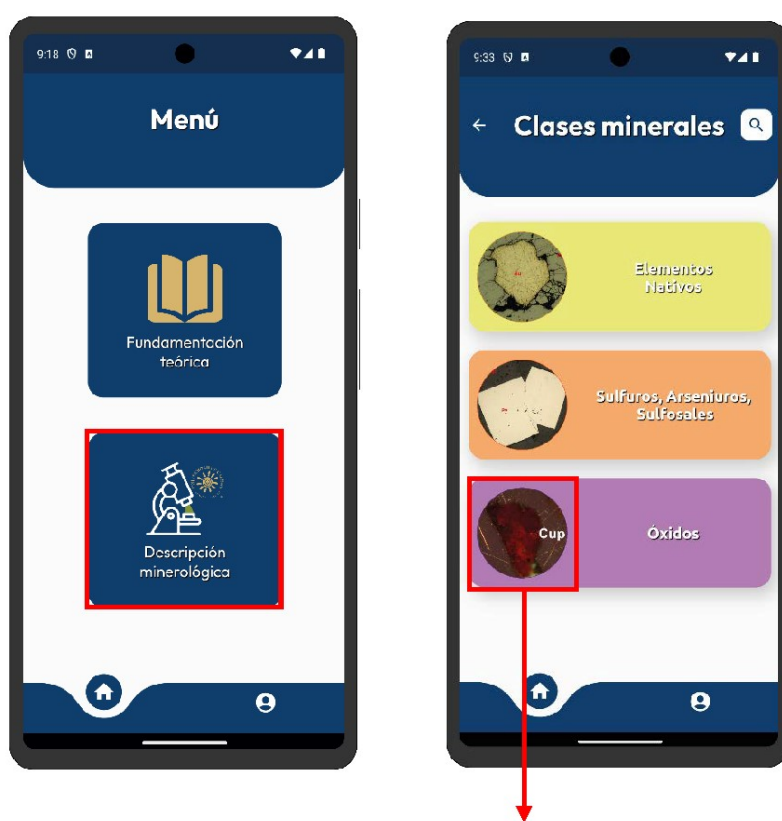
En algunos apartados de las propiedades en nícoles paralelos (PPL) y en nícoles cruzados se encuentran vídeos los cuales se visualizan de manera automática, están en un bucle infinito lo que quiere decir que cada vez que se termine el vídeo, empezará a reproducirse nuevamente.



Algunas de las propiedades ópticas constan de poco texto, por lo cual no tienen el icono indicativo de cambio de página, lo que quiere decir que solamente ese es el texto que aparece en dicho apartado, un ejemplo de esto se ilustra con las imágenes anteriores en la sección de maclado.

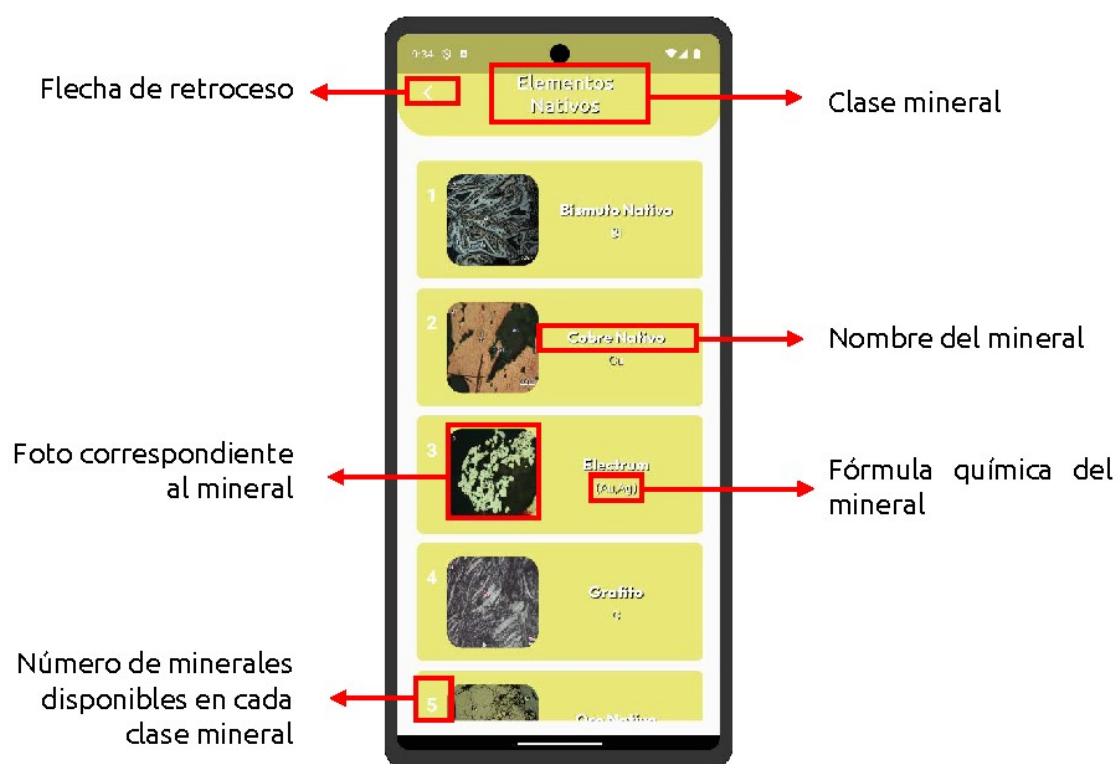
## Descripción mineralógica

Al entrar al menú de descripción mineralógica se encontrarán las clases minerales entre las cuales se encontrarán 3 apartados: uno de ellos es elementos nativos, otro el de sulfuros, arseniuros y sulfosales y por último se encontrará el apartado de óxidos. Cada uno de estos apartados se dividió según la clasificación de Strunz, la cual está basada en la composición química de cada mineral.



Cada una de las clases minerales está acompañada por una microfotografía de un mineral perteneciente a la misma

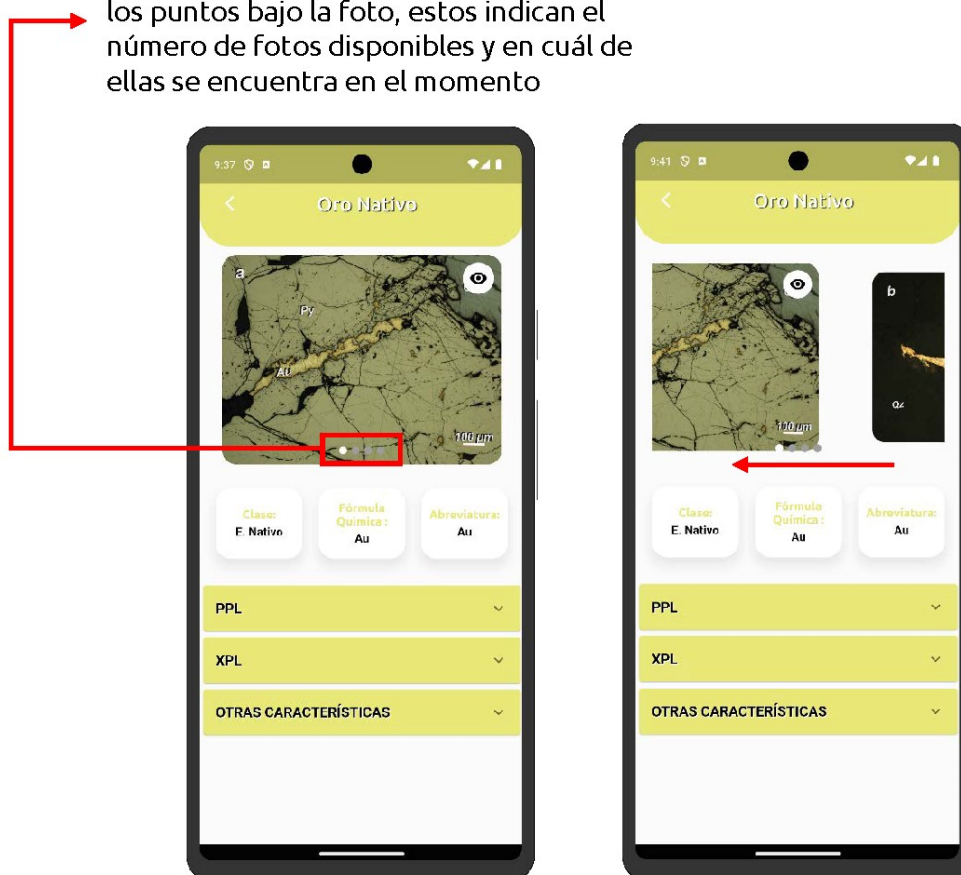
Al entrar a cualquiera de las clases minerales, se encontrarán los siguientes componentes:



Al seleccionar cualquier mineral se abrirá una ficha que se compone de varias partes como lo son microfotografías del mineral, clase mineral a la cual pertenece, fórmula química, abreviatura utilizada dentro de las fotos, además de su descripción en nícoles paralelos, nícoles cruzados y otras características presentes en la especie mineral.

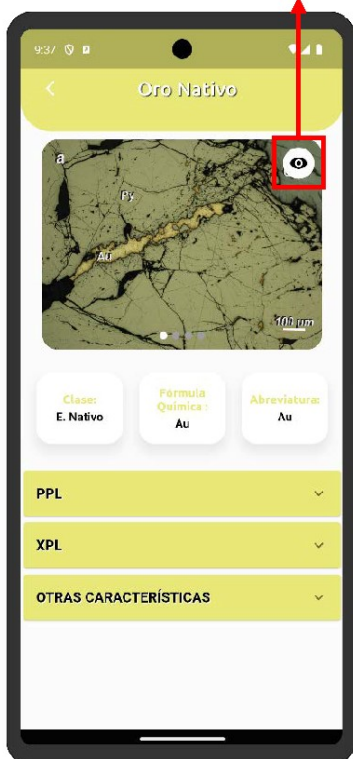
Cada mineral cuenta con un carrusel de fotos, para poder visualizarlas de manera correcta se debe desplazar el dedo hacia la izquierda o la derecha sobre la imagen, según se quieran ver las imágenes.

La presencia del carrusel se evidencia con los puntos bajo la foto, estos indican el número de fotos disponibles y en cuál de ellas se encuentra en el momento



Además de lo anterior mencionado, al hacer clic en el icono presente en la esquina superior derecha de la foto, se abrirá una pestaña en la cual se encontrará la descripción correspondiente de la imagen y también se podrá hacer zoom en la fotografía.

Este icono indica que existe una tarjeta expandible con información



Este icono indica que para agrandar la imagen se debe hacer zoom con dos dedos

Descripción correspondiente a la imagen observada

Cada ficha mineral cuenta con tarjetas desplegadas de las propiedades ópticas en nicoles paralelos (PPL) y nicoles cruzados (XPL), además de una tarjeta desplegable con otras características del mineral. Para desplegarlas simplemente se debe hacer clic sobre ella y ahí se verá la información correspondiente a la tarjeta.



## MANUAL DE USUARIO MICROSCOPIA DE MENA

