

Organización y gestión de una colección didáctica de rocas para la enseñanza de las geociencias en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander

Nicolas Fernando Pinzon Mora y Kevin Leonardo Martínez Tenjo

Trabajo de grado para optar el título de Geólogo

Director

Carlos Alberto Ríos Reyes

Doctorado en Geología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Pregrado en Geología

Bucaramanga

2026

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	7
1. Objetivos .....	9
1.1 Objetivo general .....	9
1.2 Objetivos específicos .....	9
2. Justificación .....	10
3. Estado del arte .....	11
4. Gobernanza y manejo de la colección.....	15
5. Gestión integral de la colección .....	16
5.1. Selección .....	17
5.2. Adquisición .....	18
5.3. Documentación .....	19
5.4. Inventario y descripción.....	22
5.5. Digitalización y modelos tridimensionales .....	23
5.6. Préstamos .....	30
6. Conservación, uso y acceso a la colección .....	32
6.1. Conservación.....	32
6.2. Acceso y disponibilidad de la información.....	34
6.3. Retiro o baja de ejemplares .....	35
7. Recomendaciones.....	35
8. Conclusiones .....	38
Referencias Bibliográficas .....	40
Apéndices.....	49

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Metodología para colección didáctica.....	16
<b>Figura 2.</b> Fotografía de marcaje de la muestra CGQ-11.....	20
<b>Figura 3.</b> Fotos del proceso de fotogrametría de muestras seleccionadas para modelos 3D.....	21
<b>Figura 4.</b> Formato en Excel para la identificación, fotografía, descripción, contexto geológico y ubicación de las muestras.....	23
<b>Figura 5.</b> Ejemplo guía de las 36 fotografías tomadas siguiendo los lineamientos para la generación del modelo 3D de la muestra CGQ-39.....	25
<b>Figura 6.</b> Interfaz de la web de eyesCloud3D en el proceso de carga de imágenes y posterior generación del modelo. Edición y pulido del modelo 3D en el software y previsualización .....	26
<b>Figura 7.</b> Modelo de nube de puntos, herramientas de importación y alineamiento e interfaz de RealityScan.....	28
<b>Figura 8.</b> Modelo de malla y Modelo 3D tras usar las herramientas de cálculo de modelo y texturización.....	29
<b>Figura 9.</b> Visualización de modelo 3D en la plataforma Sketchfab.....	30
<b>Figura 10.</b> Formato para Préstamos.....	31
<b>Figura 11.</b> Ubicación asignada en la escuela de geología para el almacenaje de las muestras de la colección.....	33
<b>Figura 12.</b> Guía para la gestión y organización de una colección didáctica.....	37

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Base de datos en Excel con descripciones Parte 1, 2, 3 y 4.....	49
Apéndice B. Guía para la gestión y organización de una colección didáctica (tamaño completo).....	53
Apéndice C. Formato para Préstamos diseño impresión.....	54

## Resumen

**Título:** Organización y gestión de una colección didáctica de rocas para la enseñanza de las geociencias en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander\*

**Autor:** Nicolas Fernando Pinzon Mora, Kevin Leonardo Martínez Tenjo\*\*

**Palabras Clave:** Colección geológica, muestras de rocas, catálogo, enseñanza de las geociencias, modelos 3D

**Descripción:** Este trabajo presenta los resultados de un proyecto orientado a la organización y gestión de una colección didáctica de rocas en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. El trabajo incluyó la selección, documentación, catalogación y conservación de un conjunto representativo de muestras de rocas provenientes de la litoteca institucional, destinadas a su uso académico. Las muestras fueron seleccionadas considerando su estado de conservación, su representatividad litológica y su valor didáctico, y cada ejemplar fue marcado con un código único (CGQ-#) que permite su identificación y trazabilidad dentro del sistema de catalogación. Como parte de este proceso, se elaboró un catálogo físico y digital que incorpora registros fotográficos, descripciones macroscópicas, clasificación geológica e interpretación del contexto de formación de cada muestra. Adicionalmente, mediante técnicas de fotogrametría se generaron modelos tridimensionales de muestras representativas, procesados con las herramientas eyesCloud3D y RealityScan y publicados en la plataforma Sketchfab, accesibles a través de códigos QR incluidos en el catálogo. Asimismo, se desarrollaron lineamientos para la gobernanza, conservación, préstamo y actualización de la colección, que respaldan su gestión y uso futuro. La colección busca fortalecer los recursos didácticos disponibles para la enseñanza de las geociencias, facilitando el acceso organizado a muestras de rocas para actividades prácticas y contribuyendo al desarrollo de habilidades de observación, descripción e interpretación de materiales geológicos, fundamentales en la formación de estudiantes de geociencias.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas - Escuela de Geología - Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Doctorado en Geología

### Abstract

**Title:** Organización y gestión de una colección didáctica de rocas para la enseñanza de las geociencias en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander\*

**Author:** Nicolas Fernando Pinzon Mora, Kevin Leonardo Martínez Tenjo\*\*

**Key Words:** Geological collection, rock samples, catalogue, geoscience education, 3D models

**Description:** This work presents the results of a project focused on the organization and management of a didactic rock collection at the School of Geology of the Universidad Industrial de Santander. The work included the selection, documentation, cataloging, and preservation of a representative set of rock samples from the institutional lithoteque, intended for academic use. The samples were selected considering their state of preservation, their lithological representativeness, and their didactic value, and each specimen was marked with a unique code (CGQ-#) that allows its identification and traceability within the cataloging system. As part of this process, a physical and digital catalogue was developed, including photographic records, macroscopic descriptions, geological classification, and an interpretation of the formation context of each sample. In addition, three-dimensional models of representative specimens were generated through photogrammetry techniques, processed with the eyesCloud3D and RealityScan tools, and published on the Sketchfab platform, accessible through QR codes included in the catalogue. Guidelines were also prepared for the governance, preservation, loan, and updating of the collection, supporting its management and future use. The collection seeks to strengthen the teaching resources available for geoscience education, providing organized access to rock samples for practical activities and contributing to the development of observational, descriptive, and interpretative skills, which are essential in the training of geoscience students.

---

\* Degree work.

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering - School of Geology - Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Doctorate in Geology.

## Introducción

Las colecciones de rocas constituyen recursos fundamentales para la enseñanza y divulgación de las geociencias, tanto a nivel internacional como nacional, al permitir el acceso directo a materiales que ejemplifican los procesos geológicos, la diversidad de rocas y la historia de la Tierra. Estas colecciones funcionan como repositorios tangibles de la memoria geológica del planeta y como herramientas para el aprendizaje práctico, la investigación y la divulgación científica. A nivel mundial, los museos de historia natural y las universidades han desarrollado colecciones físicas y digitales de rocas que facilitan la enseñanza interactiva y la preservación de los ejemplares (Durán y Carcavilla, 2008; Natural History Museum, 2024; American Museum of Natural History, 2024; Oxford University Museum of Natural History, 2024).

En la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS) existen diversas colecciones orientadas a prácticas académicas específicas; sin embargo, se identificó la necesidad de un recurso complementario, accesible y de carácter introductorio, que permita a los estudiantes y al público general acercarse a conceptos básicos de geociencias y a la observación de rocas de manera contextual y visual. Esta colección didáctica no reemplaza las colecciones existentes, sino que las complementa, proporcionando ejemplos representativos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como de los procesos geológicos que las formaron, facilitando la enseñanza inicial de la geología de forma comprensible y atractiva. Con el objetivo de ampliar el alcance educativo y la accesibilidad de la colección, se implementó un componente digital mediante la generación de modelos tridimensionales de algunas muestras de mano. Esta estrategia permite que estudiantes, investigadores o personas interesadas que no puedan desplazarse hasta el museo o laboratorio puedan explorar los ejemplares de manera virtual, conservando un registro detallado y facilitando su uso en actividades académicas y de divulgación (Montoya-Ramírez, 2021;

Castiñeiras García et al., 2025; Museo Provincial de Ciencias Naturales, s.f.). La digitalización y los modelos 3D constituyen un complemento innovador que amplía la interacción con la colección, fomentando un aprendizaje activo, inclusivo y flexible.

La colección se concibe como un recurso educativo integral que permite apreciar visual y contextualmente los procesos de formación de las rocas, sus características físicas y texturales, y la diversidad geológica de la región. Además, busca potenciar la enseñanza práctica de la geología, apoyar proyectos docentes e investigativos y servir como herramienta de divulgación científica hacia la comunidad académica y general. La implementación de protocolos claros de gestión, catalogación, conservación y actualización asegura la continuidad de la colección y su integración efectiva en el currículo académico, contribuyendo a la mejora de la calidad educativa y al fortalecimiento de los recursos de aprendizaje de la Universidad Industrial de Santander. En términos generales, esta colección de rocas no solo preserva el patrimonio geológico institucional, sino que también promueve un aprendizaje interactivo, accesible y sostenible, que facilita la comprensión de los procesos geológicos, fomenta la observación y descripción crítica de muestras y refuerza las competencias prácticas de los estudiantes en geociencias.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Desarrollar y gestionar una colección didáctica de rocas mediante la organización, documentación y catalogación física y digital de muestras representativas, con el fin de apoyar las actividades prácticas y la enseñanza de las geociencias en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

### 1.2 Objetivos específicos

- Seleccionar un conjunto representativo de muestras de rocas disponibles en la Escuela de Geología, considerando su valor didáctico para la enseñanza de conceptos fundamentales de las geociencias.
- Organizar, almacenar y garantizar la conservación de las muestras, asegurando su correcta identificación y accesibilidad para actividades académicas.
- Caracterizar las muestras mediante descripción de sus propiedades físicas, clasificación geológica y contexto geológico general, para generar información sistematizada y confiable.
- Construir un catálogo físico y digital de la colección, incluyendo fotografía, descripción, clasificación y el modelamiento 3D de muestras representativas.
- Facilitar el uso didáctico de la colección, mediante la elaboración de una guía y materiales de apoyo que respalden las actividades prácticas y la enseñanza en geociencias en la Escuela de Geología.

## 2. Justificación

Las colecciones geológicas constituyen una herramienta fundamental para la enseñanza y divulgación de las geociencias, ya que permiten el reconocimiento directo de materiales naturales y facilitan la comprensión de los procesos geológicos mediante la observación de muestras reales. La interacción con muestras físicas de rocas es una parte esencial en la formación de estudiantes de geología, debido a que complementa el aprendizaje teórico con la identificación visual y descriptiva de materiales geológicos.

En numerosos países, universidades y museos de historia natural conservan extensas colecciones de rocas, minerales y fósiles que cumplen funciones académicas, científicas y educativas. Estas colecciones permiten preservar material geológico representativo y constituyen recursos importantes para la enseñanza, la investigación y la divulgación científica.

En Colombia, diversas instituciones académicas y científicas promueven la preservación y divulgación del patrimonio geológico a través de colecciones de rocas, minerales y fósiles utilizadas con fines educativos y de investigación. El Servicio Geológico Colombiano, por ejemplo, administra el Museo Geológico Nacional “José Royo y Gómez”, ubicado en Bogotá, el cual alberga miles de muestras de minerales, rocas y fósiles que contribuyen a la educación científica y a la difusión del conocimiento geológico del país. De manera complementaria, varias universidades colombianas han desarrollado colecciones geológicas con propósitos académicos, entre ellas la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Caldas y la Universidad de Antioquia, las cuales conservan muestras representativas utilizadas en actividades docentes, prácticas de laboratorio y proyectos de investigación. Estas colecciones constituyen recursos fundamentales para el aprendizaje de las geociencias, ya que permiten a los estudiantes interactuar

directamente con materiales geológicos y fortalecer sus habilidades de observación, descripción e interpretación.

En este contexto, la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander ha venido promoviendo la organización de colecciones de material geológico a partir de muestras disponibles en la Litoteca, con el objetivo de fortalecer los recursos utilizados en las actividades prácticas de formación académica; estas muestras fueron seleccionadas de entre las muestras disponibles en la litoteca.

La presente pasantía de investigación contribuye a este proceso mediante la organización, documentación y catalogación de un conjunto representativo de muestras de rocas, así como la elaboración de un catálogo físico y digital y una guía para la gestión de la colección. Estos productos permitirán mejorar el acceso al material geológico, facilitar su uso en actividades docentes y contribuir al fortalecimiento de los recursos didácticos de la Escuela de Geología.

Adicionalmente, el desarrollo de esta colección contribuye al cumplimiento de los estándares de calidad asociados a la acreditación ABET, al fortalecer los recursos educativos disponibles para la formación de estudiantes en geociencias y promover estrategias de aprendizaje basadas en la observación directa de materiales geológicos.

### **3. Estado del arte**

Las colecciones geológicas constituyen un registro tangible de la historia de la Tierra, de los procesos que han modelado el planeta y de los organismos que han existido a lo largo del tiempo. Su valor científico, histórico y educativo convierte al patrimonio geológico en un recurso fundamental para museos, universidades e instituciones dedicadas al estudio de las ciencias de la

Tierra, ya que funcionan como repositorios de la memoria natural del planeta y como herramientas para la enseñanza y la investigación. Desde el siglo XVIII, las instituciones europeas dedicadas al estudio de la naturaleza comenzaron a conformar y exhibir colecciones de minerales y rocas, las cuales se convirtieron en símbolos de prestigio científico y en recursos didácticos de gran importancia para la formación académica (Durán y Carcavilla, 2008).

En la actualidad, existen importantes museos de historia natural que albergan extensas colecciones geológicas. Entre ellos se encuentran el Natural History Museum en el Reino Unido y el American Museum of Natural History en Estados Unidos, instituciones que conservan colecciones de minerales, rocas y meteoritos utilizadas tanto para investigación científica como para actividades educativas y de divulgación (Natural History Museum, 2024; American Museum of Natural History, 2024). De igual manera, algunas universidades cuentan con museos y colecciones científicas abiertas al público, como el Oxford University Museum of Natural History, que exhibe materiales relacionados con la geología, la paleontología y otras áreas de las ciencias naturales, contribuyendo a la formación académica de estudiantes y al acercamiento del público general a las ciencias de la Tierra (Oxford University Museum of Natural History, 2024).

En Colombia, diversas instituciones han desarrollado colecciones científicas orientadas a la preservación y divulgación del patrimonio natural. Entre ellas se destacan el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Colombia, creado en 1937, y el Museo Geológico Nacional “José Royo y Gómez”, fundado en 1940, los cuales han desempeñado un papel importante en la conservación de colecciones de minerales, rocas y fósiles, así como en la difusión del conocimiento geocientífico en el país (Universidad Nacional de Colombia, 2021; Servicio Geológico Colombiano, 2023). En años recientes, se han fortalecido las iniciativas nacionales orientadas a la conservación y gestión del patrimonio geológico y paleontológico, como el Sistema

de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación, establecido mediante el Decreto 1353 de 2018, y el desarrollo del Inventario Nacional Geológico y Paleontológico (INGEP). En este contexto, el Servicio Geológico Colombiano ha promovido espacios de articulación entre instituciones mediante la realización de los Encuentros de Museos y Colecciones Geológicas y Paleontológicas desde 2019, con el objetivo de fortalecer la comunicación entre entidades académicas y científicas, así como de consolidar redes de cooperación para la gestión del patrimonio geocientífico del país (Servicio Geológico Colombiano, 2019).

A nivel nacional, varias universidades colombianas han desarrollado colecciones geológicas utilizadas con fines académicos y de investigación. Entre ellas se destacan la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Antioquia, la Universidad del Valle y la Universidad de los Andes, que conservan muestras representativas de minerales, rocas y fósiles empleadas en actividades docentes y científicas. Asimismo, a nivel regional, universidades como la Universidad de Pamplona en Norte de Santander y la Universidad de Santander en Bucaramanga cuentan con espacios de exposición y colecciones académicas relacionadas con las geociencias (Servicio Geológico Colombiano, 2020).

En la Universidad Industrial de Santander (UIS), la recolección de muestras geológicas se remonta a los inicios de la Escuela de Geología, gracias al trabajo de docentes y estudiantes que han desarrollado expediciones de campo y actividades académicas en diferentes regiones del país. A partir de la década de 1990 se inició un proceso de organización de las colecciones geológicas presentes en la institución, lo cual permitió consolidar el Museo Geológico Marino Arce Herrera. Este museo tiene como objetivo promover el interés por las geociencias tanto en la comunidad académica como en el público general, a través de la exhibición de materiales geológicos organizados en colecciones de petrografía, paleontología, cristalografía y mineralogía (Ríos-

Reyes, 1999). Adicionalmente, la Escuela de Geología de la UIS cuenta con diversos materiales geológicos almacenados en la litoteca institucional, los cuales han sido recolectados a lo largo de años de trabajo académico y de campo. Estas muestras constituyen un recurso importante para la enseñanza de las geociencias y para el desarrollo de actividades prácticas orientadas al reconocimiento y descripción de rocas y otros materiales geológicos (Esparza-Gómez y Villarreal-Jaimes, 2012; Servicio Geológico Colombiano, 2020).

Recientemente, a nivel internacional, muchas colecciones geológicas han incorporado modelos tridimensionales de rocas y afloramientos como extensión de sus colecciones físicas, con el fin de mejorar el acceso a los materiales y facilitar la enseñanza y la divulgación científica (Montoya-Ramírez, 2021; Castiñeiras García et al., 2025). Estas iniciativas utilizan técnicas de fotogrametría y Structure from Motion, permitiendo una observación detallada de las muestras, su preservación digital y el desarrollo de recursos educativos interactivos. Plataformas como la Biblioteca 3D de Rocas y Minerales han demostrado que el acceso remoto a colecciones digitales fomenta un aprendizaje activo, inclusivo y flexible, complementando la educación presencial y las visitas a los museos o laboratorios físicos (Biblioteca 3D de Rocas y Minerales, s.f.). En este contexto, la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander ha comenzado a replicar varias de estas prácticas, incorporando tanto modelos 3D de algunas muestras de su colección y litoteca, alineándose con estándares nacionales e internacionales además de enriquecer todos los recursos educativos disponibles tanto para sus estudiantes como para la demás comunidad académica.

#### **4. Gobernanza y manejo de la colección**

La colección de rocas forma parte de las colecciones geológicas pertenecientes a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, siendo esta última la responsable de la custodia y administración de todas las muestras que la integran. La gestión de la colección se rige por políticas institucionales orientadas a garantizar su adecuada conservación, organización y disponibilidad para actividades académicas, docentes y de divulgación. Las políticas que regulan el manejo de la colección deberán ser publicadas y revisadas periódicamente como parte de su mantenimiento integral, al menos cada cinco (5) años. Este proceso permitirá incorporar nuevas muestras, realizar ajustes en los inventarios, verificar el estado de identificación y marcación de las piezas, así como evaluar las condiciones de conservación del material. En caso de ser necesario, también podrá contemplarse la baja o reemplazo de aquellos ejemplares que presenten deterioro significativo o que ya no cumplan adecuadamente su función didáctica dentro de la colección.

Adicionalmente, se recomienda que la Escuela de Geología designe a una persona responsable de la colección, quien tendrá la función de supervisar de manera continua su organización, uso y conservación. Entre sus responsabilidades se incluiría la actualización de los registros asociados a las muestras, el control de préstamos, la verificación del estado físico del material y el reporte oportuno de cualquier modificación o novedad relacionada con la colección. Como parte del proceso de organización inicial de la colección, se realizó un inventario de las muestras disponibles. Para facilitar su identificación y gestión, cada muestra fue marcada con un código único que permite su reconocimiento dentro del sistema de catalogación. Este proceso de identificación constituye un paso fundamental para la organización, registro y control del material, y permite asegurar una gestión más eficiente de la colección a lo largo del tiempo.

## 5. Gestión integral de la colección

Esta sección describe los procesos y procedimientos necesarios para la administración efectiva de la colección de rocas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Se abordan aspectos clave como la adquisición de nuevas muestras, la documentación y catalogación de cada pieza, la organización física del inventario, y los protocolos de préstamos internos y externos. El objetivo de esta sección es proporcionar un marco sistemático que asegure la conservación, accesibilidad y uso académico de las muestras, promoviendo la sostenibilidad de la colección y facilitando su integración en actividades de enseñanza, investigación y divulgación geocientífica.

### Figura 1

*Metodología para la colección didáctica.*



### 5.1. Selección

La selección de las muestras iniciales que conforman la colección se realizó a partir de un proceso de revisión y organización del material disponible en la litoteca de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, así como de muestras provenientes de trabajos de campo previos y de material que se encontraba almacenado sin una adecuada clasificación ni documentación.

El criterio principal de selección estuvo orientado a recuperar y dar valor académico a estos materiales, priorizando aquellas muestras que presentaban un adecuado estado de conservación y que, pese a su potencial didáctico y científico, no estaban siendo utilizadas activamente. En este sentido, la colección busca optimizar el uso de los recursos existentes, evitando la subutilización o el deterioro progresivo de muestras previamente recolectadas.

Adicionalmente, se consideró la representatividad de las muestras, procurando incluir materiales que permitan ilustrar distintos procesos, composiciones y ambientes geológicos, texturas y litologías, entre otros, relevantes para la formación de los estudiantes. De esta manera, la colección no solo cumple una función de organización y recuperación del material, sino que también se estructura como una herramienta pedagógica que facilita el aprendizaje práctico y la comprensión de conceptos clave en geología.

Finalmente, este proceso contribuye al fortalecimiento del patrimonio académico de la Escuela, al consolidar, sistematizar y poner en valor un conjunto de muestras que anteriormente se encontraban dispersas o sin información, transformándolas en un recurso accesible y útil para la docencia y futuras investigaciones.

## 5.2. Adquisición

La adquisición de nuevos ejemplares en la colección de rocas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander está abierta ya que la colección se encuentra actualmente en un proceso de consolidación y fortalecimiento. Esta adquisición se podría llevar a cabo progresivamente a partir de diversas fuentes, entre las que se incluyen muestras recolectadas durante salidas de campo académicas, donaciones realizadas por docentes, egresados o instituciones, legados de colecciones particulares y transferencias de material proveniente de la litoteca de la universidad. Estos mecanismos de incorporación han permitido reunir un conjunto de muestras representativas que contribuyen al desarrollo de actividades docentes y al fortalecimiento de los recursos didácticos disponibles para la enseñanza de las geociencias. Una de las vías de ingreso de material corresponde a las donaciones y legados, los cuales pueden provenir de investigadores, profesionales de la geología o instituciones que deseen aportar muestras de valor científico o educativo. Para su aceptación, las muestras deben poseer interés académico, científico o patrimonial, además de cumplir con criterios básicos de conservación y relevancia dentro del contexto de la colección. Asimismo, se deben considerar las limitaciones de espacio, almacenamiento y mantenimiento que posee la institución, con el fin de garantizar que las muestras incorporadas puedan ser gestionadas adecuadamente a largo plazo (Sanchíz y Rodríguez, 1994).

Otra fuente importante de incorporación corresponde a la colecta directa de muestras, generalmente realizada durante actividades de campo vinculadas a cursos, proyectos académicos o iniciativas de fortalecimiento de la colección. Estas colectas deben realizarse bajo principios de geoconservación y ética profesional, procurando minimizar el impacto sobre los afloramientos y el patrimonio geológico. En este sentido, la extracción de muestras debe limitarse estrictamente al

tamaño y cantidad necesarios para su uso educativo o científico, y debe ir acompañada del registro de información relevante como la ubicación geográfica, el contexto geológico y otros datos que faciliten su posterior identificación y uso académico (Santano, 2011).

Finalmente, la colección también puede enriquecerse mediante propuestas realizadas por estudiantes, quienes, en el marco de actividades académicas o proyectos de investigación, pueden sugerir la incorporación de nuevas muestras que consideren representativas o útiles para la enseñanza de determinados procesos geológicos. Estas propuestas son evaluadas por el docente responsable de la colección, teniendo en cuenta criterios como el estado de conservación del material, su representatividad dentro de la diversidad de rocas existentes y su pertinencia para ilustrar ambientes o procesos de formación específicos. En algunos casos, muestras antiguas o deterioradas pueden ser reemplazadas por ejemplares más frescos y mejor conservados, con el propósito de mantener la calidad, claridad y utilidad didáctica de la colección.

### **5.3. Documentación**

Las muestras iniciales que conforman la colección fueron tomadas de la Litoteca de la Escuela de Geología y organizadas en un inventario digital que reúne la información básica de cada ejemplar. Este registro incluye el código de identificación asignado (CGQ-#), una fotografía representativa, su descripción macroscópica, textura observable y una interpretación general de su contexto de formación (Anexo A). La información se encuentra organizada en una base de datos en formato Excel, lo que permite mantener un registro sistemático y actualizado de las características de cada muestra. Este sistema facilita la consulta académica, el control del material disponible y la trazabilidad histórica de la colección, permitiendo identificar con claridad la procedencia y características principales de cada ejemplar.

**Figura 2**

*Fotografía del marcaje de la muestra CGQ-11.*



En relación con la caracterización de las rocas, el análisis realizado corresponde a una aproximación basada en observaciones macroscópicas y en la consulta de literatura especializada. A partir de la identificación de minerales visibles, texturas y estructuras presentes en la muestra de mano, es posible realizar interpretaciones preliminares sobre los procesos geológicos involucrados en su formación. Estas interpretaciones se apoyan en estudios experimentales y marcos teóricos ampliamente utilizados en geología (Gaviria-Melo, 2015; Krauskopf, 1979). Debe señalarse que este tipo de análisis no sustituye estudios petrográficos detallados realizados mediante técnicas analíticas de laboratorio o determinaciones precisas. No obstante, constituye una herramienta adecuada para fines didácticos, ya que permite a los estudiantes comprender las relaciones entre mineralogía, textura y procesos geológicos a partir de la observación directa de las muestras.

Como parte del proceso de documentación y preservación digital de la colección, todas las muestras fueron digitalizadas mediante fotogrametría y en algunos casos generación de modelos tridimensionales. Para ello se empleó una cámara Canon EOS T5 con configuración controlada de iluminación y parámetros de captura para mantener la uniformidad entre las muestras, las

fotografías fueron tomadas sobre una platina giratoria, rotando la misma cada 10 grados para un total de 36 fotografías por muestra; posteriormente las imágenes fueron procesadas en el software web de suscripción eyesCloud3D.

### Figura 3

*Fotos del proceso de fotogrametría de muestras seleccionadas para modelos 3D.*



Estos modelos permiten ampliar el acceso a las muestras sin necesidad de manipular directamente los ejemplares físicos, lo que contribuye a su conservación y facilita su consulta con fines educativos y divulgativos. Finalmente, aquellas muestras que no cumplan con los criterios establecidos de conservación, representatividad o utilidad didáctica podrán ser retiradas del inventario. Esta medida busca mantener un registro organizado y coherente, garantizando que la colección esté conformada por ejemplares que realmente aporten valor educativo y científico.

#### 5.4. Inventario y descripción

Para la conformación del inventario se seleccionaron rocas representativas que presentaran buen estado de conservación y características macroscópicas claramente identificables. La selección priorizó aquellas muestras capaces de ilustrar de manera clara distintos tipos de litologías, texturas minerales y ambientes geológicos de formación, de modo que puedan ser utilizadas como apoyo en procesos de enseñanza y aprendizaje. Cada ejemplar fue registrado en una hoja de cálculo en formato Excel siguiendo una estructura estandarizada (Figura 2). Este registro incluye el nombre asignado durante el proceso de inventariado, una fotografía de referencia, la descripción de las características observables, mineralogía identificable, textura, estructura y un apartado de comentarios adicionales. En los casos en que las muestras provienen de material previamente registrado dentro de la Escuela de Geología, también se incluye el código anterior, lo que permite mantener la relación con registros históricos o información asociada a la muestra.

La descripción de cada ejemplar se centra en las características macroscópicas que permiten su interpretación geológica. Entre ellas se incluyen aspectos como el tipo de textura, tamaño y relación entre los cristales, presencia de estructuras sedimentarias o rasgos particulares de la roca. A partir de estas observaciones es posible realizar interpretaciones preliminares sobre el ambiente geológico en el que pudo haberse originado la muestra. Aunque estas interpretaciones no reemplazan análisis petrográficos o geoquímicos detallados, sí proporcionan una base conceptual útil para la enseñanza, permitiendo que los estudiantes relacionen directamente la observación de muestras de mano con los procesos geológicos responsables de su formación (Gaviria-Melo, 2015; Krauskopf, 1979).

Finalmente, el apartado de comentarios adicionales permite registrar información complementaria sobre el estado de conservación del ejemplar, su rareza relativa, su relevancia didáctica o cualquier particularidad observada durante su análisis.

#### Figura 4

*Formato en Excel para la identificación, fotografía, descripción, contexto geológico y ubicación de las muestras.*

Código	Fotografía	Tipo de material geológico	Nombre de roca	Estructura	Textura	Mineralogía	Ambiente geológico	Ubicación
CGQ-4		Roca ígnea	Pegmatita	Masiva	Holocristalina, fanerítica	Cuarzo 35-40 %, Feldespato potásico/Albita 45-50 %, Moscovita 5-10 %, Minerales accesorios <5 %	Las pegmatitas se forman como cuerpos intrusivos durante el enfriamiento lento de magmas graníticos, estando asociadas a cuerpos de granito. Estas rocas se caracterizan por su notable riqueza en elementos incompatibles y tierras raras, tales como litio, berilio, niobio, tantalio, cesio y rubidio. Geoquímicamente, presentan altos contenidos de K <sub>2</sub> O junto con bajos niveles de hierro, magnesio y calcio. Esta composición refleja la agregación de líquidos residuales cargados de volátiles durante la cristalización del magma granítico, lo que favorece el crecimiento de cristales de gran tamaño y la formación de minerales poco comunes. La distribución de las tierras raras (REE) suele mostrar un fraccionamiento entre las ligeras (LREE) y las pesadas (HREE), indicando una evolución magnética diferenciada y compleja (Dharmapriya et al., 2025).	Lab207 JBY

### 5.5. Digitalización y modelos tridimensionales

Dentro del proceso de digitalización de la colección, y con el propósito de ampliar el alcance de divulgación y el acceso al conocimiento presentado en esta exposición de muestras, se elaboraron modelos tridimensionales de algunas muestras de mano. Esta estrategia permite que estudiantes, investigadores y público interesado, que no puedan desplazarse hasta el lugar donde se encuentra la colección, tengan la posibilidad de observar los ejemplares de manera virtual, ampliando así el alcance educativo de la colección a nivel nacional e incluso internacional. Según Montoya-Ramírez (2021), la generación de modelos 3D mediante técnicas fotogramétricas constituye una herramienta didáctica altamente efectiva, ya que facilita la observación detallada de las muestras y su preservación digital, permitiendo su uso continuo en actividades académicas y de divulgación. De manera similar, Castiñeiras García et al. (2025) destacan que los recursos educativos basados en modelos tridimensionales de rocas y afloramientos promueven un aprendizaje activo y autónomo, optimizando la enseñanza de la

petrología y otros campos de la geología, al complementar las clases teóricas y prácticas tradicionales.

La generación de estos modelos no solo constituye un recurso pedagógico innovador, sino que también funciona como una herramienta de preservación digital, permitiendo conservar un registro visual detallado de las muestras incluso en caso de deterioro físico. Además, los modelos 3D amplían el acceso al material para fines educativos y de divulgación, fomentando el aprendizaje interactivo y la inclusión, y posibilitando la integración de estas herramientas en distintas asignaturas y contextos educativos (Montoya-Ramírez, 2021; Castiñeiras García et al., 2025).

Para la generación de los modelos, cada muestra fue fotografiada utilizando una cámara Canon EOS T5, configurada con una velocidad de obturación de 1/20 segundos, apertura del diafragma F11, sensibilidad ISO 100 y balance de blancos automático. La iluminación se proporcionó mediante un flash y un panel de luz artificial, con el fin de garantizar uniformidad en la captura. Las muestras se colocaron sobre una platina giratoria, manteniendo la cámara fija sobre un trípode. Durante la captura, el soporte se rotó en incrementos de 10 grados para obtener un registro completo de la superficie de cada espécimen, generando un promedio de 36 fotografías por muestra, suficientes para reconstruir su geometría tridimensional.

**Figura 5**

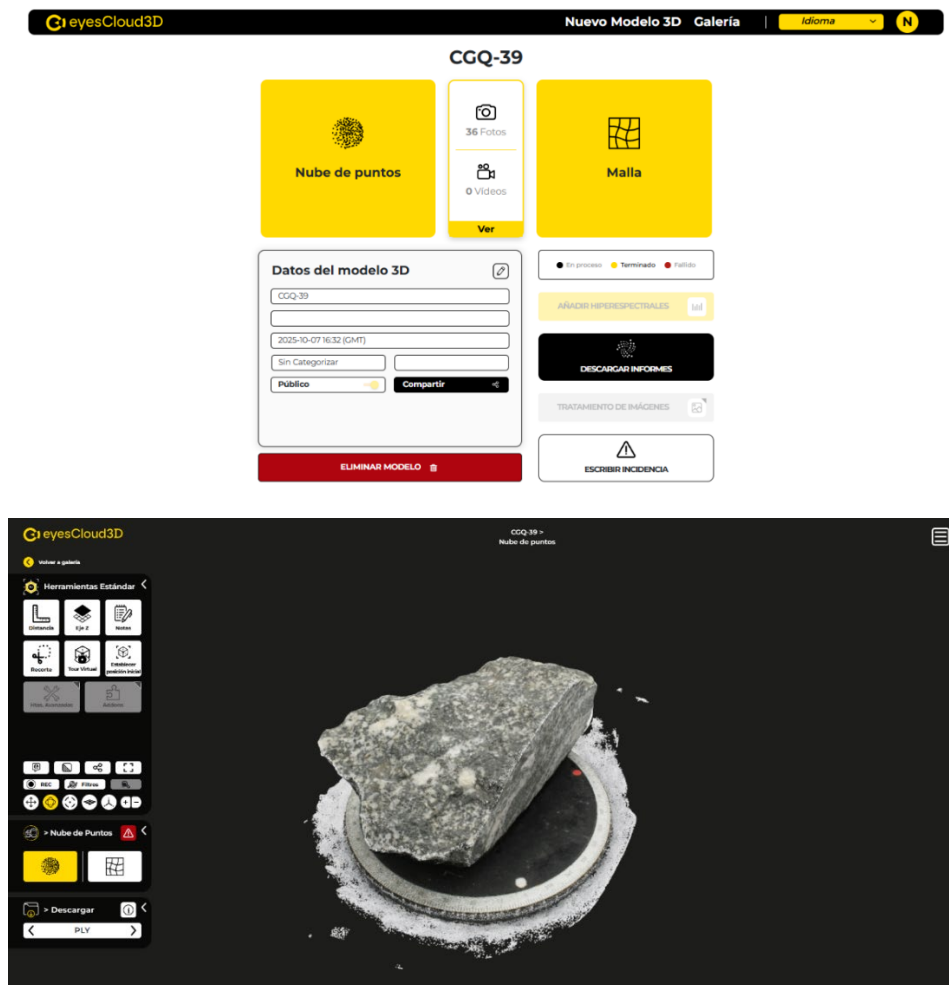
*Ejemplo guía de las 36 fotografías tomadas siguiendo los lineamientos para la generación del modelo 3D de la muestra CGQ-39.*



Posteriormente, las imágenes se importaron y procesaron en el software web de suscripción eyesCloud3D, cargando cada conjunto de fotografías de manera independiente para generar automáticamente y en la nube el modelo tridimensional correspondiente. Una vez obtenido el modelo, el mismo queda almacenado en la plataforma web accesible con un link el cual se encuentra en formato imagen Código QR en la base de datos.

## Figura 6

*Interfaz de la web de eyesCloud3D en el proceso de carga de imágenes y posterior generación del modelo. Edición y pulido del modelo 3D en el software y previsualización.*



Posteriormente, debido a limitaciones técnicas de procesamiento en la plataforma en la nube usada inicialmente por recomendación de otros encargados de colecciones, eyesCloud3D, y a los altos costos relacionados con esta, se buscó una alternativa local, potente y gratuita para generar, renderizar y texturizar los modelos requeridos con la fotogrametría ya tomada con los lineamientos para eyesCloud3D. La herramienta seleccionada para esto fue RealityScan de Epic Games Inc., anteriormente conocida como RealityCapture, programa líder de pago para procesamiento de fotogrametría, ahora gratuito tras su adquisición por Epic Games, haciéndolo una gran opción para nuestro objetivo y necesidad de un software de procesamiento más robusto, local y gratuito, para tener más control sobre la edición y ajuste de los modelos y también evitar costos ocultos, tanto para nuestros modelos 3D iniciales como para futuros modelos de muestras que se deseen añadir a la colección.

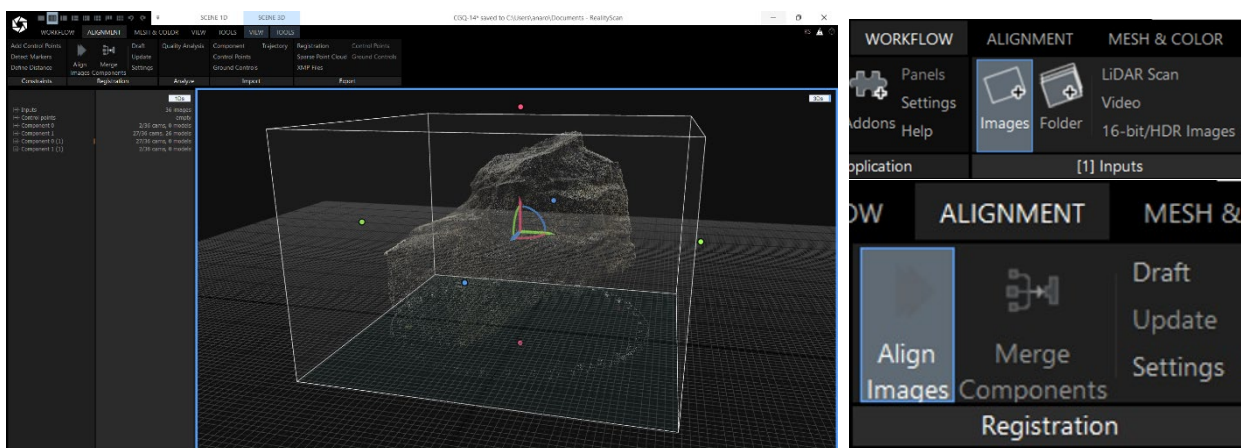
Para generar el modelo 3D en RealityScan se usó la fotogrametría previa, este programa ofrece flexibilidad al momento de establecer el input, siguiendo los lineamientos propios de la fotogrametría para lograr un modelado 3D adecuado, además, RealityScan ofrece la posibilidad de realizar el escaneado inicial directamente con una aplicación móvil, cuyos datos pueden ser posteriormente exportados a la versión de escritorio para su procesado (cabe recalcar que para hacer uso de esta es necesario disponer de una tarjeta gráfica Nvidia ya que esta hace uso de la plataforma de computación paralela y modelo de procesamiento de datos CUDA, dicha plataforma y los chips compatibles con ella son propiedad de Nvidia), esta integración facilita un flujo de trabajo más eficiente en la captura de datos, haciendo el proceso más rápido y directo, además de minimizar la ocurrencia de fallos y errores en posteriores etapas; a pesar de esto se le dio prioridad al uso de la extensa biblioteca de fotogrametría ya existente, como se describe a continuación.

Inicialmente, se realiza la importación de los datos de entrada en la pestaña *Workflow* del software. Para optimizar este proceso, se recomienda organizar previamente los archivos fotográficos correspondientes a cada muestra en carpetas independientes, lo que facilita su selección e incorporación al proyecto. La importación puede efectuarse a partir de carpetas, imágenes individuales o secuencias de video, según el tipo de registro fotogramétrico empleado.

Una vez cargados los datos, se procede a la reconstrucción inicial del modelo tridimensional de la muestra. Para ello, se utiliza la herramienta de alineación ubicada en el módulo *Registration*, la cual permite identificar puntos homólogos entre las imágenes y calcular la posición relativa de las cámaras, generando así la estructura espacial preliminar del modelo 3D de la roca en una nube de puntos.

### Figura 7

*Modelo de nube de puntos, herramientas de importación y alineamiento e interfaz de RealityScan.*

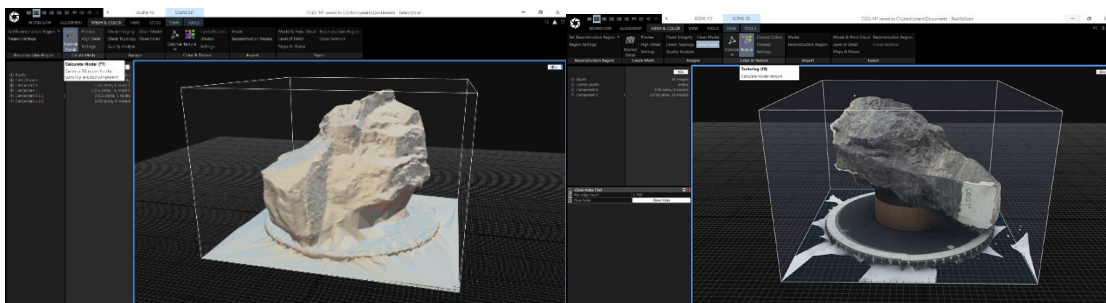


Una vez completada esta etapa (o, en caso de emplearse la aplicación móvil, empezando desde este punto) se procede a la generación de la malla tridimensional del modelo. Para este proceso, se recomienda utilizar la opción *Normal Detail*, ya que ofrece un equilibrio adecuado entre la representación de las características morfológicas de la muestra y el tamaño final del archivo, permitiendo conservar un nivel de detalle suficiente sin generar modelos excesivamente pesados.

Posteriormente, una vez obtenida la geometría tridimensional de la muestra, se realiza el proceso de texturización, mediante el cual se proyecta la información cromática de las imágenes originales sobre la malla, obteniendo así el modelo 3D de la muestra. Adicionalmente, dependiendo de la muestra, se realiza un proceso de reconstrucción, limpieza, detallado o suavizado; corrigiendo triángulos errantes y partes del fondo o suelo que pueden interferir con la observación de la muestra.

### Figura 8

*Modelo de malla y modelo 3D tras usar las herramientas de cálculo de modelo y texturización.*

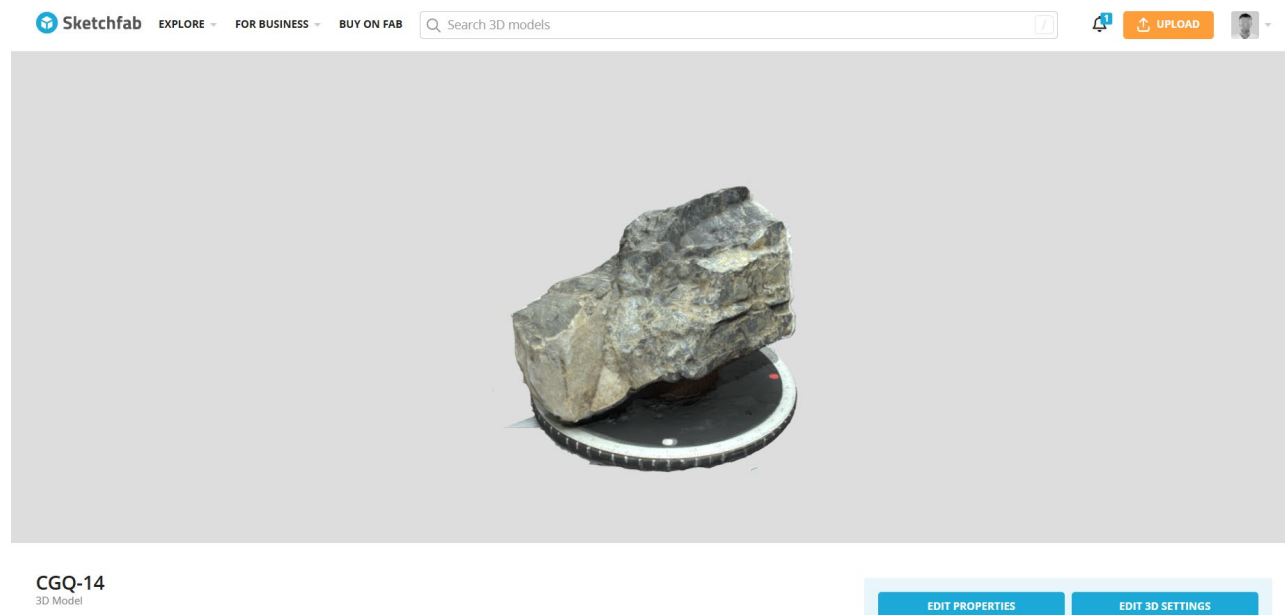


Finalmente se realiza la exportación del modelo 3D en cualquiera de los formatos ofrecidos por el software. Posteriormente, el archivo es cargado a la plataforma Sketchfab, biblioteca en

línea gratuita para la visualización y almacenamiento de modelos 3D, para facilitar su acceso por medio del código QR que se encuentra en el catálogo.

## Figura 9

*Visualización del modelo 3D en la plataforma Sketchfab.*



## 5.6. Préstamos

Toda solicitud de préstamo será evaluada cuidadosamente. El material presente en la colección está disponible como recurso didáctico o científico, siempre que no se comprometa la integridad de las muestras. Las solicitudes deben incluir: nombre del responsable, fechas de devolución y autorización formal de entrega otorgada por el encargado de la colección. Solo se prestarán muestras directamente relacionadas con el propósito declarado, priorizando el valor científico y didáctico. Se consideran de alto valor científico aquellas muestras con gran representatividad de territorio, tipo de roca o mineral, características singulares, procedencia de

interés y buen estado de conservación (Santano, 2011). Cada solicitud debe acompañarse de los códigos de muestra según el Apéndice A y garantizar embalaje seguro. En casos de solicitudes de instituciones externas, se requiere registro del solicitante y de la entidad, pudiendo solicitarse referencias adicionales. No se autorizará el préstamo de muestras únicas que constituyan el único ejemplar representativo de sus características.

## Figura 10

### *Formato para préstamos.*

Formato para Préstamos de Muestras de la Colección de Geoquímica	
<p><b>1. Información del solicitante</b></p> <p>Nombre completo: .....</p> <p>Número de identificación / cédula: .....</p> <p>Cargo o rol académico/profesional: .....</p> <p>Programa, departamento o institución: .....</p> <p>Correo electrónico: .....</p> <p>Teléfono de contacto: .....</p> <p><b>2. Información del préstamo</b></p> <p>Propósito del préstamo (seleccionar):</p> <p><input type="checkbox"/> Docencia   <input type="checkbox"/> Investigación   <input type="checkbox"/> Exposición   <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p>Descripción de las muestras solicitadas (especificar número, tipo, código de inventario si aplica):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Fechas previstas de entrega y devolución: .....</p> <p>Responsable directo del uso de las muestras: .....</p> <p><b>3. Justificación científica o educativa</b></p> <p>Breve descripción de cómo se utilizarán las muestras:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Relevancia del préstamo para la actividad o investigación:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p><b>4. Condiciones de manipulación y conservación</b></p> <p>Declaración del solicitante:</p> <p><i>"Me comprometo a manipular, transportar y devolver las muestras de acuerdo con las normas de conservación establecidas por la colección geoquímica, asegurando su integridad y preservación."</i></p> <p><b>5. Aprobación institucional (en caso de préstamo externo)</b></p> <p>Nombre y firma del representante institucional: .....</p> <p>Cargo: .....</p> <p>Fecha: .....</p> <p><b>6. Autorización del responsable de la colección</b></p> <p>Nombre y firma: .....</p> <p>Cargo: .....</p> <p>Fecha: .....</p> <p>Observaciones (estado de las muestras, condiciones especiales de préstamo, restricciones):</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>7. Registro interno (para uso del responsable de la colección)</b></p> <p>Número de solicitud: .....</p> <p>Fecha de recepción: .....</p> <p>Estado de la solicitud: <input type="checkbox"/> Aprobada   <input type="checkbox"/> Rechazada</p> <p>Fecha de entrega de las muestras: .....</p> <p>Fecha de devolución prevista: .....</p> <p>Fecha de devolución real: .....</p> <p>Observaciones sobre estado de las muestras al regreso:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

## **6. Conservación, uso y acceso a la colección**

Este apartado reúne los criterios relacionados con el cuidado, preservación y utilización académica de las muestras, así como los mecanismos mediante los cuales la colección puede ser consultada tanto de manera presencial como digital.

### **6.1. Conservación**

La conservación de las muestras constituye un aspecto fundamental para garantizar la permanencia y utilidad de la colección a lo largo del tiempo. Para ello se implementan medidas de conservación preventiva orientadas a minimizar el deterioro físico de los ejemplares y asegurar su adecuado almacenamiento. Entre estas acciones se incluyen revisiones periódicas del estado de las muestras, labores de limpieza, reorganización del material y recuperación de aquellos ejemplares que presenten algún tipo de deterioro. Estas actividades deben realizarse con especial cuidado para evitar daños en las superficies minerales o en las texturas que permiten su identificación (Montero y Diéguez, 1997).

Según Royce y Baars (2021), muchas especies minerales son especialmente vulnerables a factores ambientales como humedad, temperatura, luz y contaminantes, y requieren protocolos de monitoreo rutinario y condiciones de almacenamiento cuidadosamente controladas para garantizar su estabilidad y preservar su valor científico y educativo. Como parte del mantenimiento integral de la colección, estas revisiones se realizarán aproximadamente cada cinco años, siguiendo recomendaciones establecidas para la conservación de colecciones geológicas (Geological Society Collections Committee, 2017).

Actualmente y teniendo en cuenta estas recomendaciones y la disponibilidad de espacio en la Escuela de Geología, las muestras se encuentran almacenadas en canastillas rojas

debidamente marcadas para su identificación en el salón 307, como se puede observar en la figura a continuación.

### Figura 11

*Ubicación asignada en la Escuela de Geología para el almacenaje de las muestras de la colección.*



Adicionalmente, los modelos tridimensionales generados para algunas muestras representan una herramienta útil para la conservación del material. En aquellos casos en los que un ejemplar presente características frágiles o delicadas, el modelo digital permite su estudio y observación sin necesidad de manipulación directa, reduciendo el riesgo de deterioro.

## **6.2. Acceso y disponibilidad de la información**

El valor documental de una colección geológica depende en gran medida de la calidad y accesibilidad de la información asociada a sus ejemplares. Por esta razón, toda la información recopilada en el inventario, incluyendo descripciones, fotografías y modelos tridimensionales, se encuentra organizada en un catálogo digital que permite su consulta con fines académicos y educativos. Los modelos 3D generados para algunas muestras están disponibles mediante enlaces asociados a cada registro individual, lo que permite visualizar los ejemplares desde distintos ángulos sin necesidad de acceder físicamente a ellos. Adicionalmente, estos modelos pueden vincularse mediante códigos QR incorporados en el catálogo, facilitando su consulta rápida durante actividades académicas o procesos de divulgación. Este formato digital busca ampliar el alcance educativo de la colección y promover el uso de herramientas tecnológicas en la enseñanza de las ciencias geológicas, permitiendo que estudiantes y visitantes puedan acceder a la información incluso cuando no se encuentren físicamente en las instalaciones de la universidad (Lozano y Menéndez, 2013). De acuerdo con Baars y Horak (2018a), la documentación digital y la reducción de la manipulación física son componentes esenciales para la conservación preventiva de colecciones geológicas, ya que ayudan a preservar la integridad de los ejemplares y facilitan un control sistemático de su estado de conservación.

### **6.3. Retiro o baja de ejemplares**

El retiro de determinadas muestras de la colección puede deberse a intercambios con otras instituciones, donaciones, pérdida de información relevante sobre el ejemplar, deterioro irreversible del material o situaciones externas como robos, extravíos o destrucción accidental, circunstancias que, aunque indeseables, forman parte de la gestión de una colección científica (Baars y Horak, 2018a). Según el International Council of Museums (2019), este proceso debe considerar el valor científico, educativo o patrimonial del ejemplar, la existencia de duplicados y cualquier restricción legal o ética, registrándose de manera rigurosa y conservándose los registros como parte del historial de la colección. De manera complementaria, Collections Trust (2017) enfatiza que la baja de un ejemplar debe formar parte de una política institucional clara, basada en procedimientos éticos y documentada cuidadosamente, asegurando transparencia y trazabilidad. Una vez retirado, el código asignado originalmente no debe reutilizarse, garantizando la trazabilidad histórica del inventario. En los casos en los que la muestra haya sido previamente digitalizada, el modelo tridimensional permanecerá disponible dentro del catálogo digital, permitiendo conservar un registro visual y documental del ejemplar incluso si el material físico ya no forma parte de la colección.

## **7. Recomendaciones**

Para garantizar el adecuado funcionamiento y la utilidad didáctica de la colección, se recomienda mantener criterios uniformes en la selección, documentación y presentación de las muestras. En primer lugar, las rocas seleccionadas deben tener un tamaño adecuado que permita

su manipulación y observación sin comprometer su integridad física. Asimismo, resulta importante conservar coherencia en la escala y el diseño de las fotografías utilizadas en el catálogo, con el fin de mantener una presentación homogénea de las muestras (Baars y Horak, 2018a). Las imágenes deben incluir siempre una escala visible que permita apreciar el tamaño real del ejemplar. También se recomienda realizar varias fotografías por muestra bajo condiciones de iluminación uniforme, de modo que puedan observarse con claridad las texturas y minerales presentes. Cada ejemplar debe estar claramente identificado mediante su código y nombre, lo que facilita su localización dentro del inventario y permite mantener un control adecuado del material disponible.

De igual manera, resulta fundamental mantener registros precisos de cualquier movimiento o préstamo de las muestras. Este seguimiento permite conservar la trazabilidad histórica de la colección y asegurar que todo ejemplar utilizado en actividades académicas regrese a su ubicación original bajo las mismas condiciones de cuidado.

Finalmente, cuando se trate de tipos de rocas comunes que presentan diversas variaciones mineralógicas o texturales, se recomienda incluir más de un ejemplar representativo. Esto permite ampliar la comprensión de los distintos ambientes geológicos y enriquecer el valor didáctico de la colección.

Figura 12

Guía para la gestión y organización de una colección didáctica.



## 8. Conclusiones

La elaboración y gestión de la colección de rocas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander ha demostrado ser un recurso educativo de gran valor, que fortalece la enseñanza práctica de las geociencias. La organización sistemática de las muestras, tanto en formatos físicos como digitales, permite a los estudiantes desarrollar habilidades de observación, descripción e interpretación de materiales geológicos, integrando la teoría con la experiencia directa sobre ejemplares reales. Esta estructura facilita el acceso ordenado a las muestras y promueve la interacción académica, investigativa y de divulgación científica de manera eficiente y segura.

El presente trabajo ha consolidado un recurso integral, capaz de adaptarse y crecer con el tiempo, incorporando nuevos ejemplares, tecnologías de digitalización y metodologías modernas de estudio. La creación de modelos tridimensionales y la implementación de una plataforma virtual de consulta amplían significativamente el alcance de la colección, permitiendo su uso incluso en circunstancias que limiten el trabajo presencial, como ocurrió durante la pandemia. Este enfoque dual asegura tanto la preservación física de las muestras como la accesibilidad de la información, proyectando la colección como un instrumento de resiliencia académica y democratización del conocimiento geológico.

La sistematización de la colección contribuye a la preservación del patrimonio geológico institucional, garantizando la continuidad y sostenibilidad de los recursos a largo plazo. La implementación de códigos únicos, inventarios digitales y lineamientos claros de gestión permite un control eficiente, facilita la trazabilidad de los ejemplares y asegura que la colección cumpla un papel activo en la formación de estudiantes y en la visibilidad académica de la Escuela de Geología. En conjunto, estas acciones posicionan la colección como un recurso

dinámico, moderno y estratégico, que integra educación, investigación y divulgación científica, asegurando su relevancia y utilidad futura.

### Referencias Bibliográficas

- Alqubalee, A., Salisu, A. M., Bello, A. M., Al Hussaini, A., y Al Ramadan, K. (2023). Characteristics, distribution and origin of ferruginous deposits within the Late Ordovician glaciogenic setting of Arabia. *Scientific Reports*, 13, 18430. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45563-9>.
- Altschuler, Z. S., Schnepfe, M. M., Silber, C. C., y Simon, F. O. (1983). Sulfur diagenesis in everglades peat and origin of pyrite in coal. *Science*, 221(4607), 221–227. <https://doi.org/10.1126/science.221.4607.221>.
- American Museum of Natural History. (2024). Arthur Ross Hall of Meteorites. <https://www.amnh.org/exhibitions/permanent/meteorites>.
- Baars, C., y Horak, J. (2018a). Storage and conservation of geological collections—a research agenda. *Journal of the Institute of Conservation*, 41(2), 154–168.
- Baars, C., y Horak, J. (2018b). *The Geological Curator's Handbook: Guidelines for the Curation of Geological Materials*. Geological Society of London.
- Baez Ardila, I. F., y Cote Vargas, C. E. (2014). Implementación formal de un modelo sistemático, acondicionamiento de la infraestructura, gestión y organización del material geológico depositado en la litoteca de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.
- Barragán, J. E. (2023). Inventario de muestras para la colección de yacimientos minerales de la escuela de geología - UIS. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.
- Blatt, H., y Tracy, R. (1996). *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic* (2nd ed.). W. H. Freeman and Company.
- Boggs, S. (2006). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (4th ed.). Pearson Prentice Hall.

- Boulvais, P., Fourcade, S., Gruau, G., Moine, B., y Cuney, M. (1998). Persistence of pre-metamorphic C and O isotopic signatures in marbles subject to Pan-African granulite-facies metamorphism and U–Th mineralization (Tranomaro, Southeast Madagascar). *Chemical Geology*, 150(3–4), 247–262. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00062-X).
- Brunton, C. H. C., Besterman, T. P., y Cooper, J. A. (Eds.). (1985). Guidelines for the curation of geological materials (Geological Society Miscellaneous Paper No. 17). Geological Society of London.
- Bucher, K., y Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Burley, S. D., y Worden, R. H. (Eds.). (2003). *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient*. International Association of Sedimentologists Special Publication. Blackwell Publishing Ltd.
- Caruso, A., Pierre, C., Blanc-Valleron, M.-M., y Rouchy, J. M. (2015). Carbonate deposition and diagenesis in evaporitic environments: The evaporative and sulphur-bearing limestones during the settlement of the Messinian Salinity Crisis in Sicily and Calabria. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 429, 136–162. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.03.035>.
- Castiñeiras García, P., González García, D., López Carmona, A., Arias Aguado, A. J., Díaz González, S., Gómez Barreiro, J., Gutiérrez Alonso, G., Lozano Velasco, P., Navarro Frutos, R., y Pastor Garrido, M. (2025). Visualización en 3D de rocas y afloramientos: Recursos educativos digitales para el estudio de rocas metamórficas [Memoria final PIMCD 386]. Universidad Complutense de Madrid. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/131810>.

Collections Management Policy. (2019). Policy Document for the Management of Geological Collections. Natural History Museum (UK).

Collections Trust. (2017). Deaccessioning and disposal: Guidance for museums and collections (PDF). <https://collectionstrust.org.uk/wp-content/uploads/2017/11/Deaccessioning-and-disposal.pdf>.

Creación de la política de gestión de colecciones Biblioteca. (2019). Universidad Nacional de Colombia – Sistema de Bibliotecas.

Dharmapriya, P. L., Disanayaka, D. W. M., Pitawala, H. M. T. G. A., Malaviarachchi, S. P. K., y Subasinghe, N. D. (2025). Genesis, classification, tectonic setting and economic potential of global granitic pegmatites: A review. *Evolving Earth*, 3, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.eve.2025.100059>.

Durán, J. J., y Carcavilla, L. (2008). Recursos minerales y patrimonio geológico. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 16(3), 256–261.

Esparza-Gómez, E. J., y Villarreal-Jaimes, C. A. (2012). Diseño conceptual de un modelo de datos y adecuación de la instalación para la organización y gestión de la litoteca y colecciones geológicas de la Escuela de Geología. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.

Eyal, M., Litvinovsky, B. A., Katzir, Y., y Zandvilevich, A. N. (2004). The Pan-African high-K calc-alkaline peraluminous Elat granite from southern Israel: Geology, geochemistry and petrogenesis. *Journal of African Earth Sciences*, 40(3–4), 115–136. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.11.005>.

- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., y Frost, C. D. (2001). A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033–2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>.
- García, D. A., y Jaimes, A. (2023). Organización y gestión de la colección de Geología General. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.
- Gaviria-Melo, S. (2015). Química para geología: Aplicación en laboratorio y campo.
- Geological Society Collections Committee. (2017). Storage and conservation of geological collections (Article Guide). The Geological Society of London.
- González, E. J., y Salcedo, P. F. (2023). Organización y gestión de la Colección de Rocas Ígneas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Universidad Industrial de Santander.
- Harlem, J. (1998). Museum Display and Educational Strategy in Geological Collections. *Geological Curator*, 6(10), 45–56.
- Haruna, I. V. (2014). Petrology and geochemistry of granitoids of the northern part of Adamawa Massif, N.E Nigeria. *Journal of Geology y Geophysics*, 3(6). <https://doi.org/10.4172/2381-8719.1000160>.
- Hedenquist, J. W., y Arribas, P. R., Jr. (1998). Characteristics and models of epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 6, 169–189. <https://doi.org/10.5382/SP.06.06>.
- Henderson, J. (2013). Managing the library and archive environment. The British Library.
- International Council of Museums. (2019). Guidelines on deaccessioning of the International Council of Museums (Version 2) [PDF]. International Council of Museums.

- [https://icom.museum/wp-content/uploads/2019/08/20170503\\_ICOM\\_standards\\_deaccessioning\\_final\\_EN-v2.pdf](https://icom.museum/wp-content/uploads/2019/08/20170503_ICOM_standards_deaccessioning_final_EN-v2.pdf).
- Jerez, J. S., y Suárez, J. (2023). Organización y Gestión de Colección Geológica de Fósiles. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.
- Kong, J., Qiao, K., Huo, X., Zhang, G., Chen, X., y Yao, L. (2024). Geochronology and geochemical characteristics of granitoids in the Lesser Xing'an–Zhangguangcai Range: Petrogenesis and implications for the Early Jurassic tectonic evolution of the Mudanjiang Ocean. *Minerals*, 14(9), 941. <https://doi.org/10.3390/min14090941>.
- Krauskopf, K. B. (1979). *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill.
- Lozano, J., y Menéndez, M. (2013). *Gestión documental de colecciones científicas*. Universidad Complutense de Madrid.
- Ma, S., Liu, C., Xu, Z., Zhou, Z., Dong, J., y Li, H. (2017). Geochronology, geochemistry and tectonic significance of the early Carboniferous gabbro and diorite plutons in West Ujimqin, Inner Mongolia. *Journal of Earth Science*, 28, 249–264. <https://doi.org/10.1007/s12583-017-0775-1>.
- Ministerio de Cultura de España – Subdirección General de Museos Estatales. (2018). Las colecciones como recurso para el aprendizaje. <https://www.culturaydeporte.gob.es/museos>.
- Montero, Á., y Diéguez, C. (1997). Colecciones geológicas. Problemas de humedad relativa y temperatura. In *Boletín de la ANABAD* (Vol. 47, Issue 2, pp. 157–167).
- Montoya-Ramírez, M. M. (2021). Generación de modelos 3D de muestras de roca con Structure from Motion [Material didáctico]. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/RepoFi/17742/Material%20didactico.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

Moshier, S. O. (1989). Microporosity in micritic limestones: A review. *Sedimentary Geology*, 63(3–4), 191–213. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(89\)90132-2](https://doi.org/10.1016/0037-0738(89)90132-2).

Munnecke, A., Wright, V. P., y Nohl, T. (2023). The origins and transformation of carbonate mud during early marine burial diagenesis and the fate of aragonite: A stratigraphic sedimentological perspective. *Earth-Science Reviews*, 239, 104366. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104366>.

Museo Provincial de Ciencias Naturales. (s.f.). Biblioteca 3D de Rocas y Minerales. <https://rocasyminales3d.my.canva.site/>.

Natural History Museum. (2024). Mineralogy collections. <https://www.nhm.ac.uk/>

Oxford University Museum of Natural History. (2024). <https://www.oumnh.ox.ac.uk/>

Parry, W. T. (2011). Composition, nucleation, and growth of iron oxide concretions. *Sedimentary Geology*, 233, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.11.007>.

Peccerillo, A., y Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>.

Peluso, D., Bean, A., Rose, K., McIntyre, D., Eck, R., Soeder, D., Crandall, D., y Hakala, A. (2016). *Geoscience Collection Management Systems: A Beginners Guide*.

Plazas-Torres, D. A., y Gonzalez-Mora, D. A. (2014). Diseño e implementación de un sistema de información, que apoye los procesos y actividades de la litoteca y colecciones geológicas de la escuela de geología. Trabajo de pregrado, Universidad Industrial de Santander.

- Ríos-Reyes, C. A. (1999). Museo Geológico Marino Arce Herrera: Una contribución al desarrollo de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Boletín de Geología*, 21(36), 51–55.
- Rollinson, H. (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific y Technical.
- Royce, K., y Baars, C. (2021). Caring for geological collections: Unresolved questions. *Journal of Natural Science Collections*, 8, 28–38.
- Salazar-Muñoz, N., Ríos de la Ossa, C. A., Murcia, H., Schonwalder-Ángel, D., Botero-Gómez, L. A., Hincapié, G., da Silva, J. C., y Sánchez-Torres, L. (2021). Andesitic (SiO<sub>2</sub>: ~60 wt%) monogenetic volcanism in the northern Colombian Andes: Crystallisation history of three Quaternary volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 412, 107194. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107194>.
- Sanchíz, B., y Rodríguez, J. B. (1994). *Manual de catalogación y gestión de las colecciones científicas de historia natural*. Museo Nacional de Ciencias Naturales (España).
- Santano, P. (2011). Geoética y geoconservación en la práctica geológica. *Revista de la Sociedad Geológica Española*.
- Sedziafa, V., Song, Y., Sunkari, E. D., Kwayisi, D., Anani, C. Y., y Asiedu, D. K. (2025). Provenance and source area weathering of sandstones from the Tarkwaian Group at the northeastern extent of the Paleoproterozoic Ashanti Belt, Ghana: Constraints from petrography and geochemistry. *Journal of African Earth Sciences*, 224, 105536. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2025.105536>.
- Servicio Geológico Colombiano. (2020). *Entrelazando nuestro patrimonio: Directorio de museos y colecciones geológicas y paleontológicas colombianas*. Grupo Museo Geológico e Investigaciones Asociadas.

- <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Documents/MaterialDivulgativo/directorio-mycgpc-2020.pdf>.
- Southam, G., Donald, R., Rostad, A., y Brock, C. (2001). Pyrite discs in coal: evidence for fossilized bacterial colonies. *Geology*, 29(1), 47–50. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0047:PDICEF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0047:PDICEF>2.0.CO;2).
- Spear, F. S. (1993). *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure Temperature Time Paths*. Mineralogical Society of America.
- Srivastava, T., Harris, N., Mottram, C., Joshi, K. B., y Wanjari, N. (2024). From source to emplacement: The origin of leucogranites from the Sikkim-Darjeeling Himalayas, India. *Geoscience Frontiers*, 15(1), 101733. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101733>.
- Su, C., Li, F., Tan, X., Gong, Q., Zeng, K., Tang, H., Li, M., y Wang, X. (2020). Recognition of diagenetic contribution to the formation of limestone-marl alternations: A case study from Permian of South China. *Marine and Petroleum Geology*, 111, 765–785. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.08.033>.
- Toro-Toro, L. M., Borrero-Peña, C. A., y Ayala Carmona, L. F. (2010). Petrografía y geoquímica de las rocas ancestrales del volcán Nevado del Ruiz. *Boletín de Geología*, 32(1), 95–105.
- Turner, F. J. (1981). *Metamorphic Petrology: Mineralogical and Field Aspects*. McGraw-Hill.
- Vargas-Morantes, J. P. (2014). Definición de parámetros para la descripción de materiales geológicos para el diseño de una base de datos de la litoteca de la escuela de geología. Universidad Industrial de Santander.
- Vu, T. T. A., Horsfield, B., Mahlstedt, N., Schenk, H. J., Kelemen, S. R., Walters, C. C., Kwiatek, P. J., y Sykes, R. (2013). The structural evolution of organic matter during maturation of

- coals and its impact on petroleum potential and feedstock for the deep biosphere. *Organic Geochemistry*, 62, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2013.06.011>.
- Winter, J. D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.
- Winter, J. D. (2014). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology* (2nd ed.). Pearson.
- Yardley, B. W. D. (2021). *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Cambridge University Press.
- Zane, A., Sassi, R., y Guidotti, C. V. (1998). New data on metamorphic chlorite as a petrogenetic indicator mineral, with special regard to greenschist-facies rocks. *The Canadian Mineralogist*, 36(3), 713–726.
- Zhang, J., Liao, M., Santosh, M., Yang, Z., Zhang, Y., y Dai, Y. (2020). Middle Tonian calc-alkaline picrites, basalts, and basaltic andesites from the Jiangnan Orogen: Evidence for rear-arc magmatism. *Precambrian Research*, 350, 105943. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105943>.

Apéndices

Apéndice A. Base de datos en Excel con descripciones Parte 1.

Código	Fotografía	Tipo de material geológico	Nombre de roca	Estructura	Textura	Mineralogía	Ambiente geológico	Ubicación
CGQ-4		Roca ígnea	Pegmatita	Masiva	Holocristalina, fanerítica	Cuarzo 35-40 %, Feldespato potásico/Albita 45-50 %, Moscovita 5-10 %, Minerales accesorios <5 %	Las pegmatitas se forman como cuerpos intrusivos durante el enfriamiento lento de magmas graníticos, estando asociadas a cuerpos de granito. Estas rocas se caracterizan por su notable riqueza en elementos incompatibles y tierras raras, tales como litio, berilio, niobio, tantalio, cesio y rubidio. Geoquímicamente, presentan altos contenidos de K <sub>2</sub> O junto con bajos niveles de hierro, magnesio y calcio. Esta composición refleja la segregación de líquidos residuales cargados de volátiles durante la cristalización del magma granítico, lo que favorece el crecimiento de cristales de gran tamaño y la formación de minerales poco comunes. La distribución de las tierras raras (REE) suele mostrar un fraccionamiento entre las ligeras (LREE) y las pesadas (HREE), indicando una evolución magmática diferenciada y compleja (Dharmapriya et al., 2025).	Lab307 JBV
CGQ-5		Roca ígnea	Granodiorita	Masiva	Fanerítica, holocristalina, grano medio a grueso, hipidiomórfica granular	Plagioclasa (Plg) 40-55 %, Cuarzo (Qz) 20-30 %, Feldespato potásico (Kfs) 10-20 %, Anfíbol (Amp) + Biotita (Bt) 5-15 %, accesorios traza	Esta muestra corresponde a una roca plutónica de composición intermedia, interpretada como granodiorita, formada por cristalización lenta de magmas en profundidad. La asociación mineral Qz + Plg + Kfs con máficos (anfíbol/biotita) indica un magma relativamente evolucionado dentro de la serie calcoalcalina. Geoquímicamente, presenta contenidos de SiO <sub>2</sub> intermedios a altos (≈60-70 %) y afinidad de arco magmático en zonas de subducción, donde la fusión parcial del manto hidratado y la interacción con la corteza generan magmas diferenciados. La presencia de anfíbol y biotita es consistente con magmas hidratados y condiciones de oxidación moderadas, favorables para procesos magmático-hidrotermales asociados (Winter, 2001; Rollinson, 1993; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-6		Roca ígnea	Leucogranito	Masiva, inequigranular	Holocristalina, fanerítica media a gruesa	Cuarzo 35-40 %, Microclina 35-40 %, Plagioclasa 15-20 %, Moscovita 5 %	En zonas de colisión continental, los leucogranitos se generan como magmas muy félsicos con alto contenido de cuarzo y feldespato. Estos presentan altos valores de SiO <sub>2</sub> , superiores al 70 %, y bajos contenidos de magnesio y calcio, reflejando su carácter peraluminoso (A/CNK > 1). Se clasifican en tipos two-mica y tourmaline leucogranites, con minerales accesorios como tourmalina y micas, lo que indica procesos de diferenciación magmática y cristalización a partir de fundidos corticales (Srivastava et al., 2024).	Lab307 JBV
CGQ-11		Roca ígnea	Andesita porfírica	Masiva, inequigranular	Porfírica en matriz microcristalina a criptocristalina	Plagioclasa 40-45 %, Hornblenda/Clinopiroxeno 10-15 %, Biotita 2-5 %, Cuarzo secundario 5 %, matriz microcristalina 30-35 %	Las andesitas porfíricas son rocas extrusivas de composición intermedia asociadas a arcos volcánicos, que derivan de magmas subalcalinos con afinidad calc-alcalina y contienen entre 58 y 63 % de SiO <sub>2</sub> , junto con proporciones moderadas de FeO y MgO. Presentan texturas porfíricas, plagioclasa zonada y coronas en minerales máficos, indicativas de oxidación y cristalización fraccionada durante la evolución magmática. Los minerales presentes incluyen plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno, anfíbol y óxidos Fe-Ti, reflejando condiciones de cristalización desde profundidades cercanas a 53 km hasta la superficie (Salazar-Muñoz et al., 2021).	Lab307 JBV
CGQ-33		Roca ígnea	Basalto vesicular alterado	Masiva	Porfírica en matriz microcristalina a vítrea, fenocristales de plagioclasa y piroxeno, vesicular	Plagioclasa 40-45 %, Piroxeno 15-20 %, Matriz microcristalina/vidrio 30-35 %, Minerales secundarios (calcita, clorita) 5 %	Los basaltos vesiculares alterados son rocas extrusivas máficas que resultan del enfriamiento rápido de magmas subalcalinos (tanto tholeiíticos como calc-alcalinos), con contenidos de SiO <sub>2</sub> entre 47 y 52 %, y altos niveles relativos de FeO y MgO, mientras que el CaO mantiene valores moderados. La geoquímica muestra bajas concentraciones de elementos como titanio y manganeso, y refleja que la alteración secundaria redistribuye elementos móviles y genera texturas vesiculares y mineralización secundaria, características documentadas en basaltos calc-alcalinos de arco del orógeno Jilangnan (Zhang et al., 2020).	Lab307 JBV
CGQ-34		Roca ígnea	Andesita porfírica	Masiva	Porfírica (matriz afanítica con fenocristales)	Plagioclasa (Plg) 40-60 % (fenocristales), Minerales máficos (anfíbol/biotita) 10-25 %, Matriz afanítica 20-40 %, Epidota secundaria traza	Esta muestra corresponde a una roca ígnea volcánica de composición intermedia, interpretada como una andesita porfírica, formada por cristalización en dos etapas: una inicial en profundidad, donde se desarrollan fenocristales de plagioclasa, seguida de un enfriamiento rápido en superficie que genera una matriz afanítica. Este tipo de textura refleja un cambio en las condiciones de enfriamiento del magma, típico de sistemas volcánicos activos. Geoquímicamente, las andesitas presentan contenidos de SiO <sub>2</sub> intermedios (≈57-63 %) y asociaciones calcio-alcalinas, siendo comunes en ambientes de arco volcánico relacionados con zonas de subducción. La presencia de epidota indica alteración hidrotermal secundaria, posiblemente de tipo propilitico, asociada a la circulación de fluidos posteriores a la consolidación de la roca. Estos procesos reflejan interacción fluido-roca en sistemas magmático-hidrotermales de temperatura moderada (Winter, 2001; Rollinson, 1993; Gaviria Melo, 2015).	Lab307 JBV

Apéndice A. Base de datos en Excel con descripciones Parte 2.

CGQ-7		Roca sedimentaria	Carbón	Bandeada o masiva	Cripcristalina	Vitrinita 60-70 %, Liptinita 10-15 %, Inertinita 10-15 %, Pirita/Arcillas 5-10 %	Los carbones se forman en pantanos, marismas, ciénagas y lagunas con poca circulación, mediante la acumulación y compactación de materia orgánica vegetal enterrada en ambientes anóxicos. Durante la coalificación, se incrementa el contenido de carbono y disminuyen las relaciones H/C y O/C, reflejando la maduración de la materia orgánica. La pirita asociada se genera principalmente por reducción bacteriana de sulfatos, en la que los sulfatos disueltos son transformados por microorganismos reductores en sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S), que reacciona con hierro disuelto precipitando FeS <sub>2</sub> (pirita) durante la diagénesis del carbón, influyendo en su química y mineralogía característica (Southam et al., 2001).	Lab307 JBV
CGQ-8		Roca sedimentaria	Concreción ferruginosa	Nodular o esférica, con bordes bien definidos	Variable, con granos muy finos cementados con óxidos de hierro	Goethita 60-70 %, Hematita 20-30 %, Qz/Arcillas 5-10 %	Las concreciones ferruginosas se forman por la precipitación de hierro en sedimentos marinos someros o continentales, donde las aguas subterráneas transportan hierro disuelto (Fe <sup>2+</sup> ) que, al oxidarse a Fe <sup>3+</sup> , precipita formando minerales como goethita (FeOOH) y hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) alrededor de núcleos o zonas de nucleación. Estas reacciones están controladas por el pH oxidante y el potencial redox (Eh) del ambiente, determinando las fases estables de óxidos e hidróxidos de hierro. En perfiles lateríticos y sedimentos superficiales, estas concreciones concentran hierro y otros óxidos residuales, reflejando procesos de movilidad, oxidación y precipitación bajo condiciones superficiales y meteorización activa, lo que influye en su composición mineralógica (predominancia de goethita y hematita) (Parry, 2011).	Lab307 JBV
CGQ-9		Roca sedimentaria	Lodolita calcárea	Laminación	Clástica de grano muy fino (partículas tamaño limo)	Calcita microcristalina 60-70 %, Arcillas 30-40 %	Las lodolitas calcáreas se depositan en ambientes marinos tranquilos, lagos o mares someros, mezclando limo y carbonato. Contienen generalmente más del 40 % de CaCO <sub>3</sub> , con relaciones Mg/Ca variables según la composición original del sedimento y los procesos de alteración diagenética. Durante la diagénesis temprana, se produce cementación micrítica y, en ocasiones, reemplazo parcial por dolomita cuando fluidos ricos en magnesio interactúan con carbonatos preexistentes. Condiciones de pH neutras a alcalinas y potencial redox estable favorecen la estabilidad de la calcita y micrita, contribuyendo a preservar la mineralogía original (e.g., Münnecke et al., 2023).	Lab307 JBV
CGQ-12		Roca sedimentaria	Carbón bituminoso	Laminada y compacta	Fina a media	Vitrinita-liptinita-inertinita 70 %, Pirita/Arcillas 5-10 %	Los carbones bituminosos se originan en cuencas de retroarco, antepais o fluvio-lacustres con enterramiento progresivo, a partir de materia orgánica compactada en ambientes anóxicos. Durante la diagénesis y coalificación, las relaciones H/C y O/C disminuyen progresivamente, reflejando el aumento del grado de madurez por pérdida de grupos funcionales ricos en hidrógeno y oxígeno. Este proceso está vinculado a la transformación estructural hacia una red carbonosa aromática y condensada (Vu et al., 2013). La pirita asociada también se forma por reducción bacteriana de sulfatos e interacción con hierro disuelto, precipitando FeS <sub>2</sub> y contribuyendo a la mineralogía característica (Altschuler et al., 1983).	Lab307 JBV
CGQ-13		Roca sedimentaria	Caliza micrítica	Compacta, masiva o ligeramente laminada	Micrítica	Calcita microcristalina 80-90 %, Arcillas 10-20 %	Las calizas micríticas se forman por precipitación química o biogénica en ambientes marinos tranquilos y poco agitados, caracterizadas por su alto contenido de CaCO <sub>3</sub> . Durante la diagénesis temprana, los espacios porosos se cementan con micrita y microspar de calcita, transformando gradualmente el sedimento blando en roca consolidada. Esta cementación depende de la interacción de fluidos, la presión parcial de CO <sub>2</sub> (pCO <sub>2</sub> ) y la temperatura, que afectan la estabilidad química de la calcita frente a otras fases carbonatadas. Según la relación Mg/Ca en los fluidos y sedimentos, puede darse dolomitización parcial mediante sustitución de calcio por magnesio en la red cristalina. Estos procesos dominan la evolución textural y mineralógica del carbonato durante el enterramiento temprano (e.g., Moshier, 1989).	Lab307 JBV
CGQ-15		Roca sedimentaria	Concreción ferruginosa	Nodular o esférica, con bordes bien definidos	Variable, con granos muy finos cementados con óxidos de hierro	Goethita 60-70 %, Hematita 20-30 %, Qz/Arcillas 5-10 %	Las concreciones ferruginosas se forman por la precipitación de hierro en sedimentos marinos someros o continentales, donde las aguas subterráneas transportan hierro disuelto (Fe <sup>2+</sup> ) que, al oxidarse a Fe <sup>3+</sup> , precipita formando minerales como goethita (FeOOH) y hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) alrededor de núcleos o zonas de nucleación. Estas reacciones están controladas por el pH oxidante y el potencial redox (Eh) del ambiente, determinando las fases estables de óxidos e hidróxidos de hierro. En perfiles lateríticos y sedimentos superficiales, estas concreciones concentran hierro y otros óxidos residuales, reflejando procesos de movilidad, oxidación y precipitación bajo condiciones superficiales y meteorización activa, lo que influye en su composición mineralógica (predominancia de goethita y hematita) (Parry, 2011).	Lab307 JBV

Apéndice A. Base de datos en Excel con descripciones Parte 3.

CGQ-20		Roca sedimentaria	Limolita cuarzosa	Masiva	Clástica fina (limo), bien seleccionada, matriz soportada, compacta	Cuarzo (Qz) 60–85 %, Feldespatos <10 %, Arcillas (illita ± caolinita) 10–30 %, accesorios traza	Esta muestra corresponde a una roca siliciclástica de grano fino (limo), formada por la decantación de partículas finas en ambientes de baja a moderada energía, donde la selección granulométrica puede ser relativamente buena. Tales condiciones son típicas de llanuras de inundación, zonas distales de sistemas fluviales, deltas o ambientes marinos someros protegidos. La dominancia de cuarzo indica alta madurez composicional y reciclaje sedimentario, asociado a fuentes félsicas (p. ej. granitos) o a la retrabajación de sedimentos previos. Geoquímicamente, estas rocas presentan contenidos elevados de SiO <sub>2</sub> , con proporciones variables de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> derivadas de minerales arcillosos. La baja porosidad refleja compactación durante la diagénesis, con posible cementación silicea o arcillosa (Boggs, 2006; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-21		Roca sedimentaria	Mudstone calcárea (lodolita calcárea)	Masiva	Microclástica, matriz soportada, compacta	Calcita micrítica 50–65 %, Arcillas (illita ± caolinita) 25–40 %, Cuarzo detritico <10 %, Materia orgánica y fósiles traza	Esta roca corresponde a una lodolita calcárea formada en ambientes marinos de baja energía, donde la sedimentación de partículas finas en suspensión (arcillas y carbonatos) ocurre en condiciones relativamente tranquilas, típicas de plataformas carbonatadas internas, lagunas protegidas o cuencas marinas someras restringidas. La acumulación de lodo carbonatado y material siliciclástico fino favorece el desarrollo de matrices micríticas con escasa selección granulométrica. Geoquímicamente, estas rocas presentan contenidos elevados de CaCO <sub>3</sub> junto con proporciones variables de SiO <sub>2</sub> y Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , reflejando mezcla de aportes carbonatados y terrígenos. La presencia de fósiles pequeños y concreciones indica condiciones de sedimentación con baja tasa de remoción y buena preservación biogénica, asociadas a ambientes con limitada energía hidrodinámica (Boggs, 2006; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-22		Roca sedimentaria	Caliza bioclástica tipo packstone	Masiva a débilmente estratificada	Bioclástica, grano soportada (packstone), tamaño variable	Calcita (Ca) 80–95 %, Bioclastos (conchas) dominantes, trazas de matriz micrítica ± cemento espático	Esta muestra corresponde a una caliza bioclástica formada por acumulación de restos fósiles (principalmente conchas) en un ambiente marino somero de energía moderada, donde la actividad biológica es alta y favorece la producción de carbonato. La textura grano-soportada indica que los bioclastos están en contacto entre sí, con menor proporción de matriz fina, lo que es característico de un packstone según la clasificación de Dunham. La presencia de fósiles recristalizados refleja procesos diagénéticos, donde la calcita original puede transformarse en cemento espático más grueso. Geoquímicamente, estas rocas presentan alto contenido de CaCO <sub>3</sub> y reflejan condiciones de sobresaturación de carbonato en el agua de mar, controladas por factores como temperatura, pH y actividad biológica. Este tipo de depósitos es típico de plataformas carbonatadas someras, arrecifes o zonas de acumulación bioclástica (Boggs, 2006; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-26		Roca sedimentaria	Concreción calcárea con pirita	Laminación	Clástica de grano muy fino (partículas tamaño arcilla)	Illita 40–50 %, Caolinita 10–20 %, Cuarzo fino 20–30 %, Goethita/Hematita 10–15 %	Las lutitas ferruginosas se desarrollan en depósitos de baja energía como lagunas o planicies de marea, presentando un contenido de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> superior al 10 % y relaciones químicas que reflejan enriquecimiento en hierro respecto a otros elementos. Durante la diagénesis, se precipitan y cementan óxidos de hierro como goethita y hematita en los poros sedimentarios, consolidando la roca y reduciendo su porosidad. Estas rocas se forman en ambientes oxidantes, que favorecen la estabilidad de minerales de hierro y determinan su color rojizo o marrón característico, observados en diversos contextos sedimentarios ferruginosos (Alquabalee et al., 2023).	Lab307 JBV
CGQ-27		Roca sedimentaria	Caliza micrítica (mudstone carbonatada)	Masiva	Microcristalina, matriz soportada, compacta	Calcita micrítica 70–90 %, Arcillas subordinadas <20 %, Materia orgánica traza ± óxidos	Esta roca corresponde a una caliza micrítica formada por precipitación química y/o acumulación de lodo carbonatado en ambientes marinos de baja energía, donde la sobresaturación de carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ) en el agua favorece la nucleación y deposición de calcita. Estos procesos están controlados por la concentración de iones Ca <sup>2+</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , así como por factores físico-químicos como temperatura, pH y actividad biológica. Este tipo de depósitos es característico de plataformas carbonatadas someras, lagunas protegidas o ambientes marinos restringidos, donde la baja energía hidrodinámica permite la acumulación de sedimentos finos. Geoquímicamente, estas rocas presentan alto contenido de CaCO <sub>3</sub> y bajas proporciones de componentes terrígenos, aunque la coloración oscura sugiere posible presencia de materia orgánica o condiciones ligeramente reductoras durante la sedimentación (Boggs, 2006; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-28		Roca sedimentaria	Caliza micrítica	Compacta, masiva o ligeramente laminada	Micrítica	Calcita 85–90 %, Dolomita 5 %, Arcillas 5–10 %	Las calizas micríticas sedimentadas en ambientes marinos someros con bajo flujo de energía también presentan alto contenido de CaCO <sub>3</sub> y se caracterizan por cementación temprana con micrita y microspar de calcita, consolidando el sedimento blando en roca dura. Este proceso está controlado por la interacción de fluidos, pCO <sub>2</sub> y temperatura, influyendo en la estabilidad química de la calcita y la posible dolomitización parcial por sustitución de Ca por Mg (e.g., Moshier, 1989).	Lab307 JBV
CGQ-29		Roca sedimentaria	Lutita (shale)	Laminada (estratificación plano-paralela)	Clástica muy fina, matriz soportada, compacta	Arcillas (illita ± caolinita) 50–70 %, Cuarzo fino 10–20 %, Micas (muscovita/biotita) <10 %, Materia orgánica ± pirita traza	Esta roca corresponde a una lutita formada por la acumulación y compactación de sedimentos muy finos en ambientes de baja energía, donde la deposición de arcillas y limos ocurre en condiciones de escasa agitación. Estos ambientes incluyen fondos de cuencas marinas, plataformas marinas externas, lagunas restringidas o zonas de baja energía en sistemas fluviales. La estratificación plano-paralela refleja deposición continua en suspensión, mientras que la presencia de micas indica aporte terrígeno fino. La tonalidad oscura sugiere contenido significativo de materia orgánica y posibles condiciones reductoras durante la sedimentación. Geoquímicamente, estas rocas presentan altos contenidos de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y SiO <sub>2</sub> asociados a minerales arcillosos, junto con enriquecimiento en carbono orgánico en ambientes anóxicos, lo que favorece la preservación del material orgánico (Boggs, 2006; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-32		Roca hidrotermal	Brecha hidrotermal cuarzosa con sulfuros	Brechada, clasto-soportada a matriz-soportada	Clástica gruesa, fragmentaria, angular a subangular, con cavidades (vuggy)	Cuarzo (Qz) 40–60 %, Plagioclasa (Plg) relictas 10–20 %, Sulfuros (pirita, Py) 5–15 %, Micas/filosilicatos (Mph) <10 %, Accesorios y óxidos traza	Esta roca corresponde a una brecha hidrotermal generada por sobrepresión de fluidos en sistemas magmático-hidrotermales, donde la presión del fluido supera la presión litostática y provoca la fracturación hidráulica de la roca hospedante. Los fragmentos angulares resultantes son posteriormente cementados por minerales precipitados desde fluidos ricos en sílice y metales, principalmente cuarzo y sulfuros como pirita. Este tipo de brechificación se asocia comúnmente a sistemas porfíricos y epitermales, donde la exsolución de volátiles desde un magma en evolución (proceso de ebullición o "boiling") genera fluidos hidrotermales capaces de transportar y depositar metales. La presencia de cavidades indica episodios de disolución y precipitación sucesiva, mientras que la asociación mineralógica refleja condiciones de pH variable y enfriamiento progresivo del sistema. Geoquímicamente, estos sistemas muestran enriquecimiento en SiO <sub>2</sub> y metales asociados a fluidos hidrotermales, con zonación mineral típica controlada por gradientes de temperatura y presión (Ballouin, 1993; Winter, 2001; Cawicha-Melo, 2015).	Lab307 JBV

Apéndice A. Base de datos en Excel con descripciones Parte 4.

CGQ-36		Roca hidrotermal	Vena de cuarzo con sulfuros	Veteada (relleno de fractura), tabular a irregular	Masiva a drusiforme, cristalina, con desarrollo local de cavidades (drusas)	Cuarzo (Qz) 80-95 %, Pirita (Py) 1-10 %, Arcillas (illita/caolinita) <10 %, trazas de otros sulfuros	Esta muestra corresponde a una vena hidrotermal de cuarzo formada por precipitación de silice desde fluidos hidrotermales que circulan a través de fracturas en la roca hospedante. Estos fluidos, generalmente de origen magmático o mixto, transportan silice y metales disueltos, al experimentar cambios en temperatura, presión o condiciones químicas (pH y Eh), precipitan minerales en espacios abiertos, sellando las fracturas. La presencia de textura drusiforme indica crecimiento cristalino en cavidades con suficiente espacio libre, típico de sistemas epitermales o porfídicos en etapas tardías. La asociación con pirita y arcillas sugiere procesos de alteración hidrotermal concomitante, donde la roca caja es modificada por interacción fluido-roca, generando ensamblajes secundarios bajo condiciones de pH variable y temperaturas moderadas. Geoquímicamente, estos sistemas reflejan fluidos enriquecidos en SiO <sub>2</sub> y metales, con deposición controlada por gradientes térmicos y despresurización durante la circulación en fracturas (Rollinson, 1993; Winter, 2001; Gaviña Melo, 2015).	Lab307 JBV
CGQ-40		Roca hidrotermal	Roca alterada por alteración argílica (cuarzo-arcillas con sulfuros)	Masiva a débilmente brechada	Microcristalina, de reemplazo, matriz arcillosa dominante	Cuarzo (Qz) 30-60 %, Arcillas (illita ± caolinita) 30-60 %, Pirita (Py) 1-10 %, trazas de otros sulfuros	Esta muestra corresponde a una roca hospedante intensamente modificada por alteración hidrotermal de tipo argílica, producto de la interacción con fluidos hidrotermales ácidos ricos en H <sup>+</sup> , los cuales generan disolución de minerales primarios (especialmente feldespatos) y su reemplazo por fases secundarias como arcillas (illita, caolinita) y silice. Este proceso ocurre típicamente en sistemas epitermales y porfídicos, donde la circulación de fluidos magmáticos o mixtos induce una fuerte alteración de la roca caja. La presencia de pirita indica condiciones de sulfuración y actividad de azufre en el sistema, mientras que la abundancia de cuarzo refleja episodios de silificación asociados. Geoquímicamente, estos ambientes se caracterizan por pH bajo, condiciones redox variables y enriquecimiento en metales transportados por fluidos hidrotermales, lo que puede dar lugar a mineralizaciones de tipo epitermal de media a alta sulfuración, potencialmente asociadas a Au, Ag y Cu (Winter, 2001; Rollinson, 1993; Gaviña Melo, 2015).	Lab307 JBV
CGQ-10		Roca evaporítica	Yeso	Masiva o con laminación horizontal fina	Cristalina a microcristalina, homogénea, con cristales tabulares o fibrosos	Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) >95 %, posible anhidrita 5 %	Los yesos se forman en ambientes evaporíticos, como lagos o mares someros en regiones áridas, mediante precipitación química cuando la evaporación concentra iones sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) y calcio (Ca <sup>2+</sup> ) hasta saturación, favoreciendo la cristalización de yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O) y, en condiciones más secas o enterradas, anhidrita (CaSO <sub>4</sub> ). Este proceso ocurre típicamente bajo condiciones de pH superiores a 7 y ambientes moderadamente oxidantes. La secuencia evaporítica clásica comienza con la precipitación de carbonatos, seguida por sulfatos como yeso y anhidrita, y finalmente halita, reflejando la evolución química de la cuenca durante la evaporación progresiva y sobresaturación de salmuera, como se ha documentado en cuencas marinas restringidas (Caruso et al., 2015).	Lab307 JBV
CGQ-17		Roca metamórfica	Esquisto micáceo	Esquistosa	Granolepidoblástica	Muscovita ± Biotita 40-50 %, Cuarzo 30-40 %, Feldespatos 10-15 %, Granate/Estaurrolita/Opacos 5-10 %	Los esquistos micáceos son rocas metamórficas foliadas que resultan del metamorfismo regional de baja a media presión y temperatura sobre rocas pelíticas. Están compuestos principalmente por micas como biotita y moscovita, además de otros minerales índice. Esta mineralogía refleja la recrystalización de filosilicatos y silicatos durante el metamorfismo regional, con reacciones inducidas por cambios progresivos en presión y temperatura que favorecen la reorganización textural y el crecimiento de porfiroblastos (como granate y estaurrolita) dentro de la matriz. La esquistosidad, o foliación, se desarrolla por la orientación paralela de minerales laminares bajo esfuerzos tectónicos y condiciones específicas de presión y temperatura. Este proceso está detalladamente descrito en textos de petrogénesis metamórfica (Bucher & Grapes, 2011).	Lab307 JBV
CGQ-18		Roca metamórfica	Mármol	Masiva a débilmente bandeada	Granoblástica, sacarosa, grano medio	Calcita (Cal) 80-95 %, trazas de dolomita ± silicatos cálcicos subordinados	Esta muestra corresponde a una roca metamórfica carbonatada, interpretada como mármol, formada por recrystalización de una roca sedimentaria rica en carbonato (caliza o dolomía) bajo condiciones de metamorfismo regional o de contacto. El bandeamiento observado puede reflejar variaciones composicionales originales o segregación metamórfica durante la recrystalización. Durante el metamorfismo, los carbonatos experimentan reorganización cristalina, generando una textura granoblástica típica con cristales intercrecidos de calcita. Geoquímicamente, estas rocas presentan alto contenido de CaCO <sub>3</sub> , con posibles variaciones en MgO si hay dolomitización, y en presencia de impurezas silicilásticas pueden desarrollarse silicatos cálcicos. Este tipo de roca se forma en condiciones de baja a moderado grado metamórfico, donde predominan procesos de recrystalización más que reacciones complejas de alto grado (Winter, 2001; Blatt & Tracy, 1996; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-35		Roca metamórfica	Esquisto biotítico	Foliada	Lepidoblástica, orientada, grano medio	Biotita (Bt) 30-50 %, Cuarzo (Qz) 20-35 %, Feldespatos (Kfs + Plg) 15-30 %, accesorios traza	Esta muestra corresponde a un esquisto de grado bajo a medio formado por metamorfismo regional, caracterizado por una foliación esquistosa definida por la orientación preferencial de minerales laminares como la biotita. La textura lepidoblástica refleja la recrystalización y alineación de micas bajo esfuerzos diferenciales durante la deformación tectónica. Este tipo de roca puede derivar de protolitos pelíticos o arenosos ricos en cuarzo y feldespatos, donde las reacciones metamórficas generan ensamblajes estables dominados por micas. Geoquímicamente, presenta afinidad aluminosilicatada con contenidos significativos de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe y K, coherentes con la abundancia de biotita y feldespatos. Las condiciones típicas de formación corresponden a temperaturas moderadas (~300-500 °C) y presiones intermedias en contextos orogénicos (Winter, 2001; Blatt & Tracy, 1996; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-37		Roca metamórfica	Anfibolita	Foliada	Nematoblástica, grano medio a grueso	Anfibol (Amp) 40-70 %, Plagioclasa (Plg) 20-40 %, Cuarzo (Qz) <15 %, Biotita (Bt) traza	Esta muestra corresponde a una anfibolita, roca metamórfica de grado medio a alto formada típicamente a partir de protolitos máficos (basaltos o gabros) sometidos a metamorfismo regional en condiciones de facies anfibolita. La foliación observada y el bandeamiento leve reflejan la reorganización mineral bajo esfuerzos diferenciales, con segregación de dominios máficos y félsicos. La textura nematoblástica es característica por la presencia de anfiboles elongados orientados. Geoquímicamente, estas rocas conservan afinidad máfica, con enriquecimiento relativo en Fe, Mg y Ca, coherente con la abundancia de anfibol y plagioclasa. Las condiciones típicas de formación se sitúan aproximadamente entre 500-700 °C y presiones intermedias, donde reacciones metamórficas (p. ej., transformación de piroxenos y plagioclasa cálcica en anfiboles) estabilizan el ensamblaje mineral observado. Este tipo de roca es común en cinturones orogénicos asociados a procesos tectónicos compresivos (Winter, 2001; Blatt & Tracy, 1996; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-39		Roca metamórfica	Gneis anfibólico (± biotítico)	Foliada, bandeamiento gneísico	Nematoblástica, grano medio a grueso	Anfibol (Amp) 20-40 %, Cuarzo (Qz) 20-35 %, Plagioclasa (Plg) 20-40 %, Biotita (Bt) <10 %	Esta muestra corresponde a una roca metamórfica de alto grado, interpretada como un gneis con foliación gneísica bien desarrollada, caracterizada por bandeamiento composicional que alterna niveles ricos en minerales máficos y bandas más félsicas dominadas por cuarzo y plagioclasa. La textura nematoblástica refleja la orientación preferencial de minerales alargados bajo esfuerzos diferenciales durante el metamorfismo. Este tipo de roca se forma típicamente en condiciones de facies anfibolita a granulita, con temperaturas elevadas y presiones moderadas a altas, en contextos de metamorfismo regional asociados a cinturones orogénicos. Geoquímicamente, conserva afinidades con protolitos ígneos o sedimentarios ricos en cuarzo y feldespatos, aunque la recrystalización y segregación mineral dificultan su identificación precisa sin análisis petrográfico detallado. La estructura bandeada puede originarse tanto por diferenciación metamórfica como por herencia del protolito, intensificada por deformación tectónica (Winter, 2001; Blatt & Tracy, 1996; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV
CGQ-41		Roca metamórfica	Esquisto verde	Foliada (esquistosidad bien desarrollada)	Lepidoblástica, orientada, grano fino a medio	Clorita (Clt) 30-50 %, Epidota (Ep) 10-25 %, Biotita (Bt) ± 5-15 %, Cuarzo ± feldespatos subordinado	Esta muestra corresponde a una roca metamórfica de bajo a moderado grado perteneciente a la facies de esquisto verde, desarrollada a partir de protolitos máficos (basaltos/gabros) sometidos a condiciones de temperatura y presión moderadas en presencia de fluidos ricos en H <sub>2</sub> O. La foliación esquistosa observada se origina por la orientación preferencial de minerales laminares como clorita y biotita durante la deformación tectónica. La paragénesis Clt + Ep ± Bt es característica de este tipo de metamorfismo, reflejando condiciones típicas de ~300-450 °C y presiones intermedias. Geoquímicamente, estas rocas conservan afinidad máfica, con enriquecimiento relativo en Fe y Mg, y evidencian procesos de hidratación y recrystalización mineral que transforman las fases originales en ensamblajes estables bajo condiciones metamórficas de bajo grado (Winter, 2001; Blatt & Tracy, 1996; Krauskopf, 1979).	Lab307 JBV

Apéndice B. Guía para la gestión y organización de una colección didáctica (tamaño completo).

# ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN DE UNA COLECCIÓN DIDÁCTICA DE ROCAS

— PARA LA ENSEÑANZA DE LAS GEOCIENCIAS —

ESCUELA DE GEOLOGÍA – UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

### 1 USO DE LAS MUESTRAS



-  Uso académico supervisado.
-  Manipulación cuidadosa.
-  Reportar cualquier novedad y devolver en el formato correspondiente.

### 4 INVENTARIO Y DESCRIPCIÓN



Se seleccionan las rocas mejor conservadas y más representativas. Cada muestra incluye:

-  Nombre y código (CGQ-#)
-  Tipo de roca
-  Textura y estructura
-  Mineralogía
-  Ambiente de formación
-  Comentarios adicionales

### 2 ADQUISICIÓN DE MUESTRAS

Fuentes de ingreso:



-  Donaciones
-  Intercambios
-  Salidas de campo
-  Compras

-  Priorizar muestras en buen estado.
-  Representativas.
-  Con información asociada clara.

### 5 REGISTRO VISUAL Y MODELO DIGITAL



**FOTOGRAFÍA ESTANDARIZADA**


- Iluminación controlada
- Escala visible
- Fondo neutro
- Vistas múltiples



**MODELOS 3D**


- Rotación sistemática (ej. cada 5°)
- Apoyo didáctico
- Acceso digital

### 3 GESTIÓN Y DOCUMENTACIÓN



Las muestras se documentan mediante un inventario (Excel o base de datos) que incluye:






- Código (CGQ-#)
- Fotografía
- Descripción
- Textura
- Contexto geológico

 Se excluyen las muestras que no cumplan los criterios establecidos.

### 6 RECOMENDACIONES GENERALES

-  Mantener coherencia en tamaño, escala y formato fotográfico.
-  Incluir escala visible en cada fotografía.
-  Complementar con técnicas instrumentales (ej. lupa, microscopía).
-  Usar nomenclatura y clasificación estandarizada.
-  Asegurar la conservación y almacenamiento adecuado.
-  Facilitar el acceso para fines académicos y pedagógicos.



 <b>OBJETIVO FINAL</b>	 Estandarizar y organizar la colección de rocas.	 Facilitar la enseñanza y el aprendizaje de las geociencias.	 Garantizar la conservación y disponibilidad.	 Promover el uso responsable y el valor académico.
---	---	---	--	---

Apéndice C. Formato para préstamos, diseño para impresión.

**Formato para Préstamos de Muestras de la Colección****1. Información del solicitante****Nombre completo:** .....**Número de identificación / cédula:** .....**Cargo o rol académico/profesional:** .....**Programa, departamento o institución:** .....**Correo electrónico:** .....**Teléfono de contacto:** .....**2. Información del préstamo**

Propósito del préstamo (seleccionar):

 Docencia  Investigación  Exposición  Otro: \_\_\_\_\_**Descripción de las muestras solicitadas (especificar número, tipo, código de inventario si aplica):**.....  
.....**Fechas previstas de entrega y devolución:** .....**Responsable directo del uso de las muestras:** .....**3. Justificación científica o educativa****Breve descripción de cómo se utilizarán las muestras:**.....  
.....  
.....**Relevancia del préstamo para la actividad o investigación:**.....  
.....

**4. Condiciones de manipulación y conservación**

Declaración del solicitante:

*"Me comprometo a manipular, transportar y devolver las muestras de acuerdo con las normas de conservación establecidas por la colección geoquímica, asegurando su integridad y preservación."*

**5. Aprobación institucional (en caso de préstamo externo)**

Nombre y firma del representante institucional: .....

Cargo: .....

Fecha: .....

**6. Autorización del responsable de la colección**

Nombre y firma: .....

Cargo: .....

Fecha: .....

**Observaciones (estado de las muestras, condiciones especiales de préstamo, restricciones):**.....  
.....**7. Registro interno (para uso del responsable de la colección)**

Número de solicitud: .....

Fecha de recepción: .....

Estado de la solicitud:  Aprobada  Rechazada

Fecha de entrega de las muestras: .....

Fecha de devolución prevista: .....

Fecha de devolución real: .....

**Observaciones sobre estado de las muestras al regreso:**.....  
.....