

**INVENTARIO DE MUESTRAS PARA LA COLECCIÓN DE YACIMIENTOS  
MINERALES DE LA ESCUELA DE GEOLOGÍA - UIS**

**José Eduardo Barragán Soto**

**Trabajo de grado en la modalidad pasantía de investigación para optar al título  
de Geólogo**

**Director de proyecto**

**Andrés Mauricio Cáceres Bottia**

**Geólogo M. Sc Geología aplicada**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Geología  
Bucaramanga**

**2023**

**Dedicatoria**

*A Dios que es mi fuerza y mi escudo.*

*A mis padres que merecen lo mejor de este mundo.*

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por su infinita sabiduría y amorosa guía que me han ayudado a avanzar en mi carrera. Su presencia me ha dado la fuerza para seguir adelante y la confianza de que todos mis esfuerzos tendrán el fruto deseado. Estoy agradecido por la protección y cuidado que Él me ha proporcionado a lo largo de este proceso. Su gracia me ha permitido enfrentar los desafíos y alcanzar los objetivos que me he propuesto.

Quiero agradecer a mi familia: Sandra Milena, Jose Luis, Luz Mélida, Jose Julián, Andrés Felipe y Fidel por su apoyo incondicional durante mi trabajo en la tesis, la carrera y mi vida. Su aliento me ha ayudado a mantenerme motivado en mis esfuerzos y me han hecho creer que todo es posible.

También quiero agradecer a los amigos que me dio la vida y la carrera, Gerson, Maverick, Laura Botia, Juan José, Julián Pinzón, Valeria, Nicolás, Ana, Enrique, Marlon y Alejandro por siempre estar ahí para mí, me han apoyado, me animan a seguir adelante, me dan valiosos consejos y me hacen reír cuando más lo necesito. Su amistad significa mucho para mí.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Escuela de Geología y Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA) por proporcionarme los recursos, el espacio y la oportunidad de realizar esta tesis. A la Universidad Industrial de Santander por abrirme sus puertas, formarme como profesional y otorgarme los mejores años de mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a Maverick, mis hermanos, Juanita y a todos los que han ayudado con mi tesis de alguna manera, aunque sea pequeña. Sus contribuciones han sido inestimables para mí y me han ayudado a lograr el éxito. ¡Gracias!

**Tabla de contenido**

Introducción.....	10
1. Objetivos.....	12
1.1 Objetivo General.....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Metodología.....	13
2.1 Recopilación y Selección.....	13
2.2 Diseño y Clasificación.....	13
2.3 Guía de manejo y uso.....	13
2.4 Reporte final.....	14
3. Marco de referencia.....	14
3.1 Clasificaciones de Yacimientos.....	14
3.2 Descripción de Yacimientos.....	15
4. Resultados y Entregables.....	16
4.1 Clasificación de Yacimientos.....	16
4.2 Inventario de la colección.....	20
4.3 Base de Datos.....	26
4.4 Guía para el Manejo y Uso de la colección.....	35
4.5 Ficha Inventario.....	35
6. Conclusiones.....	37
7. Recomendaciones.....	38
Bibliografía.....	39

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de yacimientos .....	19
<b>Tabla 2.</b> Inventario de muestras de la colección.....	20

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> Muestras de Yacimientos Magmáticos en Depósitos Peralcalinos .....	21
<b>Figura 2.</b> Muestras de Yacimientos magmático-hidrotermal en Pórfidos de Au-Cu.....	22
<b>Figura 3.</b> Muestra de yacimientos magmático-hidrotermal en Depósitos Epitermales .....	22
<b>Figura 4.</b> Muestras de Yacimientos magmático-hidrotermal en Depósitos de Skarn de Cobre .....	23
<b>Figura 5.</b> Muestras de Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos en Depósito Mississippi Valley Type .....	23
<b>Figura 6.</b> Muestras de Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos en Depósito Esmeraldas...	24
<b>Figura 7.</b> Muestra de Yacimientos sedimentarios Singenéticos en Depósito de Carbón.....	24
<b>Figura 8.</b> Muestra de Yacimientos sedimentarios Singenéticos en Depósito de Areniscas Caoliniticas .....	25
<b>Figura 9.</b> Muestra de Yacimientos Residuales en Depósitos de Lateritas de Ni-Fe.....	25
<b>Figura 10.</b> Entidad identificación para una muestra de mano .....	27
<b>Figura 11.</b> Entidad Identificación para una sección delgada.....	27
<b>Figura 12.</b> Entidad Georeferenciación .....	28
<b>Figura 13.</b> Entidad Georeferenciación .....	29
<b>Figura 14.</b> Entidad Caracterización del depósito para muestra de mano .....	31
<b>Figura 15.</b> Entidad Caracterización del depósito para una sección delgada .....	32
<b>Figura 16.</b> Entidad Metalogénesis .....	33
<b>Figura 17.</b> Entidad Metalogénesis .....	33
<b>Figura 18.</b> Entidad Economía .....	34
<b>Figura 19.</b> Entidad Anexos.....	35
<b>Figura 20.</b> Ficha de inventario .....	36

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Base de datos de la colección de Yacimientos Minerales.<sup>1</sup>

Apéndice B. Guía del usuario para el manejo y gestión de la colección de Yacimientos Minerales.<sup>2</sup>

Apéndice C. Ficha técnica de inventario.<sup>3</sup>

Apéndice D. Catálogo de muestras y descripciones de la colección de Yacimientos Minerales.<sup>4</sup>

---

<sup>1 2 3 4</sup> Los apéndices pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS o visualizarse [aquí](#).

### Resumen

**Título:** Inventario de muestras para la colección de yacimientos minerales de la Escuela de Geología – UIS\*

**Autor:** José Eduardo Barragán Soto

**Palabras Claves:** Yacimientos Minerales, Colección Geológica, Base de Datos

**Descripción:** Una colección geológica es el registro tangible de los eventos formadores de roca y sus componentes. Desde un enfoque metalogénico, es la evidencia de los enriquecimientos mineralógicos en las rocas, generados por procesos ígneos, sedimentarios, metamórficos y tectónicos. Su organización y conservación en inventarios de muestras de mano y secciones delgadas facilita un mayor alcance del conocimiento en torno a los yacimientos minerales.

Con el fin de contribuir en los procesos académicos de los estudiantes, se hizo necesario la creación de una base de datos que recopila descripciones detalladas, así como una guía de usuario para la administración de una colección de Yacimientos Minerales.

Dicha colección, compuesta por muestras representativas de depósitos minerales principalmente colombianos, está diseñada como material de consulta para alumnos y docentes.

Las muestras están clasificadas con un lenguaje pedagógico, claro y metalogénico para facilitar el reconocimiento de rocas, estructuras, minerales, texturas y alteraciones de yacimientos minerales. La finalidad de esta colección es ofrecer a los estudiantes del curso una útil herramienta para comprender el componente teórico, permitiéndoles explorar y visualizar la información sobre los yacimientos minerales contenidos en ella.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología. Director: Andrés Mauricio Cáceres Bottia. Geólogo M. Sc. Geología aplicada.

### Abstract

**Title:** Inventory of samples for the collection of mineral deposits of the School of Geology – UIS\*

**Author:** José Eduardo Barragán Soto

**Key Words:** Mineral deposits, Geological collection, Database

**Description:** A geological collection is the tangible record of rock-forming events and their components. From a metallogenic approach, it is the evidence of mineralogical enrichments in rocks, generated by igneous, sedimentary, metamorphic and tectonic processes. Its organization and conservation in inventories of hand samples and thin sections facilitates a wider scope of knowledge around mineral deposits.

In order to contribute to the academic processes of the students, it became necessary to create a database that collects detailed descriptions, as well as a user guide for the management of a collection of Mineral Deposits.

This collection, composed of representative samples of mineral deposits mainly Colombian, is designed as reference material for students and teachers. The samples are classified with a pedagogical language, clear and metallogenic to facilitate the recognition of rocks, structures, minerals, textures and alterations of mineral deposits. The purpose of this collection is to offer students of the course a useful tool to understand the theoretical component, allowing them to explore and visualize the information about the mineral deposits contained in it..

---

\*Degree work

\*\*Industrial University of Santander. Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Andrés Mauricio Cáceres Bottia. Geologist M. Sc. Applied Geology.

### **Introducción**

En el estudio de los yacimientos minerales, el trabajo de reconocimiento de campo, el análisis de muestras y el conocimiento teórico son imprescindibles para conocer la composición, estructura y distribución de los minerales que los constituyen, así como el origen de los elementos que los componen y los mecanismos que dieron lugar a su precipitación (Miquel, 2013).

Con el fin de enriquecer a dicho conocimiento, la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander ha ido trabajando en un valioso patrimonio geológico, que incluye muestras correspondientes a yacimientos minerales, las cuales han sido recolectadas a lo largo de los años durante las salidas de campo, trabajos de grado y donaciones de particulares.

Teniendo en cuenta las consecuencias de la pandemia y que esta ha impedido que los estudiantes de geología puedan realizar ejercicios prácticos acerca de los depósitos minerales, en respuesta a ello, junto con el Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada (GIGBA) se pensó esta colección como una nueva herramienta metodológica para correlacionar las enseñanzas teóricas de la asignatura y beneficiar el desempeño en la exploración de los recursos minerales y energéticos. Así mismo, se convertirá en un patrimonio geológico de la escuela que debe ser gestionado correctamente mediante una guía para su uso y conservación.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

La presente pasantía de investigación busca elaborar una colección de muestras representativas de depósitos minerales haciendo uso de estos ejemplares, con el fin de proporcionar al estudiante una herramienta para sensibilizar, asimilar y tener una visión integral de la información teórica que se les está presentando. Para ello, la colección cuenta con ejemplares de rocas, estructuras, mineralizaciones y alteraciones de yacimientos minerales, descritos y clasificados en una base de datos con un lenguaje claro, pedagógico y con un enfoque metalogénico.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Realizar el inventario y descripción de rocas de propiedad de la escuela de geología relacionadas con la asignatura de yacimientos minerales clasificándolas desde un enfoque metalogénico.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Seleccionar ejemplares de yacimientos minerales presentes en la Escuela de Geología, producto de trabajos de grado, capítulos estudiantes o donaciones de empresas mineras que complementen y diversifiquen la colección.

Diseñar una base de datos de depósitos minerales que reúna los aspectos más relevantes para identificar, localizar, caracterizar, contextualizar y clasificar los ejemplares, tanto muestras de mano como secciones delgadas.

Elaborar una guía para el uso y gestión de la colección de yacimientos minerales.

## **2. Metodología**

Este trabajo de grado en modalidad de pasantía de investigación se llevó a cabo en cuatro fases. En la primera, se realizó la recopilación y selección de una variedad de muestras de la Escuela. Durante la segunda, se diseñó una base de datos con todas las características que describen y clasifican los yacimientos minerales. Para la tercera, se creó la guía para el uso, manejo y ampliación de la colección de yacimientos. Finalmente, se elaboró el informe final del inventario de muestras.

### **2.1 Recopilación y Selección**

Se realizó la recolección de los ejemplares geológicos y se hizo la selección de aquellos más representativos de los yacimientos minerales presentes en las muestras de mano propiedad de la Escuela. Además, se hizo una revisión de las tesis dedicadas a los depósitos minerales, de las cuales se seleccionaron las secciones delgadas características de los yacimientos.

### **2.2 Diseño y Clasificación**

Partiendo de la base de datos de depósitos minerales de Colombia, creada por el Servicio Geológico Colombiano en el 2018 (Celada et al, 2018), se diseñó una base de datos para la recopilación de yacimientos minerales con un enfoque metalogénico, que permite describir cada una de las muestras seleccionadas. Se desarrolló una clasificación de tipos de yacimientos minerales, que contemple todas las clasificaciones existentes, con el fin de catalogar los ejemplares y establecer la variedad de muestras que se pueden reunir.

### **2.3 Guía de manejo y uso**

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

En esta etapa metodológica, se desarrolló una guía para el manejo de la base de datos, en la cual se detalló su estructura, la generalización de las entidades y la descripción de los atributos. La distribución de la información sobre los yacimientos se estableció mediante entidades, mientras que los atributos describen con un enfoque metalogénico las muestras.

### **2.4 Reporte final**

Una vez clasificado todo el material dentro de la base de datos de la colección de yacimientos, se entrega junto con la guía como un inventario de las muestras.

## **3. Marco de referencia**

Un depósito mineral es considerado como la concentración anómala de elementos o minerales en la corteza, mientras que los yacimientos minerales son los depósitos cuya explotación representa un beneficio económico. El enriquecimiento en la corteza de estos minerales se encuentra favorecido por los procesos geológicos como la generación o cristalización de magmas, circulación de fluidos hidrotermales, eventos metamórficos, procesos sedimentarios y meteorización de las rocas. (Miquel C. , 2013).

### **3.1 Clasificaciones de Yacimientos**

La clasificación de los yacimientos minerales sin duda alguna está llena de muchas dificultades relacionadas con el gran número de variables litológicas, estructurales, químicas o tectónicas, dentro del conocimiento de los depósitos, las cuales interactúan para obstaculizar la interpretación de los datos. Cualquier esquema que se plantee, debe tener en cuenta que en la formación de los depósitos minerales actúan uno o más procesos fundamentales (Pirajno, 2016).

Una de las posibles agrupaciones de los depósitos minerales se encuentra basada en su entorno geodinámico, estableciendo conexiones entre los depósitos y la evolución de la Tierra.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Este tipo de clasificación permite distribuir temporalmente a los depósitos minerales dentro del ciclo del supercontinente en un marco de la evolución de la tectónica de placas. (Groves & Bierlein, 2007).

Otra posibilidad de clasificar los depósitos es mediante los procesos geológicos, basados en los factores genéticos. Lindgren (1933) establece una clasificación genética de los depósitos minerales, donde la temperatura juega un papel importante en el origen de los minerales según sus rangos. Su esquema de clasificación se basa en los depósitos sedimentarios y detríticos, la concentración de sustancias contenidas en las rocas, meteorización residual, circulación de aguas profundas, depósitos conectados y no conectados con rocas ígneas, productos de diferenciación magmática, el metamorfismo y el enriquecimiento superficial.

Otro diferente intento llevado a cabo por Cox & Singer (1986), clasifican los depósitos según el entorno geológico-tectónico mediante un diagrama de árbol, con una primera división entre ambientes ígneos, sedimentarios, metamórficos regionales y superficiales, seguido de la división según la ubicación tectónica.

### 3.2 Descripción de Yacimientos

Recientemente, tomando como base los modelos descriptivos propuestos por Cox & Singer (1986), el Servicio Geológico Colombiano en el 2018 diseñó una base de datos para el mapa metalogénico de Colombia (Celada et al, 2018). En la Base de Datos de Depósitos y Ocurrencias Minerales de Colombia (BDDMC), se definieron 9 entidades, cada una de ellas con una serie de atributos que facilitan detallar y describir las características asociadas a los depósitos, manifestaciones u ocurrencias minerales de Colombia. Las entidades son:

**Identificación**, contiene 3 atributos a partir de los cuales se puede identificar el depósito y manifestación u ocurrencia mineral.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Información General**, contiene 25 atributos que describen las características necesarias para la ubicación exacta, el estatus minero, localización geográfica y político administrativa e información en cuanto a la confianza y cargue del dato

**Información del Depósito u Ocurrencia Mineral**, compuesta por 35 atributos para caracterizar el depósito, como productos de interés económico, minerales principales y de ganga, alteración hidrotermal, estilos de la mineralización, etc.

**Información de la Roca Huésped** compuesta por 13 atributos para categorizar la roca hospedante de las mineralizaciones.

**Información del Ambiente Geológico**, agrupa 10 atributos con el fin de asignar un ambiente geológico al depósito, con base en los modelos evolutivos más aceptados por la comunidad geológica.

**Información Mapa Metalogénico**, consta de 6 atributos para definir las unidades metalogénicas (dominios, provincias, subprovincias, cinturones y distritos metalogénicos), y las épocas magmáticas.

**Descripción del Depósito y Bibliografía y Referencias** definidas por un solo atributo. La última entidad, **aspectos económicos**, reúne en 10 atributos relacionados con los aspectos económicos: categorización, tenor de corte, etc (López-Isaza et al, 2018).

## 4. Resultados y Entregables

### 4.1 Clasificación de Yacimientos

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

El alcance de las muestras que integran y son descritas en la colección, obedece a una clasificación de depósitos minerales generalizada para agrupar una serie de yacimientos tipo basado en los procesos geológicos y afinidad litológica con roca fuente que permiten su formación.

Esta clasificación de yacimientos minerales (Tabla 1) se definió teniendo en cuenta las clasificaciones previas realizadas por Cox & Singer (1986) para el United States Geological Survey (USGS) fundamentada en el ambiente geológico-tectónico de los yacimientos minerales y Lefebure et al. (1994) con base a los grupos de yacimientos minerales del British Columbia Geological Survey (BCGS). A continuación se describe la clasificación:

### **Yacimientos Magmáticos**

Son aquellos depósitos minerales concentrados en rocas ígneas y derivados de procesos ígneos de diferenciación magmática como fraccionamiento de cristales, inmiscibilidad líquida, transporte por vapor, difusión termogravitacional, asimilación, y mezclas de magmas.

### **Yacimientos Magmático – Hidrotermal**

Lo integran los yacimientos minerales cuya formación involucra la participación de soluciones acuosas calientes o aguas primarias derivadas de procesos ígneos que dan origen a rocas ígneas (Maksaev, 2001).

### **Yacimientos Metamórficos**

Estos yacimientos tienen su origen debido al metamorfismo de rocas. El interés económico de estos yacimientos se encuentra en el sector industrial.

### **Yacimientos Metamórfico- Hidrotermal**

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Para estos yacimientos, los fluidos hidrotermales formadores del depósito, provienen de aguas liberadas por cambios mineralógicos de minerales hidratados a minerales anhidros durante el metamorfismo de rocas. (Maksaev, 2001)

### **Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos**

Se clasifican los yacimientos que se encuentran hospedados en rocas sedimentarias y su concentración mineral se originó después de la formación de la roca.

### **Yacimientos Sedimentarios Singenéticos**

Son aquellos yacimientos alojados en rocas sedimentarias, cuya concentración mineral se produjo al mismo tiempo de la formación de la roca caja. Se incluyen los depósitos clásticos y por precipitación química de minerales.

### **Yacimientos Residuales**

Se encuentran los yacimientos derivados de la meteorización química o física, por medio de la lixiviación de elementos solubles y oxidación de las rocas dejando concentraciones de elementos insolubles en el material restante (Maksaev, 2001).

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Tabla 1***Clasificación de yacimientos*

<b>Clasificación Yacimientos</b>	<b>Depósitos Minerales</b>
	Diamantes
	Sulfuros de Ni-Cu-PGE
	Cromo Podiforme
	Cromo Estratiforme
	Uranio - Alaskitas
	Fe-Ti - Anortositicas
	Intrusivos Graníticos
	Carbonatitas
	Greissen
	Peralcalinas
	Tipo RIR
	Pórfido de Cu-Au
	Skarn de Au
	VMS-Au
	IOCG
	Carlin
	Epitermales
	Mármol
	Corindón
	Grafito
	Fluoritas
	Au Orogenico
	MVT
	SSC
	Uranio en cuencas
	Esmeraldas
	Placeres
	BIF
	Sedex
	Yeso
	Carbon
	Areniscas
	Caoliniticas
	Travertino
	Caolinita
	Laterización Ni-Fe
	Bauxitas

*Nota:* Tabla elaborada con base a (Cox & Singer, 1986) y (Lefebure, Alldrick, Simandl, & Ray, 1994)

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**4.2 Inventario de la colección**

Del patrimonio de la Escuela de Geología se seleccionaron 10 muestras de mano en buenas condiciones que proporcionan información relevante sobre yacimientos. Además, de trabajos de grado se adjuntaron a la colección 3 muestras de mano y 10 secciones delgadas. Finalmente, se recibió la donación de 4 muestras de mano por parte del capítulo estudiantil Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA).

El total de ejemplares inventariados (Tabla 2) para dar inicio a la colección es de 27, siendo 17 muestras de mano y 10 secciones delgadas. Se encuentran en proceso de revisión y validación 8 muestras correspondientes a tesis de grado por culminar y donación de particulares.

**Tabla 2***Inventario de muestras de la colección*

<b>EJEMPLARES</b>	<b>SECCIONES DELGADAS</b>	<b>MUESTRA DE MANO</b>
SAN MATIAS PORFIDO		1
CHILE - PORFIDO CU		1
LA COLOSA – PORFIDO		2
CERROMATOSO - LATERITA		2
EPITERMAL		1
FM TIBET - CAOLINITA		1
MUESTRAS SKARN-SGA		4
MVT - TESIS	4 (Con testigos)	0
ROCAS PERALCALINAS - TESIS	6	3
CARBÓN		1
ESMERALDAS		1

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

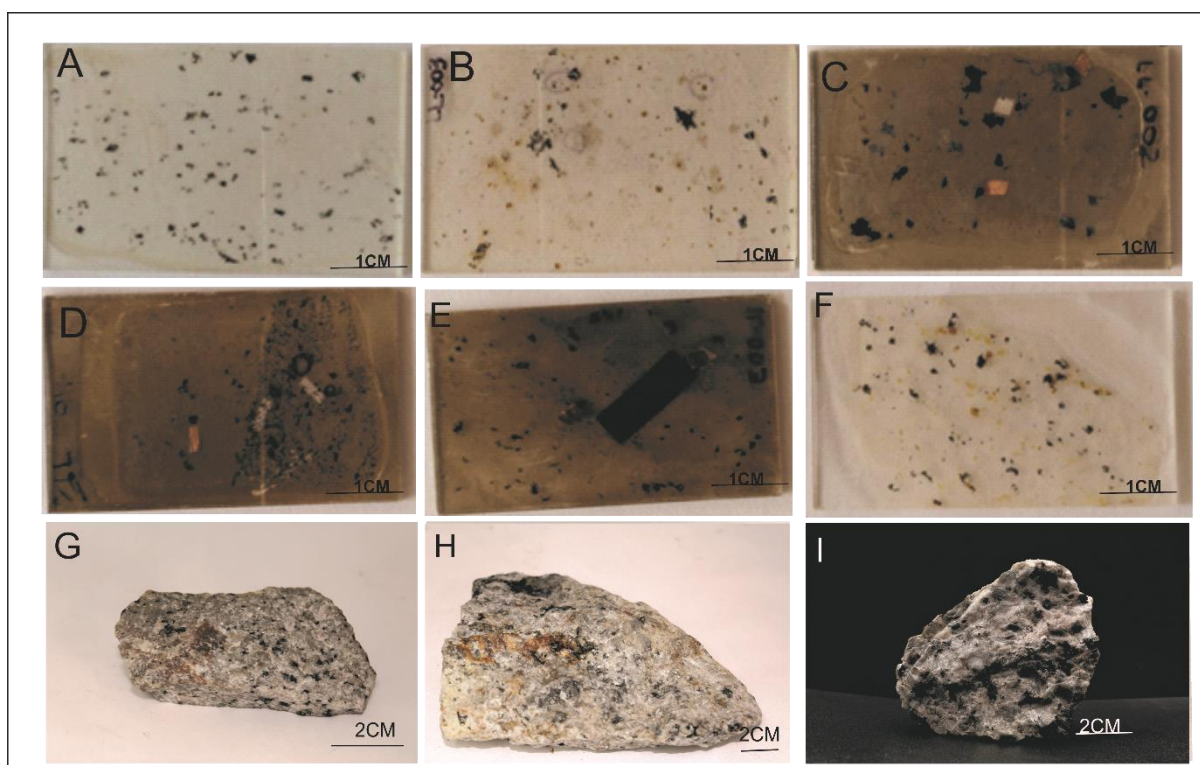
A continuación se presenta el inventario digital de muestras que constituyen la colección de yacimientos minerales. Los datos se han agrupado de acuerdo al tipo de yacimiento al cual pertenecen las muestras y al nombre del depósito. La colección cuenta con muestras que abarcan 5 de los 7 tipos de yacimientos y un total de 9 depósitos minerales.

### Yacimientos Magmáticos

Para los yacimientos magmáticos, se cuenta con 9 muestras (Figura 1), 6 secciones delgadas y 3 de mano, propias del yacimiento peralcalino de la Sienita Nefelínica de San José del Guaviare.

#### *Figura 1*

#### *Muestras de Yacimientos Magmáticos en Depósitos Peralcalinos*



**Nota.** La imagen A corresponde a la muestra YM-01-01, la imagen B a la muestra YM-01-02, la imagen C a la muestra YM-01-03, la imagen D a la muestra YM-01-04, la imagen E a la muestra YM-01-05, la imagen F a la muestra YM-01-06 para las secciones delgadas. Para las muestras de mano las imágenes G, H e I corresponden a las muestras YM-01-07, YM-01-08 y YM-01-09 respectivamente dentro de la colección.

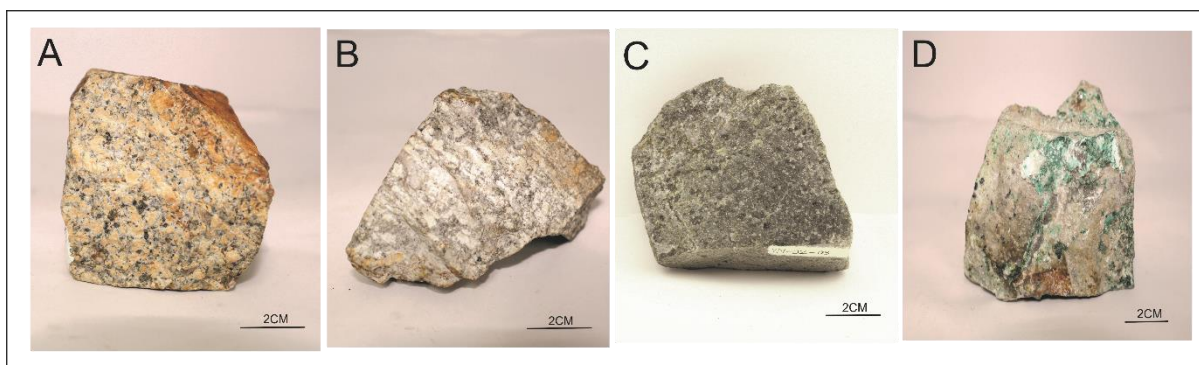
## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Yacimientos Magmático – Hidrotermal**

Para este grupo de yacimientos se tienen 4 ejemplares de pórfidos de Au-Cu (Figura 2) de muestras de mano que corresponden al Proyecto minero La Colosa, Proyecto San Matías y Distrito Minero de Chuquicamata en Chile. También contamos con 1 muestra de depósitos epitermales (Figura 3) y 4 muestras de Skarn de Cobre (Figura 4).

**Figura 2**

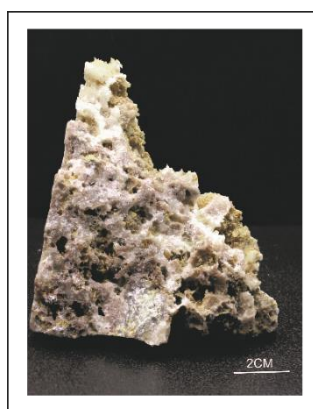
*Muestras de Yacimientos magmático-hidrotermal en Pórfidos de Au-Cu*



**Nota.** Las imágenes A y B corresponden a las muestras YM-02-01 y YM-02-02 del proyecto minero La Colosa. La imagen C corresponde a la muestra YM-02-03 del proyecto San Matías y la imagen D corresponde a la muestra YM-02-04 del Distrito Minero de Chuquicamata en Chile.

**Figura 3**

*Muestra de yacimientos magmático-hidrotermal en Depósitos Epitermales*

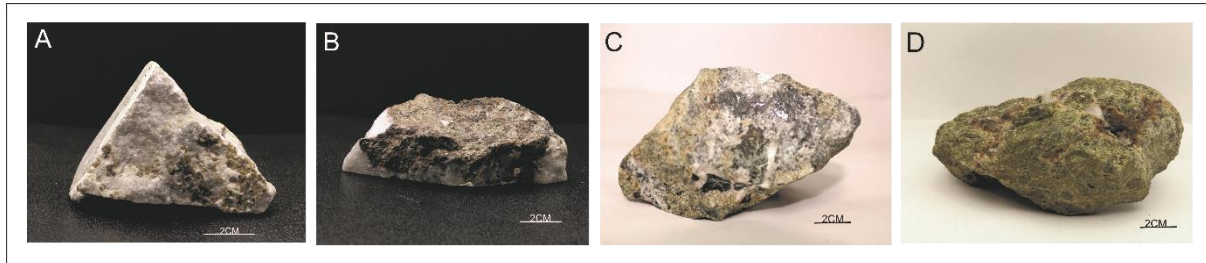


**Nota.** La figura 3 corresponde a la muestra YM-03-01 dentro de la colección.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 4**

*Muestras de Yacimientos magmático-hidrotermal en Depósitos de Skarn de Cobre*



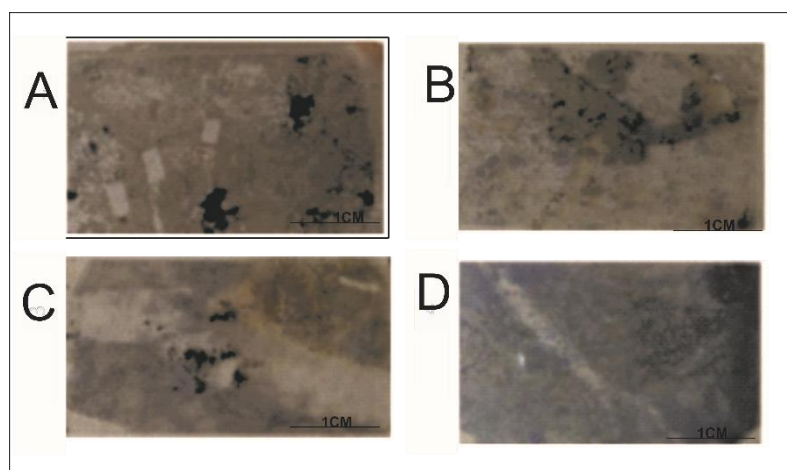
*Nota. Las imágenes A, B, C y D corresponden a las muestras YM-04-01, YM-04-02, YM-04-03, YM-04-04 respectivamente dentro de la colección.*

**Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos**

Dentro de este grupo de yacimientos contamos con 4 secciones delgadas (Figura 5) relacionadas al estudio de una mineralización de Mississippi Valley Type y una muestra de mano (Figura 6) de un depósito de esmeraldas.

**Figura 5**

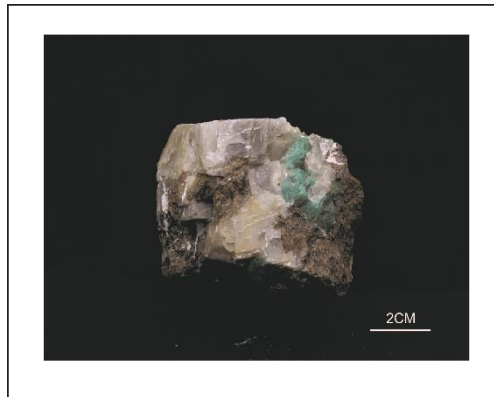
*Muestras de Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos en Depósito Mississippi Valley Type*



*Nota. Las imágenes A, B, C y D corresponden a las muestras YM-05-01, YM-05-02, YM-05-03, YM-05-04 respectivamente dentro de la colección.*

**Figura 6**

*Muestras de Yacimientos Sedimentarios Epigenéticos en Depósito Esmeraldas*



*Nota. La figura 6 corresponde a la muestra YM-07-01 dentro de la colección.*

**Yacimientos Sedimentarios Singenéticos**

Para este tipo de yacimientos se adjuntaron una muestra del depósito de areniscas caoliniticas (Figura 8) de la Formación El Tíbet y otra muestra de un depósito de Carbón (Figura 7).

**Figura 7**

*Muestra de Yacimientos sedimentarios Singenéticos en Depósito de Carbón*

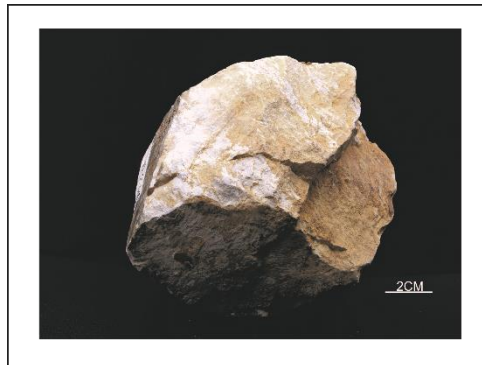


*Nota. La figura 7 corresponde a la muestra YM-08-01 dentro de la colección.*

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 8**

*Muestra de Yacimientos sedimentarios Singenéticos en Depósito de Areniscas Caoliniticas*



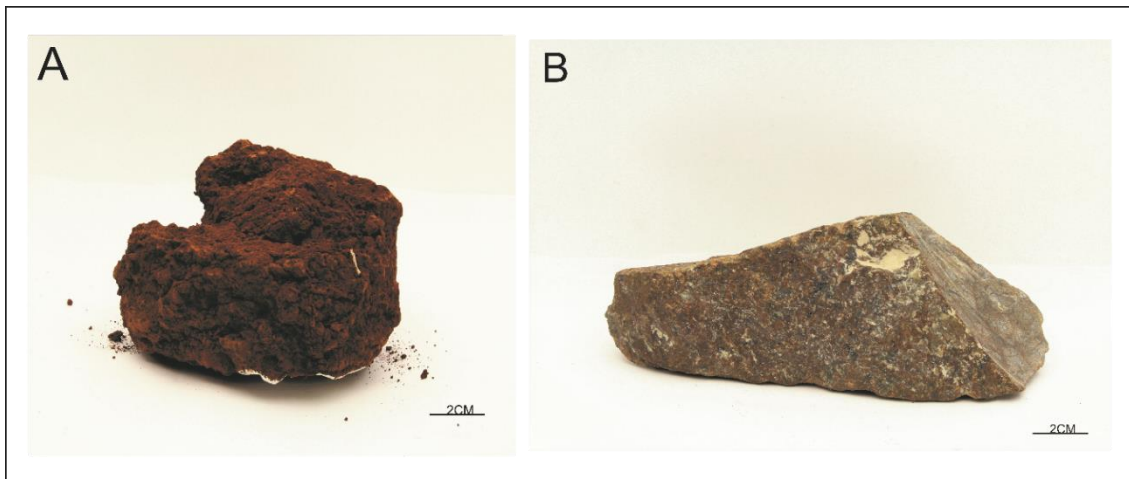
*Nota. La figura 8 corresponde a la muestra YM-10-01 dentro de la colección.*

**Yacimientos Residuales**

Para los yacimientos residuales se cuentan con 2 muestras de mano provenientes del depósito de Lateritas de Ni-Fe de Cerro Matoso (Figura 9).

**Figura 9**

*Muestra de Yacimientos Residuales en Depósitos de Lateritas de Ni-Fe*



*Nota. Las imágenes A y B corresponden a las muestras YM-12-01 y YM-12-02 respectivamente del depósito de Cerro Matoso dentro de la colección.*

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**4.3 Base de Datos**

La información de cada yacimiento mineral es tan diversa y amplia que requirió establecer un formato para agrupar y estandarizar los atributos esenciales de cada depósito relacionados con la localización, caracterización, metalogénesis e interés económico. Este formato brinda una estructura ordenada de almacenamiento para la descripción de las muestras de la colección.

Para el diseño de la base de datos de la colección de yacimientos minerales, se tomó como referente la Base de Datos de Depósitos y Ocurrencias Minerales de Colombia (Celada A, y otros, 2018) junto con la *Guía para los autores de perfiles de yacimientos minerales* (Lefebure, Alldrick, Simandl, & Ray, 1994).


Las descripciones de los ejemplares se organizaron dentro de una base de datos en Excel (Apéndice A), estructurada a partir de 6 entidades de mayor orden, cada una compuesta por una serie de atributos que permiten identificar, localizar, caracterizar, contextualizar y clasificar los ejemplares, tanto muestras de mano como secciones delgadas. A continuación se exponen unos ejemplos.

**Identidad**

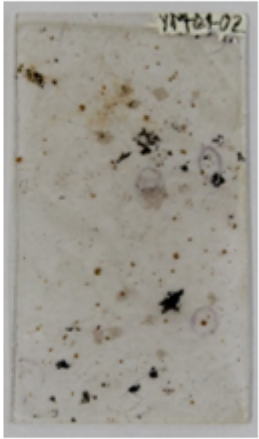
Esta entidad hace referencia a la información necesaria para reconocer y registrar las muestras de la colección y de los depósitos (Figura 10 y Figura 11).

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 10***Entidad identificación para una muestra de mano*

IDENTIFICACIÓN						
Tipo de Depósito	Muestras			CÓDIGO BASE	CÓDIGO COLECCIÓN	Fotografía
	Yacimiento	Alteración	Estructura			
Magmático Hidrotermal	Porfido Au - Cu	Potasica	Vetillas Tipo B Mag- Cpy-Py-Qtz	MOSA-7	YM-02-03	

**Nota.** La figura 10 corresponde a una descripción en la base de datos.**Figura 11***Entidad Identificación para una sección delgada*

IDENTIFICACIÓN						
Tipo de Depósito	Muestras			CÓDIGO BASE	CÓDIGO COLECCIÓN	Fotografía
	Yacimiento	Alteración	Estructura			
Magmático	Peralcalinas	Deuterica		LL-002	YM-01-02	

**Nota.** La figura 11 corresponde a una descripción en la base de datos.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Georeferenciación**

En esta entidad se agrupan los atributos para definir lo más preciso posible la localización de las muestras del yacimiento (Figura 12 y Figura 13).

**Figura 12**

*Entidad Georeferenciación*

GEOREFERENCIACIÓN				
Latitud	Longitud	Departamento	Municipio	Localización
		Córdoba	Puerto Libertador	Proyecto San Matias, Deposito Satellite Montiel East

**Nota.** La figura 12 corresponde al ejemplo de la descripción en la base de datos de la muestra YM-02-03.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 13***Entidad Georeferenciación*

GEOREFERENCIACIÓN				
Latitud	Longitud	Departamento	Municipio	Localización
2,44090°N	72,70332°W	Guaviare	San Jose del Guaviare	Sienita Nefelínica de San José del Guaviare

**Nota.** La figura 13 corresponde al ejemplo de la descripción en la base de datos de la muestra YM-01-02.

**Caracterización del depósito**

Esta entidad está compuesta por los atributos que describen los minerales de interés económico, commodities, subproductos, minerales ganga, minerales de alteración, composición, edad y métodos de datación que permiten caracterizar las muestras dentro del yacimiento (Figura 14 y Figura 15).

**Metalogénesis**

En esta entidad se reúnen los atributos para el estudio de la génesis de las muestras del depósito mineral, con énfasis en sus relaciones espaciales y temporales respecto a las características geológicas de la corteza terrestre (Figura 16 y Figura 17).

**Economía**

En esta entidad se describen los aspectos económicos de las muestras, la aplicabilidad de los minerales económicos principales y el interés económico de su exploración y explotación en el mundo (Figura 18).

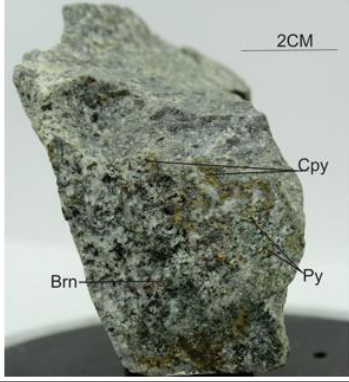
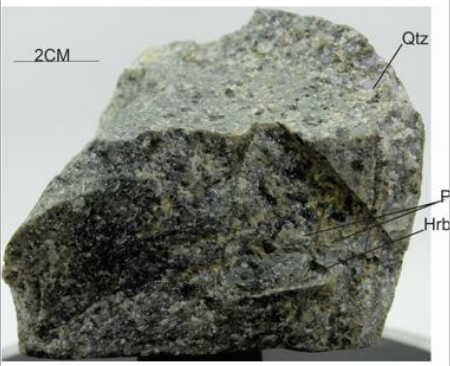
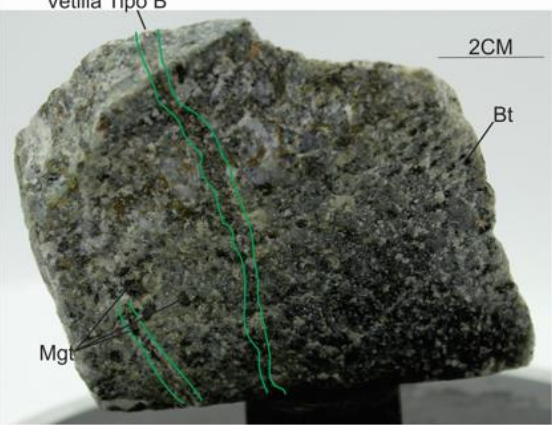
**Anexos**

Esta entidad hace referencia a datos adicionales de las muestras, fuera de un contexto geológico como lo son los datos de quien dona las muestras, la disponibilidad en físico de las muestras, etc (Figura19).

INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Figura 14

Entidad Caracterización del depósito para muestra de mano

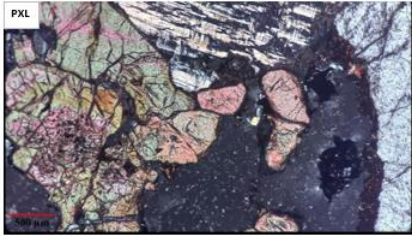
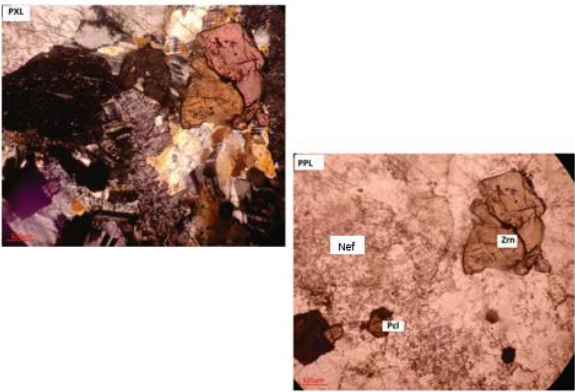
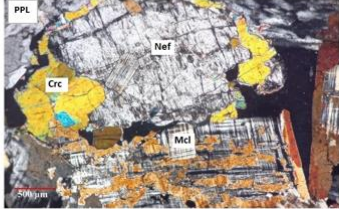
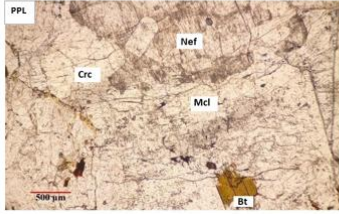
CARACTERIZACIÓN DEL DEPÓSITO											
Minerales Económicos Principales				Comodities				Minerales Ganga			
MEP_1	MEP_2	MEP_3		COM_1	COM_2	COM_3	COM_4	MG_1	MG_2	MG_3	
Calcopirita (Cpy)	Pirita (Py)	Bornita (Brn)		Cobre	Oro			Cuarzo (Qtz)	Plagioclasa (Plg)	Hornblenda (Hrb)	
Minerales Secundarios				Minerales de Alteración Hidrotermal				Composición de la Muestra (%)	Método de Clasificación	Edad	Método de Datación
MS_1	MS_2	MS_3	MS_4	MAH_1	MAH_2						
				Magnetita (Mgt)	Biotita (Bt)			Cuarzo (30%) Plagioclasa (40%) Hornblenda (4%) Biotita (2%) Magnetita (15%) Calcopirita (8%) Pirita (1%) Bornita (<1%)	Diagrama Strekeisen	72.4 ± 4.3 Ma	U-Pb edades del porfido hornblenda (Manco et al., 2019)

Nota. La Figura 14 corresponde al ejemplar de la descripción en la base de datos de la muestra YM-02-03.

INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Figura 15

Entidad Caracterización del depósito para una sección delgada

Minerales Económicos Principales					Comodities				
MEP_1	MEP_2				COM_1	COM_2	COM_3	COM_4	
Pirocloro (Pol)	Zircón (Zrn)				Niobio	Tantalio	Uranio	Zirconio	
CARACTERIZACIÓN DEL DEPÓSITO									
Minerales Ganga					Minerales Secundarios				
MG_1	MG_2	MG_3	MG_4	MG_5	MS_1	MS_2	MS_3	MS_4	
Microclina (Mcl)	Nefelina (Nef)	Plagioclasa (Plg)	Biotita (Bt)	Magnetita-Ilita					Sericita
Minerales de Alteración Hidrotermal					Composición de la Muestra (%)	Método de Clasificación	Edad	Método de Datación	
MAL_1	MAL_2	MAL_3	MAL_4						
Cancrinita (Crc)	Analcima	Fluorita	 		Microclina (61.9%), Nefelina (22.3%), Plagioclasa (6.63%), Biotita (3.4%), Magnetita-Ilmenita (2.27%), Pirocloro (<1%), Zircón (1.23%)	Diagrama Streckeisen	577.9 ± 6.3 - 9 Ma (Ediacarano, Neoproterozoico)	Método U/Pb Arango Mejía, M. I., Zapata García, G., & Martens, U. (2012)	

**Nota.** La Figura 15 corresponde al ejemplo de la descripción en la base de datos de la muestra YM-01-02.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Figura 16

## Entidad Metalogénesis

METALOGÉNESIS						
Ambiente Tectónico	Canales Transporte	Trampa	Roca Huésped	Evento	Condiciones de Formación	Génesis
Zona de subducción	Control Estructural	Intercambio Cationico por un fluido hipersalino	Porfido Dioritico	Acreción de Terreno Oceanico (Calima)	Temperatura 400-600°C Ph Neutro-Alcalino Intrusiones altamente Oxidadas	Un fluido salino exsuelto de las roca intrusiva en altas temperaturas es el encargado del intercambio cationico para la alteración postasica. La formación de biotita y magnetita hidrotermal se da a partir de minerales ferromagnesianos como hornblenda y magnetita primaria. La gran cantidad de magnetita hidrotermal reconoce estadios profundos para su formación y condiciones oxidadas. La composición de los porfidos de la zona es de andesita-diorita-tonalita calco alcalina baja en K.

**Nota.** La Figura 16 corresponde al ejemplo de la descripción en la base de datos de la muestra YM-02-03.

Figura 17

## Entidad Metalogénesis

METALOGÉNESIS						
Ambiente Tectónico	Canales Transporte	Trampa	Roca Huésped	Evento	Condiciones de Formación	Génesis
Granitos intraplaca (WPG)  Ambientes anorogénicos posiblemente relacionados a rift	Fusión de rocas circundantes para la acumulación de incompatibles	Cristalización fraccionada Pérdida progresiva de halógenos	Sienita nefelínica, leucocráticas principalmente de coloración crema con algunas zonas en tonalidades grises y rosa claro debido a la presencia de feldespato alcalino, junto con otras zonas de tonalidades oscuras por la concentración de minerales máficos. Se observan características de roca holocristalina, fanerítica de grano medio a grueso con textura hipidiomórfica inequigranular, y tamaños de grano que varían de fino a grueso.	Intrusión ignea	Ambientes reducidos e inicialmente anhidros con extrema cristalización fraccionada y abundante presencia de halógenos, volátiles e incompatibles.	Estos sistemas corresponden al resultado de un proceso de extrema cristalización fraccionada favorecida por la gran presencia de volátiles y halógenos que contribuyeron a su desarrollo junto con un enfriamiento progresivo del sistema hasta alcanzar bajas temperaturas. Las altas concentraciones de halógenos permiten a los minerales con una estructura cristalina más sencilla formarse en los estadios iniciales del sistema, es por esto que la arfvedsonita al presentar una estructura de cadena simple, cristaliza primero, permitiendo posteriormente la cristalización de otras fases minerales como feldespatos y nefelina una vez se saturan en el sistema. La cristalización de fases minerales como las mencionadas permiten la concentración de elementos incompatibles y posterior cristalización de minerales enriquecidos en ellos como los pirocloros y zircones, hospedadores de la mineralización de Nb, U, Ta y Zr.

**Nota.** La Figura 17 corresponde al ejemplo de la descripción en la base de datos de la muestra YM-01-02.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 18***Entidad Economía*

A	ECONOMÍA
Interés Económico	
<p>De la producción mundial de oro el 70 % se utiliza en joyería, el 20 % en reservas e inversiones y solo al 10 % se le da usos industriales.</p> <p>El cobre es el tercer metal más consumido en el mundo actual por sus aplicaciones en la industria eléctrica, electrónica, Transporte, Construcción y siderúrgica</p>	<p>Materias primas críticas/ Minerales estratégicos en área como la medicina, energía, hidrocarburos, tecnología y computación.. Fundamentales en la fabricación de alta tecnología, aceros inoxidables, prótesis y fuentes de energía.</p>

**Nota.** Las imágenes A y B corresponden a ejemplos de la descripción en la base de datos de las muestras YM-02-03 e YM-01-02 respectivamente.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

**Figura 19***Entidad Anexos*

A	ANEXOS	B	ANEXOS
<b>Observaciones</b>		<b>Observaciones</b>	
<p style="text-align: center;">Referencia: NI 43-101 TECHNICAL REPORT AND PREFEASIBILITY STUDY, SAN MATÍAS COPPER-GOLD-SILVER PROJECT, COLOMBIA</p>		<p><b>Muestras obtenidas del trabajo de grado:</b> Avendaño Gómez, Muñoz Martínez, L. J., Cáceres Bottía, A. M., De Bedout Ordóñez, J. D., &amp; Palmera Sánchez, L. (2022). Caracterización petrográfica, geoquímica y de inclusiones fluidas en la mineralización de Niobio, Uranio y Tantalio de la Sienita Nefelínica en San José del Guaviare, Colombia. Universidad Industrial de Santander.</p>	

**Nota.** Las imágenes A y B corresponden a ejemplos de la descripción en la base de datos de las muestras YM-02-03 e YM-01-02 respectivamente.

#### 4.4 Guía para el Manejo y Uso de la colección

Se elaboró un manual de usuario con el fin de respaldar el adecuado manejo y gestión de la colección junto con la administración de la base de datos, en el cual se encuentran los principales conceptos y definiciones establecidas para las descripciones de las muestras junto con las clasificaciones seleccionadas. Además, se describieron las condiciones y lineamientos para actualizar el inventario por medio de un validador. Este documento se encuentra en el Apéndice B.

#### 4.5 Ficha Inventario

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Se elaboró una ficha de inventario (Figura 20) que acompaña a las muestras de la colección para brindar al usuario una primera idea de lo que va a encontrar. Esta ficha consta de los atributos de la entidad Identificación junto con un código QR que le permite al estudiante o docente ingresar a la base de datos para profundizar en la información acerca del ejemplar que está visualizando.

**Figura 20.**

*Ficha de inventario*

Tipo de Depósito	Muestras			Código colección
	Yacimiento	Alteración	Estructura	
Magmático	Peralcalinos	Deutérica		YM-01-01
		Deutérica		YM-01-02
		Deutérica		YM-01-03
		Deutérica		YM-01-04
		Deutérica		YM-01-05
		Deutérica		YM-01-06
				YM-01-07
				YM-01-08
				YM-01-09
Magmático - Hidrotermal	Pórfido Au - Cu	Potásica	Vetillas Tipo M Mag- Biotita-Feld K-Cuarzo	YM-02-01
		Fílica	Vetillas Tipo D (Qtz-Py)	YM-02-02
		Potásica	Vetillas Tipo B Mag-Cpy-Py-Qtz	YM-02-03
		Supérgena		YM-02-04
	Epitermales	Argílica Avanzada	Vuggy Silica - Alunita	YM-03-01
	Skarn Cu	Metamorfismo Isoquímico y Metasomatismo	Fase Prógrada Distal	YM-04-01
			Fase Prógrada Proximal a la intrusión	YM-04-02
		Alteración Retrógrada		YM-04-03
				YM-04-04



**Nota.** La figura 20 es la plantilla de la ficha de inventario. Se encuentra disponible en el Apéndice C.

## 6. Conclusiones

El patrimonio de la escuela cuenta con algunos ejemplares de yacimientos minerales, sin embargo, algunos carecen de información precisa de su localización y otros solo se han clasificado mediante datos visualmente reconocibles. A pesar de esto, la falta de material significativo permite ingresar a la colección estos ejemplares con descripciones generales de muestras de mano y revisiones bibliográficas de artículos relacionados al yacimiento. Esto con la intención de lograr un crecimiento de la colección y visualizar un futuro mejor ejemplar descrito.

La clasificación de yacimientos minerales planteada en este trabajo, bajo los criterios de procesos geológicos y roca fuente, abarca un amplio rango de clasificación de depósitos minerales que va desde minerales metálicos hasta materiales de construcción. En esta, no se expone toda la variedad de yacimientos, sino una pequeña muestra, que irá aumentando a medida que vaya ingresando nuevo material a la colección. Por lo tanto, queda abierta a modificaciones.

La división del tipo de muestras (yacimiento, alteración, estructura) en la base de datos, amplía el apoyo práctico para el reconocimiento de características como rocas, estructuras, texturas, alteraciones y composiciones mineralógicas típicas de los yacimientos. Esta separación permite una visión de los mismos a diferentes escalas mientras guardan una relación entre sí.

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

El aporte que la colección pueda brindar a los estudiantes de la asignatura de Yacimientos Minerales viene de la mano con la continua adición de muestras representativas, la conservación, el buen uso de los ejemplares existentes y su incorporación como material didáctico dentro de las clases. La colección y la base de datos actúan como herramientas prácticas que beneficiarán los procesos académicos impulsando el aprendizaje de los estudiantes en torno a los yacimientos minerales.

El manual de usuario desarrollado para la colección ofrece una guía digital para ayudar al validador a mantener actualizada la base de datos de yacimientos minerales. Esta documentación técnica contiene instrucciones para la correcta inserción de nueva información y explica, con detalle, los parámetros que rigen cada descripción permitiendo al usuario introducir excepciones si la muestra presenta algún problema. Esto garantiza una experiencia óptima y una adecuada administración de los datos.

### **7. Recomendaciones**

- Habilitar un espacio dentro de la institución para el almacenamiento y ubicación de las muestras de la colección, para garantizar una mejor gestión y orden.
- Realizar secciones delgadas de las muestras de mano existentes para ratificar la veracidad de la información expuesta al público, asegurando así una colección competente y de referencia.
- Incentivar la creación de una página web que recopile y adjunte esta y cada una de las colecciones que se desarrollaron.
- Desarrollar un manual para la elaboración de laboratorios para la asignatura de yacimientos minerales haciendo uso de los ejemplares presentes en la colección.

### Bibliografía

- Arioza-Iznaga, J. D., & Diaz-Martinez, R. (2011). Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. *Minería y Geología*, 12.
- Berger, B. R., Cox, D. P., Case, J. E., Singer, D. A., Hodges, C. A., Albers, J. P., & Ashley, R. P. (1984). CREACION DE UNA BASE DE DATOS COMPLETOS PARA EL PLANEAMIENTO Y DESARROLLO DE RECURSOS MINERALES EN AMERICA CENTRAL. *Development of Mineral, Energy, and Water Resources and Mitigation of Geologic Hazards in Central America*, 83.
- Celada, C. M., Luengas, C., Velásquez, L., Prieto, D., Cáceres, A., López, J., Moyano, I., Prieto, G., Leal Mejía, H. Jenkins, S., Bissig, T. y J.R. Hart, C. (2016). *Mapa Metalogénico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Dirección de Recursos Minerales (DRM) - Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Mineral Deposit Research Unit (MDRU) - The University of British Columbia (UBC)*.
- Celada A, C., Sepúlveda O, L.-M. H., López-Isaza, J. L., Velásquez C, L., Prieto G, D., Roa R, C., & Gómez C, M. (2018). *Guía del Usuario. Base de Datos de Depósitos Minerales de Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Cohen, K. M., Finney, S., Gibbard, P., & Fan, J.-X. (2013, actualizado). The ICS International Chronostratigraphic Char. *Episodes* 36, 199-204.
- Cox, D. P., & Singer, D. A. (1986). Mineral deposits models. *USGS Bulletin* 1693, 379.
- ECKSTRAND, O. R., W. D. SINCLAIR Y R. I. THORPE, eds.: "Geology of Canadian Mineral Deposit Types", Geological Survey of Canada, 8:1-7, 1996.
- González-Álvarez, I., Pirajno, F., Kerrich, R. (Eds.), 2013. Hydrothermal nickel deposits: secular variation and diversity. *Ore Geology Reviews* 52, pp. 1–112.
- Groves, D., & Bierlein, F. (2007). Geodynamic settings of mineral deposit systems. *Journal of the Geological Society*, 19-30.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews* 13, 7–27
- Groves, D.I., Vielreicher, R.M., Goldfarb, R.J. & Condie, K.C. 2005b. Controls on the heterogeneous distribution of mineral deposits through time. In: McDonald, I., Noyce, A.J., Butler, I.B., Herrington, R.J. & Polya, D.A. (eds) *Mineral Deposits and Earth Evolution*. Geological Society, London, Special Publications, 248, 71–101.
- IUGS, U. I. (2017). *Tipos, grado y facies metamórficas*. Obtenido de Subcomisión Sobresistemática de Rocas Metamórficas - SCMR: [http://www.ugr.es/~agcasco/personal/IUGS/0\\_IUGS.htm](http://www.ugr.es/~agcasco/personal/IUGS/0_IUGS.htm)

## INVENTARIO COLECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

- Laznicka, P., 2010. *Giant Metallic Deposits; Future Sources of Industrial Metals*. 2nd edition. Springer (960 pp.).
- Lefebure, D. V., Aldrick, D. J., Simandl, G. J., & Ray, G. (1994). *British Columbia mineral deposit profiles. Geological Fieldwork*.
- Lindgren, W. (1933). *Mineral deposits*. Nueva York: McGraw Hill.
- López-Isaza, J., Leal-Mejía, H., Luengas B., C., Velásquez C., L., Celada A, C., Sepúlveda O., M., . . . Hart, C. (2018). *Mapa Metalogénico de Colombia: Principios, conceptos y modelos de depósito y manifestaciones u ocurrencias minerales para Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- LUDINGTON, S., P. B. BARTON JR., K. M. JOHNSON: *Mineral deposits models: theory and practice*. Open file report 85-391, 1985, USGS.
- Maksaev, V. (2001). *Metalogénesis*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/7910048/apunte-maksaev---cec---universidad-de-chile>
- Miquel, C. (2013). *Yacimientos minerales: los tesoros de la Tierra*. Fondo de Cultura Económica.
- Niggli, P., 1929, *Ore deposits of magmatic origin*, trad. de H. C.Boydell, Thomas Murby, Londres, RU.
- Pirajno, F. (2016). A Classification of mineral systems, overview of plate tectonic margins and examples of ore deposit associated with convergent margins. *Gondwana Research*, 44-62.
- Prince Gutiérrez, E. G. (2016). Caracterización mineralógica (macroscópica y microscópica) de las muestras de la colección de yacimientos minerales.
- Puerto, D. C., & Barragán Bohórquez, J. C. (2016). Estructuración del Museo Geológico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Servicio Geológico de Canadá (<http://www.nrcan.gc.ca/home>)
- Stanton, R.L., 1972. *Ore Petrology*. McGraw-Hill Book Company, New York (713 pp.).
- Vélez Otálvaro, M. V., Mora Bayter, A. A, Pachecho Cohecha, B.A. y Jiménez, F. M. P. (2021). *Guía de buenas prácticas para la Exploración y estimación de recursos y reservas de Materiales de Arrastre*. Bogotá. Agencia Nacional de Minería.