

4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo, se desarrollaron una serie de etapas que a continuación se mencionan. En la primera etapa y de acuerdo al muestreo realizado previamente por Romero y colaboradores en el yacimiento de Santa Lucía, que se centró en los depósitos abandonados, sedimentos y las aguas de drenaje (Nuñez, 2009), se seleccionaron 8 muestras para su posterior preparación en lámina delgada y briqueta correspondientes al yacimiento (Y), terrero (T) y sedimentos (S) de la Mina Santa Lucía (Fig. 10), simultáneamente se revisó documentación sobre trabajos referentes a la geología del área de Pinar del Río, Cuba. En la segunda etapa se realizaron análisis a las muestras mediante microscopía óptica de luz transmitida y reflejada, después con microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscope, SEM por sus siglas en inglés), a continuación en el espectrómetro de infrarrojo (Short Wave Infra Red, SWIR por sus siglas en inglés), y finalmente análisis cristaloquímicos de minerales por microsonda electrónica (Electron Micro Probe Analyzer, EMPA por sus siglas en inglés). Todos estos análisis fueron realizados en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

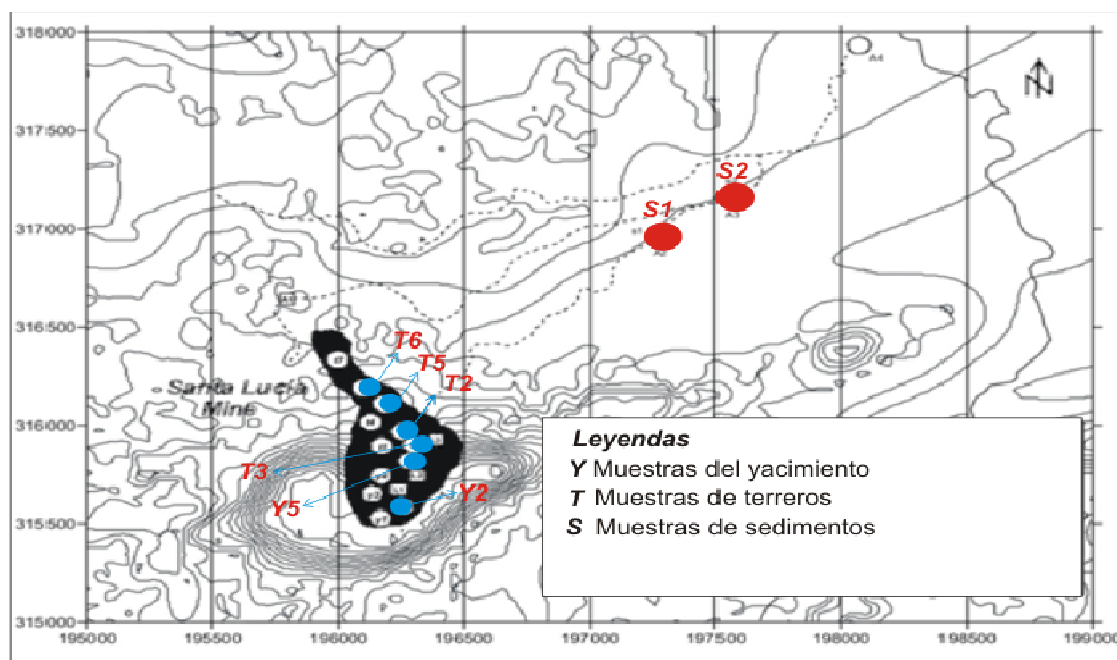


Fig. 10 Ubicación de las muestras tomadas por Romero et al. Dentro de la mina santa Lucía y sedimentos de la laguna a 2.5 km de esta. (Modificada de Romero *et al.*, 2009)

4.1 REVISIÓN DOCUMENTAL Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la investigación se revisaron y recopilaron documentos e información útil del distrito minero de Pinar del Río Cuba, de entre los estudios y análisis previos realizados en la zona se escogieron aquellos que aportan una base geológica, geomorfológica y mineralógica, química del área y que reportan la existencia de puntos potencialmente tóxicos por afección de drenaje ácido de mina en la zona, que podrían estar provocando un daño al medio ambiente y que sin embargo se ha visto naturalmente atenuado. Adicionalmente se revisaron artículos en los que se reporta a minerales secundarios como un proceso de retención de elementos potencialmente tóxicos, siendo estos la base para el planteamiento de la hipótesis de la investigación.

4.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La preparación de láminas delgadas y briquetas o probetas de cada una de las muestras estuvo orientada al análisis petrográfico y minerográfico. Se prepararon nueve briquetas para realizar exclusivamente análisis minerográfico así como nueve láminas delgadas para el análisis petrográfico y minerográfico de las muestras. La preparación de las láminas delgadas se mandó a realizar en un taller comercial de Canadá especializado en este tipo de muestras

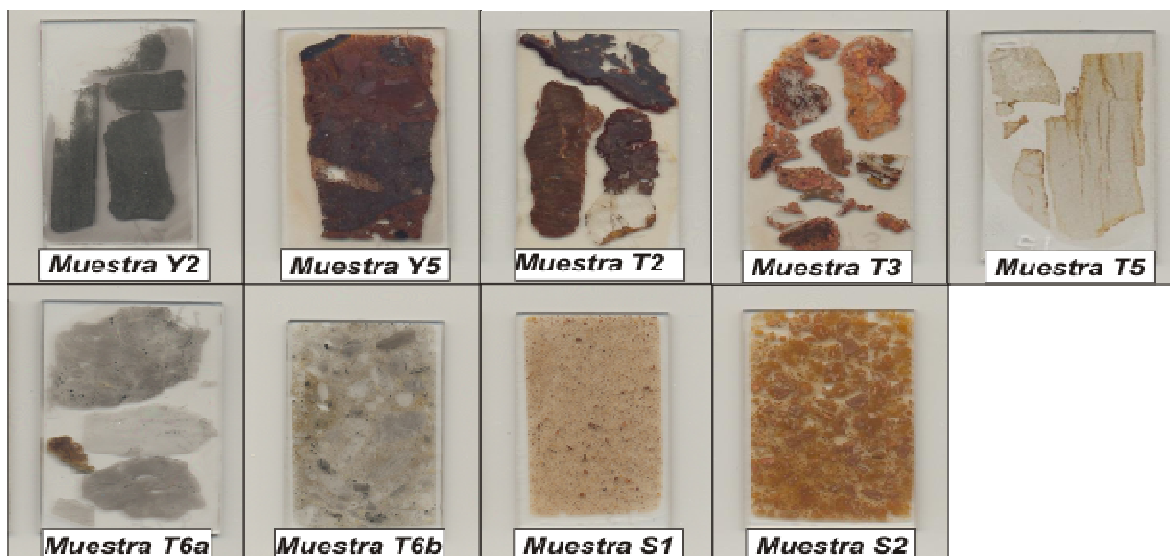


Fig. 11. Láminas delgadas utilizadas en el estudio: Y2 muestra de mena, Y5 muestra del sombrero de hierro, T2, T3, T5, T6a y T6b muestras de los terreros, S1 y S2 muestras de laguna situada a 2.5 km del yacimiento con aguas ácidas.

4.3 ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y MINERAGRÁFICO

Los análisis petrográfico y mineragráfico para cada una de las láminas delgadas se realizaron con un microscopio petrográfico con luz transmitida y luz reflejada, marca Carl Zeiss modelo Axiolab. El microscopio está acoplado a una cámara digital y a una computadora de escritorio con el software integrado de AxioVision, especial para la obtención de microfotografías (Fig. 12), esto con la finalidad de examinar e identificar los minerales traslúcidos contenidos en las secciones delgadas con base en sus propiedades ópticas. La observación con luz reflejada nos permite determinar e identificar los minerales opacos (minerales metálicos).



Fig. 12. Fotografía del microscopio petrográfico utilizado para realizar la caracterización mineragráfica y petrográfica. El microscopio es acoplado a una cámara digital y una computadora que incluye el software AxioVision, especializado para la obtención de las microfotografías del presente estudio.

Para la observación de las propiedades ópticas de las fases minerales metálicas u opacas, el microscopio petrográfico-mineragráfico se utilizó de dos formas:

Sin analizador, es decir, la observación se hace con nícoles paralelos, usando sólo el polarizador, de tal forma que se determinaron las siguientes propiedades ópticas:

- Color
- Reflectividad
- Birreflectividad y pleocroísmo

- Dureza de pulido

Con nícoles cruzados, se determinaron las siguientes propiedades ópticas:

- Isotropía o anisotropía
- Reflexiones internas
- Maclado

En el análisis de las propiedades ópticas de las fases minerales traslúcidas o no metálicas se alternaron nícoles cruzados y nícoles paralelos para determinar las siguientes propiedades:

- Relieve
- Color
- Pleocroísmo
- Hábito
- Birrefringencia
- Ángulos de Extinción

4.4 ANÁLISIS CON MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

En el análisis de microscopía electrónica se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) modelo TM-1000 marca Hitachi (Fig. 13). En el SEM un haz de electrones, la sonda del microscopio, es generado por un filamento incandescente. Los electrones emitidos son acelerados por una rejilla cercana polarizada positivamente. Este haz de electrones, en su viaje a través del vacío, tiende a separarse debido a las fuerzas de repulsión electrostáticas que actúan entre ellos. Un campo eléctrico, generado por unas placas, se encarga de focalizar el haz y condensarlo. Por último, en su camino hacia la muestra, el haz es deflectado hacia un punto mediante bobinas electromagnéticas, de manera que estas permitan realizar un barrido en la zona que queremos estudiar con el fin de realizar un análisis cualitativo y semicuantitativo de los constituyentes más o menos abundantes en las muestras. Además de esto se obtuvieron sus imágenes y espectros. La adquisición de imágenes superficiales de resolución magnificada (10,000 X), así como

también, el análisis químico semicuantitativo realizado con la obtención de sus espectros, nos ayudó a complementar la observación del microscopio petrográfico, obteniendo así una mayor certeza de fases minerales como: el sulfato de bario, sulfato de plomo y los oxihidróxidos de hierro de especial interés en este estudio.



Fig. 13. Microscopio electrónico de barrido marca Hitachi TM1000 utilizado en este trabajo, se encuentra acoplado a un CPU y una computadora portátil HP que tiene instalado el software de aplicación.

4.5 ANÁLISIS PARA IDENTIFICACIÓN DE ARCILLAS CON ESPECTRÓMETRO DE INFRARROJO

La espectrometría de reflectancia, es una técnica analítica que sirve para la identificación de ciertos compuestos y minerales. La técnica se basa en el estudio del comportamiento de las ondas del campo electromagnético que son emitidas, absorbidas, reflejadas o refractadas por un cuerpo sólido, líquido o gaseoso. Esta técnica se utilizó con el propósito de identificar la presencia de arcillas que se relacionen con la retención de arsénico, según estudios hechos anteriormente. Para esto se utilizó un analizador de infrarrojo portátil SWIR (Fig. 14) para minerales, el cual nos permitió identificar algunas fases de arcillas con la ayuda de una serie de espectros emitidos por estos minerales en el espectrómetro y comparados con espectros ya conocidos.

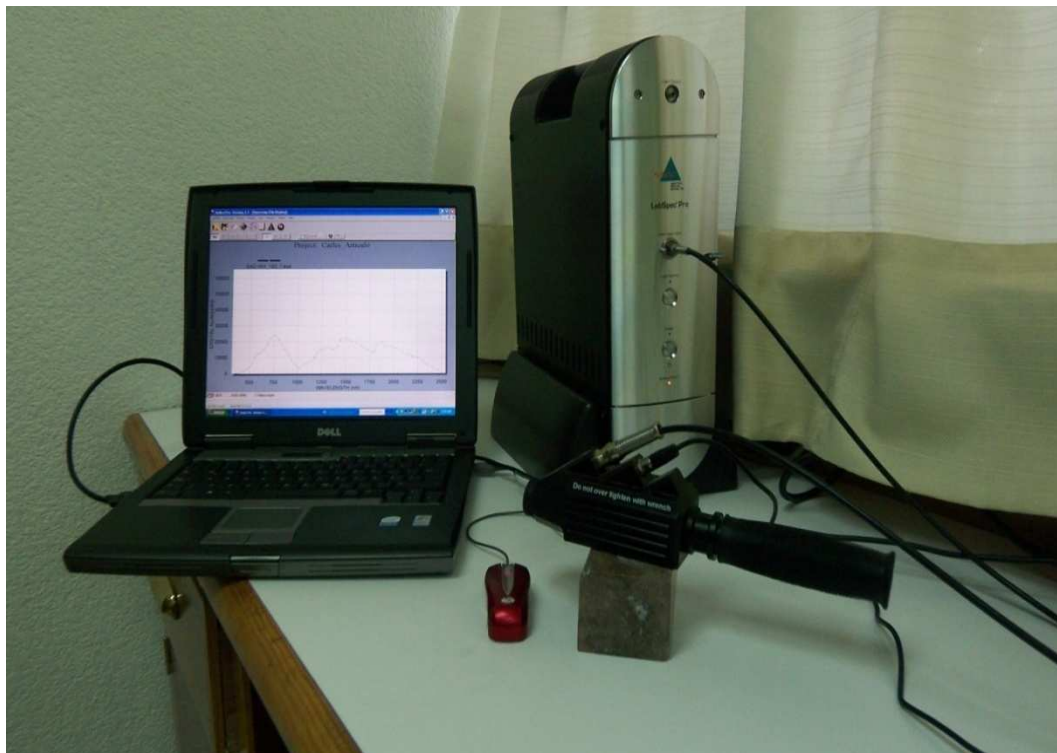


Fig. 14. Fotografía del SWIR, analizador portátil de infrarrojo para minerales (derecha) con lámpara de infrarrojo (centro) y una computadora portátil con software de aplicación (izquierda).

4.6 ANÁLISIS MEDIANTE QUÍMICO PUNTUAL CON MICROSONDA ELECTRÓNICA

Con las mismas secciones delgadas se realizó el análisis químico puntual a detalle de los sulfuros, óxidos, hidróxidos y sulfatos encontrados en las diversas muestras por medio de la técnica de la microsonda electrónica, que consisten en análisis cuantitativos realizados por dispersión de la radiación electromagnética. En nuestro caso se usó la Microsonda Electrónica JEOL 8900Rc (Fig.15) equipada con cinco espectrómetros de longitud de onda de energía dispersada de rayos X (WDS), con un voltaje de aceleración de 15 y 20 keV, perteneciente al LUP (Laboratorio Universitario de Petrología) del Instituto de Geofísica, UNAM.

En el equipo, con el haz de electrones muy finamente puntualizado se consigue seleccionar un área muy pequeña para ser analizada. Con la microsonda electrónica se realizan análisis cuantitativos más precisos que con la microscopía electrónica de barrido no es posible, es por eso que se utilizó en la determinación cristaloquímica de las fases minerales presentes (sulfatos, sulfuros, oxi-hidroxidos) y sus posibles impurezas. Además,

se realizó un mapeo elemental de estas impurezas, principalmente arsénico y plomo para saber de qué manera están distribuidas y en qué muestras.



Fig. 15. Fotografía que muestra los componentes de la Microsonda Electrónica JEOL 8900Rc, equipada con cinco espectrómetros de longitud de onda.