

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

Los resultados del análisis minerográfico–petrográfico se caracterizaron por la presencia de minerales primarios y secundarios, estos últimos como producto de la alteración de los primeros. En la composición mineralógica primaria de las muestras predominan minerales como la pirita (FeS_2), principal responsable de la producción de drenaje ácido; cuarzo (SiO_2), galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2) y algunos minerales en trazas como el Rutilo (TiO_2) y el Zircón (ZrSiO_4). Es importante destacar que tanto en las muestras de mena como en los terreros oxidados de la Mina Santa Lucía la identificación de carbonatos fue prácticamente nula, solo encontrando algunas trazas en la matriz de cuarzo de calcita (CaCO_3), lo que indica que no hay potencial de neutralización del drenaje ácido generado en la Mina. Se identificaron también oxi-hidróxidos de hierro formando aureolas alrededor de la Pirita, cuya presencia puede interpretarse como el producto de alteración de la Pirita.

En las láminas delgadas de la mena gris, el sombrero de fierro, los terreros y de los sedimentos predominan los minerales secundarios como la goethita (FeOOH), la hematita (Fe_2O_3), barita (BaSO_4), la anglesita (PbSO_4), la illita e illita Esmectita ($\text{K}_{1-1.5} \text{Al}_4 (\text{Si}_{7-6.5} \text{Al}_{1-1.5} \text{O}_{20})(\text{OH})_4$), estas fases acompañadas de la barita. Además reportados por Romero *et al.*, 2009 y Núñez, 2008, se consideran las fases minerales beudantita, mineral secundario estable en condiciones ácidas, que retiene As y Pb (Fig. 34) y plumbojarosita, que durante su formación consume iones férricos, principales oxidantes en ausencia de oxígeno, neutralizando el medio y que además retiene Pb (Fig. 30).

La presencia de elementos potencialmente tóxicos se justifica en el estudio gracias a la composición mineralógica observada en las muestras del yacimiento mineral y de los terreros de las que provienen.

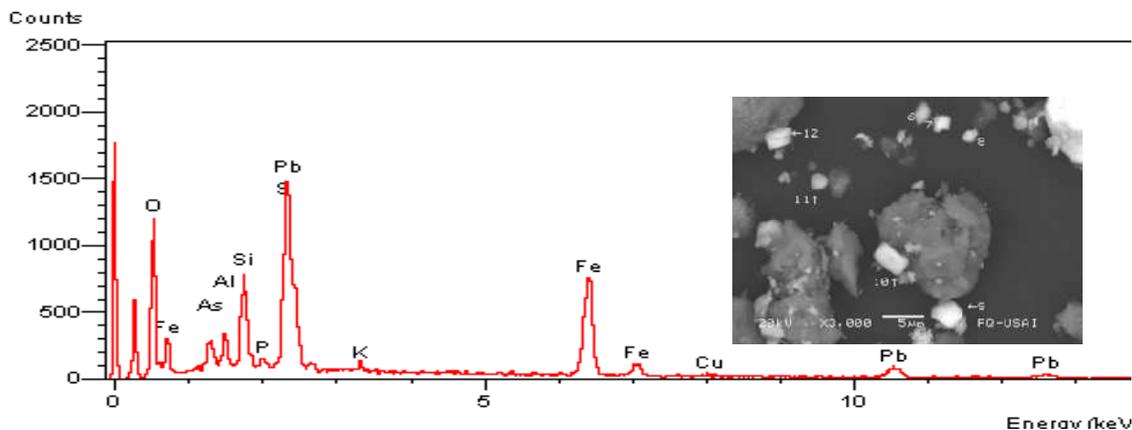


Fig. 30. Identificación de retención de Pb y As en partículas de beudantita(8), mediante microanálisis por MEB-EDS (Imagen tomada de Núñez, 2008).

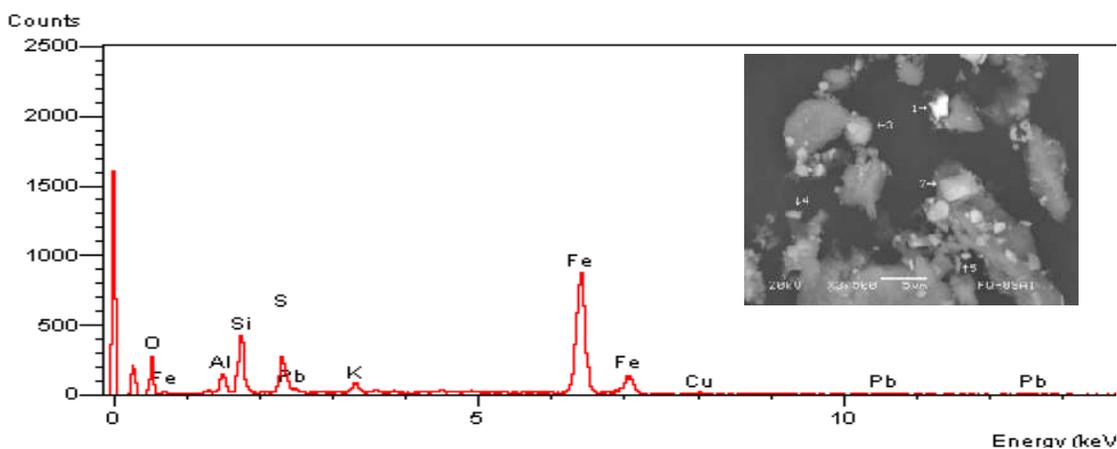


Fig. 31. Identificación de retención de Pb en partículas de plumbojarosita (2 y 3) mediante microanálisis por MEB-EDS. (Imagen tomada de Núñez, 2008).

6.2 LA PRECIPITACIÓN COMO PROCESO DE RETENCIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

Los resultados por parte del análisis químico de microsonda indican una composición cristaloquímica de la barita muy heterogénea, se pudieron comprobar varios puntos analizados con una composición primaria estequiométrica del mineral gracias a la abundancia de ésta dentro de las muestras. Se confirmó la presencia de trazas de As dentro de cristales de barita, además se identificó de forma cualitativa la presencia de Pb con ayuda del SEM (Fig 32.), aunque de forma puntual y sin poder identificar una fase mineral específica, ya que por esta técnicas no es posible determinar el hidrógeno y el oxígeno contenidos en las muestras analizadas. Los cálculos permitieron determinar a la barita con rangos de la suma en peso porcentual calculado en óxidos, que van desde 94.994% hasta

101.598%. El As se detectó en una serie de puntos con valores desde 0.02% hasta 1.84% dentro de cristales de barita confirmándolo con el mapeo de distribución elemental de este elemento. Mientras que del plomo solo se obtuvieron resultados cualitativos.

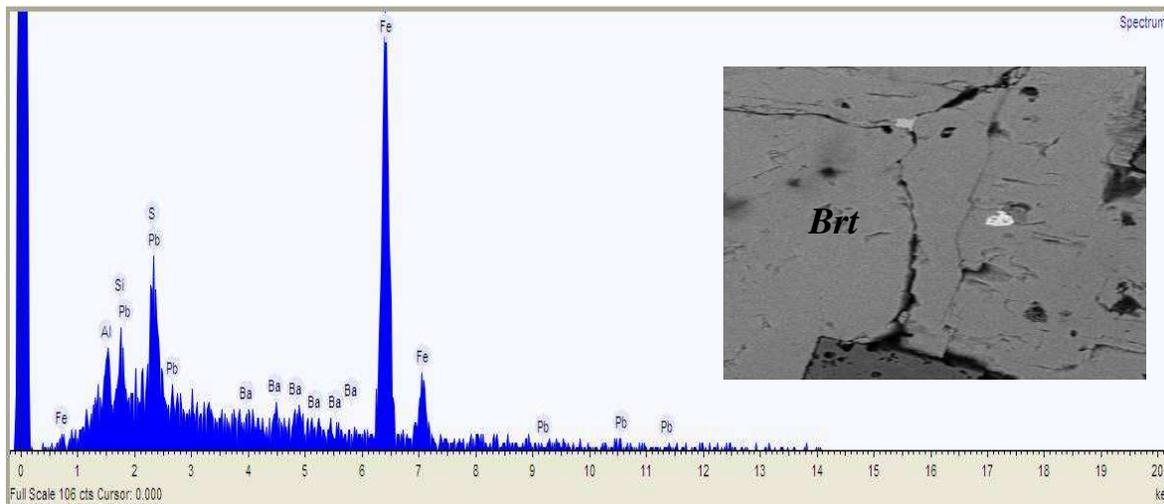


Fig. 32. Análisis cualitativo por medio de SEM que muestra la asociación de plomo con barita y que posiblemente se deba a la solución sólida del primero sobre el segundo.

La retención de Pb y As dentro de la estructura cristalina de la barita, la posible sustitución de Ba por Pb se ha informado en otras investigaciones, formando un sólido de barita con impurezas de plomo y la posible retención de átomos de As en trazas en los intersticios de la estructura de barita, que fueron interpretados gracias a los análisis químicos cualitativos y cuantitativos realizados. La importancia de un mineral como la barita en procesos de retención de elementos potencialmente tóxicos se debe a la baja solubilidad de esta en cualquier pH además de la alta estabilidad que tienen en condiciones REDOX.

Datos obtenidos de la constante de solubilidad de la barita ($K_{ps} = 10^{-9.98}$) (Fig. 33) indican que se trata de un mineral prácticamente insoluble (Romero et. al., 2009), además la presencia de impurezas la vuelve aun más insoluble. Por tanto, este mineral es el control más importante en la movilidad de As, Pb y Ba y en la atenuación natural de los impactos ambientales en la mina Santa Lucía. Adicionalmente, la identificación de anglesita, generada a partir de la oxidación de la galena y que presenta una constante de solubilidad muy baja ($K_{ps} = 10^{-7.79}$) bajo las condiciones ácidas presentes en la mina Santa Lucía, por

lo que representa un proceso adicional de retención del Pb cuya importancia se debe a la reducción de iones Pb^{2++} .

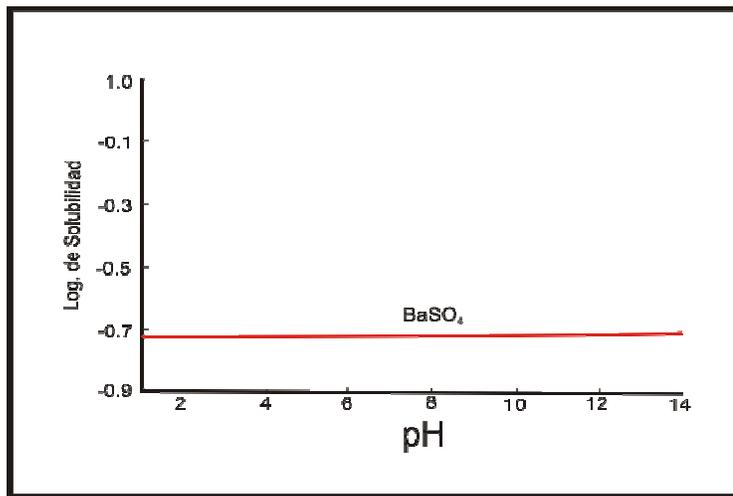


Fig. 33. Gráfica de solubilidad del sulfato de bario (barita) que es prácticamente estable e insoluble bajo cualquier pH.

Los análisis cuantitativos puntuales sobre óxidos e hidróxidos en las muestras confirman la captación de arsénico por parte de minerales tipo goethita, que se debe a las propiedades coloidales de esta última. Dado que la goethita genera un coloide positivo, puede adsorber aniones complejos, que es la forma en que se presentan las especies acuosas de arsénico, lo que posibilita un análisis comparativo con la presencia de este elemento en la barita. Las mediciones nos permitieron determinar especies minerales como la goethita con rangos de la suma en peso porcentual calculado en óxidos que van desde 80% hasta 94.65 %. Estos resultados no se aproximan a 100 %, muchos se encuentran en los intervalos de 80 y 90%. Esto es debido a que los cristales de los minerales no son lo suficientemente grandes o contienen en sus estructuras O_2 y H_2O y/o debido a que el estándar de comparación es muy alto. El As se detectó en una serie de puntos con valores que van desde 0.17% hasta 0.5% confirmando su presencia con el mapeo de distribución elemental. Mientras el Plomo se encuentra en rangos con valores de 0.007 a 0.9 % asociado a la goethita. Las condiciones oxidantes del medio transforman al Fe^{2+} en Fe^{3+} y los iones oxidados son mucho menos solubles, gracias a esto, los elementos como el plomo y el arsénico están asociados o adsorbidos por parte de la goethita y hematita, ambos hidróxidos de Fe son estables a Eh altos. Debido a lo anterior este tipo de sólidos minerales no

constituyen un proceso eficiente de retención de elementos potencialmente tóxicos bajo condiciones ácidas (Fig. 34). Es por eso que las condiciones REDOX pueden afectar indirectamente a la movilidad de los metales de acuerdo a la fase mineral a la que se encuentra asociado. El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido.

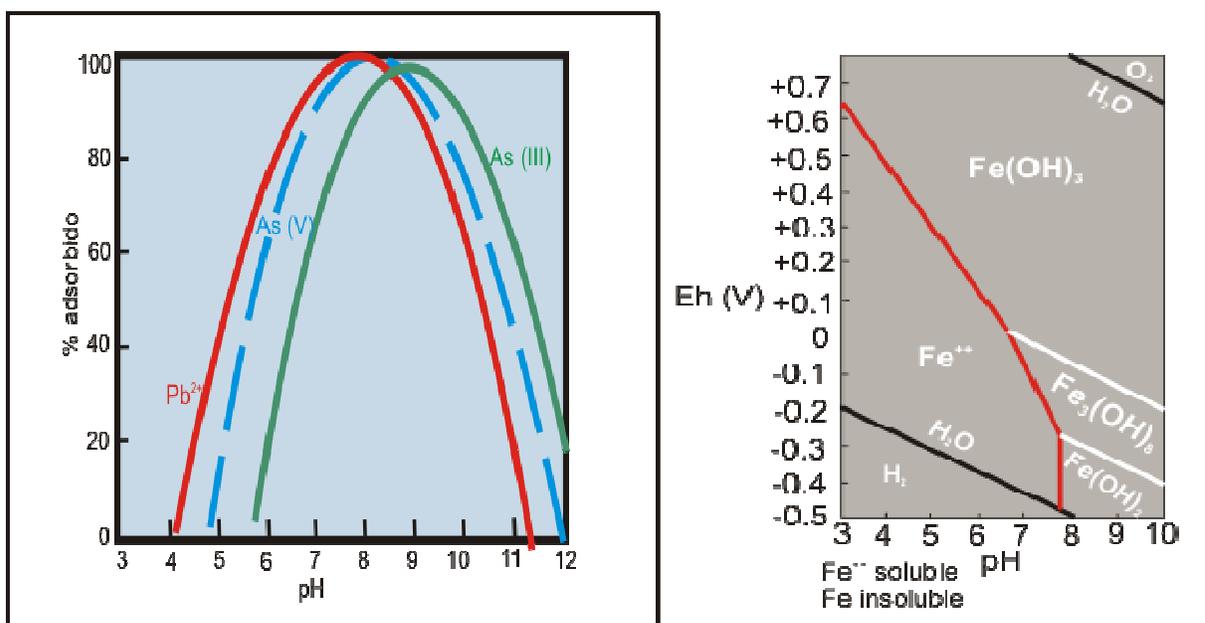


Fig. 34. Los diagramas de % adsorción indican la influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales y oxianiones metálicos sobre hidróxidos de Fe. El diagrama Eh-pH muestra la estabilidad de compuestos de hierro. (Modificados de Nuñez, 2008).

Se confirmó la presencia de piritita con algunas costras de óxidos en las muestras, tanto en los terreros como en los sedimentos, con el aumento del Eh puede seguir generando condiciones más oxidantes dado que el S^{2-} se pueda oxidar a SO_4 liberando cantidades de H_2SO_4 , el suelo se acidifica fuertemente y los metales se hacen muy solubles (proceso de generación de drenaje ácido), sin embargo debido a las costras de óxidos este proceso se inhibe y genera un proceso de neutralización.