



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA**

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS  
AMBIENTALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE RESIDUOS MINEROS**

PRESENTA:

**I.Q. LAURA NEREYDA MORENO MORALES**

**DIRECTOR DE TESIS:**

DR. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

**CO DIRECTOR:**

DR. ERIK ESPINOSA SERRANO

**ASESORES:**

DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

DR. ISRAEL RAZO SOTO

**JUNIO 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA**

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE RESIDUOS MINEROS**

PRESENTA:

**I.Q. LAURA NEREYDA MORENO MORALES**

**COMITÉ TUTELAR:**

**DIRECTOR:** DR. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

**CO DIRECTOR:** DR. ERIK ESPINOSA SERRANO

**ASESOR:** DR. ROBERTO BRIONES GALLARDO

**ASESOR:** DR. ISRAEL RAZO SOTO

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**SINODALES:**

**PRESIDENTE:** DR. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

**SECRETARIO:** DR. ERIK ESPINOSA SERRANO

**VOCAL:** DRA. CATALINA ALFARO DE LA TORRE

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## CRÉDITOS INSTITUCIONALES

### PROYECTO REALIZADO EN:

La unidad minera Santa Eulalia, en Santa Eulalia, Chihuahua, en el laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología y el laboratorio de remediación ambiental del Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

### CON FINANCIAMIENTO DE:

**Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación –  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**

**FORDECyT - CONACyT**

A TRAVÉS DEL PROYECTO No. **190966** DENOMINADO:

**ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE  
DE AGUA Y ENERGÍA EN LA INDUSTRIA MINERA, CON UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO Y  
FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS**

**Becario No. 295630**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO ATRAVÉS  
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

### AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar por agradecer a las personas que hicieron posible el proyecto FORDECyT – CONACyT No. 190966 denominado: “Análisis, diagnóstico y desarrollo de estrategias para el aprovechamiento sostenible de agua y energía en la industria minera, con un enfoque multidisciplinario y formación de recursos humanos en ciencias de la tierra” gracias al cual fue posible financiar este proyecto de investigación.

A mi asesor el Dr. Javier Castro Larragoitia por su dirección y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. ¡Muchísimas gracias!

A mi co-asesor el Dr. Erik Espinosa Serrano por su incansable apoyo durante el trabajo de laboratorio y redacción de la tesis. ¡Muchas gracias!

A mi comité tutelar, el director Dr. Javier Castro Larragoitia, co director Dr. Erik Espinosa Serrano, asesores: Dr. Roberto Briones Gallardo y Dr. Israel Razo Soto y al sinodal la Dra. Catalina Alfaro de la Torre, gracias a todos por sus aportaciones a este proyecto, por el conocimiento heredado aportados y sus atinados comentarios.

Al equipo de geólogos del proyecto el M.C Sócrates Alonso Torres y Dr. Isidro Montes Ávila por su apoyo durante las etapas de muestreo, Gracias por hacer las jornadas de muestreo amenas y el camino de regreso a casa seguro.

A la M.M.M Rosalina Tovar Tovar y M.C José Manuel Martínez Gutiérrez por su apoyo durante la obtención de resultados en las técnicas de DRX y MEB.

Al Ingeniero Gerardo Aragón por su apoyo durante la preparación y montaje de las muestras para el análisis de MEB.

Al Dr. Roberto Briones, M.C. Víctor Escot, Dr Alfredo Aguillón Robledo, Dra María Elena García, Miguel Cortina, por el apoyo durante el uso de las instalaciones de los Laboratorios de Geoquímica Ambiental, Laboratorio de Remediación Ambiental y Laboratorio de Agua y Suelos de Ciencias de la Tierra.

Al personal de la empresa Industrial Minera México Unidad Minera Santa Eulalia, por las facilidades proporcionadas, en especial al Ing. Mario Ramirez Oviedo e Ing. Mario Ramirez Aparicio por la información y muestras proporcionadas.

A los profesores del PMPCA quienes me impartieron clases durante la primera parte de esta etapa.

Al personal del PMPCA y la Universidad Autónoma quienes amablemente me brindaron su apoyo durante este proceso.

A todas las personas involucradas en este proyecto y que en este momento no recuerdo, pero que de alguna manera impactaron en el desarrollo del mismo.

Al Señor que todo lo hace posible.

A mis padres.

A mi mop.

## RESUMEN

La minería es una actividad económica muy importante. En cada uno de los pasos del proceso de extracción y refinación de metales se generan distintos tipos de residuos, los cuales deben ser manejados de acuerdo a sus características particulares. La reducción de la cantidad de residuos generados, así como su manejo responsable es un aspecto importante para el desempeño adecuado de la actividad minera, su sostenibilidad y la protección de su entorno (aire, agua superficial y subterránea, suelo y poblaciones aledañas).

El riesgo de contaminación de los recursos hídricos a partir de los residuos mineros, yace principalmente en el potencial de estos para liberar elementos potencialmente tóxicos (EPT) como arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc, etc., a través de la oxidación de los sulfuros metálicos que los contienen (pirita, pirrotita, esfalerita, calcopirita, etc.), el sulfuro es expuesto al oxígeno ambiental y al agua, liberando iones metálicos, aniones y ocasionalmente acidez. La oxidación de estos sulfuros en los depósitos de residuos origina soluciones de bajo pH enriquecidas en EPT, con capacidad de impactar el recurso hídrico superficial o subterráneo.

Dadas sus características geológicas, México ha sido un importante productor de minerales metálicos desde la época de la Colonia, estas actividades de minado han generado diversas cantidades y tipos de residuos en los diferentes distritos mineros, para los cuales no existía una normatividad que regulara su generación y disposición hasta el año de 2004 con la introducción de la NOM-141-SEMARNAT-2003.

El presente proyecto consistió en la caracterización geoquímica y mineralógica de los residuos del distrito minero de San Eulalia, ubicado en el municipio de Aquiles Serdán, Chihuahua, con el fin de evaluar el potencial de liberación de EPT hacia los recursos hídricos. Este distrito tiene registros de operación de más de 300 años, fue explotado inicialmente para óxidos de plomo, plata y estaño y más recientemente para sulfuros de plomo y zinc; los materiales ahí localizados constan de residuos de extracción (terreros y tepetates), de beneficio (jales de flotación y un residuo histórico de origen indeterminado) y finalmente sedimentos de los arroyos localizados aguas debajo de la

operación y con visibles evidencias de haber sido impactados por alguno de los residuos anteriores.

Los resultados de la caracterización realizada identifican a los sedimentos impactados con residuos (Identificados como APJ en el escrito) como los materiales con las mayores concentraciones de elementos como Pb, Zn y As, así como con el mayor potencial de liberación de EPT al contacto con soluciones acuosas, lo que señala la importancia que tienen los procesos de transporte e intemperización para la estabilidad química de los materiales. Estos sedimentos presentan pH bajo y potencial de generación de drenaje ácido. El elemento con mayor movilidad al contacto con agua meteórica simulada en este grupo de muestras es el zinc, mostrando concentraciones de hasta 202 mg/L en la solución. La caracterización mediante Difracción de Rayos X (DRX) permitió identificar especies secundarias mayoritarias como: jarosita, óxidos de hierro y azufre elemental; mediante Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se encontraron especies secundarias minoritarias con capacidad de fijación de EPT como beudantita, goethita y plumbojarosita que funcionan como fijadores mediante mecanismos como adsorción y coprecipitación, reteniendo temporalmente los elementos antes señalados.

El comportamiento observado mediante las técnicas de extracción secuencial, además de apoyar las observaciones arriba señaladas, muestra la incapacidad de los sedimentos APJ para ofrecer lugares para la fijación permanente de los EPT, ya que más del 50% del total de zinc se encontró dentro de la fracción geodisponible (porción del contenido total que es liberado de las fases sólidas mediante procesos mecánicos, químicos o biológicos), esto implica que más de 5 500 mg/kg están en potencial de ser liberados hacia los recursos hídricos del sitio.

Además de estos sedimentos APJ el otro grupo de muestras que presenta potencial de liberación de EPT debido a las altas concentraciones de EPT, potencial de generación de acidez y movilidad de zinc en agua meteórica simulada es el grupo de muestras tomadas en la presa de jales antigua.

Por lo tanto las acciones de remediación deben estar enfocadas en estabilizar estos dos grupos de muestras; por un lado se sugiere asegurar el material depositado en la presa de jales antigua cubriéndolo con material estéril y que los sedimentos APJ en el cauce del arroyo sean considerados como residuos, ya que este material tiene la capacidad para impactar negativamente la calidad del agua en el sitio, por lo que es necesario asegurar la estabilidad del material confinándolo de forma eficiente y definitiva.

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN .....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
LISTA MINERALÓGICA .....	xvii
LISTA MINERALÓGICA (CONTINUACIÓN) .....	xviii
1. INTRODUCCIÓN .....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Importancia económica de la minería en México .....	23
2.2 Implicaciones ambientales de la minería .....	24
2.3 Residuos mineros .....	27
2.3.1 Geoquímica de los residuos mineros .....	30
2.3.2 Geodisponibilidad y movilidad .....	33
3. SITIO DE ESTUDIO.....	45
3.1 Antecedentes históricos del distrito minero de Santa. Eulalia, Chihuahua .....	45
3.2 Reconocimiento preliminar del sitio .....	55
3.3 Problemática asociada .....	55
4. OBJETIVOS .....	57
5. METODOLOGÍA.....	59
5.1 Muestreo .....	59
5.1.1 Ubicación georreferenciada de los residuos en el sitio.....	59
5.1.2. Evaluación geoquímica <i>in situ</i> y recolección de muestra.....	59
5.1.3 Etiquetado y almacenamiento .....	61
5.2 Clasificación y georreferenciación.....	61
5.2.1 Agrupación por tipo de muestra .....	61

5.2.2 Localización geográfica de las muestras colectadas .....	66
5.3 Preparación de muestras .....	66
5.4 Caracterización geoquímica de los residuos .....	66
5.4.1 Determinación de pH .....	68
5.4.2 Análisis de elementos totales.....	68
5.4.3 Prueba de movilidad.....	68
5.4.4 Prueba de Balance ácido-base (ABA) .....	69
5.4.5 Extracciones secuenciales .....	70
5.5 Caracterización mineralógica .....	71
5.5.1 Difracción de Rayos X .....	71
5.5.2 Microscopia electrónica de barrido .....	71
6. EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	73
6.1 Determinación de pH .....	73
6.2 Análisis de elementos totales.....	76
6.3 Prueba de movilidad.....	86
6.4 Prueba de balance ácido-base (ABA) .....	88
6.5 Extracciones secuenciales .....	90
6.5.1 Extracción secuencial para aniones y cationes .....	90
6.5.2 Extracción secuencial para arsénico.....	98
6.6 Difracción de Rayos X .....	99
6.7 Microscopia electrónica de barrido .....	107
7. CONCLUSIONES .....	120
8. RECOMENDACIONES .....	123
9. REFERENCIAS.....	125
10. ANEXOS.....	130

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de campo: Evaluación geoquímica de residuos mineros.....	130
Anexo 2. Determinación de pH .....	131
Anexo 3. Técnica de digestión ácida para análisis total .....	132
Anexo 4. Prueba de extracción de constituyentes tóxicos .....	133
Anexo 5. Prueba de balance ácido-base .....	134
Anexo 6. Determinación de azufre de sulfatos .....	137
Anexo 7. Determinación de azufre de sulfuro .....	140
Anexo 8. Técnica de extracción secuencial para aniones y cationes .....	142
Anexo 9. Técnica de extracción secuencial específica para arsénico.....	143
Anexo 10. Archivo fotográfico.....	144
Anexo 11. Resultados de fichas de campo.....	151
Anexo 12. Resultados de pH.....	189
Anexo 13. Resultados de análisis total.....	190
Anexo 14. Resultados de prueba de extracción de constituyentes tóxicos.....	198
Anexo 15. Resultados de prueba de balance ácido-base.....	202
Anexo 16. Resultados de extracción secuencial de cationes y aniones.....	206
Anexo 17. Resultados de extracción secuencial de arsénico .....	218
Anexo 18. Resultados de DRX.....	219
Anexo 19. Resultados de Microscopia electrónica.....	229
Anexo 20. Elementos potencialmente tóxicos.....	272

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático de la hidrología y geoquímica de una presa de jales, (Imagen tomada de Blowes, 1997). .....	33
Figura 2. Química del hierro y aluminio en el proceso que controla la generación de acidez en residuos mineros piríticos (tomado de Essington, 2005). .....	38
Figura 3. Diagrama pe/pH. Donde $pe=Eh (mV)/59.2$ ; log actividades totales de $Fe^{2+}=-3.47$ ; $Fe^{3+}=3.36$ ; Gt=goethita, Jt=K-jarosita, Fh=ferrihidrita, Sh=schwertmannita, Py=pirita (tomado de Dold, 2005) .....	41
Figura 4. Rutas Principales de la Nueva Vizcaya en 1740.Tomado de Swann (1982). .....	46
Figura 5. Ubicación del área de estudio dentro del distrito minero Santa Eulalia. (Elaboración propia mediante <i>google maps</i> y <i>Paint</i> ) .....	47
Figura 6. Asentamientos humanos asociados. (Elaboración propia mediante <i>google maps</i> ). .....	48
Figura 7. Columna estratigráfica de la Carta Aquiles Serdán H13-C67 (SGM, 2006) .....	50
Figura 8. Mapa de la distribución de muestras superficiales en presa de jales antigua .....	64
Figura 9. Comparación entre sedimentos tipo SNAP (izquierda) y tipo APJ (derecha).....	65
Figura 10. Mapa de la distribución geográfica de los residuos .....	67
Figura 11. Determinación de pH superficial para residuos de proceso y beneficio .....	73
Figura 12. Determinación de pH en presa de jales antigua .....	74
Figura 13. Determinación de pH en sedimentos SNAP .....	75
Figura 14. Determinación de pH en sedimentos APJ .....	76
Figura 15. Comportamiento logarítmico por perfiles de elementos potencialmente tóxicos en presa de jales antigua. ....	80
Figura 16. Concentración de EPT en sedimentos (APJ) con evidencia de material de la presa de jales.....	83
Figura 17. Comportamiento del arsénico en la extracción secuencial para cationes y aniones.....	91
Figura 18. Comportamiento del cadmio en la extracción secuencial para cationes y aniones .....	93
Figura 19. Comportamiento del cobre en la extracción secuencial para cationes y aniones .....	93
Figura 20. Comportamiento del plomo en la extracción secuencial para cationes y aniones.....	94
Figura 21. Comportamiento del zinc en la extracción secuencial para cationes y aniones .....	95
Figura 22. Comportamiento del hierro en la extracción secuencial para cationes y aniones .....	96
Figura 23. Contenido de Fe/As en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro .....	97
Figura 24. Contenido de Fe/Pb en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro .....	97
Figura 25. Contenido de Fe/Zn en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro .....	98

Figura 26. Comportamiento del arsénico en la extracción secuencial para cationes y aniones.....	99
Figura 27. Difractograma correspondiente al concentrado final.....	100
Figura 28. Difractograma correspondiente a sedimento SNAP muestra SE-26-Sd.....	100
Figura 29. Difractograma muestra SE-04A-Rs correspondiente a un residuo histórico.....	101
Figura 30. Difractograma de muestra SE-12A-S-Jal correspondiente a la presa de jales antigua. ....	102
Figura 31. Difractograma de muestra SE-12B-S-Jal correspondiente a la presa de jales antigua.....	103
Figura 32. Difractograma de la muestra pared presa antigua de jales muestra SE-24-D-S-Sd.....	104
Figura 33. Difractograma sedimento APJ muestra SE-27A-Sd .....	105
Figura 34. Difractograma muestra sedimento APJ muestra SE-27B .....	106
Figura 35. Difractograma muestra sedimento APJ muestra SE-29 .....	106
Figura 36. Muestra SE19-Jal correspondiente a la presa de jales nueva. Partícula de pirrotita (50.72% S; 49.218% Fe).....	107
Figura 37. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula de plattnerita (O 14.34%; Pb 85.66%).....	108
Figura 38. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula mixta a) carminita (O 26.5%; Ca 6.02%; Zn 18.7%; As 22.16%; Pb 26.62%) b) hematita (O 26.35%; Fe 73.65%) .....	109
Figura 39. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula mixta a) beudantita (O 35.23%; S 5.63%; Fe 21.16%; As 11.12%; Pb 26.85%), b) hematita enriquecida en plomo (O 27.07%; Fe 68.69%; Pb 4.23%).....	109
Figura 40. Muestra SE21-Te correspondiente a terrero. Partícula mixta de a) beaverita- (Zn) (O 50.02%; S 14.71%; K 5.45%; Fe 27.25%; Zn 2.57%) y b) jarosita (O 43.9%; S 16.7%; K 5.41%; Fe 33.99%).....	110
Figura 41. Muestra SE-12B-S-Jal correspondiente a presa de jales. Partícula mixta de a) marcasita (S 56.78%; Fe 43.22%) y smithsonita (O 39.76%; Zn 60.24%).....	111
Figura 42. Muestra SE12B-S correspondiente a presa de jales antigua. Partícula mixta de a) smithsonita (O 44.53%; Zn 55.47%) y b) calcita (O 64.64%; Ca 39.36%) .....	112
Figura 43. Muestra SE12B-I correspondiente a presa de jales antigua. Partícula de esfalerita (S 38%; Zn 49%).....	112
Figura 44. Muestra SE27A-Sd correspondiente a sedimento APJ. Partícula de arsenopirita (S 18.78%; Fe 34.22%; As 47%) .....	113
Figura 45. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de hidróxido de hierro (O 41.6%; Fe 58.4%) .....	113

Figura 46. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de plumbojarosita (O 15.93%; S 14.61%; Fe 41.87%; Pb27.98%) .....	114
Figura 47. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de (O26.88%; S 58.85%; Fe 14.26%) con mapeo para i) Oxígeno, ii) Hierro y iii) Azufre .....	115
Figura 48. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de sulfato carbonato de zinc (O 23%; S 9.1%; Fe 1.95%; Zn 65.91%).....	115
Figura 49. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) cerusita (O 25.25%; Pb 74.75%) b) anglesita (O 25.16%; S 9.71%; Pb 65.13%) y c) sulfato de plomo hierro (O 44%; S 12%; Fe 26.89%; Pb 17%).....	116
Figura 50. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula de jarosita (O 54.51%; Si 1.93%; S 11.53%; Fe 32.04%) .....	116
Figura 51. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) Ilmenita (O 36.09%; Ti 3.29%; Fe 60.62%) y b) beudantita (O 42.87%; S 7.26%; Fe 22.79%; As 6.47%; Pb 20.63%).....	117
Figura 52. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) jarosita O 54.51%; Si 1.93%; S 11.53% Fe 32.04%) asociada a b) beudantita (O 42.87%; S 7.26%; Fe 22.79% As6.47%; Pb 20.63%) y c) cuarzo (O 49%; Si 50%) .....	117
Figura 53. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de arsenopirita (S 20.90%; Fe 31.64%; As 47.46%) .....	118
Figura 54. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de mixta de a) marmatita (S 34.26%; Fe 7.04%; Zn 58.69%) con alteraciones en el borde de b) hidróxido de hierro (O 42.8%; Si 3.04%; Fe 54.13%).....	118
Figura 55. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de marmatita (S 34.26%; Fe 7.04%; Zn 68.98%) rodeada por siderita con alto contenido en zinc (O 41.07%; Fe 53.23%; Zn 7.70%) .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de protones producidos por la hidrólisis de diferentes fases secundarias de $Fe^{3+}$ . Tomado de Dold (2005).....	40
Tabla 2. Concentración de EPT en jales en base seca de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V.....	53
Tabla 3. Resultados de EPT en jales en el lixiviado PECT de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V.....	54
Tabla 4. Prueba de balance ácido-base en jales de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V.....	54
Tabla 5. Georreferenciación y clasificación de las muestras colectadas.....	62
Tabla 6. Muestras de proceso.....	65
Tabla 7. Porcentajes de recuperación de elementos.....	76
Tabla 8. Concentración total de elementos potencialmente tóxicos en terreros.....	78
Tabla 9. Elementos potencialmente tóxicos en residuos de beneficio.....	79
Tabla 10. Elementos potencialmente tóxicos en la presa de jales antigua por perfiles.....	80
Tabla 11. Zonas en la pared vertical de la presa de jales antigua.....	81
Tabla 12. Contenidos de elementos potencialmente tóxicos en sedimentos SNAP.....	82
Tabla 13. Movilidad de EPT en presa de jales antigua.....	86
Tabla 14. Movilidad de EPTs en sedimentos APJ.....	88
Tabla 15. Determinación del potencial de generación de drenaje ácido.....	89

LISTA MINERALÓGICA

No.	NOMBRE	ABR.	FORMULA QUIMICA	No.	NOMBRE	ABR.	FORMULA QUIMICA
1	Actinolita	--	$\text{Ca}_2(\text{Mg}_{4.5-2.5}\text{Fe}^{+2}_{0.5-2.5})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	37	Hedenbergita	---	$\text{CaFe}^{+2}\text{Si}_2\text{O}_6$
2	Albita	Ab	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	38	Hidroniojarosita	---	$(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3^{+3}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})$
3	Andradita	And	$\text{Ca}_3\text{Fe}^{+3}_2(\text{SiO}_4)_3$	39	Hydrozincita	---	$\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$
4	Anglesita	Ang	$\text{PbSO}_4$	40	Ilita	Illt	$\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
5	Anhidrita	Anh	$\text{CaSO}_4$	41	Ilmenita	Ilm	$\text{FeTiO}_3$
6	Anortita	An	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	42	Jarosita	Jrs	$\text{KFe}_3^{+3}(\text{SO})_4(\text{OH})_6$
7	Arsenopirita	Apy	$\text{AsFeS}$	43	Lenaita	---	$\text{AgFeS}_2$
8	Basanita	---	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5(\text{H}_2\text{O})$	44	Lepidocrita	---	$\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
9	Beaverita-(Zn)	--	$\text{Pb}(\text{Fe}_2^{+3}, \text{Zn})(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	45	Litosita	---	$\text{K}_3\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})$
10	Beudantita	--	$\text{PbFe}_3(\text{AsO}_4)(\text{SO}_2)_2(\text{OH})_6$	46	Maghemita	Mgh	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
11	Brianyoungita	--	$\text{Zn}_3(\text{CO}_3, \text{SO}_4)(\text{OH})_4$	47	Magnetita	Mag	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
12	Calcita	Cal	$\text{CaCO}_3$	48	Marcasita	Mrc	$\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}_{(x=0-0.2)}$
13	Calcopirita	Ccp	$\text{CuFeS}_2$	49	Masicotita	---	$\text{PbO}$
14	Calcosita	Cct	$\text{Cu}_2\text{S}$	50	Mawbyita	---	$\text{PbFe}_2^{+3}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$
15	Caolinita	Kln	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	51	Melanterita	---	$\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
16	Carminita	---	$\text{PbFe}_2^{+3}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$	52	Mimetita	---	$\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$
17	Casiterita	Cst	$\text{SnO}_2$	53	Montomorillonita	Mnt	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
18	Cerusita	Cer	$\text{PbCO}_3$		Muscovita	Ms	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
19	Chamosita	Chm	$(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{+3})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$	54	Ortoclasa	Or	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$
20	Clinoenstantita	Cen	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	55	Pirita	Py	$\text{FeS}$
21	Coquimbita	---	$\text{Fe}_2^{+3}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	56	Pirrotita	Po	$\text{Fe}_7\text{S}_8$
22	Covelina	Cv	$\text{CuS}$	57	Plattnerita	---	$\text{PbO}_2$
23	Cuarzo	Qz	$\text{SiO}_2$	58	Plumbojarosita	---	$\text{Pb}_{0.5}\text{Fe}_3^{+3}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

**LISTA MINERALÓGICA (CONTINUACIÓN)**

No.	NOMBRE	ABR.	FORMULA QUÍMICA	No.	NOMBRE	ABR.	FORMULA QUÍMICA
24	Dickita	Dck	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	59	Pseudowollastonita	---	$CaSiO_3$
25	Dolomita	Dol	$CaMg(CO_3)_2$	60	Römerita	---	$Fe^{+2}Fe_2^{+3}(SO_4)_4 \cdot 14H_2O$
26	Enstantita	En	$Mg_2Si_2O_6$	61	Schwertmannita	---	$Fe_{16}^{+3}O_{16}(OH)_9 \cdot 6(SO_4)_{3.2} \cdot 10H_2O$
27	Epidota	---	$Ca_2(Al_2 Fe^{+3})[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$	62	Siderita	Sd	$FeCO_3$
28	Esfalerita	Sp	$ZnS$	63	Smithsonita	Sm	$ZnCO_3$
29	Ferrihidrita	Fh	$Fe_{10}^{+3}O_{14}(OH)_2$	64	Tetrahedrita	Ttr	$Cu_6[Cu_4(Fe,Zn)_2]Sb_4S_{13}$
30	Fluorita	Fl	$CaF_2$	65	Tremolita	---	$Ca_2(Mg_{5.0-4.5}Fe_{0.0-0.5}^{+2})Si_8O_{22}(OH)_2$
31	Galena	Gn	$PbS$	66	Vesuvianita	Ves	$(Ca,Na)_{19}(Al,Mg,Fe)_{13}(SiO_4)_{10}(Si_2O_7)_4(OH,F,O)_{10}$
32	Gibbsita	Gbs	$Al(OH)_3$	67	Wollastonita	Wo	$CaSiO_3$
33	Goethita	Gt	$FeO(OH)$	68	Wurtzita	Wus	$ZnS$
34	Grossularita	---	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	69	Yeso	Gp	$Ca(SO_4) \cdot 2H_2O$
35	Hematita	Hem	$Fe_2O_3$	70	Zincita	--	$ZnO$
36	Hemimorfita	---	$Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$				

\*Elaborado a partir de IMA Lista of Minerales, 2014 y Whitney y Evans (2010)

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica muy importante en México; sin embargo conlleva el uso de grandes cantidades de recurso hídrico y genera una importante cadena de residuos principalmente líquidos y sólidos; éstos últimos son los principales portadores de los llamados elementos potencialmente tóxicos (EPT) como antimonio, arsénico, bario, cadmio, mercurio, plomo, selenio, zinc, etc., que son capaces de contaminar recursos hídricos, suelos y biota. En caso de que los residuos no sean manejados adecuadamente durante la operación minera y aún posterior a la clausura del sitio de explotación, dichos elementos pueden liberarse al ambiente bajo distintas condiciones geoquímicas. La liberación de estos EPT sucede en la interface sólido-líquido generalmente mediante la generación de un lixiviado.

El carácter geoquímico y mineralógico del residuo minero es lo que determina la naturaleza del drenaje generado, la cantidad de elementos que pueden ser liberados y el riesgo a la salud humana y del ecosistema (Jamieson, 2011).

Predecir el impacto ambiental de los residuos mineros requiere la comprensión de las interacciones agua-residuos y la caracterización de este material a una escala macro y microscópica. El primer paso para predecir el futuro comportamiento geoquímico y el potencial de peligrosidad de los residuos es necesario determinar la producción de acidez y el potencial de neutralización de los minerales en residuos (Dold, 2000).

La tendencia de los residuos mineros a producir lixiviados con contenidos de EPT generalmente refleja la tasa de sulfuros primarios / carbonatos y el contenido de elementos traza heredados del depósito mineral, sin embargo la liberación de estos EPT al agua superficial y subterránea depende en esencia de la matriz que contenga al elemento y la posibilidad de adsorción del mismo por especies secundarias.

Predecir el movimiento de los contaminantes ambientales requiere la comprensión de cómo los metales son retenidos en la superficie de las partículas del suelo o sedimentos. La retención de los metales, o adsorción de otras partículas reduce la capacidad del contaminante de movilizarse en el sustrato o agua.

En el marco del proyecto FORDECYT denominado “Análisis, diagnóstico y desarrollo de estrategias para el aprovechamiento sostenible de agua y energía en la industria minera, con un enfoque multidisciplinario y formación de recursos humanos en Ciencias de la Tierra”, se pretende evaluar el comportamiento de los residuos mineros generados en el distrito minero de Santa Eulalia, en el municipio de Aquiles Serdán, Chihuahua

con el fin de investigar el potencial de impacto de los mismos sobre la calidad del agua subterránea.

La actividad minera en este sitio data de unos 300 años aproximadamente, durante este periodo de tiempo, diversos tipos de residuos han sido generados en grandes cantidades y dispuestos a lo largo de la zona de estudio. Estos residuos provienen principalmente de la operación subterránea del principal cuerpo mineralizado correspondiente a la mina San Antonio, cuya actividad es completamente dependiente de la capacidad de extracción del agua de mina, ya que opera desde 1945 por debajo del nivel freático.

La primera parte del proyecto consistió en ubicar espacialmente los residuos de los procesos de beneficio y concentración en el sitio; una vez localizados, se muestrearon a la vez que se realizaba una evaluación preliminar de campo con base en sus características observables, las muestras colectadas se etiquetaron para su análisis.

Como pretratamiento a los análisis, las muestras se dejaron secar, se homogenizaron, cuartearon y pulverizaron.

El análisis para estimar el comportamiento de los residuos mineros consistió dos partes, una evaluación geoquímica y otra mineralógica, en la primera parte se llevó a cabo la determinación del pH, esta evaluación es primordial, ya que el pH es una de las variables que, junto con el potencial redox del sistema controlan la formación de nuevas especies químicas, ya que pH ácidos promueven la movilidad de los metales (Diehl *et al.*, 2006).

Para estimar la abundancia de los EPT en los residuos mineros se llevó a cabo el análisis de elementos totales. Esta prueba, al igual que las dos que se mencionan a continuación, es de obligatoriedad para los residuos mineros en México de acuerdo a la NOM-157-SEMARNAT-2009.

La prueba ABA que determina la generación de Drenaje Ácido de (DA) un residuo, se realiza mediante el balance entre las especies generadoras de DA y especies neutralizantes con el fin de determinar si el residuo tiene la capacidad de generar soluciones ácidas que coadyuvan a la solubilidad de los metales.

Igualmente, de acuerdo a la NOM-157-SEMARNAT-2009 la prueba de movilidad es obligatoria, y permite cuantificar la liberación de los EPT mediante una técnica que simula el contacto con agua meteórica.

El análisis, de acuerdo con la Norma anterior evalúa la fracción soluble considerando únicamente agua meteórica, sin embargo los sulfuros no son solubles en agua

meteórica, es por esto que fue necesario considerar otras técnicas que permitan estimar el contenido de los EPT en la fracción geodisponible.

La geodisponibilidad, es la fracción del contenido total de un material, que puede llegar a liberarse al ponerse en contacto con una solución y de esta manera pueda impactar los sistemas naturales; está regida por la abundancia, el intemperismo, el grado y la susceptibilidad con las que los minerales tienden a intemperizarse (Smith, 2007).

Por tanto para evaluar la geodisponibilidad de los EPT es necesario simular diferentes condiciones en el ambiente, esto es que la muestra entre en contacto con soluciones ácidas o básicas. Para esto, se llevan a cabo extracciones secuenciales en las que las muestras se colocan en contacto con soluciones de distinta composición química, potencial redox y pH, con el fin de extraer o movilizar las especies minerales afines a cada extractante utilizado, y calculando posteriormente el contenido de los EPT asociado a cada fase solubilizada.

Por otro lado, la etapa de caracterización mineralógica se centra en la identificación de especies minerales primarias y secundarias.

Las principales fases minerales (mayoritarias) normalmente rigen el comportamiento geoquímico del residuo; mediante análisis de Difracción de Rayos X (DRX) se identificaron las principales especies minerales cristalinas, así como algunas primarias y secundarias que se encuentran presentes en cada muestra (en concentración >5% peso).

El análisis mediante Microscopio Electrónico de Barrido con EDS ofrece la identificación puntual de las partículas, su composición química precisa y una imagen que permite observar el estado físico de dicha partícula, identificando la formación especies secundarias o de precipitados superficiales, lo cual disminuye la movilidad de los metales (Sparks, 2005).

Esta caracterización permite obtener la información acerca de las condiciones que provocaron la formación de especies secundarias (pH, condiciones redox y concentraciones elementales, entre otras), así como sus características (tamaño de partícula, cristalinidad y concentración de elementos traza) con el fin de estimar el comportamiento futuro de los residuos, es decir, estimar si éstos podrán lograr o no la estabilidad a largo plazo y evitar la liberación de los EPT contenidos (Jamieson, 2011).

El empleo conjunto de estas técnicas de análisis permite realizar una caracterización precisa de los residuos en un sitio, de este modo los resultados obtenidos permiten conocer el estado actual de los residuos, identificar su comportamiento al ser expuestos a los agentes de intemperismo y evaluar el potencial de riesgo, así como hacer

estimaciones sobre el futuro cercano de los residuos mineros estudiados. Con esta información se pueden hacer propuestas para un adecuado manejo de estos residuos o su remediación en caso de ser necesaria.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Importancia económica de la minería en México

Los partidarios de la minería mencionan que ésta conlleva el desarrollo económico y reduce la pobreza, argumentan que las ventajas económicas radican en el aumento de ingresos para el gobierno, mejora de servicios y empleo en comunidades locales, y el aumento de la demanda de bienes y servicios como avance para la economía local (Catapa, 2014).

*“Las inversiones (mineras) traen consigo proyectos de largo plazo, la generación de infraestructura básica como caminos, drenaje, alumbrado y la infraestructura social como vivienda de calidad, escuelas, centros deportivos y hospitales (...)”*

(Anuario estadístico de minería de México 2011-2012; pág.7)

El sector minero es uno de los principales motores económicos de México. Su importancia radica en el conjunto de beneficios que se desprenden de esta actividad, como la generación de empleos, divisas, inversiones, el crecimiento en conjunto de esta actividad con su cadena de valor y la importante aportación al desarrollo cultural de nuestro país (Secretaría de Economía, 2014).

México cuenta con doce regiones mineralizadas y más del 76% de los estados realiza algún tipo de actividad minera. Actualmente es el mayor productor de plata a nivel mundial; asimismo, se ubica entre los 10 principales productores de 16 diferentes insumos como: oro, plomo, zinc, cobre, bismuto, fluorita, celestita, wollastonita, cadmio, diatomita, molibdeno, barita, grafito, sal, yeso y manganeso.

La minería en México contribuye con el 4.9% del Producto Interno Bruto Nacional. En mayo de 2013, generó 337 mil 598 empleos directos y más de 1.6 millones de empleos indirectos, (IMSS, 2014). El salario promedio de cotización es 37% superior al promedio nacional (STPS a diciembre de 2012).

De acuerdo con CAMIMEX, en 2013 México fue el primer destino en inversión en exploración minera en América Latina y el cuarto en el mundo según Metals Economics Group en marzo 2013. También era considerado el quinto país con el mejor ambiente para hacer negocios mineros (Behre Dolbear, 2013).

El Instituto Fraser de Canadá ha ubicado a México como: 1er lugar en 2007 y 9° lugar en 2009 por su índice de potencial minero, y en 2008 recibió una mención de Metals Economics Group como el 4° mejor destino para la inversión internacional en explotación minera. Es por ello que existen actualmente 2 022 títulos de concesión y asignación minera, con una superficie concesionada de casi 4,000 hectáreas en 2008 (en 2007 fueron más de 8 000 las hectáreas concesionadas), 257 empresas extranjeras (76% son canadienses) que operan 628 proyectos (CAMIMEX, 2014).

Actualmente, la minería se ubica en nuestro país, como el cuarto sector que más divisas genera, después de las remesas, el petróleo y la industria automotriz. Para 2011 las inversiones alcanzaron 5 mil 563 millones de dólares, 7 mil 647 millones de dólares para 2012, y para 2013 se estimó una inversión cercana a 8 mil millones de dólares.

La producción minera en 2008 ascendía a 91 744.9 millones de pesos y ya en 2011 esta producción fue de 259.8 mil millones de pesos, principalmente en cuatro estados (Sonora, Zacatecas, Chihuahua y Coahuila) que concentran el 73% de la producción total.

### **2.2 Implicaciones ambientales de la minería**

La minería es una actividad económica muy importante. La recuperación de metales a partir de las minas requiere de una serie de pasos desde el minado, reducción de tamaño hasta la recuperación de los metales. En cada uno de estos pasos una cadena de residuos es generada (Blowes y Ptacek, 1994).

El proceso de minado tiene como objetivo extraer el mineral cuya concentración en la matriz pétreo permita la mejor recuperación con rendimiento económico, dejando atrás la mayor cantidad de mineral de grado inferior y tanta roca estéril como sea posible (a la concentración o contenido de mineral de interés económico en la roca se le denomina Ley). Esta distinción está directamente relacionada con la rentabilidad del proceso de

extracción y el valor actual de los metales en el mercado. Por lo tanto la ley para un sitio generalmente varía respecto al tiempo.

Debido a que las concentraciones naturales en la corteza terrestre de metales como el cobre, plomo y zinc (55, 13 y 70 ppm respectivamente) deben aumentarse hasta 1, 38 y 11%, respectivamente, para obtener concentrados económicamente redituables (Campos, 2011) grandes cantidades de material estéril, de baja ley y residuos de procesos de concentración deben ser desechados.

Una vez extraídos los minerales de interés, el material de desecho es transportado a presas de jales para su disposición final (Dold, 2005). En el caso de algunas minas de cobre que operan mediante flotación alrededor del 95 al 99% del material minado se convierte en residuo.

Para México no existe una cuantificación exacta de los residuos generados por la industria minera, pero se sabe que en Canadá en 1991 se generaban al día  $1 \cdot 10^6$  toneladas de roca estéril (Blowes y Ptacek, 1994) y que en EUA estos residuos asciendan al 29% del promedio anual de residuos generados (Adam, 2003).

Adicional al gran volumen de residuos sólidos generados, los tratamientos de refinación y concentración de minerales requieren una alta demanda de uso de agua. En EUA, el coeficiente de uso de agua/tonelada de material crudo extraído varía de 636 a 7 123 L, para metales; de 227 a 268 L para carbón y de 136 a 4 532 L para minerales no metálicos. De acuerdo a Delgado-Ramos (2010), 2/3 partes del agua usada en los tratamientos de concentración de minerales proviene de fuentes de agua subterránea.

La extracción y tratamiento de minerales de baja ley tienen consumos de agua superiores a  $1 \cdot 10^8$  L diarios causando una disminución en el nivel del agua subterránea del área de extracción, esto llega a comprometer la capacidad de recarga del acuífero utilizado, y conllevar a la extinción eventual de este suministro en el sitio.

Los diferentes procesos de la minería: fracturación física y métodos químicos de concentración, permiten la liberación de especies minerales contenidas en la matriz de

roca original, estas especies minerales contienen además de los metales con valor económico otros elementos asociados sin valor económico y algunos de ellos identificados como elementos potencialmente tóxicos (EPT), estos elementos tóxicos.

De acuerdo al inventario de Emisiones Tóxicas de EUA, la minería de metales pesados es la mayor fuente de contaminantes en ese país, emitiendo 861.82 millones de kilogramos de elementos tóxicos.

La contaminación por metales pesados en cuerpos de agua, ocurre con elementos como el cobalto, cobre, cadmio, plomo, plata y zinc, contenidos en las rocas removidas que entran en contacto con agua. Cuando esto ocurre, los metales lixiviados son infiltrados hacia el manto freático mientras el agua lava la superficie rocosa. Las consecuencias en el agua son similares a las generadas por el drenaje ácido de mina (DAM), que según el Consejo de la Minería Ambiental de la Columbia Británica puede durar cientos, o miles de años. Según esta entidad, el DAM constituye la mayor fuente de contaminación por metales causada por la minería (Earthworks, 2014).

Una vez que las operaciones mineras en un sitio ya no son redituables, este sitio deja de operar y deberá ser clausurado. Generalmente los residuos originados quedan almacenados en estos lugares permitiendo principalmente la liberación de metales pesados, mismos que son capaces de contaminar corrientes superficiales y subterráneas y pueden permanecer en el ambiente causando un riesgo para los recursos hídricos y la vida en general.

Tan solo en EUA la minería ha dejado más de 550 000 minas abandonadas, 10 000 kilómetros de ríos contaminados, y más residuos sólidos que cualquier otra industria (Burden of Gilt, 1993).

De acuerdo con la publicación Earthworks (2013), el gobierno de EUA reveló que 102 mil millones de litros de agua contaminada serán generados por cada cuarenta minas cada año, a perpetuidad, definiendo "*A perpetuidad*" como la contaminación del agua que continua durante cientos o miles de años, donde las agencias gubernamentales no pueden predecir que se alcance la calidad normativa del agua sin un tratamiento para

ello. El costo del tratamiento de esta agua es alrededor de 57 a 67 billones de dólares americanos por año, y será asumido por los contribuyentes estadounidenses, si la empresa minera no puede o no quiere pagar dicho tratamiento.

Aunque en México la minería es una actividad económica muy importante, no se cuenta con un inventario histórico de los residuos generados; en un estudio de cuantificación aproximada de residuos mineros (SEMARNAT, 2009) se calcula que el 94.4% de todos los residuos generados se concentran en los estados de: Sonora, Zacatecas, Chihuahua, Durango, Querétaro y Coahuila. Comprendiendo un aproximado de 5.65 mil millones de toneladas de residuos (entre jales, terreros y tepetates).

De acuerdo al INEGI (2012), para 2011 la minería es considerada el sector económico con más agotamiento y degradación ambiental en el país generando un costo por agotamiento y degradación ambiental de 242 274.7 millones de pesos, de los cuales solamente el 8.6% o sea 20 862.7 millones de pesos son devueltos como gasto de protección ambiental.

Esto ha causado que, para el 2012 se cuente con un déficit ambiental de \$841 998 millones de pesos, ya que solo se invierte 1/7 de lo que debería en gastos de protección al ambiente (INEGI, 2012).

### **2.3 Residuos mineros**

De acuerdo a la NOM-157-SEMARNAT-2009 que “establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros,” y considera que estos materiales: son aquellos provenientes de las actividades de la explotación y beneficio de minerales o sustancias.

En dicha norma se presenta la siguiente clasificación de residuos mineros:

- i) Residuos provenientes del minado
  - a) Terreros. Residuos conformados por apilamiento de material mineral de baja ley.

- b) Tepetates. Residuos conformados por apilamiento de material mineral, sin valor económico. Incluye al descapote.
- ii) Residuos provenientes del beneficio de minerales
- iii) Residuos de la concentración de minerales
- iv) Residuos del beneficio físico
  - a) Jales de la separación magnética o electrostática
  - b) Jales de la concentración gravimétrica
- v) Residuos del beneficio físico-químico
  - a) Jales de flotación
  - b) Reactivos gastados de los procesos de flotación
- vi) Residuos del beneficio de minerales por procesos químicos o bioquímicos
  - a) Jales cianurados
  - b) Mineral gastado de sistemas de lixiviación en montones

De acuerdo al Bourden of Gilt (1993) los residuos mineros pueden separarse de acuerdo a la actividad que los genera:

a) *Residuos de las operaciones extractivas.* Los desechos generados por las operaciones extractivas son principalmente agua de mina y roca estéril.

a.1) Agua de mina. Es el agua que entra a la mina, puede ser agua subterránea o de precipitación directa. Las operaciones mineras activas por debajo del nivel freático deben bombear el agua de la mina para acceder al yacimiento. Normalmente la descarga de agua de las minas en operación se regula pero cuando una mina cierra, la liberación de agua generalmente cesa. Las minas subterráneas inoperantes o abandonadas suelen estar llenas de agua que puede ser liberada a través de aberturas como socavones, fracturas o fisuras que alcanzan la superficie. Las minas superficiales que se extienden por debajo de la capa freática volverán a ese nivel, formando un lago, inundando o saturando el material de relleno. El agua de las minas abandonadas puede contener concentraciones significativas de metales pesados y sólidos disueltos totales, además de temperaturas elevadas y pH muy bajo o muy alcalino.

a.2) Roca estéril. Comprende los residuos de roca o roca estéril y consisten en roca no mineralizada y mineralizada de bajo grado removida alrededor o dentro del yacimiento durante las actividades de extracción. Ya que la ley que define una roca estéril es una distinción económica, puede variar con el tiempo. Algunos de estos residuos desechados por ser considerados mineral de “baja ley” pueden llegar a explotarse mediante el uso de nuevas tecnologías de extracción.

Este material estéril compuesto principalmente roca granular y suelo superficial, incluye partículas desde arena fina hasta grandes rocas, el contenido de material fino depende en gran medida de la naturaleza de la roca y los métodos de extracción utilizados. La roca estéril es dispuesta generalmente en grandes pilas (terreros y tepetates) o vertederos adyacentes a la pendiente del punto de extracción. A menudo se utiliza para relleno de la mina, presas de jales.

Los terreros y tepetates pueden contener partículas con tamaño desde  $<4\mu\text{m}$  hasta bloques de roca estéril o parcialmente mineralizada. Los residuos contienen mineral de mena, matriz de roca o roca encajonante, y minerales de alteración a menudo enriquecidos con sulfuros de hierro, sílice cristalina y aluminosilicatos. (Plumlee y Morman, 2011).

b) *Residuos de la operación de beneficio*. Los residuos generados por las operaciones de beneficio se conocen colectivamente como jales, relaves o colas. Son una mezcla de roca triturada, agua y reactivos químicos residuales. La naturaleza física y química de los jales está en función de la mena y de las operaciones utilizadas para el beneficio. El método de eliminación de residuos está controlado en gran medida por el contenido de agua de los residuos.

Los jales húmedos son acumulados en el fondo de un pozo de almacenamiento, estanque de sedimentación o presa de jales y el agua residual generalmente es recuperada para ser reutilizada.

Los jales pueden ser dispuestos en una variedad de configuraciones denominados depósitos o presas de relaves, las cuales pueden ser generadas por diversos métodos

constructivos: valle de relleno, colina, y deposición en ascensores. Estas presas pueden variar en tamaño desde menos de una hectárea hasta mil hectáreas. El espesor oscila comúnmente de 3 a 5 metros aunque puede llegar a ser hasta de 300 metros. En la práctica no existe una recuperación al 100% del mineral de mena, de hecho en la minería de cobre los jales ascienden generalmente a un 95-99% del material beneficiado.

Aunque se considera que la operación de minado por si misma sólo afecta un área relativamente pequeña, los depósitos de residuos y las presas de jales son la principal fuente de liberación de metales al ambiente (Salomons, 1995).

Si bien los jales contienen concentraciones mucho más bajas del mineral de valor que el mineral extraído, también contienen altas concentraciones de otros minerales que no representan un beneficio económico, entre ellos algunos sulfuros, mayormente la pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

Actualmente, la producción a gran escala de residuos mineros, su disposición final segura y una remediación sustentable representan problemas de importancia global (Hudson, 2011).

### **2.3.1 Geoquímica de los residuos mineros**

El proceso de mineralización produce minerales "primarios" de valor económico (metales y sulfuros metálicos), y minerales de ganga sin valor económico (sulfuros de hierro, silicatos y carbonatos), así como minerales producto de los procesos de alteración de la roca encajonante o matriz.

Cuando los depósitos minerales quedan expuestos en la superficie de la Tierra son susceptibles al intemperismo y oxidación. Estos procesos de intemperismo pueden transformar los minerales primarios en minerales "secundarios" como los óxidos metálicos, carbonatos y sulfatos, entre otros. Ambos tipos de minerales pueden ser económicamente redituables (Plumlee y Morman, 2011).

Al igual que los depósitos minerales de los que fueron extraídos, los residuos mineros son capaces de sufrir procesos de intemperismo, dispuestos de forma inadecuada son más susceptibles a presentar cambios físicos y químicos; los minerales originalmente contenidos en estos residuos forman nuevas especies químicas.

La formación de los nuevos diferentes minerales, depende en esencia de la mineralización primaria.

En los residuos mineros el principal fenómeno de intemperismo es la oxidación de los sulfuros metálicos. Esto conlleva a un riesgo ambiental, básicamente debido a que el sulfuro presente en los minerales es expuesto al aire y agua, liberando los iones metálicos contenidos en el mineral primario. La oxidación de los sulfuros metálicos en minas, depósitos de residuos y presas de jales origina aguas de bajo pH ricas en metales.

La tasa de oxidación de sulfuros es controlada de manera importante, por la humedad y la cantidad de oxígeno contenidos en los espacios porosos del material de jales y depósitos de residuos (Ritchie, 1994).

Cabe mencionar que los depósitos de residuos mineros no se oxidan de manera homogénea vertical o longitudinalmente, ni a un mismo tiempo; Ritchie (1994) menciona que además de la mineralización primaria la oxidación de los sulfuros obedece a las características geoquímicas de los depósitos en cuestión. Como se mencionó anteriormente los depósitos de residuos son distintos entre sí, en características como: procedencia (alteraciones químicas por parte del proceso de beneficio de minerales), contenidos metálicos, tamaño de partícula, etc. Estas características hacen que su comportamiento geoquímico sea distinto.

Los dos tipos principales de residuos mineros para los cuales su comportamiento geoquímico ha sido descrito son: residuos de la operación de minado (compuestos de material estéril), esto es terreros y tepetates de baja mineralización y residuos de la operación de beneficio, o depósitos de jales (Ritchie, 1994).

Los terreros, son depositados comúnmente en pilas que desde 10 a 30 m de altura, contienen material de tamaño que va desde granos finos (arenas) hasta grava aunque

llegan a incluir bloques de varios metros de diámetro (Ritchie, 1994). Esto provoca una gran porosidad, drenaje libre, es decir flujo rápido de agua a través de la pila y un bajo contenido de humedad residual.

En este tipo de pilas el transporte de oxígeno está controlado principalmente por difusión, conforme aumenta la profundidad del depósito, el oxígeno se vuelve un factor limitante, y puesto que la oxidación de los sulfuros depende básicamente de la presencia de agua y oxígeno, la zona activa para la oxidación del sulfuro tiende a ser bastante estrecha (Ritchie, 1994).

En las presas de jales, la composición química al igual que su granulometría es distinta a la de un terrero y a que comprende partículas de menor tamaño, provenientes de operaciones de concentración, estas son descargadas con altos contenidos de agua y dispuestas en las presas de jales de forma tal que después se pueda recuperar esta agua. El tamaño de partícula aunado a la saturación del material hace que su permeabilidad sea muy baja y que el transporte de oxígeno en fase gaseosa sea insignificante, al contrario de lo que sucede en los depósitos de roca estéril (Blowes, 1997).

En la parte superior de la presa de jales, el agua se pierde rápidamente ya sea que se evapore o percole, esta zona es conocida como la zona no saturada (o zona vadosa) donde el contenido de humedad y la rápida difusión del oxígeno establecen una zona de alta oxidación de los minerales de sulfuro. Una vez que los minerales de esta zona se han oxidado, la tasa de oxidación disminuye, ya que conforme aumenta la profundidad del depósito la distancia para lograr una adecuada difusión del oxígeno es cada vez más grande y el contenido de humedad mayor. Por lo tanto, la oxidación de los sulfuros en la zona de oxidación de una presa de jales es dependiente del espesor de la zona no saturada.

La Figura 1 muestra verticalmente las zonas de oxidación de un depósito de jales en relación con el contenido de agua.

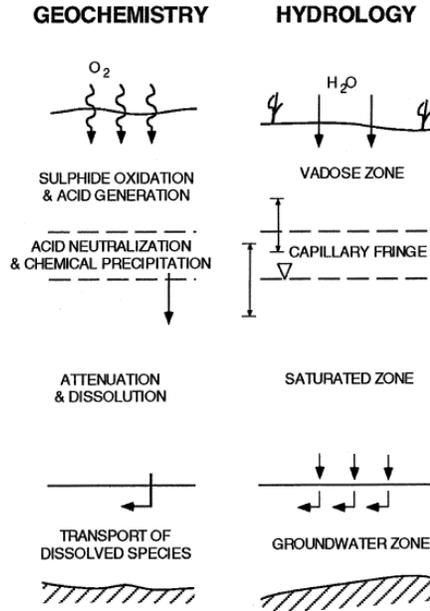


Figura 1. Diagrama esquemático de la hidrología y geoquímica de una presa de jales, (Imagen tomada de Blowes, 1997).

Para ambos tipos de residuos: material estéril y presas de jales, las condiciones ambientales y el tiempo de exposición de los sulfuros al oxígeno atmosférico cambian algunas de las condiciones geoquímicas originales de los residuos (Dold, 2005).

La oxidación de los sulfuros en los depósitos de residuos se controla principalmente por los flujos de oxígeno y agua, sin embargo el tipo de minerales sulfurosos, el tipo de minerales neutralizantes presentes, aunado a la posible actividad microbiana son los factores que rigen el comportamiento último de los residuos, la liberación de los metales contenidos y por ende su impacto ambiental.

### 2.3.2 Geodisponibilidad y movilidad

El contenido total de un elemento es la abundancia del elemento en un material dado; la geodisponibilidad es una función del contenido total, de la exposición a los procesos de intemperismo y la susceptibilidad ante los mismos. La porción del contenido total de un elemento que es liberado de las fases sólidas en las que se encuentra contenido

mediante procesos mecánicos, químicos o biológicos es la porción geodisponible del elemento (Smith, 2007).

Los controles que rigen la geodisponibilidad son la abundancia, la exposición a los factores de intemperismo, el grado (severidad) y la susceptibilidad de los minerales a ser intemperizados.

Los residuos mineros pueden contener cantidades importantes de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Estos elementos pueden existir en los residuos en diferentes formas químicas y en asociación con diferentes especies minerales.

La movilidad se refiere a la capacidad de un elemento para solubilizarse después de entrar en contacto con una solución. Smith (2007) considera que la movilidad debería considerarse en un sentido relativo comparando el comportamiento de los elementos bajo condiciones ambientales cambiantes.

La movilidad de cualquier constituyente particular de un residuo es altamente dependiente de las condiciones específicas del sitio (clima, hidrología, geoquímica, tipo de beneficio, mineralogía y tamaño de las partículas), entonces está regida por los siguientes controles principales: abundancia y geodisponibilidad, especiación, solubilidad de minerales primarios y secundarios y procesos de adsorción, coprecipitación e intercambio iónico (Nordstrom, 2011).

En los residuos mineros los procesos de adsorción, coprecipitación e intercambio iónico están dominados principalmente por la formación de nuevas especies a partir de las reacciones de neutralización llevadas a cabo por especies minerales como los carbonatos.

El primer paso para predecir el futuro comportamiento geoquímico y el potencial de peligrosidad de los residuos es necesario determinar la producción de acidez y el potencial de neutralización de los minerales en residuos (Dold, 2000).

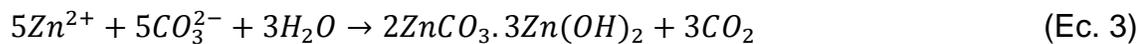
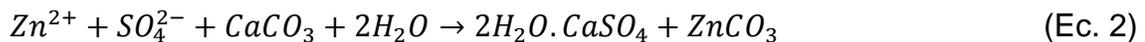
La relación de la producción de acidez y de neutralización determina las condiciones Eh-pH, y por tanto, la movilidad de los elementos liberados.

La concentración de los minerales sulfurosos y de minerales neutralizantes es un factor importante en el potencial de generación de DA. La generación de DA es el principal factor por el cual la mayoría de los EPTs llegan a ponerse en solución, es decir se movilizan. La generación de soluciones ácidas que contienen iones metálicos disueltos es una fuente de contaminación para los cuerpos de agua y los suelos (Ferreira Da Silva *et al.*, 2006).

### 2.3.2.1 Oxidación de sulfuros

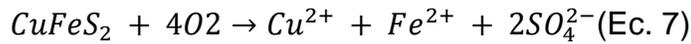
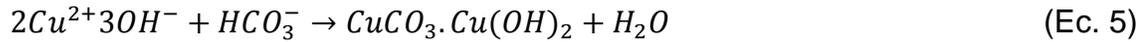
La oxidación de los sulfuros es el principal fenómeno de intemperización que sucede en los residuos mineros, ésta oxidación está acompañada de la liberación parcial de los EPTs contenidos, estos elementos pueden permanecer en solución o formar nuevas especies en función de su valencia química, radio iónico, etc.

El zinc y cobre son los elementos más solubles, con la alteración de sulfuros, pero su comportamiento es distinto, el zinc es muy soluble, se lixivia fuertemente, no forma sulfuros secundarios o minerales oxidados secundarios, excepto en presencia de carbonatos. Las ecuaciones 1, 2 y 3 muestran la formación de las especies minerales secundarias smithsonita ( $K_{ps}=1.5 \cdot 10^{-11}$ ) e hidrozincita ( $K_{ps}=10^{-8.7}$ ).



El cobre también es un elemento soluble, pero durante los procesos de alteración se infiltra hacia la zona de precipitación, donde ocurre una cementación del material; en condiciones reductoras se produce la formación de sulfuros secundarios de cobre como la calcosina ( $K_{ps}=2.3 \cdot 10^{-48}$ ) y la covelina ( $K_{ps}=7.9 \cdot 10^{-37}$ ) por sustitución del hierro de la calcopirita o pirita. Si el medio es muy alcalino se pueden formar óxidos de cobre o cobre nativo.



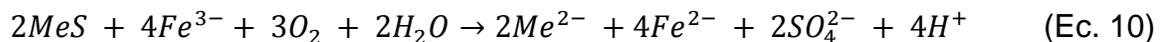


El plomo es un elemento muy poco soluble, reacciona formando inmediatamente minerales secundarios de solubilidades bajas como anglesita ( $K_{ps} = 2.53 \cdot 10^{-8}$ ) o cerusita ( $K_{ps} = 1.5 \cdot 10^{-13}$ ), aunque esta última es soluble en ácidos.

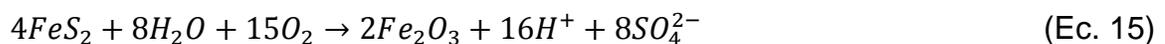
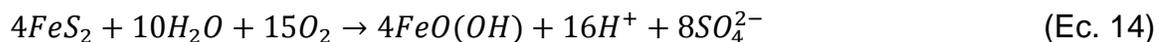
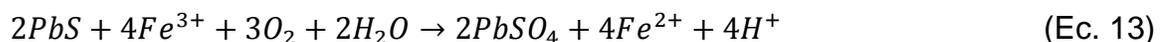
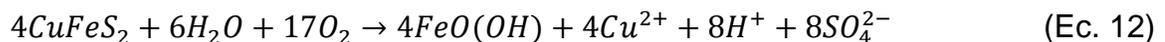
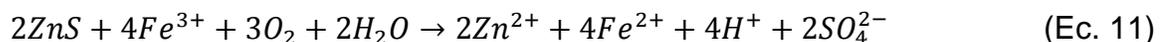


Las reacciones de estos sulfuros no incluyen formación de acidez, es decir por sí solos no tienen la capacidad de generación de drenaje ácido (Dold, 2005).

La presencia de hierro ( $Fe^{+3}$ ) promueve las reacciones de oxidación química. En presencia de metales divalentes (Me), la reducción del ( $Fe^{+3}$ ) produce acidez de acuerdo a la siguiente reacción general:



De esta forma podemos observar cómo en presencia de ( $Fe^{3+}$ ) cambia el estado de oxidación del azufre en los sulfuros de los elementos anteriores:



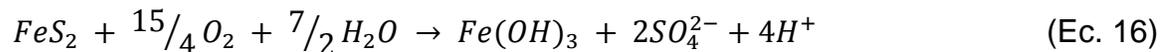
Esto muestra que la presencia de  $(Fe^{3+})$  contribuye a la formación de iones sulfato y  $H^+$ , lo que implica una acidificación del medio.

Estas diferentes reacciones son las que originan la acidez en el agua característica en áreas mineras con mineralogía de sulfuros. La dominancia de este tipo de reacciones provoca el fenómeno conocido como generación de drenaje ácido de residuo (DAR).

El DA ha sido considerado un problema mayor de contaminación ambiental durante las últimas décadas. Además es el principal problema ambiental asociado a la explotación de los yacimientos de sulfuros y carbón (Adam, 2003).

El drenaje ácido de mina sucede principalmente por la oxidación de sulfuros de hierro, el de mayor importancia es la pirita.

La reacción neta de la oxidación de la pirita puede ser expresada como:



La oxidación de la pirita ha sido ampliamente estudiada y se sabe que se lleva a cabo en una serie de reacciones que incluyen la formación de minerales secundarios metaestables, y otros más estables como la jarosita y la hematita dependiendo de las condiciones geoquímicas como puede verse en la Figura 2.

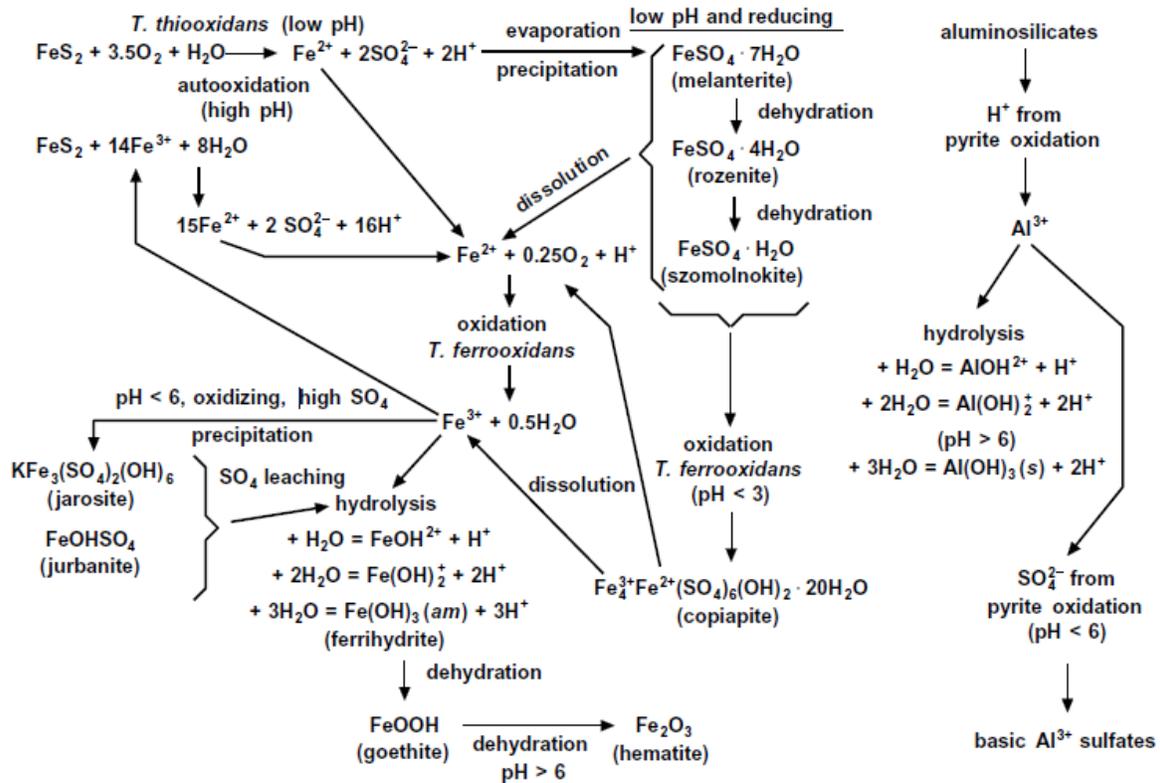
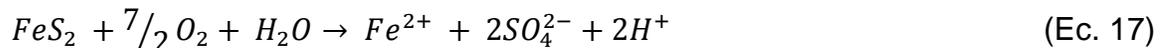


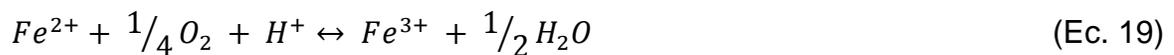
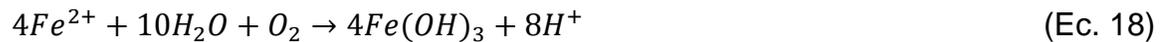
Figura 2. Química del hierro y aluminio en el proceso que controla la generación de acidez en residuos mineros piríticos (tomado de Essington, 2005).

La oxidación de la pirita, sucede entonces en los siguientes tres pasos\*:

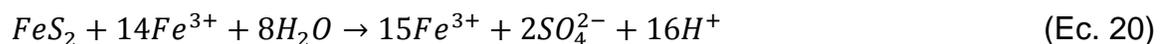
Etapa 1. Primera Parte. Oxidación del sulfuro



Etapa 1. Segunda Parte. Oxidación del ion ferroso



Etapa 2. Oxidación del sulfuro mediante ion férrico



Etapa 3. Hidrolisis y precipitación de complejos férricos y minerales



\*Modificación propia hecha a partir de Dold (2005) y Salomons (1995)

Salomons (1995) estableció que para la formación de DA se contemplan 3 etapas como sigue:

Etapa 1. En esta etapa se inicia con condiciones de pH inferiores a 4.5, alto contenido de sulfato y bajo contenido de hierro. La oxidación comienza de forma abiótica. Posteriormente el pH comienza a descender.

Etapa 2. El pH se encuentra entre 4.5 y 2.5, con altos niveles de sulfato y la cantidad de hierro aumenta, aunque la relación  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  se mantiene baja.

Etapa 3. Aquí se presentan niveles de pH menores a 2, una alta concentración de sulfatos y hierro. Alta relación  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ .

Como se observa en la Figura 2 la acción de microorganismos como *T ferrooxidans* acelera las cinéticas de reacción de la oxidación de sulfuros manteniendo ambiente ácido.

Dold (2005) menciona que en la última etapa de oxidación de la pirita sucede una hidrólisis seguida de la precipitación de complejos férricos y otros minerales. En el primer grupo de minerales secundarios formados de esta manera están los hidróxidos, oxihidróxidos, y oxihidróxisulfatos secundarios de hierro (III). La formación de estos comienza con la hidratación del  $Fe^{3+}$  mediante 6 moléculas de agua, esto no sucede a pH bajos donde el  $Fe^{3+}$  es estable, las primeras especies en formarse son las de menor peso molecular como  $Fe(OH)^{2+}$  y  $Fe(OH)^+$ . Las siguientes especies formadas son estables dependiendo del pH:  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)^{2+}$ ,  $Fe(OH)_2^+$ ,  $Fe(OH)_{3(aq)}$ ,  $Fe(OH)_4^-$ ,  $Fe_2(OH)_2^{4+}$  y  $Fe_3(OH)_4^{5+}$ . La Figura 3 muestra la estabilidad de estas especies minerales de acuerdo con valores de pH-Eh.

Conforme “envejecen” los minerales precipitados, otros minerales más complejos se van formando, tales como óxidos de hierro (III), oxi-hidróxidos, e hidroxisulfatos.

El segundo grupo de minerales secundarios formados está compuesto por sulfatos de hierro. Pueden estar compuestos de Fe (II), Fe(II)+Fe(III), o Fe(III), mejor conocidos como melanterita, römerita y coquimbita, respectivamente. Estos minerales son

metaestables en comparación con los óxidos e hidróxidos de hierro, solubles en agua y liberan acidez al transformarse (Dold, 2005).

Ejemplo: Schwertmannita a goethita:



Finalmente el último grupo de especies minerales secundarias formadas es el de los sulfatos solubles en agua, también conocidos como sales eflorescentes como el yeso y la calcantita, que se forman en condiciones oxidantes y con altas tasas de evaporación, los cuales también pueden liberar cantidades significativas de metales y acidez al contacto con agua. Este grupo de minerales se considera un factor importante en la regulación estacional en los niveles de contaminación de aguas superficiales y subterráneas en climas áridos y semiáridos.

**Tabla 1. Cantidad de protones producidos por la hidrólisis de diferentes fases secundarias de Fe<sup>3+</sup>. Tomado de Dold (2005).**

Fase	Ecuación	mol de H <sup>+</sup> / mol de Fe <sup>3+</sup> hidrolizado
Fe(OH) <sub>3(s)</sub>	$Fe^{3+} + 3H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 3H^+$	3
Ferrihidrita	$10Fe^{3+} + 60H_2O \leftrightarrow 5Fe_2O_3 \cdot 9H_2O + 30H^+$	3
Goethita	$Fe^{3+} + 2H_2O \leftrightarrow FeO(OH) + 3H^+$	3
Hematita	$2Fe^{3+} + 3H_2O \leftrightarrow Fe_2O_3 + 6H^+$	3
Schwertmannita	$8Fe^{3+} + SO_4^{2-} + 14H_2O \leftrightarrow Fe_8O_8(OH)_6SO_4 + 22H^+$	2.75
	$16Fe^{3+} + 3SO_4^{2-} + 26H_2O \leftrightarrow Fe_{16}O_{16}(OH)_{10}(SO_4)_3 + 42H^+$	2.625
Jarosita	$3Fe^{3+} + K^+ + 2SO_4^{2-} + 6H_2O \leftrightarrow KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 6H^+$	2

Una vez que ha finalizado el proceso de oxidación del sulfuro de hierro (pirita) (Fe<sup>2+</sup>) a hierro (Fe<sup>3+</sup>) se forma goethita o hematita. Una porción del hierro liberado del sulfuro se almacena en óxidos e hidróxidos de hierro, que también pueden adsorber otros cationes metálicos. Estos óxidos, son factibles de ser almacenados en sedimentos aluviales por períodos considerables de tiempo (hasta decenas de miles de años), y

constituyen una amenaza a largo plazo para los ríos y la calidad de los suelos (Hudson-Edwards *et al.*, 1999). El pH juega un papel fundamental para la estabilización de estos óxidos. La Figura 3 muestra el diagrama pH/Eh para los óxidos de hierro donde se observa la aparición de jarosita (Jt), schwertmannita (Sh), goethita (Gt) y ferrihidrita (Fh) conforme aumenta el pH.

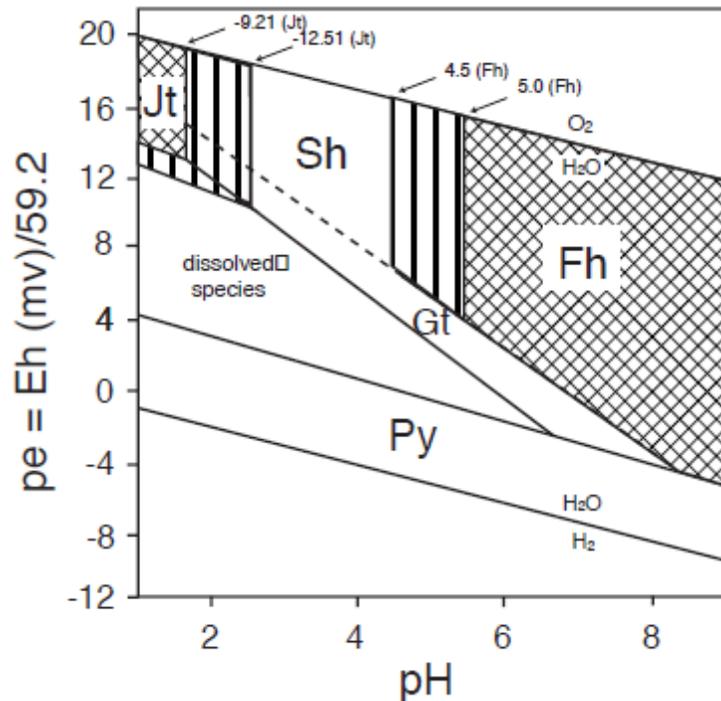


Figura 3. Diagrama pe/pH. Donde  $pe=Eh \text{ (mV)}/59.2$ ;  $\log$  actividades totales de  $Fe^{2+}=-3.47$ ;  $Fe^{3+}=3.36$ ; Gt=goethita, Jt=jarosita, Fh=ferrihidrita, Sh=schwertmannita, Py=pirita (tomado de Dold, 2005)

### 2.3.2.2 Minerales neutralizantes

Los minerales de la ganga que acompañan a los sulfuros son importantes en el control de las condiciones físico-químicas del medio. La oxidación de los sulfuros resulta en la acidificación del agua intersticial en los residuos mineros y esto a su vez conlleva a la disolución de los metales contenidos. Esta agua ácida reacciona con los minerales no sulfurosos de la ganga. Este fenómeno, en el que los  $H^+$  son consumidos, se conoce como neutralización y permite el amortiguamiento del pH del agua y la formación de

nuevas especies químicas, mediante reacciones de adsorción, coprecipitación e intercambio iónico para el control de la movilidad de los elementos disueltos.

Los minerales que pueden elevar el pH de las soluciones ácidas generadas por la oxidación de los sulfuros son: minerales carbonatados, hidróxidos de aluminio, oxihidróxidos de hierro y aluminosilicatos (Blowes, 1997).

Los minerales carbonatados más importantes y abundantes son la calcita y la dolomita.

La disolución de la calcita puede ser descrita como:

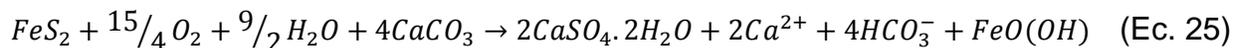


En medios más ácidos (pH<6)



La disolución de estos minerales libera  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  que se encuentran en solución y aumentan la alcalinidad del agua permitiendo un amortiguamiento mayor del pH.

El mecanismo de amortiguación de la oxidación de la pirita a través de un carbonato genera sulfato disuelto y calcio que precipita en forma de yeso. De acuerdo a Pirlet *et al.*, (2010) esta reacción puede ser descrita como:



Conforme los carbonatos se disuelven, el pH se mantiene en valores neutros. Lo que favorece la precipitación de hidróxidos metálicos cristalinos y amorfos (Blowes, 1997).

En los residuos provenientes de minas de sulfuros y sulfuros masivos existe una mayor cantidad de sulfuros que de carbonatos, los carbonatos son consumidos rápidamente y una vez que se han agotado, otras especies con capacidad de neutralización comienzan a disolverse.

Dubrovsky (1986), Blowes y Jambor (1990) y Johnson (1993) mostraron que en distintas presas de jales el primer hidróxido en disolverse es  $Al(OH)_3$ , estableciendo el pH en un rango de 4.0 a 4.5. Una vez que todo el  $Al(OH)_3$  presente se agota, el pH baja

nuevamente hasta llegar al equilibrio con algún oxi-hidróxido de hierro, típicamente ferrihidrita o goethita. La disolución de estos oxi-hidróxidos permite mantener el pH en un rango de 2.5 a 3.5.

Estas reacciones son descritas a continuación:



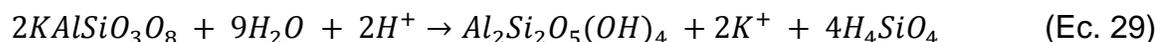
Jambor y Blowes (1998) mencionan que los aluminosilicatos se disuelven a pH menores a 1, sin embargo este proceso es mucho más lento que los anteriormente descritos, la disolución de la mayoría de los aluminosilicatos consume acidez ( $H^+$ ) y libera Ca, Mg, Fe (II), Na, K, Al y Si disueltos al agua Blowes y Ptacek (1994), lo que también contribuye al amortiguamiento del pH y a la formación de nuevas especies minerales no neutralizantes.

Strömberg y Banwart (1994) sugirieron que, en ausencia de carbonatos, la biotita es el mayor consumidor de la acidez generada en los residuos mineros.

La disolución de los feldespatos da lugar a la formación de arcillas como piroxeno, anfíbolita y clorita, la clorita a su vez puede alterarse a sericita, kaolinita o Mg-montmorillonita.

Las reacciones que se muestran a continuación son una simplificación del proceso complejo de formación de minerales arcillosos.

Aquí se muestra la transformación del feldespato a caolinita y sericita:



En el caso de la plagioclasa el comportamiento es similar, con liberación de sodio y/o calcio, de acuerdo con lo descrito por Walder y Schuster (1998).

Las reacciones de neutralización permiten el establecimiento de nuevas especies minerales o “minerales secundarios”. La precipitación de los minerales secundarios limita las concentraciones de los iones mayores y metales disueltos en las aguas provenientes de los residuos, y en algunos casos la acumulación de estos minerales es suficiente para reducir la porosidad y la permeabilidad del material (Blowes *et al.*, 1991).

### 3. SITIO DE ESTUDIO

#### 3.1 Antecedentes históricos del distrito minero de Santa. Eulalia, Chihuahua

En México, la minería es una actividad económica que se realiza desde la época colonial. Chihuahua se ha consolidado como una de las regiones de México con un gran potencial geológico-minero para nuevos depósitos (DESEC, 2016).

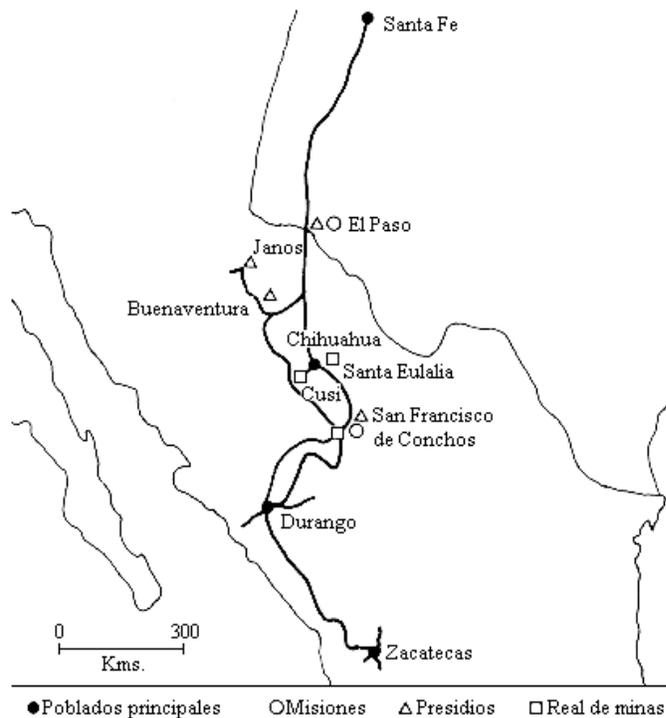
Es uno de los estados que concentra la producción correspondiente al 12% del total nacional, lo que en el año 2010 presenta un valor de producción minera de 13 mil 946 millones de pesos, hoy en día se ocupa el segundo lugar en la producción de oro (18.9%), plata (15.5%), plomo (30 %) y zinc (29 %) y el cuarto lugar en la producción de cobre (5.6 %) (Dirección General de Desarrollo Minero, 2016).

El distrito Minero de Santa Eulalia fue uno de los principales sitios mineros en la región de la Nueva Vizcaya y dio pie al crecimiento del Estado de Chihuahua.

En 1652 se descubrieron los yacimientos minerales en la zona de Santa Eulalia y fue denunciada la mina principal, llamada Nuestra Señora de la Soledad que fue explotada durante un breve periodo (Swann, 1986).

Entre 1702 y 1707 en el distrito minero inicialmente conocido como Francisco de Cuellar (ahora Santa Eulalia) diversas minas fueron denunciadas, incluyendo la mina de San Antonio para la explotación de plomo y plata de la zona de oxidación de los depósitos (Portillo, 1999).

Debido a la riqueza mineral en este sitio se fundó el Real de Minas denominado Santa Eulalia de Mérida, mismo que se convirtió en un punto estratégico para la colonización del norte de la Nueva España y paso obligado en la ruta tierra adentro de la Nueva Vizcaya. La Figura 4 muestra a Santa Eulalia como Real de Minas y las rutas principales de la Nueva Vizcaya que operaban principalmente para el comercio de minerales.



**Figura 4. Rutas Principales de la Nueva Vizcaya en 1740. Tomado de Swann (1982).**

A pesar de la riqueza mineral en Santa Eulalia y debido a la falta de agua en el lugar, en 1709 se acuerda la fundación de la cabecera de la alcaldía mayor (hoy la Capital del Estado) en la junta de los ríos Sacramento y Chuvíscar, en principio llamada Real de San Francisco de Cuéllar, posteriormente San Felipe el Real de Chihuahua y finalmente Chihuahua, convirtiendo a Santa Eulalia una dependencia de Chihuahua.

En 1880 la *American Smelting and Refining Co.*, se hace cargo de la mina San Antonio y se instala una fundidora en la zona de Ávalos, Chihuahua a 10 km de Santa Eulalia para recuperar plata y plomo (Portillo, 1999).

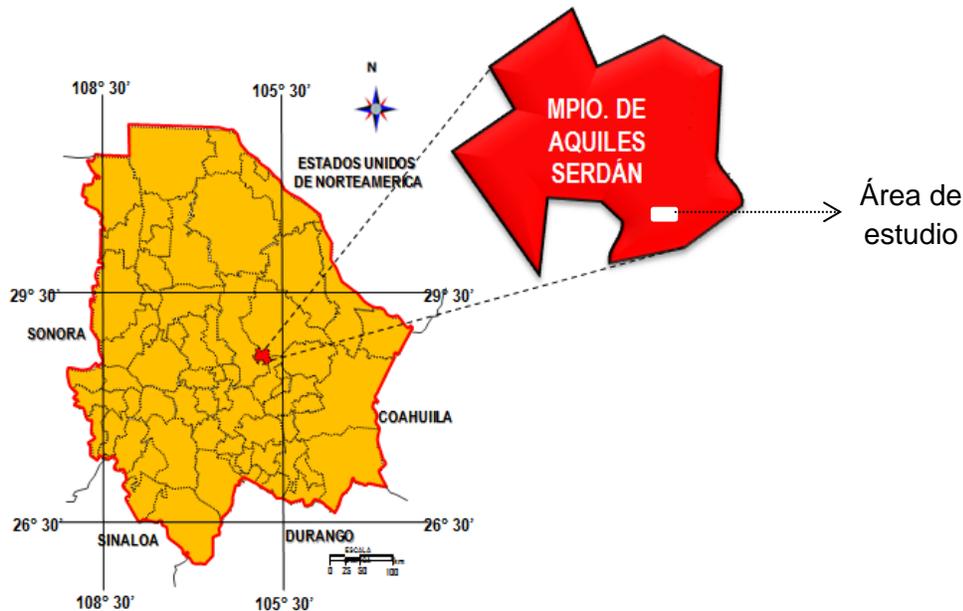
En 1925 se instala en Santa Eulalia una planta concentradora de estaño, que opera hasta 1940 cuando se agota la columna estannífera (Portillo, 1999). Posteriormente comienza a beneficiarse el mineral primario (sulfuros de plomo y zinc) de las minas de San Antonio y Buena Tierra, modificando la planta de beneficio anterior.

En 1945 se descubre el nivel freático en la mina de San Antonio, las obras de rehabilitación duraron un año y desde entonces, se ha tenido que bombear el agua para hacer posible la operación de minado.

En 1971 se construye una planta nueva de flotación selectiva en los patios de la mina San Antonio para tratar los sulfuros de plomo y zinc extraídos de las minas San Antonio y Buena Tierra (Portillo, 1999).

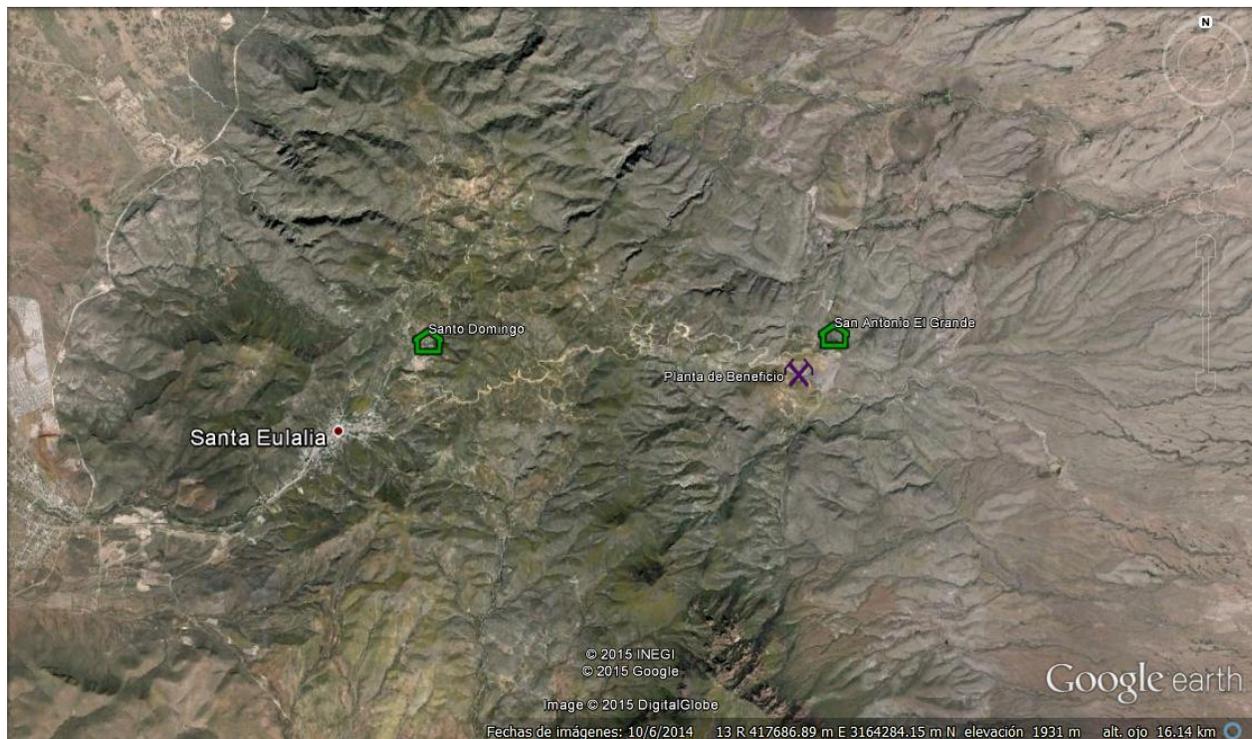
En los años de 1965 a 1966 se nacionaliza la empresa ASARCO cambiando de nombre a Compañía Minera ASARCO S. A. y en el año de 1977 la misma cambia de nombre a Industrial Minera México, esta empresa continua operando en el sitio.

*Área de estudio.* El área de estudio está asociada a la Unidad Minera Santa Eulalia, propiedad de Industrial Minera México, subsidiaria de Grupo México, está ubicada en el municipio de Aquiles Serdán, en Chihuahua, a 25 km al este de la capital del Estado. Ubicado con las siguientes coordenadas: N:  $28^{\circ} 37'42''$  y O:  $104^{\circ}44'36''$ . El distrito abarca un área aproximada de  $48 \text{ km}^2$ .



**Figura 5.** Ubicación del área de estudio dentro del distrito minero Santa Eulalia. (Elaboración propia mediante *google maps* y *Paint*)

*Asentamientos humanos asociados.* Santa Eulalia se encuentra a 10 km de la capital del estado de Chihuahua, 2.3 km rumbo al noreste a una altitud de 1889 msnm se encuentra el poblado de Santo Domingo y 11 km al este por medio de una carretera de terracería se encuentran las instalaciones de beneficio de la empresa. A menos de 2 km se encuentra San Antonio El Grande lugar donde originalmente se establecían los mineros, actualmente un gran parte de las instalaciones se encuentran abandonadas, menos de cien personas habitan el lugar, principalmente mineros, sus familias y personal subcontratado por la empresa para las actividades de perforación.



**Figura 6. Asentamientos humanos asociados. (Elaboración propia mediante *google maps*).**

*Fisiografía.* Corresponde a la provincia de Sierras y Llanuras del Norte. Esta provincia Abarca el 56.5% de la superficie estatal. Se compone de sierras abruptas que se elevan hasta los 3000 msnm y de llanuras con 800 m a 1000 m de elevación (INEGI, 2003). Esta provincia se subdivide en cinco, el municipio de Aquiles Serdán se encuentra en la subprovincia del Bolsón de Mapimí, esta subprovincia se extiende sobre los municipios de Aquiles Serdán, Delicias, López, Meoquí y San Francisco de Conchos; y parte de los

municipios de Ahumada, Aldama, Allende, Buenaventura, Camargo, Coronado, La Cruz, Chihuahua, Hidalgo del Parral, Jiménez, Julimes, Matamoros, Rosales, Satevó, Saucillo y Valle de Zaragoza. El relieve está compuesto por llanuras aluviales y bajadas principalmente, aunque muestra sierras escarpadas y plegadas y lomeríos escarpados y ramificados. Presenta una altitud media de 1200 msnm.

Suelo. Los tipos de suelo presentes en el territorio del municipio y sus porcentajes son: Leptosol (40.6%) Calcisol (33.9%), Phaeozem (10.3%), Luvisol (9.6%), Chernozem (4.6%), Kastañozem (0.3%) y Cambisol (0.1%) (Ayuntamiento de Aquiles Serdán 2013-2016, 2016).

*Hidrología.* Pertenece a la cuenca del río Chuvíscar, la vertiente superficial es casi nula, formada por el arroyo de Santa Eulalia y otros pequeños, que corren sólo durante la época de lluvia. La sierra de Santa Eulalia está drenada por arroyos intermitentes que corren al sureste hacia los valles de Dolores y Tabaloapa, desembocando el río Chuvíscar. Se encuentra en el acuífero Aldama-San Diego, en esta región las corrientes subterráneas de agua son muy importantes.

*Clima.* Se clasifica como semiárido, extremoso, su temperatura máxima es de 40°C y su mínima de -14°C. La precipitación pluvial media anual en el municipio es de 350 milímetros, y un promedio de 60 días de lluvia. Los vientos dominantes provienen del suroeste.

*Vegetación.* Está constituida por xerófilas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños, entremezclados con algunas especies de agaves, yucas y cactáceas leguminosas, algunas especies identificadas en los muestreos son: ocotillo (*Fouquieria splendens*), sotol (*Dasyllirion wheeleri*), mezquite (*Prosopis pallida*), lechuguilla (*Lactuca serriola*), palmito (*Chamaerops humilis*), gatuño (*Mimosa monancistra*).

*Geología.* El distrito está compuesto por una secuencia de rocas sedimentarias del Cuaternario (34.6%), Cretácico (11.4%) y Neógeno (10.7%) sobreyacidas por rocas volcánicas del Terciario (43.0%). Las rocas son principalmente ígnea extrusiva: riolita-toba ácida (42.4%), basalto (0.6%), riolita (0.5%) y andesita (0.1%) y las sedimentarias:

caliza (11.4%) y conglomerado (10.1%). La Figura 7 representa la formación estratigráfica en el sitio.

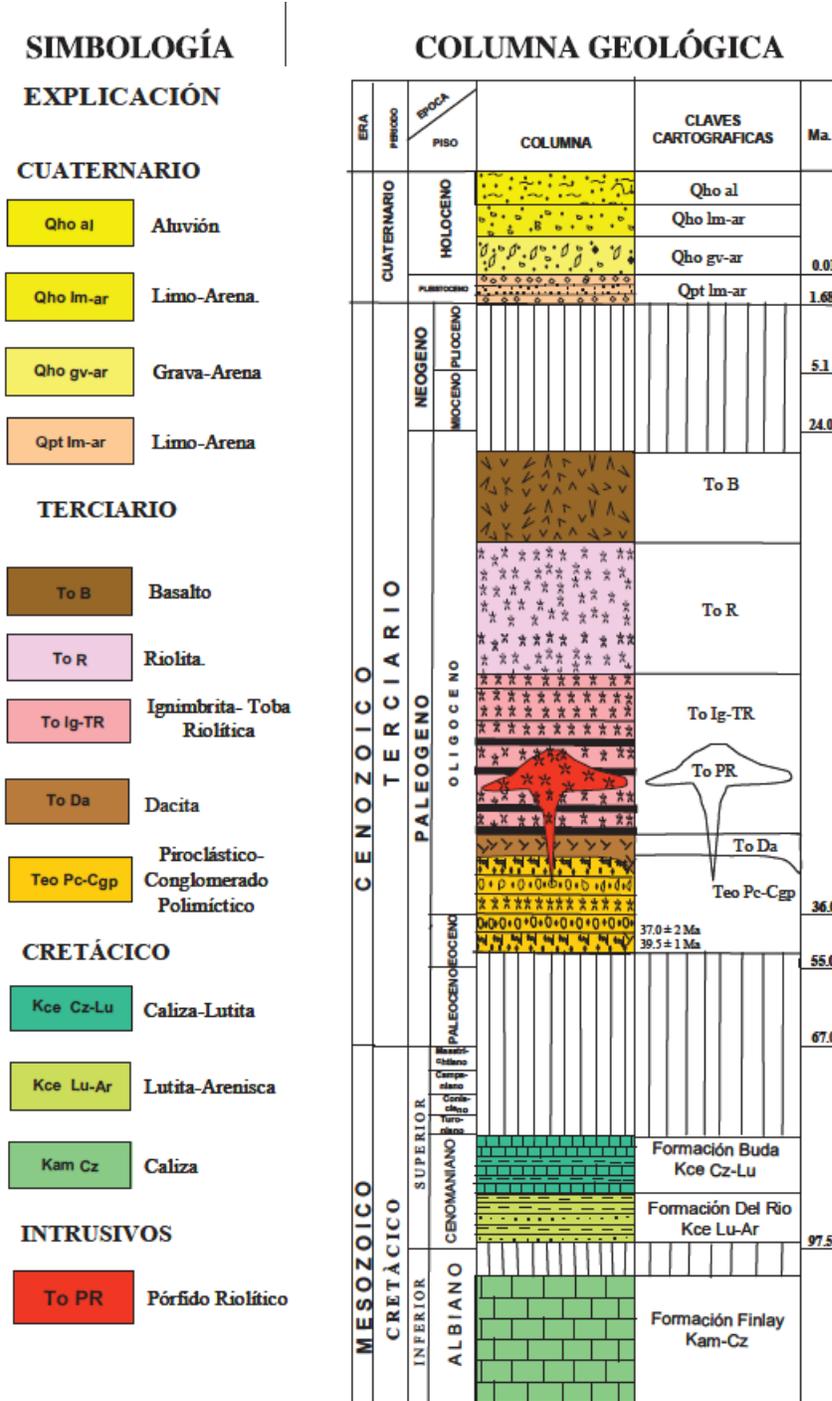


Figura 7. Columna estratigráfica de la Carta Aquiles Serdán H13-C67 (SGM, 2006)

En las inmediaciones de la mina San Antonio la formación Finlay (Kam Cz Caliza) consiste de caliza gris oscuro a negro de estratificación gruesa a masiva, con moderada silicificación, esporádicas capas dolomitizadas color café claro y/o oscuro, exhibe moderado contenido de nódulos y bandas de pedernal negro. Mientras que la formación Teo Pc-Cgp. Piroclástico–Conglomerado Polimíctico cerca de la mina San Antonio está formada por una secuencia de estratos delgados de caliza crema de origen lacustre y limolita de color amarillo ocre que subyace a conglomerado polimíctico conformado por abundantes clastos de caliza negra y escasos de riolita, riolita porfídica, andesita y de pedernal negro, de estructura compacta y estratificación gruesa, cementados por una matriz arenosa ligeramente calcárea donde se observa cuarzo y calcita. Hacia la cima se presenta un horizonte de toba riolítica. La Imagen de la Figura 7 muestra estas formaciones en los alrededores de la presa de jales. Adicionalmente se evidencian el sistema de deformación frágil constituido por fallas de tipo normal con desplazamiento lateral conformado por cuatro sistemas, uno de ellos el NO-SE que constituye las fosas tectónicas La Central y San Antonio, mismas que actuaron como controles para el emplazamiento de la mineralización (SGM,2006).

*Mineralización.* El depósito está clasificado como skarn metasomático con bajas temperaturas y presiones de formación, consiste principalmente de chimeneas y estratos. La mineralización de beneficio corresponde a sulfuros de plomo, zinc, cobre y hierro, asociados con silicoaluminatos de calcio, hierro y manganeso. En la parte superior del depósito se presentan óxidos de plomo y zinc con valor económico que se beneficiaron hasta 1940.

La mineralización no es homogénea, sino que se encuentra en forma de bolsas o clavos de forma discontinua y tubular y corresponde principalmente a cuerpos de tactitas con cantidades variables de sulfuros de Zn, Pb, Cu, y Fe.

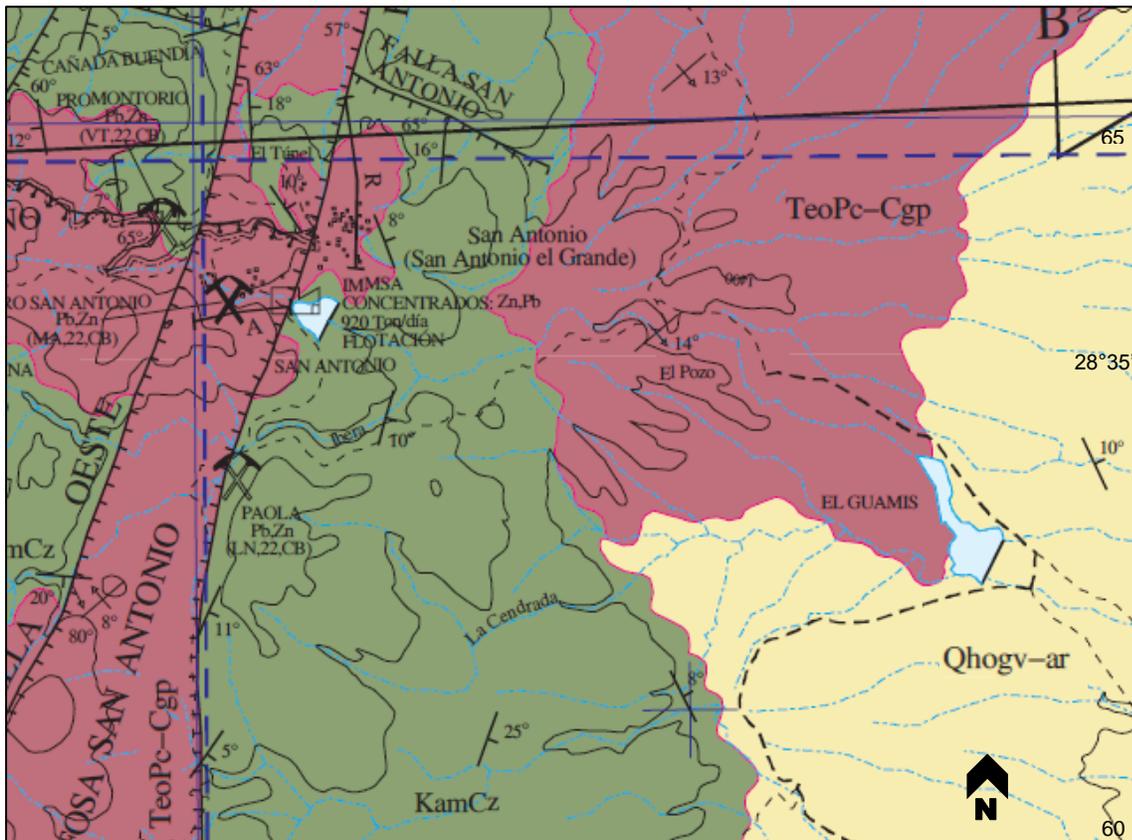


Figura 7 (continuación). Mapa geológico del área de estudio (Tomado de la Carta geológica-minera de Aquiles Serdán H113-C67. SGM, 2006).

De acuerdo a una caracterización hecha por Escandón en 1973, y citada por Portillo (1999) la mineralización económica en la zona de óxidos se compone principalmente de Anglesita, Casiterita, Cerargirita, Cerusita, Smithsonita, Vanadinita, Zincita. Los minerales de ganga en esta zona son: Actinolita, Andradita, Apatita, Calcita, Cuarzo, Fluorita, Grosularia, Hedenbergita, Hematita, Hemimorfita, Magnetita, Wollastonita, Yeso.

Mientras que en la zona de sulfuros la mineralización económica se compone de Calcopirita, Esfalerita y Galena, y los minerales de ganga asociados son Actinolita, Andradita, Arsenopirita, Calcita, Cuarzo, Epidota, Fluorita, Grosularita, Hedenbergita, Marcasita, Pirita, Pirrotita, Tourmalina, Tremolita.

*Método de beneficio actual.* La producción actual obtiene concentrados de plomo, zinc y plata de mineral molido provenientes de la explotación y beneficio de sulfuros. La concentración se lleva a cabo mediante una planta de flotación selectiva.

*Disposición de residuos.* En 1971 cuando comienza a operarse la flotación de óxidos, los residuos se disponen en una presa de jales de acuerdo a las construcciones de la época. Actualmente se cuenta con una presa de jales nueva que circunscribe a la presa anterior y que opera desde 1994.

En un informe de ensayo elaborado por la empresa ALS-Indequim S.A de C.V para la empresa Industrial Minera México S.A de C.V se proporciona la composición de los jales en julio- agosto de 2010. Esta es la caracterización más reciente que se tiene de los residuos en el sitio y corresponde a la zona de óxidos, ya que debido a la falla al interior de la mina fue imposible trabajar niveles inferiores. A partir de mayo del 2010 hasta 2012 cuando los niveles correspondientes a la zona de sulfuros en la Mina San Antonio se encontraban inundados se benefició la zona de óxidos.

La Tabla 2 muestra la composición en mg/kg de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) cuantificados en jales.

**Tabla 2. Concentración de EPT en jales en base seca de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V**

Elementos en base seca	Valor obtenido (mg/kg)
Antimonio	12.3
Arsénico	782
Bario	193
Berilio	<1.00
Cadmio	141
Cromo	2.18
Mercurio	<0.5
Plata	17.4
Plomo	6 155
Selenio	1.26

La Tabla 3 muestra la concentración de EPT en el lixiviado obtenido en el Procedimiento de Extracción de Compuestos Tóxicos (PECT), mismo que se describe en el Anexo 4.

**Tabla 3. Resultados de EPT en jales en el lixiviado PECT de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V**

Elementos lixiviables	Valor obtenido (mg/L PECT)
Antimonio	<0.005
Arsénico	<0.005
Bario	0.091
Berilio	<0.005
Cadmio	<0.005
Cromo	<0.005
Mercurio	<0.005
Plata	<0.005
Plomo	<0.005
Selenio	<0.005

Las concentraciones encontradas en el análisis de movilidad con agua meteórica no exceden los valores mencionados en la NOM-157- SEMARNAT-2009.

La Tabla 4 señala el potencial de generación de acidez calculado con la relación Potencial de Neutralización (PN) (cantidad de kg de CaCO<sub>3</sub>/ton de jales) dividido entre el Potencial de Acidez (PA) (calculado como la diferencia entre el azufre total (S<sub>total</sub>) y el azufre como sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y se multiplicado por 31.25). Véase anexo 5.

La relación entre los valores de PN y PA permite evaluar si los jales son potenciales generadores de ácido, como se muestra:

Quando **PN/PA ≤ 1.2**; los jales **son potenciales generadores de Drenaje Ácido**.

Quando **PN/PA >1.2**; los jales **no son potenciales generadores de Drenaje Ácido**.

**Tabla 4. Prueba de balance ácido-base en jales de acuerdo con ALS-Indequim S.A de C.V**

Balance de Ácido-base	Valor obtenido	Unidades
Potencial de neutralización (PN)	278	kg/CaCO <sub>3</sub> / Ton jal
Potencial de acidez (PA)	78.8	kg/CaCO <sub>3</sub> / Ton jal
PN/PA	3.53	Adimensional

Por lo que en conjunto estos jales no son potenciales generadores de drenaje ácido y son considerados como no peligrosos.

### **3.2 Reconocimiento preliminar del sitio**

Se llevó a cabo una visita al Distrito Minero Santa Eulalia realizada por un grupo de especialistas del área de Ciencias de la Tierra, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en diciembre de 2013.

Durante la visita de reconocimiento al sitio se realizó un recorrido por el distrito minero y sus cercanías con el fin de ubicar los sitios de disposición de residuos. Durante esta primera etapa se localizaron y georreferenciaron algunos de los depósitos de residuos (terreros y tepetates), y dos presas de jales; una antigua que data de 1970 y otra, construida en 1992 que circunscribe la anterior.

Antes del funcionamiento de la presa de jales actual, la presa antigua de jales (construida en 1992) no contaba con una cortina apropiada que evitara la pérdida del material contenido. Esto ocasionaba un escurrimiento permanente por el cauce del arroyo. La molestia de los agricultores vecinos hizo que la empresa decidiera construir un bordo para evitar que el material continuara hacia aguas abajo.

Dicho material fue arrastrado por varios kilómetros, formando a su paso distintas zonas de acumulación; que persisten hasta la fecha.

### **3.3 Problemática asociada**

Las actividades de minado en la mina San Antonio han proseguido desde 1945 cuando se descubrió el nivel freático y siempre con la previsión de perforar barrenos que permitan el sondear el agua subterránea, se utiliza una mezcla de cemento, aserrín, acelerante y una resina expansiva para desplazar el agua, en ocasiones se han tenido que construir muros para contener el agua, hasta mayo del 2010 se extraían 18 920 L/min de agua de mina de los sistemas de bombeo ubicados en los niveles 8 y 13. Una parte del agua es utilizada en la planta de beneficio y los equipos de barrenación, la parte restante es inyectada a una caverna interior ubicada en el nivel 8.

El 17 de mayo del 2010 una falla en el piso del nivel 10 permite la entrada de agua que hace que se inunden los niveles 14 y 15, luego de tres meses se consigue desaguar estos niveles, sin embargo la presión contenida en los muros del nivel 10 provoca que un pilar natural se pierda y que 6 millones de litros de agua ingresen al nivel en una hora. Se calcula que 2 850 000 L de agua se alojaron en los niveles inundados, el agua regreso su nivel freático original, 8 metros por debajo del nivel 8. Durante agosto del 2011 a junio del 2012 se benefició la zona de óxidos. La explotación de sulfuros reinició en julio del 2012 y las operaciones de rescate se dieron por concluidas en mayo del 2013 (Vetas, 2013).

### 4. OBJETIVOS

#### ***Objetivo general***

Investigar el potencial de liberación de los elementos potencialmente tóxicos contenidos en los distintos tipos de residuos mineros generados en el Distrito minero de Santa Eulalia, Chihuahua.

#### ***Objetivos específicos***

Identificar y recolectar los diferentes tipos de residuos mineros presentes en la zona aledaña a la Unidad Minera Santa Eulalia.

Caracterizar química y mineralógica los residuos en el sitio de estudio.

Identificar los factores que rigen el control de la geodisponibilidad de elementos contaminantes asociados.

Determinar el comportamiento ambiental de los elementos potencialmente tóxicos presentes en los residuos y estimar su potencial de impacto hacia el medio ambiente.

#### ***Justificación***

La contaminación por metales aqueja a distintos sitios mineros y sus zonas aledañas a lo largo y ancho de la República Mexicana, estudios significativos demuestran la importancia de la implicación sobre el riesgo a salud humana (Delgado-Ramos, 2010).

Aunque se sabe de forma general que los metales implican un riesgo para la salud y la calidad del agua (Plumlee y Morman, 2011), en regiones poco pobladas, abandonadas o de difícil acceso la atención sobre la implicación ambiental decae. La sostenibilidad del medio ambiente es uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Garantizar esta

sostenibilidad va de la mano con garantizar la adecuada calidad de agua en el mundo. Diversas fuentes de agua potable han sido contaminadas por metales pesados y ahora son inutilizables (Earthworks, 2013).

La minería es una actividad que tiende a comprometer la calidad de los recursos del área cercana a la cual se desarrolla (agua y suelo). La contaminación por metales es uno de los principales riesgos que enfrenta.

Es importante entender cómo los residuos generados por la industria minera contribuyen a impactar la calidad del agua en México y poder tomar decisiones tempranas.

Hacer una evaluación integral de los residuos mineros y el entorno en el que están depositados permitiría comprender el comportamiento presente de los mismos, su implicación ambiental y predecir el comportamiento futuro.

Esta investigación se suscribe al proyecto 190966 denominado: “Análisis, Diagnóstico y Desarrollo de Estrategias para el Aprovechamiento Sostenible de Agua y Energía en la Industria Minera, con un Enfoque Multidisciplinario y Formación de Recursos Humanos en Ciencias de la Tierra” de FORDECyT, que busca impulsar, fortalecer y modernizar el desarrollo científico-tecnológico en México, coadyuvando en el sector económico y social para dar potenciales soluciones y en el mejor de los casos optimizar o proponer sistemas eficientes de agua y energía en los procesos de exploración, extracción, beneficio y fundición.

El desarrollo de este trabajo de investigación incide directamente sobre la comprensión de los factores que determinan el potencial impacto de los residuos mineros sobre los recursos hídricos y contribuye a mejorar las prácticas de protección de la calidad del agua superficial y subterránea en torno al manejo adecuado de residuos.

### 5. METODOLOGÍA

#### 5.1 Muestreo

En este apartado se muestran los puntos más importantes considerados para el muestreo en el área de estudio.

##### 5.1.1 Ubicación georreferenciada de los residuos en el sitio

Las coordenadas de cada residuo localizado durante la visita exploratoria se representaron por medio de un mapa usando *Google maps*. Adicionalmente se ubicaron espacialmente otros residuos y terreros apreciables por medio de la imagen satelital. Una vez ubicados los depósitos de residuos se propusieron dos muestreos más para coleccionar el total de residuos relacionados con la operación de la Unidad Minera Santa Eulalia.

##### 5.1.2. Evaluación geoquímica *in situ* y recolección de muestra

Simultaneo a la recolección de las muestras y para tener un mejor control y clasificación se llevó a cabo la elaboración una ficha de campo correspondiente a la evaluación geoquímica para cada muestra coleccionada.

Esta ficha fue elaborada por el grupo de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y permite el registro e identificación de las características del depósito que se colecciona y consta de tres secciones: a) datos generales: tipo de residuo, ubicación geográfica, nombre con el cual se etiqueta la muestra que se colecciona, b) descripción del sitio: vegetación o aprovechamientos hídricos asociados c) descripción del material: dimensiones, color, humedad, etc., la recuperación de estos datos de campo permite tener una evaluación precisa del entorno en el cual se encuentran los residuos coleccionados. La ficha de evaluación se encuentra en el Anexo 1.

Durante la recolección de los sedimentos, se realizó una zanja transversal al cauce del arroyo de aproximadamente 0.40 m x 0.15 m x 1.0 m, se retira la capa superficial y se obtiene una muestra de 2 kg de peso aproximadamente. Véase Anexo 10. Imagen 7.

En la recolección de muestras tipo residuo se selecciona un área de 0.50 m x 0.50 m (o mayor si es un depósito grande o se desea hacer una muestra compuesta). Se retira la capa superficial y mediante una pica y una pala se colecta el material. Las muestras se tamizaron *in situ* por medio de una malla No. 10 para obtener sólo diámetros de partícula menores de 2 mm. De acuerdo con lo mencionado por Salomons y Förstner (1984) en Espinosa (2012), se sabe que las fracciones biodisponibles están asociadas principalmente con las partículas de menor tamaño; también son las de mayor movilidad ambiental y dispersividad. Por lo tanto, al realizar esta técnica en campo se recupera la fracción de mayor importancia ambiental.

En algunos sitios de muestreo se identificaron depósitos de residuos de diferentes espesores, por lo que se obtuvieron las respectivas muestras, insertando un muestreador circular ranurado de un metro de largo (tipo Pürckhauer) mediante un mazo de resina de forma vertical en el sedimento, el material atrapado en el muestreador se subdividió de acuerdo a sus características visibles; repitiéndose este paso en el mismo sitio las veces necesarias hasta obtener suficiente cantidad de muestra para cada una de las submuestras definidas. Véase Anexo 10. Imagen 3. En las muestras obtenidas de esta forma se obvió el cribado

Para llevar a cabo la recolección de todas las muestras consideradas en el muestreo exploratorio fue necesario llevar a cabo dos muestreos, el primero en febrero de 2014, y el segundo en julio del mismo año.

Al final de ambos muestreos se consideró un total de 31 sitios asociados a residuos mineros: jales, terreros, sedimentos y un residuo histórico. Con esto se obtuvo un total de 45 muestras. Adicionalmente la Empresa Industrial Minera México, S.A de C.V Unidad Santa Eulalia proporcionó cuatro muestras compuestas del material procesado en la planta de beneficio durante el mes de julio, dos correspondientes a la cabeza y cola del ciclón, respectivamente, y dos muestras más de los concentrados de plomo y zinc obtenidos mediante flotación selectiva. Resultando en un número final de 49 muestras.

### 5.1.3 Etiquetado y almacenamiento

Las muestras cribadas se dispusieron en bolsas de plástico identificadas de acuerdo con las iniciales del sitio de muestreo (SE, Santa Eulalia; seguido de un número consecutivo, y las iniciales del tipo de residuo o sitio de muestreo: Te para terrero; Sd para sedimento; Jal para jales, ejemplo: SE-16-Sd; muestra número 16 correspondiente a un sedimento). Véase Anexo 11. Adicionalmente se utilizaron letras consecutivas para representar muestras distintas tomadas en un mismo sitio. Ejemplo: SE-20A-Sd, SE-20B-Sd.

Las muestras tomadas en perfiles verticales (acuerdo a la humedad y coloración) reciben la denominación de los perfiles: S (perfil superior), e I (perfil inferior), adicionalmente en algunas muestras se detectó un perfil intermedio que se definió como T (perfil de transición). La denominación para las muestras del sitio 12A en perfiles quedó como sigue: SE-12A- S-Jal, SE-12A- T-Jal, SE-12A- I-Jal.

Las muestras compuestas provenientes del proceso se almacenaron como: cabeza ciclón (CCC), cola final (CCF), concentrado de plomo (CCP) y concentrado de zinc (CCZ).

## 5.2 Clasificación y georreferenciación

### 5.2.1 Agrupación por tipo de muestra

De acuerdo a los datos obtenidos en las fichas de campo (Anexo 11) y con el fin de facilitar los análisis comparativos, las muestras se clasificaron por grupos de acuerdo a su origen usando la clasificación para los residuos mineros citada en Bourden of Gilt (1993) como se muestra en la Tabla 5, esta clasificación es más concisa y por tanto fácil de usar que la contemplada en la NOM-157-SEMARNAT-2009.

El primer grupo comprende los residuos de la operación de extracción, compuesto por material estéril o de baja mineralización: incluye terreros.

**Tabla 5. Georreferenciación y clasificación de las muestras colectadas**

ID Campo	Clave	Tipo de muestra	Origen	Coordenadas	
				N	E
1	SE01-Te	Terrero	Residuo extracción	3165203	418538
16	SE15-Te	Terrero	Residuo extracción	3165352	420682
18	SE17-Te	Terrero	Residuo extracción	3163351	420157
19	SE18-Te	Terrero	Residuo extracción	3164372	421502
23	SE21-Te	Terrero	Residuo extracción	3163983	419948
24	SE22-Te	Terrero	Residuo extracción	3164201	420005
2	SE04A-Rs	Residuo histórico	Residuo beneficio	3164840	420214
3	SE04B-Rs	Residuo histórico	Residuo beneficio	3164859	420206
4	SE04C-Rs	Residuo histórico	Residuo beneficio	3164850	420224
20	SE19-Jal	Jal Fresco	Residuo beneficio	3164373	420825
44	SE25-Jal	Jal Fresco	Residuo beneficio	3164361	420726
53	SE31-Jal	Jal	Residuo beneficio	3164106	420713
13	SE12A-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164337	420555
14	SE12B-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164397	420604
15	SE12C-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164379	420507
26	SE12A-D-S-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164337	420555
27	SE12A-D-T-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164337	420555
28	SE12A-D-I-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164337	420555
29	SE12B-D-S-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164397	420604
30	SE12B-D-T-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164397	420604
31	SE12B-D-I-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164397	420604
32	SE12C-D-S-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164379	420507
33	SE12C-D-T-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164379	420507
34	SE12C-D-I-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164379	420507
40	SE24-S-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164362	420500
41	SE24-I-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164362	420500
42	SE24-D-S-Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164362	420500
43	SE24-D-I -Jal	Jal Antiguo	Residuo beneficio	3164362	420500
5	SE05-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3166629	422169
6	SE06-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3166791	424470
7	SE07-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3162752	424171

**Tabla 5. Georreferenciación y clasificación de residuos (continuación)**

ID Campo	Clave	Tipo de muestra	Origen	Coordenadas	
				N	E
17	SE16-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3163247	419909
21	SE20A-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3164373	421504
22	SE20B-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3165479	417090
25	SE23-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3164988	418226
45	SE26-Sd	Sedimento SNAP	Sedimento	3163519	420245
8	SE08-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3162840	423975
9	SE09-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3162836	423975
10	SE10B-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164054	422780
11	SE10A-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164054	422780
12	SE11-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164040	422726
46	SE27A-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164025	421779
47	SE27B-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164053	421792
48	SE28-I-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164113	421816
49	SE28-S-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3164113	421816
50	SE29-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3163320	423799
51	SE30-S-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3162966	423945
52	SE30-I-Sd	Sedimento APJ	Sedimento	3162966	423945

El segundo grupo de muestras corresponde a los residuos de la operación de beneficio, es decir los jales. Durante cada visita al sitio, se tomó una muestra del material tipo jal que estaba siendo depositado en ese momento, éste es etiquetado como jal fresco. Adicionalmente se muestreó la pared de la cortina de la presa de jales nueva, aunque es un residuo tipo jal no es considerado como jal fresco. En este grupo se incluyen las muestras colectadas en la presa antigua de jales, en este sitio se seleccionaron tres puntos para muestrear por perfiles, estos sitios están señalizados en la Figura 8.

Los tres perfiles verticales obtenidos se separaron de acuerdo a la coloración y humedad del material.

Adicionalmente se muestreó la pared vertical de la presa de jales, considerando dos perfiles superior e inferior; el inferior llega hasta los 100 cm de altura y a partir de los 100 a 200 cm se consideró el perfil superior (véase Anexo 10, imagen 5). Durante el muestreo se encontró diferencia en la dureza del material, y la presencia de zonas de alta compactación. Por lo tanto, se hizo una sub clasificación de las muestras colectadas: considerando dos tipo de material, uno consolidado y otro sin consolidar.



**Figura 8. Mapa de la distribución de muestras superficiales en presa de jales antigua**

Se encontró un depósito tipo residuo cuyo origen no está claro, se presume es un depósito antiguo, ya que las actividades de flotación en el sitio datan de 1925 y los sulfuros comenzaron a beneficiarse en 1970, por lo que se cree que este residuo proviene de un tipo de operación de beneficio distinto al que opera actualmente, y es identificado como residuo histórico.

El tercer grupo corresponde a los sedimentos. Dentro de este grupo se distinguen dos tipos de muestras: clasificadas como sedimento tipo Sin Asociación a la Presa de jales (SNAP), que son aquellos sedimentos que no presentan proximidad física a la presa de

jales y los sedimentos tipo Asociados a la Presa de Jales (APJ), que se encuentran ubicados en la cuenca de la presa de jales y exhiben físicamente su relación con el material contenido en la presa de jales. Las siguientes imágenes muestran la diferencia entre ambos tipos de sedimentos y la acumulación de material sobre los sedimentos del arroyo tipo APJ véase Figura 9.



**Figura 9. Comparación entre sedimentos tipo SNAP (izquierda) y tipo APJ (derecha)**

Para realizar una mejor caracterización química y mineralógica, la empresa Unidad Minera Santa Eulalia proporcionó muestras compuestas de los minerales del proceso correspondientes a los meses de abril y mayo de 2014 (Tabla 6), previo a la suspensión de las actividades de flotación debido a la inundación en los niveles inferiores que provoca una falla general y la suspensión de las actividades en la mina San Antonio.

**Tabla 6. Muestras de proceso**

ID Campo	Nombre	Tipo
CCC	Concentrado Cabeza Ciclón	Proceso
CCF	Concentrado Cola Final	Proceso
CCP	Concentrado Plomo	Proceso
CCZ	Concentrado Zinc	Proceso

Estas muestras son consideradas únicamente para conocer la mineralogía primaria y sus resultados generales no serán discutidos a la par de las muestras colectadas.

### 5.2.2 Localización geográfica de las muestras colectadas

A partir de la información generada se elaboró un mapa (Figura 10) utilizando *Google earth* para mostrar la distribución geográfica de las muestras colectadas en el sitio.

### 5.3 Preparación de muestras

La muestra se colocó en charolas de aluminio y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 h.

El material fue cuarteado usando un cuadrado de papel estraza para homogenizarlo.

Una parte del material se almacenó y la restante se pulverizó usando un molino mecánico con mortero de ágata marca Retsch para disminuir el tamaño a <400 mallas.

La muestra pulverizada fue almacenada en viales de plástico y etiquetada como corresponde.

### 5.4 Caracterización geoquímica de los residuos

La geoquímica como tal estudia la composición y dinámica de los elementos en la Tierra. La caracterización geoquímica de un residuo comprende entonces el estudio de los elementos presentes en los residuos, su abundancia, su distribución y otros factores que fungen como controles sobre los mismos.

La normativa mexicana referida a residuos mineros, por medio de las NOM-141-SEMARNAT-2003 y NOM-157-SEMARNAT-2009, establece cuatro pruebas para determinar la peligrosidad de un residuo minero: pH, concentración total, movilidad y potencial de generación de drenaje ácido.

Adicionalmente dos técnicas de extracción secuencial fueron llevadas a cabo: una para cationes y aniones, y otra técnica específica para arsénico se aplicaron en los residuos colectados.



Figura 10. Mapa de la distribución geográfica de los residuos

### 5.4.1 Determinación de pH

Como análisis básico para la caracterización geoquímica se realizó la determinación de pH. Esta se realizó de acuerdo al método 9045D de la EPA determinación de pH en suelos y residuos. El material se pone en contacto con agua, se agita durante 5 minutos, se deja reposar una hora y se determina el pH. En el Anexo 2 se describe el método completo.

### 5.4.2 Análisis de elementos totales

El análisis elementos totales se realizó de acuerdo al método descrito por Almaguer (2010), modificado de la técnica de digestión total (*Basalt Digestion*) diseñada por el Grupo Ruiz de la Universidad de Arizona; usando ácidos concentrados grado *ultra* y resuspendiendo en desionizada hasta 50 mL (Véase Anexo 3).

Para la determinación total de elementos presentes se efectuó la lectura de la solución obtenida por medio de un equipo ICP-óptico Marca Thermo Scientific modelo ICP-OES iCAP 7000 DUO empleando modo axial y radial simultáneamente. Véase la imagen 14 del Anexo 10.

### 5.4.3 Prueba de movilidad

De acuerdo a la NOM-157-SEMARNAT-2009 se establece que: “la prueba de movilidad debe realizarse si las concentraciones totales de el o los EPT son mayores a los LMP en base seca mencionados anteriormente como concentración de elementos totales y deberá realizarse de acuerdo a una de tres pruebas de extracción de constituyentes tóxicos”.

En este caso se seleccionó la “Prueba para realizar la extracción de metales y metaloides en jales, con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub>” conforme lo mencionado en la NOM-141-SEMARNAT-2003, el material colectado se pone en contacto con agua y se agita, posteriormente se deja reposar, se filtra y el extracto es analizado para cuantificar los metales que se encuentran en solución. La descripción se presenta en el Anexo 4.

### 5.4.4 Prueba de Balance ácido-base (ABA)

De acuerdo a la NOM-157-SEMARNAT-2009 para determinar si un residuo es potencial generador de drenaje ácido, se debe aplicar la prueba ABA establecida en los Anexos Normativos 1 y 5 (II) de la NOM-141-SEMARNAT-2003 y sujetarse a los límites establecidos en la NOM-157-SEMARNAT-2009. Si el valor de la relación PN/PA es mayor de 1 y menor o igual a tres, se considera generador de ácido.

Esta prueba se llevó a cabo en dos partes: la primera consta de la determinación del potencial de neutralización (PN) que se estima mediante la cuantificación de carbonatos; la segunda parte consta del cálculo del potencial de acidez (PA) considerando el contenido de azufre total, azufre de sulfatos y azufre de sulfuros.

La primera parte de la prueba se realizó de acuerdo a la NOM-141-SEMARNAT-2003 que se presenta en el Anexo normativo 5 relativo a la Prueba de balance ácido-base para jales que contienen sulfuros metálicos. La metodología se describe en el Anexo 5.

La segunda parte consta de la cuantificación de azufre total y determinación de azufre en forma de sulfatos mencionados en las NMX-B-400-1970 y NMX-B-021-1982 a los que refiere la NOM-141-SEMARNAT-2003 y debido a que no fue posible llevarlos a cabo debido a las especificaciones técnicas requeridas; en su lugar, la determinación de azufre en forma de sulfuros y sulfatos se realizó mediante métodos gravimétricos. Véase Anexos 6 y 7.

La cuantificación de azufre total, se llevó a cabo en el equipo de ICP-OES con la técnica de digestión utilizada para la determinación de análisis elemental. Cabe mencionar que los materiales de referencia utilizados no cuentan con un valor certificado de azufre, por lo que el control de calidad se efectuó mediante la reproducibilidad de los duplicados.

El azufre de sulfatos se realizó de acuerdo a una adaptación del método AOAC, véase Anexo 7, relativo a la *Official Method* 980.02 (1997). Mediante la adición de cloruro de bario, se promueve la formación de sulfato de bario, mismo que se precipita y seca. El cálculo de azufre de sulfatos se realiza mediante la cuantificación de sulfato de bario.

La técnica de determinación de sulfuros se realiza de forma indirecta involucrando dos reacciones de óxido-reducción; en la primera el azufre presente como sulfuro actúa sobre el hierro férrico reduciéndolo a hierro ferroso, de acuerdo a lo reportado por Vázquez (2002) (Véase Anexo 7).

### **5.4.5 Extracciones secuenciales**

Las técnicas de extracciones secuenciales tienen objetivo identificar las distintas formas químicas y asociaciones físico-químicas (especiación), en las que se encuentran los elementos traza, esta especiación tiene principal importancia en características como la movilidad y geodisponibilidad del elemento.

Las técnicas de extracciones secuenciales son necesarias para evaluar el comportamiento de los metales traza en interfaces agua/ sedimento naturales y contaminadas.

#### **5.4.5.1 Extracción secuencial para cationes y aniones**

La extracción secuencial de cationes y aniones se llevó a cabo de acuerdo a una versión modificada del método *b* mencionado por Dold (2003). Véase Anexo 8. Esta técnica fue desarrollada para su uso en jales ricos en sulfuros y es posible discriminar entre óxidos de hierro amorfos (oxi-hidróxidos) y cristalinos, por lo que es la técnica más conveniente para esta investigación.

La muestra es puesta en contacto con diferentes soluciones, en cada paso el extractante es recuperado y analizado por ICP-OES, al material sólido se le agrega la siguiente solución de extracción, primero agua meteórica simulada, después acetato, oxalato de amonio, peróxido de hidrógeno, finalmente la muestra es digerida de acuerdo a la técnica de digestión para análisis total-total mencionada en el Anexo 3.

#### **5.3.5.2 Extracción secuencial para arsénico**

Adicionalmente para la validación del arsénico fue requerida una técnica específica para este elemento, ésta se realizó de acuerdo al método modificado propuesto por Keon *et al.*, (2001) (Véase la metodología completa en el Anexo 9).

La muestra es puesta en contacto con distintas soluciones y el extractante es recuperado para ser analizado, en este caso los extractantes fueron: agua meteórica simulada, fosfato de sodio, ácido clorhídrico, oxalato de amonio, peróxido de hidrogeno, y ataque con ácidos clorhídrico y nítrico.

### **5.5 Caracterización mineralógica**

La caracterización mineralógica permite conocer las principales especies minerales en las muestras de residuos; tanto las primarias como las secundarias, estimar su contenido en las muestras, identificar las especies minerales mayoritarias, seleccionar partículas específicas dentro de una muestra, visualizar su estado físico, identificar y cuantificar cada elemento contenido en la partícula seleccionada. Para lo cual se emplearan las técnicas de difracción de Rayos X y de microscopia electrónica, las cuales se describen a continuación.

#### **5.5.1 Difracción de Rayos X**

Diversas muestras representativas de cada tipo de residuo, sedimento y muestras de proceso se analizaron por medio de un difractómetro de Rayos X D8 Advanced Bruker modelo Da Vinci. Véase Anexo 10. Imagen 7. Las condiciones ópticas de lectura fueron: Óptica Bragg-Brentano  $2\theta$  de 4-90°, step size 0.02, t paso 0.3seg, duración 21 min/muestra. Los difractogramas obtenidos son presentados en el Anexo 18.

#### **5.5.2 Microscopia electrónica de barrido**

Las observaciones se llevaron a cabo utilizando un microscopio electrónico de barrido Jeol modelo 6610LV, con resolución nominal de 3.0 nm operado a 30kV con filamento de tungsteno, con magnificación en el intervalo de 20 a 300,000 y capacidad para operar entre 200V y 30kV, con detector EDX libre de nitrógeno, totalmente automatizado en los 5 ejes. El análisis químico, de tamaño y microfotografías en forma automática se realizó mediante el software Feachure. Véase Imagen 16 en el Anexo 10.

La cuantificación en porcentaje para cada elemento se llevó a cabo mediante el uso de un equipo de microanálisis acoplado de EDS (Espectroscopía de fluorescencia de rayos

X por energía dispersa) para la identificación de las especies minerales se utilizaron las fórmulas químicas mencionadas en [www.mindat.org](http://www.mindat.org).

Para la asignación de nombres a cada partícula fotografiada se usó un programa en línea (<http://es.webqc.org/mmcalc.php>). Este programa calcula el porcentaje de cada elemento presente en la fórmula química que se ingresa, así, las fórmulas químicas de cada mineral que se creía presente en las partículas eran ingresadas, y comparadas con los porcentajes obtenidos mediante EDS.

Las muestras fueron preparadas y montadas en resina de acuerdo a lo citado en Aragón (2016) en el Instituto de Metalurgia por el personal del departamento correspondiente.

Para este análisis se seleccionaron ocho muestras con el fin de obtener la mayor información para la caracterización mineralógica del sitio y de los residuos.

Las muestras consideradas para este análisis fueron las muestras de residuos consideradas en el análisis de extracción secuencial.

Una muestra de cada tipo de residuo fue seleccionada, una de terrero, una de jal fresco, una de residuo histórico, dos muestras de la presa de jales antigua: una del perfil superior y otra del perfil inferior, y tres muestras de los sedimentos asociados al material de la presa de jales.

Las muestras de sedimentos APJ jales fueron seleccionadas en base al pH, generación de acidez y contenido de EPT que en conjunto ofrecieran las características más proclives a causar algún impacto ambiental.

## 6. EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos clasificados de acuerdo con la metodología empleada, también se incluye la discusión de los mismos.

### 6.1 Determinación de pH

La determinación de pH se realizó para todas las muestras, por cada diez muestras se incluyó un duplicado. Los resultados numéricos se encuentran en el Anexo 12.

Las muestras de proceso y beneficio colectadas presentan un valor de pH promedio de 8.25.

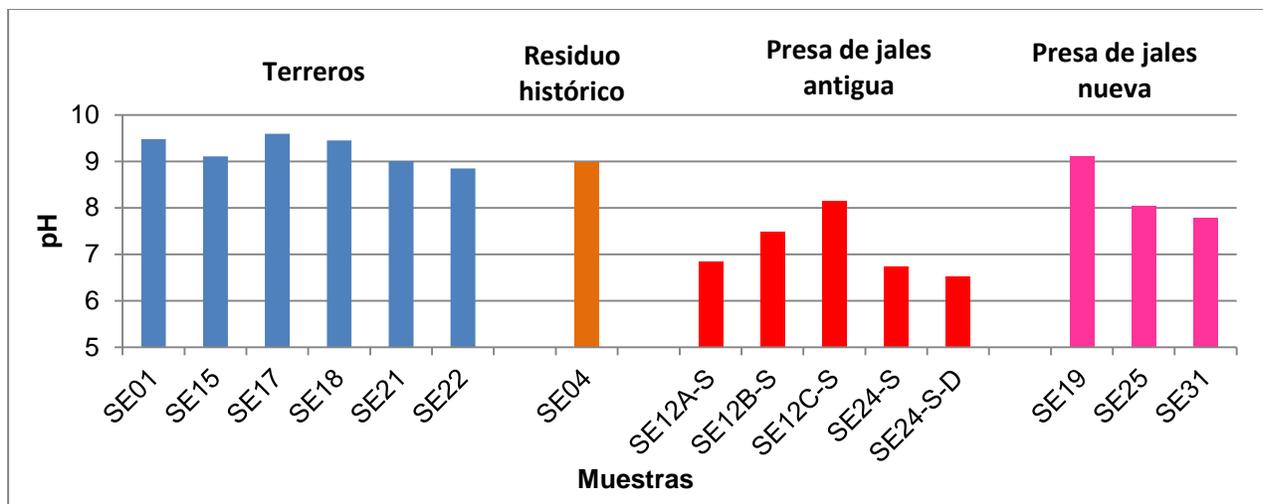


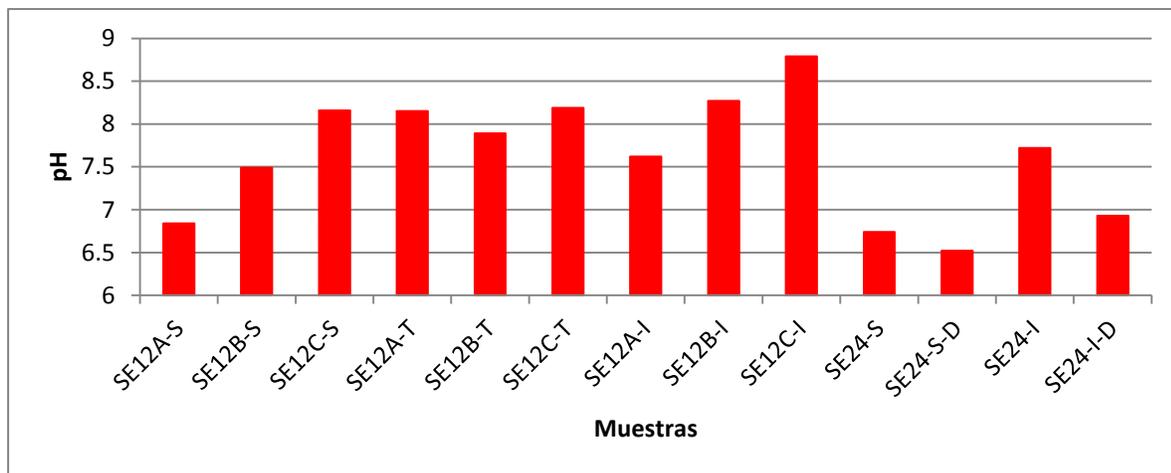
Figura 11. Determinación de pH superficial para residuos de proceso y beneficio

En la Figura 11 se observa que el pH de los terreros se encontró entre 8.7 y 9.6 con promedio de 9.25, debido a la a la presencia de calcita, mineral identificado mediante el análisis por DRX (véase Anexo 18).

El residuo histórico presenta un valor de pH de 8.98, mientras que las muestras de jal colectadas en la presa de jales nueva arrojan un promedio de 8.31.

De acuerdo a la Figura 11 donde se consideran únicamente las muestras superficiales, la presa de jales antigua presenta los valores de pH más bajos, debido a la oxidación de los sulfuros y la posterior liberación de  $H^+$ .

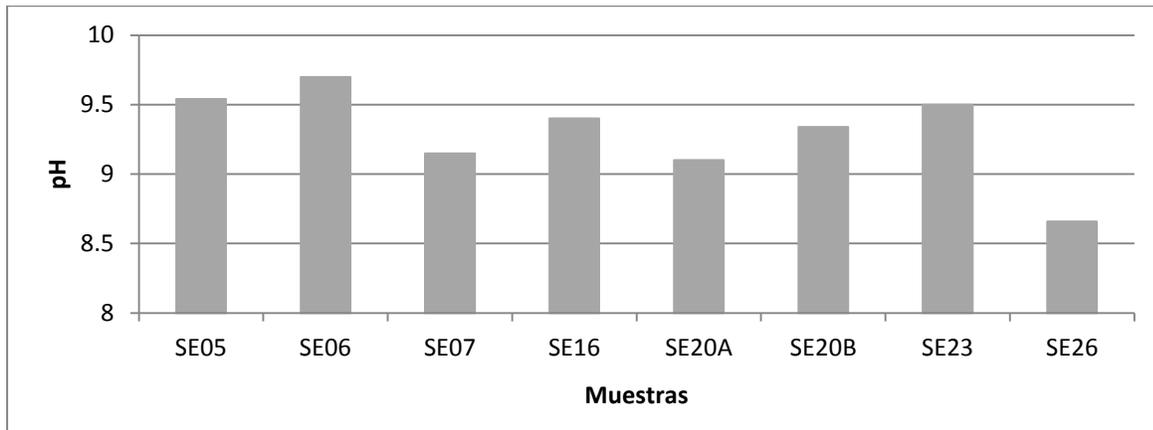
Debido a que en este depósito se encontraron diferentes perfiles (0-35 cm, 36-45 cm y 46-100 cm), además de la pared vertical, que incluye el material consolidado (SE24-S-D-Jal y SE24-I-D-jal) y sin consolidar (SE-24-S-Jal y SE-24-I-Jal), fue necesario realizar la Figura 12, donde se puede observar el siguiente comportamiento:



**Figura 12. Determinación de pH en presa de jales antigua**

En la Figura 12 se observa una tendencia del pH en los perfiles: en la parte superior se encontraron valores más bajos y conforme se aumenta la profundidad los valores tienden a aumentar. Los valores de obtenidos abarcaron de 6.52 a 8.79 (promedio de 7.64). También se observa que el material consolidado (SE24-S-D y SE24-I-D) presenta pH más bajos que el material sin consolidar.

La evaluación de pH se llevó a cabo en los dos tipos de sedimento; los que corresponden a material que no presenta relación con la presa de jales, obteniéndose los siguientes resultados:



**Figura 13. Determinación de pH en sedimentos SNAP**

En los sedimentos SNAP se encontraron valores superiores a 8.5, lo cual indica una condición básica, debida a la presencia de calcita, mineral identificado en los análisis por DRX (véase Anexo 18).

Los sedimentos APJ que se encuentran impactados por material anteriormente contenido en la presa de jales antigua presentan los valores de pH menores de todos los grupos de muestras (promedio de 7.1). En la primera zona de acumulación las muestras presentan los pH más bajos (Véase Figura 8). Esto es: SE-27A-Sd, SE-27B y SE-28-S-Sd y presentan valores de pH de 6.31, 3.11 y 6.27 respectivamente. La NOM-157-SEMARNAT-2009 su numeral 5.4.2.5.2 considera peligroso un residuo cuando el pH es menor a 4 o mayor a 10, aunque este grupo de muestras originalmente no se consideró como residuo es en este grupo donde se encuentra la única muestra con pH menor mencionado en la Norma.

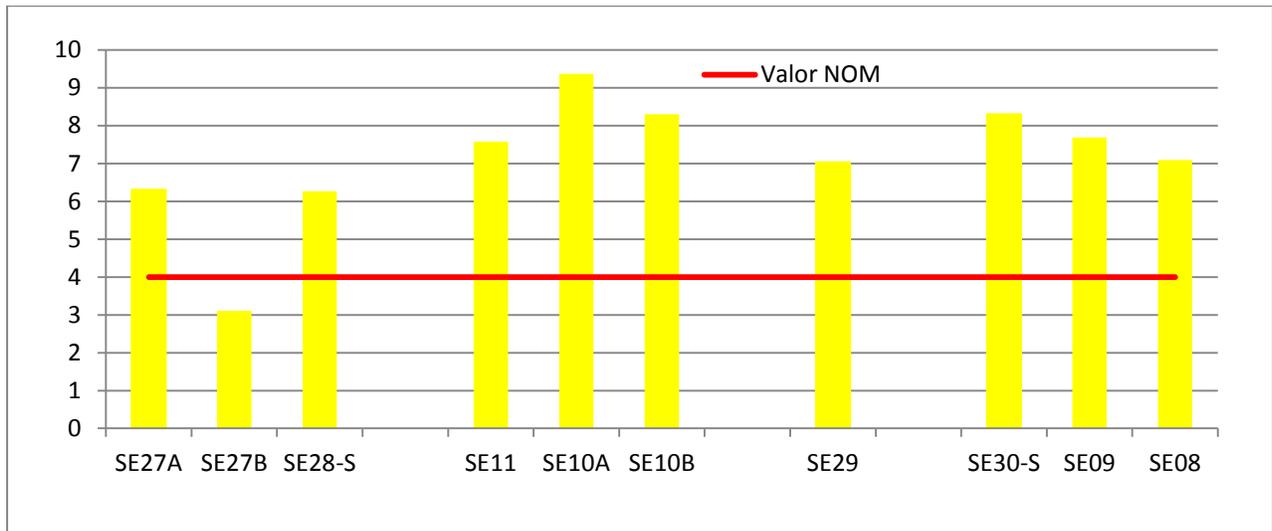


Figura 14. Determinación de pH en sedimentos APJ

### 6.2 Análisis de elementos totales

Este análisis se realizó para 27 elementos (Véase Anexo 13) en el equipo ICP-OES modelo iCAP 7400 DUO marca Thermo Scientific. Dentro de los cuales se incluye el grupo de los elementos mayores: aluminio, calcio, hierro, magnesio, potasio, silicio y sodio.

El control de calidad del análisis incluyó la preparación y análisis de una curva de calibración para la cual se ocuparon estándares multielementales y concentraciones que abarcaron desde 0.0005 mg/L hasta 1000 mg/L (en algunos casos); asimismo se analizaron blancos, muestras duplicadas y materiales de referencia certificados como Montana Soil 2710A, U.S.G.S Basalt Columbia River BCR-2 y el denominado Granodiorite Silver Plume, Colorado GSP-2. Con recuperaciones de 100 ±10% para arsénico, bario, cobre, hierro, plomo y zinc como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentajes de recuperación de elementos

Porcentaje de Recuperación			
Elementos	Montana Soil	Basalt Columbia River BCR-2	Granodiorite, Silver Plume, Colorado GSP-2
As	110.22	N/A	N/A
Ba	89.27	92.18	75.13

Cu	90.53	N/A	74.82
Fe	104.55	101.18	103.55
Pb	97.06	N/A	104.45
Zn	97.00	110.66	96.02

Los porcentajes de recuperación obtenidos para los EPT en los tres materiales de referencia muestran una confiabilidad en los resultados obtenidos para el análisis de elementos totales.

Los resultados completos de para cada material de referencia en el resto de los elementos cuantificados se muestran en el Anexo 13.

Ya que la finalidad de este estudio es conocer el potencial impacto sobre los cuerpos hídricos receptores es necesario que se centre en los elementos que son considerados tóxicos, o potencialmente tóxicos. Para esto se recurrió a diversos autores: Wood (1974), Adriano (1986), Sparks (2005), EPA (2015), CCME (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente) (2015) y la Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 que menciona los elementos normados y sus concentraciones en jales de sulfuros. Véase Anexo 20.

Aunque este análisis químico se realizó para todos los EPT mencionados en la bibliografía, elementos como el berilio, mercurio y selenio se encuentran en las muestras en concentraciones menores al límite inferior de cuantificación del ICP-OES, por lo tanto la presentación y discusión estos elementos no es considerada; adicionalmente el método de digestión utilizado presenta incompatibilidad para la recuperación de la plata en solución, por lo que también este elemento no es considerado.

Los elementos en los que se centró esta investigación fueron: arsénico, bario, cadmio, cobre, plomo y zinc. Se analizan otros elementos como calcio, azufre y hierro porque son importantes para entender los fenómenos de alteración en los residuos y el comportamiento geoquímico de elementos traza en sedimentos de arroyo.

La región donde se encuentra la unidad minera Santa Eulalia está altamente mineralizada con algunos de los EPTs de valor mercantil, esta empresa produce concentrados minerales para plomo y zinc en concentraciones de 38% y 11%, respectivamente, por esta razón se espera que los residuos del sitio presenten importantes concentraciones de estos metales.

El análisis de elementos totales de los terreros indica que tienen una composición química heterogénea, resultante de la mineralización primaria y de la acumulación de distintos tipos de materiales.

La cuantificación elemental para los terreros se representa en la Tabla 8.

**Tabla 8. Concentración total de elementos potencialmente tóxicos en terreros**

Nombre	Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg)					
	As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
SE01	142	<L.I.C	<L.I.C	27	537	453
SE15	2168	<L.I.C	46	371	2200	4743
SE18	46	242	<L.I.C	<L.I.C	112	44
SE21	1245	277	65	319.87	79454	14726
SE22	3798	433	205	397.64	80395	36202
L.I.C	10.74	12.12	11.97	9.7	9.71	12.87
<b>Valores (LMP) base seca NOM-157-SEMARNAT-2009</b>	100	2000	20	N/A	100	N/A

N/A= No aplica; < L.I.C. = Concentración menor al límite inferior de cuantificación

Al comparar las concentraciones obtenidas contra los valores LMP de la NOM-157-SEMARNAT-2009 se encontró que 4 de 5 terreros superan la concentración establecida para el arsénico, 3 de 5 para el cadmio y 5 de 5 para el plomo. Es necesario realizar la prueba de extracción en agua meteórica para establecer la movilidad de estos elementos.

La cuantificación de los EPT mencionados anteriormente por tipo de muestra para los residuos de beneficio se representa en la Tabla 9.

**Tabla 9. Elementos potencialmente tóxicos en residuos de beneficio**

Nombre	Tipo	Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg)					
		As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
CCF	Concentrado cola final	2345	<L.I.C	37	<L.I.C	2138	5402
SE04A	Residuo histórico	1843	163	330	1603	47805	46825
SE20	Presa Jales Nueva	1569	61	1700	504	7647	34418
SE12-S	Presa Jales Antigua	1435	73	107	566	3643	14777
L.I.C.		10.74	12.12	11.97	9.70	9.71	12.87
<b>LMP en base seca NOM-157-SEMARNAT-2009</b>		100	2000	20	N/A	100	N/A

N/A= No aplica; < L.I.C. = Concentración menor al Límite Inferior de Cuantificación; LMP= Límite máximo permisible

Nuevamente los LMP para arsénico, cadmio y plomo son superados en todas las muestras hasta por dos órdenes de magnitud.

En la presa de jales antigua al muestrear a profundidad pudo ubicarse la zona de oxidación, que alcanza una profundidad de 35 cm en promedio para los tres sitios muestreados.

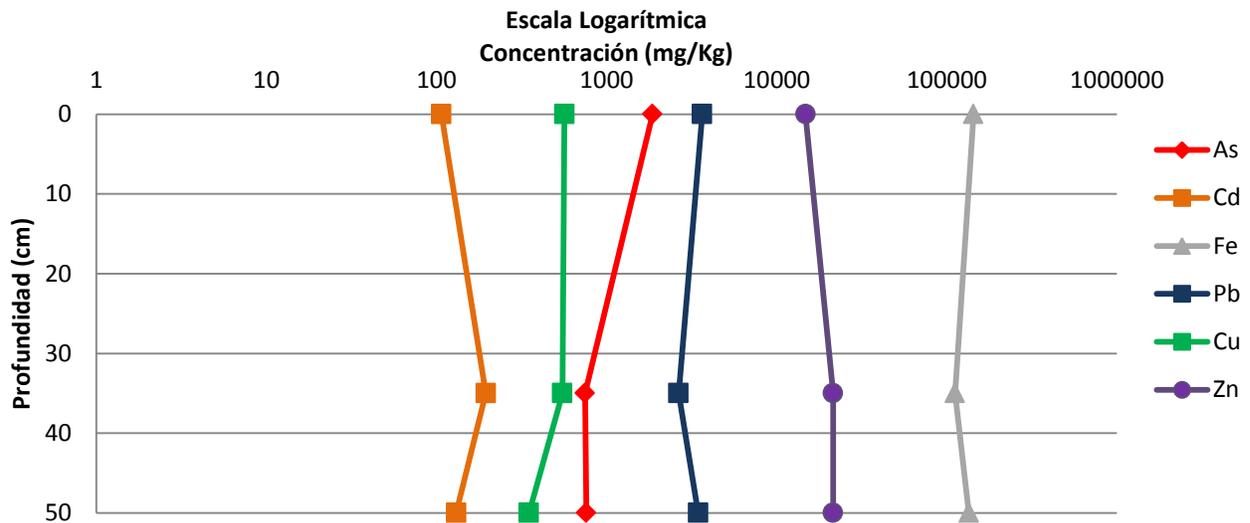
Las concentraciones totales de elementos cuantificados en las muestras de la presa de jales antigua se presentan en la Tabla10. Los resultados indican una relación en la distribución entre el arsénico, plomo y el hierro, que se encontraron en mayor concentración en la superficie. Mientras que el zinc y el cadmio se encontraron en mayor concentración en las zonas inferiores.

De acuerdo a la información obtenida en la presa de jales antigua se elaboró la Figura 15 con la finalidad de ilustrar el comportamiento de los elementos en los tres niveles muestreados, además de identificar cuales elementos se comportan de la misma forma y poder establecer las relaciones entre ellos.

**Tabla 10. Elementos potencialmente tóxicos en la presa de jales antigua por perfiles**

Nombre	Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg)					
	As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
SE12A-D-S	1828	55	68	542	3337	6035
SE12B-D-S	581	97	85	413	2652	12447
SE12C-D-S	1895	67	168	742	4941	25849
SE12A-D-T	823	92	236	531	2809	36141
SE12B-D-T	1106	26	56	285	2495	5614
SE12C-D-T	670	75	154	568	2641	22623
SE12A-D-I	807	60	191	363	2718	35859
SE12B-D-I	711	26	73	336	1901	9291
SE12C-D-I	1443	7.57	127	537	5734	19188
<b>LMP en base seca NOM-157-SEMARNAT-2009</b>	100	2000	20	N/A	100	N/A

N/A= No aplica; LMP= Límite máximo permisible



**Figura 15. Comportamiento logarítmico por perfiles de elementos potencialmente tóxicos en presa de jales antigua.**

De acuerdo a la Figura 15 el comportamiento de zinc, cadmio y cobre es aumentar conforme aumenta la profundidad de la presa de jales, mientras que el arsénico, hierro y plomo se concentran en la parte superficial, por lo que se asume que los primeros tres

elementos son los más móviles o bien no son retenidos eficientemente por los minerales secundarios formados en la superficie.

El muestreo de la presa de jales antigua incluyó la pared vertical que se muestra en el Anexo 10, imagen 5. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11. Zonas en la pared vertical de la presa de jales antigua**

Nombre	Tipo	Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg)					
		As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
SE24-S	Jal Antiguo	1345	<L.I.C	143	926	2792	22490
SE24-D-S	Jal Antiguo consolidado	2141	<L.I.C	171	2188	3700	33337
SE24-I	Jal Antiguo	1880	54.41	140	558	4685	21105
SE24-D-I	Jal Antiguo consolidado	1815	<L.I.C	147	406	3233	20170
L.I.C		10.74	12.12	11.97	9.7	9.71	12.87
<b>Valores (LMP) base seca NOM-157-SEMARNAT-2009</b>		100	2000	20	N/A	100	N/A

< L.I.C. = Concentración menor al Límite Inferior de Cuantificación

Los resultados indican una similitud en las concentraciones totales, únicamente se distingue un enriquecimiento en arsénico, cobre y zinc en la región superior consolidada, lo que puede indicar que las especies secundarias formadas en el material consolidado permiten la acumulación de arsénico, cobre y zinc, de tal forma que estos elementos no migran hacia el perfil inferior. En general se observa que las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo son superiores a los valores LMP de la NOM-157-SEMARNAT-2009, misma que sugiere que al ser la concentración total de los elementos normados mayor que el correspondiente LMP deberán realizarse pruebas de movilidad, por lo que las muestras correspondientes a la pared de la presa de jales fueron consideradas para el análisis de movilidad.

Las muestras en las que principalmente se concentran los EPT, son los residuos de extracción y de beneficio (terreros y jales, respectivamente) donde el arsénico y el plomo se encuentran indiscriminadamente en ambos tipos de residuos, mientras que el cadmio se asocia principalmente a los residuos de beneficio (jales).

El análisis del grupo de muestras correspondiente a los sedimentos se presenta los siguientes resultados: para los sedimentos SNAP, que no presentan asociación a la presa de jales las concentraciones de EPT totales se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12. Contenidos de elementos potencialmente tóxicos en sedimentos SNAP**

Nombre	Elementos Potencialmente Tóxicos (mg/kg)					
	As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
SE05-Sd	56	200	<L.I.C	<L.I.C	395	1416
SE06-Sd	42	239	<L.I.C	<L.I.C	317	871
SE07-Sd	111	589	<L.I.C	25	315	1155
SE16-Sd	87	592	<L.I.C	371	84	4941
SE20-Sd	<L.I.C	140	<L.I.C	<L.I.C	499	103
SE23-Sd	55	130	<L.I.C	<L.I.C	473	183
SE26-Sd	<L.I.C	379	<L.I.C	<L.I.C	330	355
L.I.C	10.74	12.12	11.97	9.7	9.71	12.87

< L.I.C. = Concentración menor al Límite Inferior de Cuantificación

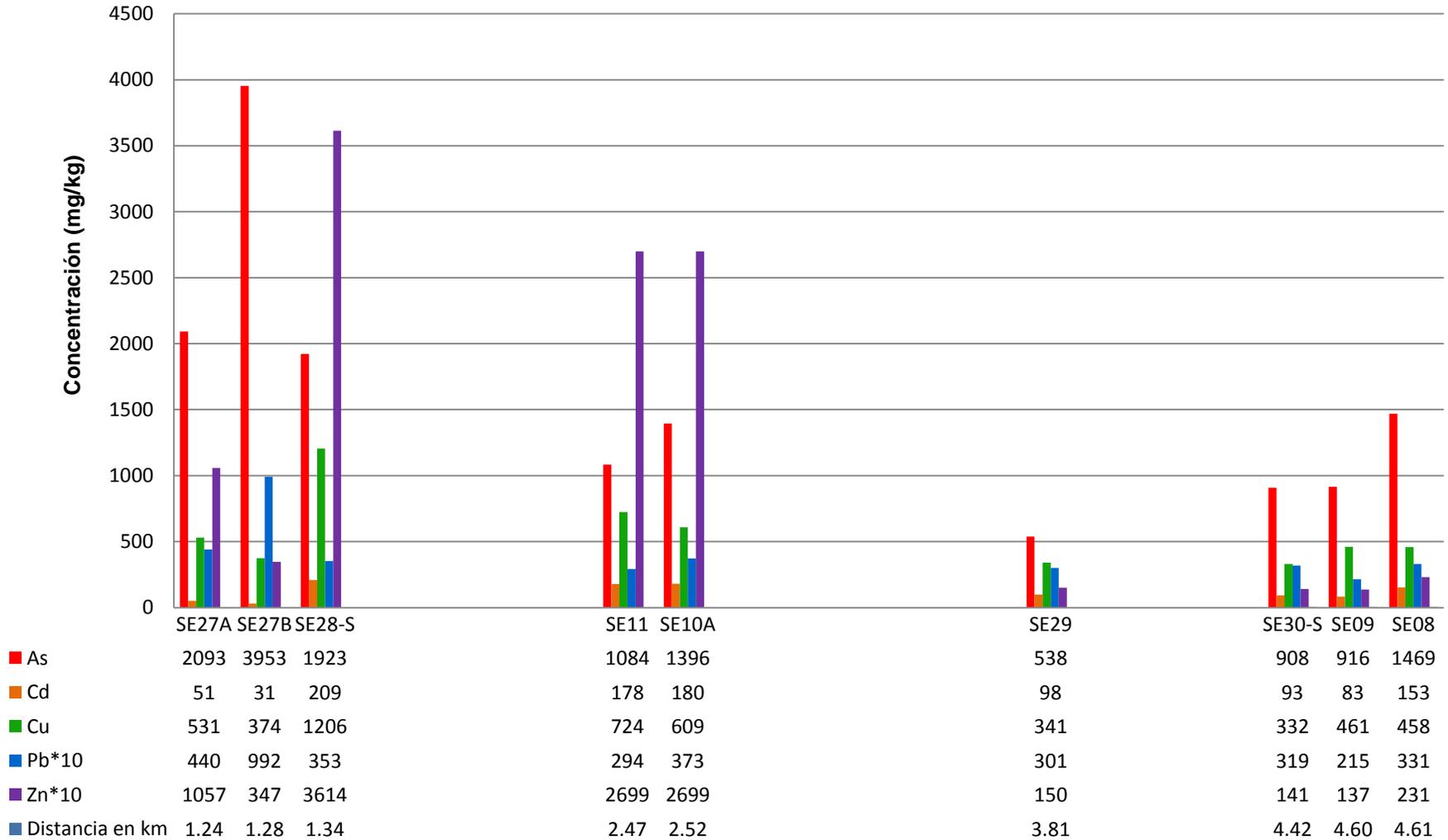
La composición química de los sedimentos SNAP es muy heterogénea, pero se observa que de forma general en estos sedimentos no es posible la cuantificación de cadmio y los contenidos detectables de cobre únicamente se presentan en dos de ellos.

Aunque el sedimento SE-07-Sd se encuentra a más de cinco kilómetros de la cortina de la presa de jales y está separado de la cuenca por la construcción del bordo, la concentración de arsénico y cobre suponen asociación con el material arrastrado.

Para la representación de los resultados de las concentraciones en los sedimentos APJ se utilizó la Figura 16 para representar espacialmente la distancia entre los sedimentos colectados a partir de la compuerta de contención de la presa de jales.

Figura 16. Concentración de EPT en sedimentos (APJ) con evidencia de material de la presa de jales

### Sedimentos APJ



Mientras que en la presa de jales antigua la zona de oxidación se encuentra hasta 35 cm de profundidad, en los sedimentos APJ esta zona es superior los 020 cm de profundidad, de acuerdo con Blowes (1997) se debe a que existe un mayor transporte de humedad y oxígeno transversalmente lo cual, según Diehl *et al.* (2006), también se debe a que la intemperización de los minerales en los residuos, en especial la disolución incrementa la permeabilidad de los mismos, lo cual a su vez incrementa el acceso de fluidos y oxígeno, por lo que se acelera la tasa de disolución de los minerales y por tanto la zona de oxidación es mayor.

En las muestras de sedimentos asociados a la actividad de la presa de jales (sedimentos APJ) la cuantificación total de EPT muestra un enriquecimiento de 50 veces la concentración observada en los sedimentos naturales del sitio (sedimentos SNAP) para arsénico, plomo y zinc. Esto demuestra que el material muestreado es más parecido a un residuo originado a partir de las actividades de flotación que material natural de arroyo.

Con el fin de poder establecer si estas concentraciones presentan riesgo al agua superficial o subterránea fue necesario recurrir a la normatividad. La legislación mexicana respecto a metales pesados no contempla los sedimentos de río como matriz, por lo tanto con el fin de realizar una comparación con una matriz similar se recurrió al CCME (2015), usando los valores PEL (siglas en inglés del término *probable effect level*) que definen “el nivel sobre el cual se espera que los efectos adversos sobre la vida acuática ocurran frecuentemente”. Las concentraciones establecidas para arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc son: 17, 35, 197, 91.3, 315 mg/kg respectivamente (Véase Anexo 20).

En algunas muestras de sedimentos APJ las concentraciones superan los valores PEL, esto puede indicar un enriquecimiento natural, pero principalmente se debe a la cercanía de la presa de jales y a que la cuenca de este arroyo fue impactada por material contenido en la misma, esto afecto la composición química del sedimento.

Con base en esto se esperaría que composición de los sedimentos APJ estuviese en función de la composición química de la fuente de la cual provienen, sin embargo el contacto con factores de intemperismo a lo largo del tiempo ha provocado una alteración de la matriz original, provocando un enriquecimiento de ciertos metales y liberación de otros, así como la formación de nuevas especies químicas.

En la primera zona de acumulación se tomaron dos muestras (muestras SE27A, SE27B). Aquí es notable el aumento de las concentraciones de arsénico y plomo, así como una concentración no apreciable de bario.

La segunda zona de acumulación (muestra SE28-S) presenta contenidos menores (respecto a la primera) para arsénico, y se distingue por un incremento en la concentración de zinc.

En la tercera zona de acumulación (SE11 y SE10A) los contenidos de arsénico disminuyen, mientras que los de zinc aumentan.

En la cuarta zona de acumulación los contenidos metálicos disminuyen. Mientras que en la última zona de acumulación los contenidos metálicos son variables aunque se distingue un enriquecimiento de arsénico respecto a las zonas de acumulación previas.

De acuerdo a la comparación realizada se obtuvo que las concentraciones de arsénico, cobre, plomo y zinc en los sedimentos de arroyo exceden los valores PEL para todas las muestras y el caso del cadmio sólo en 7 de 8 muestras.

La concentración de arsénico supera por más de cien veces los valores PEL de la CCME, y cincuenta veces el valor de fondo establecido en los sedimentos SNAP.

Bajo este esquema se decidió comparar las concentraciones en los sedimentos asociados a la presa de Jales contra los valores LMP de la NOM-157-SEMARNAT-2009. Esto arroja como resultados que el bario es el único elemento que no supera las concentraciones LMP, sin embargo para todas las muestras de sedimentos APJ las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo son superiores a los valores LMP mencionados en la Norma respectiva.

Por esta razón aunque estas muestras no están consideradas como residuos es necesario evaluar el potencial de movilidad de los EPT contenidos tal como se muestra en el siguiente apartado.

### 6.3 Prueba de movilidad

La determinación fue llevada a cabo de acuerdo al Anexo Normativo 5 fracción I, de la NOM-141-SEMARNAT-2003 (véase Anexo 4). Pero es la NOM-157-SEMARNAT -2009 la que establece los límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos). Los resultados se presentan (en resumen) en la Tabla 13.

En el caso de los terreros y presa de jales nueva, una vez realizado el análisis elemental total y a pesar que la cuantificación total de arsénico, cadmio y plomo exceden los valores LMP en base seca, estos elementos no se encuentran asociados a fases solubles, por lo que las concentraciones de los mismos en el extracto no superan los valores mínimos de cuantificación establecidos de acuerdo al método utilizado (Véase Anexo 14).

**Tabla 13. Movilidad de EPT en presa de jales antigua**

Nombre	Movilidad de EPT en agua meteórica simulada (mg/L)						
	Tipo	As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
SE12A-D-S	Jal Antiguo	<L.I.C	<L.I.C	0.2	<L.I.C	<L.I.C	22.73
SE12A-D-T	Jal Antiguo	<L.I.C	0.01	0.04	<L.I.C	<L.I.C	4.55
SE12A-D-I	Jal Antiguo	<L.I.C	0.02	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.22
SE12B-D-S	Jal Antiguo	<L.I.C	<L.I.C	0.06	<L.I.C	<L.I.C	5.24
SE12B-D-T	Jal Antiguo	<L.I.C	<L.I.C	0.02	<L.I.C	<L.I.C	2.82
SE12B-D-I	Jal Antiguo	<L.I.C	0.01	0.01	<L.I.C	<L.I.C	0.37
SE12C-D-S	Jal Antiguo	<L.I.C	0.01	0.02	<L.I.C	<L.I.C	4.18
SE12C-D-T	Jal Antiguo	<L.I.C	0.01	0.01	<L.I.C	<L.I.C	1.09
SE12C-D-I	Jal Antiguo	<L.I.C	0.02	<L.I.C	<L.I.C	0.03	0.52
SE24-S	Jal Antiguo	<L.I.C	<L.I.C	0.32	<L.I.C	<L.I.C	16.91
SE24-I	Jal Antiguo	<L.I.C	0.01	0.04	<L.I.C	<L.I.C	2.51
SE24-D-S	Jal Antiguo consolidado	<L.I.C	0.01	0.85	<L.I.C	0.05	71.7
SE24-D-I	Jal Antiguo consolidado	<L.I.C	0.01	0.07	<L.I.C	<L.I.C	1.86

< L.I.C. = Concentración menor al Límite Inferior de Cuantificación

En el caso de la presa de jales antigua, la concentración de arsénico que se moviliza no es cuantificable, ya que las concentraciones son menores al L.I.C, el plomo mayormente se mantiene insoluble y tampoco es posible cuantificarlo, mientras que las concentraciones de bario, cadmio y zinc varían de un punto de muestreo a otro.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la región superior de la presa de jales antigua los elementos más móviles como el zinc y el cadmio son liberados y movilizados hacia los perfiles inferiores, gracias al contacto con agua y oxígeno, esto concuerda con lo descrito por Ritche (1994). Las muestras con mayor porcentaje de movilidad son: SE-12A-S y SE-24-D-S: la muestra SE-12A-S presenta una movilidad de 7.44 y 5.46 % respecto a los valores totales de zinc y cadmio contenidos y la muestra SE-24-D-S 4.26 y 9.84% para zinc y cadmio.

En la pared vertical de la presa de jales antigua en la zona de cementación del material en la región superior los EPT son liberados fácilmente cuando la muestra es puesta en contacto con agua meteórica como se observa en la Tabla 13, por lo que esta sección de la presa de jales presenta una importante fuente de liberación de EPT.

En el residuo histórico no hay movilidad de arsénico en concentración cuantificable, pero se observa la presencia de plomo (promedio 0.37 mg/L) (Véase Anexo 14).

A pesar de que el bario no supera los valores mencionados en la NOM-157-SEMARNAT-2009, se obtuvo como resultado que el bario se moviliza en todas las muestras de sedimentos en concentraciones inferiores a 0.1 mg/L, mientras que el zinc y el plomo no se encuentran en fases solubles en agua, así como el arsénico, que se encuentra únicamente en la muestra SE-07-Sd (0.06 mg/L) ubicada después de la construcción del bordo de contención construido para retener el material de la presa de jales. Véase Figura 7.

Las muestras de sedimento APJ asociadas a la presa de jales, exceden los valores LMP de NOM-157-SEMARNAT-2009, al realizar la cuantificación en el extracto PECT las concentraciones de dichos EPT se encuentran por debajo de los límites permisibles PECT.

**Tabla 14. Movilidad de EPTs en sedimentos APJ**

Nombre	Tipo	Movilidad de EPTs en agua meteórica simulada (mg/L)							
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn
SE27A	Sedimento APJ	<L.I.C	<L.I.C	0.5	<L.I.C	0.03	0.28	0.1	202.67
SE27B	Sedimento APJ	<L.I.C	<L.I.C	0.29	0.03	0.82	25.05	<L.I.C	49.32
SE28-S	Sedimento APJ	<L.I.C	<L.I.C	0.17	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	18.75
SE11	Sedimento APJ	<L.I.C	0.02	0.13	<L.I.C.	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.06
SE10A	Sedimento APJ	<L.I.C	0.02	0.03	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.94
SE29	Sedimento APJ	<L.I.C	0.02	0.02	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.79
SE30-S	Sedimento APJ	<L.I.C	0.01	0.01	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.65

< L.I.C. = Concentración menor al Límite Inferior de Cuantificación

En el primer sitio de acumulación el porcentaje de movilidad es mayor, se tiene que la muestra SE-27A-Sd moviliza 37.52 % y 19.12 % del contenido total de zinc y cadmio, mientras que la muestra SE-27B-Sd libera 28.3 % y 18.65 %, respectivamente. Es únicamente en estas dos muestras donde se observa movilización de cobre (0.11 % y 4.38 % del contenido total, respectivamente) (Véase Anexo 14).

### 6.4 Prueba de balance ácido-base (ABA)

La cuantificación de carbonatos se realizó de acuerdo a la NOM-141-SEMARNAT-2003. Véase Anexo 5. Esta prueba se realizó para todas las muestras.

Las técnicas para la determinación de azufre de sulfuros y azufre de sulfatos se realizaron de acuerdo a los Anexos 7 y 8, respectivamente.

Para el cálculo del potencial de acidez únicamente se usó la concentración obtenida de azufre de sulfuros de acuerdo a la NOM-141-SEMARNAT-2003:

$$PA = \%S^{2-} * 31.25$$

Ya que esta prueba está destinada para jales que contienen sulfuros de metales. La determinación del potencial de acidez se realizó para los residuos de beneficio, terreros y sedimentos SNAP que presentaban los pH y potenciales de neutralización más bajos,

así como para todas las muestras de jales (presas de jales nueva y antigua) y sedimentos APJ que presentan asociación con la presa de jales antigua.

De acuerdo a que los valores de la relación PN/PA encontrados están por fuera de los límites establecidos en la NOM-157- SEMARNAT-2009 ( $1 < PN/PA < 3$ , véase página 39), decidió considerarse los valores establecidos originalmente en la NOM-141- SEMARNAT-2003 ( $1.2 < PN/PA > 1.2$ ) (Véase Anexo 5).

**Tabla 15. Determinación del potencial de generación de drenaje ácido**

Nombre	Tipo	pH	PN	PA	PN/PA	Potencial Generador de Drenaje Ácido
SE15-Te	Terrero	9.11	176.37	539.65	0.33	SÍ
SE22-Te	Terrero	8.85	58.53	59.90	0.98	SÍ
SE19-Jal	Jal Fresco	9.11	148.14	559.08	0.26	SÍ
SE12A-S-Jal	Jal Antiguo	6.84	-5.54	119.68	-0.05	SÍ
SE12B-S-Jal	Jal Antiguo	7.49	83.56	357.62	0.23	SÍ
SE12C-S-Ja	Jal Antiguo	8.16	188.47	498.18	0.38	SÍ
SE24-D-S-Jal	Jal Antiguo consolidado	6.52	-22.34	797.88	-0.03	SÍ
SE24-D-I-Jal	Jal Antiguo consolidado	6.93	92.89	599.61	0.15	SI
SE04A-Rs	Residuo histórico	8.26	153.37	39.85	3.85	NO
SE23-Sd	Sedimento SNAP	9.50	106.91	39.93	2.68	NO
SE26-Sd	Sedimento SNAP	8.66	13.99	236.53	0.06	SÍ
SE08-Sd	Sedimento APJ	8.34	280.46	299.51	0.94	SÍ
SE10B-Sd	Sedimento APJ	8.30	125.33	866.43	0.14	SÍ
SE10A-Sd	Sedimento APJ	9.37	135.08	219.20	0.62	SÍ
SE27A-Sd	Sedimento APJ	6.31	-5.60	139.77	-0.04	SÍ
SE27B-Sd	Sedimento APJ	3.11	-26.12	99.64	-0.26	SÍ
SE28-S-Sd	Sedimento APJ	6.27	21.39	792.35	0.03	SÍ
SE29-Sd	Sedimento APJ	7.03	215.30	653.04	0.33	SÍ
SE30-S-Sd	Sedimento APJ	7.69	188.73	497.19	0.38	SÍ

Los resultados detallados de ambas determinaciones para la prueba ABA se encuentra en el Anexo 15.

En el caso de la muestra de sedimento SNAP SE23-Sd, que está más alejada de la presa de jales, véase Figura 8 no hay potencial de generación de acidez debido a la escasa presencia de sulfuros como puede verse en el valor obtenido de PA. Lo mismo

sucede con el residuo histórico, en donde la cuantificación total de arsénico, cobre, plomo y zinc es mayor que en el resto de los residuos de beneficio.

En las demás muestras se observa que debido a la presencia natural de sulfuros (pirita principalmente) la gran mayoría de ellas (incluyendo terreros, y uno de los sedimentos SNAP) se clasifica como potencial generador de drenaje ácido; sin embargo al estudiar los valores de PN y PA obtenidos observamos que hay muestras donde el PN de esta agotado (valores negativos) (SE12A-S-Sd, SE24-D-S-Sd, SE24-D-I-Sd, SE27A-Sd, SE27B-Sd), estas muestras corresponden a la presa de jales antigua y sedimentos APJ, presentan además pH con valores inferiores a 7. Esto es evidencia de la intemperización en condiciones de acidez.

### **6.5 Extracciones secuenciales**

Para este análisis se seleccionaron aleatoriamente una muestra de terrero y una de sedimento SNAP, se incluyó una muestra de jal fresco. Las muestras de jal antiguo, residuo histórico y sedimentos APJ con menor pH, mayor movilidad y capacidad de generación de drenaje ácido fueron seleccionadas.

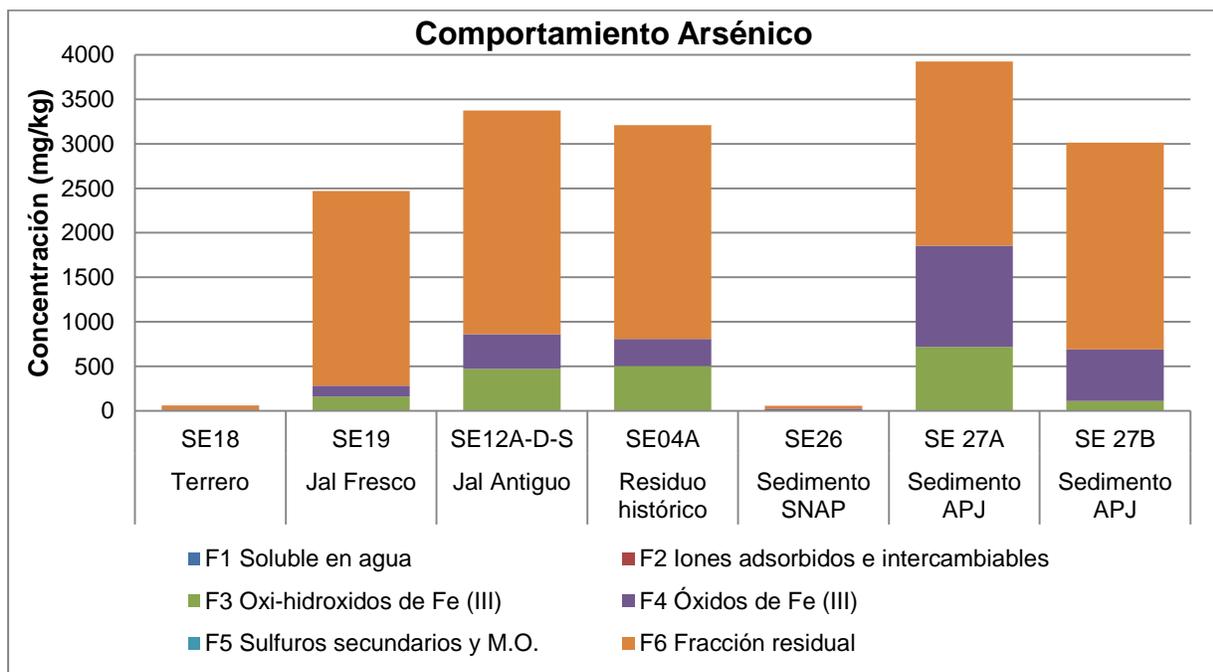
Para este análisis no se cuenta con un material de referencia, por lo que para el control de calidad se utilizaron muestras duplicadas y se verifico mediante la repetividad de los resultados.

#### **6.5.1 Extracción secuencial para aniones y cationes**

Se llevó a cabo la técnica mencionada en el Anexo 8 usando como control de calidad un duplicado para cada muestra. Los resultados completos de esta técnica, así como del control de calidad se mencionan en el Anexo 16.

La especiación mineral, es decir las fases minerales a las que se encuentran asociados los EPT de acuerdo a la técnica de extracción secuencial son seis, la primera fracción es la soluble en agua, la segunda recibe el nombre de iones adsorbidos e intercambiables, en esta fracción se encuentran algunos carbonatos y sulfatos no solubles en agua. La tercera fracción corresponde a los oxi-hidróxidos de hierro, tales como schwertmannita, ferrihidrita e hidróxidos de Mn. En la cuarta fracción se

encuentran el resto de los minerales férricos secundarios, como la hematita y la jarosita. La quinta fracción incluye la materia orgánica y los sulfuros supergénicos secundarios, de cobre como la covelita. La última fracción comprende a los sulfuros primarios: pirita, esfalerita, galena, etc., (para revisar las concentraciones usadas y los tiempos de reacción consultar el Anexo 8). Aunque no hay una regla respecto a cuales son las fracciones asociadas con la geodisponibilidad, de acuerdo a Cornelis (2003) el contenido de las tres primeras fases de la técnica de extracción secuencial es más fácilmente disponible y para fines prácticos será considerado como la fracción geodisponible del contenido total.



**Figura 17. Comportamiento del arsénico en la extracción secuencial para cationes y aniones**

Los resultados para la extracción secuencia de arsénico se presentan en la Figura 17, de acuerdo a la determinación de análisis de elementos totales, las muestras de terrero y sedimento SNAP presentan un contenido de arsénico mucho menor que el resto de las muestras, por ende la fracción geodisponible, es muy pequeña, de esta forma se demuestra el bajo riesgo de liberación de arsénico por muestras de este tipo.

En las muestras correspondientes a los residuos de beneficio (jal fresco, antiguo y residuo histórico) al igual que en los sedimentos APJ un porcentaje de alrededor del 20% del arsénico que se puede movilizar está contenido en los oxi-hidróxidos de hierro, fracción comprendida dentro de la fracción geodisponible. En los sedimentos APJ la cantidad de arsénico contenido en la fracción asociada a óxidos de hierro es mayor que en el resto de las muestras. Esto se debe a la liberación del arsénico de los minerales primarios (pirita) a través del mecanismo de oxidación y una retención en las especies secundarias formadas, como los óxidos de hierro a través de fenómenos de adsorción coprecipitación. Sin embargo en la mayoría de las muestras más del 50% del arsénico se encuentra en la fracción residual, que de acuerdo a Dold (2003) corresponde a los sulfuros primarios, porque lo que se puede asumir que esta fracción de arsénico no se encuentra geodisponible.

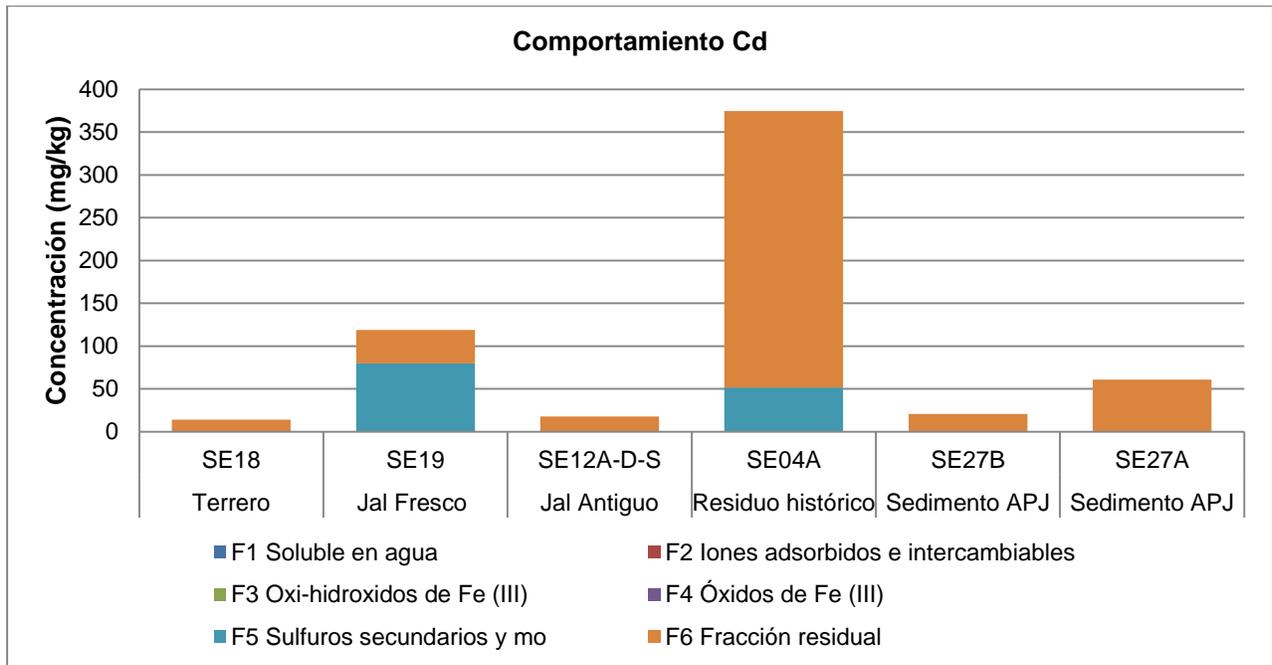
En comparación con el resto de los EPT, las concentraciones obtenidas de cadmio son menores, normalmente el cadmio es considerado como uno de los elementos más móviles, de acuerdo con su valencia y otras de sus propiedades químicas.

De acuerdo con la prueba de movilidad, una fracción muy pequeña se moviliza en agua meteórica en las muestras de jal antiguo, residuo histórico y sedimentos APJ. Sin embargo no existe una cantidad de cadmio significativa asociada a la fracción geodisponible.

Con excepción del jal fresco y del residuo histórico, el total del cadmio contenido en las muestras se encuentra en la fracción de los sulfuros.

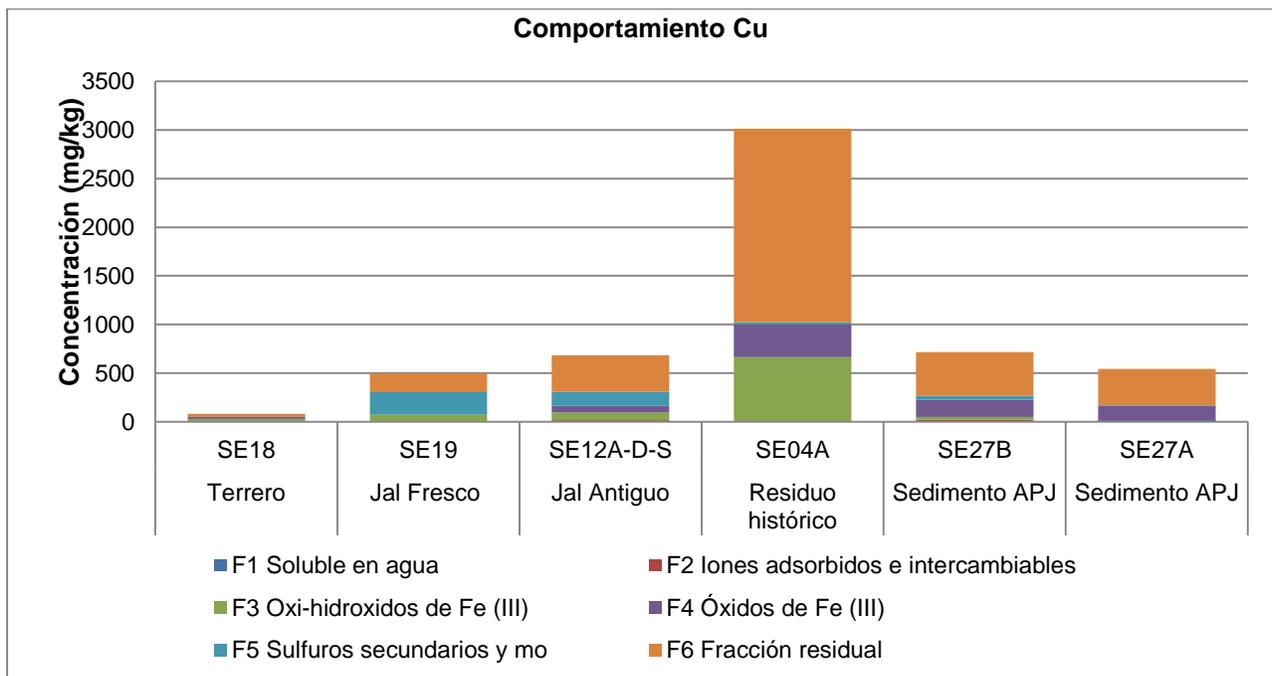
En la muestra de jal fresco un porcentaje de alrededor del 70% está asociado a la fracción de sulfuros secundarios.

Mientras que en el residuo histórico un 14% se encuentra en dicha fracción.



**Figura 18. Comportamiento del cadmio en la extracción secuencial para cationes y aniones**

Para el cobre, de acuerdo con los resultados, en todas las muestras, una porción menor al 5% se encuentra en las dos primeras fracciones.



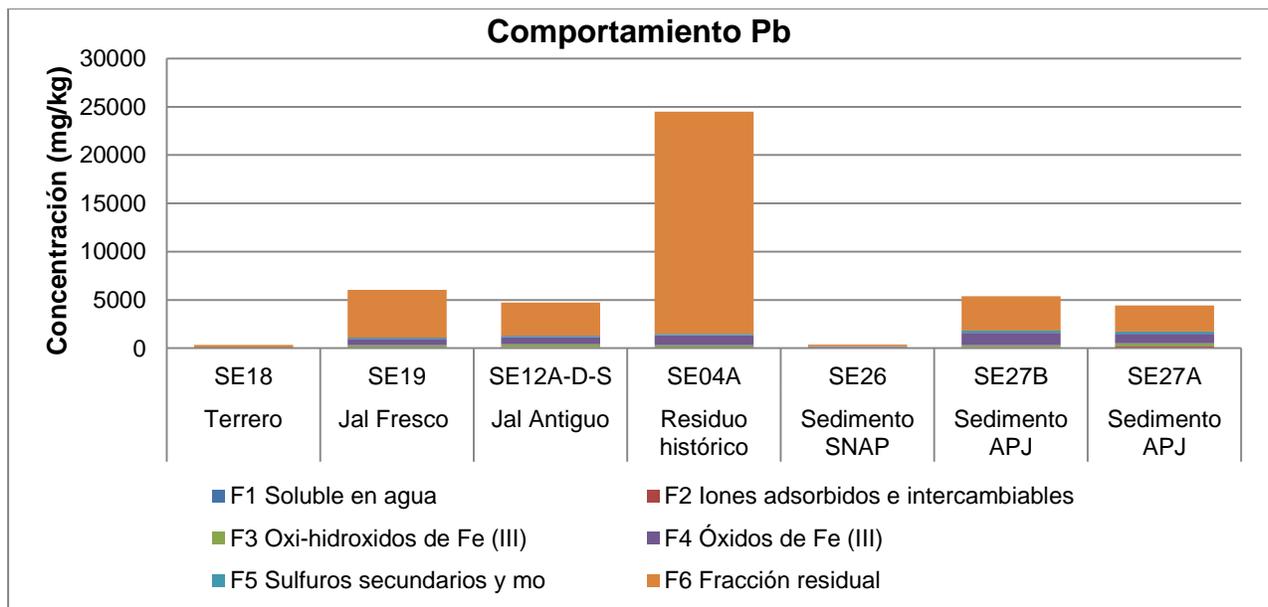
**Figura 19. Comportamiento del cobre en la extracción secuencial para cationes y aniones**

En el jal fresco el 46% se encuentra asociado a sulfuros secundarios y un 39% a sulfuros primarios.

En el residuo histórico un 66% del cobre se encuentra asociado a sulfuros primarios, mientras que el 34% restante se encuentra asociado a oxi-hidróxidos y óxidos de hierro.

En los sedimentos APJ un porcentaje de 62 y 68% de cobre (SE-27B-Sd y SE-27A-Sd, respectivamente) se encuentra asociado a sulfuros primarios, la otra fracción considerable (25 y 27%, respectivamente) se acumula en los óxidos de hierro.

Cabe mencionar que el cobre no es un elemento reportado como abundante en el sitio de estudio, por lo que se asume que este metal se encuentra en asociación con otros metales, en especial el plomo, ya que los perfiles de las extracciones secuenciales en ambos elementos son muy similares, como se observa a continuación:

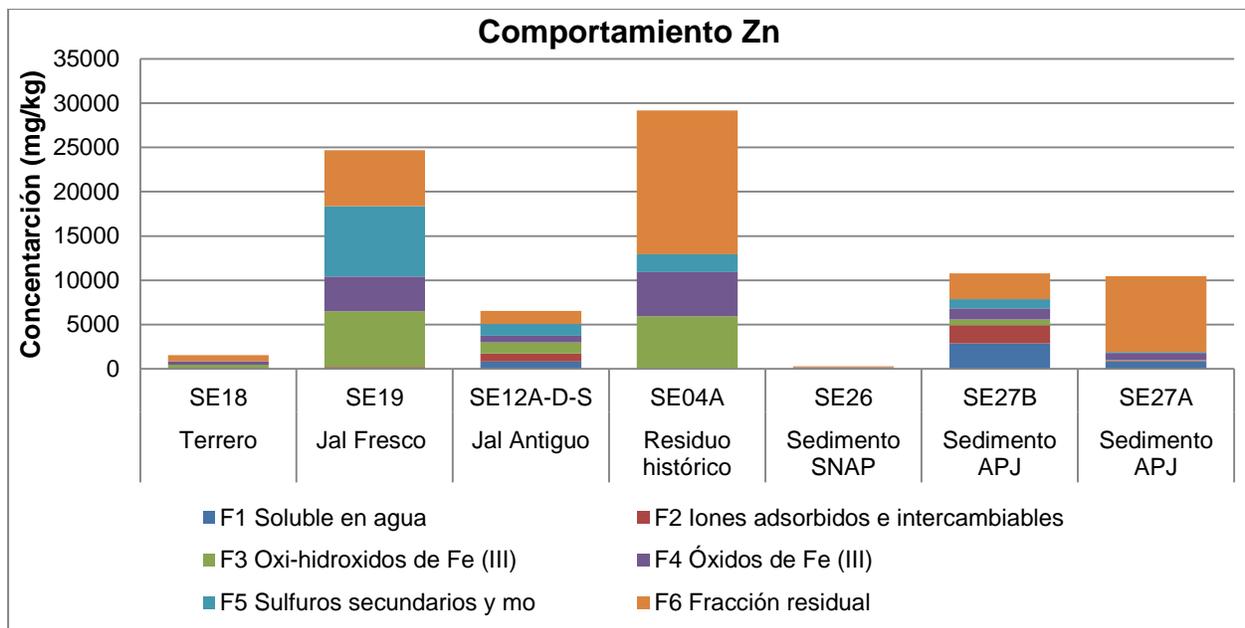


**Figura 20. Comportamiento del plomo en la extracción secuencial para cationes y aniones**

El plomo es el segundo de los EPT con mayor concentración en el sitio de estudio. Pero puede observarse que la concentración de plomo en las muestras de terrero y sedimento no es significativa si se les compara con el resto de las muestras. Se hace notable, además que el residuo histórico es el que contiene por mucho la mayor

cantidad de plomo, sin embargo, las especies minerales de plomo, se encuentran principalmente en la fase de fracción residual, correspondiente a sulfuros primarios y en porcentajes desde 5 hasta 25% está asociado a óxidos de hierro.

La técnica de extracción secuencial de cationes y aniones señala que un porcentaje cercano al 50% de todos los EPT evaluados se encuentra en la fracción de sulfuros primarios, lo que indica que las reacciones de oxidación no han terminado aún, por lo que aunado al bajo pH (3.11) y a la capacidad de generación de DA se espera que la liberación de estos elementos continúe indefinidamente.



**Figura 21. Comportamiento del zinc en la extracción secuencial para cationes y aniones**

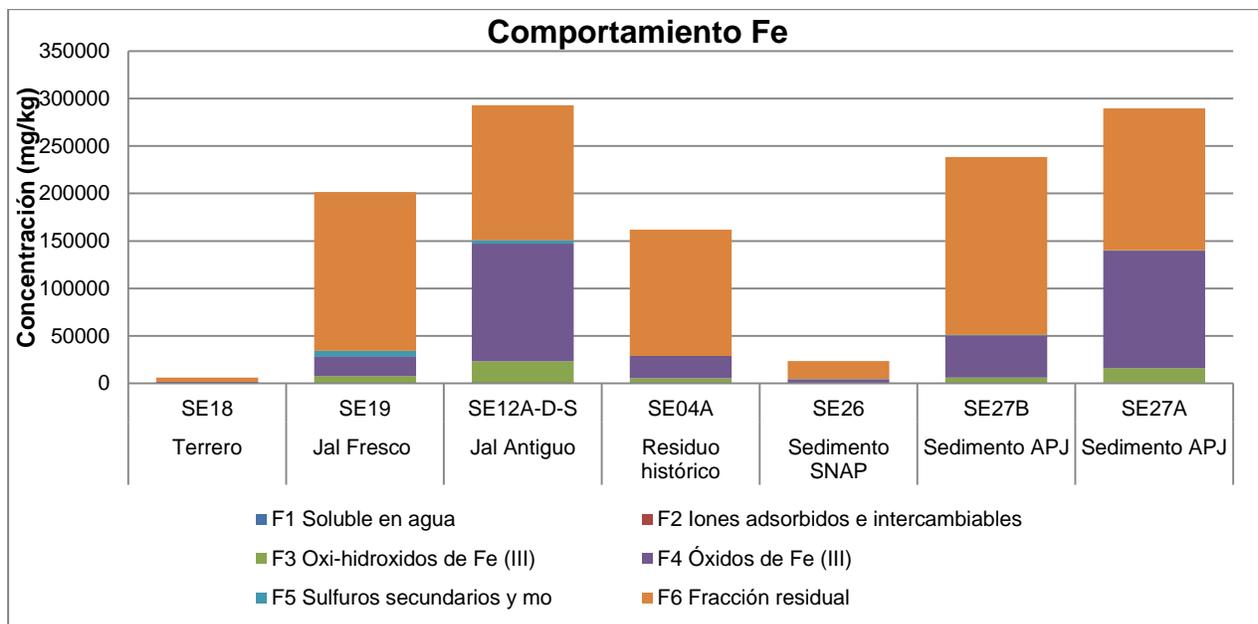
El zinc es el elemento más móvil, ya se mantiene como  $Zn^{2+}$  en estado acuoso y las especies secundarias que forma presentan altas solubilidades. Véase Ecuaciones 1-3.

En el jal fresco y el residuo histórico un 20% del zinc se encuentra asociado a oxi-hidróxidos de hierro, un 16% a óxidos de hierro, mientras que el jal contiene un 32% en sulfuros secundarios, el residuo histórico contiene sólo un 6% asociado a esta fracción. El resto se encuentra asociado a sulfuros primarios.

En el residuo histórico el zinc presenta la mayor acumulación de todas las muestras en las fases de óxidos (36 % del contenido total).

En la presa de jales antigua la formación de especies minerales secundarias, principalmente oxi-hidróxidos de hierro han sido capaces de retener e inmovilizar preferentemente arsénico y zinc (473 y 1256 mg/kg, respectivamente), mientras que los óxidos de hierro retienen el plomo (753 mg/kg).

El hierro es un elemento que está presente en los residuos mineros en gran cantidad, a pesar de no ser considerado un EPT la oxidación de los sulfuros de hierro genera acidez, su presencia en solución sólida en otros sulfuros como la esfalerita modifica los mecanismos de oxidación natural promoviendo la reacción y generando acidez.

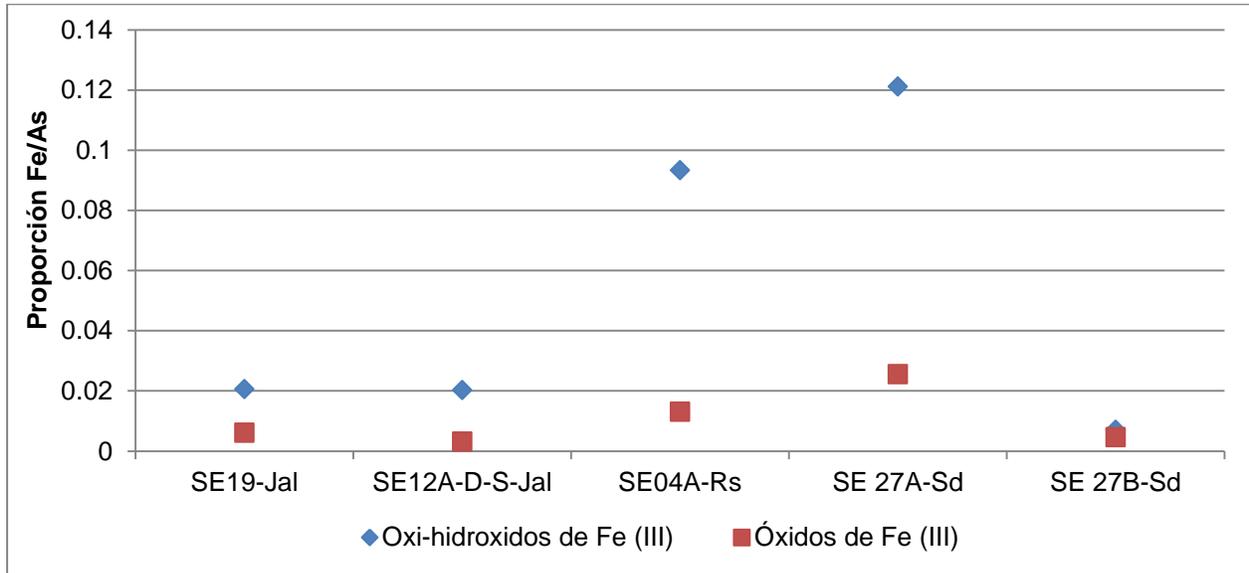


**Figura 22. Comportamiento del hierro en la extracción secuencial para cationes y aniones**

Estos resultados indican que el hierro se encuentra en todas las muestras principalmente en forma de sulfuros primarios, aunque también se encuentra presente en forma de óxidos de hierro.

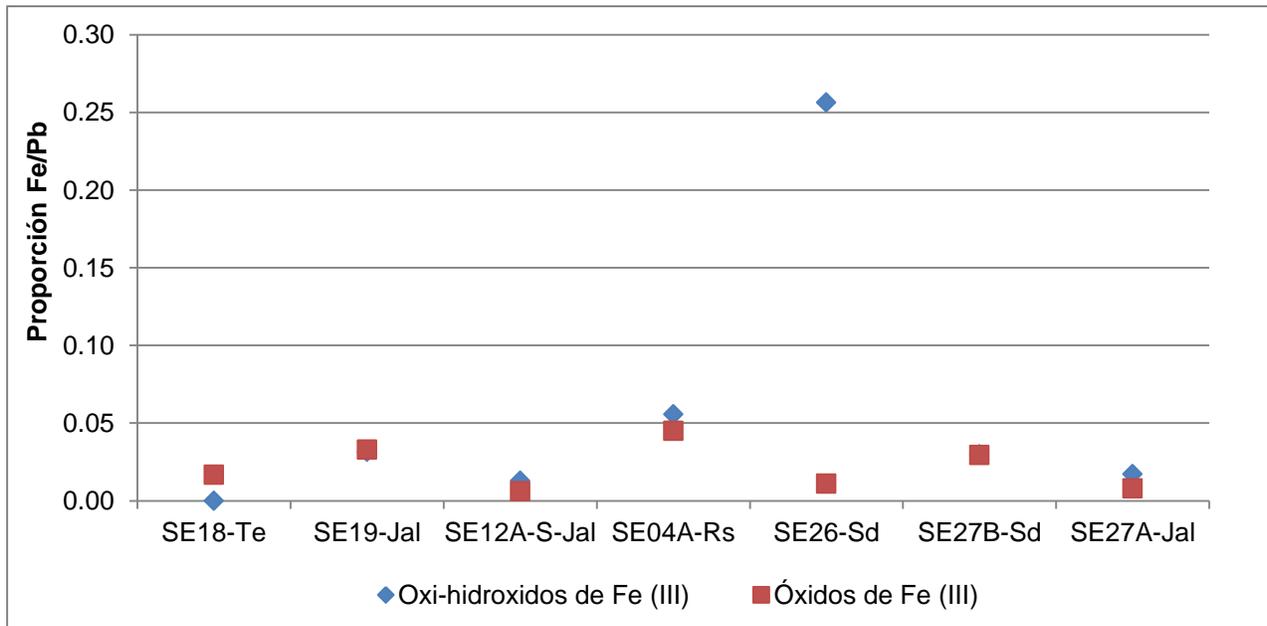
Para ilustrar la proporción en la que los EPT se almacenan en los oxi-hidróxidos y óxidos se construyeron las siguientes graficas de acuerdo a las concentraciones

cuantificadas durante la extracción secuencial para hierro, arsénico, plomo y zinc, esto se representa en las Figuras 23,24 y 25.



**Figura 23. Contenido de Fe/As en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro**

De acuerdo a los resultados de arsénico, éste se acumula de forma distinta en las muestras, aunque mayormente se asocia a la fracción de oxi-hidróxidos de hierro.



**Figura 24. Contenido de Fe/Pb en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro**

El plomo tiende a asociarse en proporciones similares tanto en los óxidos como en los oxi-hidróxidos de hierro en todas las muestras (con excepción de la muestra SE26-Sd, correspondiente a un sedimento SNAP).

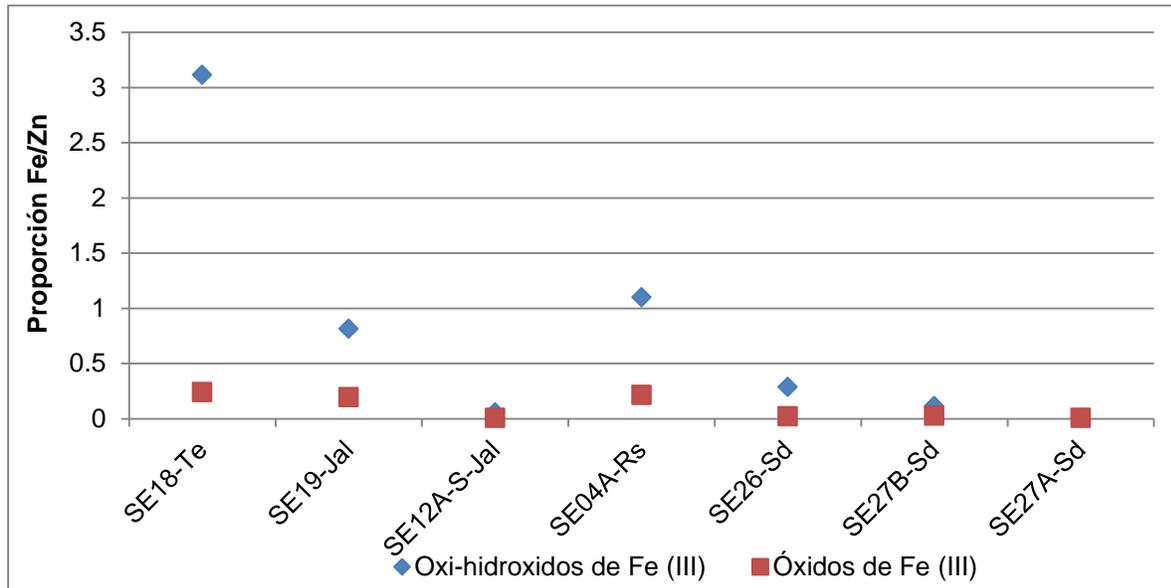


Figura 25. Contenido de Fe/Zn en oxi-hidróxidos y óxidos de hierro

La asociación del zinc está en función de la presencia de fases secundarias, puesto que en las muestras SE18-Te, SE19-Jal no hay formación de fases secundarias, y en la muestra de residuo histórico (SE04A-Rs) las fases secundarias.

### 6.5.2 Extracción secuencial para arsénico

La técnica de extracción secuencial para arsénico fue llevada a cabo para comprobar las fases minerales a las que se encuentra asociado este elemento.

Esta técnica al ser más específica debería ofrecer mayor confiabilidad acerca de las fases minerales a las que se encuentra asociado el arsénico, sin embargo de forma general la cuantificación de arsénico en esta técnica resulta inferior a lo cuantificado en el análisis de elementos totales para el arsénico.

Ya que de forma general en todas las muestras, el arsénico se encuentra asociado principalmente a los sulfuros (Véase Figuras 17 y 23).

Los resultados obtenidos mediante esta extracción basada en la técnica de Keon (2001) son congruentes con los resultados obtenidos mediante la técnica de extracción para cationes y aniones, basada en Dold (2003) corroborando la presencia de la mayor cantidad de arsénico asociado a la última fase de la extracción secuencial correspondiente a sulfuros primarios.

La cuantificación total en ambas técnicas es equiparable a lo obtenido mediante el análisis de elementos totales (véase Anexos 16 y 17).

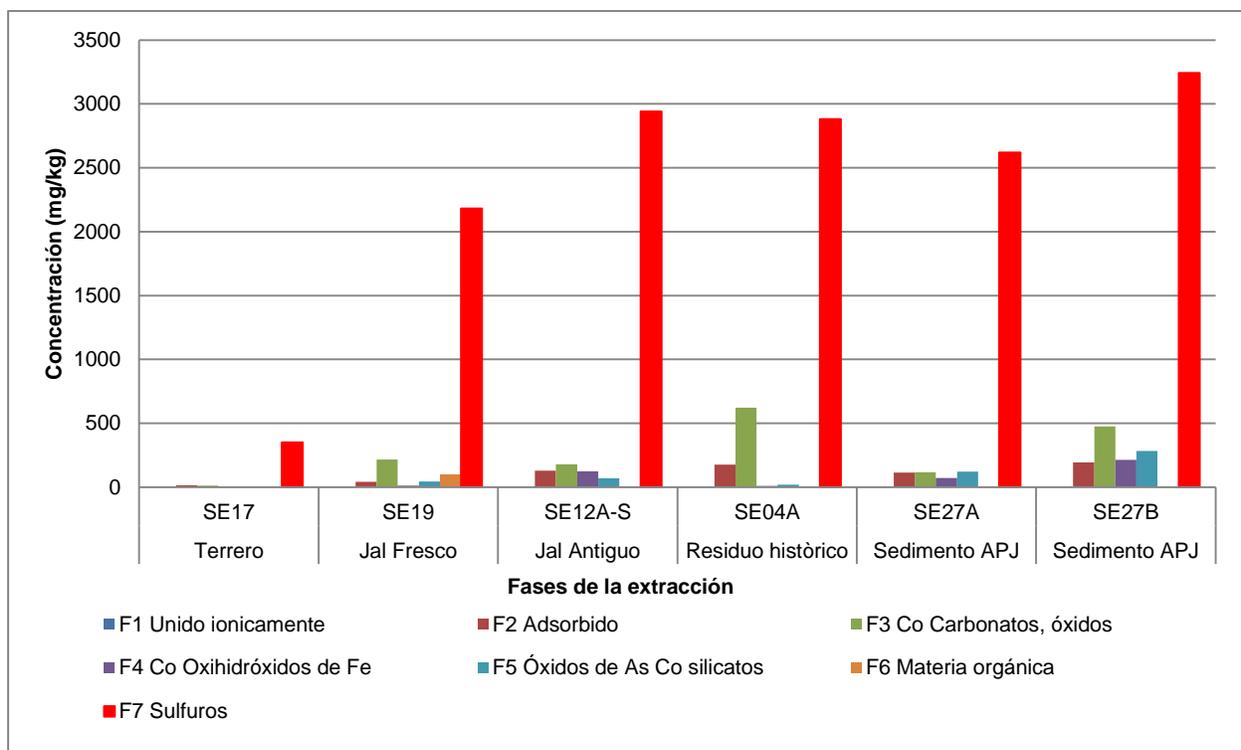


Figura 26. Comportamiento del arsénico en la extracción secuencial para cationes y aniones

### 6.6 Difracción de Rayos X

Con el fin de identificar las especies minerales primarias se realizó este análisis para las cuatro muestras de proceso (por ejemplo, el presentado en la Figura 27), observándose como especies primarias sulfurosas: esfalerita, pirita y galena, las no sulfurosas: calcita, cuarzo, dolomita, muscovita y andradita. En la muestra de terrero sólo se observó calcita y cuarzo.

La muestra correspondiente a un sedimento SNAP (Figura 28) no presenta sulfuros metálicos entre las especies mayoritarias, aunque la cuantificación de sulfuros del método del ABA corrobora su presencia, el contenido es menor al 5%.

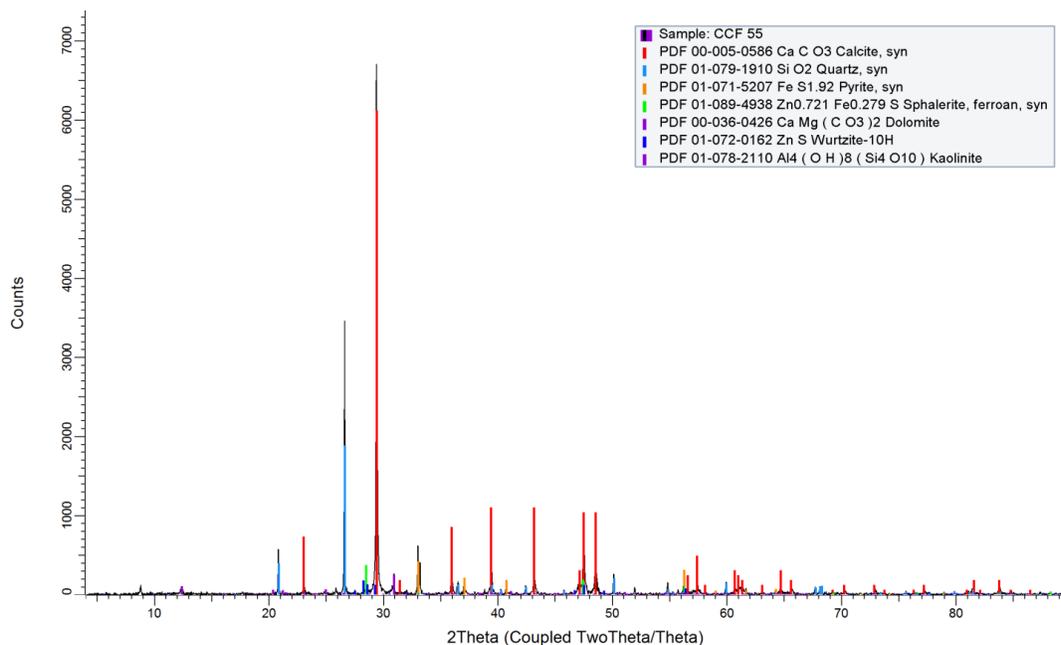


Figura 27. Difractograma correspondiente al concentrado final

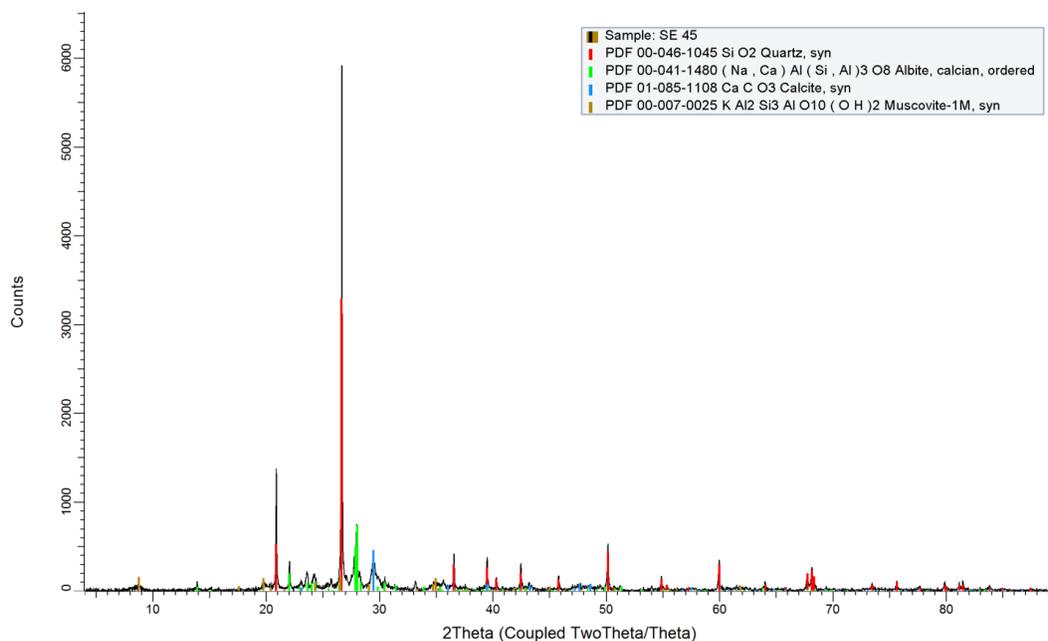
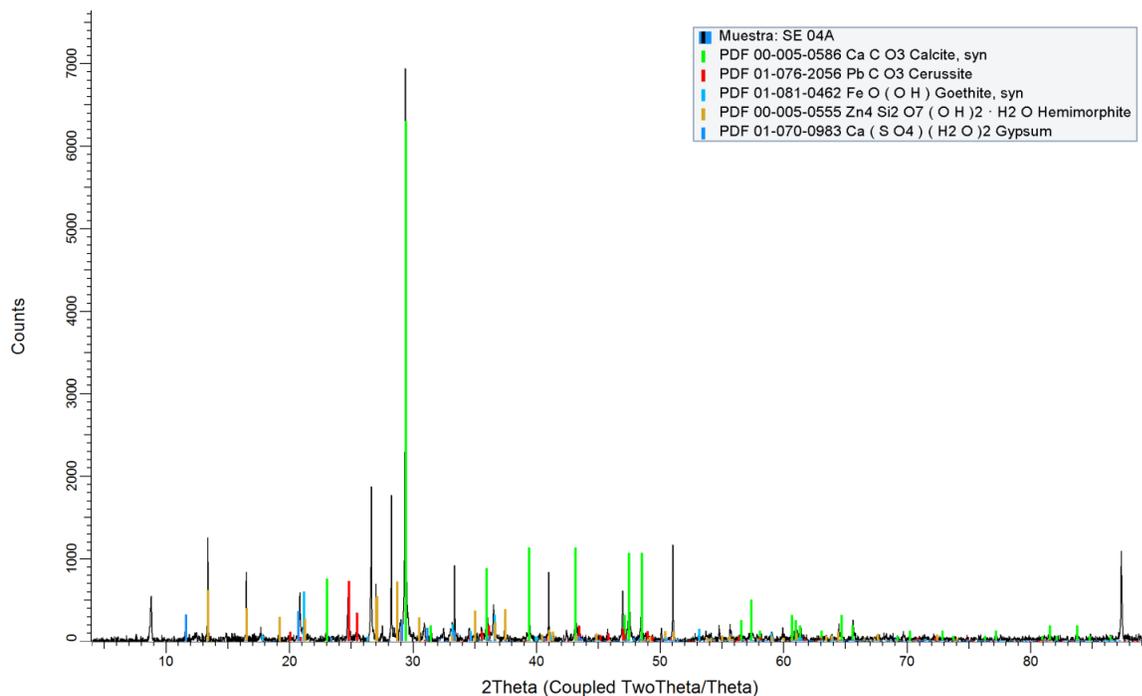


Figura 28. Difractograma correspondiente a sedimento SNAP muestra SE-26-Sd

Igualmente para el residuo histórico se observa la ausencia de minerales sulfurosos como especies mayoritarias, y se destaca la presencia de minerales secundarios tales como cerusita, goethita hemimorfita y yeso.

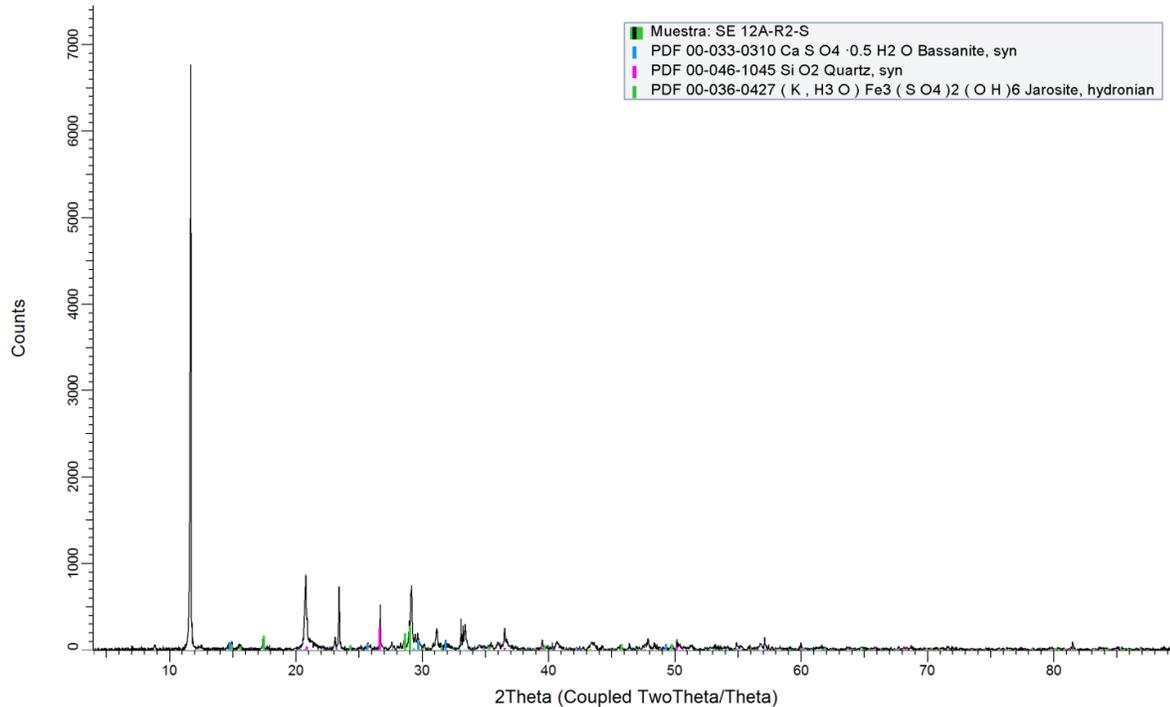


**Figura 29. Difractograma muestra SE-04A-Rs correspondiente a un residuo histórico**

Los difractogramas de la antigua presa de jales muestran la presencia de especies minerales secundarias asociadas con la oxidación de los sulfuros en condiciones variables; esto ya se había observado en los resultados de análisis total en la heterogeneidad de los resultados.

La composición química y mineralógica en la presa antigua de jales antigua resulta variable, debido a las diferentes condiciones de humedad y disponibilidad de oxígeno presentes, existen sitios de muestreo en la superficie donde la oxidación de sulfuros ocurrió más rápidamente, esto se comprobó en la muestra SE12A-S-Jal (donde no hay cuantificación de minerales neutralizantes y sulfuros como fases mayoritarias, agotados a raíz de los fenómenos de oxidación-neutralización que originaron la presencia de fases minerales secundarias como el yeso y la jarosita).

En el siguiente difractograma se muestra la presencia de jarosita, cuya formación esta relaciona con ambientes húmedos y pH bajos y la formación de yeso y basanita como especies secundarias formadas de acuerdo a la Ecuación 20.



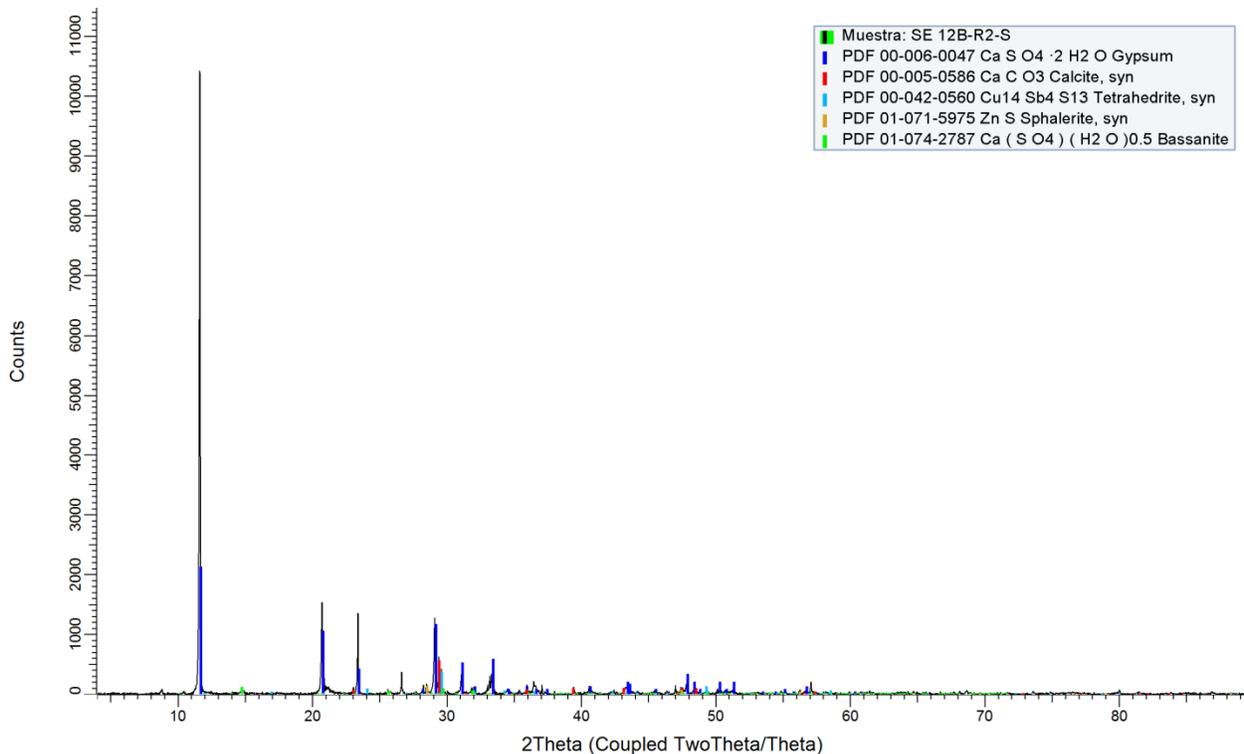
**Figura 30. Difractograma de muestra SE-12A-S-Jal correspondiente a la presa de jales antigua.**

Mientras que para otra de las muestras en la presa antigua de jales (SE12B-S-Jal) se observa la presencia de sulfuros primarios y de especies neutralizantes como la calcita, ausentes en la muestra anterior, lo que indica un grado menor de intemperización del material.

El análisis de DRX para las muestras correspondientes a la presa antigua de jales, indica que la oxidación no ocurre de forma idéntica en los sitios muestreados. Es por esto que la concentración de elementos totales difiere entre los tres sitios como se observa en la Tabla 10.

Con el fin de entender el comportamiento mineralógico que ayuda a la cementación del material en la presa de jales se realizó una comparación mineralógica de la pared de la

presa de jales entre el material consolidado y material sin consolidar en sus perfiles superior e inferior.



**Figura 31. Difractograma de muestra SE-12B-S-Jal correspondiente a la presa de jales antigua**

En el material sin consolidar se encontraron minerales neutralizantes: en la parte superior carbonatos (calcita y dolomita) y en la parte inferior calcita y aluminosilicatos; en la zona consolidada no se encuentran minerales neutralizantes; la goethita se encuentra presente en ambos perfiles, superior e inferior, la hematita se encuentra solamente en el perfil superior.

La presa de jales se muestreó considerando los perfiles verticales que presentaba el mineral. Los difractogramas de las muestras de perfiles inferiores permiten observar la presencia de sulfuros, silicatos y aluminosilicatos como fases mayoritarias o en concentración superior al 5%, estos minerales aún permanecen sin alteración aparente, indicios de una menor tasa de oxidación (Véase Anexo 18).

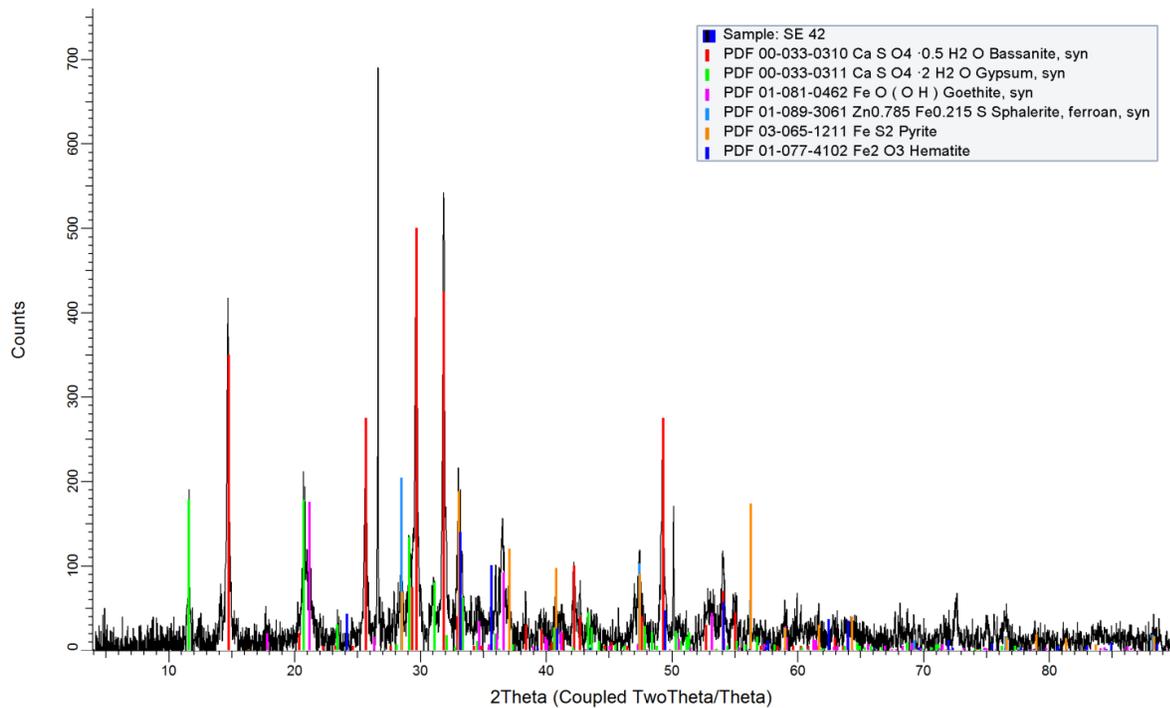
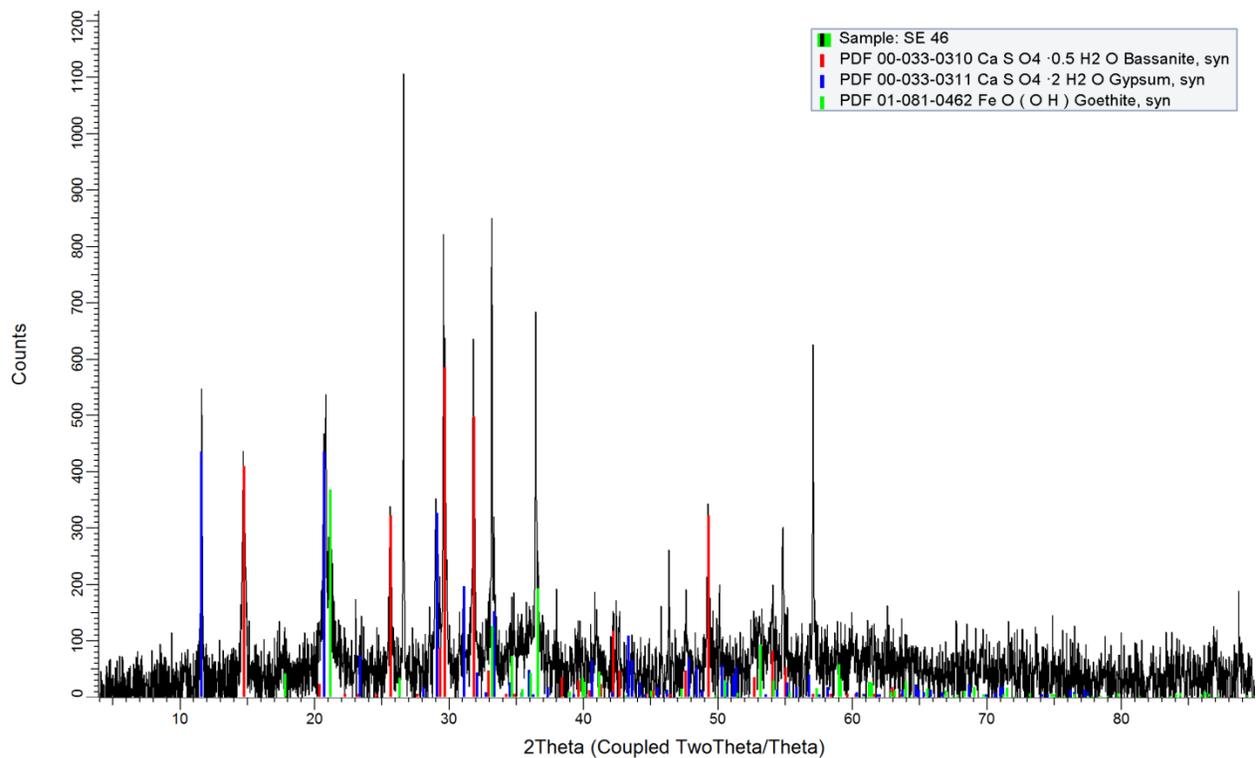


Figura 32. Difractograma de la muestra pared presa antigua de jales muestra SE-24-D-S-Sd

En la primera zona de acumulación se tomaron dos muestras, en la primera muestra (SE-27A-Sd) se observa la presencia de sulfatos de origen secundarios, óxidos de hierro no cristalinos que aparecen como ruido de fondo y destaca ausencia de sulfuros metálicos y minerales neutralizantes entre las fases cuantificadas por este método, en concordancia, los resultados de la prueba ABA señalaron que este material es potencial generador de drenaje ácido.

El análisis de DRX respalda estos resultados, ya que no se encontraron especies neutralizantes, las fases mayoritarias encontradas son minerales secundarios tales como yeso y goethita; originadas tras la oxidación de pirita; jarosita, cuya formación puede deberse a la disolución ácida de silicatos primarios como la muscovita y la biotita (Diehl *et al.*, 2006) o a la precipitación del ión férrico en ambientes oxidantes altos en sulfato (Essington, 2006).



**Figura 33. Difractograma sedimento APJ muestra SE-27A-Sd**

Para la segunda muestra (SE-27B-Sd) se detectaron como mineral primario la esfalerita, como mineral secundario aparecen la jarosita, goethita, y azufre elemental, sin detección de minerales neutralizantes.

La muestra SE-29 proveniente de una zona de acumulación diferente a la de las muestras anteriores y denota la presencia de minerales secundarios como yeso, goethita, haciéndose notoria la ausencia de carbonatos secundarios y minerales neutralizantes como carbonatos y aluminosilicatos, véase Figura 35.

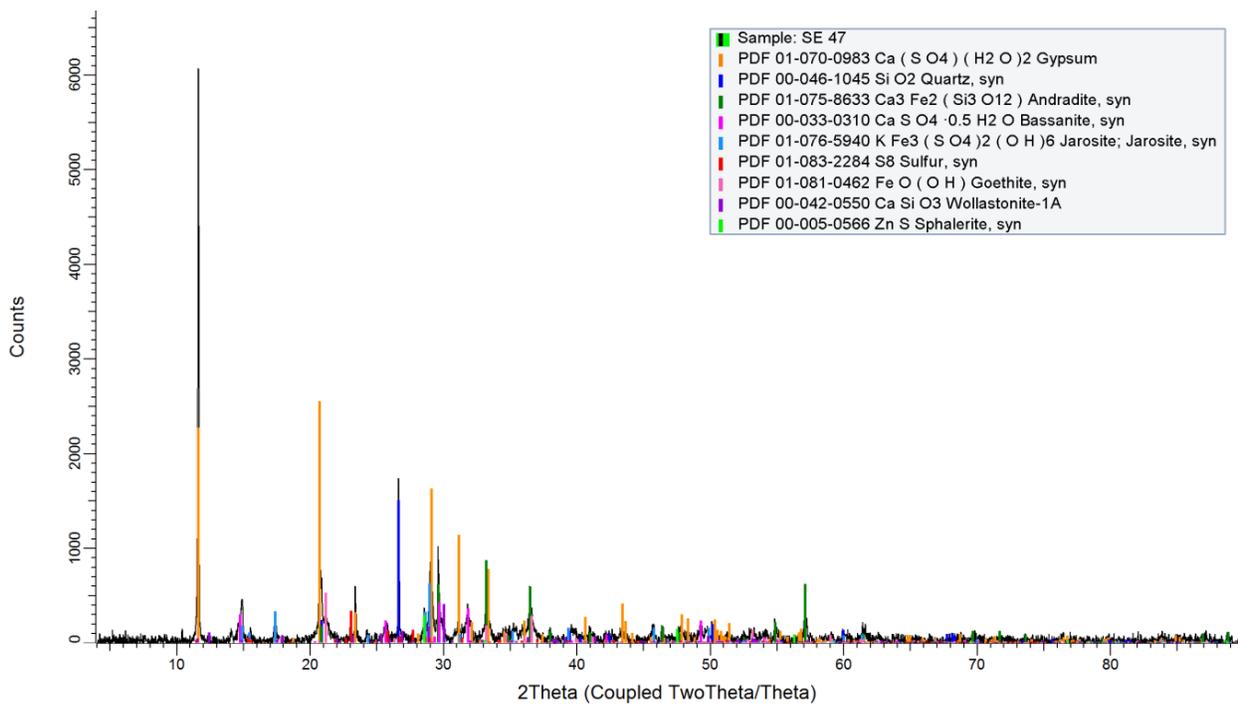


Figura 34. Difractograma muestra sedimento APJ muestra SE-27B

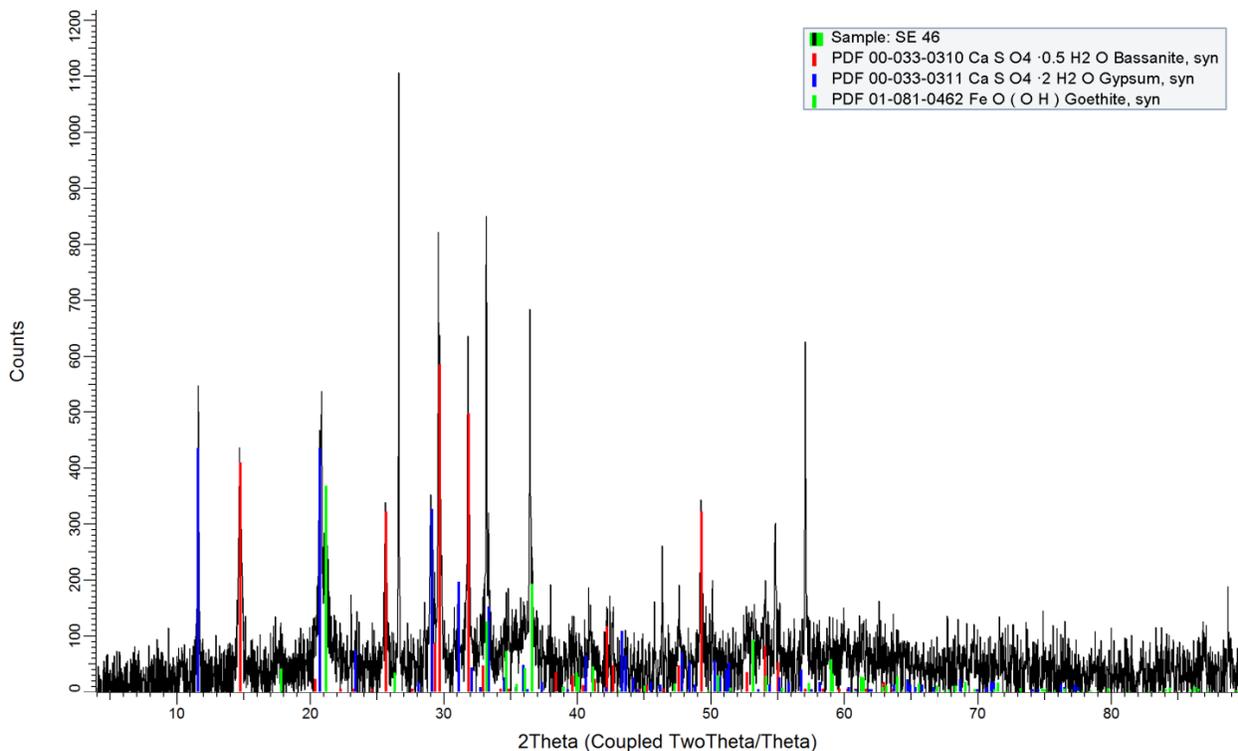
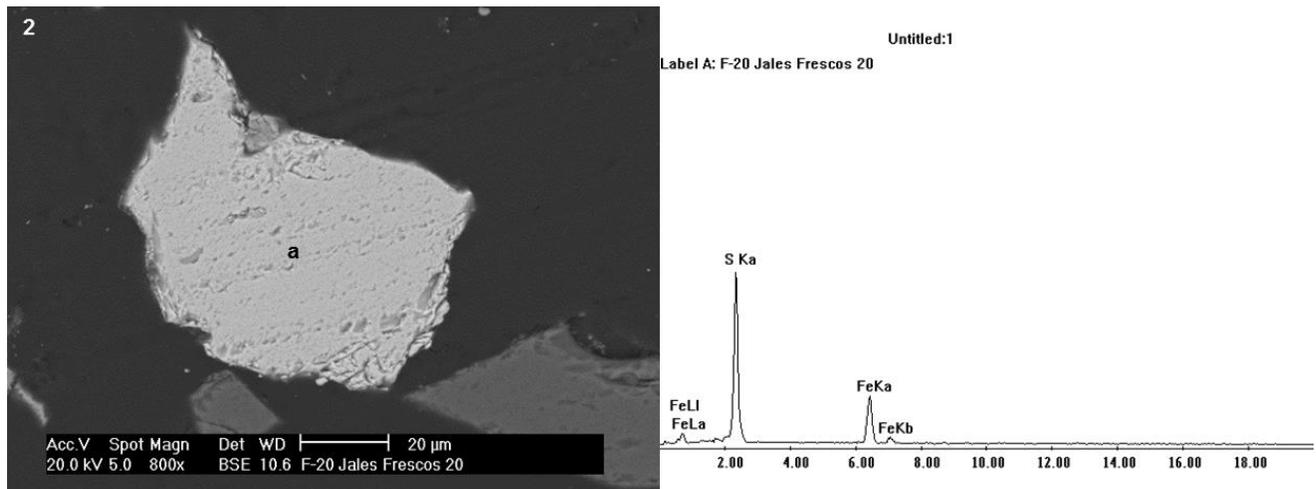


Figura 35. Difractograma muestra sedimento APJ muestra SE-29

### 6.7 Microscopia electrónica de barrido

Para la asignación del nombre a cada partícula observada se realizó la comparativa de porcentajes de cada elemento mencionada en la sección 4.4.2.

Los resultados para el residuo tipo jal fresco (SE-19) muestran la presencia de partículas tales como: pirita, esfalerita y pirrotita en condiciones inalteradas. Estas especies minerales fueron identificadas como primarias mediante el análisis de DRX y son estas fases minerales las que contienen los EPT, ya sea formando el sulfuro o en solución sólida (en el caso del cadmio y el cobre). La Figura 36 muestra el estado físico en el que se encuentran las partículas de sulfuro en la presa de jales nueva.



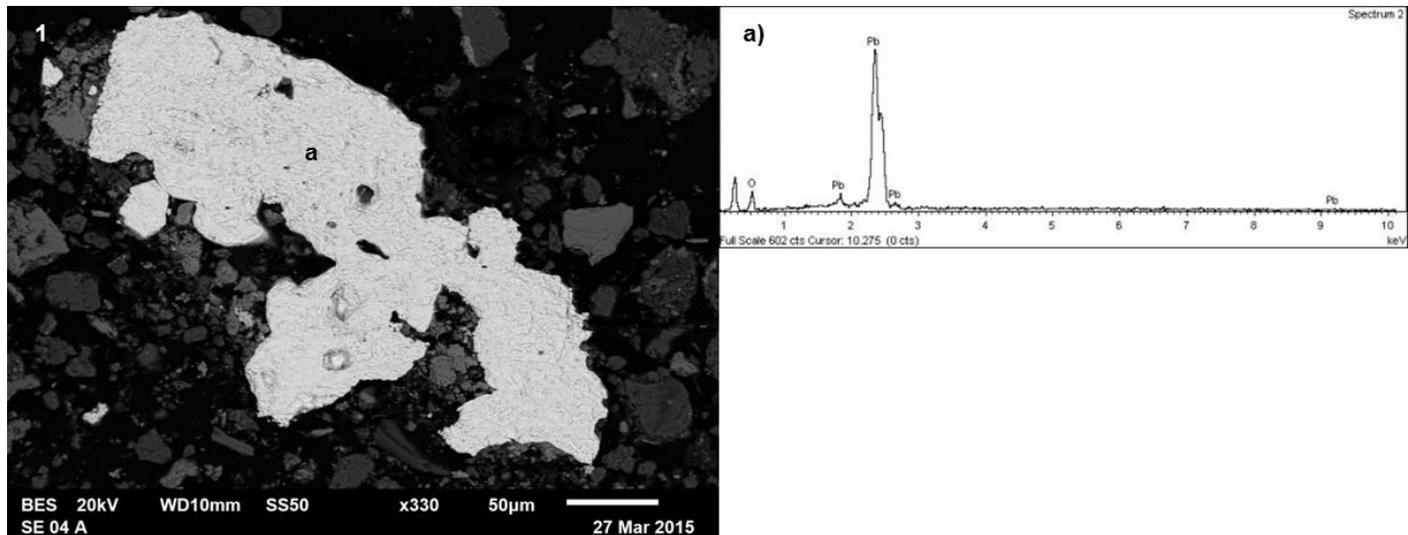
**Figura 36. Muestra SE19-Jal correspondiente a la presa de jales nueva. Partícula de pirrotita (50.72% S; 49.218% Fe)**

Para la muestra correspondiente al residuo histórico, cuyo contenido de plomo es más alto que en el resto de las muestras, y que además es capaz de liberar plomo de acuerdo a la prueba de movilidad con agua meteórica, existe una abundancia de especies minerales de plomo, en forma de óxidos como la plattnerita, óxidos de plomo-manganeso y cerusita (carbonato,  $K_{ps}=1.5 \cdot 10^{-13}$ ); estas fases minerales secundarias formadas a partir de la alteración de los sulfuros son las responsables de la movilidad del plomo, debido a que son más solubles que el resto de especies minerales de plomo encontradas, tales como los hidróxidos enriquecidos en plomo y la galena ( $K_{ps}=7 \cdot 10^{-29}$ ),

que es la especie mineral primaria en la que se encuentra el plomo en la zona mineralizada.

Mediante el análisis por microscopía electrónica se encontró la presencia de minerales enriquecidos en plomo como la carminita, beudantita, además de óxidos e hidróxidos de hierro enriquecidos en plomo. La formación de todos estos minerales es favorable ya que inmovilizan los EPT evitando su liberación a los sistemas hídricos, según se observó en la prueba de movilidad, donde los EPT permanecen insolubles, con excepción del plomo que se moviliza en 1.57 mg/L (Véase Anexo 14).

La Figura 37 muestra la imagen de una partícula de plattnerita cuya composición en peso de plomo es superior al 85%.



**Figura 37. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula de plattnerita (O 14.34%; Pb 85.66%)**

En esta muestra también se observaron otras especies secundarias estables tales como la hematita observada en la Figura 38, esta especie le concede dureza al material y además es relativamente insoluble ( $K_{ps}=10^{-39}$ ).

También fue posible observar la presencia de otros minerales secundarios como la beudantita ( $PbFe_3(AsO_4)(SO_4)_2(OH)_6$ ), este mineral normalmente funge como fijador de arsénico y plomo en condiciones de pH neutros a alcalinos. Véase Figura 39.

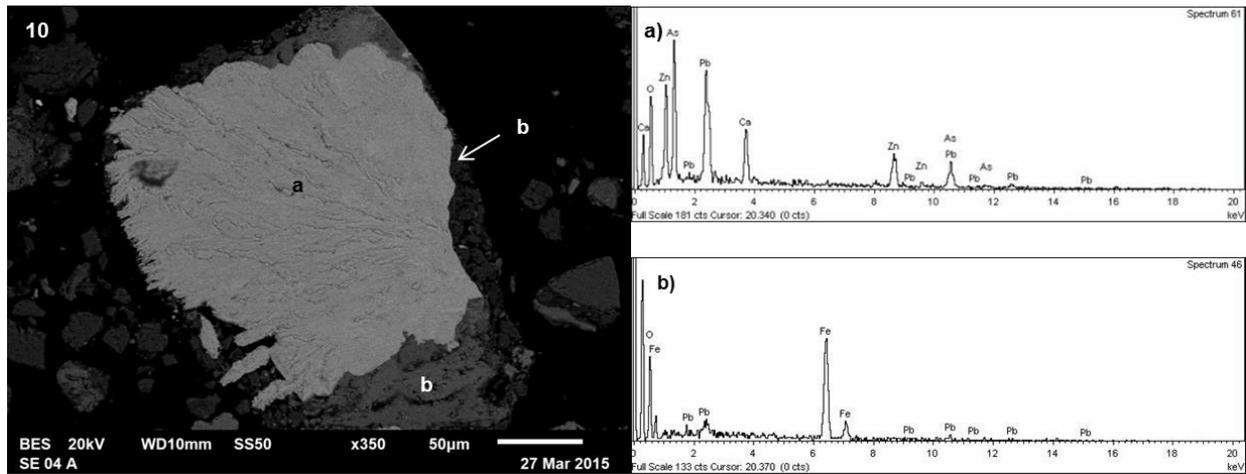


Figura 38. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula mixta a) carminita (O 26.5%; Ca 6.02%; Zn 18.7%; As 22.16%; Pb 26.62%) b) hematita (O 26.35%; Fe 73.65%)

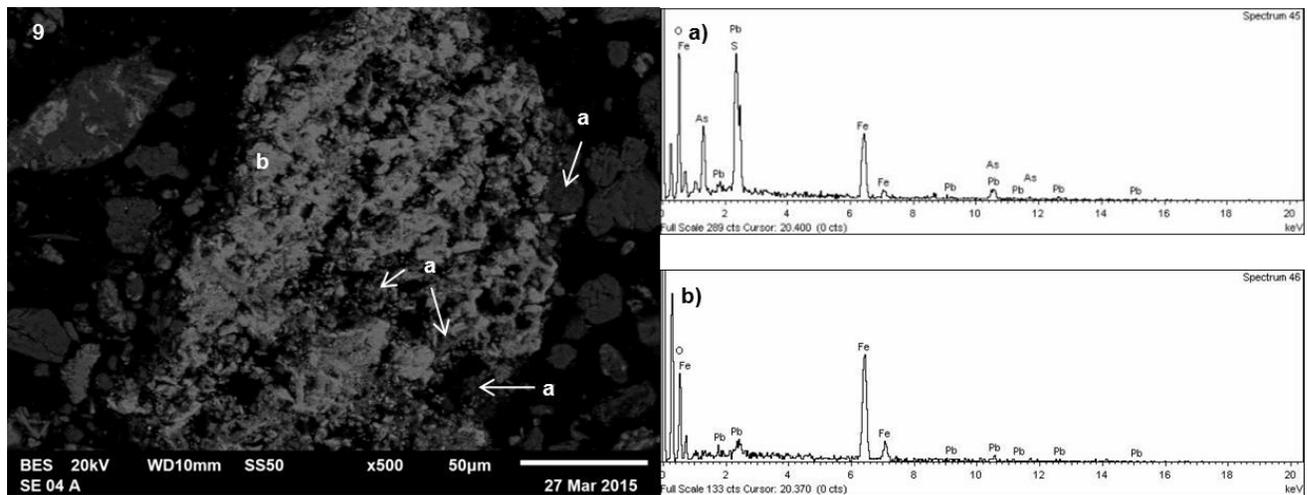


Figura 39. Muestra SE04-Rs correspondiente a residuo histórico. Partícula mixta a) beudantita (O 35.23%; S 5.63%; Fe 21.16%; As 11.12%; Pb 26.85%), b) hematita enriquecida en plomo (O 27.07%; Fe 68.69%; Pb 4.23%)

De acuerdo con los resultados de análisis total, se sabe que la muestra SE-21-Te contiene altos valores de plomo y arsénico. La información proporcionada por el microscopio electrónico de barrido muestra la presencia de óxidos de plomo y manganeso, galena, cerusita, mimetita y beaverita-Zn ( $Pb(Fe_2^{3+},Zn)(SO_4)_2(OH)_6$ ) además de especies secundarias como la siderita y la jarosita. Véase Figura 40. En este residuo, el elevado contenido de EPTs está relacionado con la ubicación del

mismo, ya que es muy cercano a la región mineralizada del sitio, véase Figura 7. La exposición a los factores ambientales ha permitido la formación de fases secundarias.

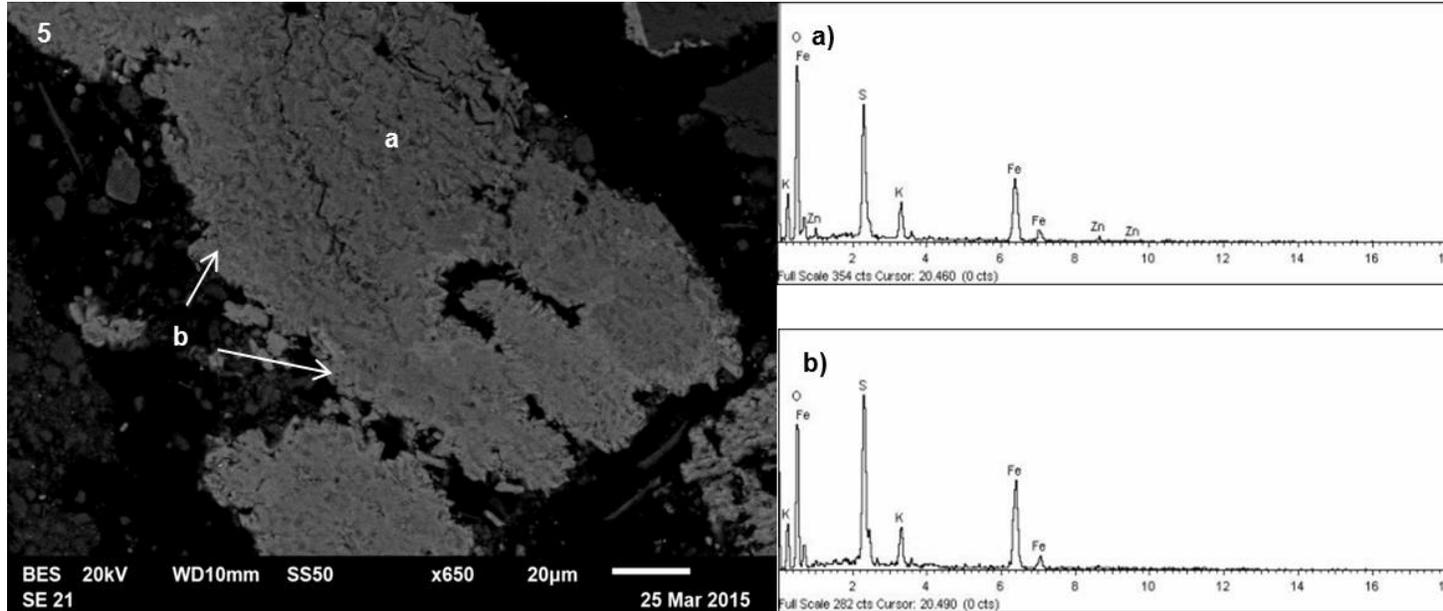
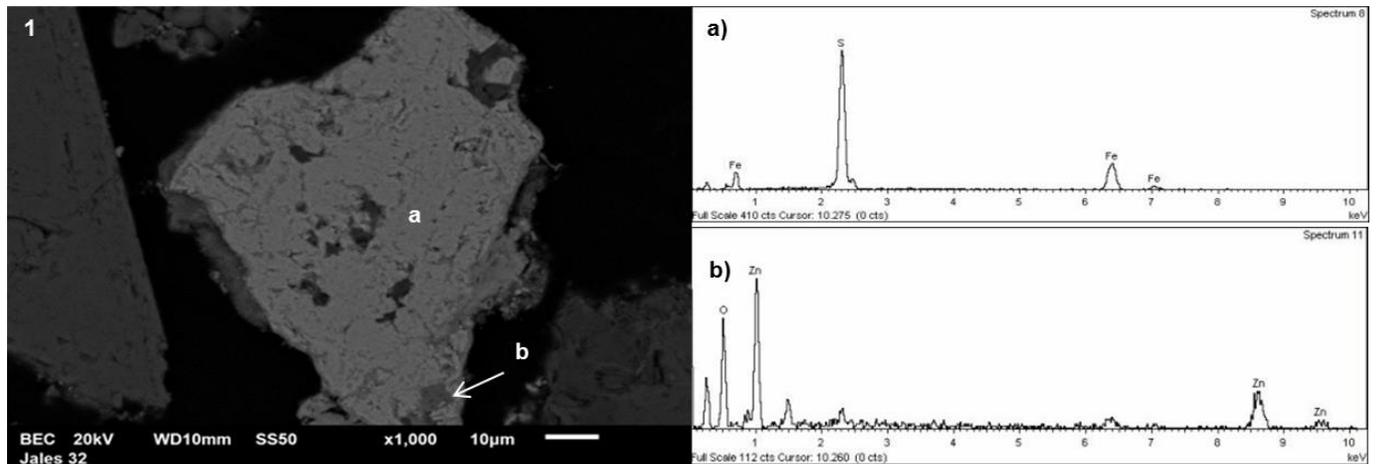


Figura 40. Muestra SE21-Te correspondiente a terrero. Partícula mixta de a) beaverita- (Zn) (O 50.02%; S 14.71%; K 5.45%; Fe 27.25%; Zn 2.57%) y b) jarosita (O 43.9%; S 16.7%; K 5.41%; Fe 33.99%)

El análisis correspondiente a la presa de jales antigua incluyó dos muestras: una muestra superficial (SE-12B-S-Jal) y otra del perfil inferior (SE-12B-I-Jal). Los resultados de los análisis de las muestras correspondientes a la presa de jales antigua (pH, generación de DA y análisis de elementos totales) permiten estimar la diversidad de micro condiciones en los distintos puntos muestreados, en este depósito en particular, los resultados obtenidos denotan un pH bajo, potencial de generación de acidez y presencia de elementos como zinc y arsénico; mediante el análisis por microscopía fue posible observar la formación de especies secundarias en los bordes de las partículas de sulfuro, como se observa en la Figura 41, donde se aprecia la formación de carbonato de zinc como fase secundaria. Este mineral se forma a partir de la oxidación de la esfalerita tal como se representa en la Ecuación 2 (mencionada previamente en la sección 2.3.2.1).



La formación de especies secundarias carbonatadas está relacionada con la actividad de los minerales neutralizantes, por lo que la presencia de estas especies refleja la capacidad del sistema para neutralizar la acidez que se pudiera generar a partir de la oxidación de los sulfuros.



**Figura 41. Muestra SE-12B-S-Jal correspondiente a presa de jales. Partícula mixta de a) marcasita (S 56.78%; Fe 43.22%) y smithsonita (O 39.76%; Zn 60.24%)**

Mientras que para el perfil inferior del mismo punto de muestreo; muestra SE12B-I, véase Figura 43, las partículas de sulfuros no se presentan indicios de formación de minerales secundarios, esto de alguna forma indica una menor tasa de oxidación de los sulfuros, debido a que este perfil no tiene contacto con el aire (oxígeno), que es uno de los dos principales factores que controlan la tasa de oxidación de los sulfuros (Ritchie, 1994).

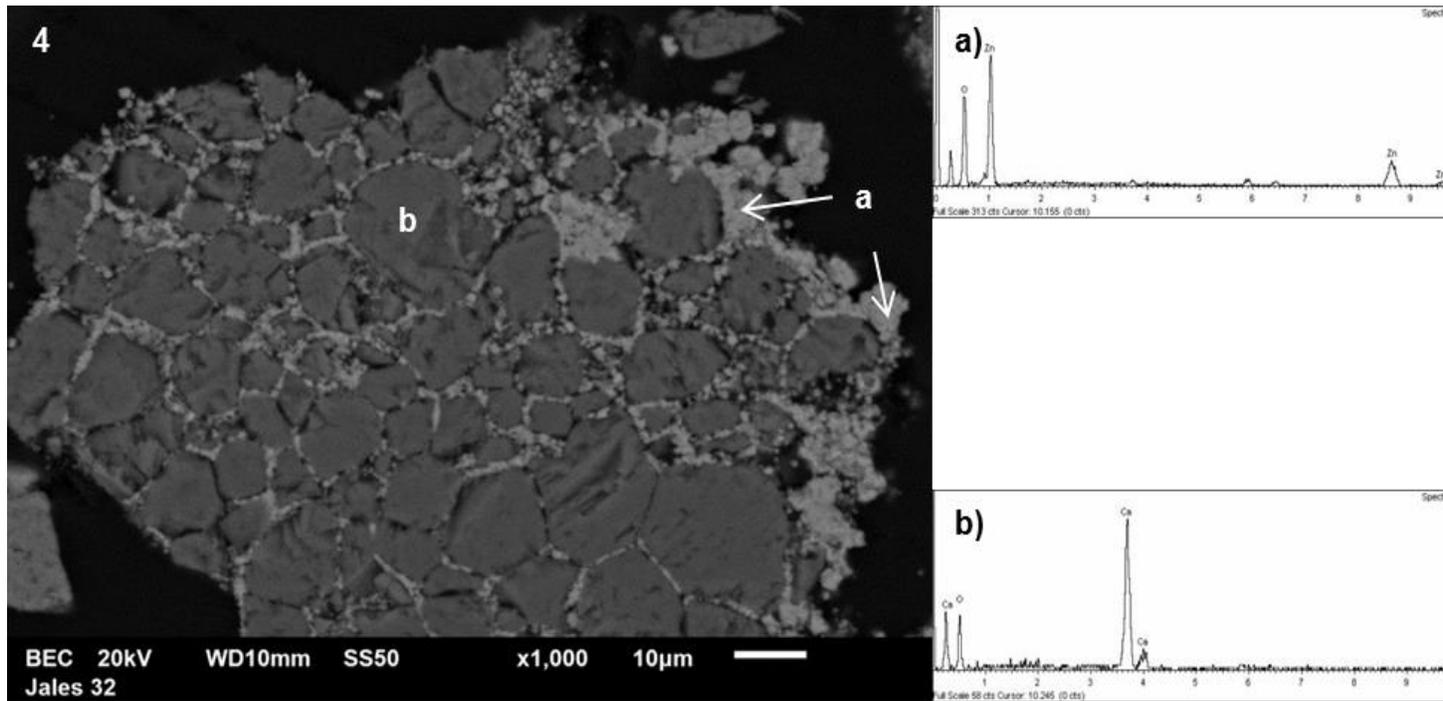


Figura 42. Muestra SE12B-S correspondiente a presa de jales antigua. Partícula mixta de a) smithsonita (O 44.53%; Zn 55.47%) y b) calcita (O 64.64%; Ca 39.36%)

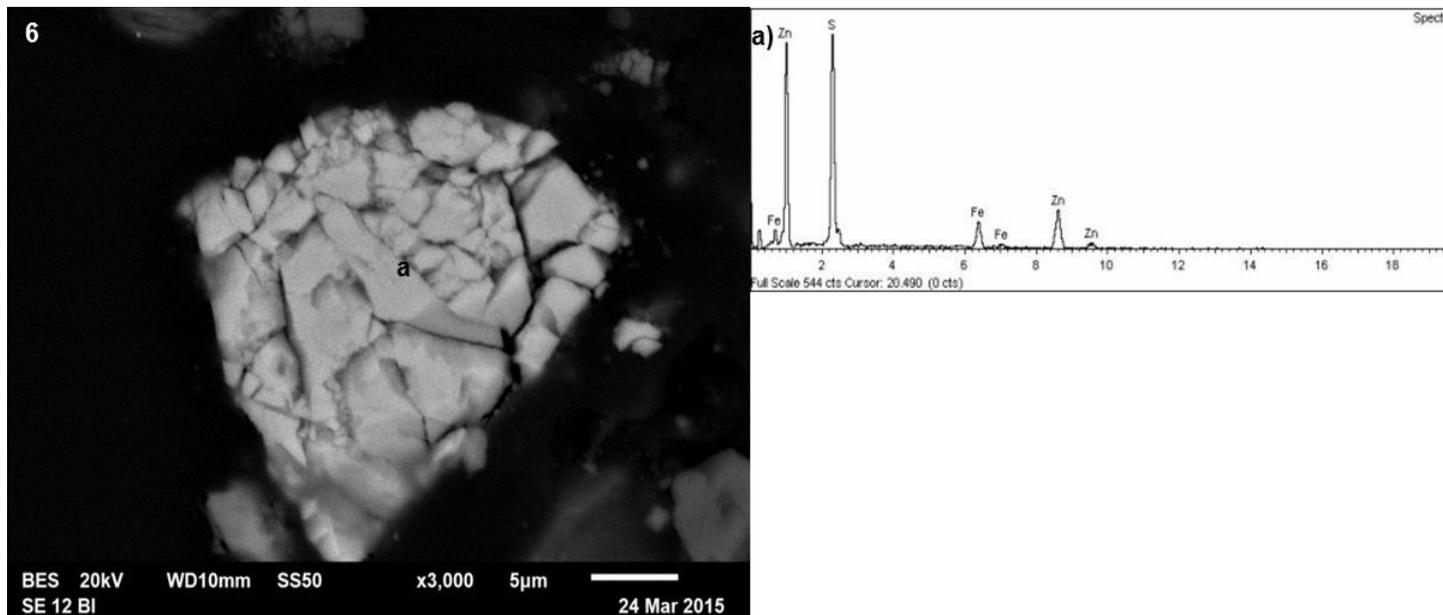


Figura 43. Muestra SE12B-I correspondiente a presa de jales antigua. Partícula de esfalerita (S 38%; Zn 49%)

En lo respectivo a las muestras de sedimento depositadas en el cauce del arroyo. En la muestra SE27A, que presentó contenidos altos de EPT, se identificaron partículas de composición similar a la arsenopirita, las cuales aún se conservan en los sedimentos debido a su baja solubilidad, fase mineral que no se identificó mediante DRX por encontrarse en concentraciones inferiores al 5%. A diferencia de lo anterior, sí se identificaron óxidos de hierro mediante DRX y microscopio electrónico (Figura 45).

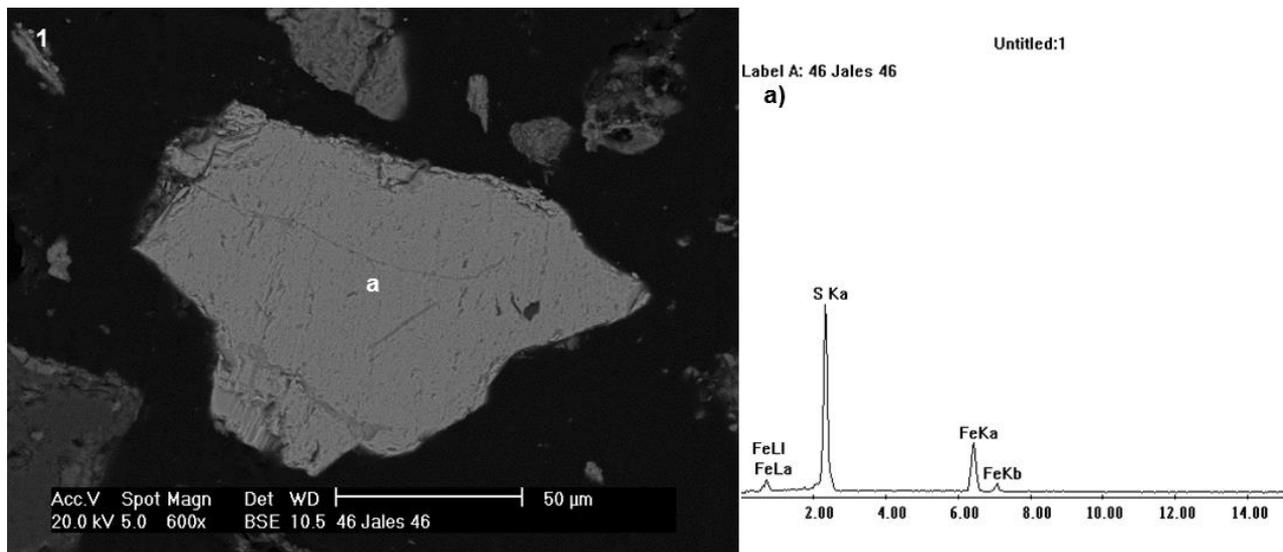


Figura 44. Muestra SE27A-Sd correspondiente a sedimento APJ. Partícula de arsenopirita (S 18.78%; Fe 34.22%; As 47%)

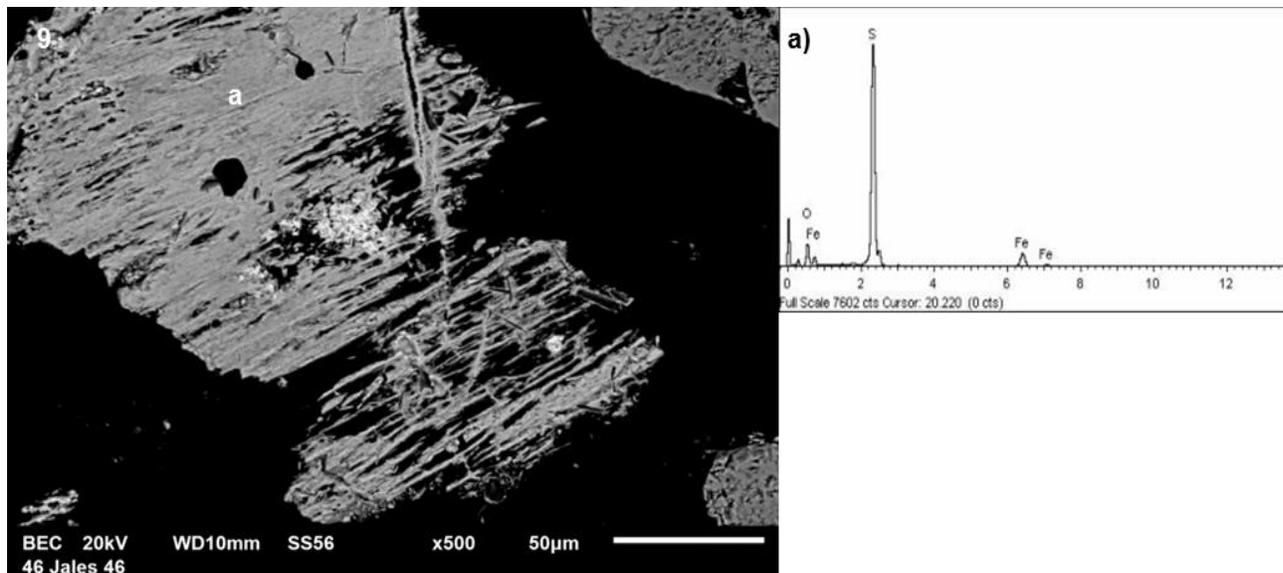
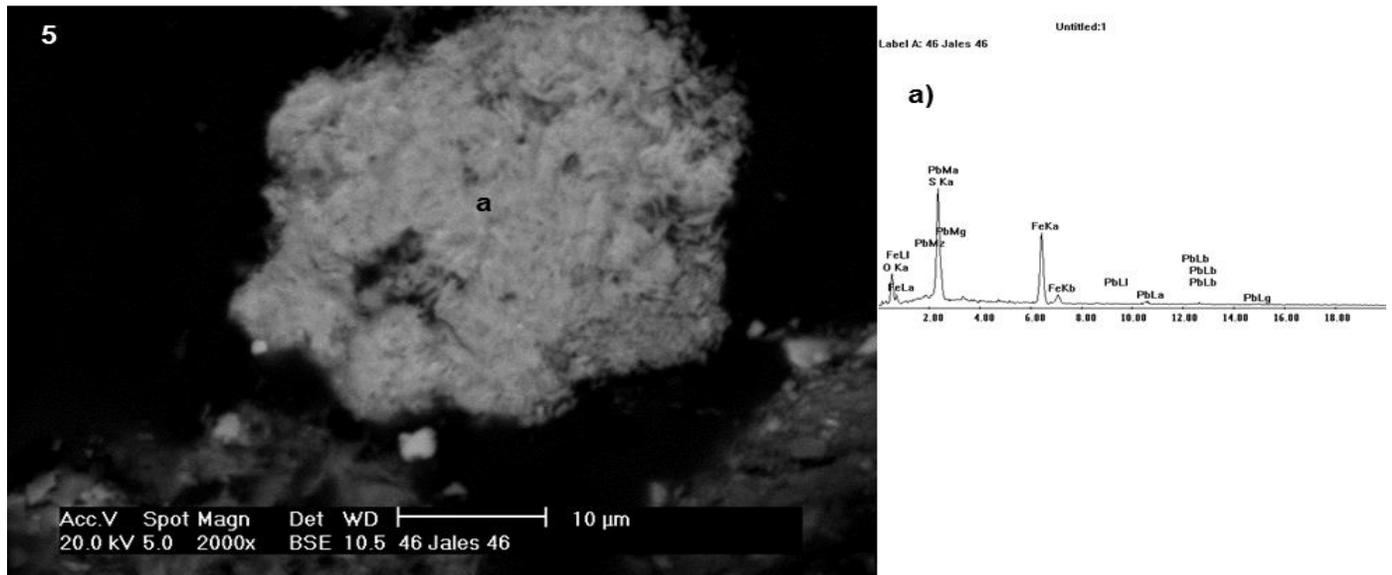


Figura 45. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de hidróxido de hierro (O 41.6%; Fe 58.4%)

Otras fases minerales identificadas fueron la jarosita y plumbojarosita, como se muestra en la Figura 46. La presencia de estas especies y su enriquecimiento en plomo sugiere un reemplazamiento total o pseudomorfismo de los minerales de sulfuros por minerales secundarios tipo sulfatos de acuerdo a Diehl *et al.* (2006); y beudantita que al igual que la jarosita y plumbojarosita controlan o inmovilizan una parte del plomo y arsénico, respectivamente.



**Figura 46. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de plumbojarosita (O 15.93%; S 14.61%; Fe 41.87%; Pb27.98%)**

Usando la técnica de mapeo selectivo que permite seleccionar ciertos elementos y colorear las partículas en las cuales se encuentran presentes fue posible identificar regiones en las partículas donde se forma azufre elemental como se puede observar en la Figura 47.

Este elemento puede formarse como subproducto debido a la oxidación microbiológica de la galena (Diehl, 2006).

Los procesos como la precipitación simultánea o coprecipitación favorecen la formación de partículas mixtas como las encontradas, de acuerdo a Warren y Haack (2001) estas partículas mixtas funcionan como reservorio de otros elementos, tales como los EPT contenidos originalmente en matriz original.

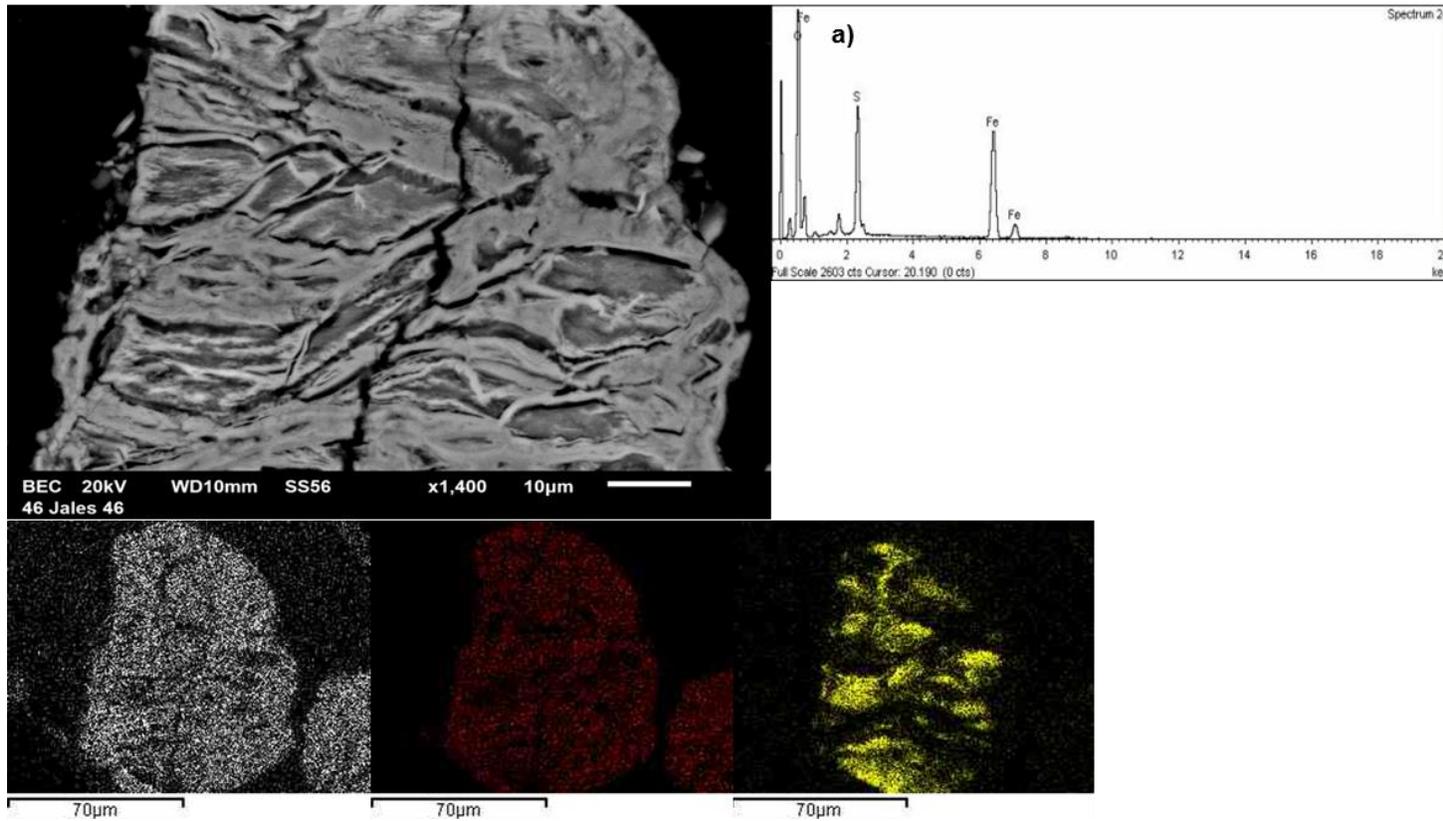


Figura 47. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de (O26.88%; S 58.85%; Fe 14.26%) con mapeo para i) Oxígeno, ii) Hierro y iii) Azufre

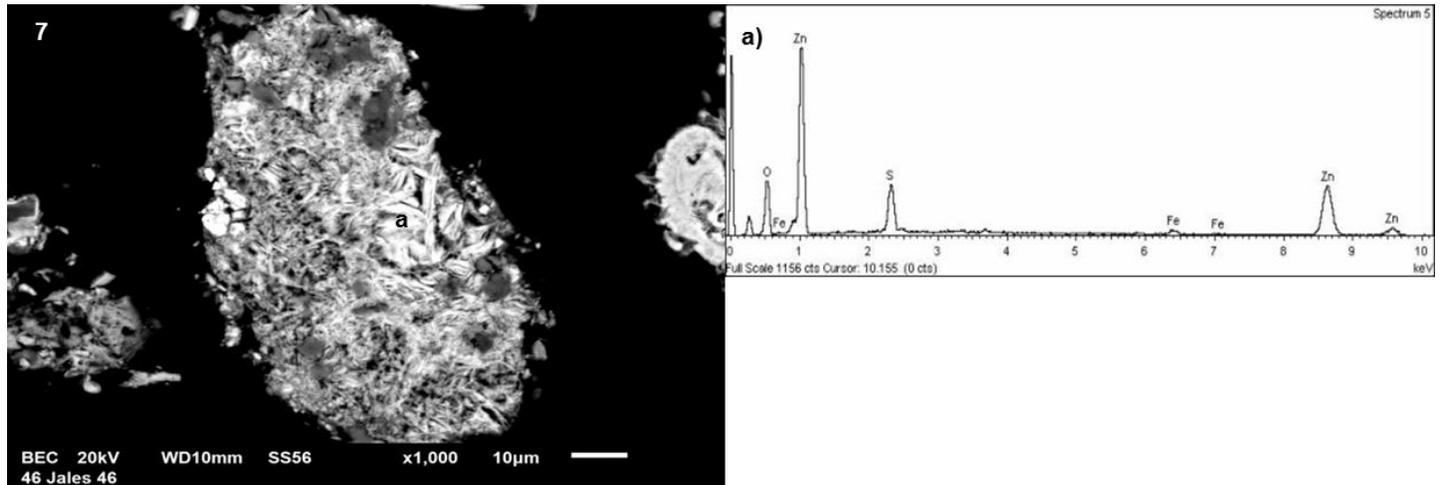


Figura 48. Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ. Partícula de sulfato carbonato de zinc (O 23%; S 9.1%; Fe 1.95%; Zn 65.91%)

La muestra SE-27B es la segunda muestra de sedimentos asociados al material contenido en la presa de jales, esta muestra es la que presenta el pH más bajo de

todas (3.11), la cuantificación de sulfuros de acuerdo a la prueba ABA y DRX indican una clara presencia de estos minerales, sin embargo, todos los sulfuros encontrados por medio del análisis de microscopia electrónica presentan evidencias de alteración tales como la formación de especies secundarias en los bordes, como puede apreciarse en la siguiente micrografía.

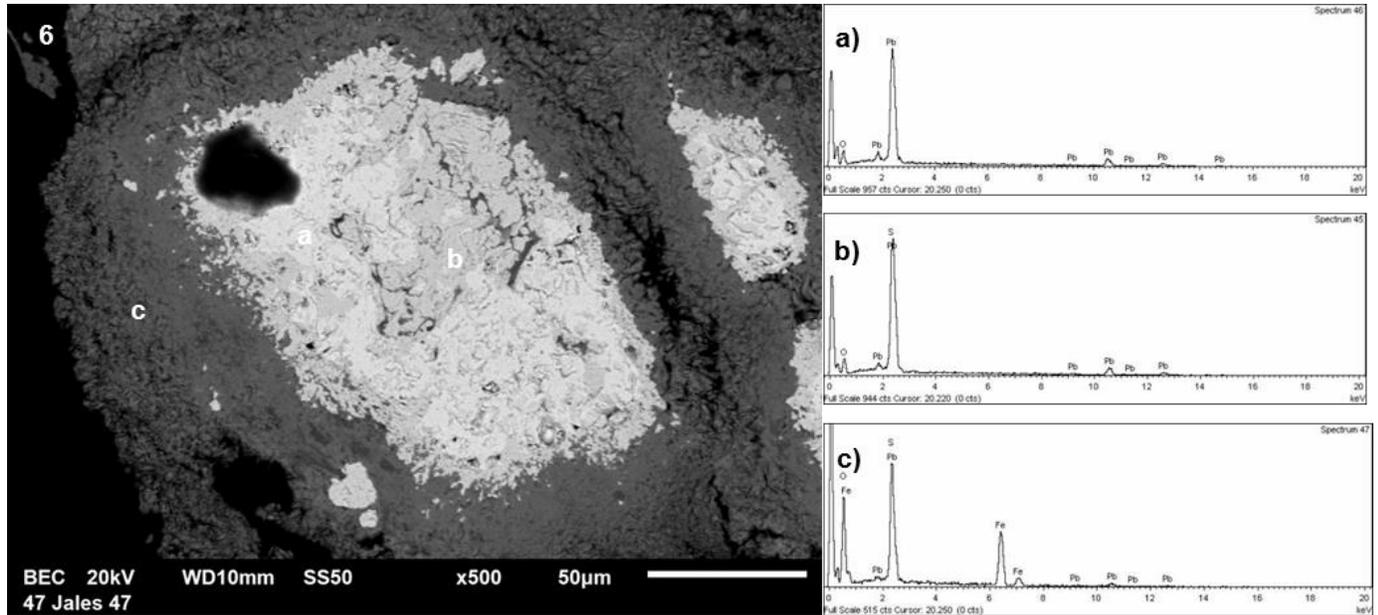


Figura 49. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) cerusita (O 25.25%; Pb 74.75%) b) anglesita (O 25.16%; S 9.71%; Pb 65.13%) y c) sulfato de plomo hierro (O 44%; S 12%; Fe 26.89%; Pb 17%)

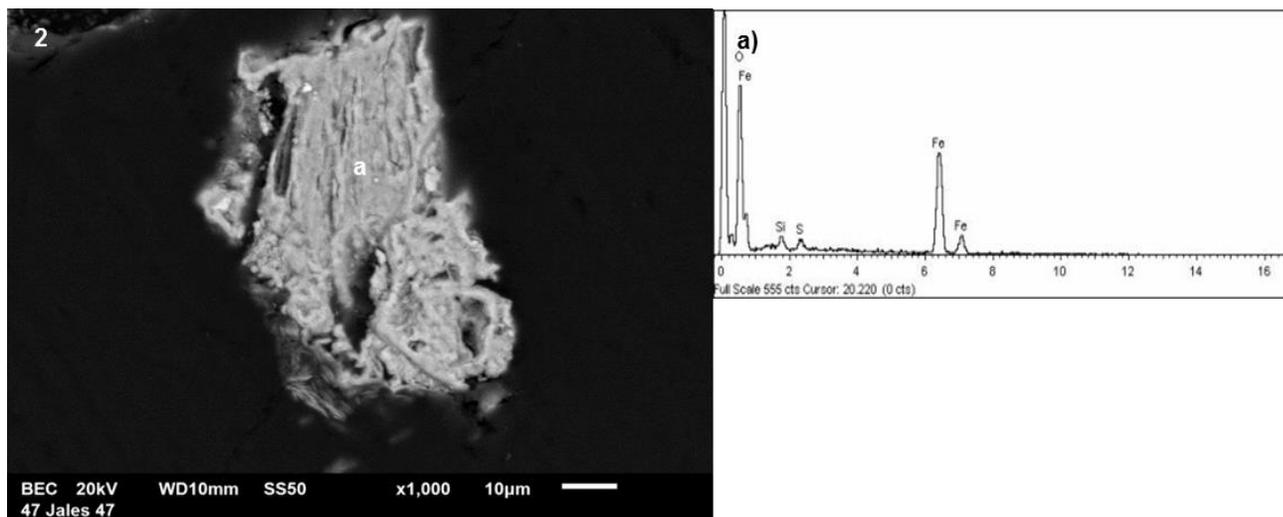


Figura 50. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula de jarosita (O 54.51%; Si 1.93%; S 11.53%; Fe 32.04%)

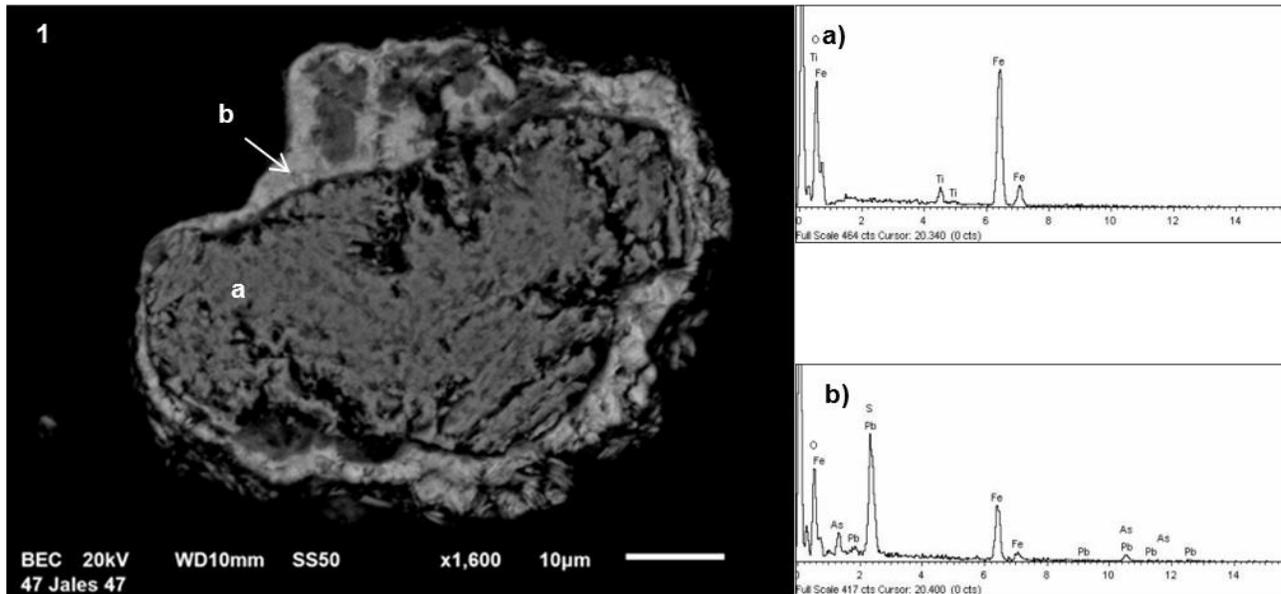


Figura 51. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) Ilmenita (O 36.09%; Ti 3.29%; Fe 60.62%) y b) beudantita (O 42.87%; S 7.26%; Fe 22.79%; As 6.47%; Pb 20.63%)

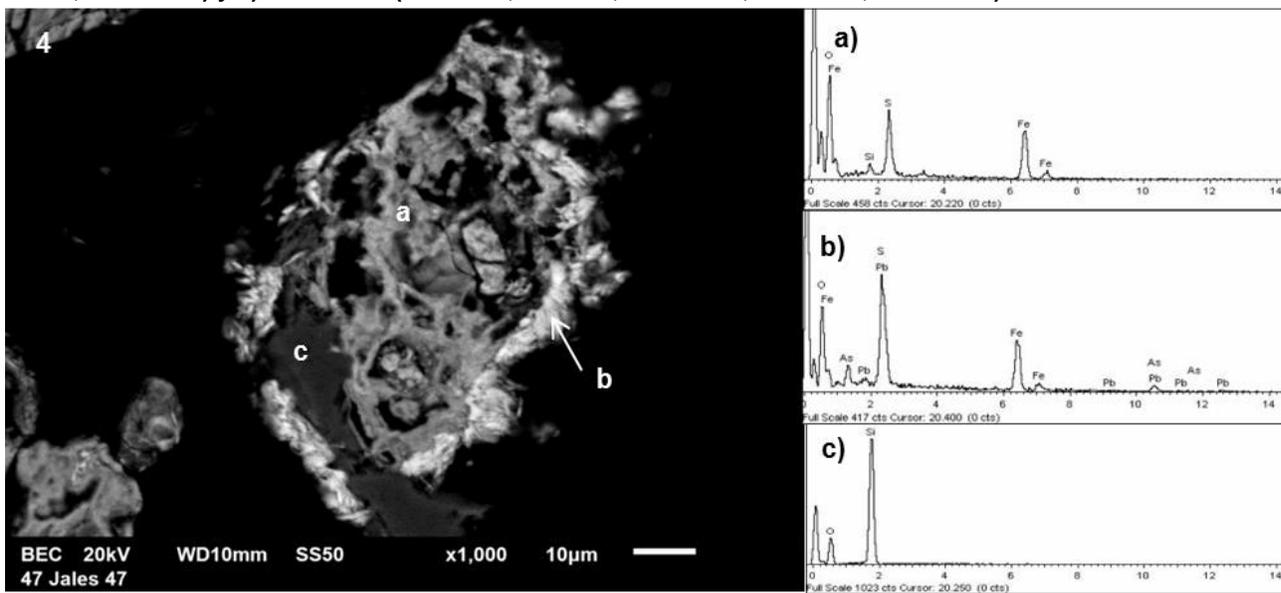


Figura 52. Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ. Partícula mixta de a) jarosita (O 54.51%; Si 1.93%; S 11.53%; Fe 32.04%) asociada a b) beudantita (O 42.87%; S 7.26%; Fe 22.79%; As 6.47%; Pb 20.63%) y c) cuarzo (O 49%; Si 50%)

La última muestra analizada por microscopía electrónica de barrido corresponde a los sedimentos APJ (SE29), la más lejana a la cortina de la presa. En ésta se observaron arsenopiritas sin señales de alteración química, como se observa en la Figura 53). Así como otras partículas como la marmatita, que es un sulfuro de zinc enriquecido en hierro presentan la formación de un borde secundario de hidróxido de hierro.

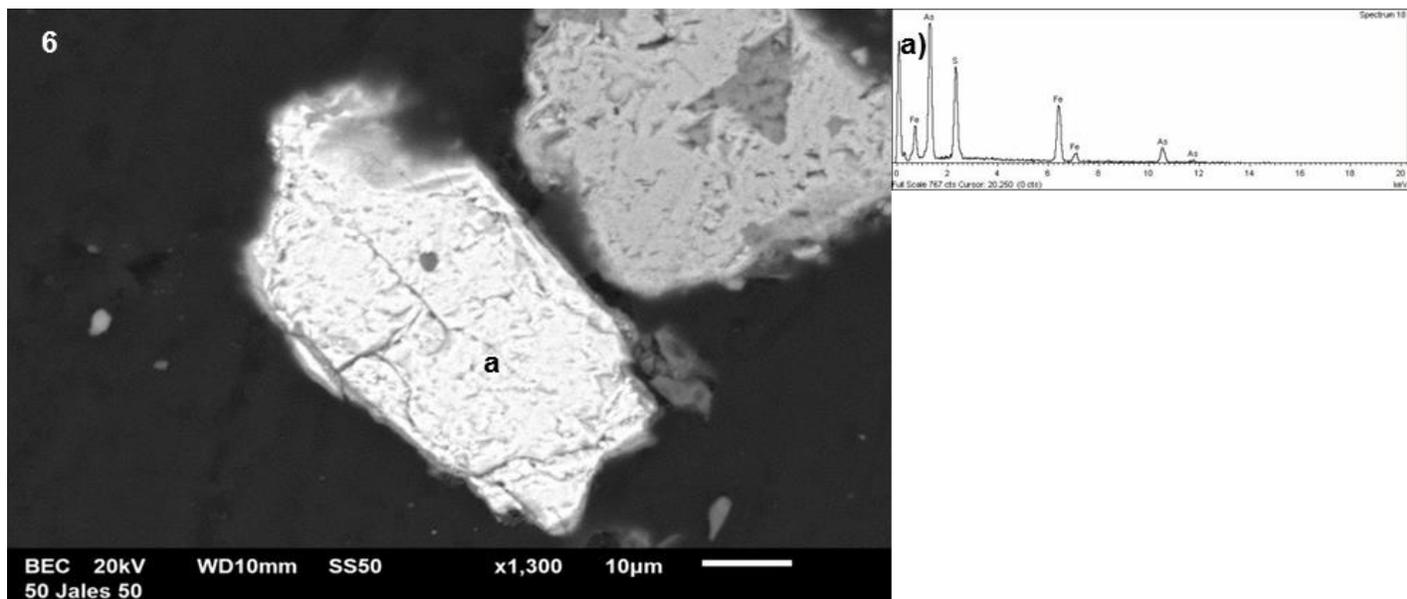


Figura 53. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de arsenopirita (S 20.90%; Fe 31.64%; As 47.46%)

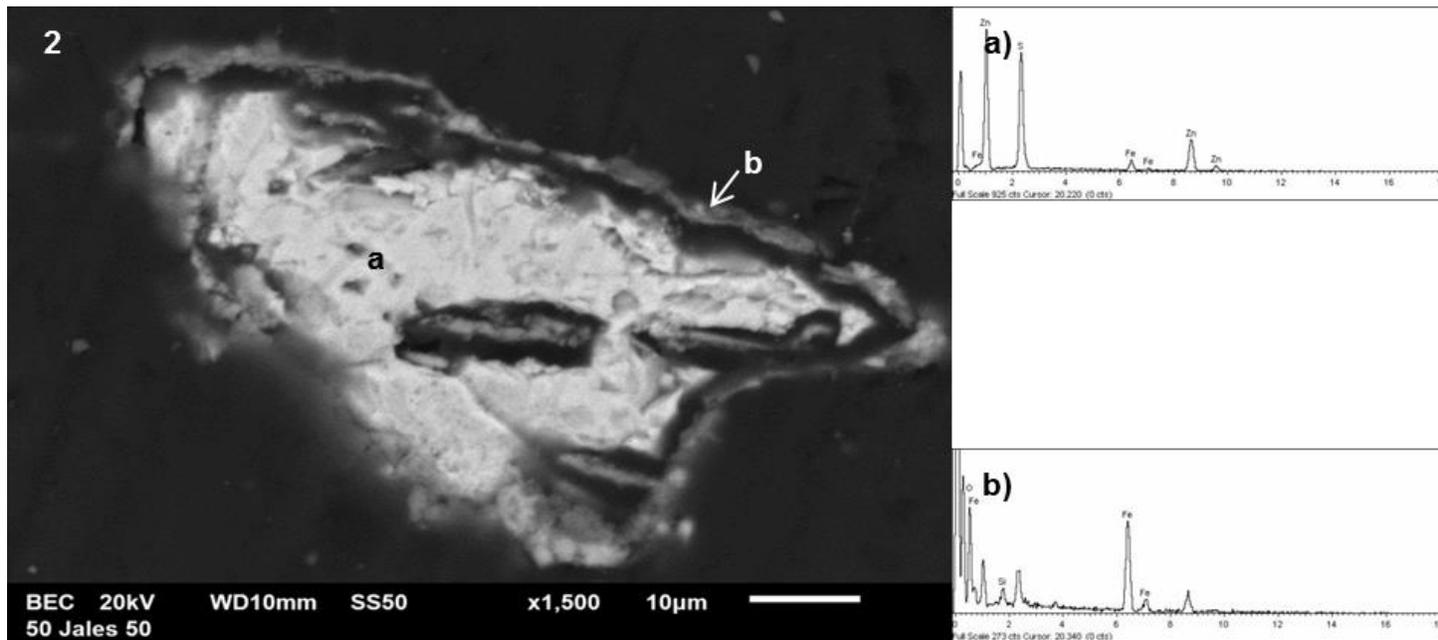


Figura 54. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de mixta de a) marmatita (S 34.26%; Fe 7.04%; Zn 58.69%) con alteraciones en el borde de b) hidróxido de hierro (O 42.8%; Si 3.04%; Fe 54.13%)

En algunos casos la formación de la nueva especie secundaria dificulta la identificación del mineral primario. Las micrografías para todas las muestras consideradas en este análisis se encuentran en el Anexo 19.

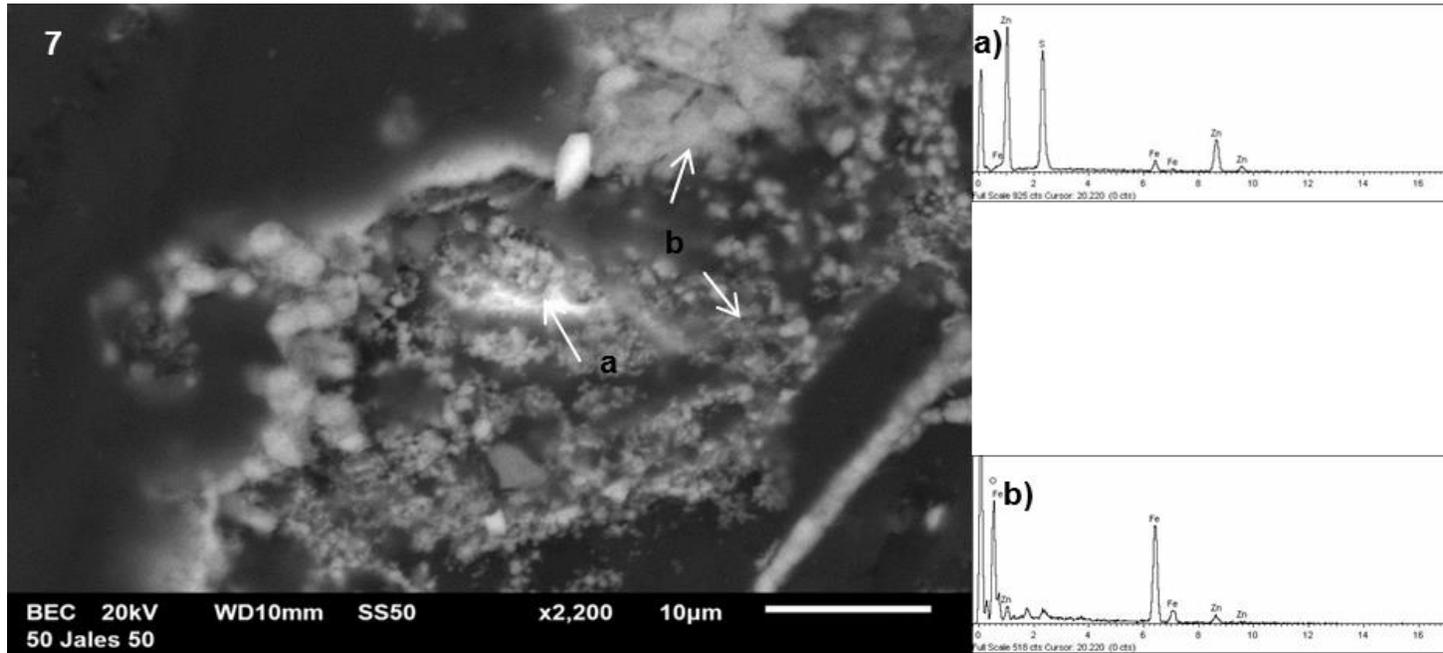


Figura 55. Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ. Partícula de marmatita (S 34.26%; Fe 7.04%; Zn 68.98%) rodeada por siderita con alto contenido en zinc (O 41.07%; Fe 53.23%; Zn 7.70%)

### 7. CONCLUSIONES

Se logró la identificación y caracterización química y mineralógica de los residuos encontrados en el sitio esto permitió la clasificación de los residuos en el sitio por tipo de muestra.

Se observaron cinco tipos distintos de muestras: jales nuevos (material fresco), jales antiguos (posteriores a 1994), residuo histórico (sin fecha de generación probable), sedimentos naturales (sedimentos SNAP), sedimentos asociados a la actividad de la presa de jales (sedimentos APJ).

*Para cada grupo de muestras se logró la identificación de los parámetros que controlan la geodisponibilidad de los elementos contaminantes asociados, encontrando diferencias fundamentales en el comportamiento de los distintos tipos de muestras colectadas:*

- a) En los sedimentos SNAP no se observan contenidos de EPT, con excepción de SE-16 cercana a la región mineralizada Tiro La Esperanza, el contenido de zinc se ve incrementado; este grupo de muestras no presenta potencial de impacto sobre el recurso hídrico.
- b) En los terreros, los parámetros que controlan minimizando la fracción geodisponible son el pH básico y el contenido de minerales neutralizantes (calcita). Con excepción de las muestras SE21 y SE22, que presentan contenidos importantes de zinc y plomo, este grupo de muestras no debe considerarse como una fuente importante de EPT hacia el medio ambiente.
- c) En el depósito denominado como residuo histórico se encontró que las condiciones cálcicas y que la presencia de oxi-hidróxidos y óxidos de hierro

controlan la geodisponibilidad de plomo y zinc encontrados en este depósito en altas concentraciones.

- d) En la presa de jales nueva actualmente no hay geodisponibilidad de EPT, en estas muestras al igual que en el análisis proporcionado por la empresa ALS-Indequim S.A de C.V (2010) se considera como un residuo no peligroso.
- e) En la presa de jales antigua se observó movilidad de cadmio, plomo y zinc a causa de los valores de pH bajos, se determinó un contenido alto de sulfuro, así como potencial de generación de acidez; la fracción geodisponible para el zinc es mayor al 40% del contenido total (2 200 mg/kg).
- f) Los sedimentos APJ ofrecen las condiciones geoquímicas más propicias para la liberación de cadmio, cobre, plomo y zinc, tales como pH bajos, generación de DA, ausencia de minerales neutralizantes y una elevada concentración de sulfuros. La fracción geodisponible del zinc es superior al 50% del contenido total (5 500 mg/kg).
- g) La zona de oxidación en la presa antigua de jales alcanza una profundidad de 35 cm, mientras que en los sedimentos APJ esta región es mayor a 100 cm de profundidad. Lo que indica que los sedimentos tienen una mayor permeabilidad que favorece el transporte de agua y oxígeno favoreciendo la oxidación de los sulfuros contenidos.
- h) El elemento potencialmente tóxico con mayor capacidad de impacto negativo en los recursos hídricos es el zinc, ya que se encuentra en cantidades elevadas, es muy soluble y las fases secundarias formadas no garantizan su estabilidad a largo plazo.

- i) Como resultado de la evaluación geoquímica y mineralógica llevada a cabo en esta investigación y con base en la geología del sitio, donde se observa un importante sistema de fallas el cual se estima que puede permitir el paso de las soluciones en superficie hacia el agua subterránea permitiendo el transporte de los elementos liberados, principalmente zinc. Por lo que es necesario que estos sedimentos APJ sean considerados residuos para que puedan ser devueltos a la presa de jales para su confinamiento final y minimizar así el potencial de liberación de elementos tóxicos a los recursos hídricos.

### 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda la elaboración de una ficha de evaluación geoquímica de campo que permita identificar las principales características de los residuos a coleccionar.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la presa de jales antigua, se propone utilizar el material de los terreros (SE01, SE15, SE18) para recubrir las paredes y superficie y evitar zonas de generación de acidez y formación de regiones consolidadas con alta capacidad de liberación de EPT.

Debido a que las fracciones que contienen los EPT, como los sulfuros, óxidos e hidróxidos de hierro y algunos sulfatos son muy poco solubles en agua, se recomienda la evaluación de la movilidad utilizando técnicas de extracción secuencial que permitan considerar la capacidad de movilización de estos elementos en soluciones con distintas características de fuerza iónica, pH, presencia de sustancias complejantes y potencial óxido reducción, tales como la técnica desarrollada por Dold (2003) para la extracción secuencial en residuos mineros cupríferos.

Se recomienda el uso de la técnica de extracción secuencial de cationes y aniones para la evaluación de jales de sulfuros.

Debido a que la técnica de extracción secuencial de arsénico está diseñada para una matriz tipo sedimento se recomienda usar a discreción evitando la suspensión del arsénico, el autor sugiere añadir cloruro de magnesio al final de cada extracción y realizar los lavados correspondientes.

Utilizar la técnica de DRX al finalizar cada fracción en las técnicas de extracción secuencial para facilitar la identificación de las especies minerales mayoritarias remanentes.

Se recomienda a la empresa que la región mineralizada donde se encuentran los terreros analizados bajo los nombres SE21-Te (79454 mg/kg de Pb y 14726 mg/kg Zn)

y SE22-Te (80395 mg/kg de Pb y 36202 mg/kg de Zn) sea reconsiderada para el beneficio de plomo y zinc, ya que los contenidos de estos elementos son equiparables a los contenidos de entrada al proceso de flotación de acuerdo con Campos (2011).

Con el fin de estimar el transporte vertical hacia el sistema hídrico subterráneo se recomienda evaluar el sistema de fallas en la región, así como la porosidad y conductividad hidráulica en área de influencia de los residuos y sedimentos APJ.

Los residuos generados por la actividad minera y depositados en el cauce del arroyo deberán ser devueltos a la presa de jales.

### 9. REFERENCIAS

- Adam K., 2003, Solid Wastes Management in Sulfide mines: from Waste characterization to safe closure of disposal sites: *Minerals & Energy*, 4, 25-35.
- Adriano, Domy C, 1986, Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals: Springer Science & Business Media, 867-880.
- Alloway B. J., 2012, Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability *in* Springer Science & Business Media, UK, Environmental Pollution, 22, 470.
- Aragón E. G., 2016, Caracterización mineralógica en residuos mineros de los distritos de Cerro de San Pedro y Santa María de la Saz, San Luis Potosí. Trabajo recepcional para obtener título de ingeniero geólogo.
- Blowes, D.W., y Jambor, J.L., 1990, The pore-water geochemistry and the mineralogy of the vadose zone of sulfide tailings: *Applied Geochemistry*, 5, 327-346.
- Blowes, D.W., Reardon, E.J., Jambor, J.L. and Cherry, J.A., 1991, The formation and potential importance of cemented layers in inactive sulfide mine tailings. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 965-978.
- Blowes, D.W. y Ptacek, C.J., 1994, Acid-neutralization mechanisms in inactive mine tailings, *in*: Jambor, J.L. and Blowes, D.W. (eds.), Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Waste: Canada, Mineralogical Association of Canada, 22, 271-291.
- Blowes D. W., 1997, The environmental effects of mine wastes: Mapping and monitoring the mine environment, 887–892.
- Blowes D.W., Ptacek C. J., Jambor J. L., Weisener C. G., 2003, The Geochemistry of Acid Mine Drainage *in* Sherwood Lollar B., *Biogeochemistry: Treatise on Geochemistry*: Canada, Elsevier Science, 149-204.
- Campos Villezcas, 2011. Extracción de plata por cianuración de colas de flotación de la Unidad Minera Santa Eulalia: Chihuahua, México, Instituto Tecnológico de Parral, tesis de licenciatura.
- Delgado Ramos, Gian Carlo, 2010, América Latina y El Caribe como reservas estratégicas de minerales *en* CEIICH-UNAM, *Ecología Política de la Minería en América Latina*. Colección El Mundo Actual: México, 17-57.
- Diehl S.F., Hageman P.L., Smith K.S., 2006, What's weathering? Mineralogy and fiell leach studies in mine waste, Leadville and Montezuma mining districts, Colorado *in* Gateway to the

- future: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME) Annual Meeting and 7 th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), St Louis, Mo: USA, 508-527.
- Dold, B., 2000, Basic concepts in environmental geochemistry of sulfide mine-waste. *In* Memorias de XIX Curso International de Posgrado en Metalogenia: Quito, Ecuador, International UNESCO & SEG Short course in Metalogenesis: 113 – 151.
  - Dold, B., 2003, Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulphide mine waste: *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 55–68.
  - Dold B., 2005, Basic Concepts of environmental geochemistry of sulfide mine-waste, in XXIV Curso Latinoamericano de Metalogenia, Mineralogía, geoquímica y geomicrobiología para el manejo ambiental de desechos mineros: Lima, Perú, UNESCO-SEG, 1-36.
  - Dubrovsky, N.M., 1986, Geochemical evolution of inactive pyritic tailings in the Elliot Lake Uranium District: University of Waterloo, Waterloo, Ph.D. Thesis.
  - EPA, 1995, Human health and environmental damages from mining and mineral processing wastes. Technical background document supporting the supplemental proposed rule applying phase IV land disposal restrictions to newly identified mineral processing wastes. Office of Solid Waste U.S. Environmental Protection Agency.
  - Espinosa, E., 2012, Procesos Geoquímicos Ambientales del Arsénico, Cadmio, Plomo y Zinc en sedimentos del Río Tolimán, Hidalgo, México, Posgrado UNAM, Tesis de grado académico Doctor en Ciencias (Geoquímica Ambiental)
  - Essington, M.E., 2005, Oxidation-reduction reactions in soils, Acidity in soil materials, *in* the Taylor & Francis e-Library, Soil and water chemistry: an integrative approach: Boca Raton, USA, CRC Press, 445-498.
  - Ferreira Da Silva, Patinha C., Reis P., Cardoso E., Matos J. X., Barrosinho J., Santos Oliveira J. M., 2006, Interaction of acid mine drainage with waters and sediments at the Corona stream, Lousal mine (Iberian Pyrite Belt, Southern Portugal): *Environmental Geology*, 50, 1001–1013.
  - Hudson-Edwards Karen A., Jamieson Heather E. y Lottermoser Bernd G., 2011, Mine Wastes: past, present, future *Elements*, 7, 375–380.
  - Jambor, J.L. y Blowes, D.W., 1998, Theory and applications of mineralogy in environmental studies of sulfide-bearing mine waste, *en* Cabri, L. J. and Vaughan, D.J. (eds.), Short Course Handbook on Ore and Environmental Mineralogy Mineralogical Association of Canada: Canada, 27, 367-401.
  - Jamieson Heather E., 2011, Geochemistry and mineralogy of solid mine waste: essential knowledge for predicting environmental impact: *Elements*, 7, 381–386.
  - Johnson, R.H., 1993, The physical and chemical hydrogeology of the Nickel Rim mine tailings: Sudbury, Ontario, University of Waterloo, Waterloo, M.Sc. Thesis.

- Keon N. E., Swartz C. H., Brabander D. J., Harvey C., y Hemond H. F., 2001, Validation of an Arsenic Sequential Extraction Method for Evaluating Mobility in Sediments: *Environmental Science Technology*, 35, 2778-2784.
- Lyon James S., Hilliard Thomas J., 1993, *Burden of Gilt, The legacy of environmental damage from abandoned mines and what America should do about it*, Mineral Policy Center, Washington, D.C., 69.
- Nordstrom D. Kirk, 2011, Mine waters: acidic to circumneutral: *Elements*, 7, 393–398.
- Pirlet H., Wehrmann L., Brunner B., Frank N., Dewanckele J., Van Rooij D., Foubert A., Swennen R., Naudts L., Boone M., Cnudde V., Henriët J., 2010 , Diagenetic formation of gypsum and dolomite in a cold-water coral mound in the Porcupine Seabight, off Ireland, *Sedimentology*, 57, 786–805.
- Plumlee G. S. y Morman S. A, 2011, Mine Wastes and Human Health: *Elements*, 7, 399–404.
- Portillo N. R. 1999, “Geología de la Mina San Antonio” Tesis. UNISON.
- Porpino Lemos V., Lima da Costa M., Lima Lemos R., 2007, Vivianite and siderite in lateritic iron crust: an example of bioreduction, *Quim. Nova*, 30, 36-40.
- Ritchie, A.I.M., 1994, Sulfide oxidation mechanisms: controls and rates of oxygen transport, *in* Jambor, J.L., and Blowes, D.W., *Short course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Wastes: Canada*, Mineralogical Association of Canada, 22, 201-246.
- Salomons W., 1995, Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention: *Journal of Geochemistry Exploration*, 52, 5-23.
- Smith K. S., 2007, Strategies to predict metal mobility in surficial mining environments: *The Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 17, 25-45.
- Sparks D. L., Scheidegger A. M., y Lamble G. M., 2001, Precipitates suppress mobility of metals in soil and water *in* National Research Initiative Competitive Grants Program: University of Delaware, United States Department of Agriculture Cooperative State Research, Education, and Extension Service, 1-2.
- Strömberg, B. y Banwart, S., 1994, Kinetic modelling of geochemical processes at Aitik mining waste rock site in northern Sweden: *Applied Geochemistry*, 9, 583-595.
- Swann M. M., 1982, *Tierra Adentro: Settlement and Society in colonial Durango*, Boulder, Westview Press, Dellplain Latin America Studies, 444.
- Vetás, 2013. Revista de comunicación interna de Minera México. Grupo México. Mayo- Junio 2013, 4-18.
- Walder, I. y Schuster, P., 1998, Acid Rock Drainage, *in* SARB Consulting, Inc. Environmental geochemistry of ore deposits and mining activities: USA, Short course Notes, Albuquerque, New Mexico.

- Warren, L. y Haack E. A, 2001, Biogeochemical controls on metal behaviour in freshwater environments, *Earth-Science*, 54, 261–320.
- Whitney y Evans, 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, (95), 185–187.
- Wood, J.M., 1974, Biological cycles for toxic elements in the environment: *Science*, 183 (4129):1049-52.

### Normas y métodos

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2007, Norma Oficial Mexicana que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (NOM-147-SEMARNAT/SSA1): México, D.F., Diario Oficial de la Federación, 2 de marzo de 2007, 86 p.

SEMARNAT, 2011, Norma Oficial Mexicana que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros (NOM-157-SEMARNAT-2009): México, D.F., Diario Oficial de la Federación, 30 de agosto de 2011, 56 p.

United States Environmental Protection Agency (US-EPA), 2007, Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils, in *Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods (SW-846)*: Washington, D.C., Environmental Protection Agency Publication, 30 p.

### Información en línea

Ayuntamiento de Aquiles Serdán 2013-2016.

[www.chihuahua.gob.mx/atach2/municipios/uploads/Planes%202013-2016/AQUILES%20SERDAN.pdf](http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/municipios/uploads/Planes%202013-2016/AQUILES%20SERDAN.pdf)

Behre Dolbear, 2013. BD Behre Doldbear Minerals Industry Advisors

<http://www.dolbear.com/announcements/2013-ranking-of-countries-for-mining-investment-or-where-not-to-invest>

CAMIMEX, 2014. Cámara minera de México. Informe anual 2014 de la Cámara Minera de México (en línea), consultado abril 2015. < [www.camimex.org.mx](http://www.camimex.org.mx)>

CCME, 2015. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs), consultado junio 2015.

<[www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/index.html](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/index.html)>

DESEC, 2016. Desarrollo económico del Estado de Chihuahua. <[www.desec.org.mx/mineria.php](http://www.desec.org.mx/mineria.php)>

Earthworks, 2014, Polluting the future: How mining companies are contaminating our nation's waters in perpetuity (en línea) Earthworks, consultado en marzo 2014. < [www.earthworksaction.org](http://www.earthworksaction.org)>

USEPA, 2015. United States Environmental Protection Agency, Priority Pollutants, consultado junio 2015.

<[www.water.epa.gov/scitech/methods/cwa/pollutants.cfm?\\_ga=1.111785092.1691320467.1425315490](http://www.water.epa.gov/scitech/methods/cwa/pollutants.cfm?_ga=1.111785092.1691320467.1425315490)>

IMSS, 2014. Instituto Mexicano del Seguro Social. Asalariados, cotizantes y empleo. Asalariados por rama de actividad económica, consultado mayo 2015. < [www.imss.gob.mx](http://www.imss.gob.mx)>

INEGI, 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Sistema de Cuentas Nacionales de México: cuentas económicas y ecológicas de México 2012: Preliminar: año base 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, consultado en marzo 2014. <[www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)>

Secretaría de Economía (México). Anuario estadístico de minería de México 2011-2012, consultado marzo 2014. <[www.enonomia.gob.mx](http://www.enonomia.gob.mx)>

SEMARNAT, 2009. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. Residuos petroleros y mineros, consultado en junio, 2015 <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/705/petroleros.pdf>>

SGM, 2016. Servicio Geológico Mexicano

<[http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=59&Itemid=67](http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=67)>

STPS, 2012. Negociaciones laborales, consultado marzo 2014. < <http://www.stps.gob.mx>>

UNISON, 2016. Universidad de Sonora. Biblioteca Digital

<http://www.bibliotecadigital.uson.mx/pagindice.aspx?tesis=5421>

Otra información en línea

<http://old.catapa.be/es/miner%C3%ADa/econ%C3%B3mico>

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/estados/libros/chihua/html/sec\\_18.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/estados/libros/chihua/html/sec_18.html)

<http://www.municipiochihuahua.gob.mx/ciudad/historia/historia.aspx>

<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/mineria-en-mexico/347-chihuahua.html>

<http://owl.cengage.com/departments/NYInstitTechBrownHolme2e/appendix/ksp.htm>



### Anexo 2. Determinación de pH

De acuerdo al método 9045D para suelos y residuos de la US EPA

#### Aparatos

1. Potenciómetro digital
2. Agitador
3. Balanza analítica

#### Reactivos

1. Agua des ionizada
2. Soluciones estándar para calibración de potenciómetro

#### Procedimiento:

Pesar 20 g de muestra en un recipiente cerrado y agitar durante 5 minutos

Reposar durante una hora

Realizar la determinación del pH

### **Anexo 3. Técnica de digestión ácida para análisis total**

#### Método de digestión total

1. Pesar 0.1 g de muestra seca
2. Añadir 1 mL de  $\text{HNO}_3$  y 1 mL de HF
3. Calentar a  $100^\circ\text{C}$  por 8 h
4. Abrir lentamente los viales para liberar los vapores
5. Cerrar y dejar calentando hasta que la muestra se disuelva
6. Evaporar
7. Recuperar en 1 mL de HCl
8. Calentar a  $100^\circ\text{C}$  por 8 h
9. Evaporar
10. Recuperar en 1 mL de  $\text{HNO}_3$  y 1 mL de agua desionizada
11. Cerrar el vial y calentar con reflujo durante 6 h, dejar enfriar
12. Aforar en tubos de 50 mL con agua desionizada, recuperar precipitados
13. Tomar nota del peso del volumen de aforo
14. Almacenar en un lugar fresco.

### **Anexo 4. Prueba de extracción de constituyentes tóxicos**

Esta prueba se encuentra en el anexo normativo 1. Métodos de Prueba de la NOM-141-SEMARNAT-2004.

La técnica propuesta es la referida a la “Prueba para realizar la extracción de metales y metaloides en jales, con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub>”, procedimiento que utiliza como extractante agua destilada en equilibrio con CO<sub>2</sub> en condiciones estándar (ácido carbónico, pH=5.5) preparada al momento de su uso. Este es un procedimiento para lixiviar los jales con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub> atmosférico (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) a pH=5.5 y obtener una solución acuosa para analizar los compuestos lixiviados.

Procedimiento de extracción:

Preparar la solución extractante (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> a pH=5.5) mediante burbujeo con aire en hasta alcanzar un pH de 5.5. En caso de que burbujeando aire no se logre alcanzar fácilmente el pH de 5.5, se pueden adicionar pequeños volúmenes de una solución de HCl 0.01 N. Si el pH del agua es <5.5 no se requiere ajustarlo.

Añadir solución extractante a la muestra de jales húmeda, hasta que se alcance una relación equivalente en ml de solución a 20 veces el peso en gramos del contenido de sólidos.

Agitar la mezcla continuamente por 18 h a temperatura ambiente a una velocidad de agitación de 29 rpm.

Terminada la agitación, abrir el recipiente y dejar reposar la muestra durante 5 minutos.

Separar la fase acuosa de los sólidos más pesados por decantación, filtrar si es necesario utilizando un filtro

Medir el pH del extracto colectado y registrar el valor. Preparar las soluciones para el análisis de cuantificación de los MM, acidificandose con ácido nítrico, hasta un pH menor a 2.

### **Anexo 5. Prueba de balance ácido-base**

Esta prueba se mencionada en el Anexo normativo 5, apartado N. II de la NOM-141-SEMARNAT-2003 como Prueba de Balance Ácido-Base para jales que contienen sulfuros de metales

Persigue determinar el balance entre los minerales que son potenciales productores de acidez (sulfuros) y aquellos que son potenciales consumidores de acidez (principalmente, carbonatos de calcio) mediante la determinación de:

El potencial de neutralización (PN)

El potencial de acidez (PA)

Equipo: Agitador orbital o agitador magnético

Balanza analítica con una sensibilidad de  $\pm 0.1$  mg

Reactivos

Reactivos grado analítico: Agua destilada

Determinación del Potencial de Neutralización:

En primer término se realiza la medición cualitativa de carbonatos:

Se colocan de 1 a 2 g de muestra finamente molida sobre un papel aluminio o un vidrio de reloj.

Se agregan unas gotas de agua para humedecer la muestra y liberar el aire que contiene, y se agregan unas gotas de HCl al 25%.

Se observa el grado de efervescencia que produce la transformación de carbonatos en dióxido de carbono (gas), y se califica como “nulo”, “bajo”, “moderado” o “fuerte”.

Medición del poder de neutralización.

- a) Se pesan 2 g de muestra homogenizada y secada a temperatura ambiente. Se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se agregan 90 mL de agua destilada (mezcla 1).

- b) Al inicio de la prueba “Tiempo 0” se agrega el volumen de HCl 1 N indicado en la Tabla 1, de acuerdo al grado de reacción (mezcla 2). Se registra el volumen añadido (Va).
- c) Se agita la mezcla 2, a temperatura ambiente durante 2 h. Se agrega el volumen de HCl 1 N indicado en la Tabla 1 para el “Tiempo 2 horas” (mezcla 3). Se registra el volumen añadido (Vb)
- d) Se agita la mezcla 3 durante 22 h y al término de este período se mide el pH, si es mayor a 2.5 se añade HCl 1 N para disminuir la acidez hasta un valor de 2 a 2.5 y se continua la agitación durante 2 h más. Se registra el volumen añadido (Vc)
- e) Si el pH medido a las 24 h de agitación resulta ser menor de 2.0, es necesario repetir la medición del poder de neutralización, pues al inicio de la prueba se adicionó demasiado HCl.
- f) Se adiciona agua destilada al matraz hasta un volumen final aproximado de 125 mL y se titula con una solución de NaOH de 0.1 N hasta un pH de 8.3.

Tabla 1. Cálculo del volumen de HCl para determinar el PN

Grado de reacción (neutralización carbonatos)	HCl solución 1 N (ml)	
	“Tiempo 0”	“Tiempo 2 horas”
Nulo	1.0	1.0
Bajo	2.0	1.0
Moderado	2.0	2.0
Fuerte	3.0	2.0

- g) Se calcula el total de ml gastados de HCl 0.1N

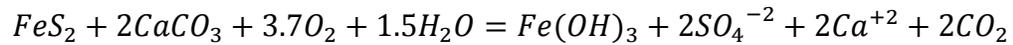
$$V_f = V_a + V_b + V_c$$

- h) Se calcula el Potencial de Neutralización (PN) expresado en kg CaCO<sub>3</sub>/ton de jales, utilizando la siguiente fórmula:

$$PN = \frac{(V_f \text{ en mL de HCl}) - (0.1 * \text{vol en mL de NaOH})}{\text{peso de la muestra (g)}} * 50$$

Determinación del Potencial de Acidez:

Se calcula el Potencial de Acidez como la diferencia entre el azufre total ( $S_{total}$ ) y el azufre como sulfatos ( $SO_4^{-2}$ ) y se multiplica por 31.25; valor que se obtiene de la siguiente reacción de neutralización de los sulfuros (Skoulsen et al., 2002)



De acuerdo a la estequiometría de esta reacción, 1 ton de jales que contiene 10 kg de S (1%) requiere 31.25 kg de  $CaCO_3$  para no producir acidez.

Por lo anterior, el Potencial de Acidez (PA) expresado como kg requeridos de  $CaCO_3$ /ton de jales, se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PA = \%S^{-2} * 31.25$$
$$\%S^{-2} = (\%S_{total} - \%S_{sulfatos})$$

Interpretación de los resultados de la prueba de Balance Ácido-Base:

La relación entre los valores de Potencial de Neutralización (PN) y el Potencial de Acidez (PA) expresados como kg de carbonato de calcio por tonelada de jales, permite evaluar si los jales contienen o no suficientes carbonatos de calcio para neutralizar a los sulfuros (potenciales generadores de ácido):

- a. Cuando  $PN/PA < 1.2$ ; los jales son potenciales generadores de Drenaje Ácido.
- b. Cuando  $PN/PA > 1.2$ ; los jales no son potenciales generadores de Drenaje Ácido.

### **Anexo 6. Determinación de azufre de sulfatos**

Adaptación del método AOAC, Official Method 980.02 (1997)

#### Alcance y aplicación

Este método es aplicable a fertilizantes inorgánicos que contengan el azufre en forma de sulfato. No se recomienda su aplicación en muestras que contengan el ión amonio.

#### Principio del método

El método se basa en la precipitación del azufre que se encuentra en forma de sulfato ( $\text{SO}_4$ ) en el fertilizante, mediante la adición de cloruro de bario, para formar sulfato de bario. El precipitado que se forma se seca y se pesa. Se calcula el contenido de S- $\text{SO}_4$  a partir de ese peso.

#### Reactivos:

Ácido Clorhídrico concentrado

Solución de Cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ) al 10% p/v: Pesar 25 g de  $\text{BaCl}_2$ . Transferirlo a un matraz aforado de 250 mL. Diluir hasta la marca con agua destilada y mezclar.

#### Equipos:

Balanza analítica.

Plancha eléctrica

Baño de vapor

Equipo de filtración mediante kitazato

#### Materiales:

Matraces de 250 mL y 500 mL

Vaso de precipitado de 400 mL

Crisoles Gooch

Papel de filtro Whatman

Filtro de fibra de vidrio

Probeta graduada de 25 y 250 mL

Varilla de vidrio

Procedimiento de extracción:

1. En vaso de precipitados de 400 mL, pesar 1 g de muestra.

2. Añadir 200 mL de agua, 15 mL de HCl concentrado y calentar hasta ebullición.

Hervir durante 10 minutos en plancha eléctrica bajo campana extractora de gases.

Nota: En caso de que haya quedado residuo en el extracto, filtrar con papel Whatman, lavar varias veces el residuo con agua destilada, colectando el agua filtrada en el vaso de precipitados original, recuperar el filtrado en el mismo vaso y calentar hasta cerca del punto de ebullición.

3. Añadir lentamente, con agitación constante, 15 mL de solución de cloruro de bario al 10 % p/v.

4. Digerir a baja temperatura en plancha eléctrica, de manera que la solución no hierva o colocar en baño de vapor durante una hora.

3. Dejar en reposo a temperatura ambiente durante la noche.

Para la preparación del crisol Gooch: Colocar un disco de fibra de vidrio en el fondo de un crisol Gooch y calentarlo por 1 h a 250°C. Dejar enfriar por 20 minutos en un desecador y pesar. Registrar este peso como P<sub>1</sub>.

4. Filtrar a través de un crisol Gooch que contenga papel de fibra de vidrio a peso constante (P<sub>1</sub>). Para el proceso de filtración debe colocarse el crisol Gooch (con su porta crisol de goma) sobre un kitazato, lavar con 10 porciones de agua de 10 mL cada una.

3. Secar el crisol y su contenido durante una hora a 250°C. Dejar enfriar por 20 minutos en un desecador y pesar. Registrar este peso como P<sub>2</sub>.

### Cálculos

$$g \text{ de BaSO}_4 = P_2 - P_1$$

Dónde:

g de BaSO<sub>4</sub> = peso del precipitado de sulfato de bario (en gramos)

P<sub>1</sub> = peso del crisol Gooch que contiene papel de fibra de vidrio

P<sub>2</sub> = peso del crisol Gooch que contiene papel de fibra de vidrio y el precipitado de sulfato de bario,

% S – SO<sub>4</sub> = donde:

% S – SO<sub>4</sub> = porcentaje de azufre en forma de sulfato en el fertilizante

g de BaSO<sub>4</sub> = peso del precipitado de sulfato de bario (en gramos)

g de muestra = peso de la muestra en gramos 0,1374 = contenido de azufre en un gramo de BaSO<sub>4</sub>

### Observaciones al Procedimiento

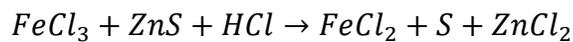
De acuerdo a la literatura (NFDC-TVA, 1979), al aplicar este método con fines de determinar el contenido de azufre en forma de sulfato en muestras que contienen iones amonio, se evidencia la existencia de una interferencia negativa, que hace que el resultado obtenido sea menor que el esperado. Carrillo de Cori et al. (2010) comprobaron el efecto de esta interferencia utilizando reactivos grado analítico y comparando los resultados con los de un método turbidimétrico.

**Anexo 7. Determinación de azufre de sulfuro**

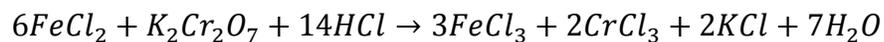
Determinación simultánea de azufre sulfuro (método indirecto)

Fundamento.

El azufre de sulfuro se determina en forma indirecta involucrando dos reacciones de óxido-reducción; en la primera el azufre de sulfuro actúa sobre el hierro férrico reduciendo una cantidad de hierro férrico a ferroso equivalente al azufre sulfuro presente en la muestra.



En la segunda reacción se determina el fierro-ferroso con una solución valorada de dicromato de potasio. De esta manera el azufre sulfuro es indirectamente valorado, pues el fierro-ferroso es equivalente al azufre sulfuro presente en la muestra.



Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra en un vaso de precipitados de 250 mL
2. Agregar 50 mL de HCl (1:1), tapar con vidrio de reloj, calentar y dejar hervir de 6-8 min
3. Enfriar, lavar las paredes del vaso y del vidrio de reloj. Llevar a 150 mL
4. Agregar 15 mL de solución sulfofósforica y de 2 a 3 gotas de difenilamina 1% como indicador
5. Titular con la solución valorada de dicromato de potasio, hasta virar de color amarillo a azul intenso. El punto final puede apreciarse como un cambio de color en la espuma formada al agitarse.

Cálculos

$$\% \frac{S}{S} = \frac{(NK_2Cr_2O_7)(meq S)(mL K_2Cr_2O_7)}{peso muestra}$$

$$Factor = \frac{(NK_2Cr_2O_7)(meq S)}{peso muestra} * 100$$

$$meq S/S = 0.32$$

$$Factor = \frac{(NK_2Cr_2O_7)(meq Fe)(mL K_2Cr_2O_7)}{peso muestra} * 100$$

$$Factor = \frac{(NK_2Cr_2O_7)(meq Fe)}{peso muestra} * 100$$

$$meq Fe^{++} = 0.05585$$

### Anexo 8. Técnica de extracción secuencial para aniones y cationes

La técnica de extracciones secuenciales para aniones y cationes se realizó de acuerdo una modificación del método B mencionado en el artículo “*Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste*” por Dold (2003). La última fase correspondiente a la fracción residual (silicatos) es suprimida, en su lugar se emplea la técnica de digestión total para liberar ambas fases: sulfuros primarios y silicatos.

Secuencia B	Minerales preferencialmente disueltos	Referencias marcadas en el texto de Dold (2003)
1 Fracción soluble en agua. 1 g muestra en 50 mL de agua desionizada, agitar durante 24 h a TA	Sulfatos secundarios: bonattita, chalcantita, pickeringita, magnesioaubertita, yeso y sales metálicas	Ribet et al., 1995; Fanfani et al., 1997
2 Fracción intercambiable. acetato de amonio 1 M a pH 4.5 agitar durante 2 h a TA	Iones adsorbidos e intercambiables; calcita y vermiculita	Gatehouse et al., 1997; Sondag, 1981; Cardoso Fonseca y Martin, 1986
3 Oxi-hidróxidos de Fe (III): oxalato de amonio 0.2 M pH 3 agitar durante una hora en oscuridad a TA	Schwertmannita, ferrihidrita de dos líneas, hidróxidos de Mn, disuelve parcialmente jarosita secundaria y goethita.	Dold, 1999, 2003; Schwertmann, 1964; Stone, 1987
4 Óxidos de Fe (III): oxalato de amonio 0.2 M pH 3.0 calentar en baño maría a 80°C durante 2 h	Remueve todos los minerales férricos secundarios: ferrhidrita de seis líneas, goethita, jarosita primaria y secundaria, natrojarosita y hematita primaria.	-----
5 Materia orgánica y sulfuros de cobre secundarios: peróxido de hidrogeno 35% calentar en baño maría durante 1 h.	Materia orgánica y sulfuros supergenicos de cobre: covelina, calcosina-digenita	Sondag, 1981; Dold y Fontboté, 2001, 2002
6 Sulfuros primarios y Fracción residual: digestión con HNO <sub>3</sub> , HF, HCl	Sulfuros primarios: pirita, calcopirita, bornita, esfalerita, galena, molibdenita, tennantita-tetraedrita, cinabrio, orpimente, estibina	Chao y Sanzolone, 1977; Hall et al., 1996. Tessier et al., 1979; Hall et al., 1996; Dold et al., 1996

### Anexo 9. Técnica de extracción secuencial específica para arsénico

La metodología de extracción secuencial específica para arsénico presente en distintas fracciones geoquímicas de las muestras analizadas se basó en la descrita en el artículo de Keon *et al.* (2001) con algunas modificaciones de acuerdo al esquema propuesto por Dold (2003). Se realizó una modificación en la primera fase donde se utiliza agua meteórica en lugar de cloruro de magnesio. El paso 7 de extracción con ácido nítrico se suprime, en su lugar se realiza la técnica de digestión total para disolver minerales recalcitrantes, cuarzo y silicatos. En cada paso el extractante es recuperado para su análisis por ICP-OES y el precipitado se recupera para usarlo en la siguiente fracción.

Paso	Solución extractante	Fase objetivo	Mecanismos posibles
(1) H <sub>2</sub> O	Agua meteórica en equilibrio con CO <sub>2</sub> , pH 5.5 (0.4 g de muestras y 40 mL de agua). Agitar 2 h	As unido iónicamente al sustrato, sales muy solubles en agua	Intercambio aniónico, disolución acuosa
(2) PO <sub>4</sub>	Recuperar el precipitado anterior y agregar 40 mL de NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 1M, pH 5, agitar por 16 h; centrifugar para separar, recuperar el precipitado nuevamente y agregar 40 mL de NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 1M, agitar durante 24 h	As fuertemente adsorbido	Intercambio aniónico de PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> por AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> y AsO <sub>3</sub> <sup>3</sup>
(3) HCl	HCl 1N, 25°C (40 mL) agitar durante 1 h, repetir.	As coprecipitado con sulfuros ácidos volátiles, carbonatos, óxidos de Mn, y oxi-hidróxidos de Fe amorfos	Disolución ácida, complejamiento entre Fe-Cl
(4) Ox-1	20 mL de oxalato de amonio 0.2 M ajustar a pH 3, agitar durante 2 h, a 25°C en oscuridad. Repetir.	As coprecipitado con oxi-hidróxidos de Fe amorfos; Schwertmannita, ferrihidrita de dos líneas, hidróxidos de Mn, disuelve parcialmente jarosita secundaria y goethita.	Disolución reductora promovida por ligante (oxalato)
(5) Ox-2	20 ml de oxalato de amonio 0.2 M pH3, agitar durante 2 h, a 80°C en baño de agua. Repetir.	Disolución de: ferrihidrita de seis líneas, goethita, jarosita primaria y secundaria, natrojarosita y hematita primaria.	Disolución reductora promovida por ligante (oxalato), temperatura (80°C) y luz
(6) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrogeno 35%, calentamiento en baño de agua durante 1 h.	Material orgánico, sulfuros	Fuerte oxidación de sulfuros y material orgánica
(7) Ataque ácido	Realizar la técnica de digestión propuesta en el Anexo 3	Fracción residual: minerales recalcitrantes de arsénico (óxidos) y orpimento	Disolución ácida, promovida con microondas

**Anexo 10. Archivo fotográfico**



Imagen 1. Presa de jales antigua circunscrita por presa de jales nueva



Imagen 2. Antigua presa de jales



Imagen 3. Muestreo por perfiles mediante muestreador ranurado vertical

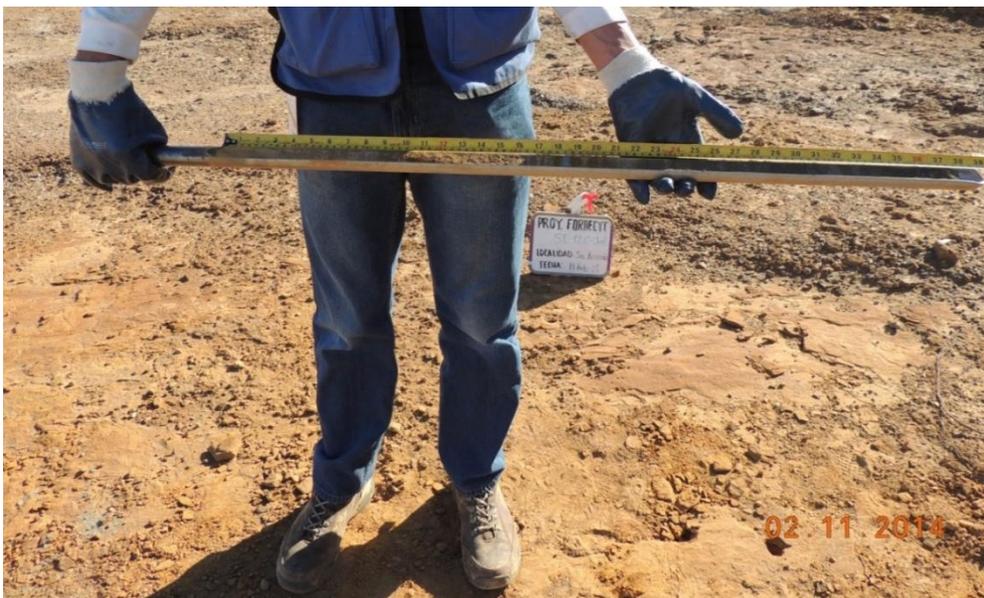


Imagen 4. Identificación de perfiles en muestra de presa de jales

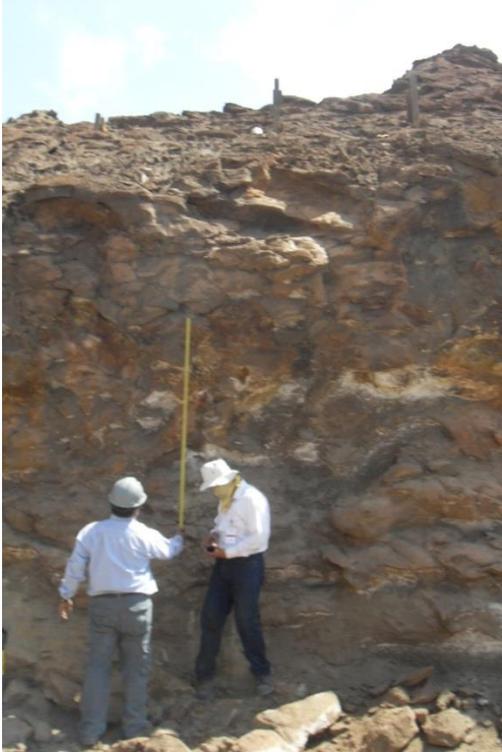


Imagen 5. Muestreo en la pared vertical de la presa de jales antigua



Imagen 6. Muestreo presa nueva de jales



Imagen 7. Recolección de muestra de sedimento



Imagen 8. Sedimento SNAP



Imagen 9. Sedimento APJ



Imagen 10. Recolección de muestra de sedimento APJ



Imagen 12. Determinación del potencial de neutralización



Imagen 11. Acondicionamiento de muestras en agitador orbital Heidolph Reax 20



Imagen 13. Determinación de sulfatos

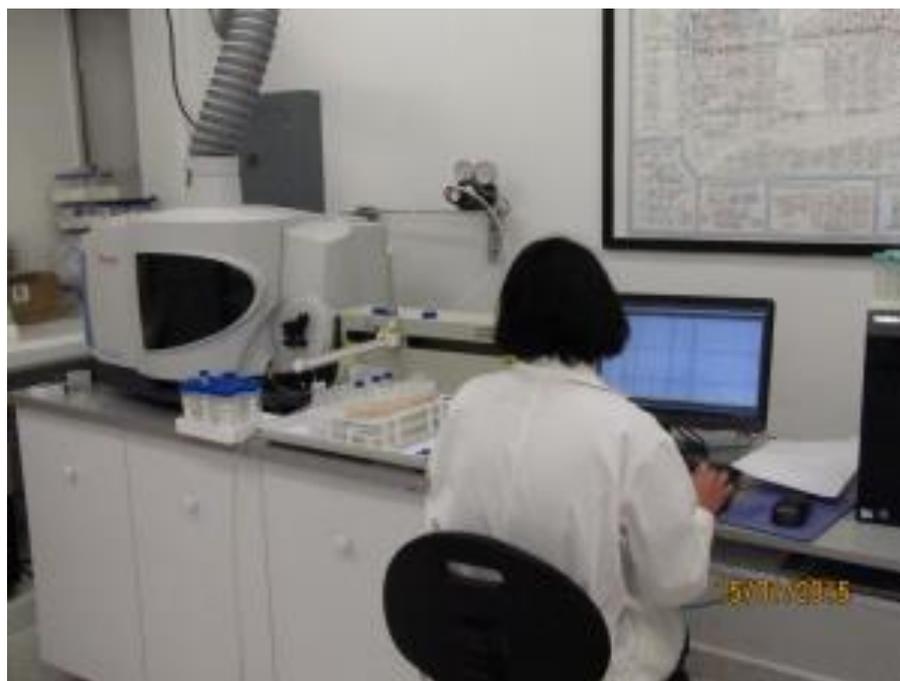


Imagen 14. ICP-óptico marca Thermo modelo ICP-OES iCAP 7000 series



Imagen 15. Diffractómetro de Rayos X D8 Advanced Bruker modelo Da Vinci



Imagen 16. Microscopio Oxford X-Max



# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 8 Dic 2013      2. Hora 9:37      3. Fotografías (No de Id) |      al      |

4. No. Inventario # SE02-R      5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es   Ja  Otro \_\_\_\_\_

7. Localidad  SE   Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM  X 0419342      Y 3164833

8.2 Geográficas  N \_\_\_\_\_      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) 1728

No. Cosecutivo  
**SE01-Rs**  
Id. del proyecto      Matriz

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Prv.  Eji  Gob      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación Ve. asociada en el fondo palma. total.

11. Relieve  Mo  Sie  \_\_\_\_\_ especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial

Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agricola  Residencial  Industrial

Especifique: minero

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agritamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: no presente

16. Color (depósito) Gris

Primarios blanca

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6

H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Secundarios \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): 25 Largo 12 Ancho 3 Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura

Forma  Laminar  Cúbica  Prismatica  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Megaposa  Masiva

Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 0. Origen de Geis. Earth / No se obtuvo muestra

---

**24. DIBUJO**

X 419270  
Y = 3164774 + 500

1764 msnm

No se tomó muestra

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Fe: Ferrera

Es: Mpi: Escarrega      Ja: Jales

De: Dedicacion      Arg: Argilizacion      Hem: Hematizacion

Clo: Clorizacion      Ser: Seritizacion

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible

2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reaccion no visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formacion de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha SE 03, Es 2. Hora 10:12 3. Fotografías (No de Id) al

4. No. Inventario B-DIC-13 5. Municipio Sta Eulalia / Aguiles Gordon

6. Tipo de material  Es  Es  Te  Ja  Otro

7. Localidad  SE   Otro

8. Coordenadas

8.1 UTM X 0419389 Y 3165071

8.2 Geográficas N                      W                     

8.3 Altitud (msnm)                     

Id. del proyecto **SE01-Rs** Matriz

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.   Gob. Otra o especifique:                     

10. Tipo de Vegetación Soto

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique:                     

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial

Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial

Especifique: MINERO

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración   Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: Oxidación

16. Color (depósito) gris a rojo

Primarios Calcarb.

17. Reacción al contacto con:

HCl (al 10%)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
H2O2 (al 5%)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6

18. Principales minerales presentes  Secundarios                     

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

Especifique: 40 Oliba

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): 15 Largo 10 Ancho 5 Altura                      Volumen                     

22. Estructura

Forma →  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva

Tamaño →  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limas (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Se sacó en google, en base el pts. anteriores / no se muestreó

---

**24. DIBUJO**

X = 419270  
Y = 316494 + 200  
1740 MSNM

no se tomó muestra.

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      RS: Residuo  
 CC: Cancha de campo      ES: Escoria  
 SA: Saux      TE: Terrero  
 ES: Espia Escarceja      JA: Jales  
 O: Ondación      ARG: Argilización      HEM: Hematización  
 CL: Clarificación      SER: Serización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.
2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible
3. Débil - Efervescencia audible, poco visible
4. Moderada - La reacción es visible y audible
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 8 DIC 13 2. Hora 10:48 3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE-01-RS 5. Municipio Aguales Caudas

6. Tipo de material  RS  Es  Te  Ja  Otro

7. Localidad  SE   Otro Santa Antonia

8. Coordenadas

8.1 UTM X 420214 Y 3164840

8.2 Geográficas N                      W                     

8.3 Altitud (msnm)                     

Id. del proyecto: **SE01-Rs** Matriz

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra  Priv  Eji  Gob Otra o especifique: Demanda de Minera Sta Eulalia

10. Tipo de Vegetación mariposa

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique:                     

12. Aprovechamientos hídricos  Rio  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial Especifique: minería

14. Elementos de erosión  Garcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem Otra: Oxidación de hierro

16. Color (depósito) Blanco, o gris.

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6 H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios óxido, sales  Secundarios caliza

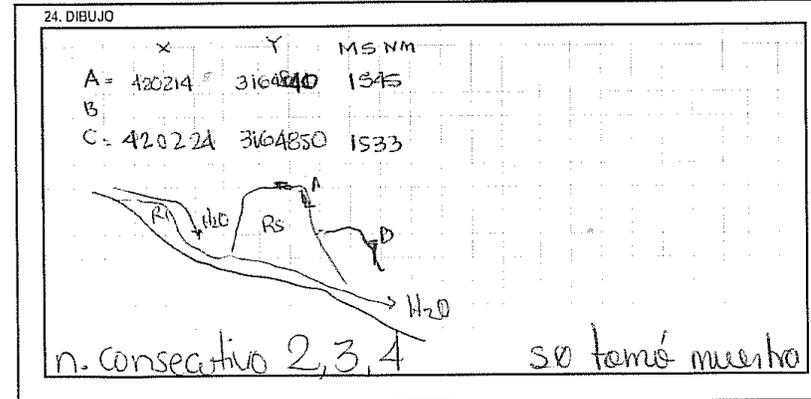
19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica Especifique: caliza dura

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): Largo 38 Ancho 22 Altura 6 Volumen 14,400

22. Estructura Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limas (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Escurremto de agua filtrandose en el residuo. ya que interan hacer rep-esc hay presencia de carbonato de calcio. Se tomaron 3 muestras



- Nomenclatura**
- SP: San Pedro      RS: Residuo  
GC: Ducta de campo      Es: Escoria  
Sa: Suez      Te: Terreno  
Es: Mpio Escarcega      Ja: Jales  
Or: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
Clo: Clorización      Ser: Sulfurización
- Reacción de HCl y H2O2**
1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.
  2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.
  3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.
  4. Moderada - La reacción es visible y audible.
  5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.
  6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.
- msnm: metros sobre el nivel del mar

# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO. EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 9-DIC-13      2. Hora 5:12 PM      3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE-05-6d      5. Municipio Aguilón Ecuador

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro  SE      7. Localidad  SE   Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM      X 422169      Y 3166629

8.2 Geográficas      N \_\_\_\_\_      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) 1316

Id. del proyecto SE01-Rs      No. Consecutivo \_\_\_\_\_      Matriz \_\_\_\_\_

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra  Priv.  Gob.      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación Mabul, Mucuna, Moringa, Palma      11. Relieve  Mo  Sie  Dep  Va  Cañ      especifique: Llanuras Secas

12. Aprovechamientos hídricos -  Río  Bordo  Manantial  
(en parte del Río)       Arroyo  Presa  Pozo      13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  
No es intermitente, es continuo debido a desajuste de la mina      Especifique: Agricultura

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Or  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: Material lavado por agua fluvial

16. Color (depósito) Cafe oscuro (húmedo) tono grisáceo      17. Reacción al contacto con:      HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
 Primarios Silice, Caliza      H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Secundarios \_\_\_\_\_      19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
Especifique: Cómbex Formación Aurora/ tobr

20. Humedad  Si  No      21. Dimensiones (m): \_\_\_\_\_ Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Existe corriente agua contaminada de minerales (Vaca, Vacuno-Pocino) Ciénaga  
Material muy lavado en el fondo del río.

---

24. DIBUJO

n. consecutivo 5

si se tomó muestra

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo  
CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
Sa: Saz      Fe: Ferrero  
Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
Rx: Radicación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
Clo: Clarificación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.
2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.
3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.
4. Moderada - La reacción es visible y audible.
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha: 10 Dic 2013      2. Hora: 15:32      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario: SE 06 Ed      5. Municipio: Aguilera Cerdan

6. Tipo de material:  Rs     Es     Te     Ja     Ota

7. Localidad:  SE     SE     Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM WGS84    X: 424470    Y: 3166791

8.2 Geográficas    N: \_\_\_\_\_    W: \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm): 1433

No. Cosecutivo: **SE01-Rs**

SEDIMENTO DE ARROYO

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra:  Priv.     Gob.    Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación: Mexquite

11. Relieve:  Mo     Sie     Ce    especifique: Convento de Arroyo

12. Aprovechamientos hidricos:  Rio     Bordo     Manantial

Arroyo     Presa     Pozo

13. Uso de suelo:  Agricola     Residencial     Industrial

14. Elementos de erosión:  Carcavas     Hudimientos     Agrietamiento     Drenaje ácido de roca     Surcos     Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración:  Ox     Clo     Arg     Ser     Hem    Otra: No Aplica.

16. Color (depósito): Gris predominando con tonalidad café

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%):  1     2     3     4     5     6

H2O2 (al 5%):  1     2     3     4     5     6

18. Principales minerales presentes:  Primarios: Calceita, Silice

Secundarios: S

19. Presencia de mat. parental:  Sedimentaria     Ignea     Metamórfica

20. Humedad:  Si     No

21. Dimensiones (m): Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura: Forma:  Laminar     Cúbica     Prismática     Columnar     Bloq. Angulares     Bloq. Subangulares     Granular     Migajosa     Masiva

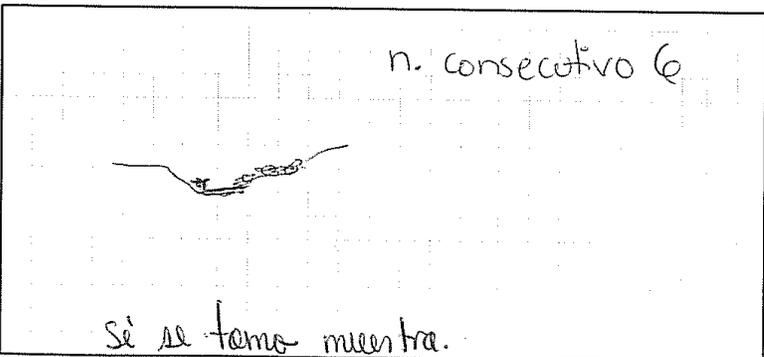
Tamaño:  Bloques (2048 a 256)     Cantos (256 a 64)     Gravas (63.9 a 2)     Arenas (1.9 a 0.062)     Limos (0.061 a 0.004)     Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Sito ubicada aguas abajo. Arroyo intermitente, se observan profs de caliza principalmente.

---

**24. DIBUJO**

n. consecutivo 6



Si se toma muestra.

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo

CC: Cuenta de campa      Es: Escoria

Sa: Saz      Te: Terreno

Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales

Ox: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Clo: Clorización      Ser: Sericitización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible

2. Muy débil - Efervescencia audible pero no visible

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible

4. Moderada - La reacción es visible y audible

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 10 DIC 2013      2. Hora 16:26      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE07 SA      5. Municipio Aguilera Coahuila

6. Tipo de material     Rs     Es     Te     Ja     Sed.      7. Localidad     SE             Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM                      X 424171                      Y 3162752

8.2 Geográficas            N \_\_\_\_\_                      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm)        1306

Rio Conocotivo  
**SE01-Rs**  
Id. del proyecto      Matiz

**SEDIMENTO DE ARROYO**

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra     Priv         Gob    Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación    Mezquite

11. Relieve                       Mo     Se     Ce    especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos     Rio     Bordo     Manantial

Arroyo     Presa     Pozo

13. Uso de suelo               Agricola     Residencial     Industrial

   Especifique: Ahorcaderos

14. Elementos de erosión     Carcavas     Hudimientos     Agrietamiento     Drenaje acido de roca     Surcos     Dispersion de materiales (Fractal)

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración     Ox     Clo     Arg     Ser     Hem    Otra: NA

16. Color (depósito)        Café

Primarios    Caliza

18. Principales minerales presentes     Secundarios    \_\_\_\_\_

17. Reacción al contacto con:    HCl (al 10%)     1     2     3     4     5     6

   H2O2 (al 5%)     1     2     3     4     5     6

19. Presencia de mat. parental     Sedimentaria     Ignea     Metamórfica

   Especifique: terrazas elevadas

20. Humedad                       Si     No

21. Dimensiones (m):    \_\_\_\_\_ Largo    \_\_\_\_\_ Ancho    \_\_\_\_\_ Altura    \_\_\_\_\_ Volumen

22. Estructura                      Forma     Laminar     Cubica     Prismatica     Columnar     Bloq. Angulares     Bloq. Subangulares     Granular     Migajosa     Maciva

   Tamaño     Bloques (2048 a 256)     Cantos (255 a 64)     Gravas (63.9 a 2)     Arenas (1.9 a 0.062)     Limos (0.061 a 0.004)     Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones:        Se encuentra en un abismo de fondo usada de represa.

---

**24. DIBUJO**

n = consecutivo 7

si se toma mucho

**Nomenclatura**

SP: San Pedro                      R: Residuo

CC: Cuesta de campo              E: Escoria

Sa: Saz                                  Fe: Ferrero

Es: Mpio Escarcega                  Ja: Jalisco

D: Dredacion                      Arg: Argilacion                  Hum: Humedacion

Cl: Cloracion                      Ser: Serracion

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible
2. Muy débil - Efervescencia audible pero no visible
3. Débil - Efervescencia audible, poco visible
4. Moderada - la reacción es visible y audible.
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles

msnm: metros sobre el nivel del mar

# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 10 Dic 2013      2. Hora 17:00      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-08 Scl      5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro Sed. en c. rel. Localidad  AS  SE   Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

B.1 UTM      X 0A29927      Y 316234A

B.2 Geográficas      N 021      W \_\_\_\_\_

B.3 Altitud (msnm) 1324      X = 0423975      Y = 3162336

No. Consecutivo: **SE01-Rs**  
Id del proyecto: \_\_\_\_\_      Matriz: \_\_\_\_\_

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Eps  Epi  Gov.      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación marquet.      11. Relieve  Mo  Sie  Ce      especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo      13. Uso de suelo  Agricola  Residencial  Industrial  
Especifique: Abundancia

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales Acum. fluvial

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) \_\_\_\_\_  
 Primarios \_\_\_\_\_  
 Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al contacto con:      HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

19. Presencia de mat. parental      Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No      21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura      Forma  $\rightarrow$   Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño  $\rightarrow$   Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Se evidencia de lila amarillentos por cemento fluvial, después de la presa de talas aguas abajo concave a abreviatura de Animales (bocan).

---

**24. DIBUJO**

Material acumulado (aparentemente chive)

Color amarillento

si se toma muestra. n. consecutivo 8

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo  
CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
Sa: Suez      Te: Ferrero  
Ec: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
Bc: Oudacion      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
Clo: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.  
2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.  
3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.  
4. Moderada - La reacción es visible y audible.  
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha **10-DIC-2013**      2. Hora **17:15**      3. Fotografías (No de Id) | al |

4. No. Inventario **SE09.Sd**      5. Municipio

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro      7. Localidad  AS  SE   Otro

8.1 UTM X **428934**      8. Coordenadas Y **3162840**

8.2 Geográficas N **Ver lon de SE 08**      W

8.3 Altitud (msnm) cima

No Censativo  
**SE01-Rs**  
Id. del proyecto      Matiz

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra  Priv.  Epi  Gob      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce      especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  
Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) \_\_\_\_\_  
 Primarios \_\_\_\_\_  
 Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes \_\_\_\_\_  
 Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

19. Presencia de mat. parental \_\_\_\_\_  
Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Mажosa  Masiva  
Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: **Exposado, se encuentra en el fondo del arroyo, fuera del**  
**muestro adicional relacionada a lo Consenti en el fondo del arroyo.**  
**No observar diferencia en el color en relación a material acumulado**  
**de arroyo que tiene mezclados de partículas de la Rva. presa de Jalen.**

---

**24. DIBUJO**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo  
DC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
Sa: Saur      Ia: Ferruz  
Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
De: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
Cl: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula: No hay efervescencia visible o audible
2. Muy débil: Efervescencia audible, pero no visible
3. Débil: Efervescencia audible, poco visible
4. Moderada: La reacción es visible y audible
5. Fuerte: Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma
6. Muy fuerte: Efervescencia fuertemente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles

msnm: metros sobre el nivel del mar

159

# Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGUA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 dic-2013      2. Hora 15:20      3. Fotografías (No de Id) |      | al |

4. No. Inventario SE-10, Sd      5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es  Tb  Ja  Otro: Sed. Residuo      7. Localidad  SE    Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

B.1 UTM      X 0422780      Y 3164054

B.2 Geográficas      N \_\_\_\_\_      W \_\_\_\_\_

B.3 Altitud (msnm) 1366

No. Consecutivo  
**SE01-Rs**  
Id. del proyecto ←      → Matriz

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.  Gob.      Otra o especifique: Causa de orroyo aguas abajo de la Presa de Jales

10. Tipo de Vegetación Mezquita      11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo      13. Uso de suelo  Agricola  Residencial  Industrial  
Especifique: Agricultura

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) Capa oscura con tonos de rojo      17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios \_\_\_\_\_  
 Secundarios \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
Especifique: Feñon / Rieñon / Calzon

20. Humedad  Si bajo  No

21. Dimensiones (m): 50 Largo 35 Ancho 1.10 Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura  Laminar  Cubica  Prismatica  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Forma →  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Deposito encontrada en el fondo del arroyo en area de baja energia, esta asociado a los fallas de la Mina.  
obtencion de muestra compuesto Se tomaron 2 muestras

---

**24. DIBUJO**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo  
CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
Sa: Saur      In: Terrero  
Es: Mpa: Escarrega      Ja: Jales  
Ox: Oxidacion      Arg: Argilizacion      Hem: Hematizacion  
Clo: Clorizacion      Ser: Seritizacion

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.
2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.
3. Debil - Efervescencia audible, poca visible.
4. Moderada - La reaccion es visible y audible.
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formacion de burbujas a baja espuma.
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las particulas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

160

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

---

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 21-01-2013      2. Hora 16:00      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE 11.5d      5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Sed.  Otro \_\_\_\_\_

7. Localidad  SE    Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM      X 422726      Y 3164040

8.2 Geográficas      N \_\_\_\_\_      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) 1367

No. consecutivo: **SE01-Rs**  
Id. del proyecto: \_\_\_\_\_      Matriz: \_\_\_\_\_

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.  C/Ep  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique: \_\_\_\_\_  
 Dep  Va  Cañ \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  
Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Surcos  Dispersión de materiales

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL** (Descripción igual que el punto SE 10.5d.)

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) \_\_\_\_\_  
 Primarios \_\_\_\_\_  
 Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
Especifique \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Se observa capas intercaladas / arenaja later de la presa.  
La capa roja entre mar pres. mas compacta y dura.

---

**24. DIBUJO**

n. consecutivo 12

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Ro: Residuo  
CC: Cuesta de campo      Es: Escano  
Sa: Suez      Te: Terreno  
Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
Ge: Geodacion      Arg: Argilizacion      Hem: Hematizacion  
Clo: Clorizacion      Ser: Seritizacion

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula: No hay efervescencia visible o audible
2. Muy débil: Efervescencia audible, pero no visible
3. Débil: Efervescencia audible, poco visible
4. Moderada: La reacción es visible y audible
5. Fuerte: Efervescencia audible y visible formación de burbujas a bajo espuma
6. Muy fuerte: Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles

msnm: metros sobre el nivel del mar

161







**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha: 10 Feb/2014      2. Hora: 4:17 pm      3. Fotografías (No de Id): 1 al 1

4. No. Inventario: SE-15 Te      5. Municipio: Aguila Seción

6. Tipo de material:  Rs  Es  Ja  Otro

7. Localidad:  AS  SE  SA  Otro

8. Coordenadas

8.1 UTM: X 42082      Y 3165352

8.2 Geográficas: N 420682      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima: 1461

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra:  Priv.  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación: poca (palmitos, natural, cistocitica)

11. Relieve:  Mo  Sie  Cerr. especifique: Cerr.

12. Aprovechamientos hídricos:  Río  Bordo  Manantial

Arroyo  Presa  Pozo 1

13. Uso de suelo:  Agrícola  Residencial  Industrial

Especifique: Minería

14. Elementos de erosión:  Carcavas  Hudimientos  Agritamiento  Drenaje ácido de roca \* se percibe entramientos mineros

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración:  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito): gris

Primarios Carbonato de calcio (calcita)

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6

H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes:  Secundarios

19. Presencia de mat. parental:  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

Especifique: \_\_\_\_\_

20. Humedad:  Si  No

21. Dimensiones (m): 200 Largo 60 Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura: Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva

Tamaño:  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limas (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 1.- El arroyo pasa cerca del terreno \* Oxidación de la roca.

14.- Parece cimentamiento de mineral

15.- minerales asociados

22.- desde fragmentos de 25cm (algunos de 50m) y disminuye.

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

corresponde al n. 16 consecutivo

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Ra: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Te: Terrazo

Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales

Oc: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Oa: Oerización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil.- Efervescencia audible, poca visible.

4. Moderada.- La reacción es visible y audible.

5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 Feb 2014 2. Hora 10:34 am 3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE-165d 5. Municipio Aguilera Serdán

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Sal 7. Localidad  AS  SE   Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM Y 3163247 X 0419909

8.2 Geográficas N 28° 35.622' W 105° 49.146'

8.3 Altitud (msnm) cima 1496

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.   Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación  Río  Bordo  Manantial

11. Relieve  Md  Sie  Ce especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  
Especifique: Minería

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca Erosión fluvial

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) gris oscuro casi negro  
 Primarios CaCO<sub>3</sub>, Si

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Secundarios \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
Especifique: Volcánica. Extrusiva (Caliza a HCO)

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 21.- arroyo 2m x 10cm  
Entrante del tiro "La Esperanza"

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Ra: Residuo  
 CB: Cuarta de campo      Es: Escoria  
 Sa: Saur      Te: Terrazo  
 Es: Mpia. Escarrega      Ja: Jales  
 De: Godación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
 Clo: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible u audible.  
 2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.  
 4. Moderada - La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas o baja espuma.  
 6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles

msnm: metros sobre el nivel del mar



PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"



---

**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha: 17 Feb 2. Hora: \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id): \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario: SE-17-ESTE A.M.P. 5. Municipio: Serdán

6. Tipo de material:  Rs  Es  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad:  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X: 6470153 Y: 31103351

8.2 Geográficas N: 28° 35. 679' W: 705° 48. 974'

8.3 Altitud (msnm) cima: 1507m

---

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra:  Priv.  Est.  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación: palmita, ocotillo

11. Relieve:  Mo.  Sie.  Ce. abrupto  
 Dep.  Va.  Cañ. pendientes pronunciadas <math>25^\circ</math>

12. Aprovechamientos hídricos:  Río  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo asociado e intermitente

13. Uso de suelo:  Agrícola  Residencial  Industrial  
 Especifique: Minería

14. Elementos de erosión:  Escavos  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

---

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración:  Ox.  Clo.  Arg.  Ser.  Hem. Otra: Frío por + Oxidación en sitio esp.

16. Color (depósito): gris claro  
 Primarios caliza  
 Secundarios con poca de óxidos

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%) [1] [2] [3] [4] [5] [6]  
 H2O2 (al 5%) [1] [2] [3] [4] [5] [6]

18. Principales minerales presentes: hidroxiato y hornblita

19. Presencia de mat. parental:  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
 Especifique: Caliza

20. Humedad:  Si  No

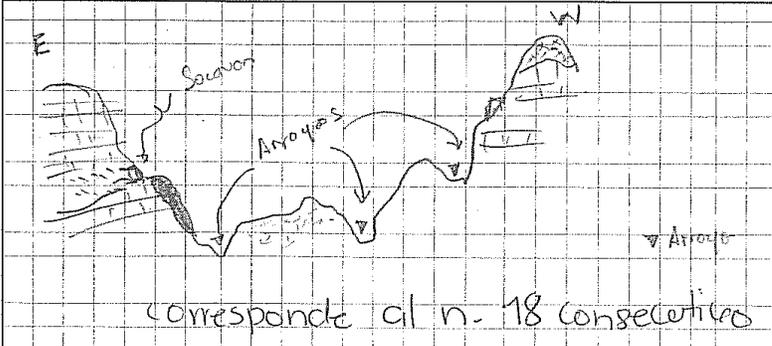
21. Dimensiones (m): Largo 70 Ancho 15 Altura 8 Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura: Forma:  Laminar  Cubica  Prismatica  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
 Tamaño:  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Similares a los residuos B7C que están la misma mina de la mina (al sur) frente al tiro la esperanza (cruzando el arroyo)

---

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**



**Nomenclatura**

SP: San Pedro      RS: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      ES: Escoria  
 Sa: Saz      Te: Terrazo  
 Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
 Or: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
 Clo: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.  
 4. Moderada.- La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGUA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11/ Feb/ 2016 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-18-Te 5. Municipio Agüitas Secas

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 0421502 Y 3104372

8.2 Geográficas N 25° 30' 23" W 105° 48' 17"

8.3 Altitud (msnm) cima 1442m

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.  Ep  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique: cauapto

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo  Dep  Va  Cañ

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca carcavas

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) gris café  Primarios caliza  Secundarios posible cuarzo

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6 H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica Especifique caliza

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): 10 Largo 4 Ancho 2 Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: \_\_\_\_\_

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Ra: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Te: Terrero

Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales

Be: Boidación      Arg: Argilización      Hem: Homolitización

Clo: Clarificación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"

FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 Feb 2014 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-19-Jales 5. Municipio Aguila Sección

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 0420825 Y 3164373

8.2 Geográficas N 28° 36' 235" W 105° 48' 555"

8.3 Altitud (msnm) cima 1507

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Pm  Eji  Gob Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Rio  Bordo  Manantial  Dep  Va  Cañ \_\_\_\_\_

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial Especifique: Minería

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca Debilitamiento

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) gris  Primarios \_\_\_\_\_  Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
 contacto con: H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica Especifique \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura  Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: A) Mat. fino movilizado Se realizó una muestra composita en 2 sitios  
B) Presa Jales  
A y B

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

Corresponde a la Presa Nueva de Jales

n. consecutivo 20

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
 Sa: Sauz      Te: Terrero  
 Es: Mjia. Escarrega      Ja: Jales  
 O: Oidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
 Clo: Clarificación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.  
 4. Moderada - La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 12 Feb 2. Hora 9:03 am 3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE-20-Sol 5. Municipio Aguiles Serdán

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Dms  Sa 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro

8. Coordenadas

8.1 UTM X 3764373 Y 421504

8.2 Geográficas N 28° 36.748' W 105° 50.948'

8.3 Altitud (msnm) cima 1844 m

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv  Eji  Gob. Otra o especifique: Rancho con barda de Piedra

10. Tipo de Vegetación baturo, Maquey

11. Relieve  Mo  Sie  Dep  Va  Cañ. especifique: aguas arriba del rancho

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial. Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) Beige / Café Claro  Primarios

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%) 

1	<input checked="" type="checkbox"/>	3	4	5	6
---	-------------------------------------	---	---	---	---

 H2O2 (al 5%) 

1	<input checked="" type="checkbox"/>	3	4	5	6
---	-------------------------------------	---	---	---	---

18. Principales minerales presentes  Secundarios

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique: Volcánica

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva. Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 17.- Dga caliza a 50mts Sr. Manuel dueño del rancho

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

corresponde al consecutivo 21

SE 20 A

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo

CC: Lomito de campo      Es: Escoria

Sa: Saúz      Te: Tierra

Ec: Mpia. Escarrega      Ja: Jales

Oc: Oidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Cl: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar



PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"



**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 12 Feb 2014 2. Hora 10:00 3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE20B sd 5. Municipio Aguilés Sordán

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro  7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 3165479 Y 417090

8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Pr  Eji  Gob. Otra o especifique: Rancho Sr. Manuel

10. Tipo de Vegetación gatoños, maguey, palmillas 11. Relieve  Mo  Sle  Dep  Va  Cañ. Especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo 13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial. Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) beige claro, mat morado 17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%) 

1	<input checked="" type="checkbox"/>	3	4	5	6
---	-------------------------------------	---	---	---	---

 H2O2 (al 5%) 

1	<input checked="" type="checkbox"/>	3	4	5	6
---	-------------------------------------	---	---	---	---

18. Principales minerales presentes  Primarios  Secundarios 19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique: volcanica

20. Humedad  Si  No 21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva. Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arcillas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Se buscó sitio más alejado de excrementos de animal  
No presenta asociación presajales

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

Corresponde al consecutivo 22

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
 Sa: Saúz      To: Terrero  
 Es: Mjia. Escarrega      Ja: Jales  
 O: Oxidación      Arg: Argilización      Ham: Hernalización  
 Cl: Clarificación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil.- Efervescencia audible, poca visible.  
 4. Moderada.- La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 12 Feb 2014      2. Hora 12:00      3. Fotografías (No de Id) 1 al 1

4. No. Inventario SE-21 Te      5. Municipio Aguilera Seidón

6. Tipo de material     Rs     Es     Te     Ja     Otro

7. Localidad     AS     SE     SA     Otro

8. Coordenadas

8.1 UTM                    X 0419948                    Y 3163983

8.2 Geográficas        N 28°36'02"                    W 105°49'12"

8.3 Altitud (msnm)    cima 1681

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra     Priv.     Eji     Gob.    Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación    Sedano, techogilla y ocotillo      11. Relieve     Mo     Sie     Se    especifique: Pente Sup. Cero

12. Aprovechamientos hídricos     Río     Bordo     Manantial

13. Uso de suelo     Agrícola     Residencial     Industrial

14. Elementos de erosión     Carcavas     Hudimientos     Agrietamiento     Drenaje ácido de roca    Dispersión Fluvial

15. Tipo de alteración     Ox     Clo     Arg     Ser     Hem    Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito)    café claro (amarillo ácido)      17. Reacción al contacto con:    HCl (al 10%)     1     2     3     4     5     6

18. Principales minerales presentes     Primarios    Silice, Feldspatos      H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (al 5%)     1     2     3     4     5     6

19. Presencia de mat. parental     Sedimentaria     Ignea     Metamórfica

20. Humedad     Si     No      Especifique: Volcánica

21. Dimensiones (m):    70 Largo    18 Ancho    3 Altura    Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura    Forma     Laminar     Cúbica     Prismática     Columnar     Bloq. Angulares     Bloq. Subangulares     Granular     Migajosa     Masiva

Tamaño     Bólidos (2048 a 256)     Cantos (255 a 64)     Gravas (63.9 a 7)     Arenas (1.9 a 0.062)     Limos (0.061 a 0.004)     Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: De 12 a 14 montículos de Ferrero  
Materia heterogénea

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro                    Rs: Residuo

CC: Cuesta de campo            Es: Escoria

Sa: Saz                              Te: Terrero

Es: Mpio. Escarcega            Ja: Jales

Bc: Boidación                    Arg: Argilización            Hem: Hemolitación

Clo: Clarificación                Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar



**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 15-Feb-14 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-23-sd 5. Municipio Aguilón, S. León

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Sd 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 418226 Y 3164988

8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima 1786 1786

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación gatoño, Luchquillo

11. Relieve  Mo  Sie  Dep  Va  Cañi. Especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial

Arroyo  Presa  Pozo. Especifique: Asociado

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial. Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca  Drenaje eólico Asociado

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito)  Primarios Carre clara

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Secundarios

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique: Ignimbrita

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma:  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño:  Bloques (2048 a 256)  Cantos (256 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Bajo la orilla de la carretera  
No presenta asociación con la presa de jales

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo  
CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
Sa: Saúz      Te: Terrero  
Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales  
Ur: Uridación      Arg: Argilización      Hem: Hematización  
Cla: Clarificación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula: No hay efervescencia visible o audible.  
2. Muy débil: Efervescencia audible, pero no visible.  
3. Débil: Efervescencia audible, poca visible.  
4. Moderada: La reacción es visible y audible.  
5. Fuerte: Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
6. Muy fuerte: Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general se elevan las burbujas con claridad visible.  
7. Muy fuerte: Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general se elevan las burbujas sobre el nivel del mar.

SE-12A-Jal-R2

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 Feb 2014 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-12A-Jal 5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_

8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv  Ej  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce especifique: \_\_\_\_\_  
 Dep  Va  Cañ \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hidricos  Río  Bordo  Manantial  
 Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  
 Especifique: mineria

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) oxidado (rojo, naranja)  
 Primarios \_\_\_\_\_  
 Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
 contacto con: H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  
 Especifique \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Blaq. Angulares  Blaq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
 Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Capas muy consolidadas. Se tomaron 3 muestras en perfiles verticales 0-36cm superior  
 37-02cm trans.  
 53-100cm interior

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

n. consecutivo de las muestras 26, 27, 28 SE-12A-R2-S SE-12A-R2-T SE-12A-R2-I Corresponden a la presa vieja de jales	<p style="text-align: center;"><b>Nomenclatura</b></p> <p>SP: San Pedro      Rs: Residuo                  CC: Cuesta de campo      Es: Escoria                  Sa: Sauz      Te: Terrero                  Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales                  Ue: Urdación      Arg: Argilización      Hem: Hemalización                  Clo: Clorización      Ser: Sertilización</p> <p style="text-align: center;"><b>Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O:</b></p> <p>1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.                  2. Muy debil - Efervescencia audible pero no visible.                  3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.                  4. Moderada - La reacción es visible y audible.                  5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas a baja espuma.                  6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.</p> <p>msnm: metros sobre el nivel del mar</p>
--	--

SE 12B-Jal-R2

	<b>PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"</b>																			
<b>FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA</b>																				
<b>DATOS GENERALES</b>																				
1. Fecha	12 Feb 2014	2. Hora	3. Fotografías (No de Id)		al															
4. No. Inventario	SE 12B-Jal		5. Municipio																	
6. Tipo de material	<input type="checkbox"/> Rs	<input type="checkbox"/> Es	<input type="checkbox"/> Te	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Otro															
			7. Localidad	<input type="checkbox"/> AS	<input checked="" type="checkbox"/> SE	<input type="checkbox"/> SA														
			Otro _____																	
			8. Coordenadas																	
8.1 UTM	X	420604	Y	3164397																
8.2 Geográficas	N		W																	
8.3 Altitud (msnm)	cima																			
<b>DESCRIPCIÓN DEL SITIO</b>																				
9.- Tenencia de la tierra	<input type="checkbox"/> Priv.	<input type="checkbox"/> Ej	<input type="checkbox"/> Gob	Otra o especifique: _____																
10. Tipo de Vegetación	introducida nopal, orzanillo, lechuguilla			11. Relieve	<input type="checkbox"/> Mo	<input type="checkbox"/> Sie														
12. Aprovechamientos hídricos	<input type="checkbox"/> Río	<input type="checkbox"/> Bordo	<input type="checkbox"/> Manantial	<input type="checkbox"/> Dep	<input type="checkbox"/> Va	<input type="checkbox"/> Cañ														
	<input type="checkbox"/> Arroyo	<input type="checkbox"/> Presa	<input type="checkbox"/> Pozo	Especifique: _____																
13. Uso de suelo	<input type="checkbox"/> Agrícola			<input type="checkbox"/> Residencial	<input checked="" type="checkbox"/> Industrial															
Especifique: <u>minera</u>																				
14. Elementos de erosión	<input checked="" type="checkbox"/> Carcavas	<input checked="" type="checkbox"/> Hudimientos	<input type="checkbox"/> Agrietamiento	<input checked="" type="checkbox"/> Drenaje ácido de roca																
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL</b>																				
15. Tipo de alteración	<input checked="" type="checkbox"/> Ox	<input type="checkbox"/> Clo	<input type="checkbox"/> Arg	<input type="checkbox"/> Ser	<input type="checkbox"/> Hem	Otra: _____														
16. Color (depósito)	naranja óxido			17. Reacción al contacto con:	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>HCl (al 10%)</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> <tr> <td>H2O2 (al 5%)</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> </table>		HCl (al 10%)	1	2	3	4	5	6	H2O2 (al 5%)	1	2	3	4	5	6
HCl (al 10%)	1	2	3	4	5	6														
H2O2 (al 5%)	1	2	3	4	5	6														
18. Principales minerales presentes	<input type="checkbox"/> Secundarios			19. Presencia de mat. parental	<input type="checkbox"/> Sedimentaria <input type="checkbox"/> Ignea <input type="checkbox"/> Metamórfica Especifique _____															
20. Humedad	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No			21. Dimensiones (m):	Largo <input type="checkbox"/> Ancho <input type="checkbox"/> Altura <input type="checkbox"/> Volumen <input type="checkbox"/>															
22. Estructura	Forma <input type="checkbox"/> Laminar <input type="checkbox"/> Cubica <input type="checkbox"/> Prismatica <input type="checkbox"/> Columnar <input type="checkbox"/> Bloq. Angulares <input type="checkbox"/> Bloq. Subangulares <input type="checkbox"/> Granular <input type="checkbox"/> Migajosa <input type="checkbox"/> Masiva Tamaño <input type="checkbox"/> Bloques (2048 a 256) <input type="checkbox"/> Cantos (255 a 64) <input type="checkbox"/> Gravas (63.9 a 2) <input checked="" type="checkbox"/> Arenas (1.9 a 0.075) <input type="checkbox"/> Limos (0.061 a 0.004) <input type="checkbox"/> Arcillas (0.003 a 0.0024)																			
23. Observaciones:	Son 3 muestras en perfil vertical 1- 0-35cm Superior 36-45cm Trans. 46-100cm Interior																			
<b>24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA</b>				<b>Nomenclatura</b>																
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-family: cursive;">                     Corresponde a la Presa de Jales Vieja                      n. consecutivo 29, 30, 31                 </div>				SP: San Pedro      R: Residuo CE: Cuesta de campo      Es: Escoria Sa: Saz      Te: Ferrero Ec: Mpio. Escarcega      Ja: Jales Or: Oradación      Arg: Argilización      Hem: Hematización Cl: Clarificación      Ser: Seritización																
				<b>Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:</b>																
				1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.																
				2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.																
				3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.																
				4. Moderada.- La reacción es visible y audible.																
5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.																				
6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.																				
msnm: metros sobre el nivel del mar																				

SE-12C-Jal-R2

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 Feb 2014      2. Hora \_\_\_\_\_      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario \_\_\_\_\_ SE-12C-Jal-R2      5. Municipio Abasco Sección

6. Tipo de material     Rs     Es     Te     Ja     Otro R2      7. Localidad     AS     SE     SA     Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM                      X 420507                      Y 3164379

8.2 Geográficas            N \_\_\_\_\_                      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm)        cima 1573m

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra     Prv     Eji     Gob      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve                       Mo     Sie     Ce      especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos         Río     Bordo     Manantial

hidricos                         Arroyo     Presa     Pozo

Presa Jalisco

13. Uso de suelo                 Agrícola     Residencial     Industrial

   Especifique: Minería

14. Elementos de erosión     Carcavas     Hudimientos     Agrietamiento     Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración     Ox     Clo     Arg     Ser     Hem      Otra: Jalisco muestra de color rojo

16. Color (depósito)             Primarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al                      HCl (al 10%)     1     2     3     4     5     6

   contacto con:    H2O2 (al 5%)     1     2     3     4     5     6

18. Principales minerales         Secundarios \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental     Sedimentaria     Ignea     Metamórfica

   Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad                       Si     No

21. Dimensiones (m):             Largo     Ancho     Altura     Volumen

22. Estructura                      Forma     Laminar     Cúbica     Prismática     Columnar     Bloq. Angulares     Bloq. Subangulares     Granular     Migajosa     Masiva

   Tamaño     Bloques (2048 a 256)     Cantos (255 a 64)     Gravas (63.9 a 2)     Arenas (1.9 a 0.062)     Limos (0.061 a 0.004)     Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 4 Rojizo (0-36cm) → 36cm

3 Muestras en perfiles Superior, Interior y Transición

Consecutivos 32, 33, 34

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

**Nomenclatura**

SP: San Pedro                      Rs: Residuo

CC: Cuesta de campo              Es: Escoria

Sa: Saz                                Te: Terrero

Es: Hija, Escarrega                Ja: Jales

B: Baidación                      Arg: Argilización              Hem: Hematización

Cl: Clarificación                    Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

SE 12A-1-Jal

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 11 Feb      2. Hora \_\_\_\_\_      3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE 12A-1-Jal      5. Municipio \_\_\_\_\_

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_      7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM      X 420555      Y 3164337

8.2 Geográficas      N 1568      W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv.  Eji  Gab      Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce      especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Rio  Bordo  Manantial

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

15. Tipo de Vegetación  Arroyo  Presa  Pozo      Especifique: Jales

16. Elementos de erosión  Dep  Va  Cañi

17. Uso de suelo  Especifique: minería

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem      Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) calé claro

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6

H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

20. Humedad  Si  No      Especifique \_\_\_\_\_

21. Dimensiones (m): \_\_\_\_\_ Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva

Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Se encontró un recubrimiento de grava. Se repite la muestra!

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

Se tenían 1 muestra

Corresponde al n. 35 consecutivo

\* No se usara \* contaminación con grava

Presa Vieja de Jales

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Te: Terrero

Es: Mpia. Escarrega      Ja: Jales

Gx: Gxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Cl: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

SE-12A23a1-R2

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"																																
FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA																																
<b>DATOS GENERALES</b>																																
1. Fecha <u>11 Feb 2014</u>	2. Hora _____	3. Fotografías (No de Id) _____ al _____																														
4. No. Inventario <u>SE-12A-23a1</u>	5. Municipio <u>Azuels Sección</u>																															
6. Tipo de material <input checked="" type="checkbox"/> Rs <input type="checkbox"/> Es <input type="checkbox"/> Te <input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Otro _____	7. Localidad <input checked="" type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> SE <input type="checkbox"/> SA <input type="checkbox"/> Otro _____																															
B. Coordenadas																																
8.1 UTM <input checked="" type="checkbox"/> X _____	Y _____																															
8.2 Geográficas <input type="checkbox"/> N _____	W _____																															
8.3 Altitud (msnm) <input type="checkbox"/> cima _____																																
<b>DESCRIPCIÓN DEL SITIO</b>																																
9. Tenencia de la tierra <input checked="" type="checkbox"/> Priv. <input type="checkbox"/> Eji <input type="checkbox"/> Gob. Otra o especifique: _____																																
10. Tipo de Vegetación _____	11. Relieve <input type="checkbox"/> Mo <input type="checkbox"/> Sie <input type="checkbox"/> Ce especifique: _____																															
12. Aprovechamientos hídricos <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Bordo <input type="checkbox"/> Manantial	<input type="checkbox"/> Dep <input type="checkbox"/> Va <input type="checkbox"/> Cañ _____																															
<input type="checkbox"/> Arroyo <input checked="" type="checkbox"/> Presa <input type="checkbox"/> Pozo	13. Uso de suelo <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Residencial <input checked="" type="checkbox"/> Industrial																															
14. Elementos de erosión <input type="checkbox"/> Carcavas <input type="checkbox"/> Hudimientos <input type="checkbox"/> Agrietamiento <input type="checkbox"/> Drenaje ácido de roca	Especifique: <u>Minera</u>																															
<b>DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL</b>																																
15. Tipo de alteración <input checked="" type="checkbox"/> Clo <input type="checkbox"/> Arg <input type="checkbox"/> Ser <input type="checkbox"/> Hem. Otra: <u>Sedimento de base de la capa de granilla</u>																																
16. Color (depósito) <u>Oxido</u>	17. Reacción al HCl (al 10%) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6																															
<input type="checkbox"/> Primarios _____	contacto con: H2O2 (al 5%) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6																															
18. Principales minerales presentes <input type="checkbox"/> Secundarios _____	19. Presencia de mat. parental <input type="checkbox"/> Sedimentaria <input type="checkbox"/> Ignea <input type="checkbox"/> Metamórfica																															
20. Humedad <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	Especifique _____																															
21. Dimensiones (m): <input type="checkbox"/> Largo <input type="checkbox"/> Ancho <input type="checkbox"/> Altura <input type="checkbox"/> Volumen																																
22. Estructura { Forma => <input type="checkbox"/> Laminar <input type="checkbox"/> Cúbica <input type="checkbox"/> Prismática <input type="checkbox"/> Columnar <input type="checkbox"/> Bloq. Angulares <input type="checkbox"/> Bloq. Subangulares <input type="checkbox"/> Granular <input type="checkbox"/> Migajosa <input type="checkbox"/> Masiva																																
Tamaño => <input type="checkbox"/> Bloques (2048 a 256) <input type="checkbox"/> Cantos (255 a 64) <input type="checkbox"/> Gravas (63.9 a 7) <input type="checkbox"/> Arenas (1.9 a 0.052) <input type="checkbox"/> Limos (0.061 a 0.004) <input type="checkbox"/> Arcillas (0.003 a 0.0024)																																
23. Observaciones: <u>3 capas (4 super dia) + 70cm</u> Se observa granilla <u>1era = 36cm</u> <u>2da = 36-52cm</u> <u>3ra = 52-70</u> <u>no alcanza zona con oxidos</u> <u>31-51cm</u> <u>51-77cm</u>																																
24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA																																
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>La muestra no se usará para análisis debido a presencia de granilla</p> <p>Muestras 36 y 37</p> <p>* Se descartan *</p> </div>																																
<table style="width:100%; font-size: small;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Nomenclatura</td> </tr> <tr> <td>S/P: San Pedro</td> <td>Ra: Residuo</td> </tr> <tr> <td>CC: Cuesta de campo</td> <td>Es: Escoria</td> </tr> <tr> <td>Sa: Saz</td> <td>Ta: Terrero</td> </tr> <tr> <td>Es: Mpio. Escarrega</td> <td>Ja: Jalos</td> </tr> <tr> <td>Be: Beldación</td> <td>Arg: Argilización</td> </tr> <tr> <td>Cl: Clarificación</td> <td>Ser: Seritización</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td colspan="2">1. Nulo - No hay efervescencia visible o audible.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">4. Moderada - La reaccion es visible y audible.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. formación de burbujas a bajo espuma.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">msnm: metros sobre el nivel del mar</td> </tr> </table>			Nomenclatura		S/P: San Pedro	Ra: Residuo	CC: Cuesta de campo	Es: Escoria	Sa: Saz	Ta: Terrero	Es: Mpio. Escarrega	Ja: Jalos	Be: Beldación	Arg: Argilización	Cl: Clarificación	Ser: Seritización	Reacción de HCl y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		1. Nulo - No hay efervescencia visible o audible.		2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.		3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.		4. Moderada - La reaccion es visible y audible.		5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. formación de burbujas a bajo espuma.		6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.		msnm: metros sobre el nivel del mar	
Nomenclatura																																
S/P: San Pedro	Ra: Residuo																															
CC: Cuesta de campo	Es: Escoria																															
Sa: Saz	Ta: Terrero																															
Es: Mpio. Escarrega	Ja: Jalos																															
Be: Beldación	Arg: Argilización																															
Cl: Clarificación	Ser: Seritización																															
Reacción de HCl y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>																																
1. Nulo - No hay efervescencia visible o audible.																																
2. Muy debil - Efervescencia audible, pero no visible.																																
3. Debil - Efervescencia audible, poco visible.																																
4. Moderada - La reaccion es visible y audible.																																
5. Fuerte - Efervescencia audible y visible. formación de burbujas a bajo espuma.																																
6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.																																
msnm: metros sobre el nivel del mar																																

SE-12B-JAL-AZ

PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"

FIGHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 12 Feb 2014 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-12B-Jal 5. Municipio Aguiles Serdón

6. Tipo de material  Rs  Es  Te   Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE   Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 420604 Y 3164397

8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Priv  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación Introducida

11. Relieve  Mo  Sie  Ca especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Dep  Va  Cañ \_\_\_\_\_

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial Especifique: Minería

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) Naranja Oxido 17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6 H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios \_\_\_\_\_ 19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No 21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Líamos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: 0-10 Nopal, Orzanillo, Lechugilla, etc 0-38 capa superior 35-45 T 37-48 36-50 Transición 45-100 Inf 46-100 50-100 Interior

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

Se hizo un compuesto de varios puntos debido a la consolidación del material.

Muestras 38 y 39.

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Is: Ierroso

Es: Mpia. Escarcega      Ja: Jales

Be: Oxidación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Clor: Clarificación      Ser: Sulfurización

**Reacción de HCl y H2O2**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada.- La reacción es visible y audible.

5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible. Formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

13mts al camino de abajo

17 mts del segundo camino

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

---

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 28/Julio/14 2. Hora 10:36 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE24 Jal 5. Municipio Aguilón Sordán

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  ~~Ja~~  Otro \_\_\_\_\_

7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas

8.1 UTM X 420500 Y 3764362

8.2 Geográficas N 1586?? W \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  P~~ri~~  Eji  Gob. Otra o especifique: Presade Jales Vieja

10. Tipo de Vegetación ninguna

11. Relieve  Mo  Se  Ca. Especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial

Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial

Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: Sulfatización

16. Color (depósito) Café, Naranja, Blanco

Primarios \_\_\_\_\_

18. Principales minerales presentes  Secundarios \_\_\_\_\_

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6

H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): Largo 15cm Ancho 3m Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura

Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Higejosa  Masiva

Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Canchales (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Material muy compacto. Pared de la presa vieja jales. Se tomaron 2 muestras parte superior e interior de la pared de la presa y se subdividió debido a la compactación.

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Ra: Residuo

CC: Cuesta de campo      Es: Escoria

Sa: Saur      Te: Ferrero

Es: Mpio. Escarcega      Ja: Jales

Dz: Dedicación      Arg: Argilización      Hem: Hematización

Cia: Clorización      Ser: Sulfatización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.

4. Moderada.- La reacción es visible y audible.

5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas o baja espuma.

6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar



**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**



FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 28 Julio 2014 2. Hora 10:26 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE-25-Jal 5. Municipio Aguiles Serdán

6. Tipo de material  Rs  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE  SA  Otro \_\_\_\_\_

8. Coordenadas X 420726 Y 3104361 W 1561

8.1 UTM \_\_\_\_\_ 8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_ 8.3 Altitud (msnm) cima \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9. Tenencia de la tierra  Priv.  Eji  Gob. Otra o especifique: Presca de Jales Nueva

10. Tipo de Vegetación ninguna

11. Relieve  Mo  Sie  Ce  Dep  Va  Can \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Ham. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) gris

17. Reacción al HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios  Secundarios

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

20. Humedad  Si  No

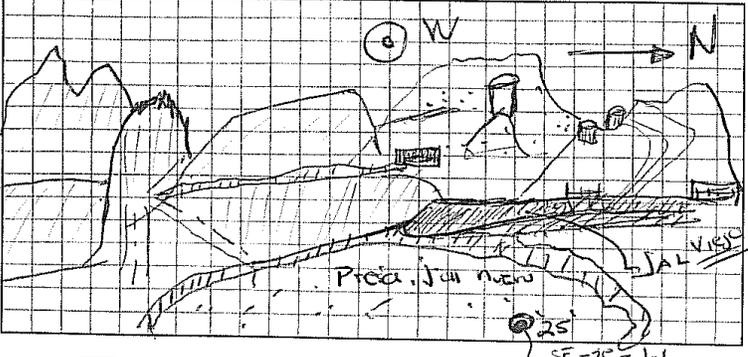
21. Dimensiones (m): Largo \_\_\_\_\_ Ancho 4m Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura { Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva

Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: No hay descarga de material.  
Preguntar cuando dejaron de descargar

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFÍA



**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo

DC: Cuesta de campo      Es: Esconia

St: Saur      Te: Terrero

Es: Mpio. Escaregua      Ja: Jales

Dc: División      Arg: Argilización      Item: Itemización

Clz: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula - No hay efervescencia visible o audible.

2. Muy débil - Efervescencia audible, pero no visible.

3. Débil - Efervescencia audible, poca visible.

4. Moderada - La reacción es visible y audible.

5. Fuerte - Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.

6. Muy fuerte - Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

consecutiva 44



**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**



**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha: 28 Julio 2014 a Hora: 12:28

2. Fotografías (No de Id): \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

3. Municipio: Aguilés Serdón

4. No. Inventario: SE26-Scl

5. Localidad:  AS  SE   Otro

6. Tipo de material:  Rs  Es  Te  Ja  Otro

7. Coordenadas

8.1 UTM X: 420245 Y: 3163519 3163519

8.2 Geográficas N: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (manm) cima: 1502

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra:  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación: Ocotillo, gobernadora, pirul  Mo  Sie  Ca especifique: \_\_\_\_\_

11. Relieve:  Dep  Va  Ser

12. Aprovechamientos hídricos:  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo:  Agrícola  Residencial  Industrial. Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión:  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración:  Ox  Cla  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito): gris morado  Primarios  Secundarios

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes:  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique: \_\_\_\_\_

19. Presencia de mat. parental:  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique: \_\_\_\_\_

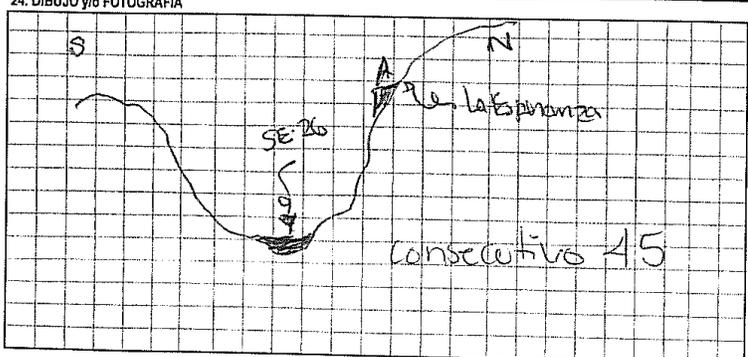
20. Humedad:  Si  No

21. Dimensiones (m): Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura: Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.8 a 2)  Arenas (1.8 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: No presenta asociación a presencia de jales

**24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA**



**Nomenclatura**

SP: San Pedro      RS: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      ES: Escoria  
 SA: Saúz      TE: Terreno  
 ES: Mpio. Escarrega      JA: Jales

DE: Desección      ARG: Argilización      HEM: Hemisulfación  
 CL: Clarificación      SER: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil.- Efervescencia audible, poca visible.  
 4. Moderada.- La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

manm: metros sobre el nivel del mar



**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha: \_\_\_\_\_ 2. Hora: \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id): \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario: SE28 RS 5. Municipio: Aguilares Sordán

6. Tipo de material:  RS  Es  Te  Ja  Otro

7. Localidad:  AS  SE   Otro

8. Coordenadas

8.1 UTM X: 421816 Y: 3164113 1418mts

8.2 Geográficas N: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_

8.3 Altitud (msnm) cima: \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra:  Priv.  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación: \_\_\_\_\_

11. Relieve:  Mo  Ste  Ca. especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos:  Río  Bordo  Manantial

13. Uso de suelo:  Agrícola  Residencial  Industrial

14. Elementos de erosión:  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración:  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito): anaranjado en la sup. y gris bajo

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%) [1] [2] [3] [4] [5] [6] H2O2 (al 5%) [1] [2] [3] [4] [5] [6]

18. Principales minerales presentes:  Primarios  Secundarios

19. Presencia de mat. parental:  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica

20. Humedad:  Si  No

21. Dimensiones (m): Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura: Forma:  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajoso  Masiva

Tamaño:  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Segunda zona de acomulación de material en el cauce del arroyo después de la presa de jales. 2 muestras en perfiles

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFÍA

Corresponde a los consecutivos 48, 49

<b>Nomenclatura</b>	
SP: San Pedro	Rz: Residuo
CC: Cuesta de campo	Es: Escoria
Sa: Sauz	Te: Tierra
Es: Mpio. Escarcega	Ja: Jales
De: Duidación	Arg: Argilización
Cl: Clorización	Ser: Serulización
<b>Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	
1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.	
2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.	
3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.	
4. Moderada.- La reacción es visible y audible.	
5. Fuerte.-Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.	
6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.	
msnm: metros sobre el nivel del mar	



**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALÚRGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**



**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 28/07/2014 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE 29 Rs 5. Municipio Agua Sedán

6. Tipo de material  RS  Es  Te  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE    Otro \_\_\_\_\_

8.1 UTM X 423799 8. Coordenadas Y 3163320

8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ W 1341

8.3 Altitud (msnm) cima \_\_\_\_\_

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Pr  Eji  Gob. Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación \_\_\_\_\_

11. Relieve  Mo  Sie  Ce. especifique: Cabeza del arroyo

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial. Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrilamiento  Drenaje ácido de roca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem. Otra: poca oxidación en el depósito

16. Color (depósito) rojo y naranja claro

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios  Secundarios

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica. Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  Si  No

21. Dimensiones (m): Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Altura \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

22. Estructura { Forma:  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva  
Tamaño:  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Gravias (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: el arroyo está conformado por acumulaciones de mineral de jala y sedimentos (forma vetillas de colores)  
Zona de acumulación sobre cabece del arroyo

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

Corresponde al consecutivo 50.

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      Rs: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
 Sa: Saz      Te: Tervero  
 Es: Mpio. Escarrega      Jo: Jales  
 De: Dénitración      Arg: Argilización      Ham: Hematización  
 Cl: Clorización      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil.- Efervescencia audible, poca visible.  
 4. Moderada.- La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte.- Efervescencia audible y visible, formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar

**PROYECTO FORDECYT: "CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RESIDUOS MINEROS-METALURGICOS RELACIONADOS A MINERA SANTA EULALIA"**

**FICHA DE CAMPO: EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**

**DATOS GENERALES**

1. Fecha 28/07/2014 2. Hora \_\_\_\_\_ 3. Fotografías (No de Id) \_\_\_\_\_

4. No. Inventario SE30 Rs 5. Municipio Aguilés Sordán

6. Tipo de material  Es  Ta  Ja  Otro \_\_\_\_\_ 7. Localidad  AS  SE   Otro \_\_\_\_\_

8.1 UTM X 223945 8.2 Geográficas N \_\_\_\_\_ Y 3162966 8.3 Altitud (msnm) clima \_\_\_\_\_ W 1327mts

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

9.- Tenencia de la tierra  Eji  Gob  Otra o especifique: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Vegetación oculto

11. Relieve  Mo  Sie  Ce  Dep  Va  Cañ  Especifique: \_\_\_\_\_

12. Aprovechamientos hídricos  Río  Bordo  Manantial  Arroyo  Presa  Pozo

13. Uso de suelo  Agrícola  Residencial  Industrial  Especifique: \_\_\_\_\_

14. Elementos de erosión  Carcavas  Hudimientos  Agrietamiento  Drenaje ácido de roca generación de costra blanca

**DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

15. Tipo de alteración  Ox  Clo  Arg  Ser  Hem  Otra: \_\_\_\_\_

16. Color (depósito) oxidado y blanco parte superior

17. Reacción al contacto con: HCl (al 10%)  1  2  3  4  5  6  
H2O2 (al 5%)  1  2  3  4  5  6

18. Principales minerales presentes  Primarios  Secundarios

19. Presencia de mat. parental  Sedimentaria  Ignea  Metamórfica  Especifique \_\_\_\_\_

20. Humedad  parte interm  No

21. Dimensiones (m):  Largo  Ancho  Altura  Volumen

22. Estructura  Forma  Laminar  Cúbica  Prismática  Columnar  Bloq. Angulares  Bloq. Subangulares  Granular  Migajosa  Masiva

Tamaño  Bloques (2048 a 256)  Cantos (255 a 64)  Bravas (63.9 a 2)  Arenas (1.9 a 0.062)  Limos (0.061 a 0.004)  Arcillas (0.003 a 0.0024)

23. Observaciones: Sobre el cauce del arroyo zona de acumulación después de la presa de jales. Se tomaron 2 muestras en perfiles

24. DIBUJO y/o FOTOGRAFIA

Corresponde al consecutivo 50, 51

**Nomenclatura**

SP: San Pedro      R: Residuo  
 CC: Cuesta de campo      Es: Escoria  
 Sa: Saur      Te: Tervero  
 Es: Mpio. Escarrega      Jo: Jales  
 Oc: Oclación      Arg: Argilización      Hem: Hemoxidación  
 Dia: Diferenciación      Ser: Seritización

**Reacción de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

1. Nula.- No hay efervescencia visible o audible.  
 2. Muy débil.- Efervescencia audible, pero no visible.  
 3. Débil.- Efervescencia audible, poco visible.  
 4. Moderada.- La reacción es visible y audible.  
 5. Fuerte.-Efervescencia audible y visible. formación de burbujas a baja espuma.  
 6. Muy fuerte.- Efervescencia extremadamente fuerte y por lo general las partículas de carbonato son claramente visibles.

msnm: metros sobre el nivel del mar



**Anexo 12. Resultados de pH**

ID Campo	Clave	Tipo	pH
1	SE01-Te	Terrero	9.48
2	SE04A-Rs	Residuo histórico	8.26
3	SE04B-Rs	Residuo histórico	9.21
4	SE04C-Rs	Residuo histórico	9.49
5	SE05-Sd	Sedimento	9.54
6	SE06-Sd	Sedimento	9.7
7	SE07-Sd	Sedimento	9.15
8	SE08-Sd	Sedimento	8.34
9	SE09-Sd	Sedimento	8.58
10	SE10B-Sd	Sedimento APJ	8.3
11	SE10A-Sd	Sedimento APJ	9.37
12	SE11-Sd	Sedimento APJ	7.58
16	SE15-Te	Terrero	9.11
17	SE16-Sd	Sedimento SNAP	9.4
18	SE17-Te	Terrero	9.6
19	SE18-Te	Terrero	9.45
20	SE19-Jal	Jal Fresco	9.11
21	SE20A-Sd	Sedimento SNAP	9.1
22	SE20B-Sd	Sedimento SNAP	9.34
23	SE21-Te	Terrero	9.01
24	SE22-Te	Terrero	8.85
25	SE23-Sd	Sedimento SNAP	9.5
26	SE12A-S-Jal	Jal Antiguo	6.84
27	SE12A-T-Jal	Jal Antiguo	8.15

ID Campo	Clave	Tipo	pH
28	SE12A-I-Jal	Jal Antiguo	7.62
29	SE12B-S-Jal	Jal Antiguo	7.49
30	SE12B-T-Jal	Jal Antiguo	7.89
31	SE12B-I-Jal	Jal Antiguo	8.27
32	SE12C-S-Jal	Jal Antiguo	8.16
33	SE12C-T-Jal	Jal Antiguo	8.19
34	SE12C-I-Jal	Jal Antiguo	8.79
40	SE24-S-Jal	Jal Antiguo	6.74
41	SE24-I-Jal	Jal Antiguo	7.72
42	SE24-D-S-Jal	Jal Antiguo	6.52
43	SE24-D-I-Jal	Jal Antiguo	6.93
44	SE25-Jal	Jal Fresco	8.05
45	SE26-Sd	Sedimento SNAP	8.66
46	SE27A-Sd	Sedimento APJ	6.31
47	SE27B-Sd	Sedimento APJ	3.11
48	SE28-I-Sd	Sedimento APJ	7.27
49	SE28-S-Sd	Sedimento APJ	6.27
50	SE29-Sd-Sd	Sedimento APJ	7.03
51	SE30-S-Sd	Sedimento APJ	7.69
52	SE30-I-Sd	Sedimento APJ	7.09
53	SE31-Jal	Jal	7.79
54	CCC	Cabeza ciclón	7.11
55	CCF	Concentrado final	9.27
56	CCP	Concentrado plomo	8.41
57	CCZ	Concentrado zinc	8.23

## Anexo 13. Resultados de análisis total

Verificación de control de calidad				
Elementos	Longitud de onda (nm)	Modo de lectura	Límite Inferior de Cuantificación del Método (L.I.C.) en mg/kg	Límite Superior de Cuantificación del Método (L.S.C.) en mg/kg
Ag	328.07	Axial	1.99	493.73
Al	396.15	Radial	11.12	62671.22
As	193.76	Radial	10.74	6384.54
Ba	455.4	Radial	24.38	6224.65
Ca	184.01	Radial	18.51	123784.28
Cd	226.5	Radial	11.97	494.85
Co	228.62	Axial	1.75	494.9
Cr	284.33	Axial	9.34	1243.23
Cu	224.7	Radial	9.71	2494.46
Fe	238.2	Radial	12.46	122196.62
K	766.49	Radial	33.21	61809.07
Mg	279.55	Radial	2.58	12209.23
Mn	257.61	Radial	2.43	6159.75
Na	589	Radial	14.8	61030.66
Ni	231.6	Radial	9.41	498.17
P	185.94	Radial	11.52	62445.56
Pb	220.35	Radial	9.71	62771.32
Sb	206.83	Axial	2.56	497.49
Sc	363.08	Axial	2.01	248.61
Si	212.41	Radial	126.53	61546.75
Sr	407.77	Radial	3.07	12160.08
Ti	336.12	Radial	13.01	6189.93
V	290.88	Axial	9.76	1247.17
Zn	202.55	Radial	12.87	62512.33

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Elemento	Montana Soil 2710 A			Basalt Columbia River BCR-2			Granodiorite, Silver Plume Colorado, GSP-2		
	Concentración (mg/kg)		% Rec.	Concentración (mg/kg)		% Rec.	Concentración (mg/kg)		% Rec.
	Certificado	Obtenida		Certificado	Obtenida		Certificado	Obtenida	
Ag	40	25.95	<b>64.88</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>
Al	59500	49211.84	<b>82.71</b>	71400	42844.56	<b>60.01</b>	78800	47370.29	<b>60.11</b>
As	1500	1653.26	<b>110.22</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>
Ba	792	707.03	<b>89.27</b>	638	588.14	<b>92.18</b>	1340	1006.76	<b>75.13</b>
Ca	9600	9803.3	<b>102.12</b>	50900	42024.64	<b>82.56</b>	15000	10864.25	<b>72.43</b>
Cd	12.3	< L.I.C.	<b>&lt; L.I.C.</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>
Co	5.99	7.44	<b>124.19</b>	37	55.14	<b>149.03</b>	7.3	10.37	<b>142.05</b>
Cr	23	< L.I.C.	<b>N/A</b>	18	< L.I.C.	<b>N/A</b>	20	< L.I.C.	<b>N/A</b>
Cu	3400	3078.08	<b>90.53</b>	19	< L.I.C.	<b>N/A</b>	43	32.17	<b>74.82</b>
Fe	43200	45164.11	<b>104.55</b>	96600	97736.84	<b>101.18</b>	34300	35517.62	<b>103.55</b>
K	21700	16753.37	<b>77.2</b>	14900	13440.25	<b>90.2</b>	44800	35932.94	<b>80.21</b>
Mg	7300	6684.12	<b>91.56</b>	21600	11966.54	<b>55.4</b>	5800	3679.35	<b>63.44</b>
Mn	2100	1870.8	<b>89.09</b>	248	1318.29	<b>531.57</b>	320	258.96	<b>80.93</b>
Na	8900	7168.74	<b>80.55</b>	23400	15925.15	<b>68.06</b>	20600	14159.43	<b>68.74</b>
Ni	8	< L.I.C.	<b>N/A</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>	17	< L.I.C.	<b>N/A</b>
P	1100	1264.33	<b>114.94</b>	1500	1661.71	<b>110.78</b>	1300	1452.77	<b>111.75</b>
Pb	5500	5338.56	<b>97.06</b>	11	< L.I.C.	<b>N/A</b>	42	73.27	<b>174.45</b>
Sb	52.5	44.68	<b>85.1</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>	N/A	< L.I.C.	<b>N/A</b>
Sc	9.9	8.58	<b>86.69</b>	33	25.29	<b>76.64</b>	6.3	4.5	<b>71.38</b>
Si	311000	61823.42	<b>19.88</b>	253000	57697.36	<b>22.81</b>	311000	114962.45	<b>36.97</b>
Sr	255	198.08	<b>77.68</b>	346	232.19	<b>67.11</b>	240	149.26	<b>62.19</b>
Ti	3100	1663.24	<b>53.65</b>	13500	9823.1	<b>72.76</b>	4000	2675.45	<b>66.89</b>
V	82	65.72	<b>80.15</b>	416	373.66	<b>89.82</b>	52	42.06	<b>80.89</b>
Zn	4200	4073.98	<b>97</b>	127	140.54	<b>110.66</b>	120	115.22	<b>96.02</b>

Certificado = Concentración del certificado del material de referencia. Obtenida= Concentración obtenida en esta investigación.  
 % Rec. = Por ciento de recuperación. L.I.C. = Límite inferior de cuantificación. N/A = No disponible tras el análisis.

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico									
			X	Y	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
1	SE01	Terrero	418538	3165203	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	869.23	2194.76	7192.76	<L.I.C	9330.60	789.09	353701.67
2	SE04A	Residuo histórico	420214	3164840	16.37	<L.I.C	<L.I.C	4197.83	17083.89	4862.04	45.96	19269.00	7610.22	165374.35
3	SE04B	Residuo histórico	422169	3166629	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2962.44	14845.39	5193.04	113.37	9862.33	9780.73	276654.37
4	SE04C	Residuo histórico	424470	3166791	17.74	<L.I.C	<L.I.C	2099.26	20808.37	23389.04	<L.I.C	4921.74	9502.42	130930.93
16	SE15	Terrero	420682	3165352	34.26	<L.I.C	<L.I.C	4840.54	12599.06	16855.40	<L.I.C	80012.39	4420.16	134817.26
18	SE17	Terrero	420157	3163351	<L.I.C	<L.I.C	66.88	1653.19	2946.11	20701.35	12.73	5000.00	1176.69	505000.00
19	SE18	Terrero	421502	3164372	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	460.50	999.85	3070.76	<L.I.C	8181.29	62.76	373078.49
23	SE21	Terrero	419948	3163983	19.75	<L.I.C	<L.I.C	1918.13	23218.87	29455.63	<L.I.C	4780.67	45591.04	10301.25
24	SE22	Terrero	420005	3164201	<L.I.C	<L.I.C	470.82	2013.93	<L.I.C	25759.83	241.34	6827.77	37475.83	41447.15
5	SE05	Sedimento SNAP	422169	3162752	<L.I.C	<L.I.C	5652.34	3927.02	40634.03	28386.50	183.04	4648.51	19630.58	163718.18
6	SE06	Sedimento SNAP	424470	3162836	<L.I.C	<L.I.C	7094.04	3552.53	38783.25	24505.72	179.82	4148.99	19731.64	154960.36
7	SE07	Sedimento SNAP	424171	3162840	<L.I.C	<L.I.C	19788.57	7029.10	71200.69	16695.54	391.28	3906.85	24563.53	66968.65
8	SE08	Sedimento APJ	423975	3164054	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7030.31	19379.48	2152.41	56.85	151087.54	7903.25	198641.08
9	SE09	Sedimento APJ	428934	3164040	<L.I.C	<L.I.C	5337.47	6825.33	37807.77	6780.51	167.32	52692.15	15085.89	124195.41
10	SE10A	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	<L.I.C	714.07	6233.21	18856.65	42152.33	<L.I.C	72844.43	7915.58	160215.15
11	SE10B	Sedimento APJ	422780	3164054	59.06	<L.I.C	8557.95	4821.50	38630.09	25509.03	<L.I.C	6753.71	19488.41	68883.15
12	SE11	Sedimento APJ	422726	3164040	<L.I.C	<L.I.C	1566.75	5374.67	24275.40	7593.79	85.95	116894.60	8862.88	127345.60
17	SE16	Sedimento SNAP	419909	3163247	35.20	<L.I.C	140.25	4840.54	16942.75	16855.40	20.07	80012.39	4420.16	134817.26
21	SE20A	Sedimento SNAP	416987	3164373	34.85	<L.I.C	9065.05	1812.06	36823.60	17554.33	<L.I.C	<L.I.C	29925.21	13430.88
22	SE20B	Sedimento SNAP	417090	3165479	58.93	<L.I.C	7200.07	4799.70	54093.60	36190.95	<L.I.C	<L.I.C	21202.18	32638.73
25	SE23	Sedimento SNAP	418226	3164988	49.22	<L.I.C	9175.43	2596.48	58930.02	22006.05	185.32	1397.75	23388.39	38127.48
45	SE26	Sedimento SNAP	420245	3163519	82.83	<L.I.C	13359.23	6038.29	52719.68	37498.65	723.87	<L.I.C	23325.50	53792.95
46	SE27A	Sedimento APJ	421779	3164025	10.08	<L.I.C	<L.I.C	1776.85	7003.19	12851.76	<L.I.C	97594.10	2775.77	122557.39
47	SE27B	Sedimento APJ	421792	3164053	8.38	<L.I.C	<L.I.C	1506.86	5725.84	5346.49	<L.I.C	113424.55	2443.48	115906.74
49	SE28-S	Sedimento APJ	421816	3164113	16.02	<L.I.C	<L.I.C	3760.80	11433.72	41560.62	<L.I.C	89498.22	3634.92	145884.66
48	SE28-I	Sedimento APJ	421816	3164113	21.89	<L.I.C	<L.I.C	5865.10	10881.96	29592.00	<L.I.C	65493.94	5227.96	148342.75
50	SE29	Sedimento APJ	423799	3163320	32.98	<L.I.C	1714.86	6003.71	22325.15	80718.12	<L.I.C	52329.27	11515.23	143471.74
51	SE30-S	Sedimento APJ	423945	3162966	22.28	<L.I.C	<L.I.C	7296.60	11257.05	26720.06	<L.I.C	56341.45	5701.15	167267.46
52	SE30-I	Sedimento APJ	424091	3162966	21.57	<L.I.C	<L.I.C	8094.12	8517.25	53466.76	<L.I.C	29440.47	3991.60	241664.50

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico									
			X	Y	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca
13	SE12A	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	239.51	7864.84	23782.21	4732.22	94.99	71836.57	12510.75	214816.13
14	SE12B	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	1336.74	7768.19	26794.75	5341.30	154.39	91590.72	12026.03	177797.55
15	SE12C	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	<L.I.C	1206.37	9399.99	20515.79	4222.51	192.74	36180.04	6923.05	258908.31
20	SE19	Jal Fresco	420825	3164373	<L.I.C	<L.I.C	222.98	4219.90	9843.90	43055.91	<L.I.C	55132.26	3679.54	168626.74
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	100.81	1692.88	14029.32	9006.68	<L.I.C	59999.55	5925.02	120243.52
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	503.24	4218.24	<L.I.C	27024.92	39.50	50701.94	11662.98	122419.42
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	1783.26	4692.85	<L.I.C	26699.70	168.36	43368.03	7094.79	155181.35
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	148.61	3667.29	<L.I.C	5903.96	58.69	49590.07	7752.15	162977.11
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	178.69	4191.67	10952.32	14829.94	<L.I.C	56934.94	4176.31	170673.00
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	3916.15	10737.71	37707.42	<L.I.C	54516.23	4339.77	172674.36
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	<L.I.C	469.85	5074.19	<L.I.C	32789.02	43.62	57157.61	8333.00	160420.37
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	<L.I.C	350.02	3858.93	<L.I.C	5652.06	34.53	46763.70	10243.08	152464.96
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	420507	3164379	22.08	<L.I.C	<L.I.C	5785.52	11740.37	10401.87	<L.I.C	112465.55	5751.22	131712.17
40	SE24-S	Jal Antiguo	420500	3164362	18.50	<L.I.C	<L.I.C	5517.12	9895.36	5100.62	<L.I.C	107506.98	3388.24	120238.72
41	SE24-I	Jal Antiguo	420500	3164362	27.36	<L.I.C	<L.I.C	6669.34	13919.42	34948.66	<L.I.C	91394.00	7192.36	147774.96
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	420500	3164362	13.35	<L.I.C	1800.86	5920.40	10778.81	1472.10	<L.I.C	130599.47	2810.10	117285.15
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	420500	3164362	23.42	<L.I.C	<L.I.C	6839.99	12022.42	10787.53	<L.I.C	100592.09	5540.66	122765.03
44	SE25	Jal Fresco	420726	3164361	24.23	<L.I.C	<L.I.C	3813.12	9751.76	72136.61	<L.I.C	85054.36	4687.20	189759.55
53	SE31	Jal Fresco	420713	3164106	37.66	<L.I.C	<L.I.C	4162.88	19051.90	49479.11	<L.I.C	25415.52	11868.88	145529.11
54	CCC	Cabeza ciclón	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4140.86	6994.23	7062.60	<L.I.C	86754.37	918.65	2367.37
55	CCF	Concentrado	-----	-----	26.51	<L.I.C	<L.I.C	4696.45	10464.03	76638.45	<L.I.C	68593.52	204.01	4607.69
56	CCP	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	365.55	394.70	<L.I.C	<L.I.C	102355.96	14695.02	<L.I.C
57	CCZ	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	293.91	328.22	<L.I.C	<L.I.C	273742.76	2258.78	<L.I.C

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico										
			X	Y	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As
1	SE01	Terrero	418538	3165203	<L.I.C	84.17	<L.I.C	<L.I.C	2955.36	1682.87	<L.I.C	<L.I.C	27.33	452.53	142.22
2	SE04A	Residuo histórico	420214	3164840	<L.I.C	272.80	35.70	<L.I.C	8418.08	127759.66	25.46	<L.I.C	2924.09	61746.52	2701.72
3	SE04B	Residuo histórico	422169	3166629	<L.I.C	743.61	27.05	<L.I.C	7860.82	36728.88	<L.I.C	<L.I.C	231.15	24797.39	771.80
4	SE04C	Residuo histórico	424470	3166791	33.41	429.74	373.64	<L.I.C	6466.45	131326.52	20.01	<L.I.C	1653.56	53929.86	2055.83
16	SE15	Terrero	420682	3165352	40.03	117.56	<L.I.C	<L.I.C	5094.98	119772.78	15.62	<L.I.C	371.32	4742.71	2168.26
18	SE17	Terrero	420157	3163351	<L.I.C	157.60	35.18	<L.I.C	889.92	5849.65	<L.I.C	<L.I.C	75.07	1433.41	64.21
19	SE18	Terrero	421502	3164372	<L.I.C	65.51	<L.I.C	<L.I.C	2521.93	1922.67	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	44.20	45.56
23	SE21	Terrero	419948	3163983	<L.I.C	657.22	<L.I.C	<L.I.C	9342.30	61174.34	10.48	<L.I.C	319.87	14725.75	1245.43
24	SE22	Terrero	420005	3164201	<L.I.C	666.62	49.67	<L.I.C	4163.27	89985.98	<L.I.C	<L.I.C	397.64	36202.19	3798.43
5	SE05	Sedimento SNAP	422169	3162752	<L.I.C	1312.70	24.04	<L.I.C	1509.93	14344.46	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1415.53	55.76
6	SE06	Sedimento SNAP	424470	3162836	<L.I.C	1550.66	32.51	<L.I.C	1318.80	15541.72	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	871.19	41.55
7	SE07	Sedimento SNAP	424171	3162840	<L.I.C	3606.53	69.17	<L.I.C	1178.63	37063.47	<L.I.C	<L.I.C	24.68	1155.19	110.77
8	SE08	Sedimento APJ	423975	3164054	<L.I.C	285.90	<L.I.C	<L.I.C	4830.77	150876.36	<L.I.C	<L.I.C	458.30	23147.93	1468.92
9	SE09	Sedimento APJ	428934	3164040	<L.I.C	1438.97	36.30	<L.I.C	4042.62	108448.94	<L.I.C	<L.I.C	460.53	13748.53	916.28
10	SE10A	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	252.08	<L.I.C	<L.I.C	4935.00	160905.02	<L.I.C	<L.I.C	608.68	26985.85	1395.57
11	SE10B	Sedimento APJ	422780	3164054	23.52	1091.12	20.12	<L.I.C	1723.06	36441.04	8.13	<L.I.C	244.47	6650.06	100.89
12	SE11	Sedimento APJ	422726	3164040	<L.I.C	694.29	<L.I.C	<L.I.C	4118.46	161096.91	<L.I.C	<L.I.C	724.25	27149.32	1084.11
17	SE16	Sedimento SNAP	419909	3163247	40.03	117.56	11.81	<L.I.C	5094.98	119772.78	<L.I.C	<L.I.C	371.32	4941.26	2083.05
21	SE20A	Sedimento SNAP	416987	3164373	4.76	1286.82	26.06	<L.I.C	489.00	20342.93	5.47	<L.I.C	<L.I.C	81.17	<L.I.C
22	SE20B	Sedimento SNAP	417090	3165479	12.69	940.74	<L.I.C	<L.I.C	582.76	18074.02	3.66	<L.I.C	<L.I.C	123.88	<L.I.C
25	SE23	Sedimento SNAP	418226	3164988	<L.I.C	1208.06	28.86	<L.I.C	750.62	13164.47	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	182.61	55.06
45	SE26	Sedimento SNAP	420245	3163519	20.99	1828.73	40.13	<L.I.C	908.88	25627.03	8.69	<L.I.C	<L.I.C	355.30	<L.I.C
46	SE27A	Sedimento APJ	421779	3164025	30.88	145.65	<L.I.C	<L.I.C	1842.05	180801.98	6.13	<L.I.C	531.31	10568.60	2092.94
47	SE27B	Sedimento APJ	421792	3164053	27.41	104.47	<L.I.C	<L.I.C	1448.88	191704.01	<L.I.C	<L.I.C	373.79	3469.63	3952.71
49	SE28-S	Sedimento APJ	421816	3164113	40.82	174.17	<L.I.C	<L.I.C	4003.20	167337.72	20.58	<L.I.C	1206.37	36136.07	1922.59
48	SE28-I	Sedimento APJ	421816	3164113	44.45	205.71	<L.I.C	<L.I.C	4675.60	123396.07	16.92	<L.I.C	450.54	30102.40	695.12
50	SE29	Sedimento APJ	423799	3163320	44.28	517.63	<L.I.C	<L.I.C	2930.34	95064.08	10.47	<L.I.C	340.58	15041.60	537.61
51	SE30-S	Sedimento APJ	423945	3162966	51.00	249.58	<L.I.C	<L.I.C	4059.47	114324.59	11.67	<L.I.C	331.53	14096.75	907.51
52	SE30-I	Sedimento APJ	424091	3162966	79.84	133.16	<L.I.C	<L.I.C	3156.26	58090.35	7.57	<L.I.C	486.74	11305.98	812.49

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico										
			X	Y	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As
13	SE12A	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	531.64	<L.I.C	<L.I.C	3641.78	83127.15	<L.I.C	<L.I.C	148.95	7438.45	949.18
14	SE12B	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	858.02	<L.I.C	<L.I.C	4820.86	90335.85	<L.I.C	<L.I.C	813.57	33888.72	767.99
15	SE12C	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	700.95	<L.I.C	<L.I.C	4695.11	66465.75	<L.I.C	<L.I.C	310.61	10309.55	794.22
20	SE19	Jal Fresco	420825	3164373	<L.I.C	117.69	54.80	<L.I.C	9734.02	163876.29	<L.I.C	<L.I.C	504.33	34417.55	1568.80
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	268.70	<L.I.C	<L.I.C	1918.53	170011.75	<L.I.C	<L.I.C	541.60	6034.61	1827.94
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	384.67	<L.I.C	<L.I.C	3644.97	119626.69	<L.I.C	<L.I.C	530.89	36140.61	822.83
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	1021.76	34.79	<L.I.C	3668.23	103358.57	<L.I.C	<L.I.C	362.60	35858.82	806.66
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	161.64	<L.I.C	<L.I.C	2661.66	128275.53	<L.I.C	<L.I.C	413.45	12447.09	581.44
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	143.44	<L.I.C	<L.I.C	2654.31	157419.26	<L.I.C	<L.I.C	284.68	5614.35	1106.11
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	150.61	<L.I.C	<L.I.C	2773.66	150423.12	<L.I.C	<L.I.C	335.56	9291.41	711.07
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	320.42	<L.I.C	<L.I.C	3655.28	131932.90	27.75	<L.I.C	741.81	25849.42	1894.54
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	220.37	<L.I.C	<L.I.C	3821.51	103769.36	<L.I.C	<L.I.C	567.96	22623.13	670.16
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	420507	3164379	36.77	156.15	<L.I.C	<L.I.C	3111.97	150272.33	18.66	<L.I.C	536.81	19187.66	1443.04
40	SE24-S	Jal Antiguo	420500	3164362	34.56	549.53	19.29	<L.I.C	3217.28	139934.94	12.48	<L.I.C	926.04	22489.80	1344.73
41	SE24-I	Jal Antiguo	420500	3164362	43.91	239.05	<L.I.C	<L.I.C	4483.67	125037.11	17.96	<L.I.C	557.75	21105.35	1880.19
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	420500	3164362	22.78	794.40	25.86	<L.I.C	2664.08	150264.37	18.54	<L.I.C	2187.54	33337.30	2140.51
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	420500	3164362	34.23	128.23	<L.I.C	<L.I.C	3499.68	141875.11	15.49	<L.I.C	405.73	20169.59	1815.49
44	SE25	Jal Fresco	420726	3164361	60.38	120.24	<L.I.C	<L.I.C	4988.94	100801.02	14.37	<L.I.C	252.64	5504.40	2107.15
53	SE31	Jal Fresco	420713	3164106	46.26	218.55	20.70	<L.I.C	4638.01	73368.82	7.80	<L.I.C	501.07	19413.77	756.52
54	CCC	Cabeza ciclón	-----	-----	176583.24	30.66	191.57	<L.I.C	<L.I.C	2104.73	71441.11	29.06	<L.I.C	72150.76	1932.01
55	CCF	Concentrado	-----	-----	237164.78	77.85	179.06	<L.I.C	<L.I.C	3181.18	84622.04	13.79	<L.I.C	5401.59	2344.99
56	CCP	Concentrado	-----	-----	4486.71	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	281.31	40366.27	32.86	<L.I.C	44005.40	1399.34
57	CCZ	Concentrado	-----	-----	5893.36	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2192.33	83489.29	123.92	<L.I.C	453010.07	<L.I.C

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico									
			X	Y	Se	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb
1	SE01	Terrero	418538	3165203	<L.I.C	80.07	<L.I.C	537.25						
2	SE04A	Residuo histórico	420214	3164840	<L.I.C	70.34	26.06	<L.I.C	661.42	43.76	104.82	126.88	<L.I.C	32820.70
3	SE04B	Residuo histórico	422169	3166629	<L.I.C	123.60	<L.I.C	<L.I.C	102.55	27.31	139.79	182.49	<L.I.C	44146.73
4	SE04C	Residuo histórico	424470	3166791	<L.I.C	67.42	<L.I.C	<L.I.C	225.76	58.21	166.33	180.53	<L.I.C	66448.25
16	SE15	Terrero	420682	3165352	<L.I.C	91.93	<L.I.C	24.54	45.82	<L.I.C	44.30	<L.I.C	<L.I.C	2199.66
18	SE17	Terrero	420157	3163351	<L.I.C	167.85	<L.I.C	<L.I.C	17.11	<L.I.C	<L.I.C	47.30	<L.I.C	412.73
19	SE18	Terrero	421502	3164372	<L.I.C	139.54	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	242.27	<L.I.C	112.18
23	SE21	Terrero	419948	3163983	<L.I.C	59.64	<L.I.C	<L.I.C	65.31	<L.I.C	318.89	277.06	<L.I.C	79454.11
24	SE22	Terrero	420005	3164201	<L.I.C	53.75	69.41	<L.I.C	204.87	41.04	373.84	433.46	<L.I.C	80394.52
5	SE05	Sedimento SNAP	422169	3162752	<L.I.C	160.14	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	199.96	<L.I.C	395.31
6	SE06	Sedimento SNAP	424470	3162836	<L.I.C	173.12	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	239.24	<L.I.C	316.76
7	SE07	Sedimento SNAP	424171	3162840	<L.I.C	254.65	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	588.55	<L.I.C	315.31
8	SE08	Sedimento APJ	423975	3164054	<L.I.C	183.70	<L.I.C	<L.I.C	153.00	<L.I.C	<L.I.C	61.09	<L.I.C	3311.87
9	SE09	Sedimento APJ	428934	3164040	<L.I.C	155.55	<L.I.C	<L.I.C	82.88	<L.I.C	28.45	192.06	<L.I.C	2147.84
10	SE10A	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	141.59	<L.I.C	<L.I.C	180.31	<L.I.C	28.36	66.09	<L.I.C	3729.67
11	SE10B	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	116.16	22.69	38.97	40.06	<L.I.C	12.93	245.69	<L.I.C	1156.29
12	SE11	Sedimento APJ	422726	3164040	<L.I.C	147.57	<L.I.C	<L.I.C	178.27	<L.I.C	31.36	93.07	<L.I.C	2936.31
17	SE16	Sedimento SNAP	419909	3163247	<L.I.C	91.93	<L.I.C	17.01	47.23	22.43	44.30	29.68	<L.I.C	2199.66
21	SE20A	Sedimento SNAP	416987	3164373	<L.I.C	90.56	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	116.23	<L.I.C	<L.I.C
22	SE20B	Sedimento SNAP	417090	3165479	<L.I.C	127.98	<L.I.C	7.75	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	164.27	<L.I.C	499.06
25	SE23	Sedimento SNAP	418226	3164988	<L.I.C	127.93	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	130.30	<L.I.C	472.77
45	SE26	Sedimento SNAP	420245	3163519	<L.I.C	125.36	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	379.10	<L.I.C	329.60
46	SE27A	Sedimento APJ	421779	3164025	<L.I.C	79.01	<L.I.C	12.71	51.28	<L.I.C	31.60	<L.I.C	<L.I.C	4400.13
47	SE27B	Sedimento APJ	421792	3164053	<L.I.C	62.46	<L.I.C	28.14	31.28	<L.I.C	53.09	<L.I.C	<L.I.C	9919.20
49	SE28-S	Sedimento APJ	421816	3164113	<L.I.C	85.35	<L.I.C	28.72	209.38	<L.I.C	24.76	<L.I.C	<L.I.C	3529.74
48	SE28-I	Sedimento APJ	421816	3164113	<L.I.C	119.17	<L.I.C	<L.I.C	181.59	<L.I.C	18.65	<L.I.C	<L.I.C	1902.58
50	SE29	Sedimento APJ	423799	3163320	6.89	137.28	<L.I.C	18.63	98.28	<L.I.C	22.35	128.28	<L.I.C	3007.64
51	SE30-S	Sedimento APJ	423945	3162966	6.89	127.86	<L.I.C	<L.I.C	92.71	<L.I.C	20.80	50.62	<L.I.C	3193.75
52	SE30-I	Sedimento APJ	424091	3162966	6.89	171.12	<L.I.C	15.36	81.60	<L.I.C	22.19	<L.I.C	<L.I.C	5133.90

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Elementos Químicos (Conc. Total en mg/kg) por número atómico									
					34	38	42	47	48	50	51	56	80	82
			X	Y	Se	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb
13	SE12A	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	201.88	<L.I.C	<L.I.C	33.67	<L.I.C	27.77	97.81	<L.I.C	1537.00
14	SE12B	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	171.67	<L.I.C	<L.I.C	216.78	<L.I.C	44.68	116.41	<L.I.C	10400.33
15	SE12C	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	223.48	<L.I.C	<L.I.C	61.61	<L.I.C	27.32	83.00	<L.I.C	4009.44
20	SE19	Jal Fresco	420825	3164373	<L.I.C	100.40	<L.I.C	<L.I.C	169.64	27.17	51.26	60.92	<L.I.C	7647.34
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	139.57	<L.I.C	<L.I.C	67.78	40.53	33.75	54.71	<L.I.C	3336.87
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	235.63	34.69	<L.I.C	91.90	<L.I.C	2809.03
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	135.82	<L.I.C	<L.I.C	191.48	<L.I.C	<L.I.C	59.82	<L.I.C	2718.32
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	87.01	<L.I.C	<L.I.C	85.26	27.54	<L.I.C	97.43	<L.I.C	2652.07
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	138.07	<L.I.C	<L.I.C	55.62	<L.I.C	<L.I.C	25.75	<L.I.C	2494.50
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	136.62	<L.I.C	<L.I.C	72.90	<L.I.C	<L.I.C	26.12	<L.I.C	1900.95
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	167.57	32.48	49.48	67.39	<L.I.C	4940.71
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	140.23	<L.I.C	<L.I.C	154.00	32.08	<L.I.C	75.25	<L.I.C	2641.25
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	115.83	<L.I.C	19.33	126.81	<L.I.C	50.39	<L.I.C	<L.I.C	5733.91
40	SE24-S	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	118.27	<L.I.C	<L.I.C	142.76	<L.I.C	24.92	<L.I.C	<L.I.C	2792.03
41	SE24-I	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	114.99	<L.I.C	15.75	140.33	<L.I.C	39.47	54.41	<L.I.C	4685.40
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	181.47	<L.I.C	13.15	170.99	<L.I.C	13.23	<L.I.C	<L.I.C	3699.62
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	99.80	<L.I.C	10.87	147.23	<L.I.C	31.47	<L.I.C	<L.I.C	3232.87
44	SE25	Jal Fresco	420726	3164361	<L.I.C	108.67	<L.I.C	19.38	38.97	<L.I.C	46.36	<L.I.C	<L.I.C	2057.89
53	SE31	Jal Fresco	420713	3164106	<L.I.C	91.34	<L.I.C	22.04	113.17	<L.I.C	30.83	97.50	<L.I.C	3895.49
54	CCC	Cabeza ciclón	-----	-----	<L.I.C	146.45	<L.I.C	23.71	385.41	<L.I.C	62.43	<L.I.C	<L.I.C	15702.05
55	CCF	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	130.19	<L.I.C	6.72	36.90	<L.I.C	44.73	<L.I.C	<L.I.C	2138.41
56	CCP	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	18.99	342.39	<L.I.C	858.61	<L.I.C	<L.I.C	54049.42
57	CCZ	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2425.12	<L.I.C	41.00	<L.I.C	<L.I.C	3429.63

**Anexo 14. Resultados de prueba de extracción de constituyentes tóxicos**

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Concentración Promedio (mg/L)											
			X	Y	Li	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Sc	Ti	Cr	Mn
1	SE01	Terrero	418538	3165203	<L.I.C	<L.I.C	5.68	9.54	43.21	30.51	30.69	282.93	<L.I.	<L.I.	<L.I.C	<L.I.C
2	SE04A	Residuo histórico	420214	3164840	0.20	<L.I.C	93.90	<L.I.C	57.91	3457.75	199.80	4397.64	1.42	<L.I.	<L.I.C	0.71
3	SE04B	Residuo histórico	422169	3166629	0.25	<L.I.C	36.97	<L.I.C	87.42	238.48	116.22	727.24	0.23	<L.I.	<L.I.C	0.51
4	SE04C	Residuo histórico	424470	3166791	0.56	<L.I.C	55.10	<L.I.C	44.83	199.78	279.64	727.05	0.23	<L.I.	<L.I.C	0.00
16	SE15	Terrero	420682	3165352	0.13	<L.I.C	37.44	<L.I.C	13.71	757.20	35.87	1170.06	0.36	<L.I.	<L.I.C	3.26
18	SE17	Terrero	420157	3163351	<L.I.C	<L.I.C	9.84	<L.I.C	10.45	23.27	10.90	493.75	0.15	<L.I.	<L.I.C	<L.I.C
19	SE18	Terrero	421502	3164372	<L.I.C	<L.I.C	5.11	7.33	31.27	22.93	9.68	350.43	0.11	<L.I.	<L.I.C	<L.I.C
23	SE21	Terrero	419948	3163983	<L.I.C	<L.I.C	9.94	<L.I.C	51.65	321.14	146.24	551.82	0.17	<L.I.	<L.I.C	0.32
24	SE22	Terrero	420005	3164201	<L.I.C	<L.I.C	6.12	<L.I.C	64.40	298.97	91.47	579.24	0.18	<L.I.	<L.I.C	<L.I.C
5	SE05	Sedimento SNAP	422169	3162752	0.25	61.90	15.47	<L.I.C	90.93	83.65	161.82	278.25	<L.I.	<L.I.	<L.I.C	<L.I.C
6	SE06	Sedimento SNAP	424470	3162836	0.11	28.51	13.13	22.22	122.89	26.43	87.44	237.57	<L.I.	0.14	<L.I.C	<L.I.C
7	SE07	Sedimento SNAP	424171	3162840	0.30	50.95	16.89	13.15	156.44	120.59	102.84	455.03	0.15	0.52	<L.I.C	<L.I.C
8	SE08	Sedimento APJ	423975	3164054	0.49	<L.I.C	185.07	<L.I.C	54.91	6961.90	242.85	8051.15	2.62	<L.I.	0.00	2.28
9	SE09	Sedimento APJ	428934	3164040	0.26	25.57	51.00	<L.I.C	61.02	644.41	205.24	1018.85	0.33	<L.I.	<L.I.C	1.17
10	SE10A	Sedimento APJ	422780	3164054	0.30	<L.I.C	172.88	<L.I.C	62.76	10856.11	244.04	12213.60	4.01	<L.I.	<L.I.C	33.99
11	SE10B	Sedimento APJ	422780	3164054	0.22	57.56	21.98	<L.I.C	67.59	256.62	180.56	516.51	0.16	<L.I.	<L.I.C	0.55
12	SE11	Sedimento APJ	422726	3164040	0.15	<L.I.C	71.18	<L.I.C	63.11	11339.00	104.95	12731.53	4.17	<L.I.	<L.I.C	41.55
17	SE16	Sedimento SNAP	419909	3163247	0.18	<L.I.C	30.71	128.65	339.11	20.80	101.80	252.85	<L.I.	2.97	<L.I.C	0.54
21	SE20A	Sedimento SNAP	416987	3164373	<L.I.C	23.72	14.83	55.28	201.23	19.73	68.65	359.20	0.12	0.43	<L.I.C	0.23
22	SE20B	Sedimento SNAP	417090	3165479	<L.I.C	<L.I.C	15.94	62.76	201.08	26.35	80.16	355.46	0.12	0.46	<L.I.C	0.30
25	SE23	Sedimento SNAP	418226	3164988	<L.I.C	<L.I.C	16.57	95.83	256.77	27.58	90.73	321.01	0.11	0.63	<L.I.C	0.58
45	SE26	Sedimento SNAP	420245	3163519	0.19	28.89	23.40	99.53	268.13	37.90	132.58	270.58	0.00	1.47	<L.I.C	0.43
46	SE27A	Sedimento APJ	421779	3164025	0.29	<L.I.C	152.01	24.73	55.52	13557.32	9.30	12521.72	3.87	0.14	<L.I.C	221.71
47	SE27B	Sedimento APJ	421792	3164053	0.31	<L.I.C	154.67	382.68	17.03	13795.93	<L.I.C	12644.02	3.77	0.23	0.57	193.71
49	SE28-S	Sedimento APJ	421816	3164113	0.30	<L.I.C	133.35	<L.I.C	35.90	11821.68	109.77	13605.40	4.10	0.14	<L.I.C	23.54
48	SE28-I	Sedimento APJ	421816	3164113	0.18	<L.I.C	61.46	<L.I.C	48.29	11990.03	50.89	13759.11	4.28	0.15	<L.I.C	67.48
50	SE29	Sedimento APJ	423799	3163320	0.28	<L.I.C	143.50	<L.I.C	25.63	11716.07	123.93	13287.07	4.06	0.13	<L.I.C	8.53
51	SE30-S	Sedimento APJ	423945	3162966	0.22	<L.I.C	159.11	<L.I.C	20.42	11303.78	83.76	12798.05	3.90	0.14	<L.I.C	6.67
52	SE30-I	Sedimento APJ	424091	3162966	0.29	<L.I.C	197.05	<L.I.C	29.29	12020.18	121.44	13454.92	4.00	0.13	<L.I.C	13.86

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Concentración Promedio (mg/L)												
			X	Y	Fe	Co	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb
1	SE01	Terrero	418538	3165203	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.78	0.06	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
2	SE04A	Residuo histórico	420214	3164840	1.03	<L.I.C	<L.I.C	7.33	<L.I.C	<L.I.C	0.12	<L.I.C	0.16	<L.I.C	<L.I.C	0.73	1.57
3	SE04B	Residuo histórico	422169	3166629	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.23	0.22	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.44	0.22	0.95
4	SE04C	Residuo histórico	424470	3166791	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.43	0.65	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.93	0.86
16	SE15	Terrero	420682	3165352	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.90	0.38	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.32	<L.I.C
18	SE17	Terrero	420157	3163351	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.30	0.05	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
19	SE18	Terrero	421502	3164372	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.83	<L.I.C						
23	SE21	Terrero	419948	3163983	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.40	0.06	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.22	<L.I.C
24	SE22	Terrero	420005	3164201	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.41	0.11	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.63	1.03
5	SE05	Sedimento SNAP	422169	3162752	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.00	0.09	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.14	<L.I.C
6	SE06	Sedimento SNAP	424470	3162836	4.50	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.05	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.23	<L.I.C
7	SE07	Sedimento SNAP	424171	3162840	5.88	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.42	0.08	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.41	<L.I.C
8	SE08	Sedimento APJ	423975	3164054	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.82	<L.I.C	7.57	1.16	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.47	<L.I.C
9	SE09	Sedimento APJ	428934	3164040	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.82	0.53	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.78	<L.I.C
10	SE10A	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	58.17	<L.I.C	11.89	0.30	<L.I.C	0.63	<L.I.C	<L.I.C	0.35	<L.I.C
11	SE10B	Sedimento APJ	422780	3164054	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.70	0.50	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.69	<L.I.C
12	SE11	Sedimento APJ	422726	3164040	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	160.37	<L.I.C	11.23	<L.I.C	<L.I.C	2.66	<L.I.C	<L.I.C	0.39	<L.I.C
17	SE16	Sedimento SNAP	419909	3163247	40.62	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.12	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.84	<L.I.C
21	SE20A	Sedimento SNAP	416987	3164373	17.19	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.59	0.02	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.16	<L.I.C
22	SE20B	Sedimento SNAP	417090	3165479	17.19	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.65	0.11	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.35	<L.I.C
25	SE23	Sedimento SNAP	418226	3164988	25.47	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.63	0.03	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.25	<L.I.C
45	SE26	Sedimento SNAP	420245	3163519	29.91	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.35	0.89	0.06	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.44	<L.I.C
46	SE27A	Sedimento APJ	421779	3164025	5.48	<L.I.C	0.59	3965.46	<L.I.C	9.04	<L.I.C	<L.I.C	9.81	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.87
47	SE27B	Sedimento APJ	421792	3164053	498.90	<L.I.C	16.38	982.18	<L.I.C	3.32	<L.I.C	<L.I.C	5.83	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
49	SE28-S	Sedimento APJ	421816	3164113	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	51.96	<L.I.C	13.65	0.24	<L.I.C	0.22	<L.I.C	<L.I.C	0.23	<L.I.C
48	SE28-I	Sedimento APJ	421816	3164113	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	375.09	<L.I.C	9.47	<L.I.C	<L.I.C	3.31	0.03	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
50	SE29	Sedimento APJ	423799	3163320	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	35.36	<L.I.C	10.62	0.30	<L.I.C	0.37	<L.I.C	<L.I.C	0.39	<L.I.C
51	SE30-S	Sedimento APJ	423945	3162966	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	32.52	<L.I.C	11.44	0.21	<L.I.C	0.22	<L.I.C	<L.I.C	0.27	<L.I.C
52	SE30-I	Sedimento APJ	424091	3162966	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	55.34	<L.I.C	12.28	0.35	<L.I.C	0.16	<L.I.C	<L.I.C	0.24	<L.I.C

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Concentración Promedio (mg/L)											
			X	Y	Li	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Sc	Ti	Cr	Mn
13	SE12A	Jal Antiguo	420555	3164337	0.38	<L.I.C	148.52	<L.I.C	41.22	11162.91	152.29	12395.72	3.98	<L.I.C	<L.I.C	11.14
14	SE12B	Jal Antiguo	420604	3164397	0.71	<L.I.C	125.85	<L.I.C	62.83	11153.56	274.79	12418.57	4.05	<L.I.C	<L.I.C	14.30
15	SE12C	Jal Antiguo	420507	3164379	0.41	<L.I.C	131.59	<L.I.C	43.00	11344.59	83.28	12923.18	4.21	<L.I.C	<L.I.C	23.73
20	SE19	Jal Fresco	420825	3164373	0.11	<L.I.C	42.37	<L.I.C	28.90	493.22	37.74	1078.76	0.34	<L.I.C	<L.I.C	3.37
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	420555	3164337	0.16	<L.I.C	283.15	<L.I.C	60.58	12337.97	44.90	13011.79	4.28	<L.I.C	<L.I.C	272.47
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	420555	3164337	0.52	<L.I.C	234.42	<L.I.C	29.53	12567.55	85.65	13610.10	4.35	<L.I.C	<L.I.C	38.39
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	420555	3164337	0.69	<L.I.C	323.28	<L.I.C	33.48	13537.73	79.84	14468.59	4.53	0.13	<L.I.C	36.25
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	420604	3164397	0.19	<L.I.C	128.99	<L.I.C	73.36	13368.56	52.06	15115.34	4.65	0.12	<L.I.C	79.68
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	420604	3164397	0.24	<L.I.C	262.65	<L.I.C	37.47	13542.99	62.27	14716.99	4.49	0.00	<L.I.C	22.85
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	420604	3164397	0.39	<L.I.C	349.85	<L.I.C	29.10	13387.01	77.05	14471.21	4.53	0.13	<L.I.C	10.20
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	420507	3164379	0.27	<L.I.C	105.84	<L.I.C	29.58	12749.76	63.91	14276.68	4.29	0.13	<L.I.C	31.69
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	420507	3164379	0.31	<L.I.C	149.91	<L.I.C	24.56	10827.88	80.13	12111.44	3.71	<L.I.C	<L.I.C	24.64
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	420507	3164379	0.24	<L.I.C	164.49	<L.I.C	16.93	2948.46	52.79	3401.64	1.03	<L.I.C	<L.I.C	3.21
40	SE24-S	Jal Antiguo	420500	3164362	1.22	<L.I.C	1386.30	<L.I.C	22.70	14361.19	39.94	13500.59	4.32	0.12	<L.I.C	166.89
41	SE24-I	Jal Antiguo	420500	3164362	0.91	<L.I.C	1174.81	<L.I.C	14.28	13951.40	64.03	13925.15	4.39	0.13	<L.I.C	17.01
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	420500	3164362	0.79	<L.I.C	546.89	<L.I.C	18.21	13873.62	27.63	13826.06	4.37	0.14	<L.I.C	182.11
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	420500	3164362	0.92	<L.I.C	1426.83	<L.I.C	5.70	13269.74	44.41	12669.01	4.01	0.12	<L.I.C	6.55
44	SE25	Jal Fresco	420726	3164361	0.18	<L.I.C	44.81	<L.I.C	15.03	2425.72	42.76	3222.69	1.04	<L.I.C	<L.I.C	5.53
53	SE31	Jal Fresco	420713	3164106	0.34	<L.I.C	52.18	<L.I.C	49.52	6617.73	96.05	7868.84	2.52	<L.I.C	<L.I.C	4.97
54	CCC	Cabeza ciclón	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	62.06	62.06	11.53	1034.35	87.75	1107.90	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
55	CCF	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	56.98	56.98	22.23	884.31	110.72	1158.99	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
56	CCP	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.49	1079.02	<L.I.C	808.67	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
57	CCZ	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.55	1086.95	<L.I.C	815.75	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

ID. campo	Nombre	Tipo	Coordenadas UTM		Concentración Promedio (mg/L)												
			X	Y	Fe	Co	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb
13	SE12A	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.55	<L.I.C	9.37	0.43	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.21	<L.I.C
14	SE12B	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	27.49	<L.I.C	11.12	0.18	<L.I.C	0.32	<L.I.C	<L.I.C	0.59	2.04
15	SE12C	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	0.14	<L.I.C	47.68	<L.I.C	8.99	0.23	<L.I.C	0.40	<L.I.C	<L.I.C	0.24	<L.I.C
20	SE19	Jal Fresco	420825	3164373	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.94	<L.I.C	2.01	0.38	<L.I.C	0.00	<L.I.C	<L.I.C	1.04	<L.I.C
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	1.48	<L.I.C	448.85	<L.I.C	11.50	0.00	<L.I.C	3.90	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	0.20	<L.I.C	89.83	<L.I.C	11.67	0.31	<L.I.C	0.71	<L.I.C	<L.I.C	0.25	<L.I.C
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	420555	3164337	<L.I.C	0.17	<L.I.C	44.01	<L.I.C	13.59	0.13	<L.I.C	0.00	<L.I.C	<L.I.C	0.30	<L.I.C
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	0.30	<L.I.C	104.46	<L.I.C	12.39	<L.I.C	<L.I.C	1.25	<L.I.C	<L.I.C	0.00	<L.I.C
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	0.16	<L.I.C	56.31	<L.I.C	14.22	0.03	<L.I.C	0.42	<L.I.C	<L.I.C	0.00	<L.I.C
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	420604	3164397	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.40	<L.I.C	15.14	0.03	<L.I.C	0.13	<L.I.C	<L.I.C	0.14	<L.I.C
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	0.19	<L.I.C	82.89	<L.I.C	11.25	0.14	<L.I.C	0.49	<L.I.C	<L.I.C	0.21	<L.I.C
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	0.24	<L.I.C	21.61	<L.I.C	9.05	0.08	<L.I.C	0.15	<L.I.C	<L.I.C	0.27	<L.I.C
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	420507	3164379	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	10.91	<L.I.C	4.24	0.17	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.39	0.25
40	SE24-S	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	0.72	<L.I.C	335.72	<L.I.C	23.27	0.00	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.00	<L.I.C
41	SE24-I	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	0.11	<L.I.C	49.79	<L.I.C	13.27	0.05	<L.I.C	0.76	<L.I.C	<L.I.C	0.26	0.00
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	1.13	0.82	1421.73	<L.I.C	19.28	<L.I.C	<L.I.C	16.82	0.03	<L.I.C	0.27	0.91
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	420500	3164362	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	36.49	<L.I.C	11.34	0.06	<L.I.C	1.41	<L.I.C	<L.I.C	0.15	<L.I.C
44	SE25	Jal Fresco	420726	3164361	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.09	0.35	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.41	<L.I.C
53	SE31	Jal Fresco	420713	3164106	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	11.52	<L.I.C	5.94	0.22	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.44	<L.I.C
54	CCC	Cabeza ciclón	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	3.06	0.55	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.35	0.61	1.13
55	CCF	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.45	0.65	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.41	0.35	<L.I.C
56	CCP	Concentrado	-----	-----	0.99	<L.I.C	0.70	26.12	<L.I.C	1.51	<L.I.C	0.52	0.51	<L.I.C	0.71	0.18	14.20
57	CCZ	Concentrado	-----	-----	<L.I.C	<L.I.C	0.39	16.86	<L.I.C	1.45	<L.I.C	0.46	0.42	<L.I.C	0.37	<L.I.C	5.78

**Anexo 15. Resultados de prueba de balance ácido-base**

1. Determinación potencial de neutralización

Id campo	Muestra	Tipo	pH	Peso (g)	Reacción HCl 25%	Volumen añadido				Vol añadido	PN
				PN		Va	Vb	Vc	Vf	mL NaOH 0.1N	
1	SE01	Terrero	9.48	0.8939	Fuerte	3	2	2.5	7.5	23	290.86
2	SE04A	Residuo histórico	8.26	0.8965	Moderado	2	2	0.5	4.5	17.5	153.37
3	SE04B	Residuo histórico	9.21	0.8937	Fuerte	3	2	4.5	9.5	20	419.6
4	SE04C	Residuo histórico	9.49	0.9044	Moderado	2	2	0.5	4.5	18.3	147.61
5	SE05	Sedimento SNAP	9.54	0.9144	Fuerte	3	2	1	6	24.5	194.12
6	SE06	Sedimento SNAP	9.7	0.9077	Fuerte	3	2	0	5	21	159.74
7	SE07	Sedimento SNAP	9.15	0.977	Moderado	2	2	0	4	-----	204.71
8	SE08	Sedimento APJ	8.34	0.8914	Fuerte	3	2	0	5	-----	280.46
9	SE09	Sedimento APJ	8.58	0.9187	Fuerte	3	2	0	5	20.5	160.55
10	SE10B	Sedimento APJ	8.3	0.9136	Fuerte	3	2	0	5	27.1	125.33
11	SE10A	Sedimento APJ	9.37	0.9069	Fuerte	3	2	0	5	25.5	135.08
12	SE11	Sedimento APJ	7.58	0.8947	Bajo	2	1	0	3	21.5	47.5
13	SE12A	Jal Antiguo	8.28	0.8948	Fuerte	3	2	1	6	21.2	216.81
14	SE12B	Jal Antiguo	8.36	0.9043	Fuerte	3	2	0.5	5.5	20	193.52
15	SE12C	Jal Antiguo	8.5	0.9013	Moderado	2	2	0.5	4.5	15	166.43
16	SE15	Terrero	9.11	0.893	Moderado	2	2	1.5	5.5	23.5	176.37
17	SE16	Sedimento SNAP	9.4	-----	Fuerte	3	2	0	5	-----	-----
18	SE17	Terrero	9.6	0.8968	Fuerte	3	2	0	5		278.77
19	SE18	Terrero	9.45	0.9829	Fuerte	3	2	4	9	23	340.83
20	SE19	Jal Fresco	9.11	0.8944	Moderado	2	2	0.5	4.5	18.5	148.14
21	SE20A	Sedimento SNAP	9.1	-----	Bajo	2	1	0	3	-----	-----
22	SE20B	Sedimento SNAP	9.34	-----	Bajo	2	1	0	3	-----	-----

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Id campo	Muestra	Tipo	pH	Peso (g)	Reacción HCl 25%	Volumen añadido				Vol añadido	PN
				PN		Va	Vb	Vc	Vf	mL NaOH 0.1N	
23	SE21	Terrero	9.01	0.9044	Bajo	2	1	0	3	25	27.64
24	SE22	Terrero	8.85	0.8884	Moderado	2	2	0	4	29.6	58.53
25	SE23	Sedimento SNAP	9.5	0.8886	Fuerte	3	2	0	5	31	106.91
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	6.84	0.9031	Bajo	2	1	0	3	31	-5.54
27	SE12A-D-T	Jal Antiguo	8.15	0.8904	Moderado	2	2	0	4	21	106.69
28	SE12A-D-I	Jal Antiguo	7.62	0.8915	Fuerte	3	2	0	5	24	145.82
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	7.49	0.8976	Moderado	2	2	0	4	25	83.56
30	SE12B-D-T	Jal Antiguo	7.89	0.8976	Fuerte	3	2	0	5	19	172.68
31	SE12B-D-I	Jal Antiguo	8.27	0.8924	Fuerte	3	2	0	5	17.1	184.33
32	SE12C-D-S	Jal Antiguo	8.16	0.8967	Fuerte	3	2	0	5	16.2	188.47
33	SE12C-D-T	Jal Antiguo	8.19	0.8967	Fuerte	3	2	0	5		278.8
34	SE12C-D-I	Jal Antiguo	8.79	0.8976	Fuerte	3	2	0	5	18.5	175.47
40	SE24-S	Jal Antiguo	6.74	0.898	Bajo	2	1	0	3	22	44.54
41	SE24-I	Jal Antiguo	7.72	0.8933	Moderado	2	2	0	4	16.6	130.98
42	SE24-D-S	Jal Antiguo	6.52	0.8954	Nulo	1	1	0	2	24	-22.34
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	6.93	0.8989	Moderado	2	2	0	4	23.3	92.89
44	SE25	Jal Antiguo	8.05	0.8923	Fuerte	3	2	1	6	21	218.54
45	SE26	Sedimento SNAP	8.66	0.8937	Nulo	1	1	0	2	17.5	13.99
46	SE27A	Sedimento APJ	6.31	0.8929	Nulo	1	1	0	2	21	-5.6
47	SE27B	Sedimento APJ	3.11	0.8996	Nulo	1	1	0	2	24.7	-26.12
48	SE28-I	Sedimento APJ	7.27	0.8953	Moderado	2	2	0	4	13.7	146.88
49	SE28-S	Sedimento APJ	6.27	0.8975	Nulo	1	1	0	2	16.16	21.39
50	SE29	Sedimento APJ	7.03	0.8941	Fuerte	3	2	0.5	5.5	16.5	215.3
51	SE30-S	Sedimento APJ	7.69	0.8928	Fuerte	3	2	0	5	16.3	188.73
52	SE30-I	Sedimento APJ	7.09	0.8877	Fuerte	3	2	2.5	7.5	19	315.42
53	SE31	Jal	7.79	0.895	Fuerte	3	2	0	5	17.9	179.33
54	CCC	Conc Cabeza ciclón	7.11	0.8901	Moderado	2	2	7	11	25	477.47
55	CCF	Conc Cola final	9.27	0.8944	Fuerte	3	2	0	5	22	156.53

2. Determinación del potencial de acidez

Id campo	Muestra	Peso	Vol dicromato	%S/S	PA
2	SE04A	1.003	0.2	1.28	39.85
8	SE08	1.001	1.5	9.58	299.51
10	SE10B	1.015	4.4	27.73	866.43
11	SE10A	1.003	1.1	7.01	219.20
13	SE12A	1.009	1.5	9.51	297.13
14	SE12B	1	3.6	23.03	719.53
15	SE12C	1.008	4	25.38	793.13
16	SE15	1	2.7	17.27	539.65
20	SE19	1.001	2.8	17.89	559.08
24	SE22	1.001	0.3	1.92	59.90
25	SE23	1.001	0.2	1.28	39.93
26	SE12A-D-S	1.002	0.6	3.83	119.68
29	SE12B-D-S	1.006	1.8	11.44	357.62
32	SE12C-D-S	1.003	2.5	15.94	498.18
42	SE24-D-S	1.002	4	25.53	797.88
43	SE24-D-I	1	3	19.19	599.61
45	SE26	1.014	1.2	7.57	236.53
46	SE27A	1.001	0.7	4.47	139.77
47	SE27B	1.003	0.5	3.19	99.64
49	SE28-S	1.009	4	25.36	792.35
50	SE29	1.01	3.3	20.90	653.04
51	SE30-S	1.005	2.5	15.91	497.19

N dicromato=0.19987

%S/S=(N dicromato) (meqS) (mL dicromato)/peso muestra

3. Generación de drenaje ácido

Muestra	Clave	Tipo	pH	PN	PA	PN/PA	Generación Drenaje ácido
2	SE04A	Residuo histórico	8.26	153.37	39.85	3.85	NO
8	SE08	Sedimento APJ	8.34	280.46	299.51	0.94	SÍ
10	SE10B	Sedimento APJ	8.30	125.33	866.43	0.14	SÍ
11	SE10A	Sedimento APJ	9.37	135.08	219.20	0.62	SÍ
16	SE15	Terrero	9.11	176.37	539.65	0.33	SÍ
20	SE19	Jal Fresco	9.11	148.14	559.08	0.26	SÍ
24	SE22	Terrero	8.85	58.53	59.90	0.98	SÍ
25	SE23	Sedimento SNAP	9.50	106.91	39.93	2.68	NO
26	SE12A-D-S	Jal Antiguo	6.84	-5.54	119.68	-0.05	SÍ
29	SE12B-D-S	Jal Antiguo	7.49	83.56	357.62	0.23	SÍ
32	SE12C-R2-S	Jal Antiguo	8.16	188.47	498.18	0.38	SÍ
42	SE24-D-S	Jal Viejo	6.52	-22.34	797.88	-0.03	SÍ
43	SE24-D-I	Jal Antiguo	6.93	92.89	599.61	0.15	SÍ
45	SE26	Sedimento SNAP	8.66	13.99	236.53	0.06	SÍ
46	SE27A	Sedimento APJ	6.31	-5.60	139.77	-0.04	SÍ
47	SE27B	Sedimento APJ	3.11	-26.12	99.64	-0.26	SÍ
49	SE28-S	Sedimento APJ	6.27	21.39	792.35	0.03	SÍ
50	SE29	Sedimento APJ	7.03	215.30	653.04	0.33	SÍ
51	SE30-S	Sedimento APJ	7.69	188.73	497.19	0.38	SÍ

### Anexo 16. Resultados de extracción secuencial de cationes y aniones

Residuo histórico						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	0.32	327.85	149.76	25.21
Na	18.80	84.91	14.47	1.25	<L.I.C	<L.I.C
Mg	86.21	63.19	263.33	525.49	276.26	2385.31
Al	<L.I.C	89.11	1089.16	1022.94	4.15	19286.86
Si	27.48	280.92	4479.58	1958.08	775.80	15128.43
P	<L.I.C	<L.I.C	44.51	1059.04	123.70	<L.I.C
S	3559.26	<L.I.C	<L.I.C	10.71	0.21	2768.64
K	171.19	355.34	53.63	0.73	<L.I.C	13781.52
Ca	4711.77	1127.69	7.20	8.15	51.57	53225.56
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	69.03	24.81	14.11
Ti	<L.I.C	<L.I.C	3.70	4.22	<L.I.C	362.00
V	<L.I.C	<L.I.C	6.48	4.11	<L.I.C	91.26
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	338.86	21.45	50.33
Mn	6.19	8.10	1971.26	1.61	0.84	1948.95
Fe	15.64	33.19	5376.75	11.93	1.91	132852.57
Co	<L.I.C	<L.I.C	6.06	0.70	<L.I.C	6.25
Ni	<L.I.C	<L.I.C	2.36	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Cu	<L.I.C	<L.I.C	663.13	23499.90	26.65	1988.57
Zn	31.15	<L.I.C	5910.08	4995.14	1988.34	16249.43
As	<L.I.C	<L.I.C	502.25	307.12	<L.I.C	2400.40
Sr	3.91	3.53	<L.I.C	<L.I.C	3.59	42.90
Mo	<L.I.C	<L.I.C	4.65	22.15	<L.I.C	24.53
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	17.05
Cd	<L.I.C	<L.I.C	7.04	1.51	1.19	323.01
Sn	<L.I.C	<L.I.C	4.30	12.91	5.13	191.96
Sb	<L.I.C	<L.I.C	5.30	<L.I.C	<L.I.C	137.17
Ba	1.98	3.99	25.44	10.72	2.40	109.25
Pb	21.02	13.51	299.16	405.60	6709.74	22985.52

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE18						
Terrero						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.06
Na	4.25	90.76	12.45	24.69	<L.I.C	<L.I.C
Mg	82.08	221.64	226.21	138.49	41.13	823.70
Al	15.46	87.09	33.45	70.31	28.42	1741.74
Si	27.69	1993.68	35.74	135.46	62.24	4638.32
P	<L.I.C	<L.I.C	14.10	<L.I.C	13.63	<L.I.C
S	18465.26	740.82	<L.I.C	<L.I.C	84.58	281.75
K	81.35	532.09	25.38	14.22	37.35	1232.03
Ca	21448.45	74454.62	1.78	63.73	12263.95	312523.08
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	99.01
Ti	0.73	0.00	0.87	1.91	1.10	116.21
V	<L.I.C	<L.I.C	18.32	3.12	0.35	12.96
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Mn	7.38	424.29	375.04	48.75	3.19	169.62
Fe	87.74	59.72	146.01	1613.61	25.54	4127.93
Co	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Ni	<L.I.C	<L.I.C	1.27	<L.I.C	0.74	<L.I.C
Cu	<L.I.C	3.80	26.27	19.81	0.00	30.33
Zn	44.78	13.06	454.75	385.69	2.61	689.80
As	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	44.56
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Sr	2.13	26.83	<L.I.C	0.00	10.69	145.80
Mo	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.56
Cd	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.26	13.88
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.01	6.43
Sb	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.45	<L.I.C	<L.I.C
Ba	0.86	2.54	2.62	1.79	2.90	31.58
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	12.25	15.66	<L.I.C
Pb	4.38	12.64	4.51	26.97	3.78	319.44

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE19						
Jal fresco						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	0.54	1.39	<L.I.C	29.87
Na	17.01	92.51	8.65	9.10	<L.I.C	<L.I.C
Mg	41.95	333.01	635.31	466.48	1022.63	2035.12
Al	<L.I.C	29.77	370.30	654.40	202.12	11302.49
Si	<L.I.C	<L.I.C	1417.04	2678.37	564.41	4906.43
P	16.74	48.17	37.96	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
S	445.04	790.21	<L.I.C	<L.I.C	38849.61	54649.87
K	40.98	496.95	35.64	40.29	40.33	7474.75
Ca	1372.13	124425.00	<L.I.C	41.70	21923.39	96892.71
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.02	26.08
Ti	<L.I.C	2.57	1.59	5.75	0.57	241.75
V	<L.I.C	<L.I.C	26.21	8.43	0.31	46.20
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Mn	10.87	82.57	2068.48	1040.05	1962.79	4158.12
Fe	32.18	40.00	7714.56	20065.01	6266.80	167251.79
Co	<L.I.C	<L.I.C	3.20	1.06	10.58	9.21
Ni	<L.I.C	<L.I.C	1.43	<L.I.C	4.96	<L.I.C
Cu	<L.I.C	<L.I.C	72.72	9.47	230.34	194.90
Zn	34.02	210.09	6275.61	3907.72	7933.05	6309.01
As	<L.I.C	<L.I.C	159.41	122.20	13.76	2189.49
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	69.24	<L.I.C
Sr	1.98	51.37	<L.I.C	0.58	9.91	69.55
Mo	<L.I.C	<L.I.C	1.06	1.63	<L.I.C	9.53
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.02	27.68
Cd	<L.I.C	<L.I.C	6.43	4.95	79.97	39.00
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.67	65.79
Sb	<L.I.C	<L.I.C	3.20	6.16	0.20	74.31
Ba	1.34	2.02	8.91	6.32	0.07	52.53
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	34.07	8.87	<L.I.C
Pb	10.80	79.61	243.38	660.73	123.84	4935.80

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE12A-D-S						
Jal antiguo						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.85	<L.I.C	12.83
Na	9.11	81.41	34.95	27.75	<L.I.C	336.42
Mg	264.29	61.46	118.83	195.05	141.79	1589.60
Al	9.36	64.35	681.32	617.39	302.10	16625.28
Si	<L.I.C	<L.I.C	460.92	1216.75	923.30	6431.50
P	4.12	28.18	<L.I.C	<L.I.C	16.01	<L.I.C
S	124789.00	27460.64	2739.79	5461.65	20748.10	34186.01
K	34.70	469.15	119.11	474.44	36.83	10375.71
Ca	124425.00	34473.25	24.26	13.05	4204.12	62893.01
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.05	16.30
Ti	0.86	<L.I.C	15.91	9.66	2.45	304.69
V	<L.I.C	<L.I.C	3.40	3.81	0.16	55.74
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.40	8.04
Mn	311.72	109.44	180.85	147.19	86.61	1843.31
Fe	65.53	56.30	23242.83	123714.00	3758.89	142003.63
Co	2.05	<L.I.C	1.50	1.54	3.45	5.70
Ni	1.91	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.29	<L.I.C
Cu	<L.I.C	16.13	77.54	68.88	143.29	376.08
Zn	852.34	890.34	1256.33	737.37	1346.62	1477.08
As	<L.I.C	<L.I.C	473.30	389.45	6.48	2513.22
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	20.50	<L.I.C
Sr	19.32	15.39	3.04	3.48	13.36	164.29
Mo	<L.I.C	<L.I.C	3.38	0.99	1.02	12.33
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	17.70	16.57
Cd	8.62	11.96	5.08	2.74	12.21	17.86
Sn	<L.I.C	<L.I.C	13.03	<L.I.C	5.31	64.24
Sb	<L.I.C	<L.I.C	6.36	2.42	<L.I.C	50.41
Ba	<L.I.C	0.91	0.90	2.65	0.12	86.68
Hg	<L.I.C	<L.I.C	2.21	13.81	16.28	<L.I.C
Pb	5.32	106.16	298.89	752.79	142.18	3435.51

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE12A-D-S						
Jal antiguo						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.85	<L.I.C	12.83
Na	9.11	81.41	34.95	27.75	<L.I.C	336.42
Mg	264.29	61.46	118.83	195.05	141.79	1589.60
Al	9.36	64.35	681.32	617.39	302.10	16625.28
Si	<L.I.C	<L.I.C	460.92	1216.75	923.30	6431.50
P	4.12	28.18	<L.I.C	<L.I.C	16.01	<L.I.C
S	124789.00	27460.64	2739.79	5461.65	20748.10	34186.01
K	34.70	469.15	119.11	474.44	36.83	10375.71
Ca	124425.00	34473.25	24.26	13.05	4204.12	62893.01
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.05	16.30
Ti	0.86	<L.I.C	15.91	9.66	2.45	304.69
V	<L.I.C	<L.I.C	3.40	3.81	0.16	55.74
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.40	8.04
Mn	311.72	109.44	180.85	147.19	86.61	1843.31
Fe	65.53	56.30	23242.83	123714.00	3758.89	142003.63
Co	2.05	<L.I.C	1.50	1.54	3.45	5.70
Ni	1.91	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.29	<L.I.C
Cu	<L.I.C	16.13	77.54	68.88	143.29	376.08
Zn	120.74	2099.99	1580.12	1367.86	4438.18	5069.81
As	<L.I.C	<L.I.C	473.30	389.45	6.48	2513.22
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	20.50	<L.I.C
Sr	19.32	15.39	3.04	3.48	13.36	164.29
Mo	<L.I.C	<L.I.C	3.38	0.99	1.02	12.33
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	17.70	16.57
Cd	8.62	11.96	5.08	2.74	12.21	17.86
Sn	<L.I.C	<L.I.C	13.03	<L.I.C	5.31	64.24
Sb	<L.I.C	<L.I.C	6.36	2.42	<L.I.C	50.41
Ba	<L.I.C	0.91	0.90	2.65	0.12	86.68
Hg	<L.I.C	<L.I.C	2.21	13.81	16.28	<L.I.C
Pb	5.32	106.16	298.89	752.79	142.18	3435.51

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE12B-D-S						
Jal antiguo						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	0.30	0.65	<L.I.C	21.84
Na	4.70	83.54	4.50	15.87	<L.I.C	<L.I.C
Mg	104.88	107.49	231.44	274.38	213.45	2709.35
Al	<L.I.C	78.74	406.21	333.26	155.19	11804.02
Si	<L.I.C	<L.I.C	552.73	1090.54	642.68	14701.68
P	<L.I.C	15.67	28.70	9.55	<L.I.C	<L.I.C
S	24668.07	31160.63	964.26	2379.98	26465.02	47502.77
K	36.42	470.87	39.89	170.41	31.81	6892.72
Ca	124425.00	51521.87	11.30	19.68	5915.54	84589.25
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	22.36
Ti	0.79	<L.I.C	4.18	4.00	0.69	173.04
V	<L.I.C	<L.I.C	2.36	4.18	0.34	28.52
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.29	7.75
Mn	87.96	240.89	297.03	341.77	197.49	2596.02
Fe	48.60	57.75	18872.51	123714.00	9615.80	178670.50
Co	<L.I.C	<L.I.C	1.63	2.51	4.34	10.82
Ni	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.33	<L.I.C
Cu	<L.I.C	25.53	66.65	57.84	162.42	230.38
Zn	120.74	2099.99	1580.12	1367.86	4438.18	5069.81
As	<L.I.C	<L.I.C	224.50	271.26	<L.I.C	1791.93
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	51.76	<L.I.C
Sr	17.92	27.45	<L.I.C	1.14	5.84	91.40
Mo	<L.I.C	<L.I.C	0.94	1.22	<L.I.C	10.10
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	14.62	19.35
Cd	2.78	24.06	5.01	3.73	41.30	34.83
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	66.22
Sb	<L.I.C	<L.I.C	3.69	3.38	<L.I.C	48.16
Ba	<L.I.C	<L.I.C	0.26	0.89	<L.I.C	42.92
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.14	<L.I.C	<L.I.C
Pb	3.83	156.49	236.70	612.21	124.96	3131.85

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE26						
Sedimento SNAP						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	0.28	<L.I.C	1.96	45.42
Na	16.09	94.35	18.56	55.48	33.55	13514.48
Mg	18.81	171.67	58.12	662.02	249.77	3989.47
Al	33.51	81.16	289.36	1099.11	635.32	47480.35
Si	109.00	85.45	175.51	1107.18	1684.67	5556.38
P	10.57	33.37	179.10	34.59	14.99	<L.I.C
S	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	42.15	226.20
K	72.37	605.84	63.65	135.31	229.37	<L.I.C
Ca	893.17	36727.53	12.15	12.71	697.73	3689.19
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.36	0.08	4.52
Ti	<L.I.C	2.17	2.47	45.05	36.13	1285.70
V	<L.I.C	<L.I.C	0.98	4.67	1.18	<L.I.C
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.20	0.63	18.08
Mn	2.91	266.61	419.42	98.88	16.64	169.87
Fe	8.25	47.00	201.82	4213.49	464.21	18639.93
Co	<L.I.C	<L.I.C	1.06	1.13	0.30	6.93
Ni	<L.I.C	<L.I.C	1.36	1.79	<L.I.C	<L.I.C
Cu	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.51	<L.I.C	5.42
Zn	3.04	58.15	57.82	81.39	8.71	94.15
As	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	23.63	<L.I.C	32.64
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Sr	1.47	26.66	0.65	0.67	2.17	135.91
Mo	<L.I.C	<L.I.C	0.89	<L.I.C	<L.I.C	2.11
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Cd	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.18	<L.I.C
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.46	9.19
Sb	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.26
Ba	0.87	44.30	19.24	17.34	7.32	346.44
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	191.86	<L.I.C
Pb	<L.I.C	78.11	51.76	46.30	27.59	184.32

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE27A						
Sedimento APJ						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento	Concentración en mg/kg					
Li	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	13.29
Na	3.58	84.95	33.25	62.50	<L.I.C	283.39
Mg	141.37	36.46	37.72	112.17	26.96	2330.10
Al	30.41	90.70	221.16	424.19	81.89	9938.38
Si	<L.I.C	<L.I.C	119.24	936.94	703.48	23408.66
P	5.94	23.71	31.08	31.54	<L.I.C	<L.I.C
S	26605.14	28361.93	819.33	4368.93	6860.71	25713.01
K	<L.I.C	489.60	35.33	295.29	34.38	5786.45
Ca	124425.00	33431.58	6.83	22.18	1836.82	81699.98
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.01	21.06
Ti	0.81	<L.I.C	5.01	14.98	1.26	227.31
V	<L.I.C	<L.I.C	0.86	3.29	0.49	24.08
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.25	0.79	13.43
Mn	212.36	71.39	179.73	118.31	41.06	2579.51
Fe	68.58	44.68	5922.63	44375.01	638.37	186622.79
Co	2.42	<L.I.C	<L.I.C	1.00	1.66	3.25
Ni	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.02	<L.I.C
Cu	<L.I.C	16.42	31.55	156.80	41.67	465.70
Zn	2890.49	2043.35	661.10	1197.39	1050.61	2929.77
As	<L.I.C	<L.I.C	108.87	499.07	<L.I.C	2374.28
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	43.02	15.14	<L.I.C
Sr	16.45	19.00	<L.I.C	5.14	7.93	75.32
Mo	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.60	2.10	9.04
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	19.95
Cd	11.98	10.00	<L.I.C	3.40	7.93	21.04
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.32	5.12	62.97
Sb	<L.I.C	<L.I.C	1.72	2.74	<L.I.C	43.84
Ba	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.46	0.69	38.28
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Pb	4.89	124.43	176.81	1324.17	217.20	3942.34

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE27B						
Sedimento APJ						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento						
Li	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	22.11
Na	3.03	99.29	14.09	50.28	<L.I.C	418.41
Mg	156.86	34.21	7.27	60.03	9.39	3762.82
Al	366.02	19.91	36.96	141.63	24.97	13645.83
Si	<L.I.C	<L.I.C	53.36	826.26	563.66	41923.21
P	5.23	36.22	16.43	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
S	26382.83	25409.85	3850.66	7808.47	5709.04	28603.63
K	<L.I.C	461.29	78.16	273.29	59.29	8240.00
Ca	124425.00	29352.70	15.18	20.54	992.10	108112.34
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	30.93
Ti	0.84	<L.I.C	9.18	10.34	0.81	325.86
V	<L.I.C	<L.I.C	1.46	4.30	0.37	40.77
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.94	6.55
Mn	206.15	14.06	33.09	134.05	15.30	3334.60
Fe	557.66	198.81	15361.03	123714.00	211.01	149590.34
Co	1.31	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.39	8.99
Ni	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.14	<L.I.C
Cu	16.87	<L.I.C	11.24	145.53	6.87	372.30
Zn	833.28	59.61	98.90	818.19	108.44	8535.89
As	<L.I.C	<L.I.C	717.95	1138.11	7.63	2070.33
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.28	<L.I.C
Sr	7.64	9.36	4.91	7.68	7.49	92.41
Mo	<L.I.C	<L.I.C	1.52	4.20	3.15	7.96
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.16
Cd	6.09	<L.I.C	6.42	7.51	1.46	60.83
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.18	56.27
Sb	<L.I.C	<L.I.C	4.08	7.50	0.10	29.22
Ba	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.74	<L.I.C	45.51
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	10.21	<L.I.C
Pb	23.10	211.02	264.04	995.07	227.09	2714.51

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE28-S						
Sedimento APJ						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento						
Li	<L.I.C	<L.I.C	0.26	<L.I.C	<L.I.C	2.33
Na	7.35	132.45	65.19	222.94	7.79	44.36
Mg	59.84	110.18	308.10	416.14	384.02	385.52
Al	17.41	348.42	573.25	582.55	258.02	1465.76
Si	27.70	77.68	671.07	1547.10	663.11	2544.69
P	<L.I.C	30.51	38.48	7.67	<L.I.C	<L.I.C
S	24271.23	17684.62	621.36	2432.53	20557.11	2748.92
K	36.32	463.74	43.03	212.93	36.09	857.00
Ca	124425.00	27192.60	19.34	44.78	6055.61	11429.35
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.05	3.25
Ti	0.68	<L.I.C	4.05	6.88	0.46	46.65
V	<L.I.C	<L.I.C	1.68	3.61	0.07	4.93
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.70
Mn	75.24	375.61	1078.65	228.61	306.46	349.39
Fe	144.47	84.68	12502.56	123714.00	1903.14	16505.28
Co	<L.I.C	4.09	6.62	1.33	7.98	0.80
Ni	<L.I.C	<L.I.C	1.64	<L.I.C	1.13	<L.I.C
Cu	<L.I.C	93.35	122.47	64.06	421.11	40.25
Zn	539.20	9512.09	3508.76	1586.48	> L.S.C.	673.76
As	<L.I.C	<L.I.C	321.38	429.01	7.61	247.53
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	92.69	<L.I.C
Sr	14.78	15.36	<L.I.C	1.47	6.37	10.53
Mo	<L.I.C	<L.I.C	2.76	2.57	<L.I.C	1.03
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.24	1.14
Cd	7.24	62.45	10.04	7.09	92.20	5.29
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	6.69
Sb	<L.I.C	<L.I.C	2.97	2.68	0.50	3.62
Ba	<L.I.C	0.67	0.57	1.94	<L.I.C	5.70
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
Pb	10.75	251.98	317.27	882.04	139.78	388.42

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

Muestra SE29						
Sedimento APJ						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento						
Li	0.36	<L.I.C	0.50	<L.I.C	<L.I.C	40.20
Na	14.43	89.19	9.21	41.36	9.48	2976.00
Mg	106.58	304.22	888.99	876.83	1419.74	4121.41
Al	34.47	57.37	500.27	976.53	361.80	32658.89
Si	49.56	<L.I.C	849.45	1852.01	588.72	7110.36
P	10.97	<L.I.C	70.18	23.91	<L.I.C	<L.I.C
S	9619.76	830.63	<L.I.C	<L.I.C	25712.63	13434.19
K	89.44	503.67	38.88	75.29	57.00	21467.73
Ca	11433.18	61506.72	29.89	30.84	12886.72	48883.54
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	0.08	14.51
Ti	0.73	<L.I.C	3.43	24.62	1.19	841.04
V	<L.I.C	<L.I.C	4.11	5.04	0.10	150.33
Cr	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1.24	<L.I.C	9.87
Mn	7.92	779.54	655.63	211.27	395.58	1715.70
Fe	53.92	113.28	18109.88	13641.22	2632.57	82029.49
Co	<L.I.C	<L.I.C	3.93	<L.I.C	5.75	5.68
Ni	<L.I.C	<L.I.C	1.55	<L.I.C	2.18	<L.I.C
Cu	<L.I.C	42.54	97.78	3.42	177.05	75.74
Zn	27.00	2447.49	3482.32	747.76	4530.94	2203.25
As	<L.I.C	<L.I.C	134.30	31.13	6.09	736.28
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	47.55	<L.I.C
Sr	9.59	46.98	<L.I.C	<L.I.C	7.00	146.06
Mo	<L.I.C	<L.I.C	5.01	1.07	<L.I.C	5.50
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	7.81	16.04
Cd	<L.I.C	33.86	3.01	<L.I.C	38.89	16.34
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	4.26	58.18
Sb	<L.I.C	<L.I.C	6.47	1.35	0.06	22.03
Ba	0.57	8.89	1.64	3.98	<L.I.C	190.68
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	3.56	<L.I.C	<L.I.C
Pb	5.64	477.82	406.82	378.49	125.17	2090.61

## Comportamiento Ambiental de Residuos Mineros

I.Q. Laura Nereyda Moreno Morales

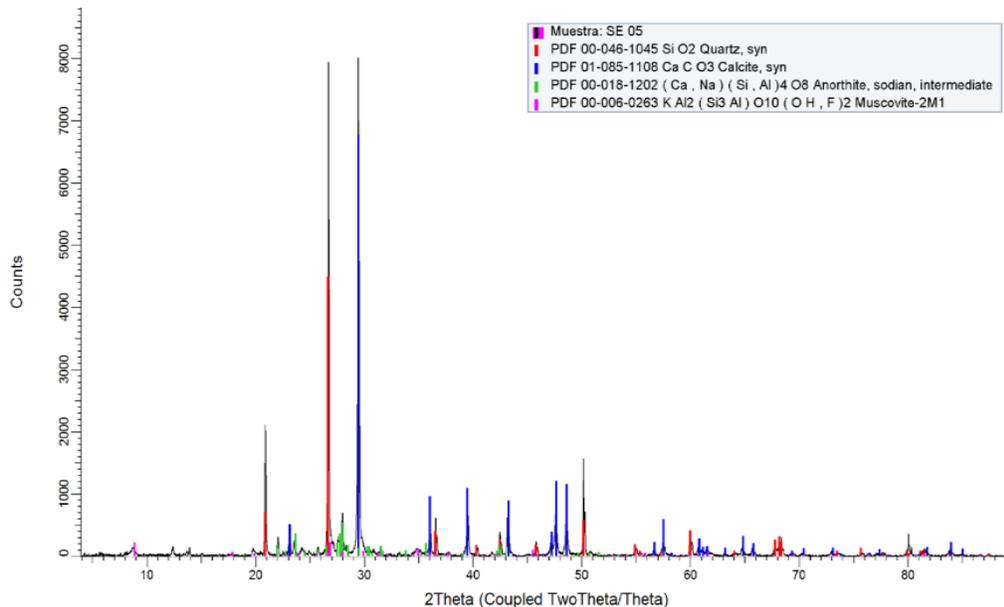
Muestra CCC						
Concentrado Cabeza Ciclón						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	Soluble en agua	Iones adsorbidos e intercambiables	Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Óxidos de Fe (III)	Materia orgánica	Fracción residual
Elemento						
Li	0.28	<L.I.C	0.64	<L.I.C	<L.I.C	23.98
Na	15.00	89.65	6.46	6.72	<L.I.C	<L.I.C
Mg	60.76	420.34	1319.82	757.10	303.16	1414.72
Al	38.68	135.03	628.63	844.20	19.03	9251.64
Si	<L.I.C	138.42	744.20	1971.11	161.52	4182.88
P	8.10	<L.I.C	54.71	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C
S	795.47	800.96	<L.I.C	196.52	32143.70	102283.41
K	70.14	529.58	51.63	34.29	37.34	6811.03
Ca	1185.61	124425.00	<L.I.C	32.22	21383.81	81446.71
Sc	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	24.12
Ti	<L.I.C	1.96	2.80	5.26	0.79	186.79
V	<L.I.C	<L.I.C	4.63	5.84	<L.I.C	28.63
Cr	<L.I.C	<L.I.C	2.16	<L.I.C	<L.I.C	11.49
Mn	3.08	961.17	406.27	244.06	1030.05	955.23
Fe	24.39	709.37	5012.03	7722.33	321.06	72869.09
Co	<L.I.C	<L.I.C	1.56	<L.I.C	16.78	28.59
Ni	1.50	<L.I.C	2.06	1.77	4.34	<L.I.C
Cu	<L.I.C	<L.I.C	15.36	0.00	57.79	1485.64
Zn	27.12	849.56	1664.42	1423.47	> L.S.C.	67560.02
As	<L.I.C	<L.I.C	43.45	37.00	7.12	2244.26
Se	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	150.25	<L.I.C
Sr	2.44	59.37	<L.I.C	<L.I.C	19.91	49.30
Mo	<L.I.C	<L.I.C	1.61	<L.I.C	<L.I.C	5.92
Ag	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.40
Cd	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2.53	369.14	221.26
Sn	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	5.01	64.79
Sb	<L.I.C	4.00	5.88	1.90	2.02	92.03
Ba	0.40	5.52	0.74	1.12	<L.I.C	39.40
Hg	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	8.33	<L.I.C	<L.I.C
Pb	21.84	3156.62	89.87	501.71	101.07	19868.04

**Anexo 17. Resultados de extracción secuencial de arsénico**

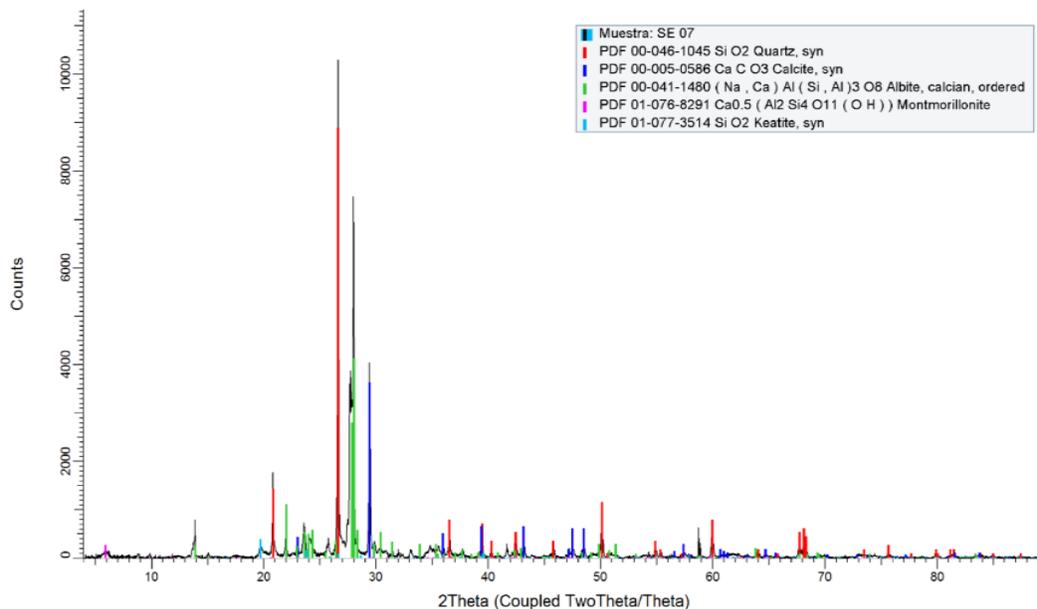
Tipo	Nombre	F1 Unido iónicamente	F2 Adsorbido	F3 Carbonatos, óxidos	F4 Oxi-hidróxidos de Fe	F5 Óxidos de As Co silicatos	F6 Materia orgánica	F7 Sulfuros
Terrero	SE17	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	350.00
Sedimento SNAP	SE26	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	49.56
Jal Fresco	SE19	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	92.88	2182.49
Jal Antigo	SE12C-D-S	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	879.78
Jal Antigo	SE12B-D-S	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1584.48
Jal Antigo	SE12A-D-S	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C0	<L.I.C	<L.I.C	2939.99
Sedimento APJ	SE27A	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	2619.63
Sedimento APJ	SE27B	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	3241.92
Sedimento APJ	SE28-S	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	1561.20
Sedimento APJ	SE29	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	<L.I.C	713.22

Anexo 18. Resultados de DRX

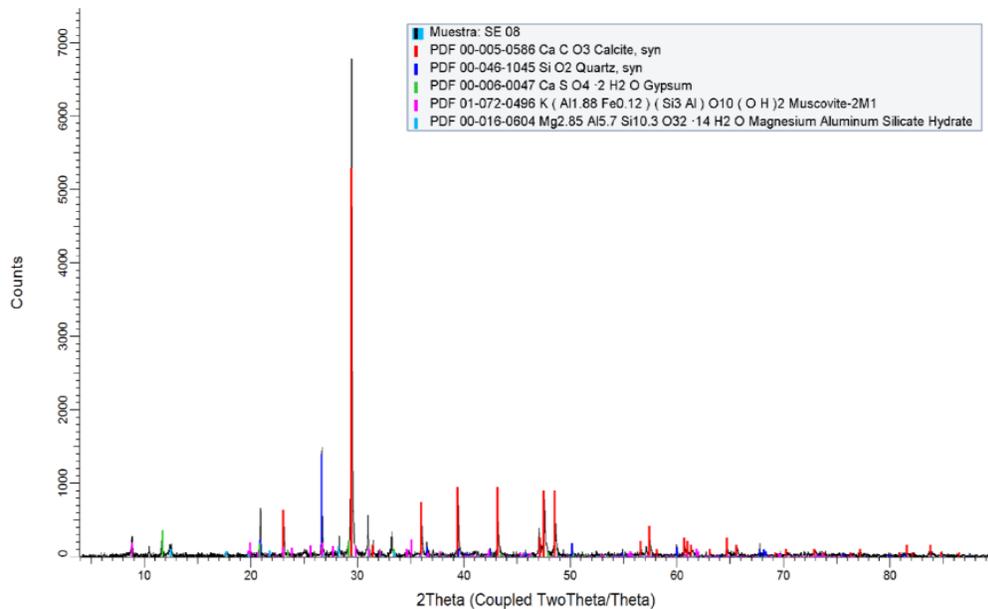
1. Muestra SE05-Sedimento SNAP



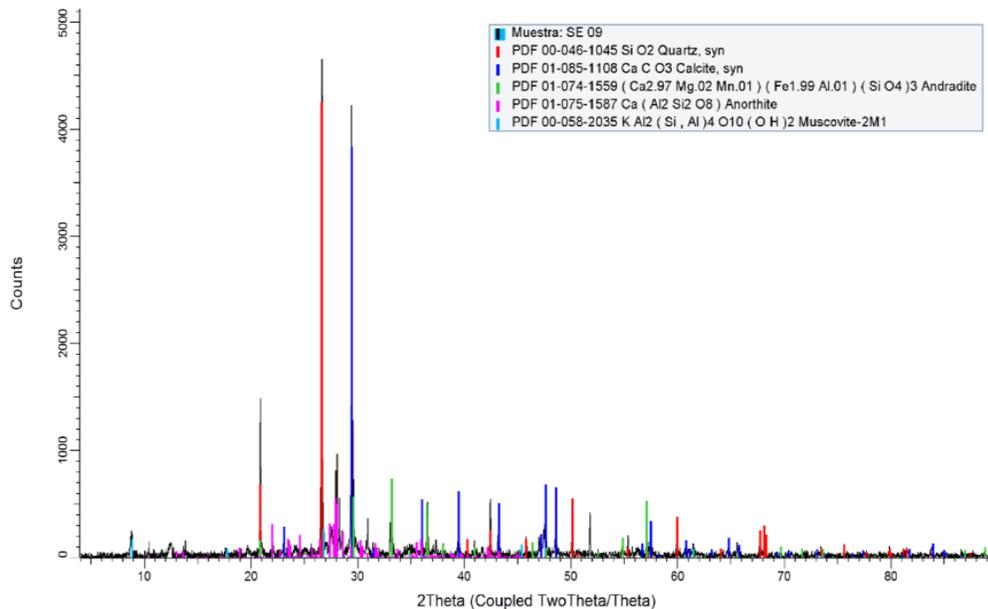
2. Muestra SE07-Sedimento SNAP



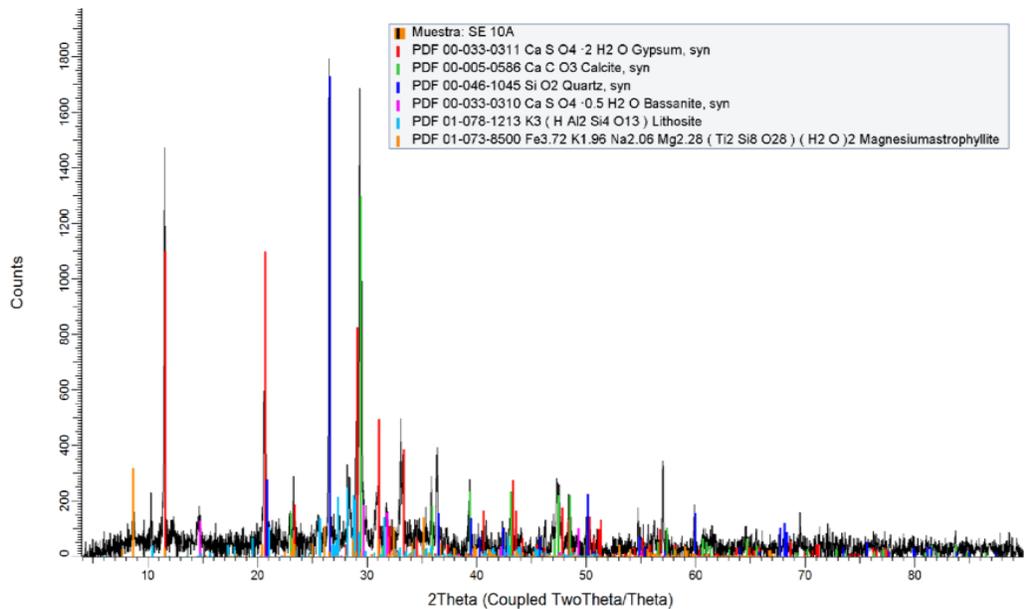
3. Muestra SE08- Sedimento APJ



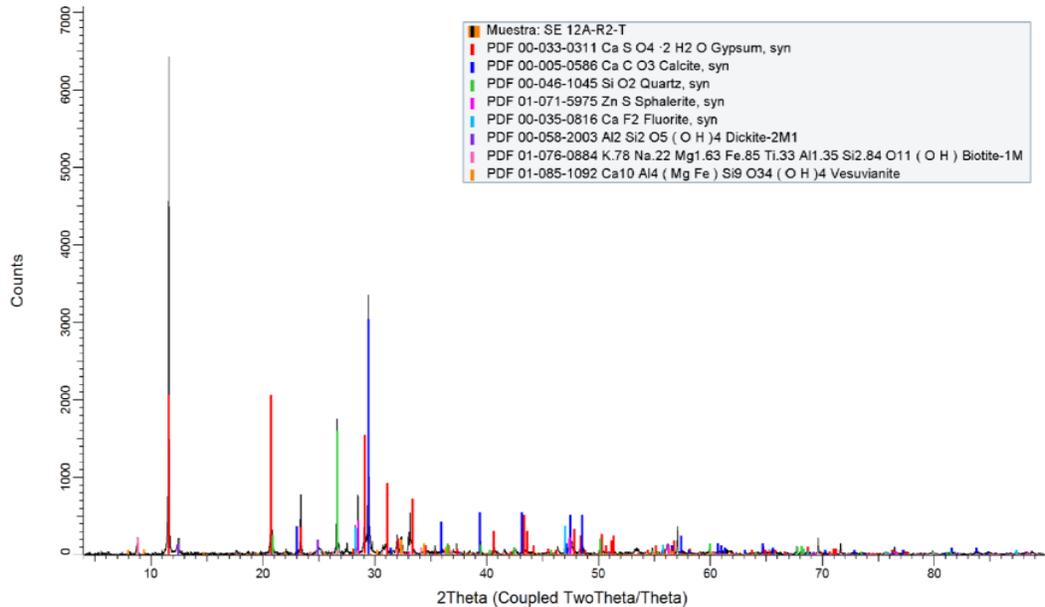
4. Muestra SE09-Sedimento APJ



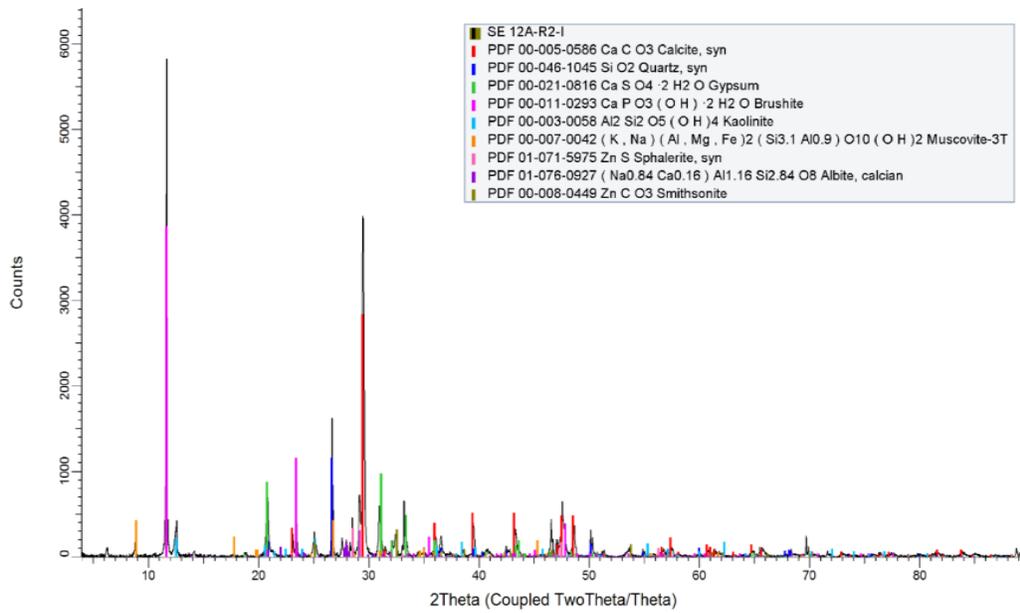
5. Muestra SE10A- Sedimento APJ



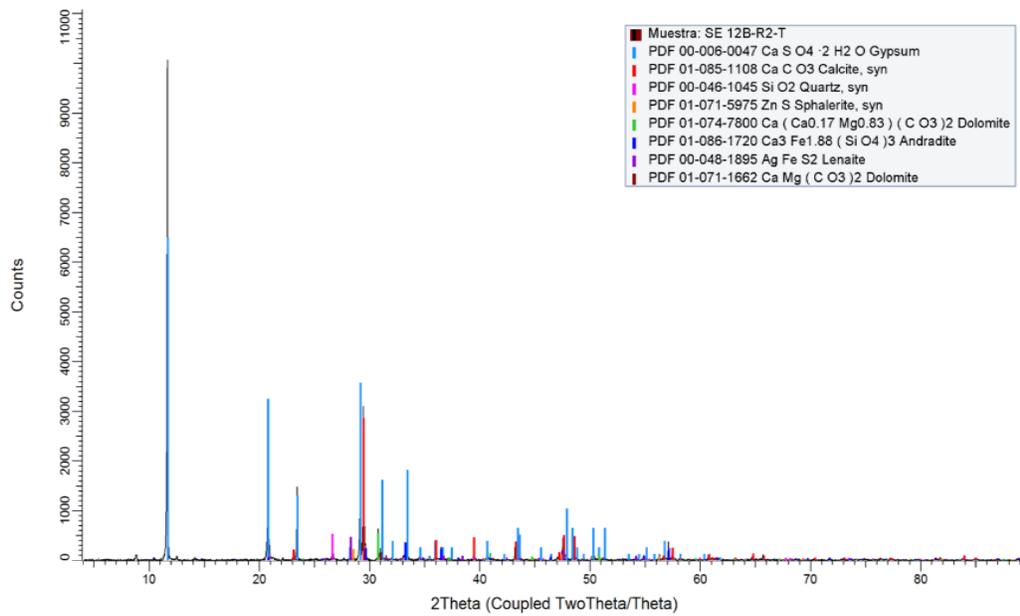
6. Muestra SE12A-T-Jal antiguo



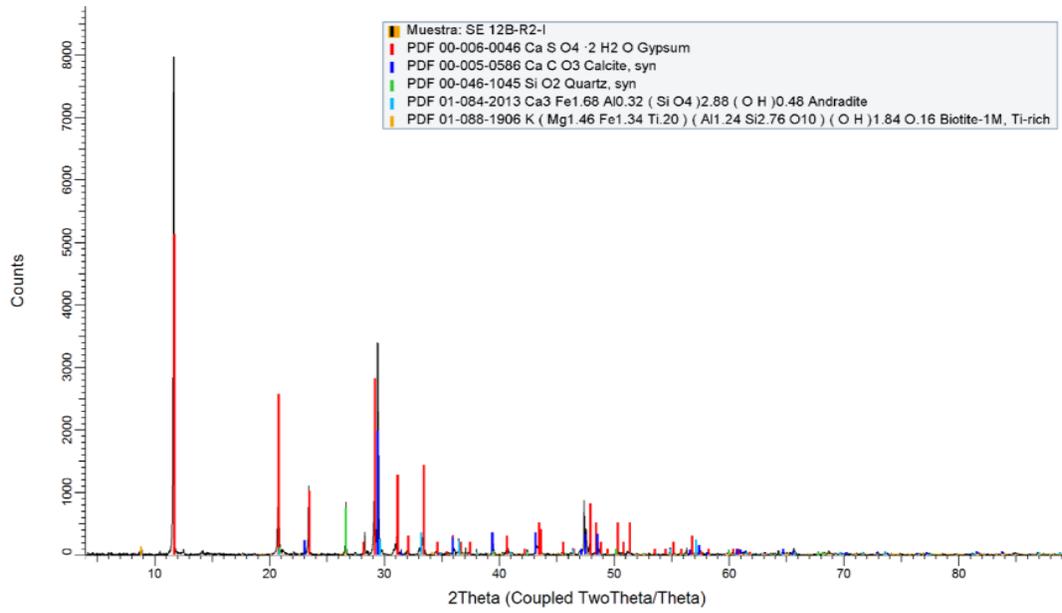
## 7. Muestra SE12A-R2-I



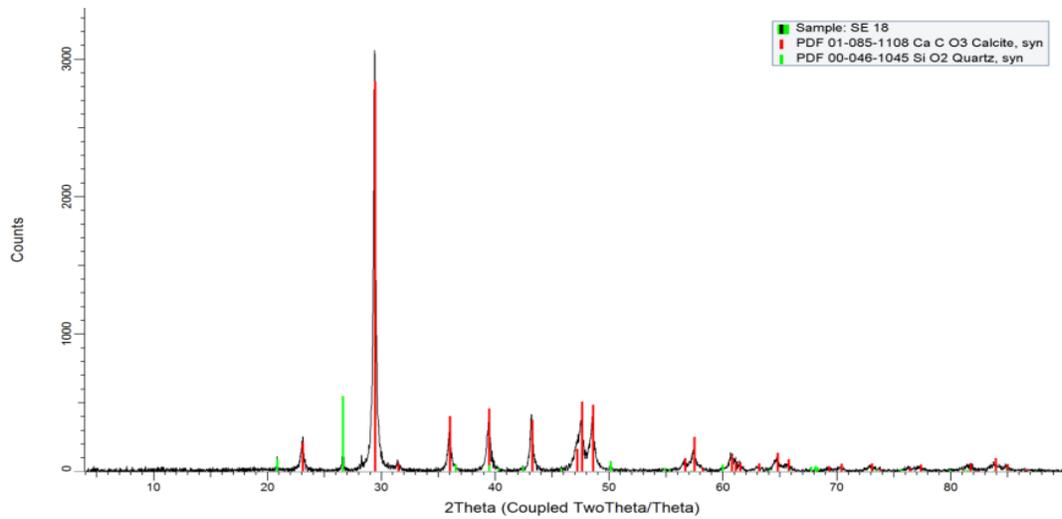
## 8. Muestra Se12B-T-Jal antiguo



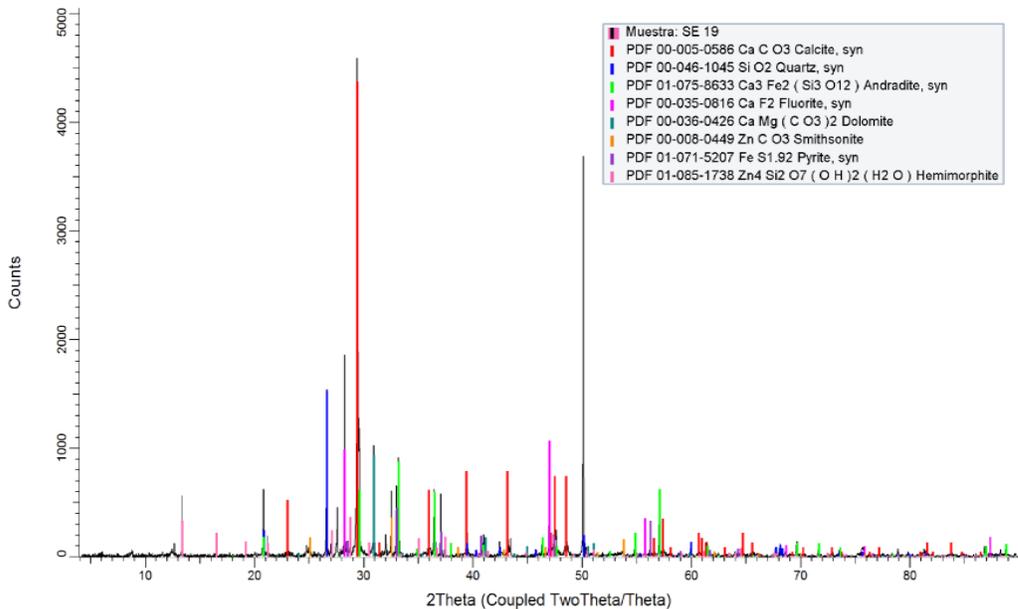
9. Muestra SE12B-I- Jal antiguo



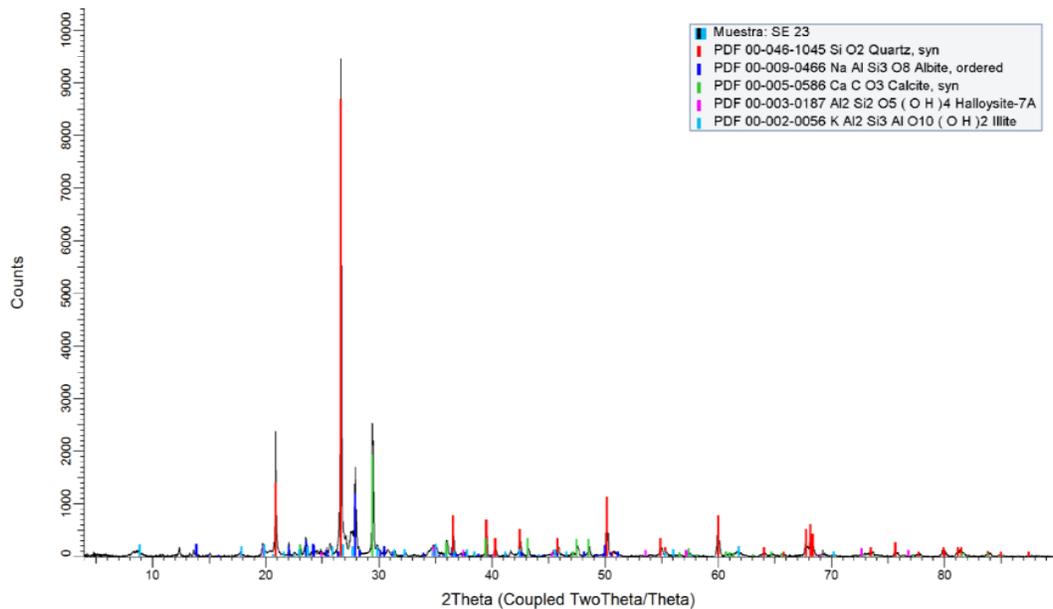
10. Muestra SE17-Terrero



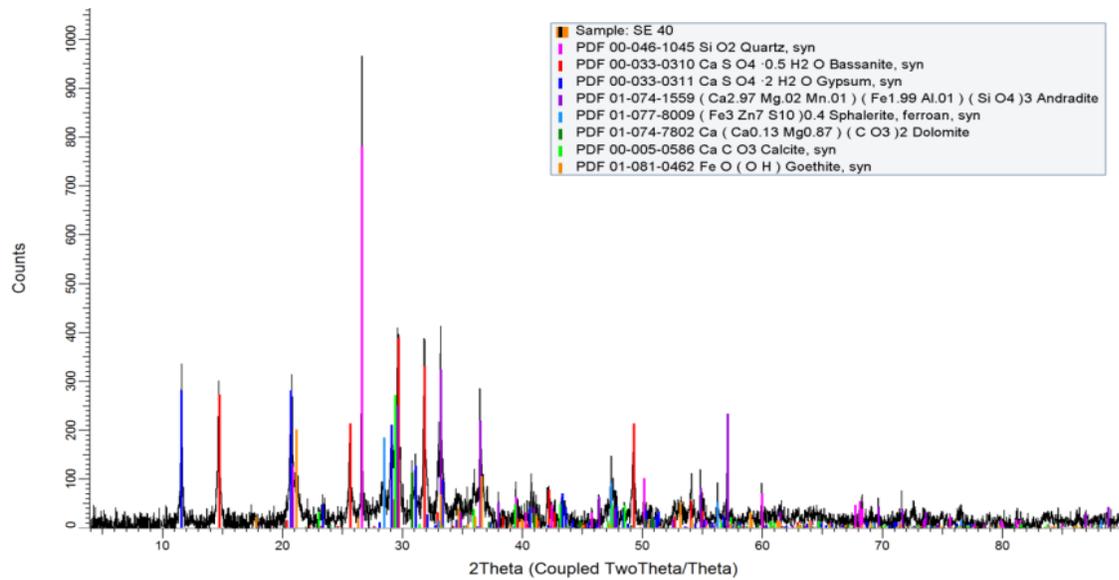
## 11. Muestra SE19- Jal fresco



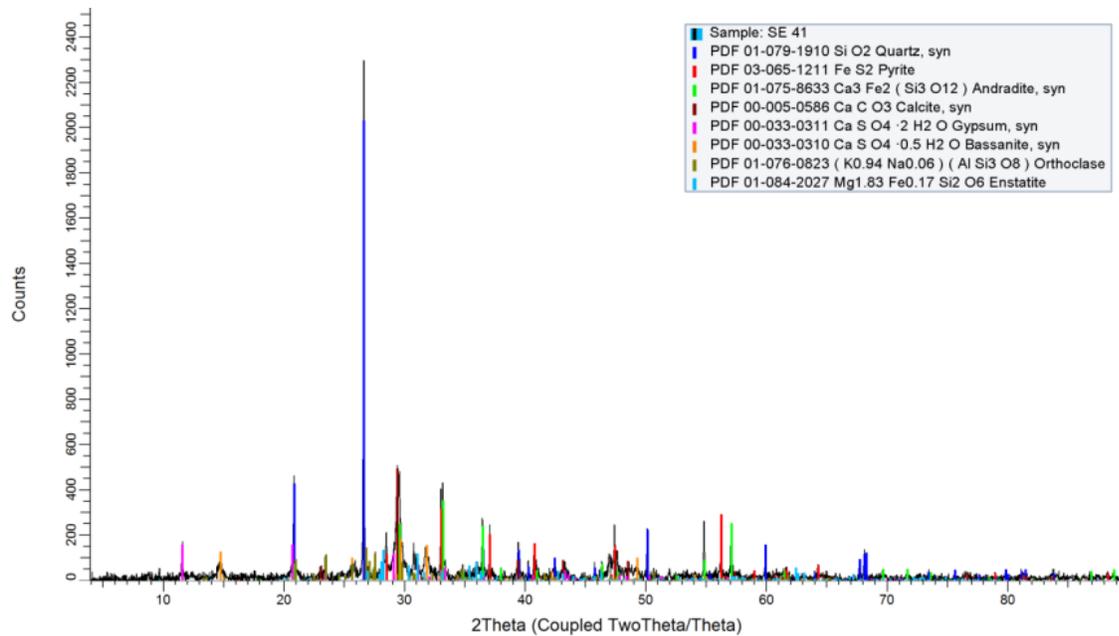
## 12. Muestra SE23-Terrero



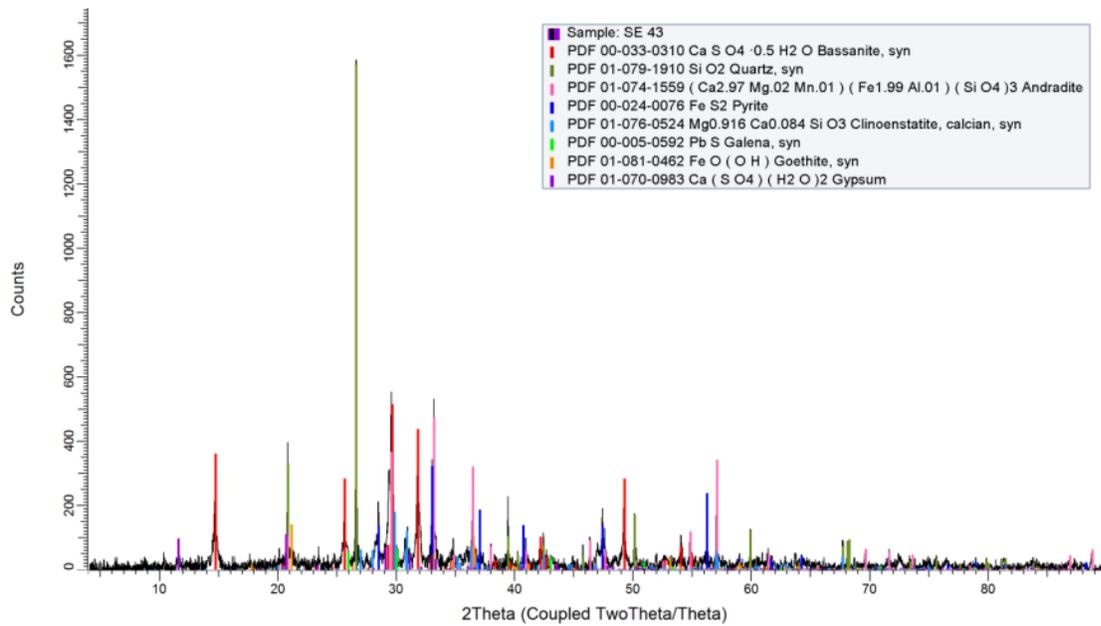
## 16. Muestra SE24-S- Jal antiguo



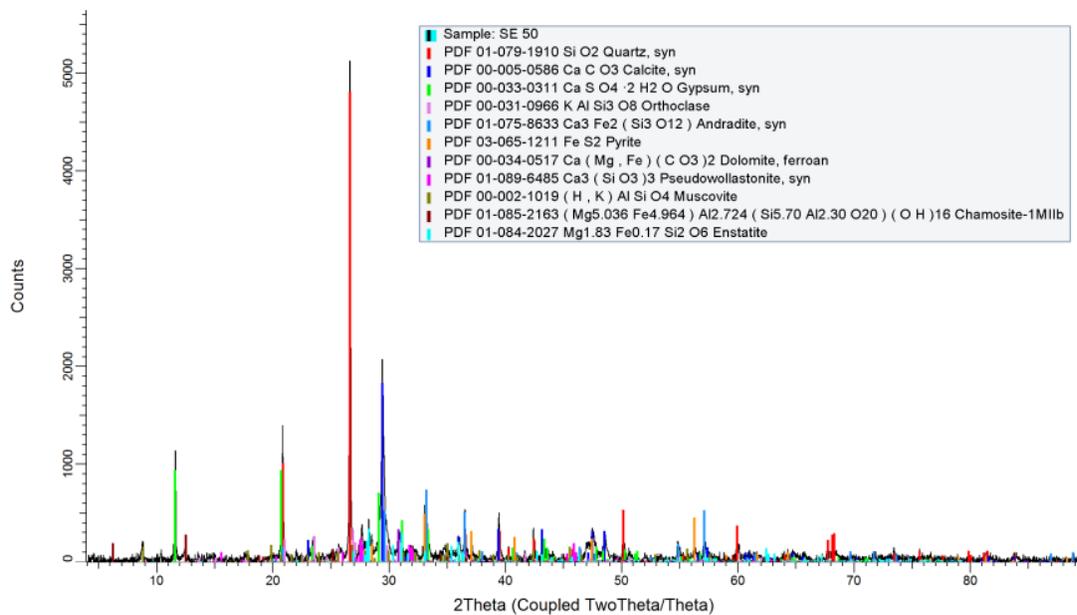
## 17. Muestra SE24-I- Jal antiguo



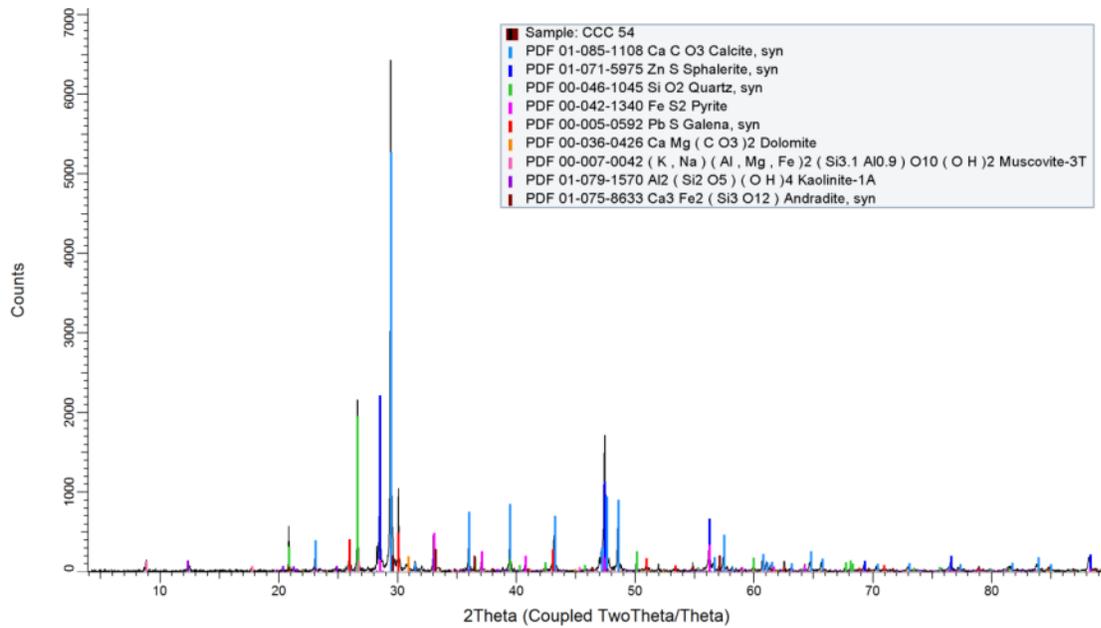
## 18. Muestra SE24-D-I-Jal antiguo



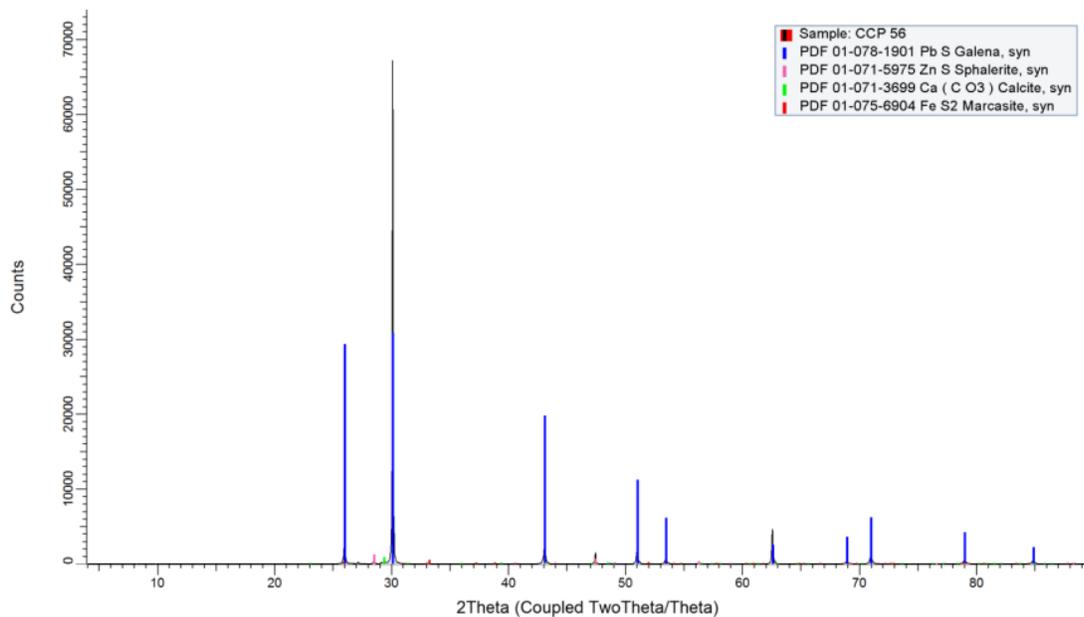
## 19. Muestra SE29-Sedimento APJ



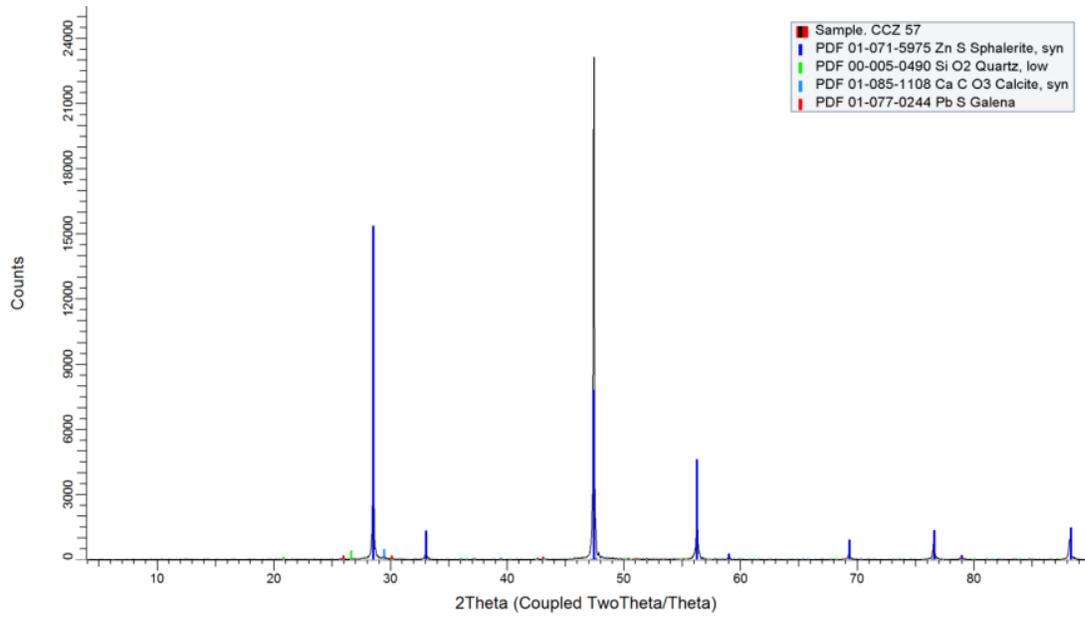
## 20. Muestra CCC- concentrado cabeza del ciclón



## 21. Muestra CCP- Concentrado plomo

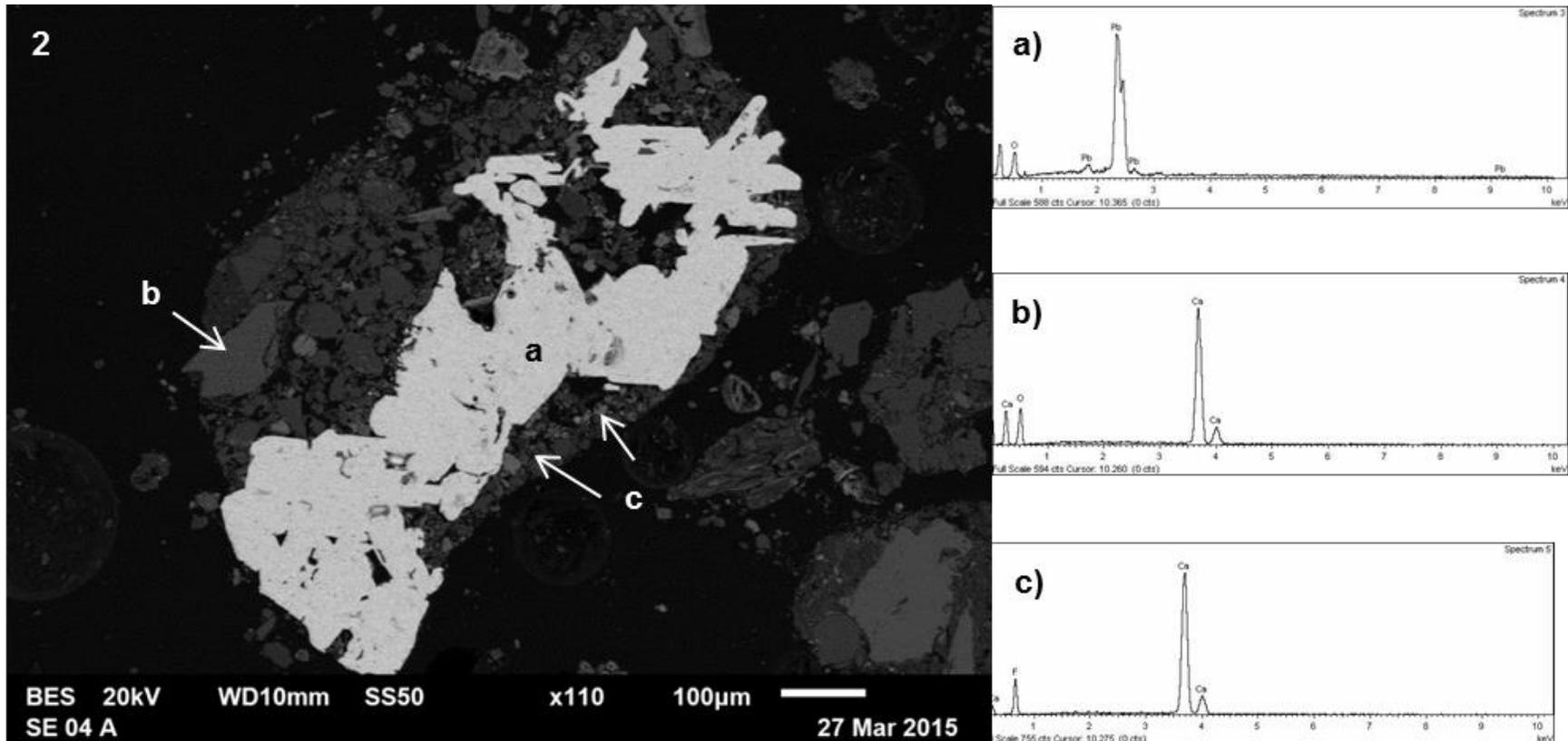


22. Muestra CCZ- concentrado de zinc

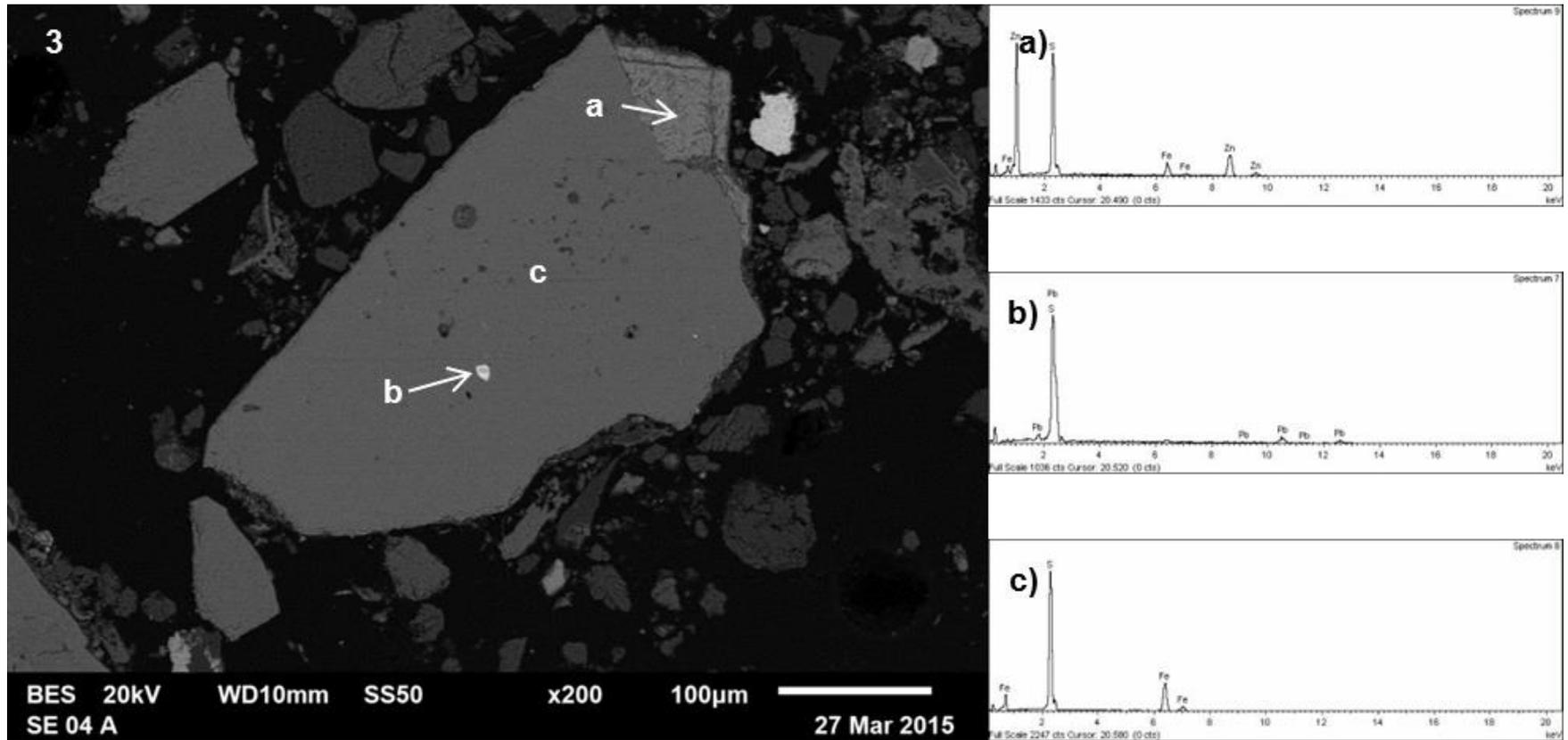


## Anexo 19. Resultados de Microscopia electrónica

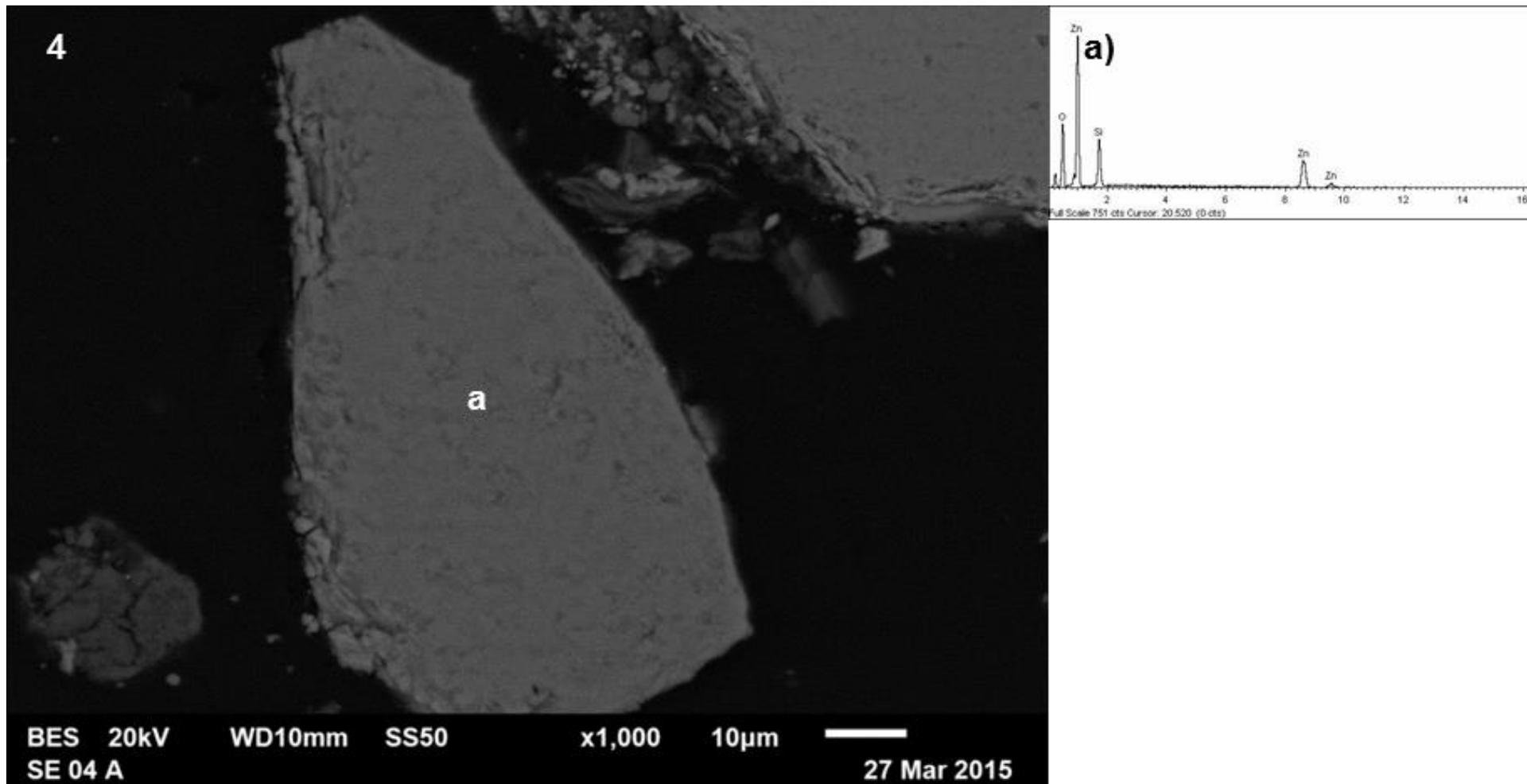
- Muestra SE04A correspondiente a residuo histórico



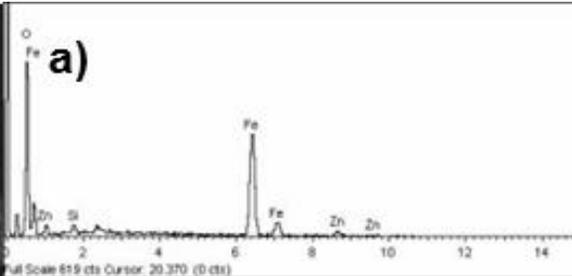
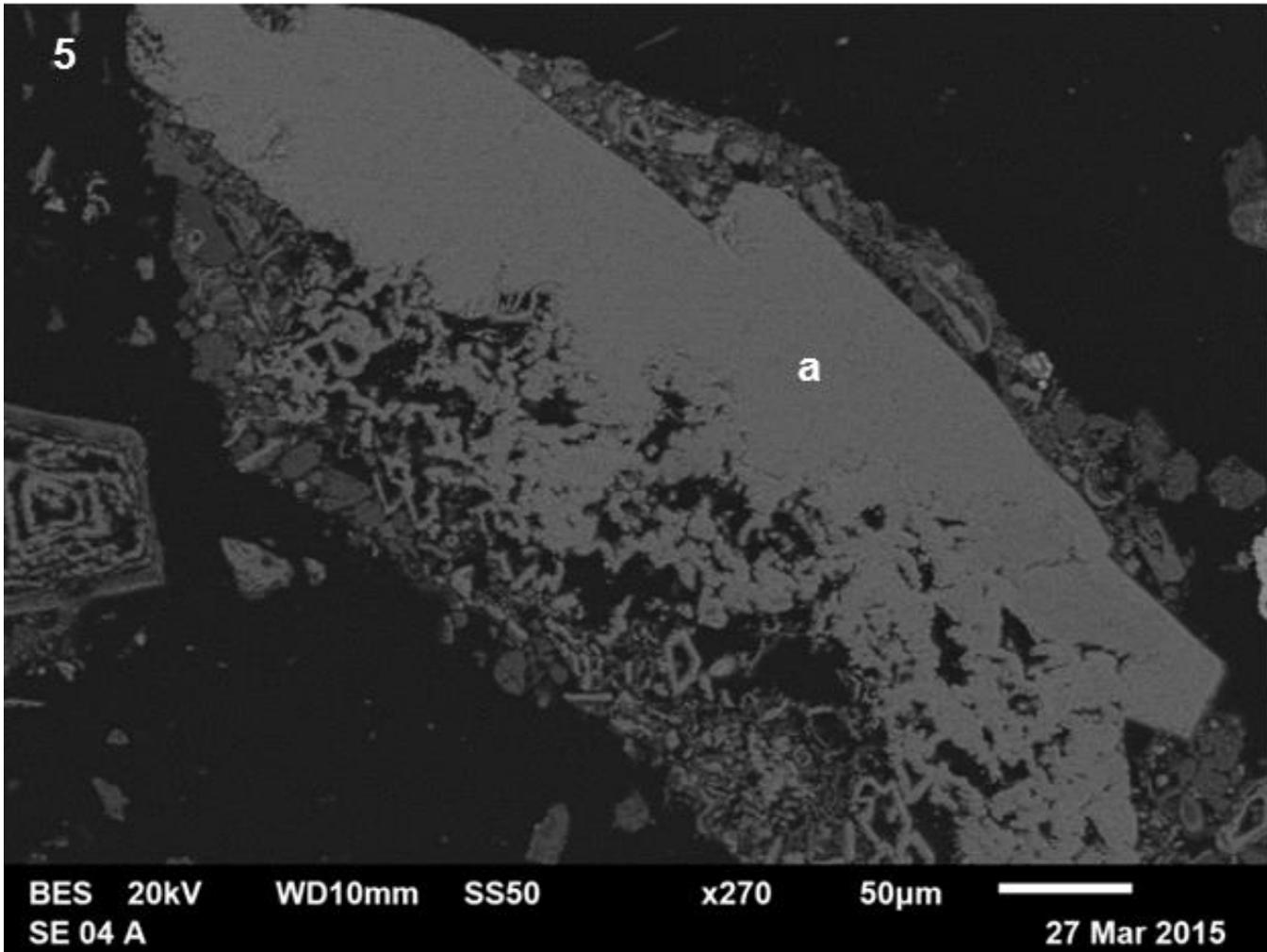
- 2) Partícula de cerusita (O 20.68%; Pb 19.32%) asociada a calcita (O 56.76%; Ca 43.24%) y fluorita (F 48.02%; Ca 51.98%)



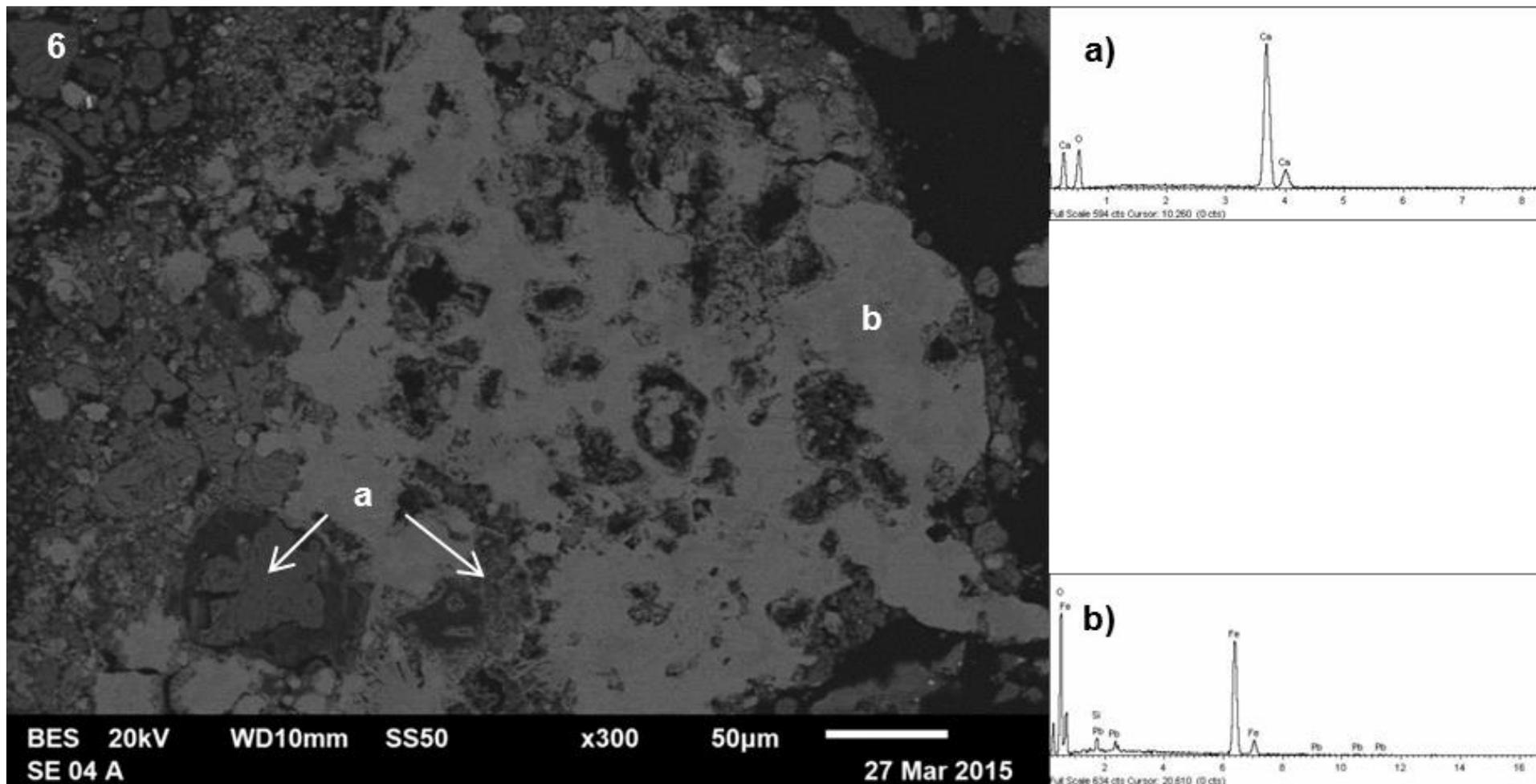
3) Partícula de marmatita (S 38.14%; Fe 10.61%; Zn 51.25%) con esfalerita (S 55.52%; Fe 44.48%) e inclusión de galena (S 14.58%; Pb 85.42%)



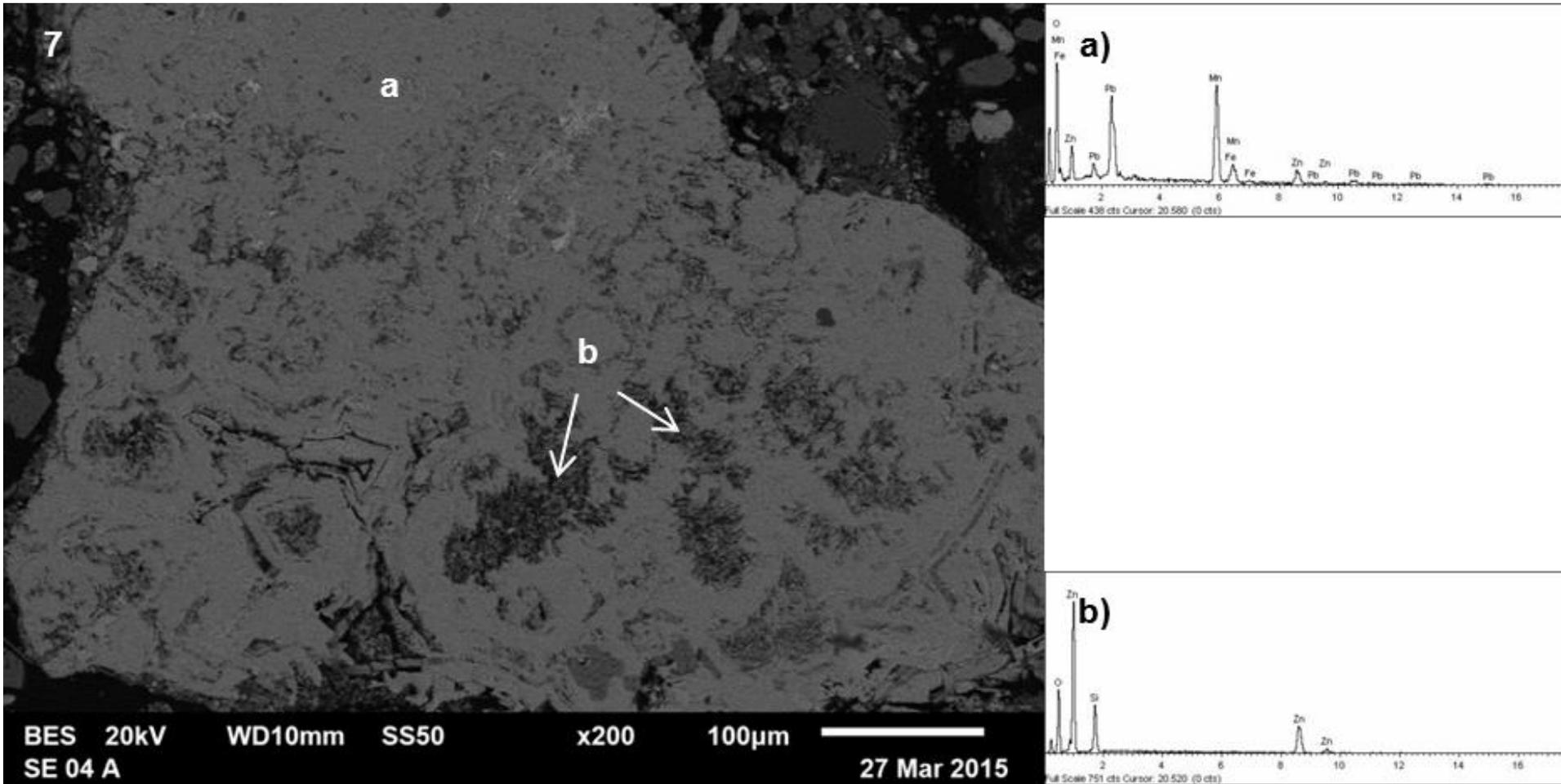
4) Partícula de siderita (O 33.52%; Si 12.69; Zn 53.79%)



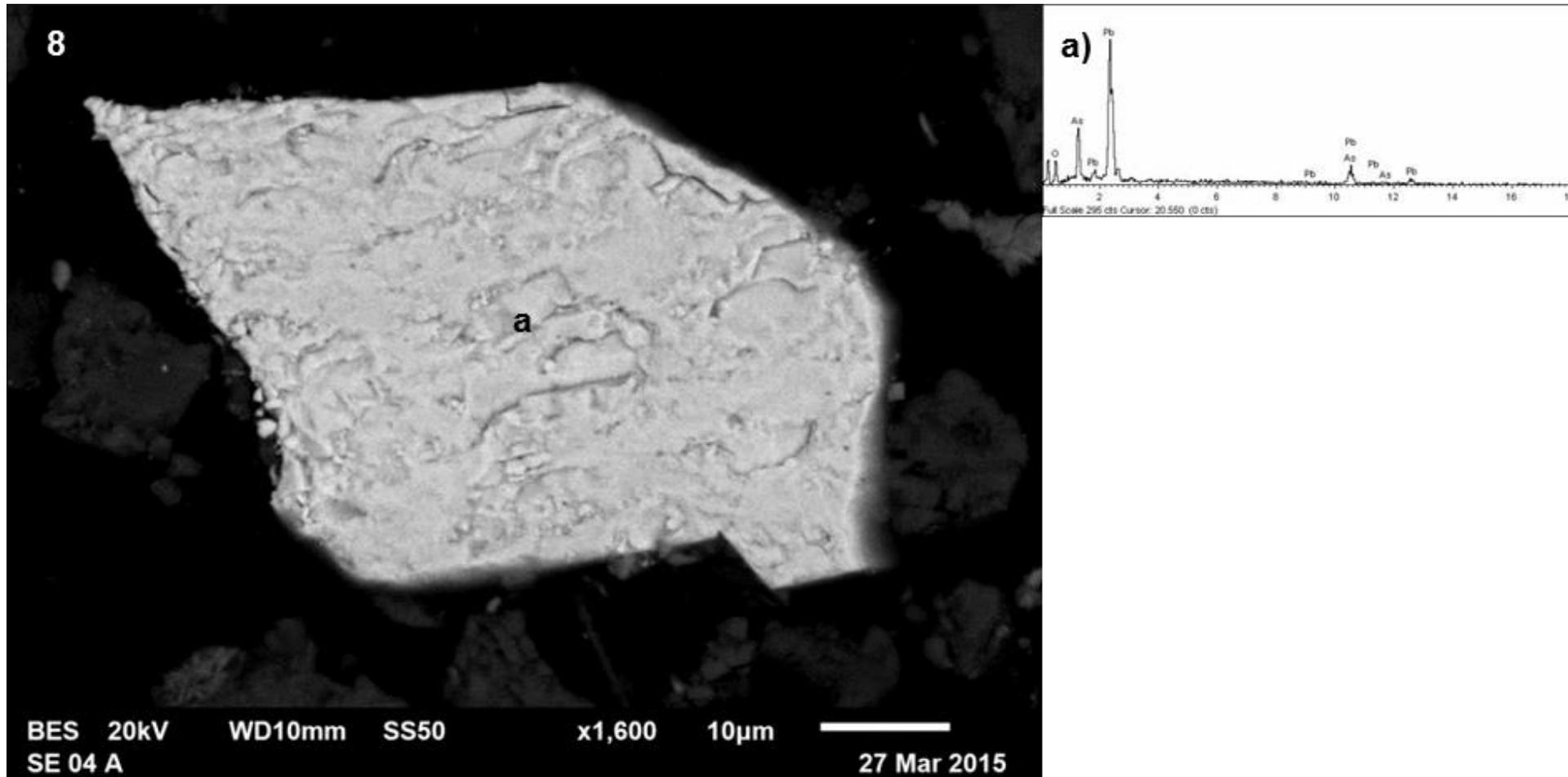
5) Partícula de Fe (OH)<sub>3</sub> (O 38.16%; Si 1.15%; Fe 55.33%; Zn 5.40%)



6) Partícula mixta de a) calcita (O 56.76%; Ca 43.24%) y b) hidróxido de hierro III enriquecido en plomo (O 33.96%; Si 2.13%; Fe 60.83%; Pb 3.08%)

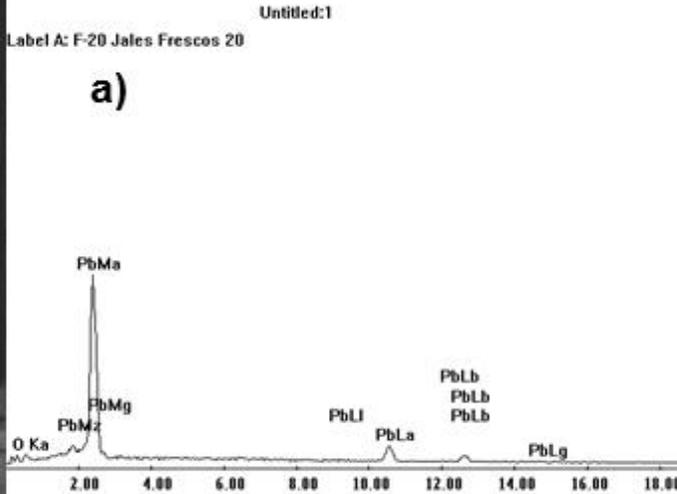
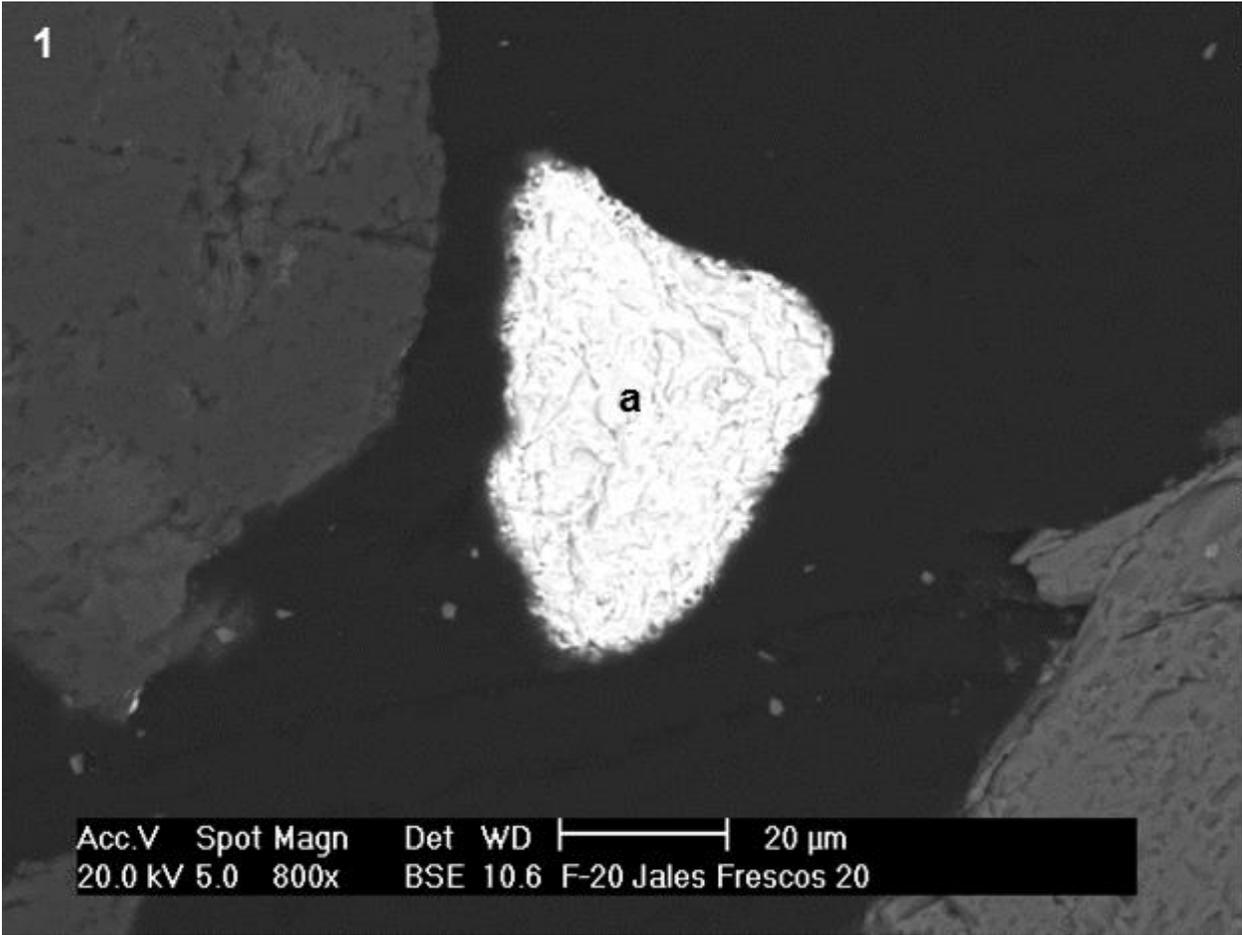


7) Partícula mixta de a) óxido de manganeso y plomo (O 28.52%; Mn 31.62%; Fe 3.4%; Zn 11.32%; Pb 25.11%) con b) siderita (O 38.16%; Zn 53.79%)

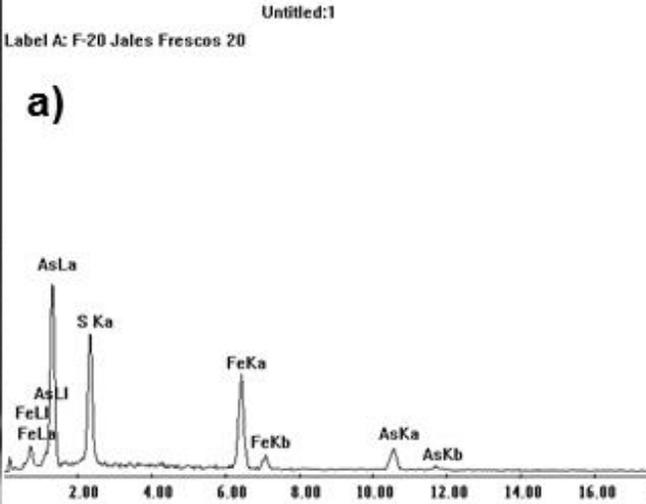
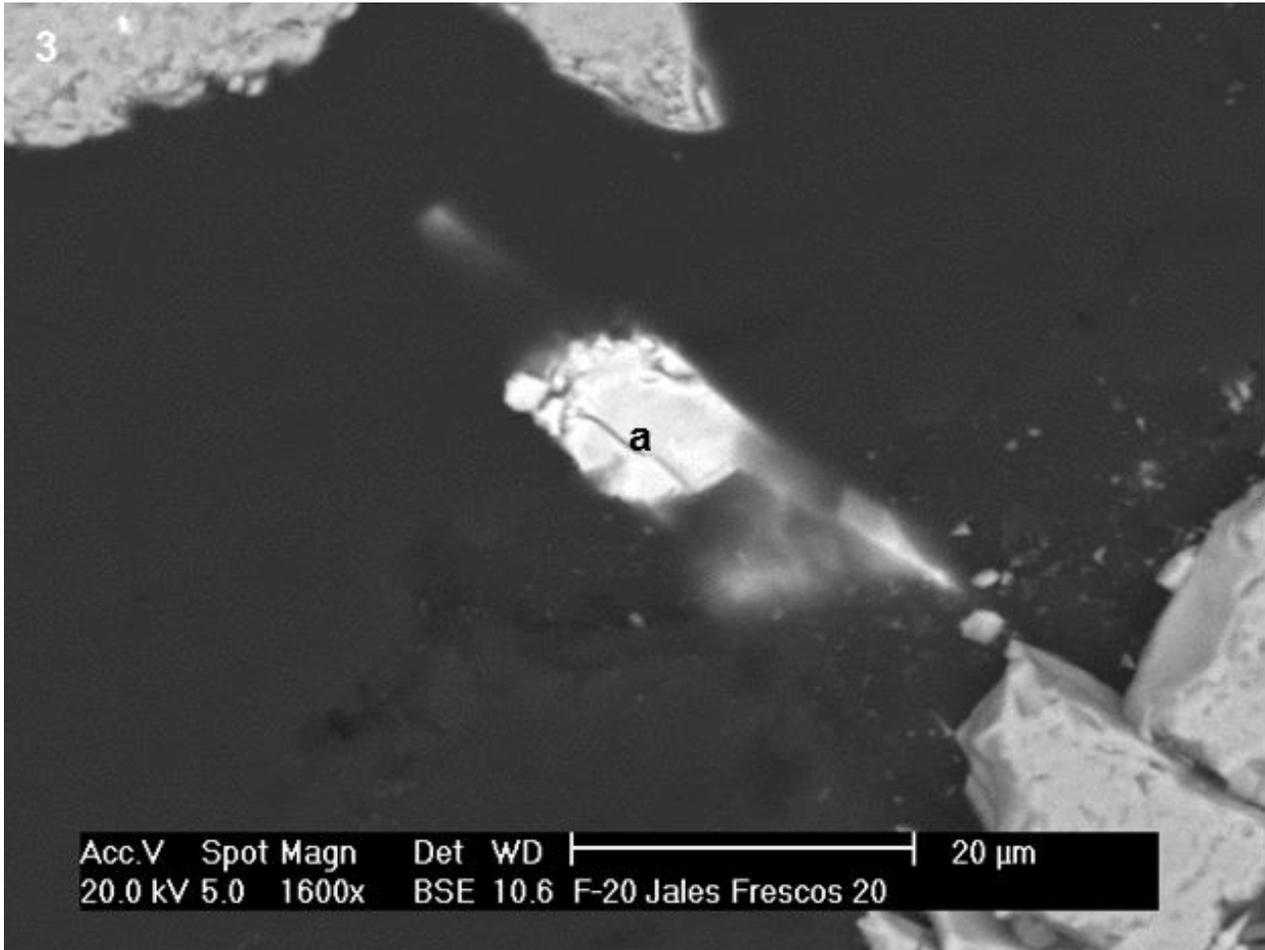


8) Partícula de cerusita enriquecida en arsénico (O15.62%; As 68.23, Pb 68.23%)

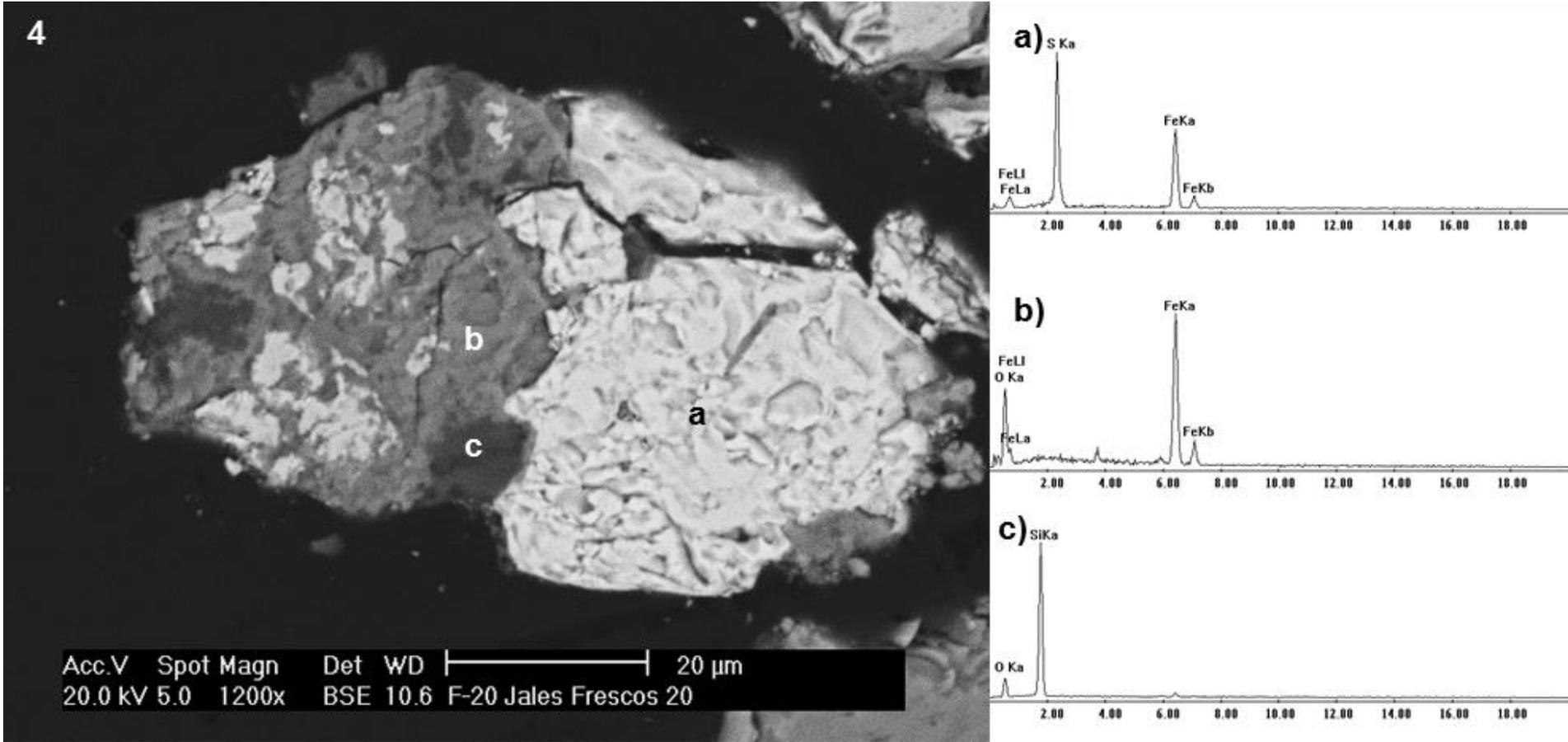
- Muestra SE19 correspondiente a Jal Fresco



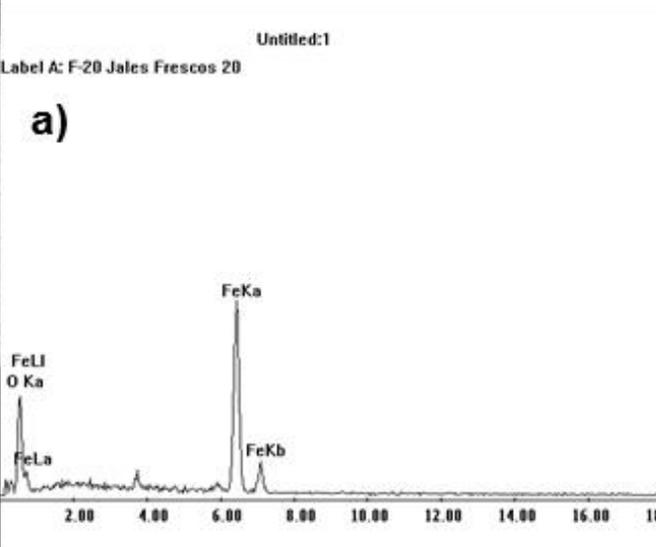
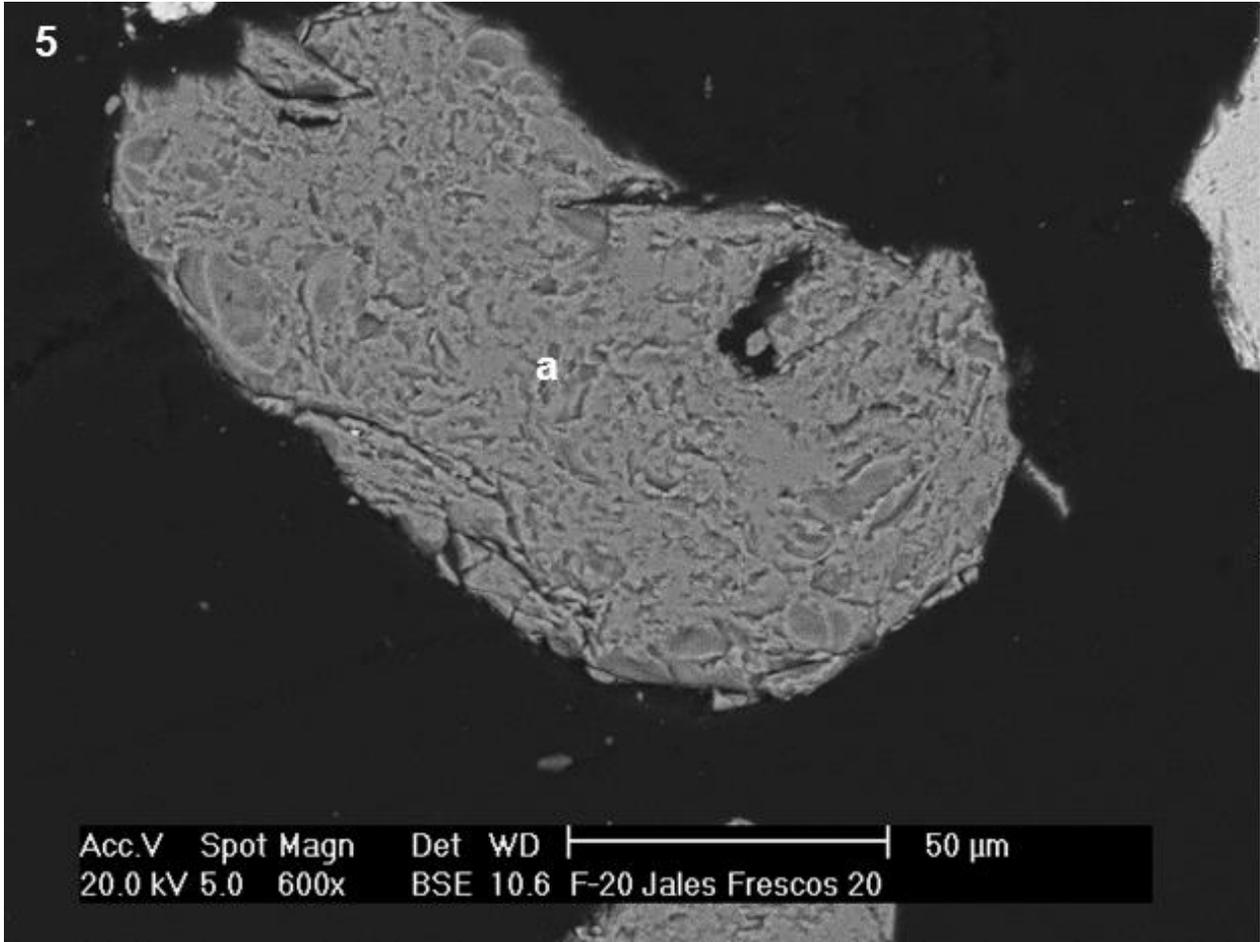
1) Partícula de masicotita (O 4.1%; Pb 95.9%)



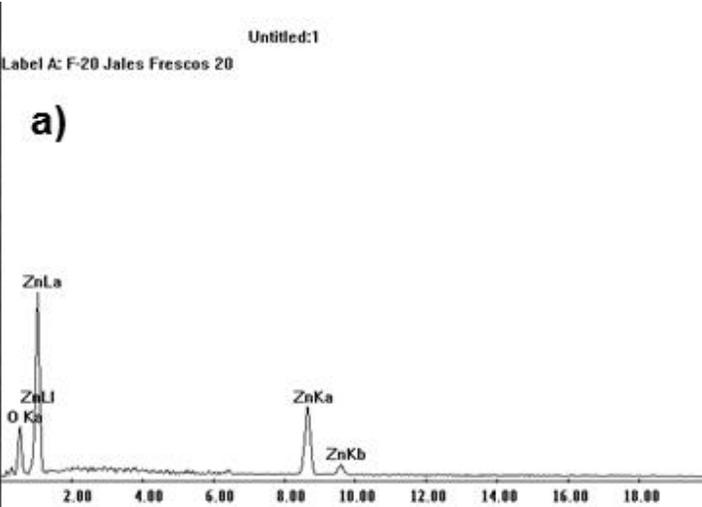
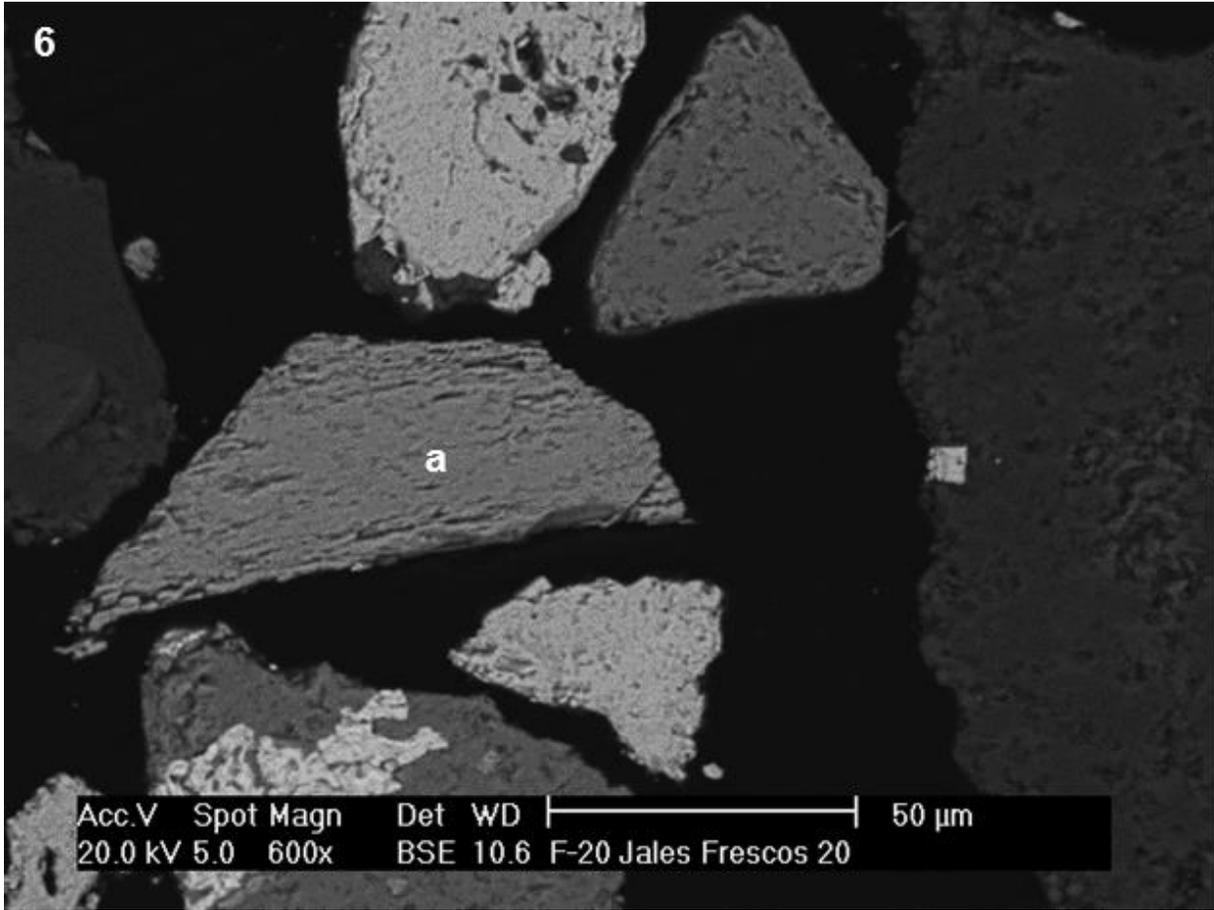
3) Partícula de arsenopirita (S19.83%; Fe39.945; As 45.78%)



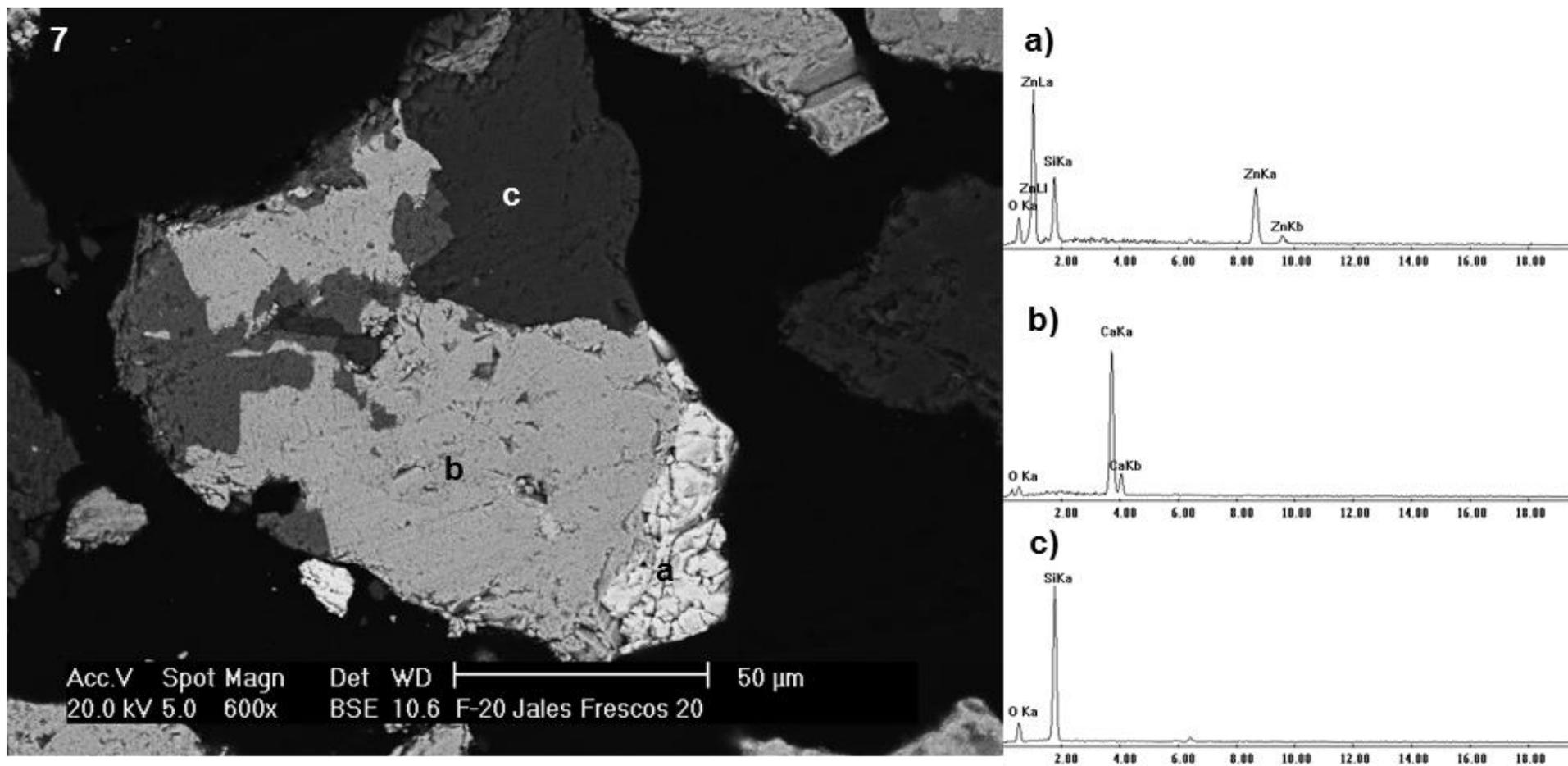
4) Partícula mixta de a) pirita (S 35.19%, Fe 64.81%) con b) magnetita (O 20.31%; Fe 79.69%) y c) cuarzo (O 32.14%; Si 67.86%)



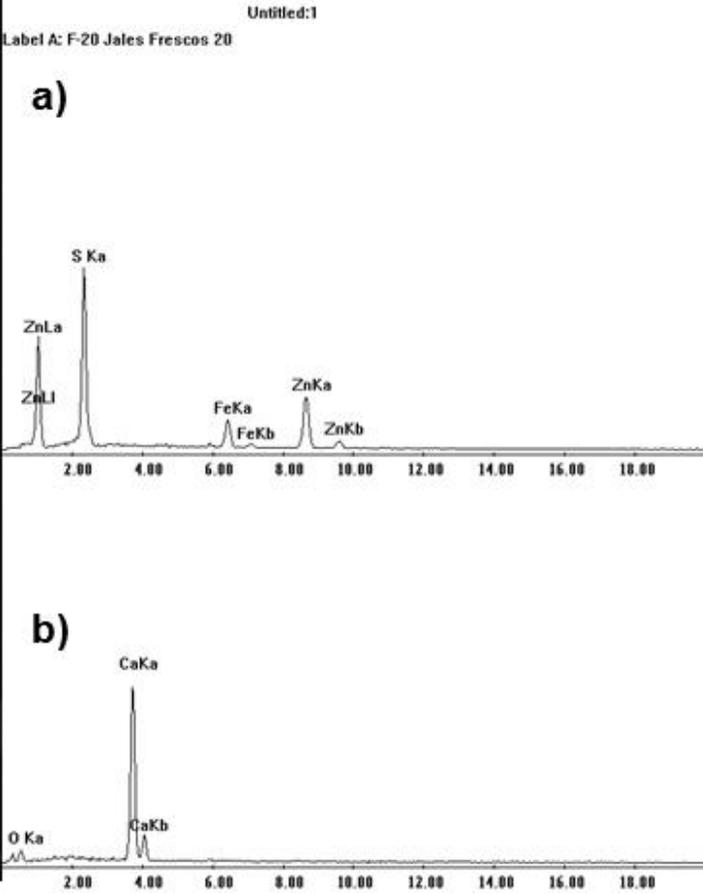
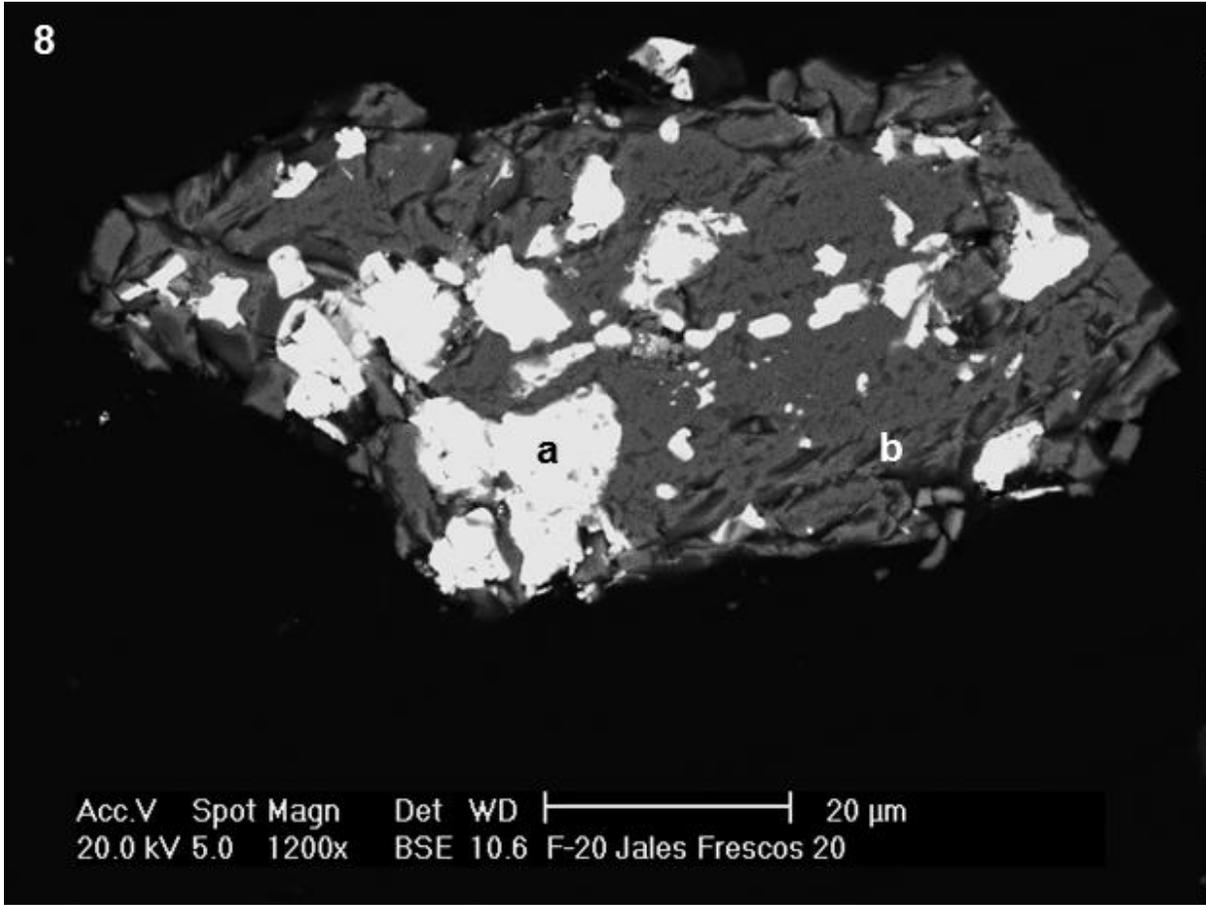
5) Partícula de magnetita (O 20.31%; Fe 79.69%)



6) Partícula de smithsonita (O17.41%; Zn 82.59%)

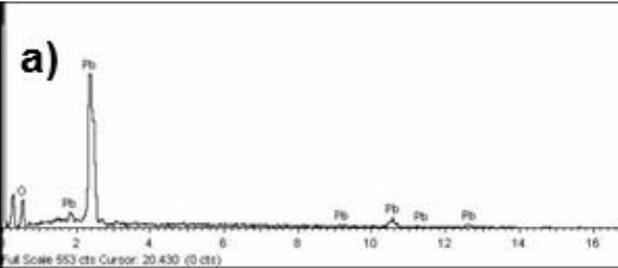
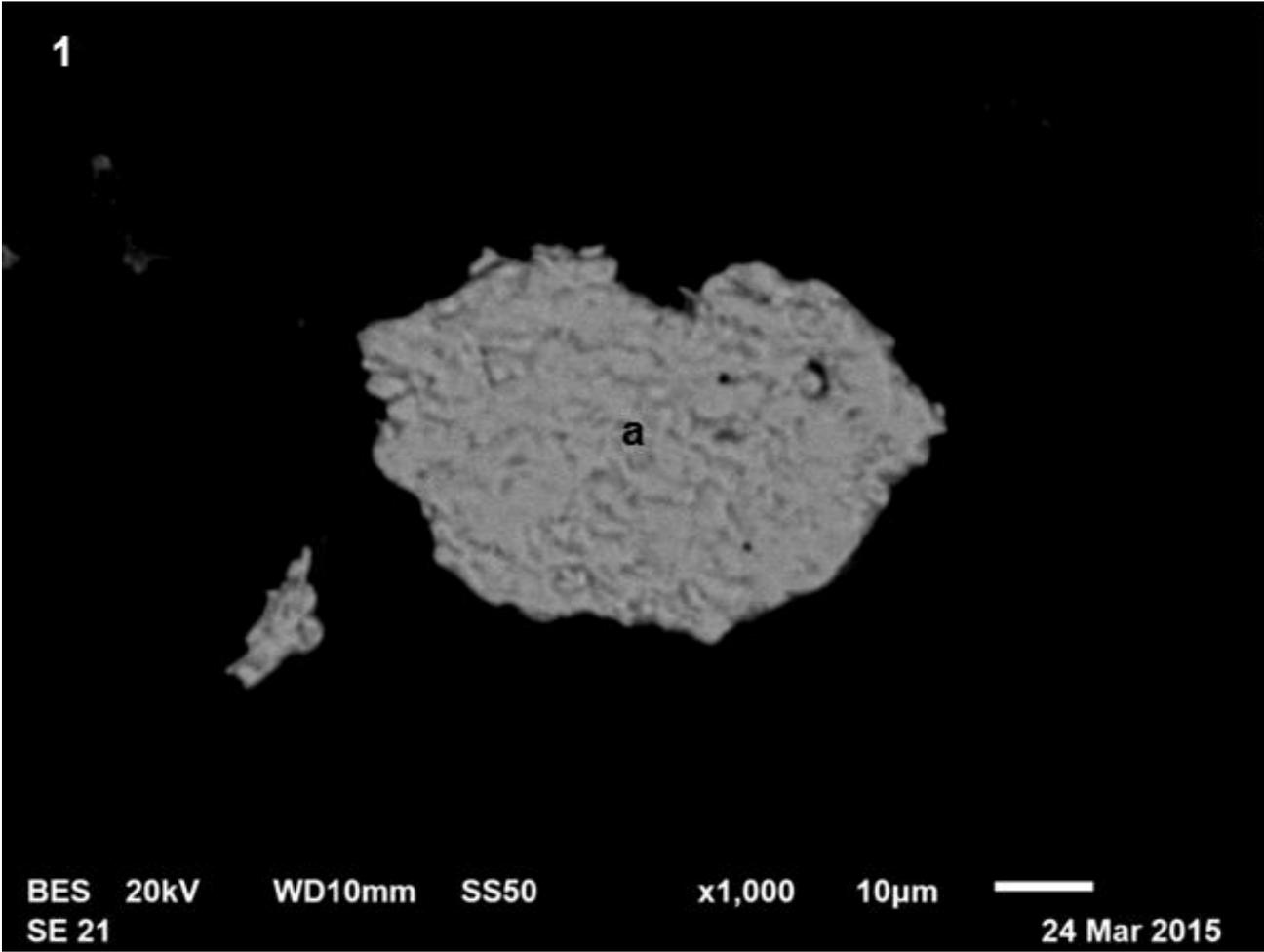


7) Partícula mixta de a) marmatita (S 29.5%; Fe 12.65%; Zn 57.85%) b) calcita (O 29.66%; Ca 70.34%) y c) cuarzo (O 32%; Si 68%)

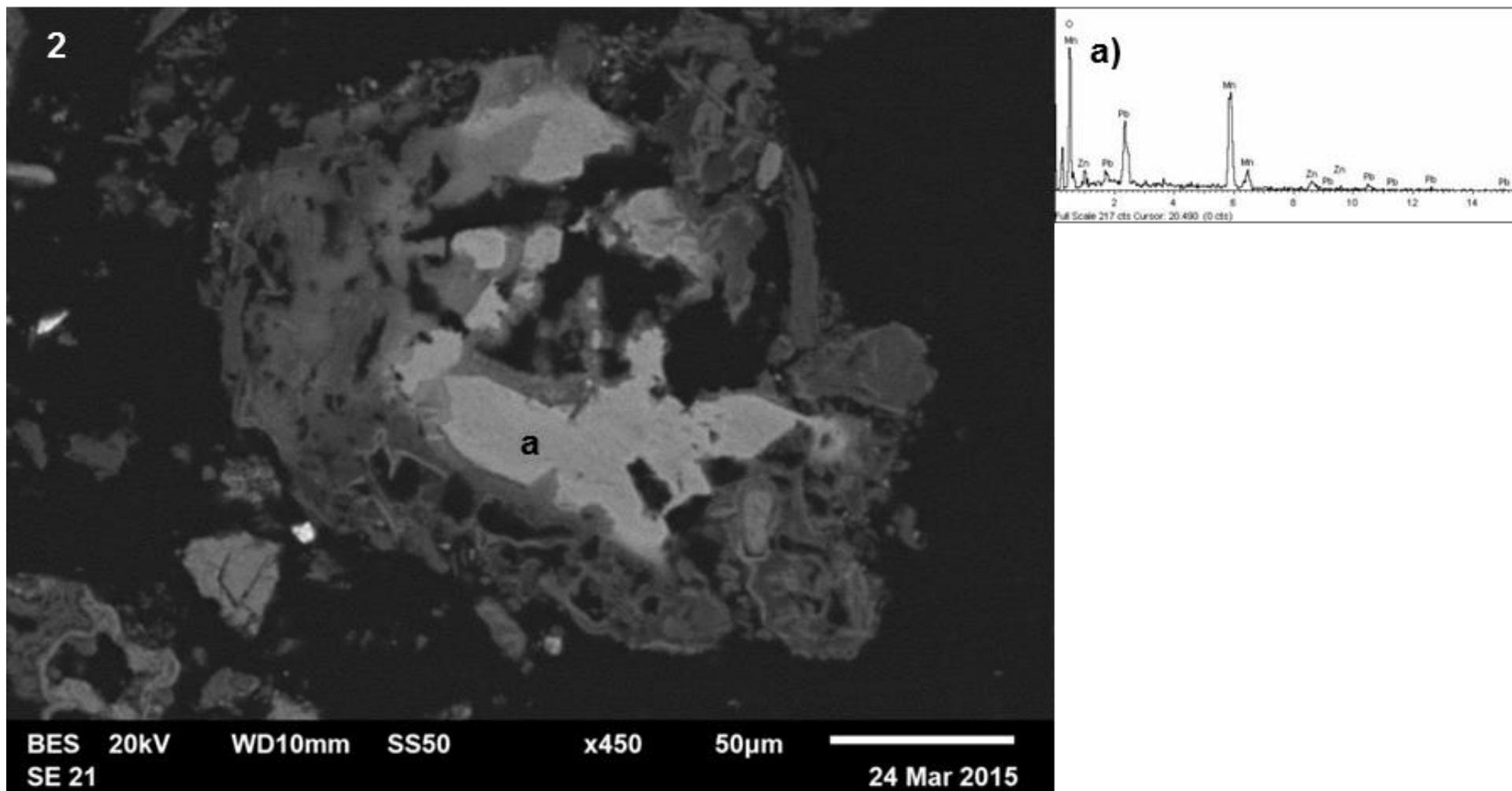


8) Partícula mixta de a) galena (S12.18%; Pb 87.82%) y óxido de plomo (O 5.7% V 11.15%; Zn 14.06; Pb 69.09%)

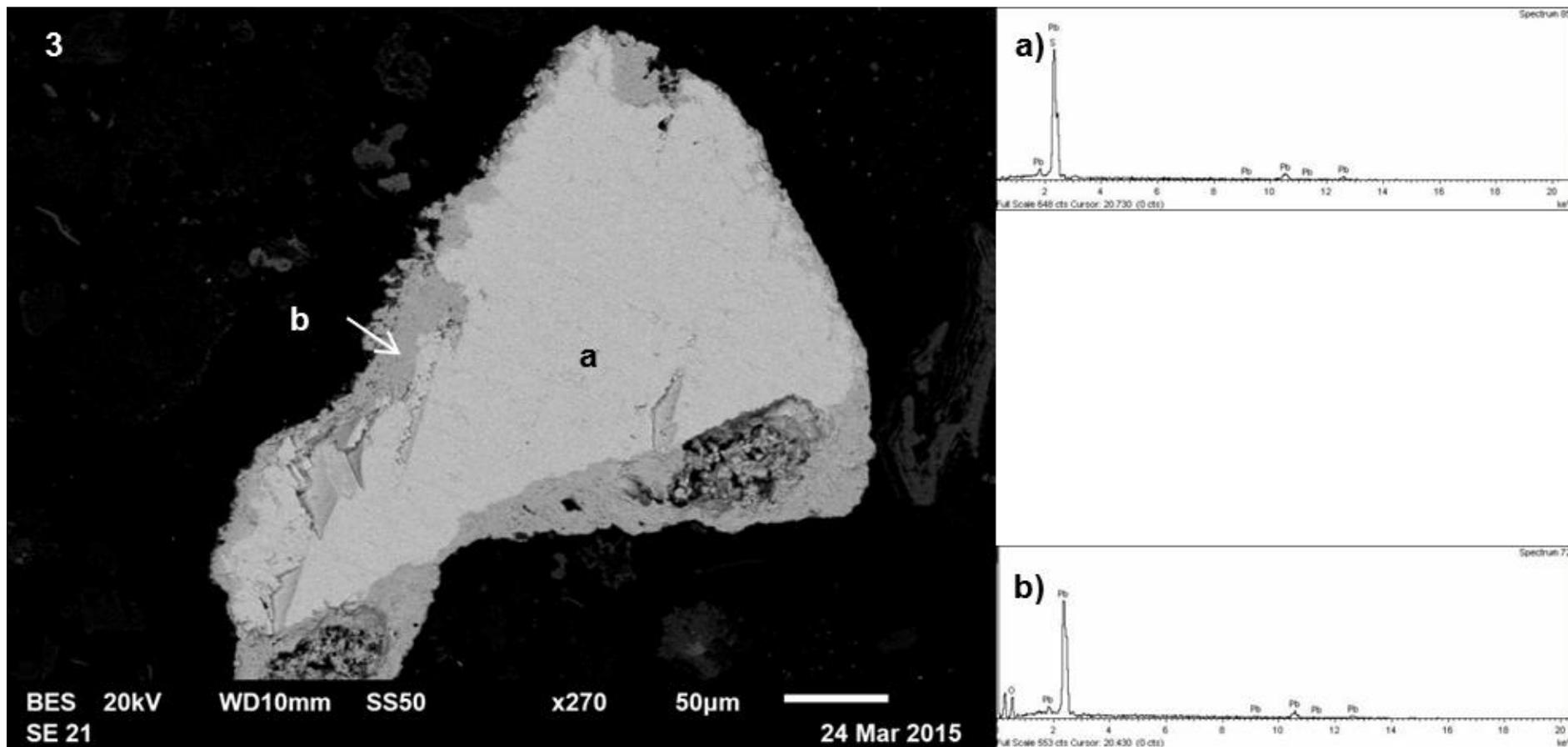
- Muestra SE21 correspondiente a terrero



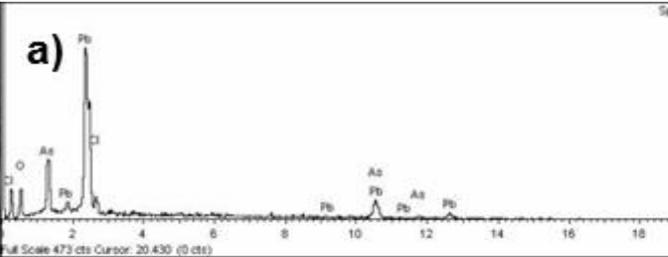
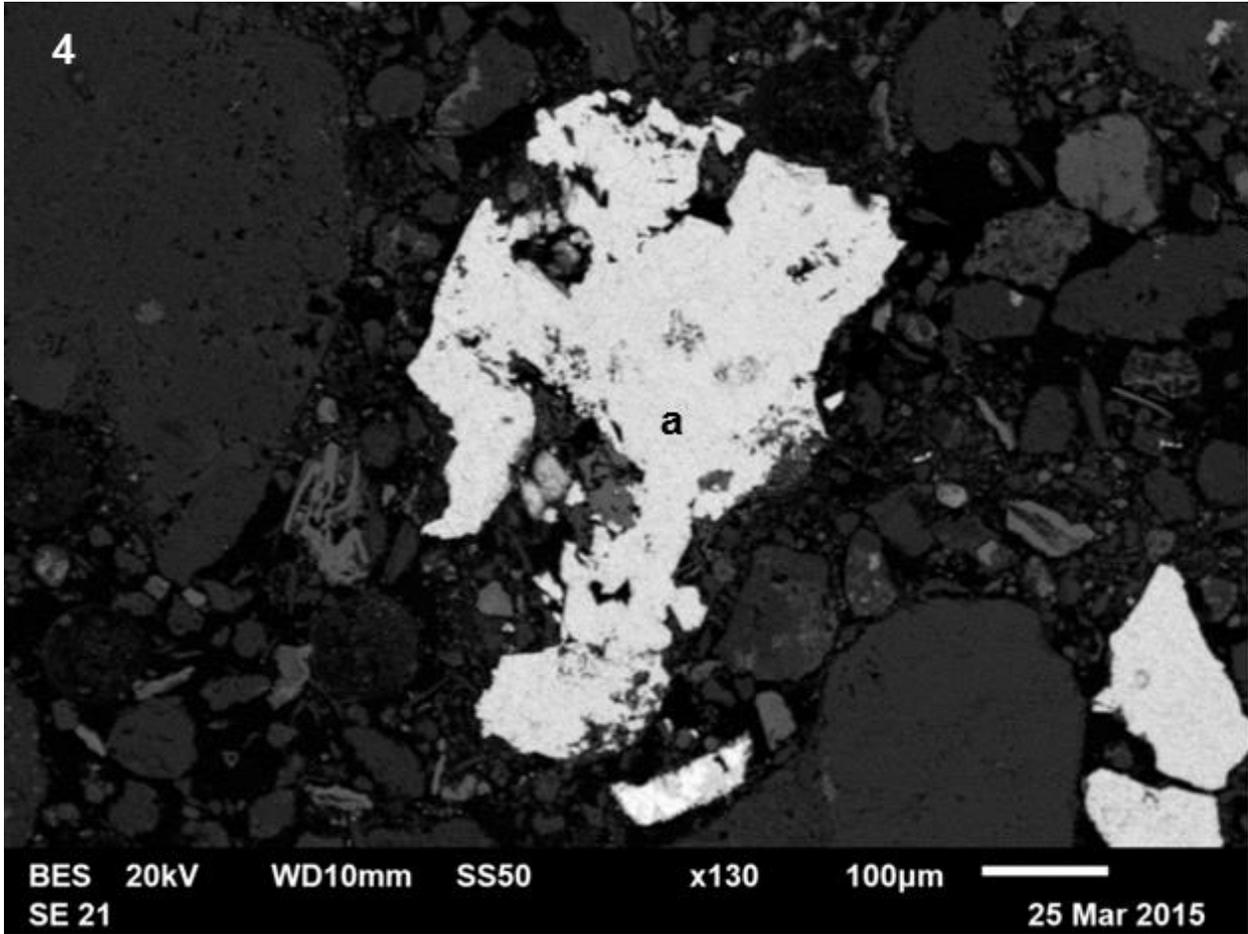
1) Partícula de cerusita (O 19.87%; Pb 80.19%)



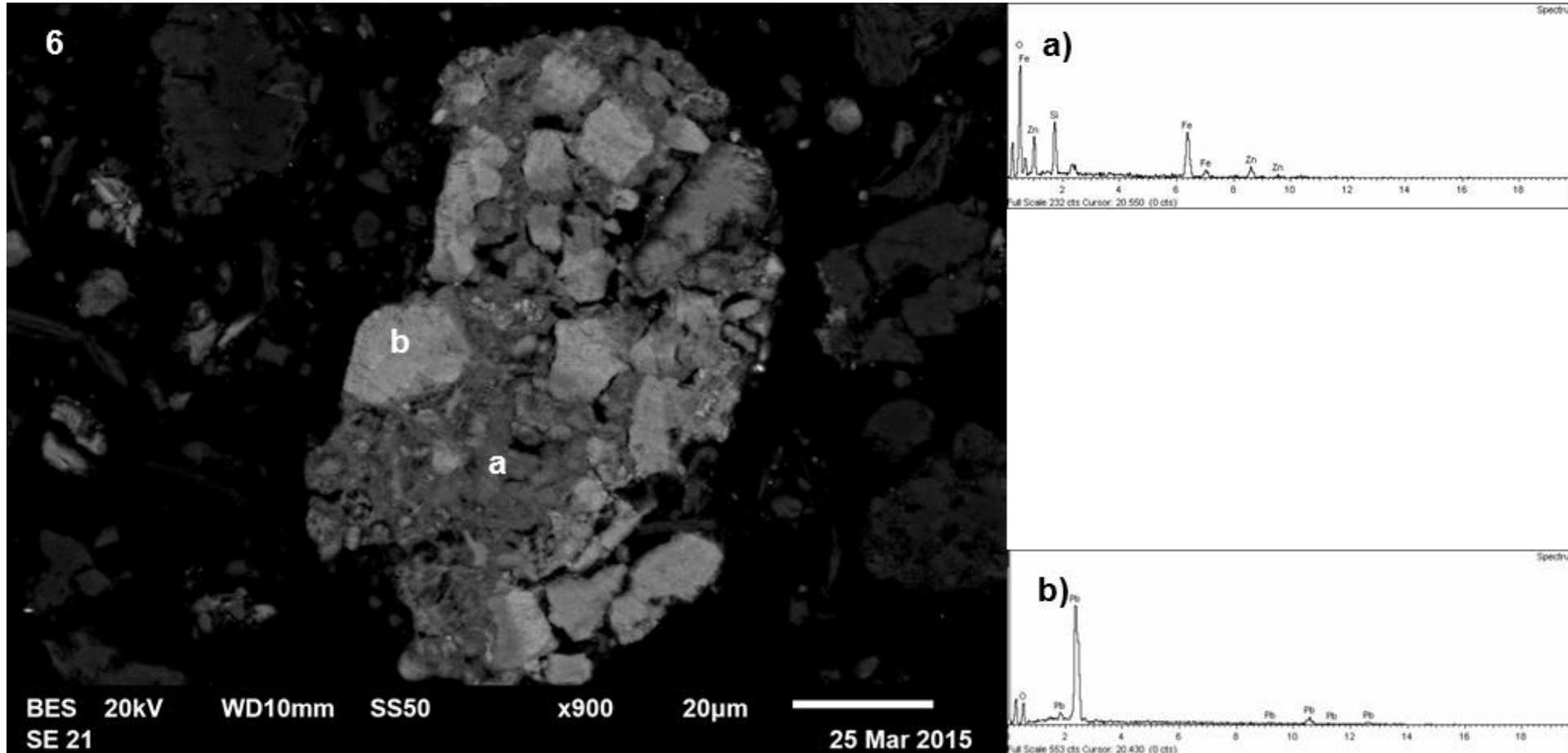
2) Partícula de óxido de manganeso y plomo (O 34.7%; Mn 37.92%; Zn 6.66%; Pb 20.72%)



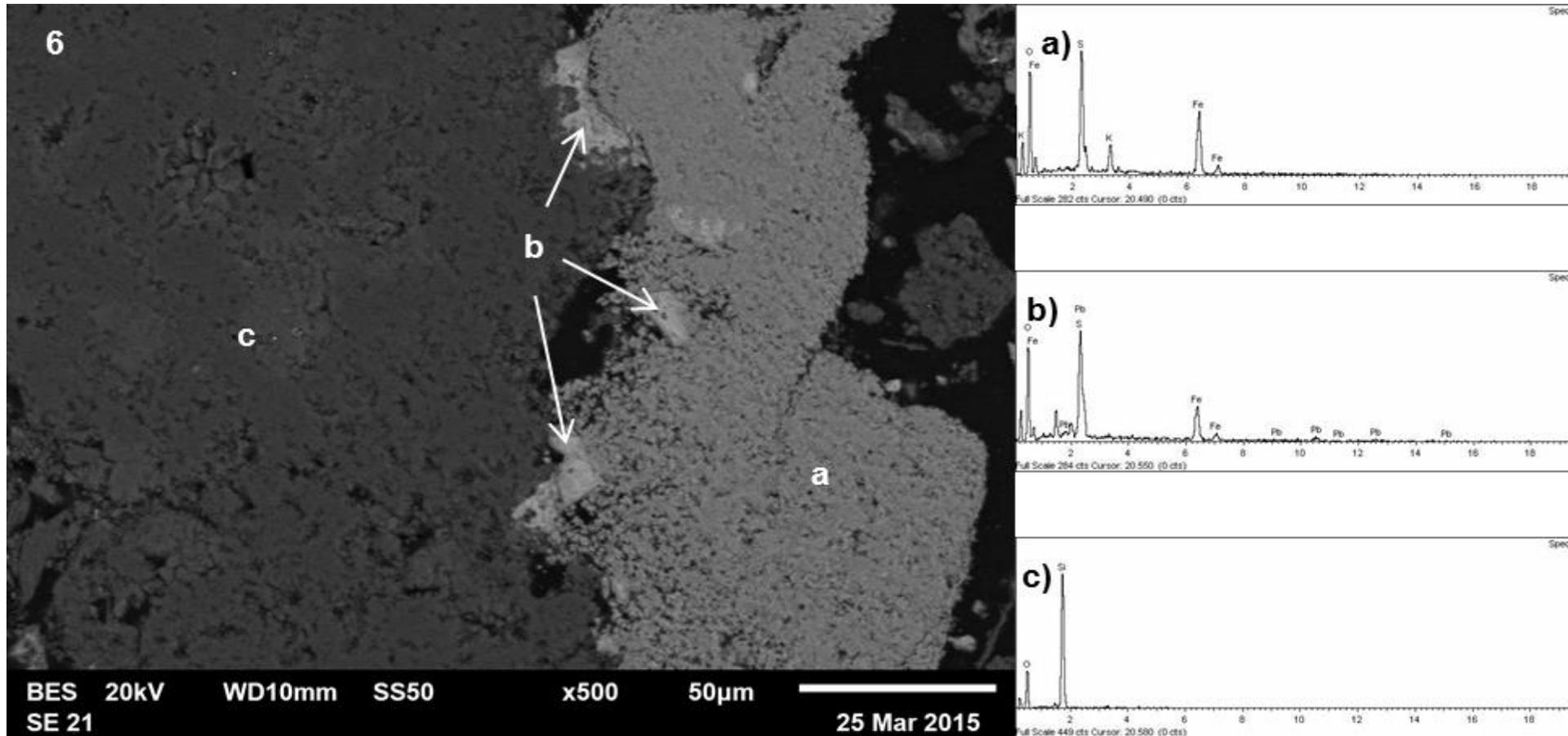
3) Partícula mixta de a) galena (S12.96%; Pb 87.04%) y b) cerusita (O17.67%; Pb 82.33%)



4) Partícula de mimetita (O 16.10% Cl 2.35%; As 14.34%; Pb 67.21%)

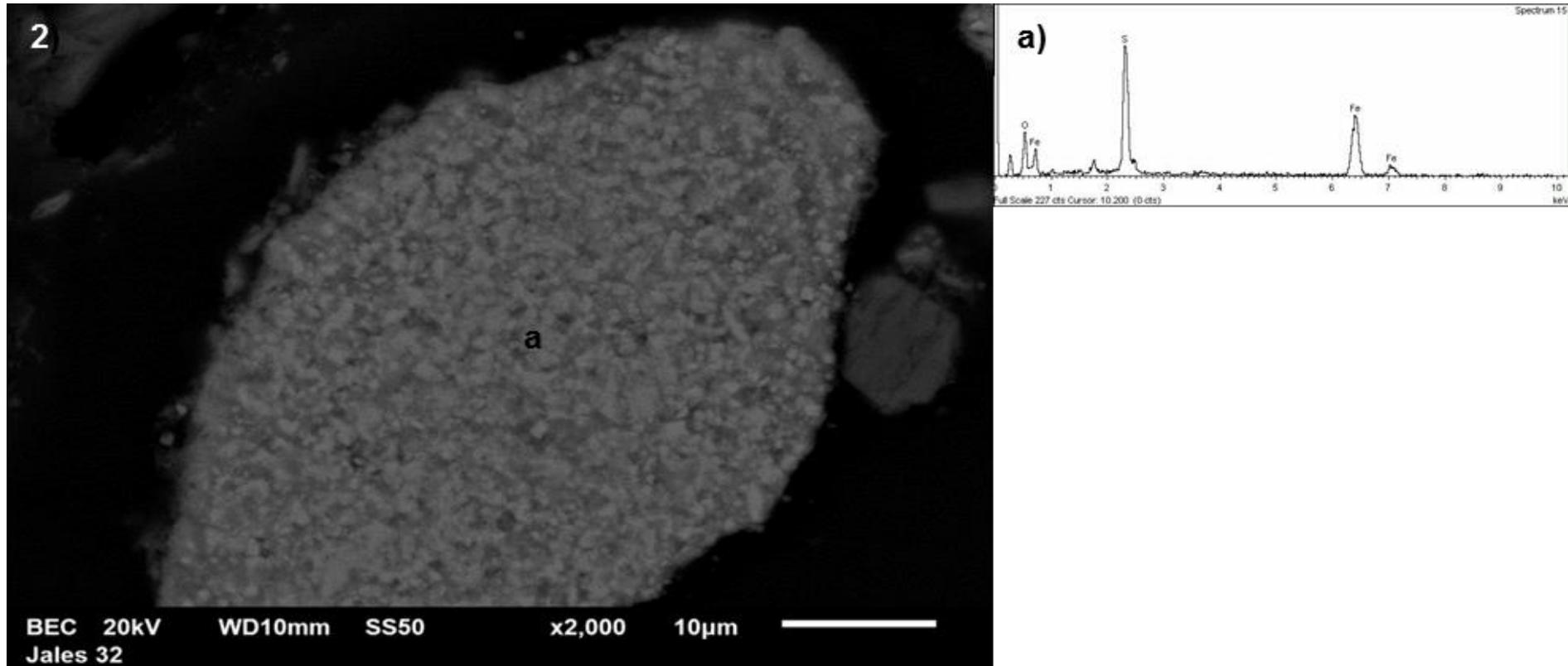


6) Partícula mixta de a) siderita enriquecida en zinc (O 40.94%; Si 11.08%; Fe 32.24%; Zn 15.74%) y b) cerusita (O 19.87%; Pb 80.19%)

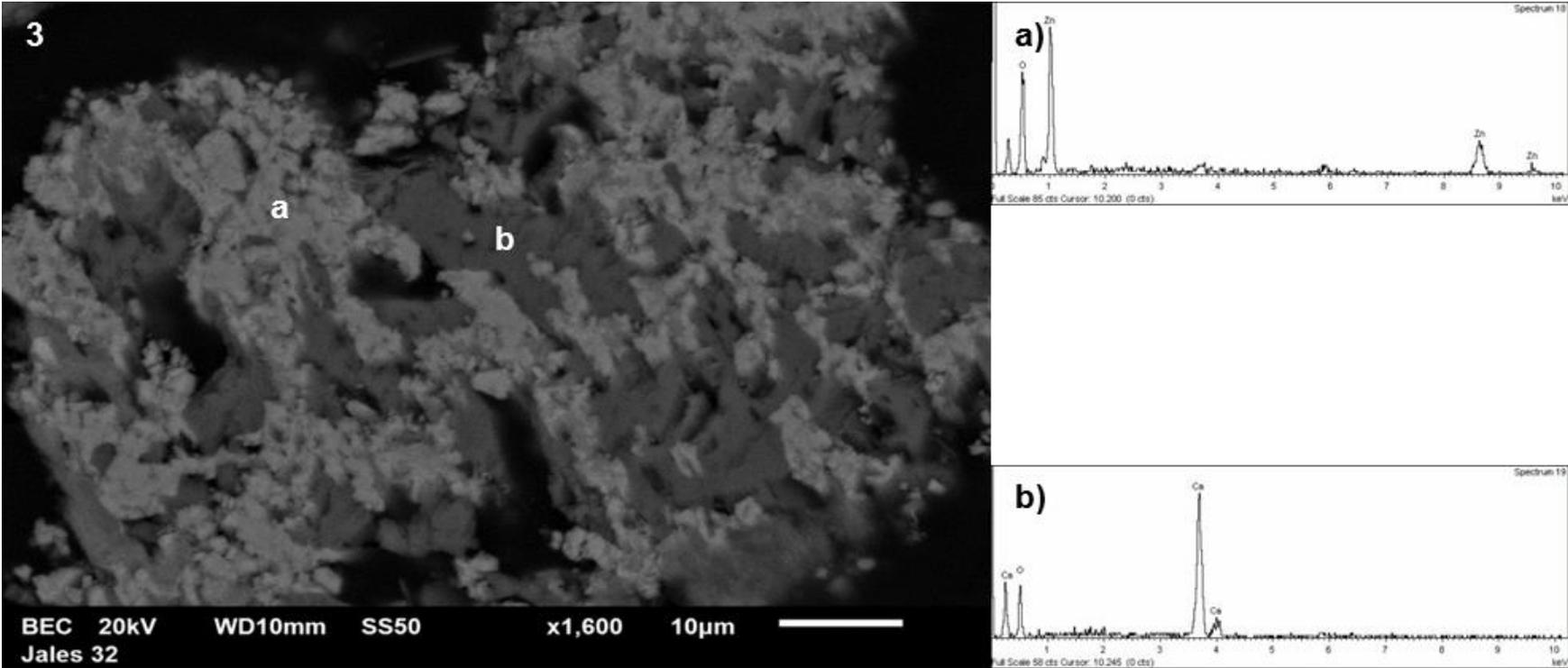


7) Partícula mixta de a) jarosita (O 43.27%; S 16.38%; K 5.29%; Fe 35.06%) b) plumbojarosita (O 41.08%; S 9.58%; Fe 20.07%; Pb 29.25%) c) con cuarzo (O 50.82%; Si 49.18%)

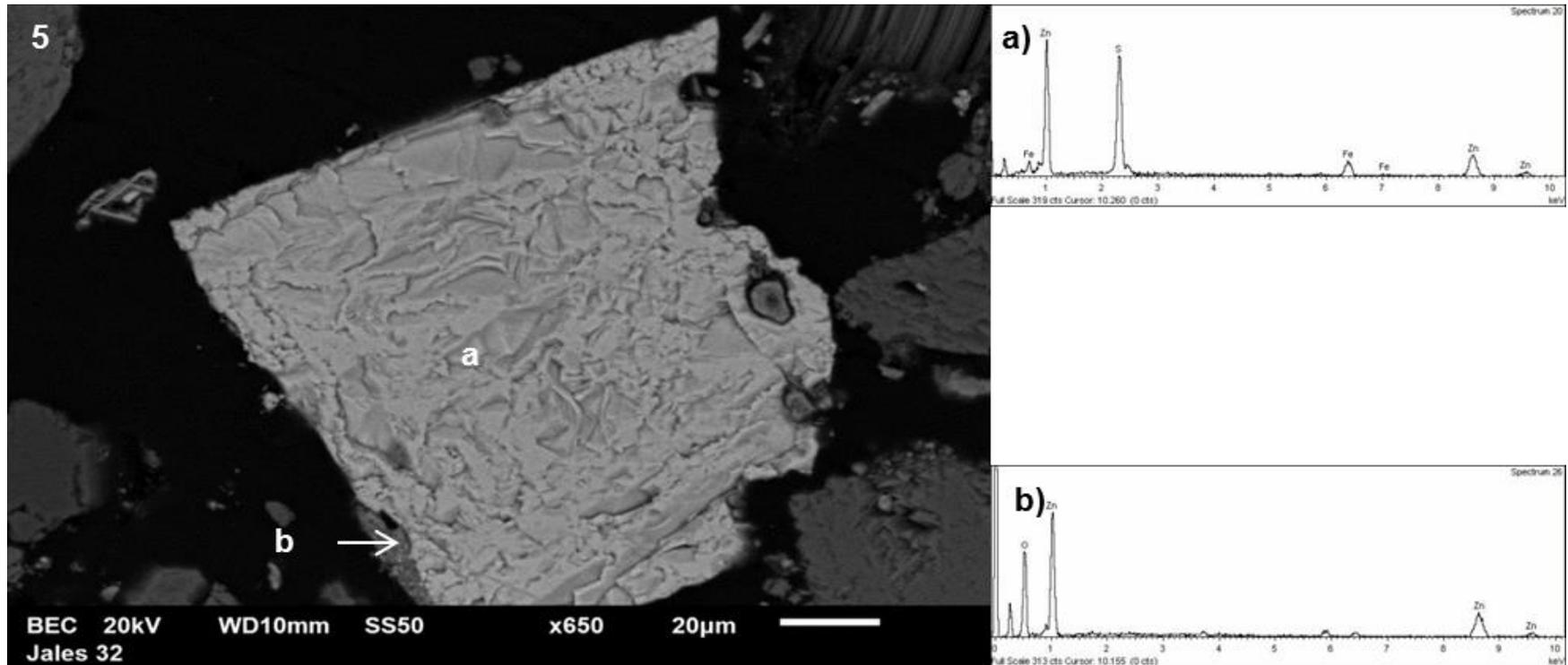
- Muestra SE12B correspondiente a presa de jales antigua



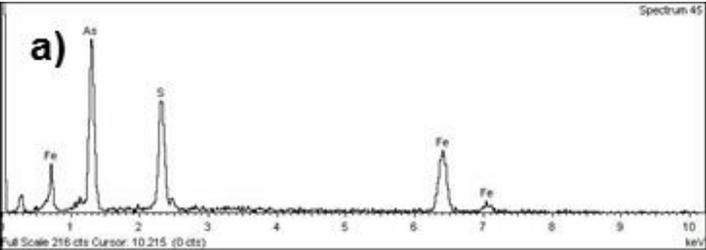
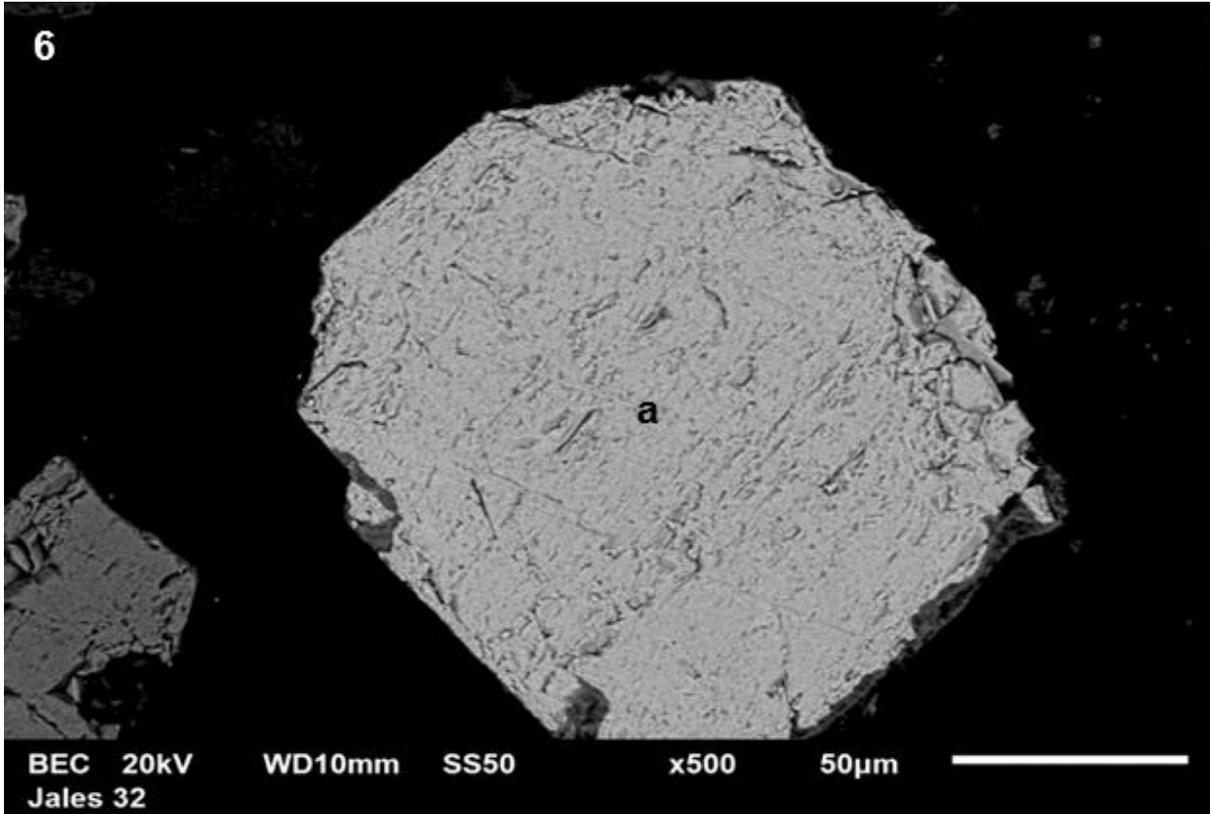
2) Partícula de sulfato de hierro (O 23.97%; S 28.05%; Fe 47.975)



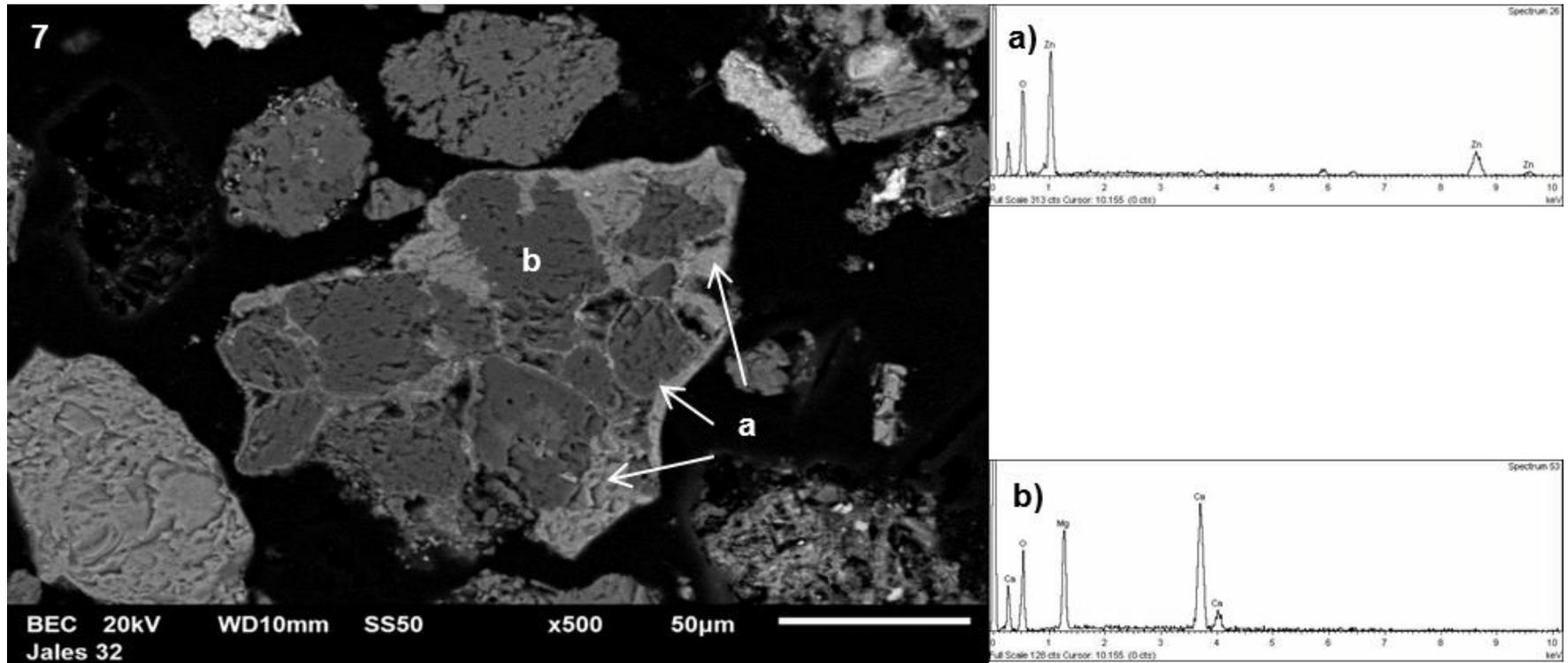
3) Partícula mixta de a) smithsonita (O 42.45%; Zn 57.55%) asociada a b) calcita (O 64.64%; Ca 39.36%)



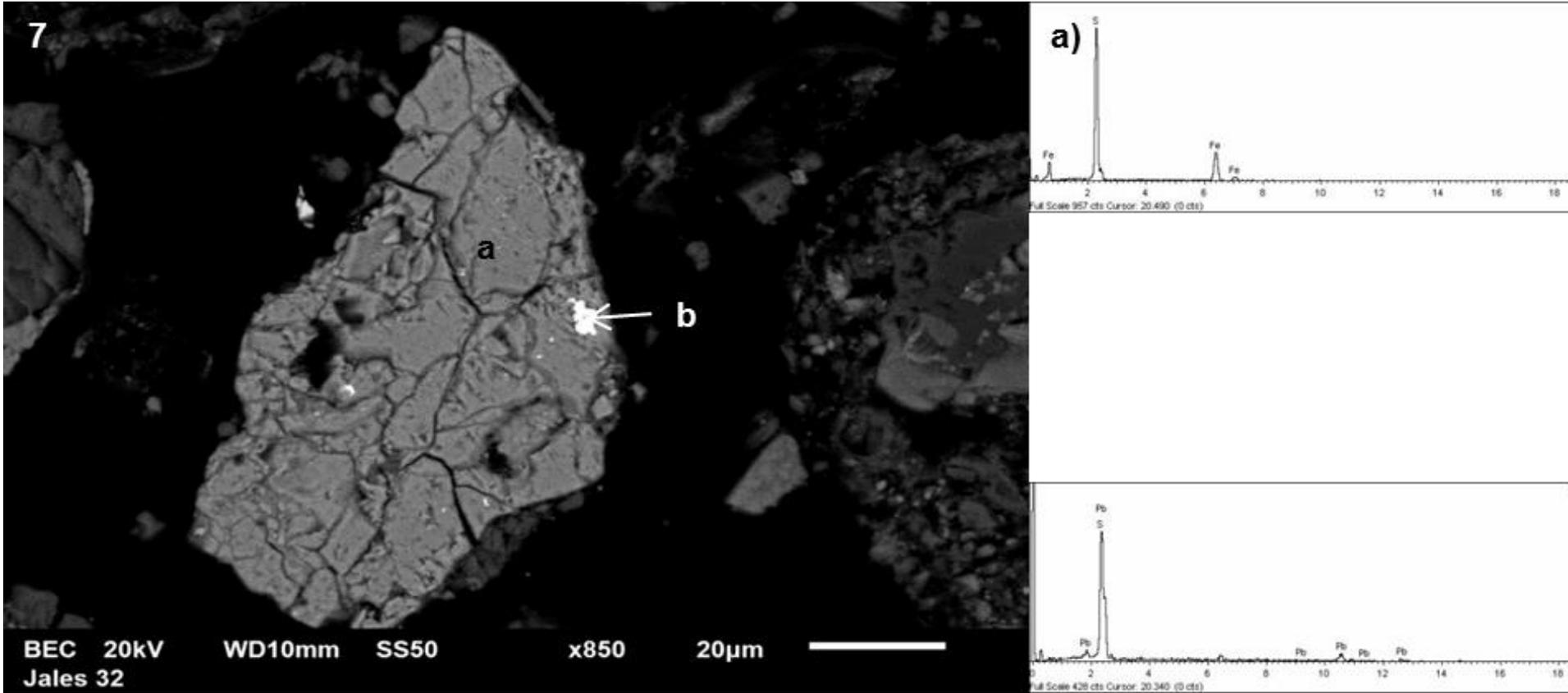
5) Partícula de marmatita (S 37.14%; Fe 11.88%; Zn 50.98%) con alteraciones en el borde smithsonita (O 44.53%; Zn 55.47%)



6) Partícula de arsenopirita (S 21.74%; Fe 32.77%; As 45.48%)

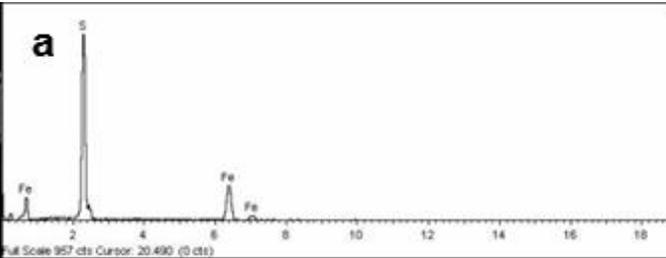
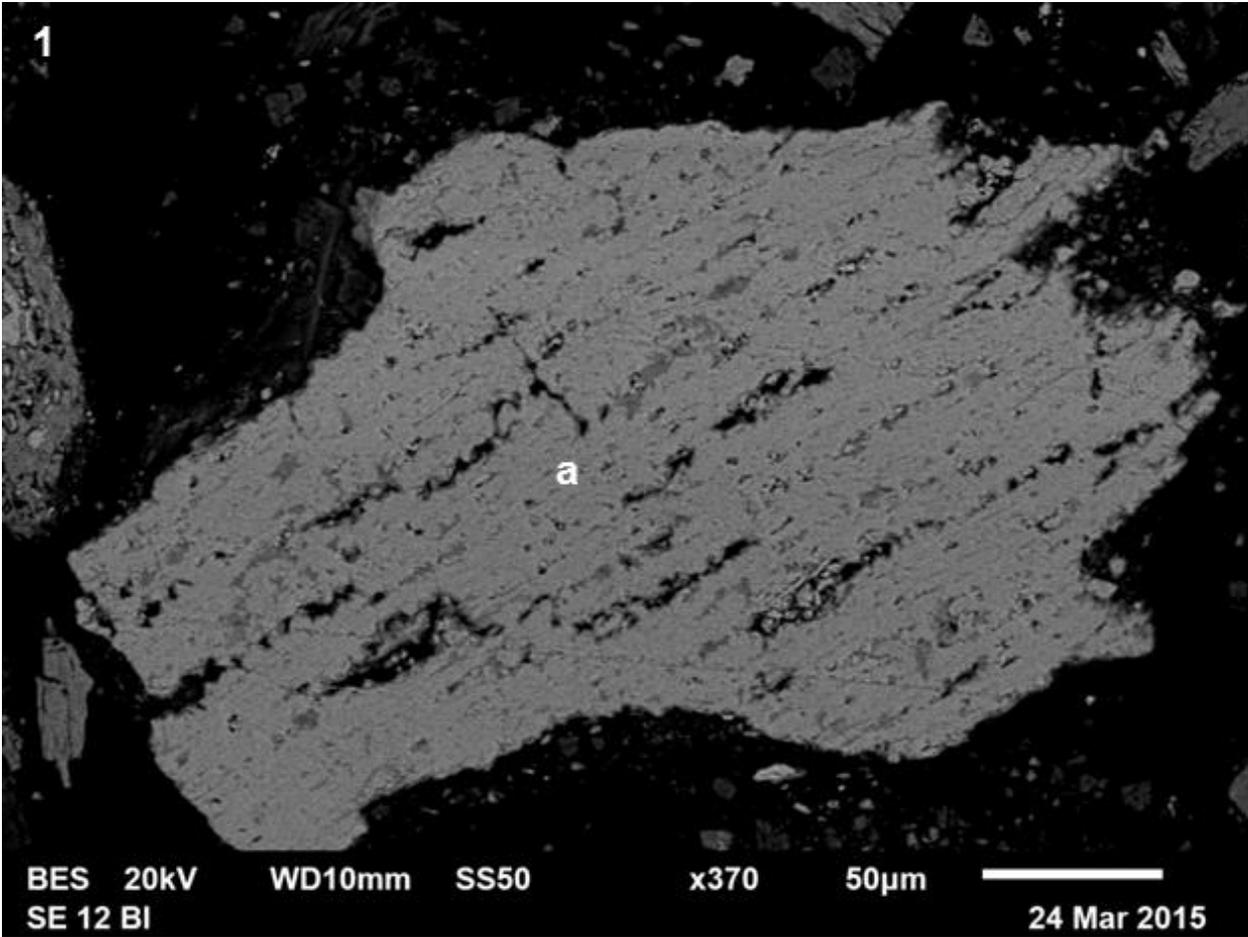


7) Partícula mixta de a) smithsonita (O 44.53%; Zn 55.47%) y b) Dolomita (O 54.18%; Mg 16.81%; Ca 29.01%)

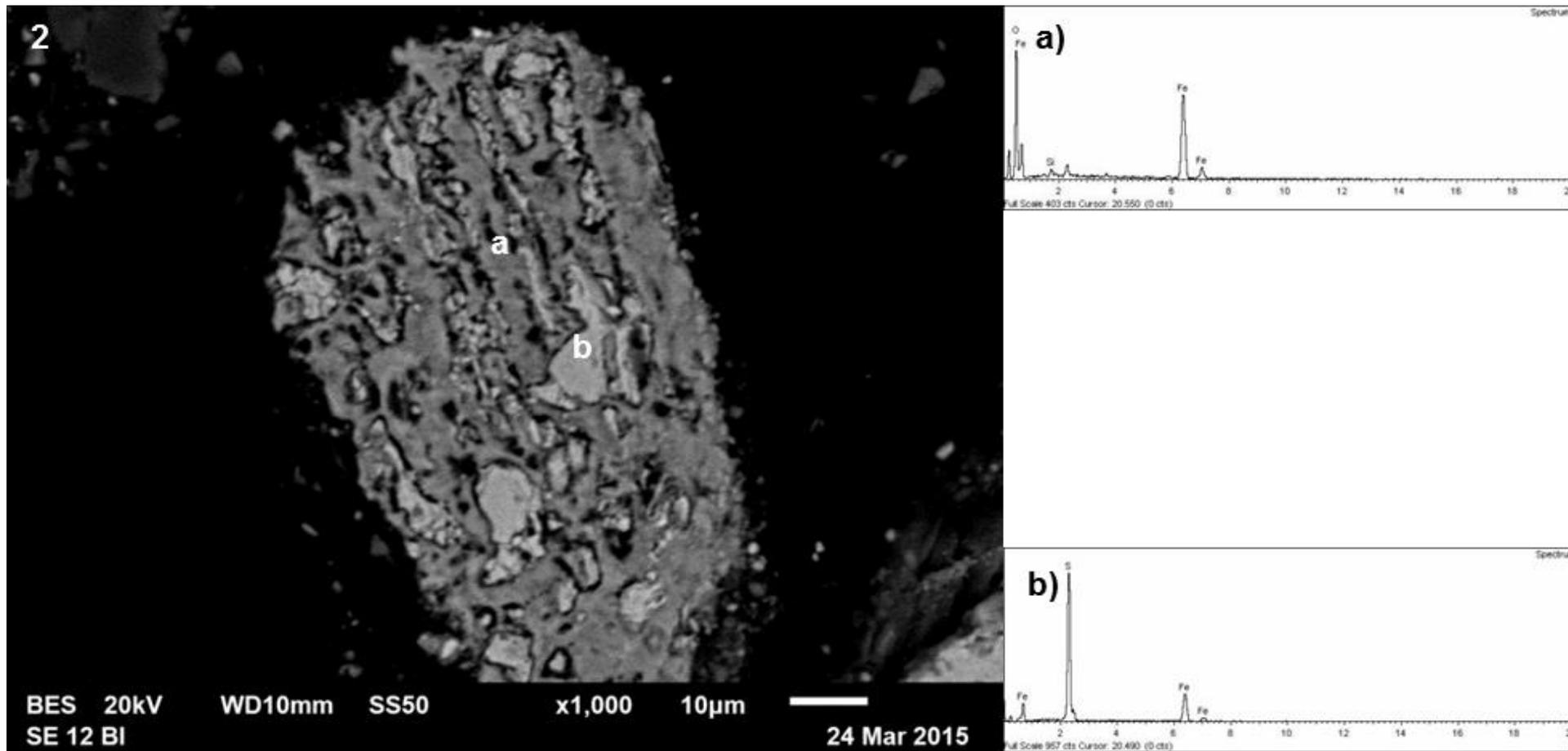


8) Partícula de pirita (S 57%; Fe 43%) con inclusión de galena (S 15.09%; Pb 84.91%)

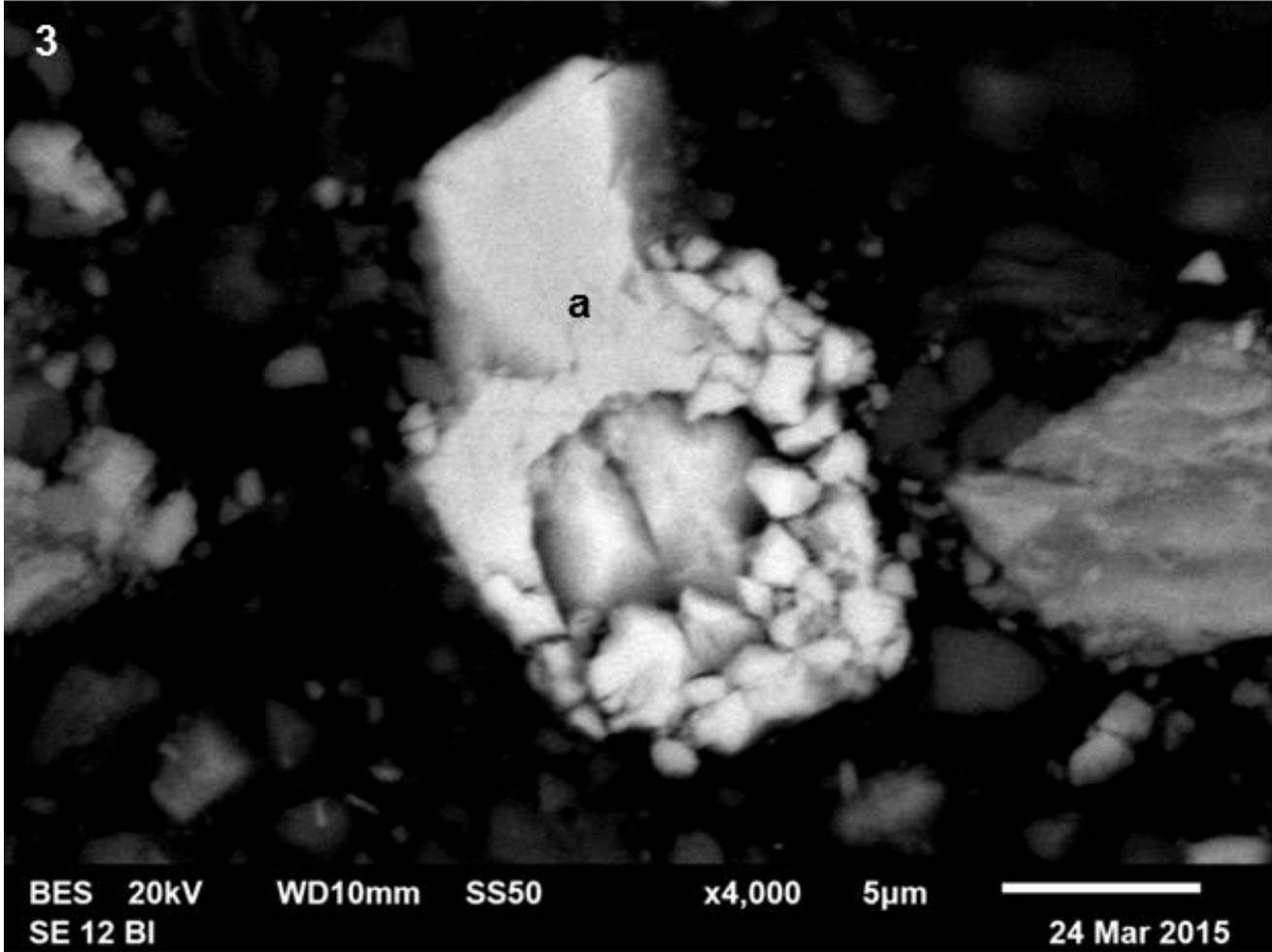
- Muestra SE12B-I correspondiente a presa de jales antigua



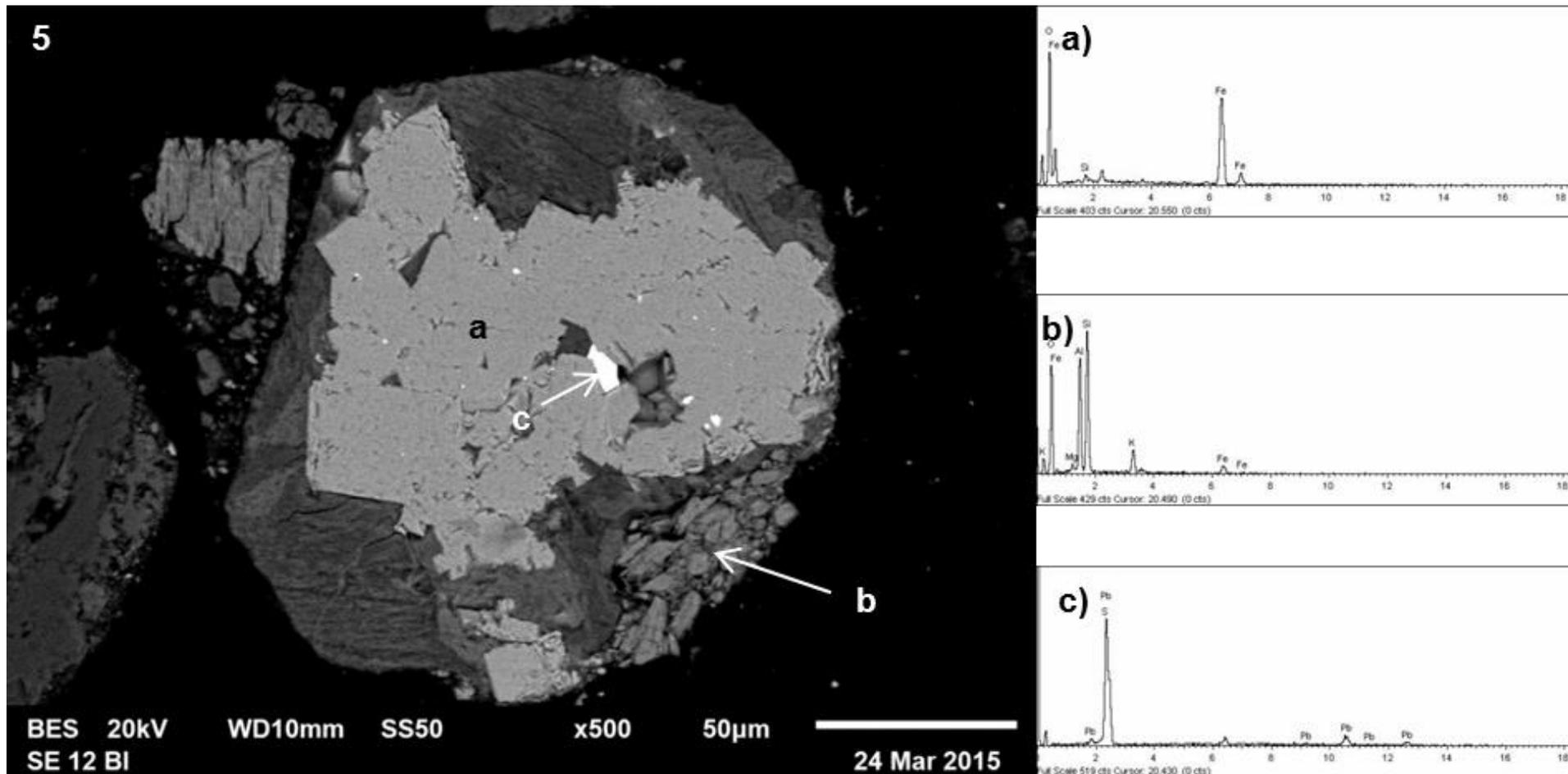
1) Partícula de marcasita(S 57.67%; Fe 42.35%)



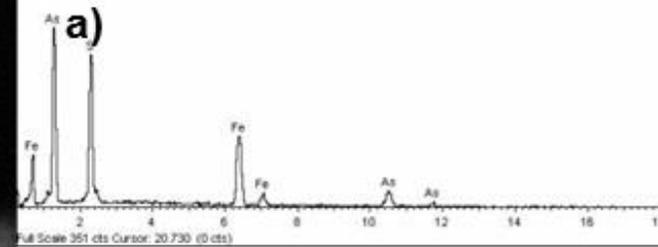
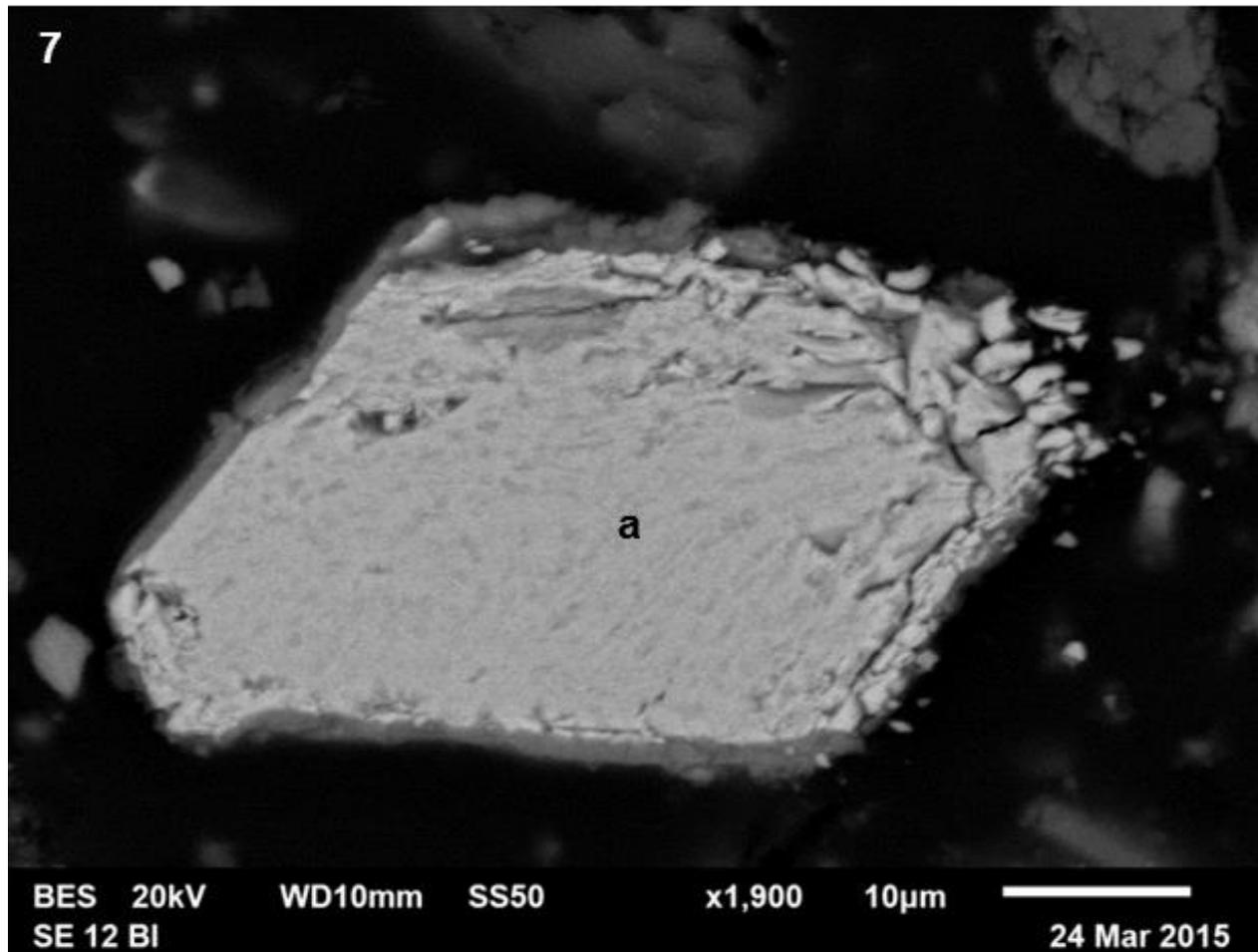
2) Partícula mixta de a) goethita (O 35.97%; Fe 62.68%) y b) marcasita (S 57.65%; Fe 42.35)



3) Partícula de marmatita (S 37.48%; Fe 12.75%; Zn 49.77%)

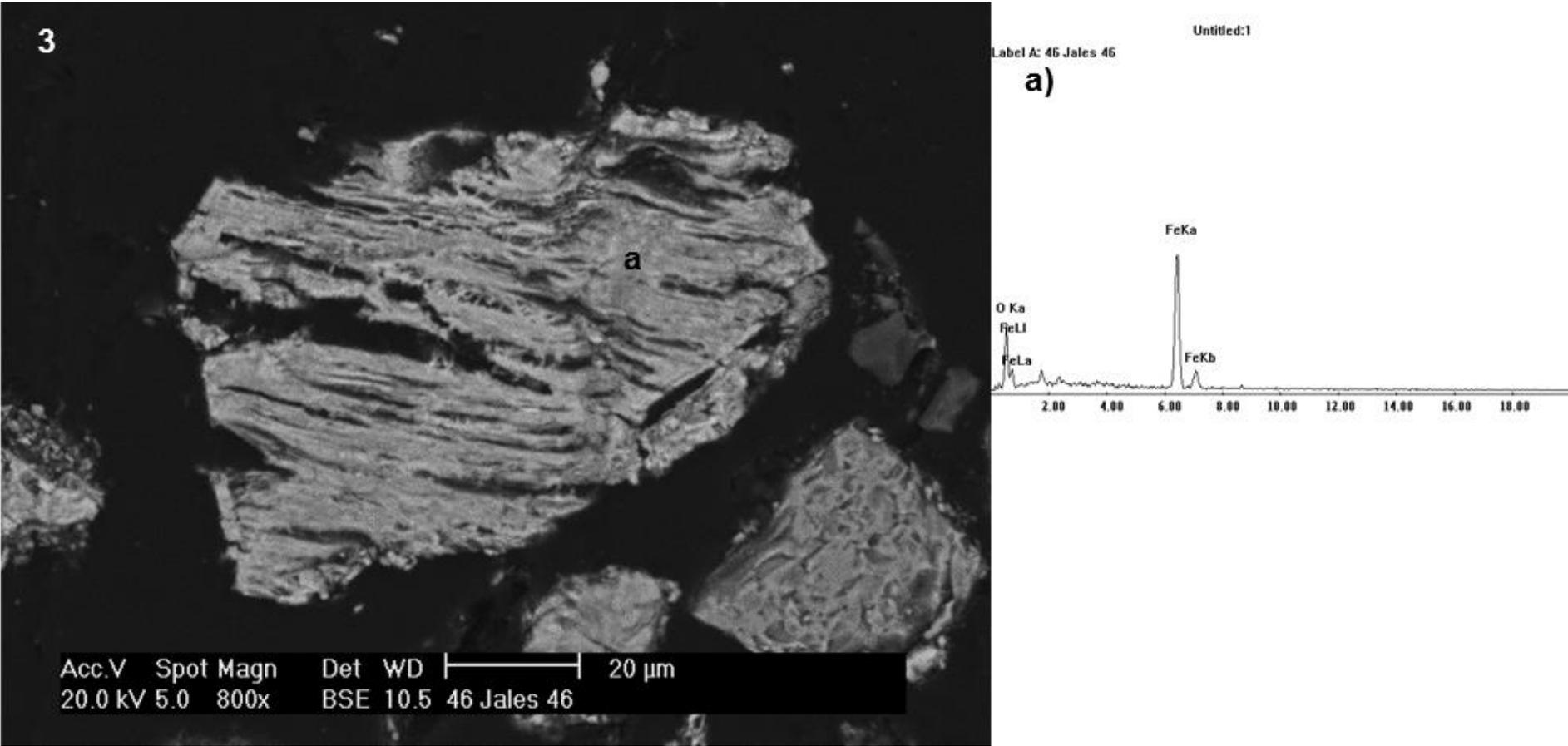


5) Partícula mixta de a) goethita (O 37.27%; Fe 62.73%) con inclusión de b) galena (S 15.09%; Pb 84.91%) y c) silicoaluminato de potasio y magnesio (O 50.62%; Mg 1.05%; Al 15.20%; Si 22.6%; K 5.61%; Fe 4.92%)

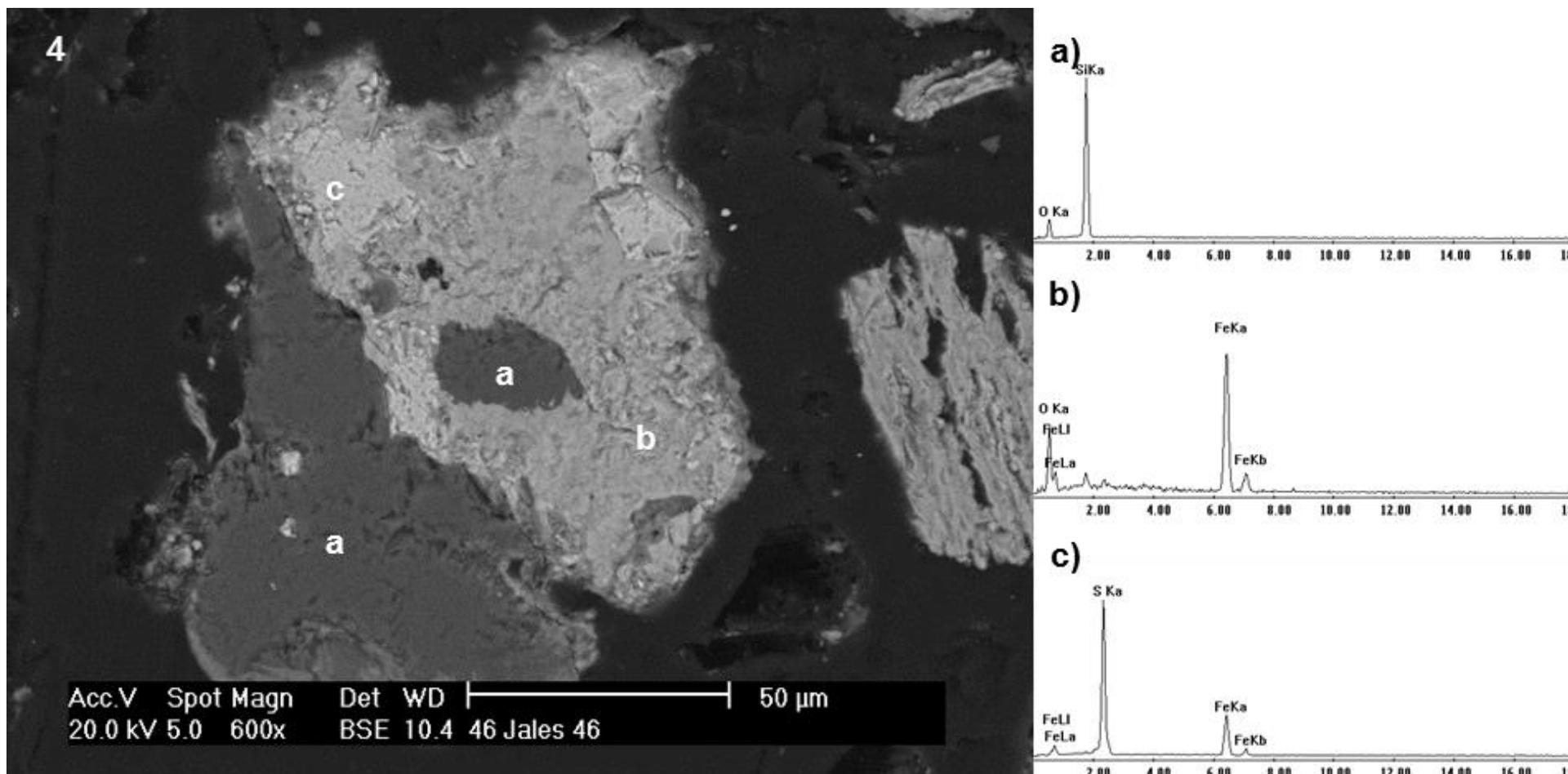


7) Partícula de arsenopirita (S 23.49%; Fe 34.74%; As 41.77%)

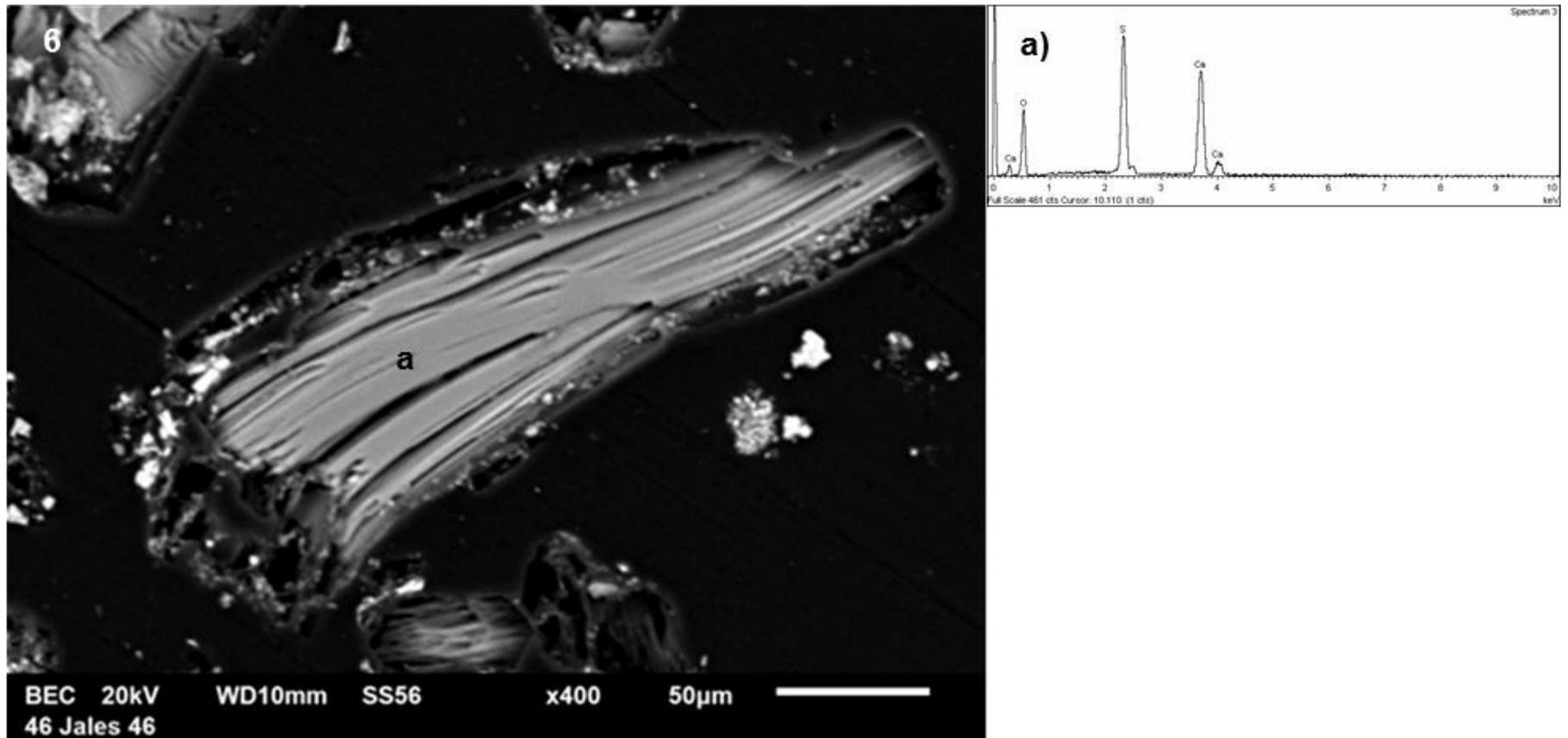
- Muestra SE27A correspondiente a sedimento APJ



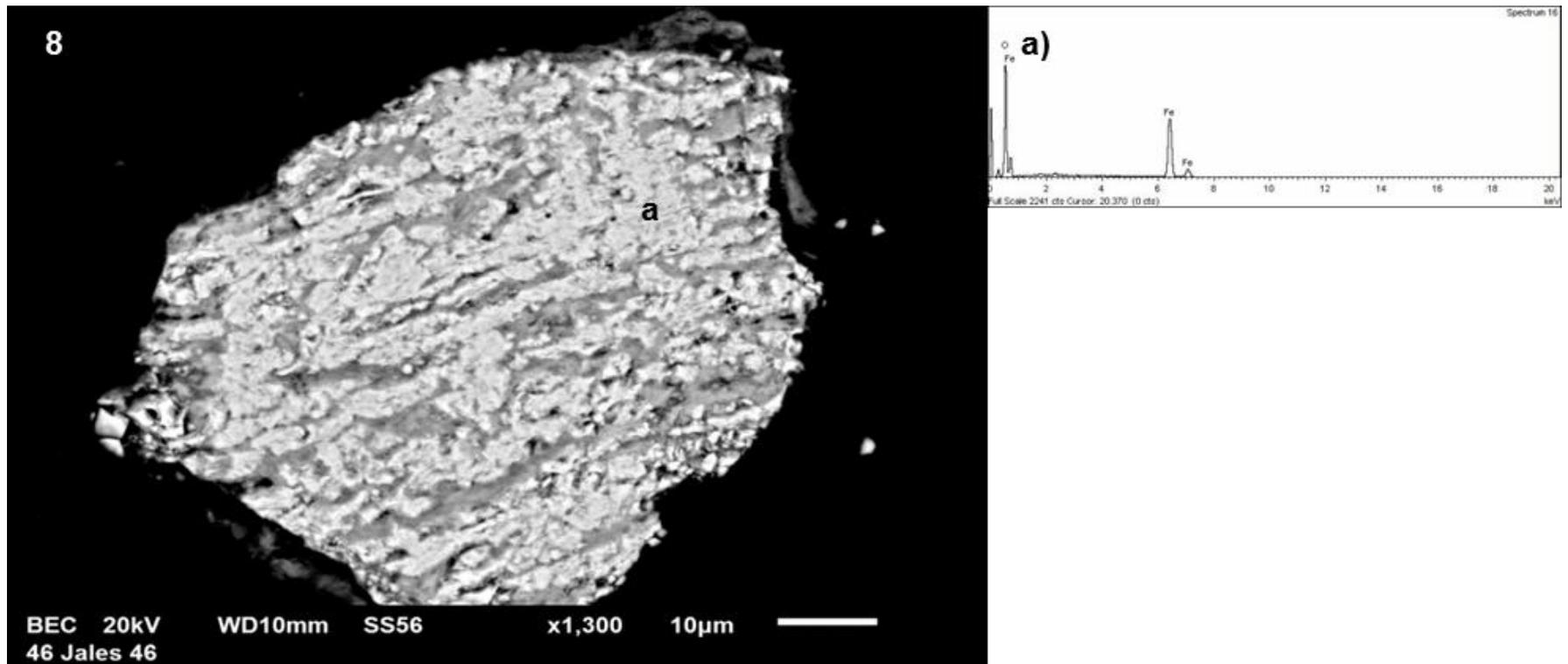
3) Partícula de óxido de hierro (O 17.26%; Fe 82.74%)



4)Partícula mixta de a) silicato (O 30.79%; Si 69.21%) b) óxido de hierro (O 15%; Fe 70.52%) c)pirita (S Fe)

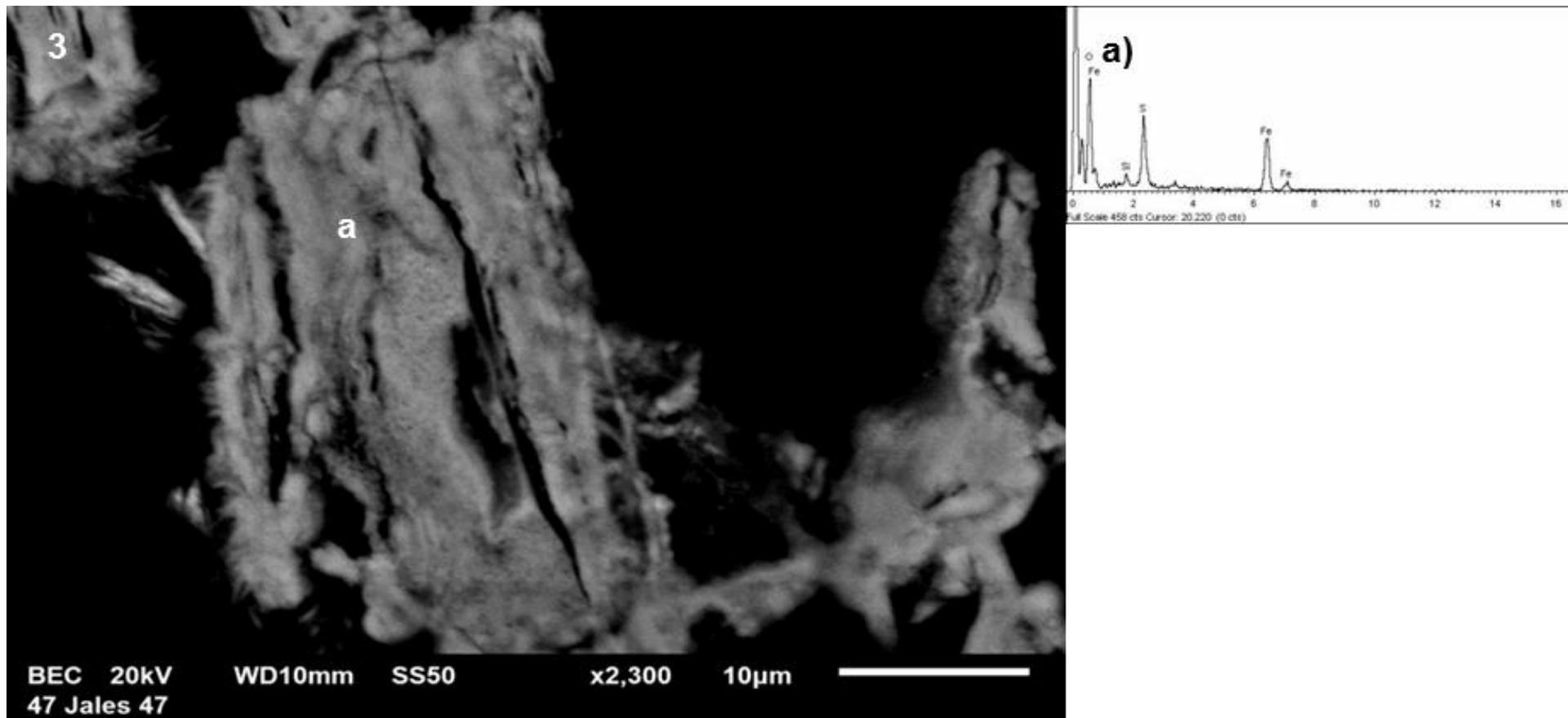


6) Partícula de yeso (O 55.115%; S 20.58%; Ca 24.31%)

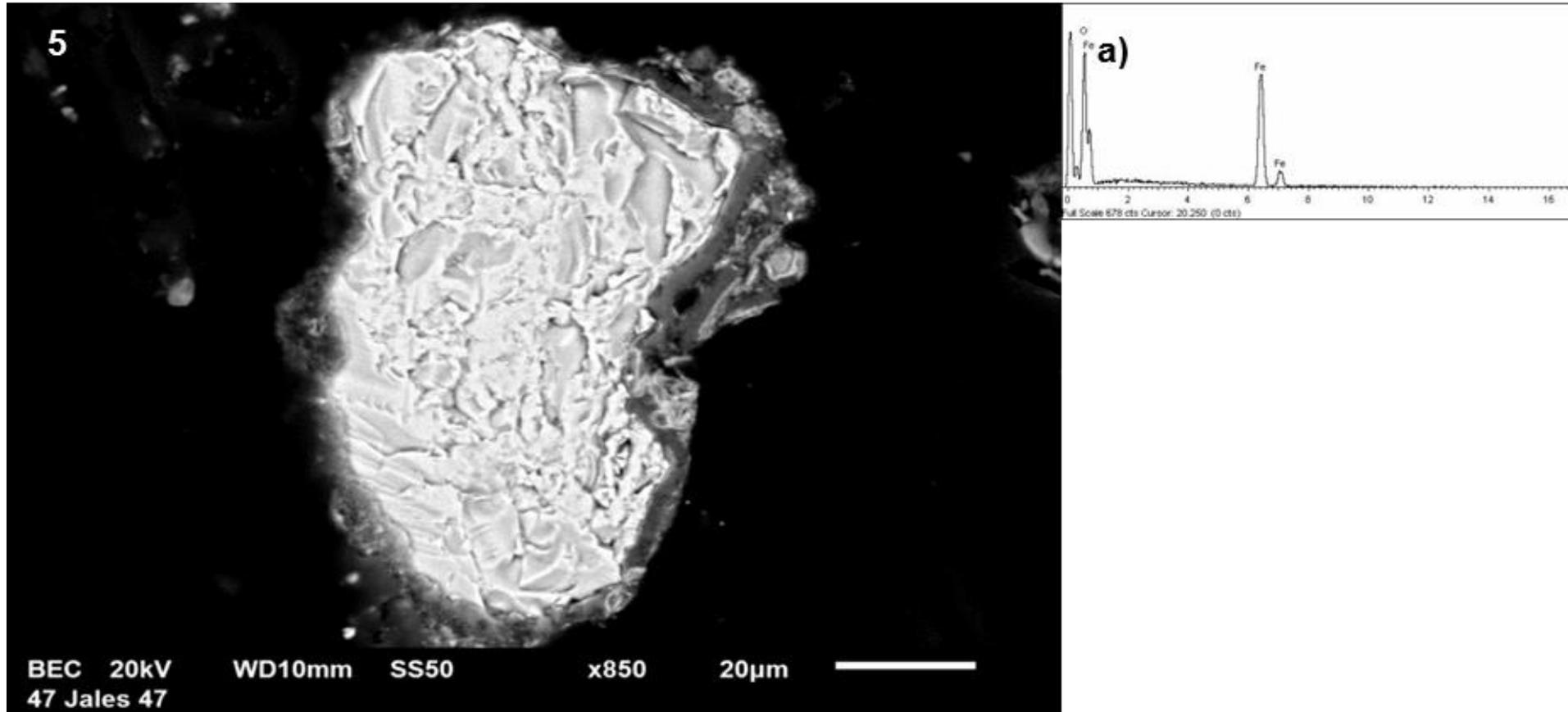


8) Partícula mixta carbonato sulfato de hierro (O 40.79%; S 8.24%; Fe 50.94%)

- Muestra SE27B correspondiente a sedimento APJ

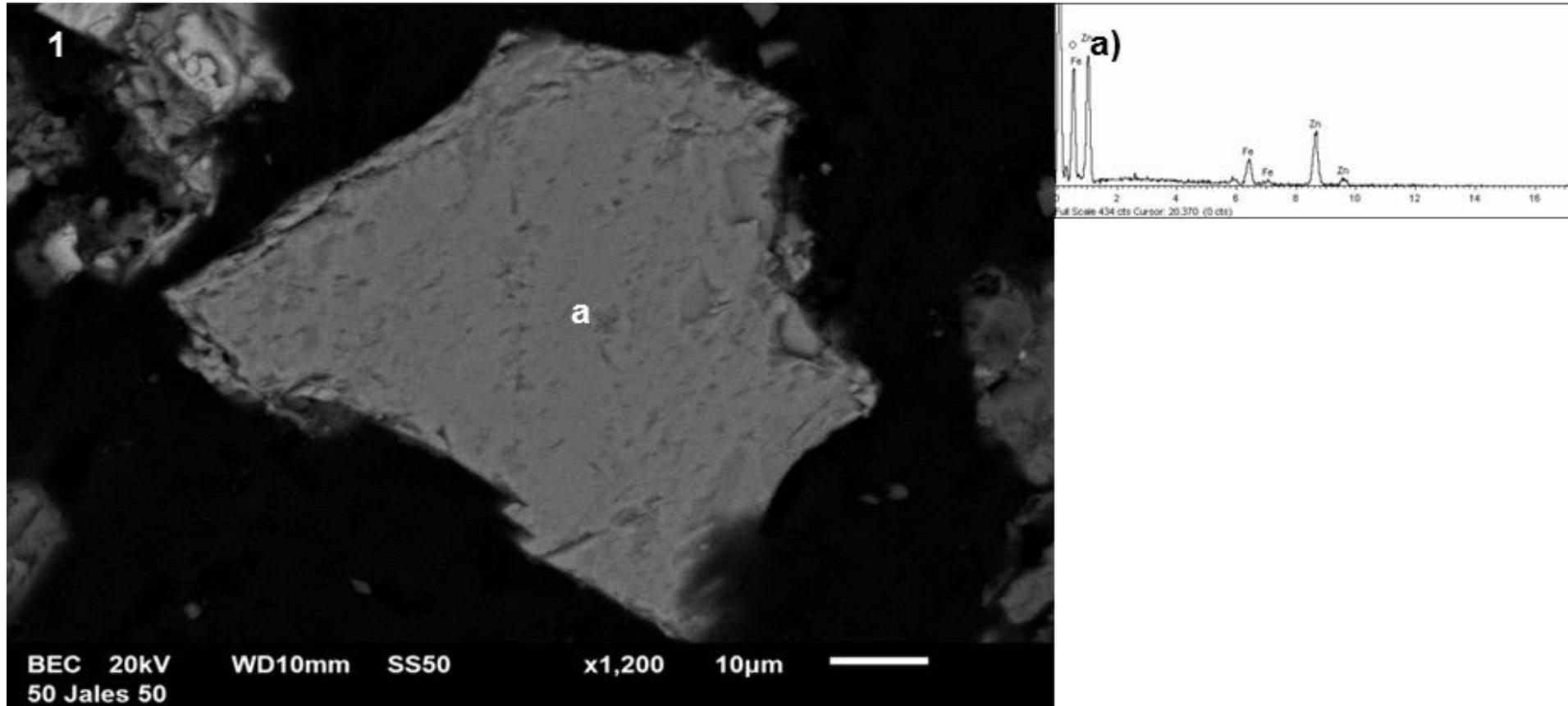


3) Partícula de jarosita (O 54.51%; Si 1.93%; S 11.53% Fe 32.04%)

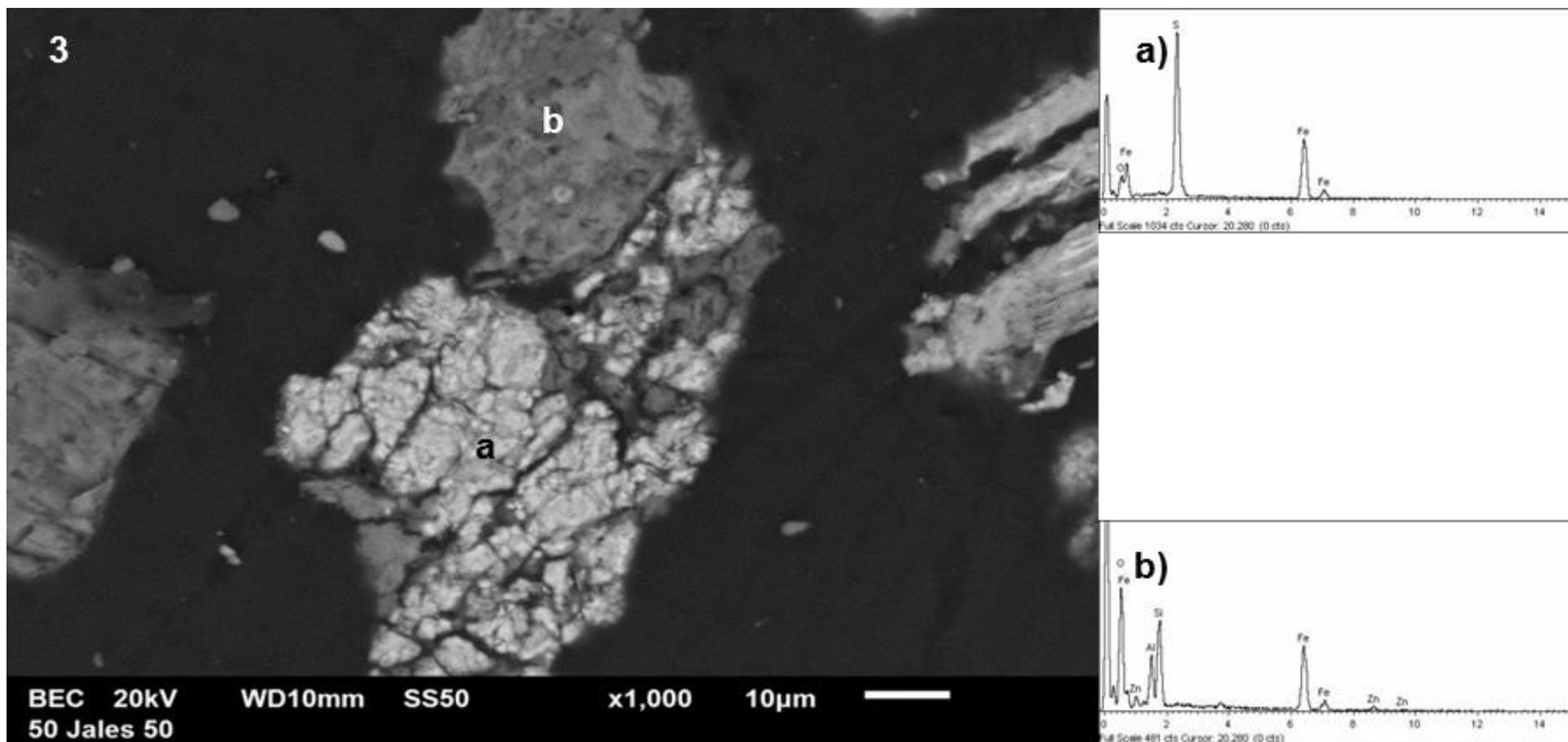


5) Partícula de óxido de hierro III(O 40.75%; Fe 59.25%)

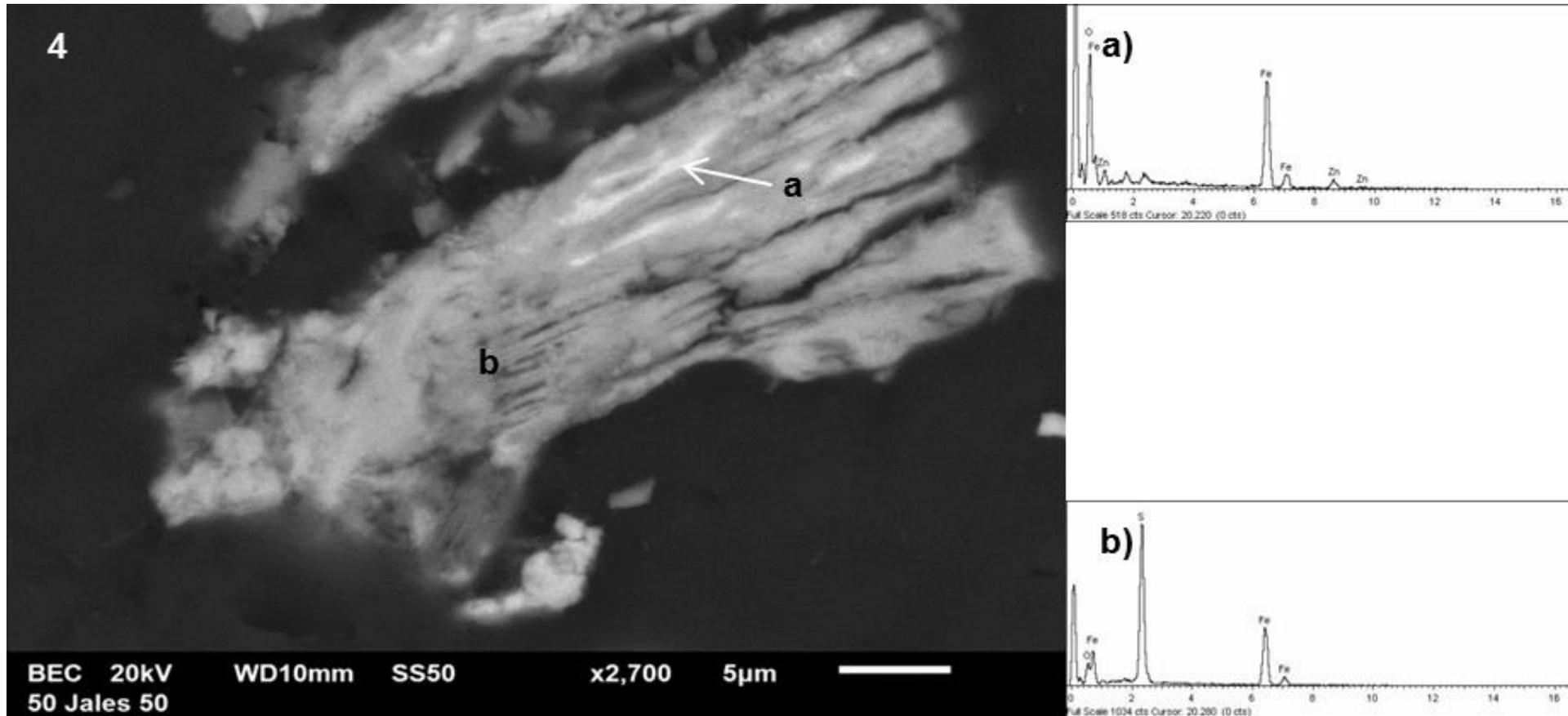
- Muestra SE29 correspondiente a sedimento APJ



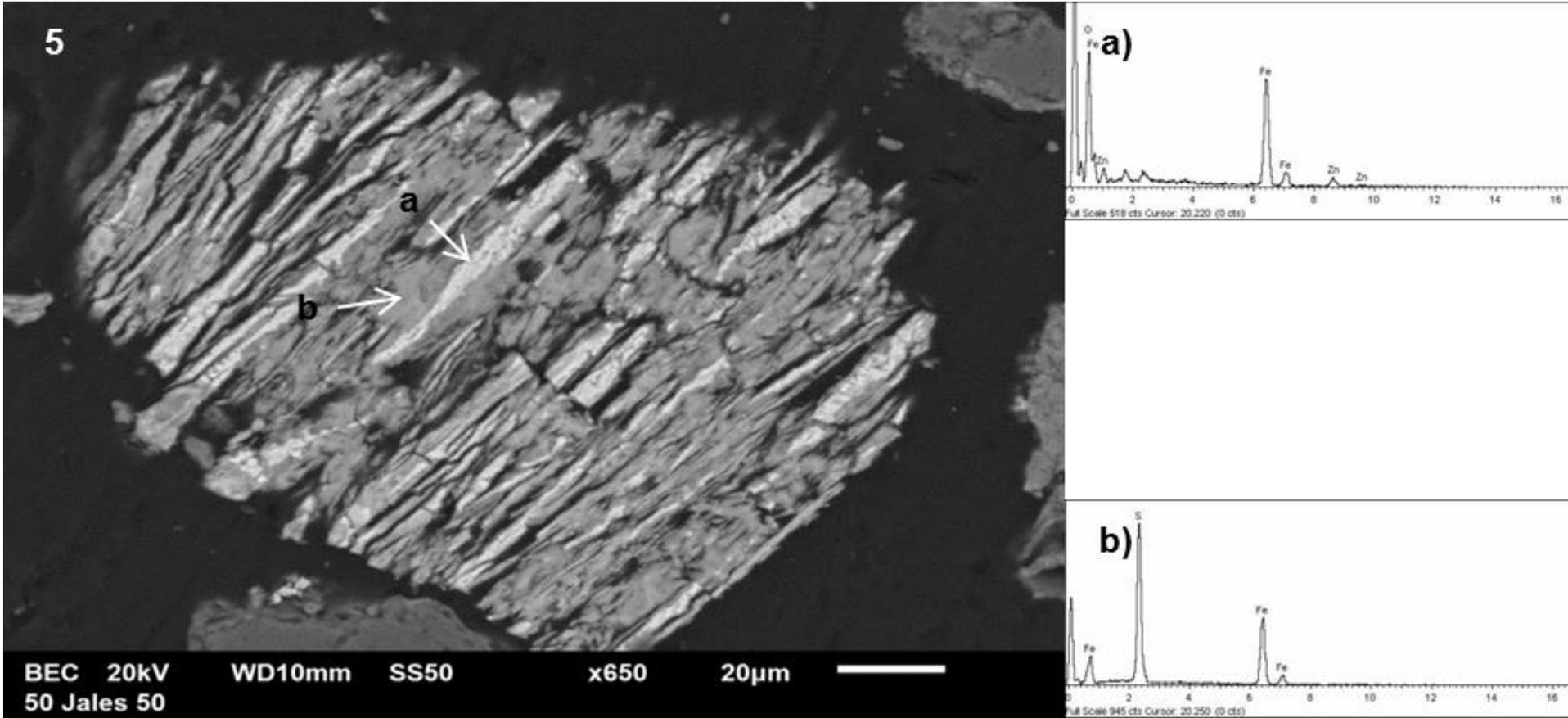
- 1) Partícula de smithsonita (O 40.87%; Fe 9.8%; Zn 49.33%)



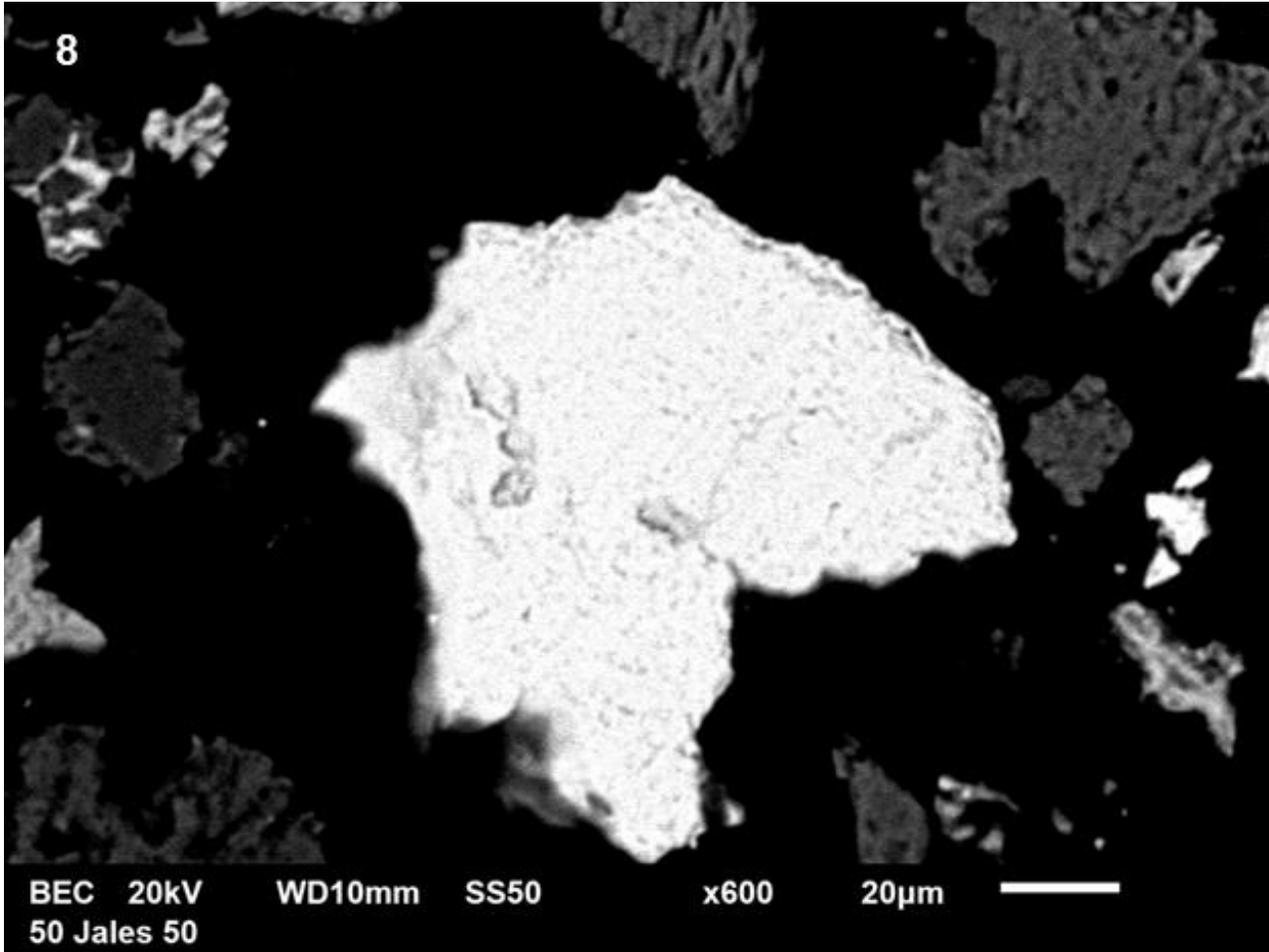
- 2) Partícula mixta de a) sulfato de hierro (O 21.06%; S 35.06%; Fe 43.38%) con b) silicoaluminato enriquecido en zinc (O 44.96%; Al 7.72%; Si 13.61%; Fe 29.72%; Zn 3.98%)



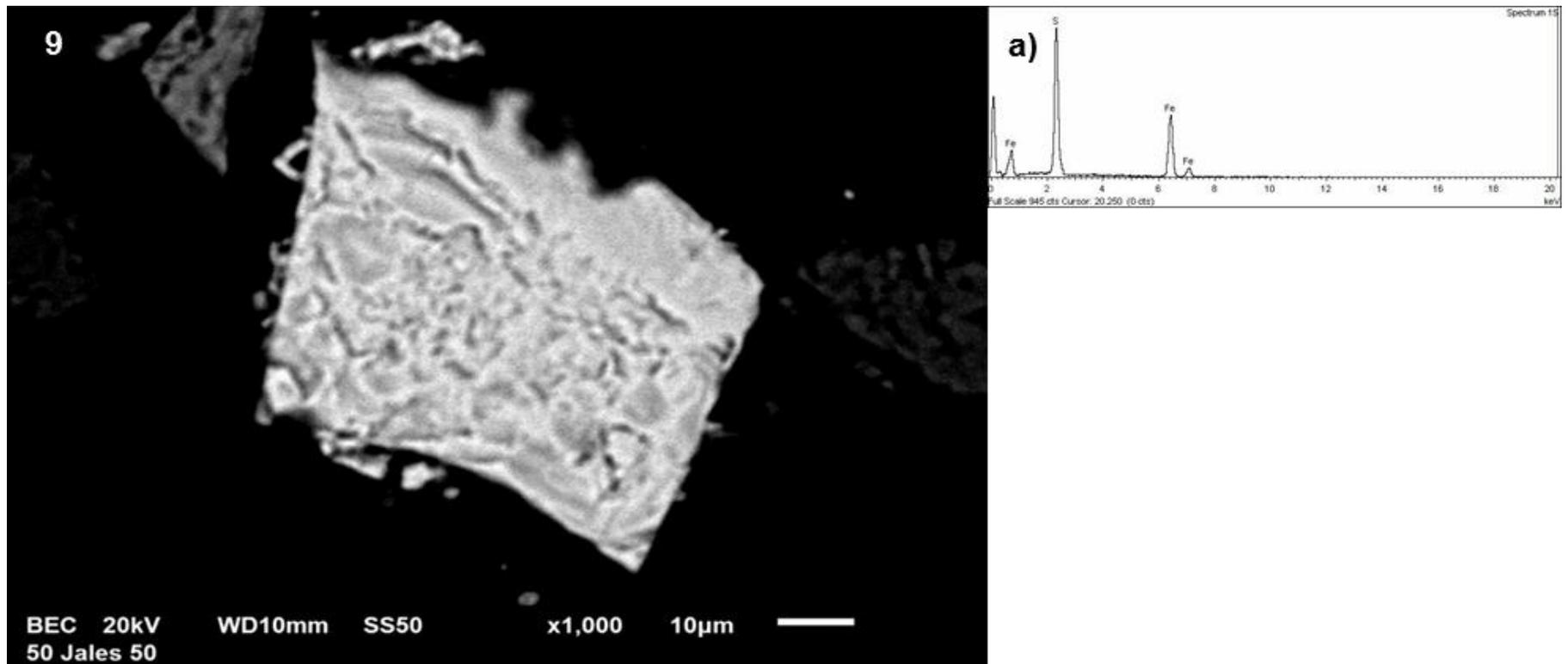
3) Partícula mixta de a) siderita (O 41.08%; Fe 51.23%; Zn 7.7%) y b) sulfato de hierro (O 21.06%; S 35.06%; Fe 43.38%)



4) Partícula mixta de a) pirrotita (S 42.52%; Fe 57.48%) con alteraciones de óxido de hierro (O 42.8%; Fe 54.13%)



5) Partícula de pirita (S 55.54%; Fe 44.46%)



9. Partícula de pirrotita (S41.18%; Fe 58.82%)

### Anexo 20. Elementos potencialmente tóxicos

La legislativa mexicana en Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 menciona los elementos normados como “Los elementos químicos regulados en esta Norma Oficial Mexicana que son antimonio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, mercurio, plata, plomo, selenio”.

Límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT y base seca

Contaminante	LMP (mg/L)	LMP (mg/kg)
	PECT	Base seca
Antimonio	0.53	10.6
Arsénico	5.00	100
Bario	100	2000
Berilio	1.22	24.4
Cadmio	1.00	20
Cromo	5.00	100
Mercurio	0.20	4
Plata	5.00	100
Plomo	5.00	100
Selenio	1.00	20

Wood (1974) realiza una clasificación de los elementos de acuerdo a su toxicidad.

Tabla 1. Clasificación de elementos de acuerdo a su toxicidad. Los elementos omitidos en esta Tabla no deberán ser ignorados en el sentido ambiental. Por ejemplo, yodo y manganeso son importantes, sin embargo pueden estar en más de una categoría para la siguiente clasificación.

No críticos	Muy tóxicos y relativamente accesibles	Tóxicos pero insolubles
Na	Be	Ti
K	Co	Hf
Mg	Ni	Zr
Ca	Cu	W
H	Zn	Nb
O	As	Ta
N	Se	Re

No críticos	Muy tóxicos y relativamente accesibles	Tóxicos pero insolubles
C	Te	Ga
P	Pd	La
Fe	Ag	Os
S	Cd	Rh
Cl	Pt	Ir
Br	Au	Ru
Li	Hg	Ba
Rb	Te	
Sr	Pb	
Al	Sb	
Si	Bi	

De acuerdo a Adriano (1986) se consideran tóxicos los siguientes elementos: Ag, Al, Be, Be, Cd, Co, Ni, Pb, Tl, V.

Por su parte la US EPA emite una lista de contaminantes prioritarios, la cual menciona los siguientes elementos: antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio, zinc.

De acuerdo al Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME)

Guías de Calidad del Medio Ambiente de Canadá	Sedimentos para la protección de la		Agua para la protección de la	
	Agua fresca		Irrigación	Ganado
	Concentración (µg/kg base seca)	Concentración (µg/kg base seca)	Concentración (µg/L)	Concentración (µg/L)
Elemento	ISQG	PEL		
Arsénico	5900	17 000	100	25
Cadmio	600	3500	5.1	80
Cobre	35 700	197 000	Variable	Variable
Plomo	35 000	91 300	200	100
Zinc	123 000	315 000	1000-5000	50 000

De acuerdo a Sparks (2005) se consideran tóxicos los siguientes elementos:

Elemento	Fuente natural o Minerales metálicos	Forma común en residuos
Ag	Metal libre, clorargirita, acantita, minerales de cobre, plomo y zinc	Ag metálica, complejos Ag-CN, tiosulfatos de plata, Ag haluros
As	Arsenitos y arsenatos, arsenopirita, arsenolita,	Óxidos de As(oxianiones), formas órgano-metálicas, ácido metilarsínico, ácido dimetilarsínico
Be	Berilo, phenakite	Be aleaciones, be metálico, Be(OH) <sub>2</sub>
Cd	Zinc carbonate and sulfide ores, copper carbonate y sulfide	Cd <sup>+</sup> iones, Cd haluros y óxidos, complejos Cd-CN, Cd(OH) <sub>2</sub> lodos
Cr	Cromita y eskolaíta	Cr metálico, Óxidos de Cr, complejos de Cr <sup>3+</sup> con ligandos orgánicos/ inorgánicos
Cu	Cu nativo, calcosita, calcopirita	Cu metálico, óxidos de Cu, complejos húmicos de cobre, aleaciones, iones Cu
Hg	Hg nativo, HgS	Complejos órgano Hg, Hg haluros y óxidos Hg <sup>2+</sup> , (Hg <sub>2</sub> ) <sup>2+</sup> , Hg <sup>0</sup>
Ni	Minerales ferromagnesianos, minerales de sulfuro ferroso, pentlandita	Ni metálico, iones Ni <sup>2+</sup> , amins Ni, aleaciones
Pb	Galena	Pb metálico, óxidos y carbonatos Pb, complejos oxianiones-Pb-metal
Sb	Sb <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Sb <sup>3+</sup> iones, Sb óxidos y haluros
Se	Se libre, FeS <sub>2</sub>	Óxidos Se (oxi-aniones), complejos orgánicos- Se
Tl	Cobre, plomo, residuos de plata	haluros de Tl, complejos Tl-CN
Zn	ZnS, Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> , ZnCO <sub>3</sub>	Zn metálico, iones Zn <sup>2+</sup> , óxidos y carbonatos de Zn, aleaciones