

8.3.4.- Partículas de origen secundario formadas por precipitación de sales solubles en suelos industriales contaminados.

Como sucede en los residuos, en la mayor parte de los SIC estudiados también existe una alta concentración de sales, que por acción del agua se solubilizan y al evaporarse ésta, precipitan y forman cristales muy finos, cuyas posibilidades de tamaño de cristalización son variadas.

La muestra SIC1 (figura 8. 25) presenta cristales aciculares de color blanco en forma de lacitos o de estrellas según el número de haces de fibras, aunque también aparecen numerosas fibras sueltas sin agrupar. La longitud media de las fibras de los lacitos y/o estrellas es 430 μm , con una desviación estándar de 198 μm , mientras que la longitud de las fibras aisladas es menor, 273 μm de media y 93 μm de desviación estándar.



Figura 8.25.- Cristales correspondientes a la muestra SIC1.

Los numerosos cristales aciculares de color blanco de la muestra SIC2 presentan formas de estrella, de lazos y en algunos casos de pluma (figura 8.26). La longitud media de las fibras es $147\ \mu\text{m}$ y su desviación estándar $41\ \mu\text{m}$.

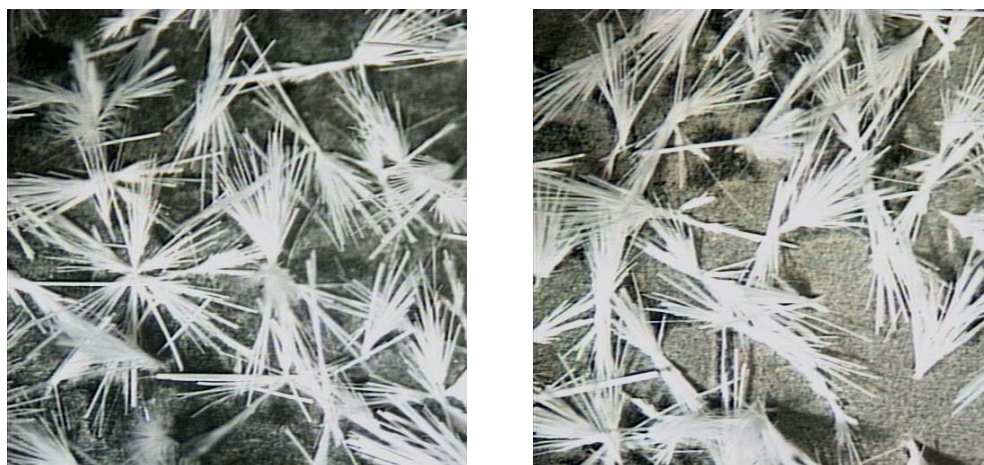


Figura 8.26.- Cristales correspondientes a la muestra SIC2.

En el caso de la muestra SIC3 (figura 8.27) se tiene un número escaso de cristales de color blanco, situados fundamentalmente sobre las paredes del cristalizador, cuya longitud media es $4\ \mu\text{m}$ y $2\ \mu\text{m}$ de desviación estándar.

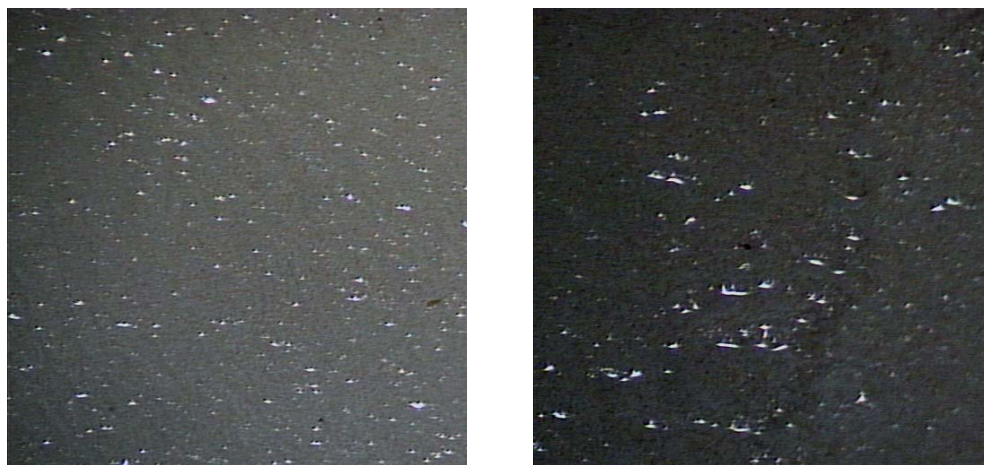


Figura 8.27.- Cristales correspondientes a la muestra SIC3.

SIC4 presenta cristales pequeñitos, aciculares, de color blanco y marrón formando una especie de pequeños lacitos (figura 8.28). El promedio de longitud de sus fibras es de 20 μm y la desviación estándar 5 μm .



Figura 8.28.- Cristales correspondientes a la muestra SIC4.

La muestra SIC5 presenta muy pocos cristales, presumiblemente aciculares y transparentes y, por tanto difíciles de visualizar y medir (figura 8.29). El valor promedio de longitud de sus fibras es 27 μm y la desviación estándar, 11 μm .



Figura 8.29.- Cristales correspondientes a la muestra SIC5.

En cuanto a la muestra SIC6 (figura 8.30) puede decirse que posee cristales aciculares, blancos y en algún caso transparentes, sin forma definida. La longitud media de las fibras es 50 μm y la desviación estándar es 15 μm .



Figura 8.30.- Cristales correspondientes a la muestra SIC6.

La muestra SIC7 no presenta cristales a simple vista, pero cuando se observa a través del microscopio se encuentra en el centro del cristizador haces de fibras aciculares en forma de pluma. Por causas ajenas a nuestra voluntad esta muestra no dispone de fotografías ni de medidas de sus fibras.

La figura 8.31 muestra, destacando claramente sobre fondo de color marrón, los cristales aciculares de color blanco, formando fundamentalmente una especie de lacitos con nudo central de la muestra SIC8. Se trata de cristales cuyas fibras tienen una longitud promedio de 31 μm y desviación estándar de 11 μm .

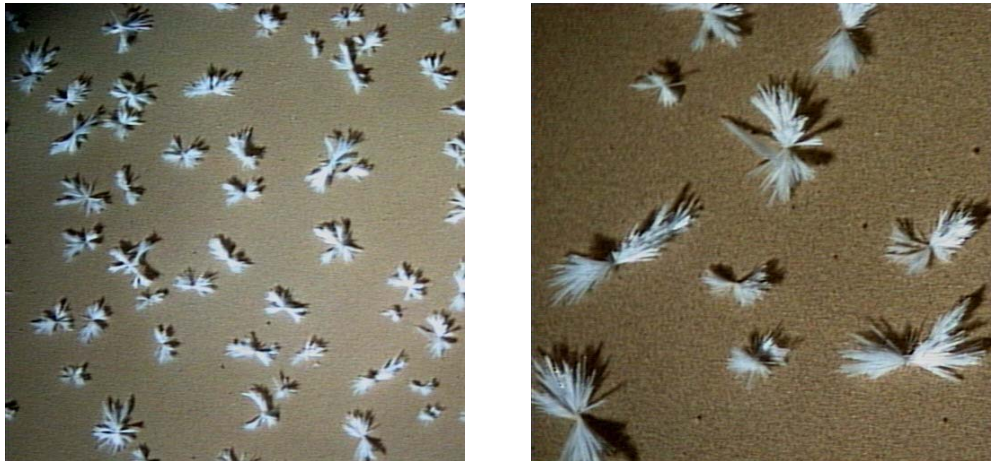


Figura 8.31.- Cristales correspondientes a la muestra SIC8.

La muestra SIC9, semejante a SIC8, presenta numerosos cristales aciculares, de color blanco, muchos de ellos en forma de rosa de los vientos, distribuidos uniformemente por toda la base del cristizador. También se encuentra gran cantidad de fibras sueltas, sin formar agrupaciones (figura 8.32). La longitud promedio de las fibras sueltas es $47 \mu\text{m}$ y su desviación estándar $17 \mu\text{m}$, valores muy similares a los obtenidos para las fibras que se encuentran formando haces ya que la longitud media de éstas es $44 \mu\text{m}$ y $15 \mu\text{m}$ la desviación estándar.



Figura 8.32.- Cristales correspondientes a la muestra SIC9.

En la figura 8.33 se observa la incipiente cristalización que ha experimentado la muestra SIC10, imposible de apreciar a simple vista. No se hicieron medidas de longitud de las fibras.

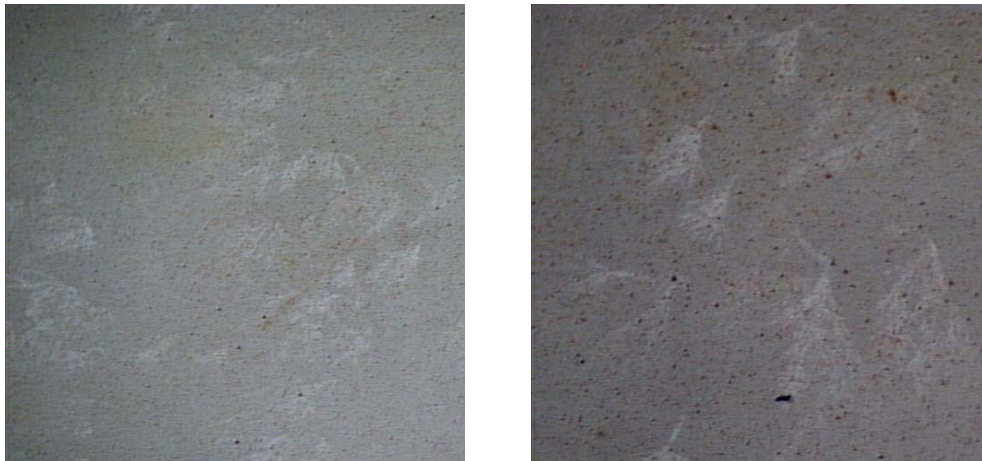


Figura 8.33.- Cristales correspondientes a la muestra SIC10₅.

En el caso de la muestra SIC11 se tienen cristales blancos aciculares de diferente morfología; en algunos casos forman estrellas, en otros plumas e incluso hay gran cantidad de fibras sueltas sobre la base del cristalizador (figura 8.34). La longitud media de las fibras que forman haces es 36 μm y su desviación estándar 16 μm , mientras que la media de las fibras sueltas es tres veces menor, 12 μm y su desviación estándar 1 μm . Estos valores hacen pensar que, al menos en el caso de SIC11, sólo forman haces las fibras de mayor longitud.



Figura 8.34.- Cristales correspondientes a la muestra SIC11.

SIC12 presenta pequeños cristales aciculares, de color blanco repartidos homogéneamente por la base del cristalizador cuyas formas son variadas (figura 8.35). También se encuentran, como en otras muestras, fibras sueltas cuya longitud media es $23\ \mu\text{m}$, con desviación estándar $11\ \mu\text{m}$. En el caso de las fibras que forman haces las medidas de longitud media y desviación estándar son $26\ \mu\text{m}$ y $7\ \mu\text{m}$ respectivamente.



Figura 8.35.- Cristales correspondientes a la muestra SIC12.

En referencia a SIC13 (figura 8.36) se tienen pequeños cristales aciculares, de color blanco, cuyas fibras tienen una longitud media de $24 \pm 7 \mu\text{m}$.



Figura 8.36.- Cristales correspondientes a la muestra SIC13.

La figura 8.37 muestra los cristalitos blancos aciculares de la muestra SIC14 cuyas fibras poseen una longitud promedio de $214 \pm 14 \mu\text{m}$. También presentan fibras sueltas que no se agrupan en haces con una media de longitud menor de $75 \pm 17 \mu\text{m}$.

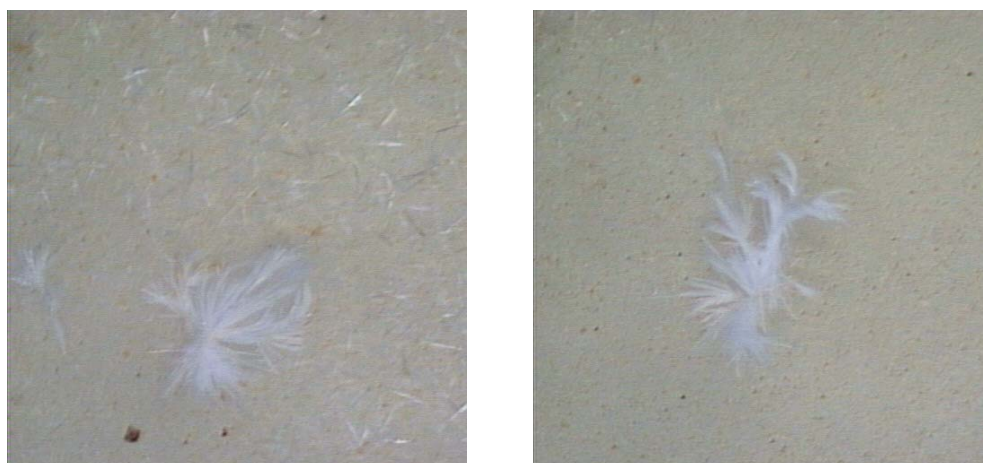


Figura 8.37 Cristales correspondientes a la muestra SIC14.

La muestra SIC15 presenta, como puede verse en la figura 8.38, una ausencia total de cristales.



Figura 8.38 Cristales correspondientes a la muestra SIC15.

Los cristales de la muestra SIC16 no son visibles a simple vista. Se trata de pequeños cristales no aciculares cuya longitud media es $15\pm 6\ \mu\text{m}$ (figura 8.39).

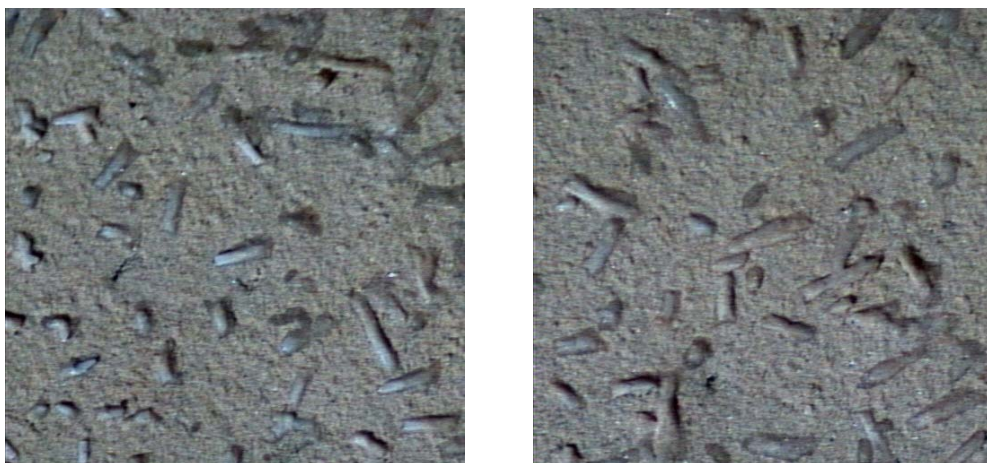


Figura 8.39.- Cristales correspondientes a la muestra SIC16.

En la figura 8.40 pueden verse los numerosos pequeños cristales aciculares unitarios, de color blanco, inapreciables a simple vista, distribuidos uniformemente por la superficie del cristalizador, cuya longitud media es 14 μm y desviación estándar 4 μm .

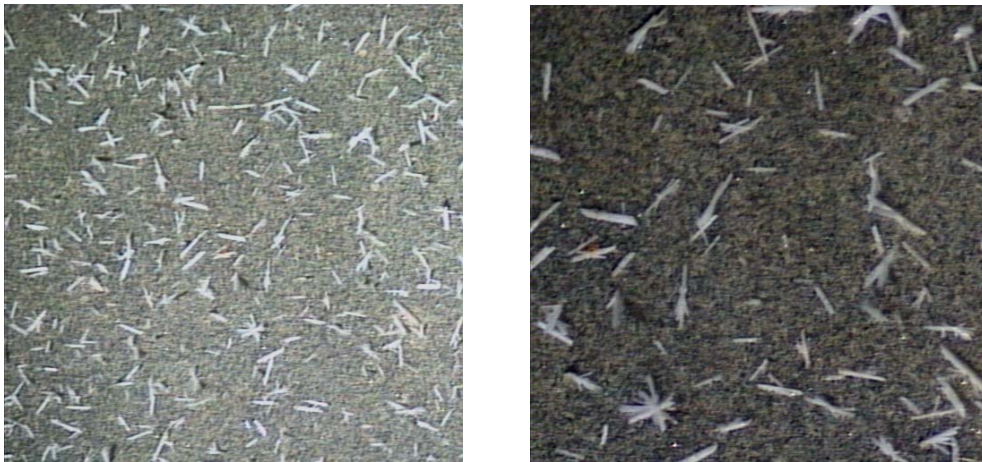


Figura 8.40.- Cristales correspondientes a la muestra SIC17.

8.4.- Movilización potencial de metales pesados.

Hablamos de movilización potencial de metales pesados cuando el aumento de solubilidad de los mismos tiene su origen en los cambios de las condiciones medioambientales que inducen cambios en las especies o formas en que se encuentran (Navarro, M. C., 2004).

La movilización de metales está relacionada con las condiciones del medio (Martínez et al., 1996), de manera que el descenso de pH, los cambios de las condiciones redox o el incremento de sales inorgánicas y agentes complejantes, naturales o sintéticos, puede aumentar la movilización de éstos (Bourg, 1995).

Los factores que controlan la solubilidad de una fase determinada en un medio de extracción están relacionados con el tamaño de partícula, grado de cristalinidad y, sobre todo, con las propiedades químicas del compuesto.

Con el fin de efectuar el estudio de movilización potencial de metales pesados se plantearon una serie de extracciones simples, simulando diferentes situaciones medioambientales (Pérez-Sirvent et al., 2002; Vidal et al., 2004).

Así, la extracción efectuada con ácido nítrico 0.1 N a pH 1 simula la acción de las aguas ácidas sobre los materiales estudiados (Navarro, M. C., 2004). La extracción con citrato-ditionito simula el comportamiento de las muestras en ambiente complejante-reductor, mientras que la extracción en medio oxidante refleja el comportamiento de las muestras en atmósfera oxidante.

8.4.1.- Movilización en medio ácido.

Esta extracción solubiliza las fracciones de metal complejadas con la materia orgánica y adsorbidas o coprecipitadas con oxihidróxidos, carbonatos y sulfuros (Soon and Abboud, 1993) mal cristalizados.

8.4.1.1.- Residuos procedentes de la hidrometalurgia del cinc.

8.4.1.1.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio ácido.

La figura 8.41 refleja la gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio ácido.

Análogamente a la extracción con agua se han calculado los índices de pérdida o enriquecimiento relativos de cada fase mineral como se indica:

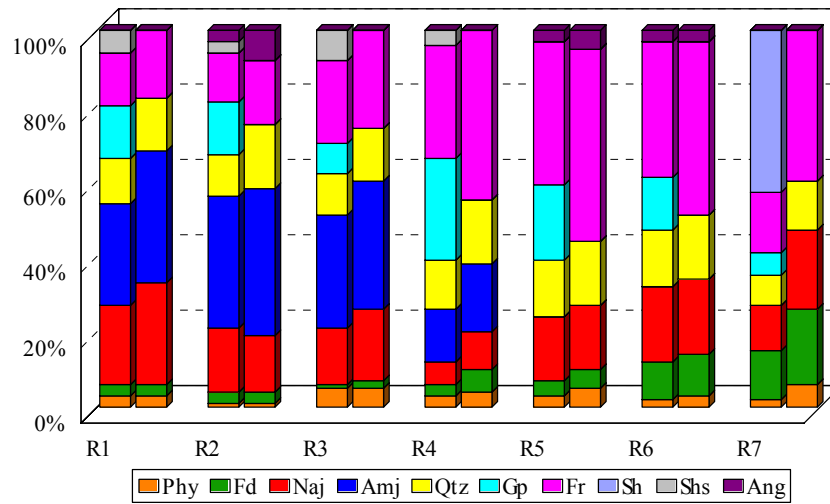
$$I_{\text{pérdida/ganancia ácido}} = \frac{\% \text{ Fase en muestra original} - \% \text{ Fase tras extracción}}{\% \text{ Fase en muestra original}}$$

Los valores de los mismos quedan expuestos en la tabla 8.19.

Muestra	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Amj}	I _{Qtz}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Shs}	I _{Ang}	I _{Sh}
R1	0.00	0.00	-0.29	-0.30	-0.17	1.00	-0.29	1.00	-	-
R2	0.00	0.00	0.12	-0.11	-0.55	1.00	-0.31	1.00	-1.67	-
R3	0.00	-1.00	-0.27	-0.13	-0.27	1.00	-0.18	1.00	-	-
R4	-0.33	-1.00	-0.67	-0.29	-0.31	1.00	-0.50	1.00	-	-
R5	-0.67	-0.25	0.00	-	-0.13	1.00	-0.34	-	-0.67	-
R6	-0.50	-0.10	0.00	-	-0.13	1.00	-0.28	-	0.00	-
R7	-2.00	-0.54	-0.75	-	-0.63	1.00	-1.50	-	-	1.00

Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita; Sh: Sulfatos hidratados.

Tabla 8.19.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral.



Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sh: Sulfatos hidratados; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita.

Figura 8.41.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio ácido (columna de la derecha).

En estos estudios por DRX observamos que tras el ataque ácido se produce la solubilización total del yeso y de los sulfatos solubles en agua no afectando al resto de los componentes.

Se aprecia un enriquecimiento relativo de franklinita, debido seguramente a la desaparición de las fases mencionadas en el párrafo anterior.

8.4.1.1.2.- Movilización de metales pesados en medio ácido.

La concentración de plomo, cadmio y arsénico, junto con sus medidas estadísticas están recogidas en la siguiente tabla.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
R1	274.3	179.6	61.1
R2	279.1	204.4	40.3
R3	276.5	315.2	41.4
R4	363.3	88.9	164.2
R5	440.0	58.5	60.4
R6	548.0	48.5	139.6
R7	234.3	387.1	132.0
Media	345.1	183.2	91.3
Desv. Est.	113.2	130.4	52.1

Tabla 8.20.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en HNO₃, pH 1.

La tabla 8.20 muestra elevadas concentraciones para todos los metales, aunque se tienen valores de metal dispares entre sí, tal como indican las altas desviaciones estándar.

Destaca el hecho de que las muestras que movilizan las mayores concentraciones de cadmio presentan un menor porcentaje de movilización de plomo y arsénico y viceversa como se puede ver en las figuras 8.42 a 8.44 que ponen de manifiesto los porcentajes de extracción de metal para cada uno de los residuos estudiados.

Otro aspecto interesante es que los residuos que menor cantidad de plomo y arsénico movilizan (R1, R2 y R3), poseen porcentajes elevados de amoniojarosita.

En comparación a la extracción soluble, la efectuada en medio ácido resulta más efectiva en cuanto a la movilización de metales, pues los valores de concentración son mucho más elevados y por ende también los porcentajes de fracción movilizable (tabla 8.21).

Fracción Soluble (%)			
	Pb	Cd	As
Máx.	1.79	47.13	22.77
Mín.	0.67	6.80	1.93
Media	1.11	28.83	9.70
Desv. Est.	0.47	15.75	8.32

Tabla 8.21.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio ácido.

Se advierte que el cadmio es el metal que experimenta una mayor movilización, con un valor medio que ronda el 30%, seguido de arsénico (10%) y finalmente plomo (1%), que es el menos móvil.

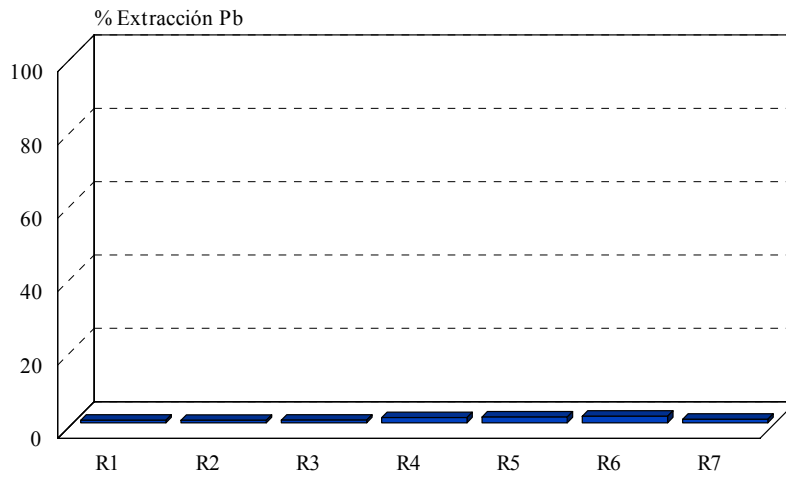


Figura 8.42.- Porcentajes de extracción de plomo en medio ácido.

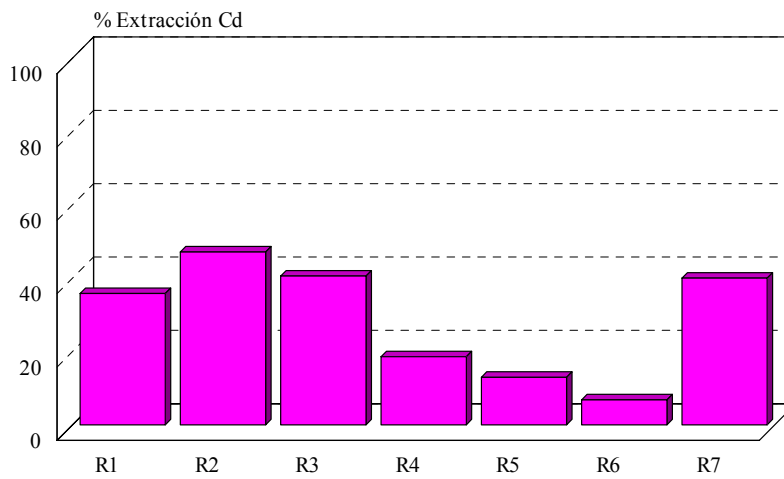


Figura 8.43.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio ácido.

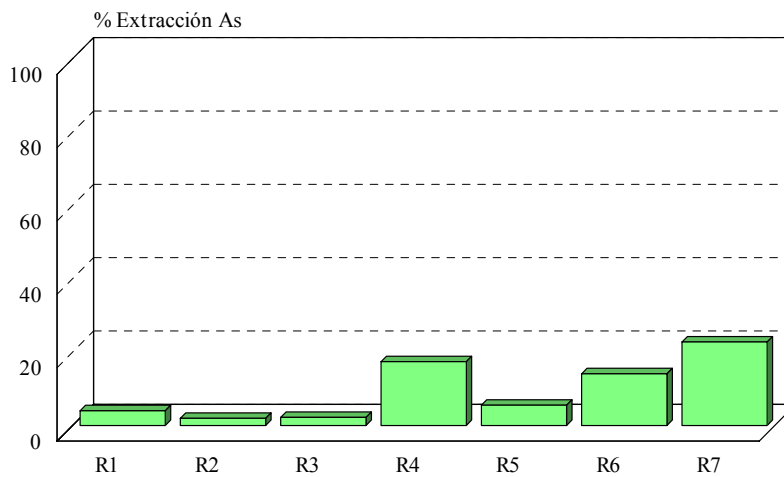


Figura 8.44.- Porcentajes de extracción de arsénico en medio ácido.

8.4.1.2.- Suelos industriales contaminados.

8.4.1.2.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio ácido.

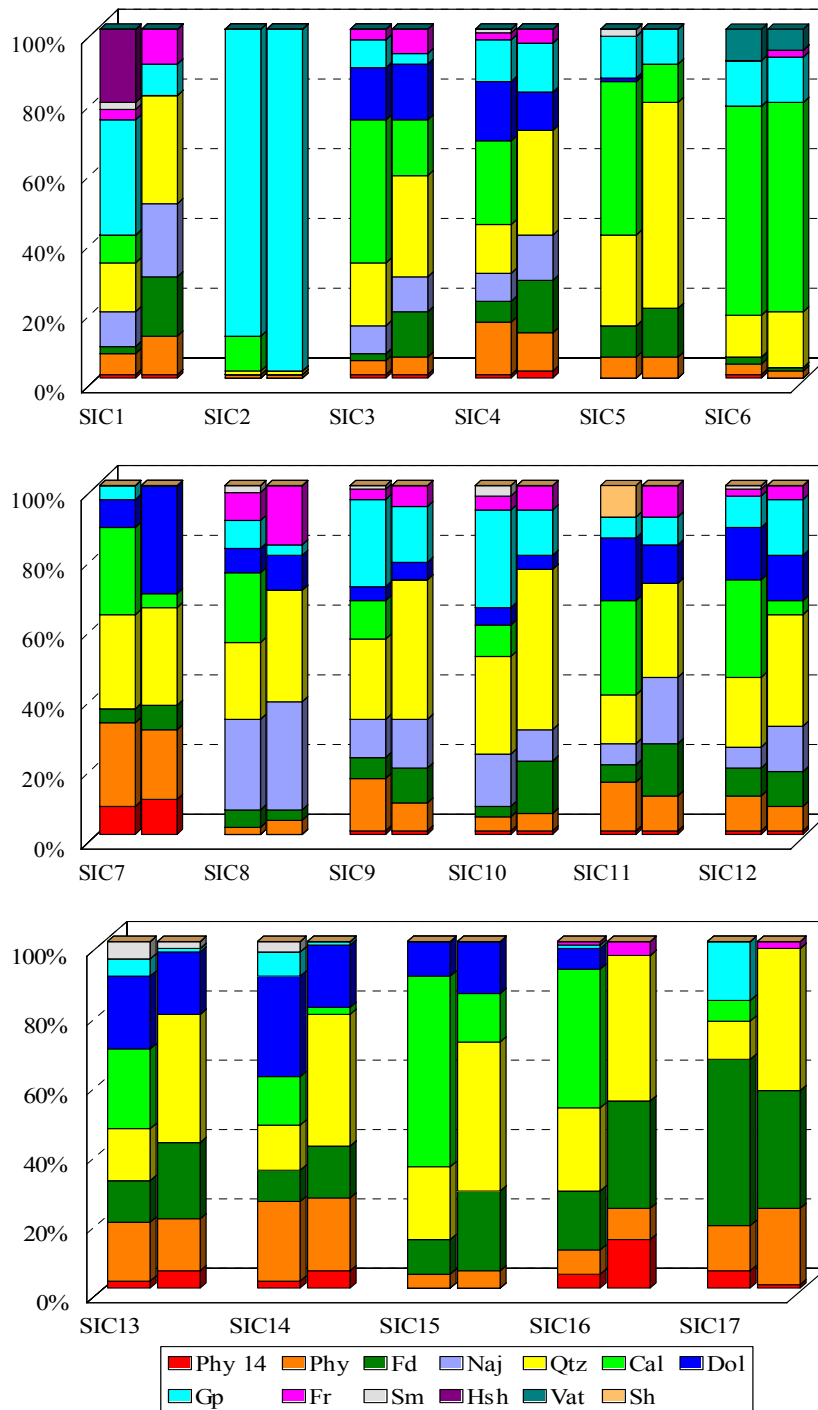
La figura 8.45 refleja la gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio ácido.

En la tabla 8.22 se exponen los índices de pérdida/enriquecimiento relativos de cada fase mineral tras la extracción.

Muestra	I _{Phy 14}	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Qtz}	I _{Cal}	I _{Dol}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Sm}	I _{Sh}	I _{Hsh}	I _{Vat}
SIC1	0.00	-0.83	-7.50	-1.10	-1.21	1.00	-	0.73	-2.33	1.00	-	1.00	-
SIC2	-	0.00	-	-	0.00	1.00	-	-0.11	-	-	-	-	-
SIC3	0.00	-0.25	-5.50	-0.25	-0.61	0.61	-0.07	0.63	-1.33	-	-	-	-
SIC4	-1.00	0.27	-1.50	-0.63	-1.14	1.00	0.35	-0.17	-1.00	1.00	-	-	-
SIC5	-	0.00	-0.56	-	-1.27	0.75	1.00	0.17	-	1.00	-	-	-
SIC6	1.00	0.33	0.50	-	-0.33	0.00	-	0.00	-2.00	-	-	-	0.33
SIC7	-0.25	0.17	-0.75	-	-0.04	0.84	-2.88	1.00	-	-	-	-	-
SIC8	-	-1.00	0.40	-0.19	-0.45	1.00	-0.43	0.63	-1.13	1.00	-	-	-
SIC9	0.00	0.47	-0.67	-0.27	-0.74	1.00	-0.25	0.36	-1.00	1.00	-	-	-
SIC10	0.00	-0.25	-4.00	0.40	-0.64	1.00	0.20	0.54	-0.75	1.00	-	-	-
SIC11	0.00	0.29	-2.00	-2.17	-0.93	1.00	0.39	-0.33	-9.00	0.00	1.00	-	-
SIC12	0.00	0.30	-0.25	-1.17	-0.60	0.86	0.13	-0.78	-1.00	1.00	-	-	-
SIC13	-1.50	0.12	-0.83	-	-1.47	1.00	0.14	0.80	-	0.60	-	-	-
SIC14	-1.50	0.09	-0.67	-	-1.92	0.86	0.38	0.86	-	1.00	-	-	-
SIC15	-	-0.25	-1.30	-	-1.05	0.75	-0.50	-	-	-	-	-	-
SIC16	-2.50	-0.29	-0.82	-	-0.75	1.00	1.00	1.00	-3.00	-	-	-	-
SIC17	0.80	-0.69	0.29	-	-2.73	1.00	-	1.00	-2.00	-	-	-	-

Phy 14: Filosilicatos a 14 Å; Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonita; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Sh: Sulfatos hidratados; Vat: Vaterita.

Tabla 8.22.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral.



Phy 14: Filosilicatos a 14 Å; Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonita; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Vat: Vaterita; Sh: Sulfatos hidratados.

Figura 8.45.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio ácido (columna de la derecha).

En general los feldespatos y el cuarzo experimentan un enriquecimiento de fase mineral mientras que los filosilicatos presentan un comportamiento irregular tras el ataque ácido. De hecho minerales silicatados como feldespatos y filosilicatos pueden alterar su cristalinidad en estas reacciones, sufriendo procesos de transformación, agradación o degradación (Ostrom, 1964; Martínez et al., 1996).

Observamos que tras el ataque ácido desaparecen los hidroxisulfatos hidratados de la muestra SIC1, así como los sulfatos hidratados de SIC11.

La calcita y la smithsonita experimentan una pérdida total o muy importante en aquellas muestras que la contienen, si bien no ocurre lo mismo en el caso de la dolomita, más difícilmente atacable por este medio, o a la vaterita. En el caso de la muestra SIC6, que presenta un contenido muy elevado de calcita, el ataque ácido por el método propuesto no ha sido suficiente y el mineral aparece nuevamente.

La calcita que se neutraliza corresponderá a la de granulometría más fina, quedando sin atacar aquellas partículas que sean de mayor tamaño (Martínez et al., 1996), y que no liberarían los metales ligados a ellas.

La natrojarosita experimenta un aumento en todas las muestras que la contienen a excepción de SIC10 donde si es atacada, quizás porque tenga un grado de cristalinidad menor que las otras.

También se aprecia un enriquecimiento relativo de franklinita, debido quizás a la desaparición de algunas de las fases mencionadas anteriormente, pues este mineral es inatacable en estas condiciones de reacción.

8.4.1.2.2.- Movilización de metales pesados en medio ácido.

La concentración de plomo, cadmio y arsénico, junto con sus medidas estadísticas están recogidas en la tabla 8.23.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
SIC1	671.4	243.7	26.2
SIC2	585.5	368.5	156.0
SIC3	80.8	27.9	6.0
SIC4	285.5	46.8	6.5
SIC5	85.5	33.0	0.7
SIC6	1.6	18.4	<Id
SIC7	4.4	15.8	<Id
SIC8	1054.9	92.3	12.1
SIC9	604.5	69.4	15.1
SIC10	619.0	582.2	6.9
SIC11	21.5	33.4	<Id
SIC12	226.0	61.7	3.5
SIC13	174.6	40.2	0.5
SIC14	58.2	39.9	<Id
SIC15	0.3	3.5	0.2
SIC16	165.9	28.4	5.7
SIC17	454.7	9.0	16.3
Máx.	1054.9	582.2	156.0
Mín.	0.3	3.5	0.2
Media	299.7	100.8	19.7
Desv. Est.	310.6	155.8	41.6

Tabla 8.23.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en HNO₃, pH 1.

Se tienen valores de concentración heterogéneos para todos los metales, tal como muestran las elevadas desviaciones estándar que poseen. Los valores medios de concentración son altos en los tres casos (299.7, 100.8 y 19.7 mg/kg para plomo, cadmio y arsénico respectivamente), aunque ciertamente existen muestras con valores de concentración de metal bajos; caso de las muestras SIC15, con la menor

concentración de metales, SIC6, SIC7 y con concentraciones algo más elevadas, SIC11.

Igual que sucede con los residuos, cuando se comparan las concentraciones de esta tabla, con las correspondientes a la extracción en agua, se observa que el medio ácido resulta más efectivo a la hora de provocar la movilización de metales, pues los valores de concentración son mucho más elevados y lógicamente los porcentajes de fracción movilizable (tabla 8.24).

Fracción Soluble (%)			
	Pb	Cd	As
Máx.	14.17	53.14	100.00
Mín.	0.00	7.86	0.00
Media	3.92	26.89	13.19
Desv. Est.	3.84	12.88	25.78

Tabla 8.24.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio ácido.

Entre los tres metales estudiados, el cadmio es el metal que experimenta una mayor movilización, con un valor medio que ronda el 27%, seguido de arsénico y finalmente plomo, que es el menos móvil.

Un aspecto importante es el hecho de que en los residuos, el porcentaje de fracción media extraíble en medio ácido de plomo y arsénico es inferior al de los suelos. Es decir, en condiciones de acidez se produce una mayor movilización de plomo y arsénico en los suelos que en los residuos, que además se encuentran confinados. La movilización del cadmio en un caso y otro es similar.

Las figuras 8.46 a 8.48 ponen de manifiesto los porcentajes de extracción de metal para cada uno de los SIC estudiados.

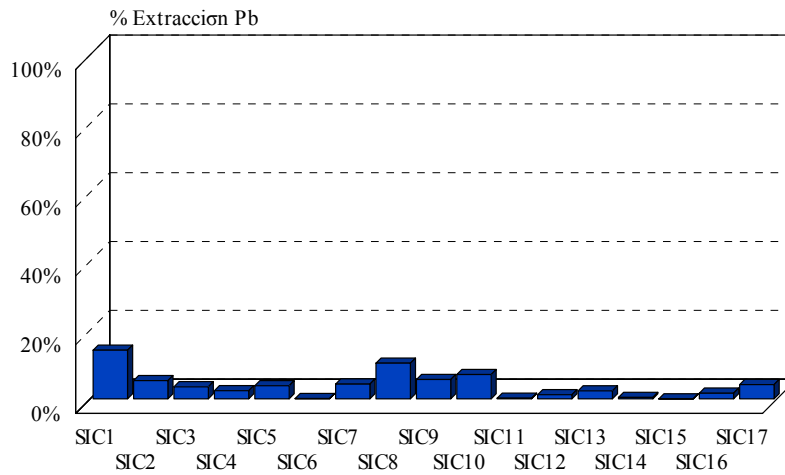


Figura 8.46.- Porcentajes de extracción de plomo en medio ácido.

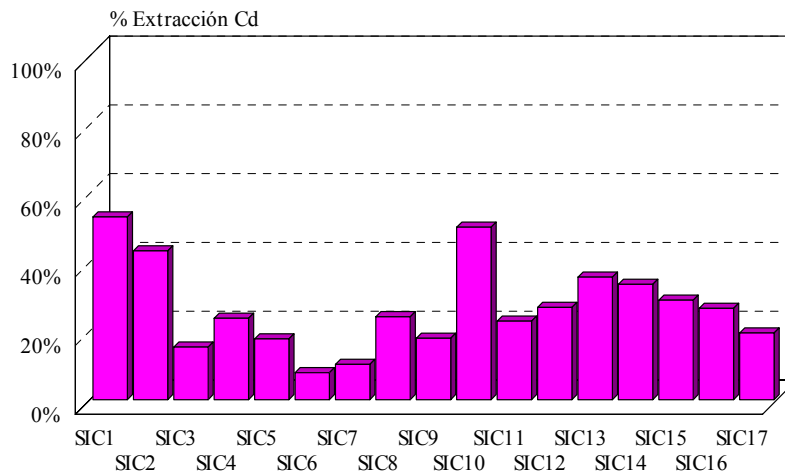


Figura 8.47.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio ácido.

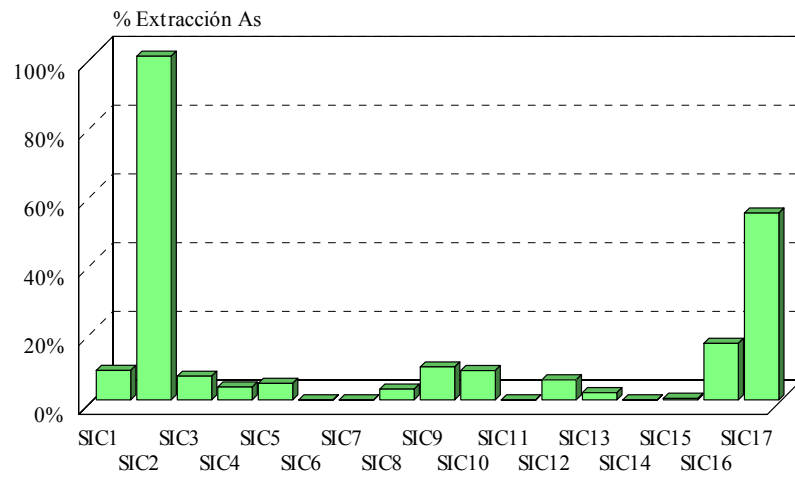


Figura 8.48.- Porcentajes de extracción de plomo en medio ácido.

8.4.2.- Movilización en medio complejante-reductor.

Esta extracción, efectuada con citrato sódico (agente quelatante para las formas ferrosa y férrica del hierro) y ditionito sódico (agente reductor) en condiciones de acidez cercanas a la neutralidad, solubiliza formas amorfas de baja cristalinidad (Mehra, O.P. y Jackson, M.L., 1960) como óxidos y oxihidróxidos de Fe y Mn y los metales asociados a estos (García-Rizo, et al., 1999) con una mínima acción destructiva sobre los minerales de la arcilla; también se solubilizan algunos carbonatos y se extraen sílice y alúmina por lo que este método puede ser indicativo de los metales asociados a estas fases. Las fracciones solubles en agua también están incluidas en esta fracción (Pérez- Sirvent et al., 1995).

8.4.2.1.- Residuos procedentes de la hidrometalurgia del cinc.

8.4.2.1.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio complejante-reductor.

En la figura 8.49 puede verse la gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio complejante-reductor.

A partir de los datos mineralógicos obtenidos por Difracción de Rayos X en la muestra original y en el residuo seco de la extracción realizada en medio complejante-reductor, se han calculado los índices de pérdida o enriquecimiento relativos de cada fase mineral como se indica:

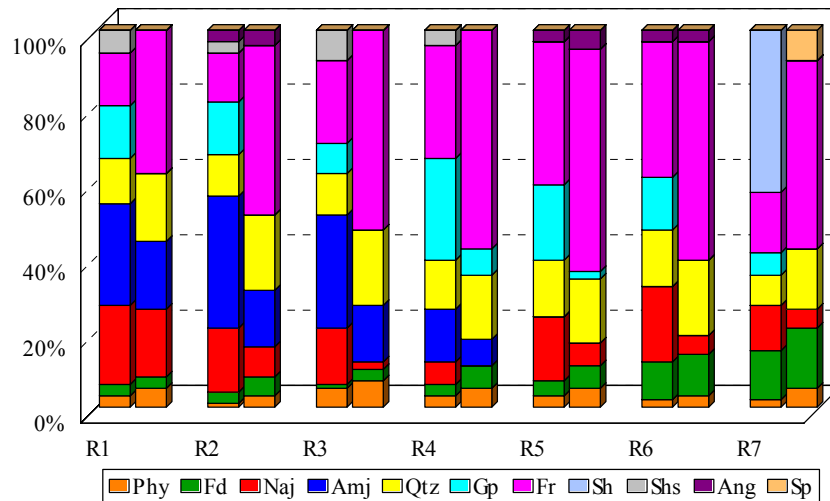
$$I_{\text{pérdida/ganancia comp-red.}} = \frac{\% \text{ Fase en muestra original} - \% \text{ Fase tras extracción}}{\% \text{ Fase en muestra original}}$$

Los valores de estos índices se muestran en la tabla siguiente:

Muestra	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Amj}	I _{Qtz}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Shs}	I _{Ang}	I _{Sh}	I _{Sp}
R1	-0.67	0.00	0.14	0.33	-0.50	1.00	-1.71	1.00	-	-	-
R2	-2.00	-0.67	0.53	0.57	-0.82	1.00	-2.46	1.00	-0.33	-	-
R3	-0.40	-2.00	0.87	0.50	-0.82	1.00	-1.41	1.00	-	-	-
R4	-0.67	-1.00	1.00	0.50	-0.31	0.74	-0.93	1.00	-	-	-
R5	-0.67	-0.50	0.65	-	-0.13	0.90	-0.55	-	-0.67	-	-
R6	-0.50	-0.10	0.75	-	-0.33	1.00	-0.61	-	0.00	-	-
R7	-1.50	-0.23	0.58	-	-1.00	1.00	-2.13	-	-	1.00	-7.00

Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita; Sh: Sulfatos hidratados; Sp: Esfalerita.

Tabla 8.25.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral.



Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sh: Sulfatos hidratados; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita; Sp: Esfalerita.

Figura 8.49.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio complejante-reductor (columna de la derecha).

Además de la solubilización de los sulfatos solubles y del yeso se produce una disminución del contenido de jarositas en todas las muestras.

La fase que proporcionalmente más se ataca es la amoniojarosita, siendo algo más estable en este medio la natrojarosita.

En este caso, la solubilidad de las jarositas en el medio complejante-reductor se debe a una reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} y a una complejación posterior por el citrato. Estas reacciones se dan con mayor intensidad cuanto mayor sea la superficie específica de contacto y en redes de baja cristalinidad con un tamaño de cristalito muy pequeño que facilita el acceso del reactivo a la red produciéndose estas reacciones de reducción y complejación.

En nuestro caso las jarositas no desaparecen del residuo y sólo disminuyen ya que aún siendo sensibles a ataques reductores y complejantes, son minerales muy estables y resistentes que han alcanzado un cierto grado de evolución cristalina en su proceso de formación.

Otros compuestos que sí son atacados y disueltos en este medio son los oxihidróxidos de hierro y aluminio amorfos. Estos grupos de sustancias pueden encontrarse en proporciones variables y no han podido ser identificados por DRX, aunque como se comentó en el capítulo anterior se producen durante el proceso de lixiviación.

Pese a ser el citrato un excelente complejante para el calcio, en aquellas muestras en que se supera el 20% de yeso (R4 y R5) éste no llega a disolverse totalmente quedando un resto sin disolver por la insuficiente cantidad de reactivo que suministra el método.

8.4.2.1.2.- Movilización de metales pesados en medio complejante-reductor.

Las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico de los residuos procedentes de la hidrometalurgia estudiados tras la extracción en medio complejante-reductor aparecen en la tabla 8.26.

Vemos que las concentraciones de arsénico son muy elevadas en todos los casos, con un promedio de 983.5 mg/kg. Las de plomo son algo más moderadas con un valor máximo de 345.7 mg/kg.

Sin embargo las concentraciones de cadmio son en general inusualmente bajas debido probablemente a una reacción secundaria de precipitación del cadmio soluble como CdS ($K_s = 10^{-26}$) y su baja extractabilidad en este medio. También existe la posibilidad de que el plomo pueda precipitar en forma de PbS ($K_s = 10^{-27}$) y/o PbSO₄ ($K_s = 10^{-8}$) retirando plomo del medio soluble.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
R1	345.7	5.5	963.4
R2	81.9	5.4	1715.2
R3	90.6	61.3	1360.9
R4	77.7	1.3	787.9
R5	254.3	11.2	555.4
R6	28.9	0.4	926.5
R7	33.9	126.6	574.9
Media	130.4	30.2	983.5
Desv. Est.	121.1	47.6	422.3

Tabla 8.26.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en medio complejante-reductor.

La fracción de metal que el medio de extracción moviliza está recogida en la tabla 8.27. El arsénico es el metal que más moviliza en las condiciones del medio, con una significativa diferencia sobre cadmio y plomo, que se movilizan mucho menos que en medio ácido.

Fracción Soluble (%)			
	Pb	Cd	As
Máx.	0.91	13.08	99.18
Mín.	0.09	0.06	50.74
Media	0.39	3.73	77.86
Desv. Est.	0.35	4.91	16.98

Tabla 8.27.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio complejante-reductor.

Las figuras 8.50 a 8.52 muestran los porcentajes de extracción de metal en el medio complejante-reductor.

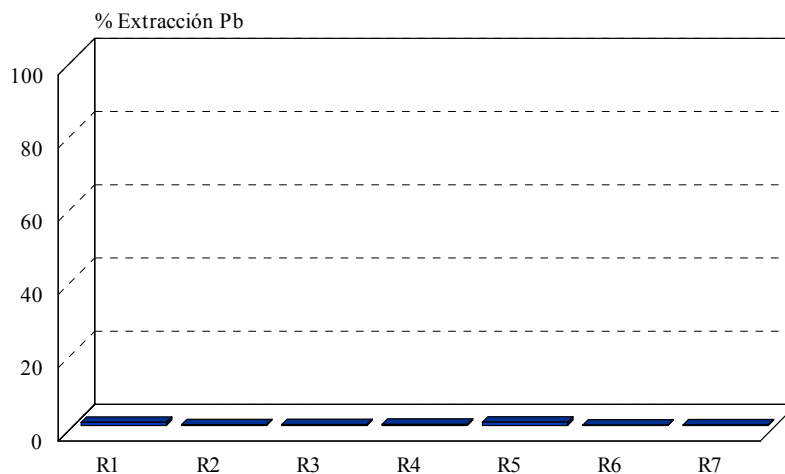


Figura 8.50.- Porcentajes de extracción de plomo en medio complejante-reductor.

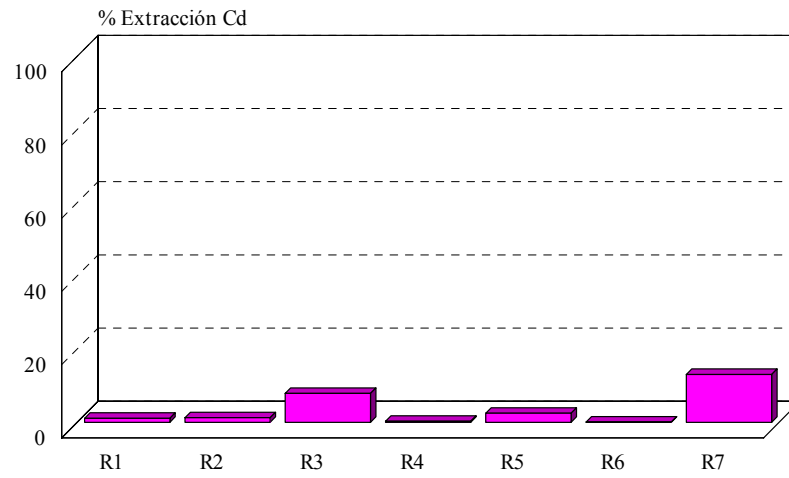


Figura 8.51.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio complejante-reductor.

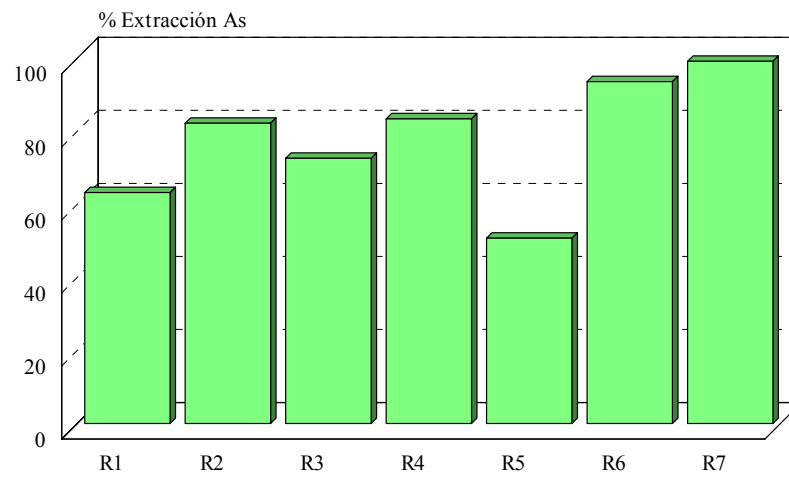


Figura 8.52.- Porcentajes de extracción de arsénico en medio complejante-reductor.

8.4.2.2.- Suelos industriales contaminados.

8.4.2.2.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio complejante-reductor.

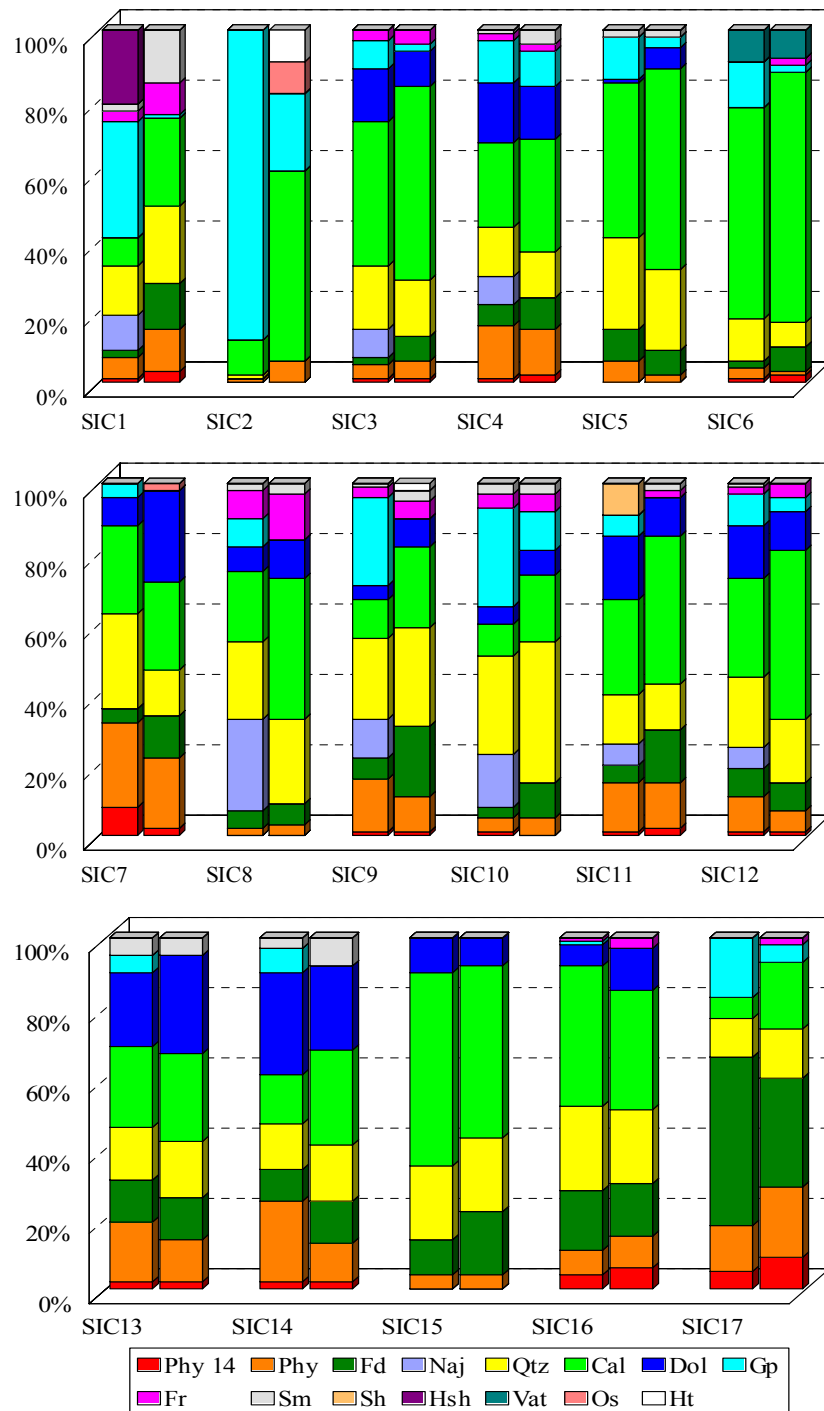
La gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio complejante-reductor así como los índices de pérdida/enriquecimiento relativos de cada fase mineral tras dicha extracción pueden verse en la figura 8.53 y en la tabla 8.28 respectivamente.

Muestra	I _{Phy 14}	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Otz}	I _{Cal}	I _{Dol}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Sm}	I _{Sh}	I _{Hsh}	I _{Vat}	I _{Os}	I _{Ht}
SIC1	-2.00	-1.00	-5.50	1.00	-0.57	-2.13	-	0.97	-2.00	-6.50	-	1.00	-	-	-
SIC2	-	-5.00	-	-	1.00	-4.40	-	0.75	-	-	-	-	-	-9.00	-9.00
SIC3	0.00	-0.25	-2.50	1.00	0.11	-0.34	0.33	0.75	-0.33	-	-	-	-	-	-
SIC4	-1.00	0.13	-0.50	1.00	0.07	-0.33	0.12	0.17	0.00	-3.00	-	-	-	-	-
SIC5	-	0.67	0.22	-	0.12	-0.30	-5.00	0.75	-	0.00	-	-	-	-	-
SIC6	-1.00	0.67	-2.50	-	0.42	-0.18	-	0.85	-2.00	-	-	-	0.11	-	-
SIC7	0.75	0.17	-2.00	-	0.52	0.00	-2.25	1.00	-	-	-	-	-	-2.00	-
SIC8	-	-0.50	-0.20	1.00	-0.09	-1.00	-0.57	1.00	-0.63	-0.50	-	-	-	-	-
SIC9	0.00	0.33	-2.33	1.00	-0.22	-1.09	-1.00	1.00	-0.67	-2.00	-	-	-	-	-2.00
SIC10	1.00	-0.25	-2.33	1.00	-0.43	-1.11	-0.40	0.61	-0.25	0.00	-	-	-	-	-
SIC11	-1.00	0.07	-2.00	1.00	0.07	-0.56	0.39	1.00	-2.00	-2.00	1.00	-	-	-	-
SIC12	0.00	0.40	0.00	1.00	0.10	-0.71	0.27	0.56	-1.00	1.00	-	-	-	-	-
SIC13	0.00	0.20	0.00	-	-0.07	-0.09	-0.33	1.00	-	0.00	-	-	-	-	-
SIC14	0.00	0.52	-0.33	-	-0.23	-0.93	0.17	1.00	-	-1.67	-	-	-	-	-
SIC15	-	0.00	-0.80	-	0.00	0.11	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
SIC16	-0.50	-0.29	0.12	-	0.13	0.15	-1.00	1.00	-2.00	-	-	-	-	-	-
SIC17	-0.80	-0.54	0.35	-	-0.27	-2.17	-	0.71	-2.00	-	-	-	-	-	-

Phy 14: Filossilicatos a 14Å; Phy: Filossilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonianita; Sh: Sulfatos hidratados; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Vat: Vaterita; Os: Otros sulfatos; Ht: Hidrotalcita.

Tabla 8.28.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral.

Se observa una pérdida total de natrojarosita y una pérdida total o parcial de yeso en todos los SIC. Como se ha comentado en el epígrafe anterior, la pérdida de natrojarosita en este medio de extracción se debe a la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺ y a una posterior complejación por el citrato.



Phy 14: Filosilicatos a 14Å; Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonita; Sh: Sulfatos hidratados; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Vat: Vaterita; Os: Otros sulfatos; Ht: Hidrotalcita.

Figura 8.53.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio complejante-reductor (columna de la derecha).

Las fases carbonatadas también se ven afectadas de manera que en general la calcita aumenta y la smithsonita aumenta o queda inalterada mientras que la dolomita muestra un comportamiento irregular. También se produce un enriquecimiento de franklinita generalizado tras la extracción en este medio.

Es interesante la aparición de fases nuevas como la hidrotalcita: $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16}\cdot 4H_2O$ y de otros sulfatos como la yavapaiita: $KFe(SO_4)_2$ en las muestras SIC2, SIC7 y SIC9.

8.4.2.2.2.- Movilización de metales pesados en medio complejante-reductor.

En la tabla 8.29 aparecen reflejadas las concentraciones de metales de los suelos estudiados, tras la extracción en medio complejante-reductor.

Análogamente al caso de los residuos, aunque con valores de concentración promedio mucho menores, el arsénico es el metal que sufre la mayor movilización, con un valor medio de 75.6 mg/kg.

Sin embargo las concentraciones de cadmio y plomo son en general inusualmente bajas con valores medios de 6.2 mg/kg y 52.8 mg/kg respectivamente debido, como se comentó anteriormente, probablemente a una reacción secundaria de precipitación del cadmio y del plomo soluble como CdS ($K_s = 10^{-26}$), PbS ($K_s = 10^{-27}$) y/o $PbSO_4$ ($K_s = 10^{-8}$) retirando metal del medio soluble.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
SIC1	84.1	32.0	237.4
SIC2	19.8	6.0	103.2
SIC3	56.4	10.4	113.6
SIC4	45.2	5.5	107.5
SIC5	50.1	1.5	32.9
SIC6	111.9	2.2	25.4
SIC7	34.0	0.4	7.9
SIC8	44.1	0.6	390.0
SIC9	93.3	1.3	15.8
SIC10	223.0	38.4	70.6
SIC11	16.6	0.5	58.4
SIC12	34.0	1.0	58.0
SIC13	12.8	1.0	10.6
SIC14	12.5	1.2	14.5
SIC15	15.3	1.1	5.2
SIC16	30.3	1.9	34.0
SIC17	14.0	0.7	0.0
Máx.	223.0	38.4	390.0
Mín.	12.5	0.4	0.0
Media	52.8	6.2	75.6
Desv. Est.	53.0	11.3	100.5

Tabla 8.29.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en medio complejante-reductor.

La fracción de metal que el medio de extracción moviliza está recogida en la tabla 8.30. Observamos que arsénico es unas diez y tres veces más móvil que cadmio y plomo respectivamente, siendo total la extracción del metal en algunas muestras.

	Fracción Soluble (%)		
	Pb	Cd	As
Máx.	33.10	8.93	100.00
Mín.	0.09	0.14	8.67
Media	3.12	2.16	71.31
Desv. Est.	7.96	2.62	35.51

Tabla 8.30.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio complejante-reductor.

Las figuras 8.54 a 8.56 muestran los porcentajes de extracción de metal en el medio complejante-reductor.

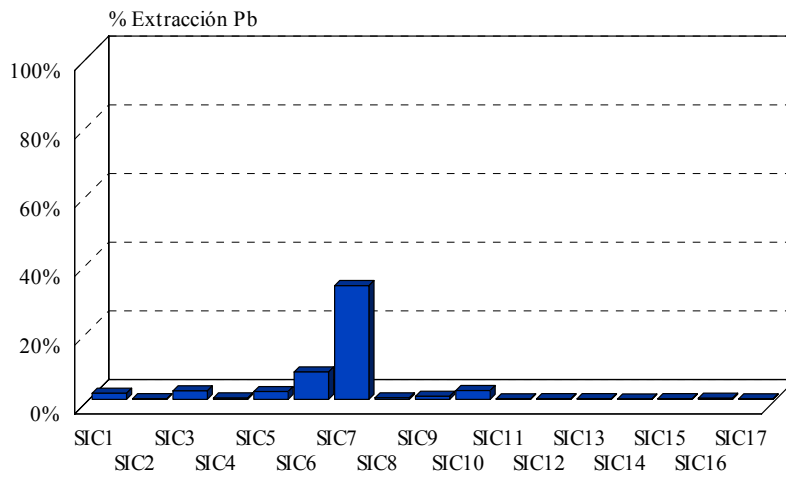


Figura 8.54.- Porcentajes de extracción de plomo en medio complejante-reductor.

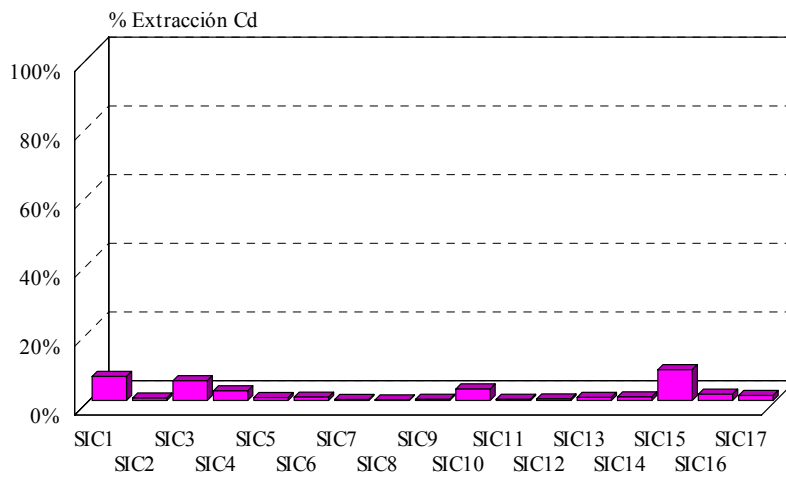


Figura 8.55.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio complejante-reductor.

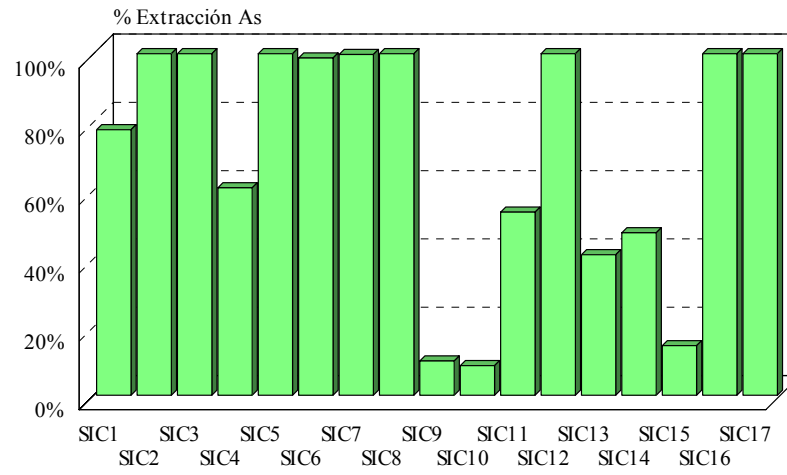


Figura 8.56.- Porcentajes de extracción de arsénico en medio complejante-reductor.

8.4.3.- Movilización en medio oxidante.

Con esta extracción se extraen las fracciones solubles y oxidables, fundamentalmente la materia orgánica, nula en nuestro caso y los sulfuros.

8.4.3.1.- Residuos procedentes de la hidrometalurgia del cinc.

8.4.3.1.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio oxidante.

En la figura 8.57 puede verse la gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio oxidante.

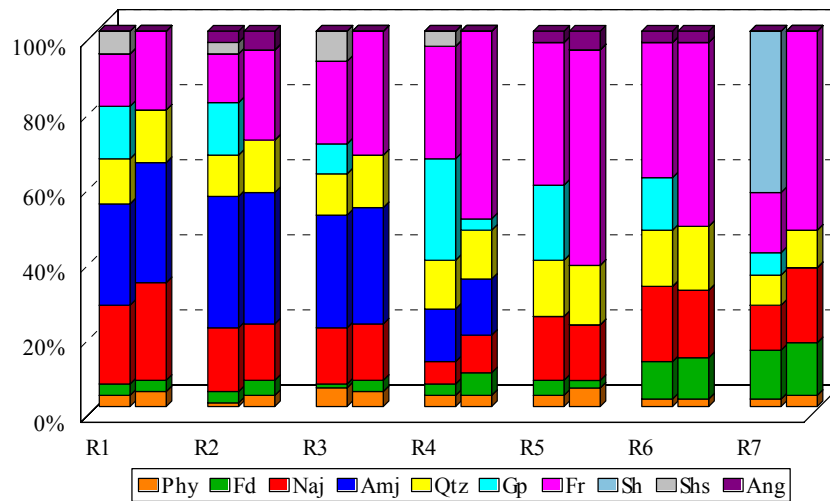
Igual que para las anteriores extracciones se han calculado los índices de pérdida o enriquecimiento relativos de cada fase mineral en el medio oxidante aplicando la fórmula indicada, cuyos valores quedan recogidos en la tabla 8.31.

$$I_{\text{pérdida/ganancia oxidante}} = \frac{\% \text{ Fase en muestra original} - \% \text{ Fase tras extracción}}{\% \text{ Fase en muestra original}}$$

Muestra	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Amj}	I _{Qtz}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Shs}	I _{Ang}	I _{Sh}
R1	-0.33	0.00	-0.24	-0.19	-0.17	1.00	-0.50	1.00	-	-
R2	-2.00	-0.33	0.12	0.00	-0.27	1.00	-0.85	1.00	-0.67	-
R3	0.20	-2.00	0.00	-0.03	-0.27	1.00	-0.50	1.00	-	-
R4	0.00	-1.00	-0.67	-0.07	0.00	0.89	-0.67	1.00	-	-
R5	-0.33	0.50	0.12	-	-0.07	1.00	-0.53	-	-0.67	-
R6	0.00	-0.10	0.10	-	-0.13	1.00	-0.36	-	0.00	-
R7	-0.50	-0.08	-0.67	-	-0.25	1.00	-2.31	-	-	1.00

Phy: Filossilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita; Sh: Sulfatos hidratados.

Tabla 8.31.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral.



Phy: Filossilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Amj: Amoniojarosita; Qtz: Cuarzo; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sh: Sulfatos hidratados; Shs: Sulfatos hidrosolubles; Ang: Anglesita.

Figura 8.57.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio oxidante (columna de la derecha).

El medio oxidante disuelve todos los sulfatos solubles, y el yeso de todas las muestras a excepción de R4.

En este medio se atacan sulfuros o carbonatos (ausentes en estas muestras) y se movilizan sustancias solubles en agua y en ácido (pH<2).

En estas muestras no se ha puesto en evidencia por DRX la presencia de sulfuros pero se sospecha la presencia de ciertas cantidades de galena y pirita en los diferentes residuos.

8.4.3.1.2.- Movilización de metales pesados en medio oxidante.

En la tabla 8.32 aparecen las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico de los residuos procedentes de la hidrometalurgia estudiados, tras la extracción en medio oxidante.

Vemos que las concentraciones de plomo son muy elevadas en todos los casos, con una media de 4617.8 mg/kg. Las de cadmio y arsénico son también bastante elevadas, y en general con valores bastante heterogéneos en los tres casos como muestran sus altas desviaciones estándar.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
R1	3238.8	278.6	14.4
R2	4745.8	279.2	5.5
R3	3644.4	332.9	93.4
R4	5935.8	136.2	268.6
R5	4148.8	69.0	121.5
R6	7154.3	70.1	433.4
R7	3457.1	419.0	306.5
Media	4617.8	226.4	177.6
Desv. Est.	1449.4	136.2	161.7

Tabla 8.32.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en medio oxidante.

La fracción soluble de metales pesados tras la extracción en medio oxidante puede verse en la tabla 8.33. El metal con el valor medio más alto de solubilización es el cadmio, seguido de arsénico y finalmente de plomo.

Es destacable el valor medio de plomo (14.9%) ya que supera en mucho los valores que se obtienen en los otros medios de extracción ya estudiados. Este aumento de solubilización puede deberse a que al tratarse de un medio ácido en condiciones más agresivas puede producirse la solubilización del plomo como $Pb(NO_3)_2$ y la disolución de los sulfuros.

El porcentaje de extracción medio de cadmio es ligeramente superior al obtenido en agua, convirtiéndose también este medio en el más efectivo a la hora de efectuar una extracción de dicho metal.

En el caso de arsénico el porcentaje medio de extracción es superior al que se obtiene en medio ácido, pero bastante menor que los correspondientes a los medios complejante-reductor y acuoso.

	Fracción Soluble (%)		
	Pb	Cd	As
Máx.	23.41	64.44	52.94
Mín.	8.13	9.82	0.32
Media	14.90	37.15	20.31
Desv. Est.	6.17	20.23	21.58

Tabla 8.33.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio oxidante.

Las figuras 8.58 a 8.60 muestran los porcentajes de extracción de metal en el medio oxidante.

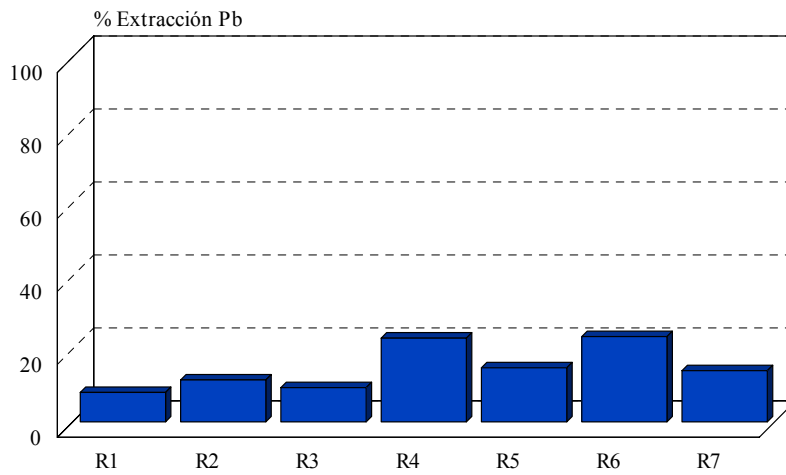


Figura 8.58.- Porcentajes de extracción de plomo en medio oxidante.

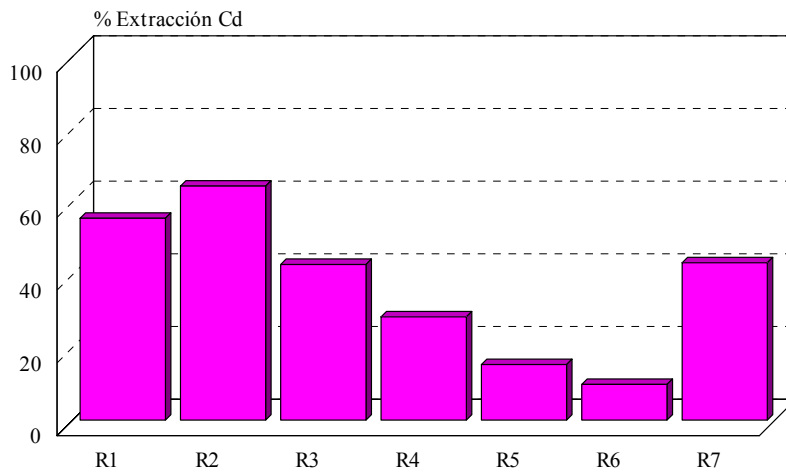


Figura 8.59.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio oxidante.

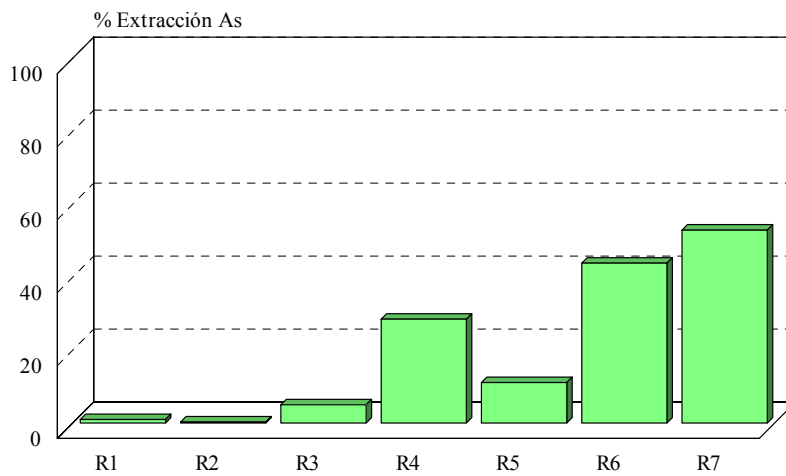


Figura 8.60.- Porcentajes de extracción de arsénico en medio oxidante.

8.4.3.2.- Suelos industriales contaminados.

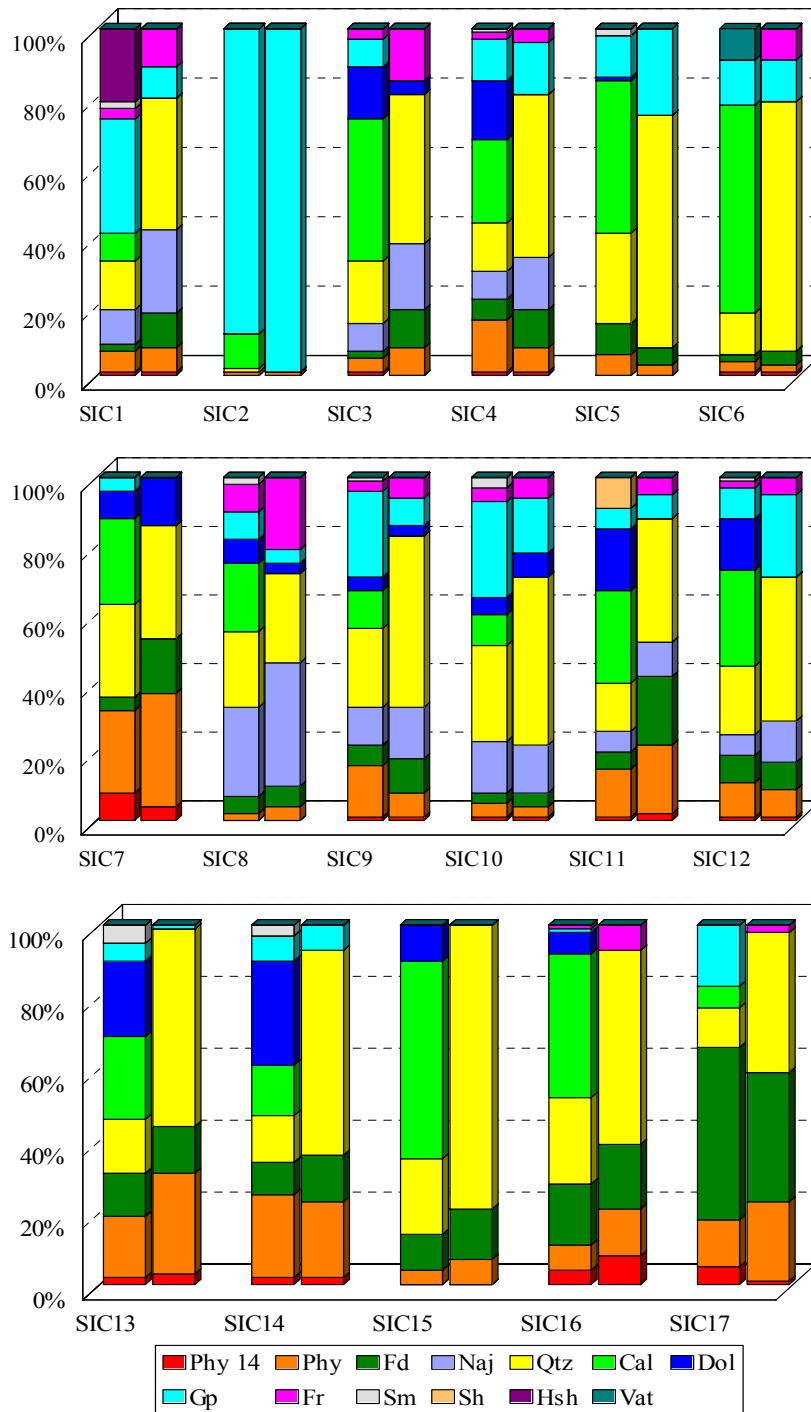
8.4.3.2.1.- Composición mineralógica tras la extracción en medio oxidante.

La gráfica comparativa entre la composición mineralógica de la muestra original y la obtenida tras la extracción en medio oxidante de los SIC aparece en la figura 8.61. En la tabla 8.34 se exponen los índices de pérdida/ganancia relativos de cada fase mineral tras la extracción.

Muestra	I _{Phy 14}	I _{Phy}	I _{Fd}	I _{Naj}	I _{Qtz}	I _{Cal}	I _{Dol}	I _{Gp}	I _{Fr}	I _{Sm}	I _{Sh}	I _{Hsh}	I _{Vat}
SIC1	0.00	-0.17	-4.00	-1.40	-1.71	1.00	-	0.73	-2.67	1.00	-	1.00	-
SIC2	-	0.00	-	-	1.00	1.00	-	-0.13	-	-	-	-	-
SIC3	1.00	-1.00	-4.50	-1.38	-1.39	1.00	0.73	1.00	-4.00	-	-	-	-
SIC4	0.00	0.53	-0.83	-0.88	-2.36	1.00	1.00	-0.25	-1.00	1.00	-	-	-
SIC5	-	0.50	0.44	-	-1.58	1.00	1.00	-1.08	-	1.00	-	-	-
SIC6	0.00	0.33	-1.00	-	-5.00	1.00	-	0.08	-9.00	-	-	-	1.00
SIC7	0.50	-0.38	-3.00	-	-0.22	1.00	-0.75	1.00	-	-	-	-	-
SIC8	-	-1.00	-0.20	-0.38	-0.18	1.00	0.57	0.50	-1.63	1.00	-	-	-
SIC9	0.00	0.53	-0.67	-0.36	-1.17	1.00	0.25	0.68	-1.00	1.00	-	-	-
SIC10	0.00	0.25	-0.33	0.07	-0.75	1.00	-0.40	0.43	-0.50	1.00	-	-	-
SIC11	-1.00	-0.43	-3.00	-0.67	-1.57	1.00	1.00	-0.17	-5.00	0.00	1.00	-	-
SIC12	0.00	0.20	0.00	-1.00	-1.10	1.00	1.00	-1.67	-1.50	1.00	-	-	-
SIC13	-0.50	-0.65	-0.08	-	-2.67	1.00	1.00	0.80	-	1.00	-	-	-
SIC14	0.00	0.09	-0.44	-	-3.38	1.00	1.00	0.00	-	1.00	-	-	-
SIC15	-	-0.75	-0.40	-	-2.76	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-
SIC16	-1.00	-0.86	-0.06	-	-1.25	1.00	1.00	1.00	-6.00	-	-	-	-
SIC17	0.80	-0.69	0.25	-	-2.55	1.00	-	1.00	-2.00	-	-	-	-

Phy 14: Filossilicatos a 14Å; Phy: Filossilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonianita; Sh: Sulfatos hidratados; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Vat: Vaterita.

Tabla 8.34.- Índices de pérdida/ganancia relativos de fase mineral



Phy 14: Filosilicatos a 14Å; Phy: Filosilicatos a 10Å; Fd: Feldespatos; Naj: Natrojarosita; Qtz: Cuarzo; Cal: Calcita; Dol: Dolomita; Gp: Yeso; Fr: Franklinita; Sm: Smithsonita; Sh: Sulfatos hidratados; Hsh: Hidroxisulfatos hidratados; Vat: Vaterita.

Figura 8.61.- Composición mineralógica de las muestras originales (columna de la izquierda) y tras la extracción en medio oxidante (columna de la derecha).

Se observa que desaparecen totalmente los sulfatos e hidroxisulfatos hidratados así como los carbonatos calcita, vaterita y smithsonita.

Es posible que aquellos metales que pueden estar ligados a carbonatos de granulometría más gruesa no extraíbles por el método de extracción en “medio ácido” se liberen en la extracción en “medio oxidante”. Esto nos lleva a no poder apreciar qué fracción puede estar ligada a sulfuros atacables en este último medio, máxime cuando no se detectan los sulfuros por DRX.

La dolomita en general desaparece, totalmente en casi la mitad de las muestras, muchas de las cuales presentan textura fina; así la dolomita que queda neutralizada correspondería a la asociada a la mineralogía más fina, quedando sin atacar las partículas de mayor tamaño.

El yeso también se solubiliza total o parcialmente en la mayoría de muestras.

A la vez se observa un enriquecimiento de natrojarosita, franklinita, y cuarzo en todos los casos debido posiblemente al lavado de esas fases más solubles que desenmascaran estas otras.

8.4.3.2.2.- Movilización de metales pesados en medio oxidante.

En la tabla 8.35 aparecen reflejadas las concentraciones de metales de los suelos estudiados, tras la extracción en medio oxidante.

Las concentraciones de plomo y cadmio son muy elevadas; no ocurre así con arsénico, con valores de concentración más moderados y equiparables a los de la

extracción en medio ácido. En los tres casos se tienen desviaciones estándar elevadas que nos dan idea de la dispersión de dichos valores.

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
SIC1	2052.2	323.9	20.1
SIC2	1041.8	423.0	143.3
SIC3	895.0	62.1	16.1
SIC4	683.3	80.3	6.2
SIC5	357.9	70.6	3.7
SIC6	1469.9	76.3	14.6
SIC7	3.6	23.8	0.9
SIC8	2187.3	139.5	8.5
SIC9	1334.6	98.8	10.0
SIC10	1878.3	705.2	11.9
SIC11	1136.6	82.4	11.3
SIC12	716.9	80.4	12.9
SIC13	134.9	55.2	2.9
SIC14	107.5	60.7	2.7
SIC15	124.9	8.4	3.1
SIC16	850.6	42.5	17.2
SIC17	175.4	12.6	27.9
Máx.	2187.3	705.2	143.3
Mín.	3.6	8.4	0.9
Media	891.2	138.0	18.4
Desv. Est.	709.3	182.1	33.0

Tabla 8.35.- Concentración de metales pesados (mg/kg) tras la extracción en medio oxidante.

La fracción de metal que el medio de extracción moviliza está recogida en la tabla 8.36.

	Fracción Soluble (%)		
	Pb	Cd	As
Máx.	100.00	70.67	100.00
Mín.	0.77	15.43	2.16
Media	17.64	43.00	26.33
Desv. Est.	24.69	15.31	30.38

Tabla 8.36.- Fracción soluble (%) de metales pesados tras la extracción en medio oxidante.

En ella advertimos los valores máximos de solubilización de plomo y arsénico, correspondientes a SIC6 y SIC2 respectivamente.

Comparando los porcentajes de solubilización de cadmio y plomo en los diferentes medios de extracción para los SIC estudiados vemos que el medio oxidante es el más efectivo para dichos metales.

Las figuras 8.62 a 8.64 muestran los porcentajes de extracción de metal en el medio oxidante.

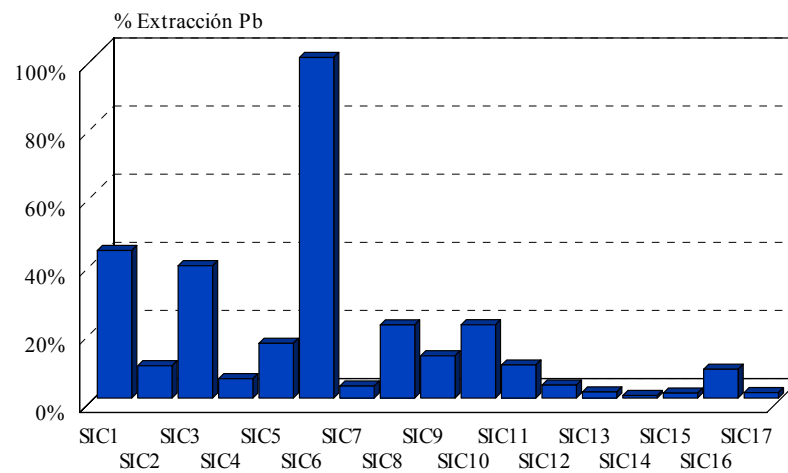


Figura 8.62.- Porcentajes de extracción de plomo en medio oxidante.

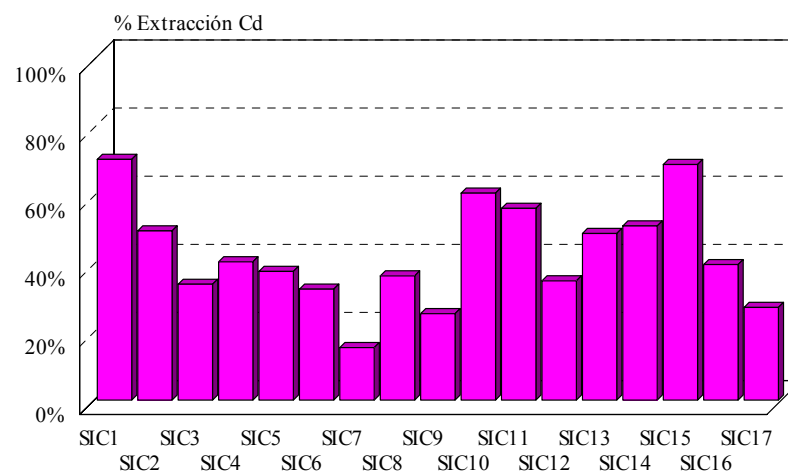


Figura 8.63.- Porcentajes de extracción de cadmio en medio oxidante.

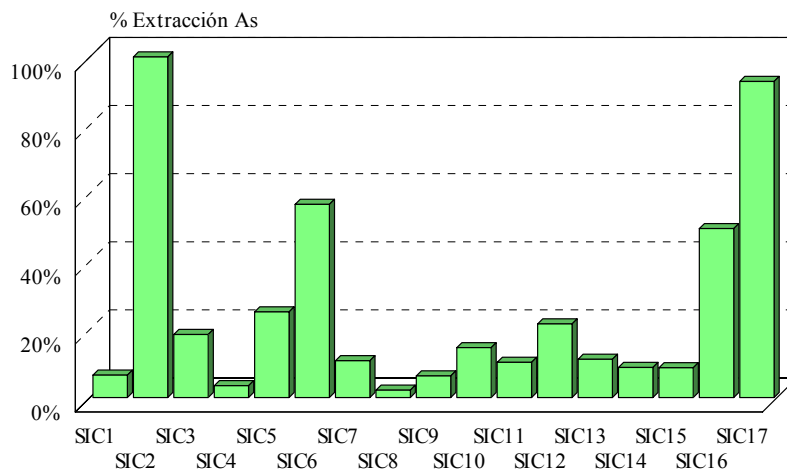


Figura 8.64.- Porcentajes de extracción de arsénico en medio oxidante.