

ANEXO

1.9

**Evaluación de los materiales
removidos durante las acciones de
remediación de la empresa Buena
Vista del Cobre en la Cuenca el Río
Sonora**



INSTITUTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Informe de avances No. 2

Proyecto

Diagnóstico Ambiental y propuesta de Remediación-Reparación-Compensación en la cuenca del Río Sonora afectada por el derrame del represo "Tinajas 1" de la mina Buenavista del Cobre, Cananea, Sonora"

Sub-proyecto

Diagnóstico integral para la evaluación del daño ambiental del medio abiótico en el corto, mediano y largo plazo

Evaluación de los materiales removidos durante las acciones de remediación de la empresa Buena Vista del cobre en la Cuenca el Río Sonora

Elaborado por:

Instituto de Geología
Universidad Nacional Autónoma de México

07.05.2015

INDICE

	Páginas
RESUMEN	3 - 4
INTRODUCCIÓN	
Problemática ambiental en la cuenca del Río Sonora	5 – 6
Medidas aplicadas para mitigar la problemática ambiental asociada al derrame de Buena Vista del Cobre, ocurrido el pasado 06 de agosto de 2014	7 - 9
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL VISIBLEMENTE IMPACTADO POR EL DERRAME QUE FUE RECOLECTADO Y DEPOSITADO EN LOS CAMINOS DE ACCESO DE LA PRESA DE JALES DE BUENA VISTA DEL COBRE	
Muestreo	10 – 16
Análisis de laboratorio	17
Resultados	17 – 23
Valoración de la eficiencia de la remediación realizada por Buena Vista del Cobre en la cuenca del Río Sonora	23 - 25
Lista de Anexos	
Anexo I.1 Informe de muestreo de febrero de 2015 (Muestreo orientativo)	
Anexo I.2 Cadena de custodia del muestreo de febrero de 2015	

Anexo I.3 Informe de muestreo de abril de 2015 (Muestreo exploratorio)

Anexo I.4 Cadena de custodia del muestreo de abril de 2015

Anexo II.1 Informe de valores de pH, conductividad eléctrica y concentraciones totales de elementos traza del muestreo de febrero de 2015. Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Anexo II.2 Informe de valores de pH, conductividad eléctrica y concentraciones totales de elementos traza del muestreo de abril de 2015. Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Anexo II.3 Informe de las concentraciones totales de los Elementos Mayores del muestreo de abril de 2015. Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

El 06 de agosto de 2014 se derramaron, al Arroyo Tinajas del Municipio de Cananea, Sonora, unos 40,000 m³ de solución ácida enriquecida con cobre, hierro y otros metales pesados disueltos (solución ácida ferro-cuprífera). De acuerdo a información pública de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el derrame pudo haber alcanzado los siguientes cuerpos de agua superficial: el Arroyo Tinajas (17.6 km), el Río Bacanuchi (64 km) y el Río Sonora (190 km).

Con el fin de mitigar el impacto ambiental del derrame en la cuenca del Río Sonora, Buena Vista del Cobre (BVC) aplicó las siguientes medidas de mitigación/remediación:

- **Construcción del bordo de contención** para detener el avance de la solución derramada. Adicionalmente, se neutralizaron, con cal, los sitios de los cauces visiblemente impactados por el derrame.
- **Extracción de 2,366,000 litros de la solución derramada** y contenidos en el bordo construido. Asumiendo que el volumen inicial de la solución derramada fue de 40,000,000 de litros y que se extrajeron 2,366,000 litros; entonces el volumen de solución derramada a los cauces de la cuenca del Río Sonora es de 37,634,000 litros.

Considerando la composición química de la solución derramada y conociendo el volumen que se dispersó en los cauces de los arroyos y ríos (37,634,000 litros), y asumiendo una densidad unitaria, se estima una carga contaminante vertida a los arroyos de la cuenca del río Sonora es, en orden descendente, de: 40,645 kg de hierro (Fe); 17,349 kg de aluminio (Al); 4,290 kg de cobre (Cu); 3,692 kg de manganeso (Mn); 1,919 kg de zinc (Zn); 1,607 kg de arsénico (As); 414 kg de níquel (Ni); 292 kg de cadmio (Cd); 94 kg de plomo (Pb) y 58 kg de cromo (Cr)

- **Recolecta de 7,398 m³ de material visiblemente impactado por el derrame y depositado en los caminos de acceso de la presa de jales de Buena Vista del Cobre.**

Con el fin de valorar la eficiencia de las acciones de remediación, el Instituto de Geología de la UNAM realizó un muestreo orientativo y exploratorio de los materiales recolectados y que actualmente están almacenados en los caminos de acceso de la presa de jales de la mina Cananea. En las muestras se realizaron análisis de pH, conductividad eléctrica, concentración total de elementos mayores y traza, asociados al derrame.

Los resultados indican que la eficiencia de la remediación varía entre 947% - 1481% para el Fe, entre 3617%– 4831% para el Al, entre 24% y 177% para el Cu, entre 168% y 534% para el Mn, entre 29% y 226% para el Zn, entre 10 y 169% para el As, entre 271% y 1167% para el Pb y entre 1436% y 2626% para el Cr.

En términos de valores promedio la eficiencia es del 1135%, 4210%, 72%, 263%, 77%, 39%, 546% y 1918% para Fe, Al, Cu, Mn, Zn, As, Pb y Cr, respectivamente.

En términos de valores máximos, la eficiencia de la remediación es muy superior al 100%, lo que indicaría que se han removido mucho más de lo que se liberó al ambiente, debido a que durante la limpieza fueron removidos materiales impactados por el derrame y materiales no impactados, pero que contienen, de manera natural, a los metales de interés

Es importante resaltar que el valor de tendencia central de la conductividad eléctrica (CE) del material removido ascienda a 799 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados indican que los sedimentos impactados por el derrame se caracterizan por los altos valores de CE, por lo que este parámetro, de naturaleza física, es un buen indicador para seguir el rastro de la contaminación residual, después de la limpieza, en sedimentos actuales de los cuerpos de aguas por donde fluyó el derrame de Buena Vista del Cobre.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática ambiental en la cuenca del Rio Sonora

El 06 de agosto de 2014 se derramaron, al Arroyo Tinajas del Municipio de Cananea, Sonora, unos 40,000 m³ de solución ácida enriquecida con cobre, hierro y otros metales pesados disueltos (solución ácida ferro-cuprífera). Esta solución ácida ferro-cuprífera se derramó del represo "Tinajas 1", que se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Empresa Buenavista del Cobre (BVC).

La composición química de solución ácida ferro-cuprífera que estaba contenida en el "Represo Tinajas 1", fue determinada por la CONAGUA y se presenta en la Tabla 1.1.

Fe, mg/L	1080
Al, mg/L	461
Cu, mg/L	114
Mn, mg/L	98.1
Zn, mg/L	51
As, mg/L	42.7
Ni, mg/L	11
Cd, mg/L	7.76
Pb, mg/L	2.5
Cr, mg/L	1.54
Ba, mg/L	No detectado
Hg, mg/L	No detectado
Sb, mg/L	No detectado

Nota: De estos elementos identificados en el derrame, el Fe, Al y Mn se asocian a los denominados, en geoquímica, elementos mayores¹; mientras que el Cu, Zn, As, Ni, Cd, Pb y Cr, se asocian a los denominados elementos traza².

Tabla 1.1 Composición química del derrame de 40,000 m³ de solución ácida ferro-cuprífera del represo "Tinajas 1"

¹ **Elementos mayores (EM):** Son los que están presentes de manera natural en altas concentraciones (> 0.1%) en la corteza terrestre (rocas, suelos, sedimentos). Estos EM controlan en gran medida la cristalización de los minerales petrogenéticos en las rocas. Nota: 0.1% equivale a 1,000 mg/kg.

² **Elementos traza (ET):** Son los que están presentes de manera natural en bajas concentraciones (< 0.1%) en la corteza terrestre (rocas, suelos, sedimentos); pero que pueden incrementar su concentración, en el medio abiótico, debido a procesos contaminantes por actividades humanas. A estos elementos traza se asocian los denominados elementos potencialmente tóxicos.

De acuerdo a información pública de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el derrame alcanzó los siguientes cuerpos de agua superficial: el "arroyo Tinajas" (17.6 km), el Río Bacanuchi (64 km) y el Río Sonora (190 km) (Figura 1.1).

Estos cuerpos de agua pertenecen a la denominada Cuenca del Río Sonora (Región hidrológica número 09, Sonora Sur) y específicamente a las sub-cuencas 9Dd (Río Bacanuchi), 9Dc (Río Sonora-Arizpe), 9Db (Río Sonora-Banámichi) (Figura 1.1).

La cuenca del Río Sonora cuenta con dos presas principales para el almacenamiento y control de avenidas: Rodolfo Félix Valdez (El Molinito) y Abelardo Rodríguez (Figura 1.1).

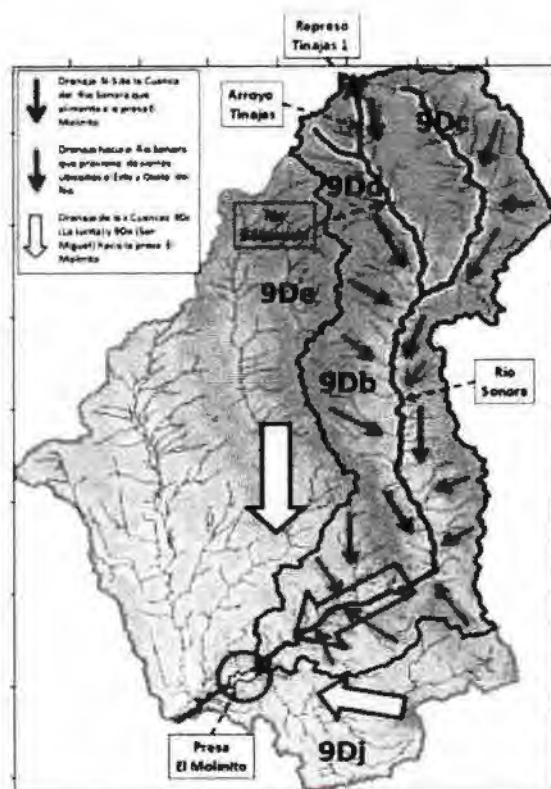


Figura 1.1 Red de drenaje de la Cuenca del Río Sonora y ubicación del Reposo "Tinajas 1" de donde se derramaron aproximadamente 40,000 m³ de solución ácida ferro-cuprífera

1.2 Medidas aplicadas para mitigar la problemática ambiental asociada al derrame de Buena Vista del Cobre, ocurrido el pasado 06 de agosto de 2014³

a) Construcción del bordo de contención

Para la contención de la solución derramada, se construyó un bordo de 120 m de longitud, 80 m de ancho y 15 m de altura sobre el cauce del arroyo Tinajas, a aproximadamente 7 km aguas abajo del Represo Tinajas 1 (Figura 1.2), que es el inicio del derrame.

Adicionalmente, se aplicaron un total de 250 toneladas de gravilla de cal en diferentes puntos del arroyo Tinajas y del río Bacanuchi, así como 30,000 litros de lechada de cal que se aplicaron aguas abajo del bordo de contención.

b) Extracción de 2,366,000 litros de la solución derramada y contenidos en el bordo construido

Se realizó la extracción de 2,366,000 litros de la solución derramada y que fueron contenidos en el bordo construido.

Asumiendo que el volumen inicial de la solución derramada fue de 40,000,000 litros y que se extrajeron 2,366,000 litros; entonces el volumen de solución derramada a los cauces de los cuerpos de agua superficial de la cuenca del Río sonora es de 37,634,000 litros.

Considerando la composición química de la solución derramada (Tabla 1.1) y conociendo el volumen que se dispersó en los cauces de los arroyos y ríos (37,634,000 litros), y asumiendo una densidad unitaria, se estima que la carga contaminante vertida a los arroyos de la cuenca del río Sonora es, en orden

³ Esta información fue recopilada de distintos documentos que la empresa Buena Vista del Cobre ha preparado para la autoridades ambientales

descendente, de: 40,645 kg de hierro (Fe); 17,349 kg de aluminio (Al); 4,290 kg de cobre (Cu); 3,692 kg de manganeso (Mn); 1919 kg de zinc (Zn); 1,607 kg de arsénico (As); 414 kg de níquel (Ni); 292 kg de cadmio (Cd); 94 kg de plomo (Pb) y 58 kg de cromo (Cr) (Tabla 1.2).

c) Recolecta de 7,398 m³ de material visiblemente impactado por el derrame y depositado en los caminos de acceso de la presa de jales de Buena Vista del Cobre (Figura 1.3).

c.1) Entre agosto y octubre de 2014 se recolectaron 6,096 m³ sedimentos visiblemente impactados por el derrame

c.2) Entre marzo y abril de 2015 se recolectaron 1,302 m³ de sedimentos y suelos visiblemente impactados

1.3 Objetivo

Valora la eficiencia de las acciones de remediación realizada por Buena Vista del Cobre en la Cuenca de Río Sonora.



Figura 1.2 Bordo de contención construido para controlar el avance de la solución derramada del Represo Tinaja 1

Concentración de metales en la solución derramada del represo Tinaja 1		Carga contaminante en los cauces, kg
Fe, mg/L	1080	40645
Al, mg/L	461	17349
Cu, mg/L	114	4290
Mn, mg/L	98.1	3692
Zn, mg/L	51	1919
As, mg/L	42.7	1607
Ni, mg/L	11	414
Cd, mg/L	7.76	292
Pb, mg/L	2.5	94
Cr, mg/L	1.54	58

Tabla 1.2 Carga contaminante que se dispersó en los cauces de los cuerpos de agua superficial de la Cuenca del Río Sonora

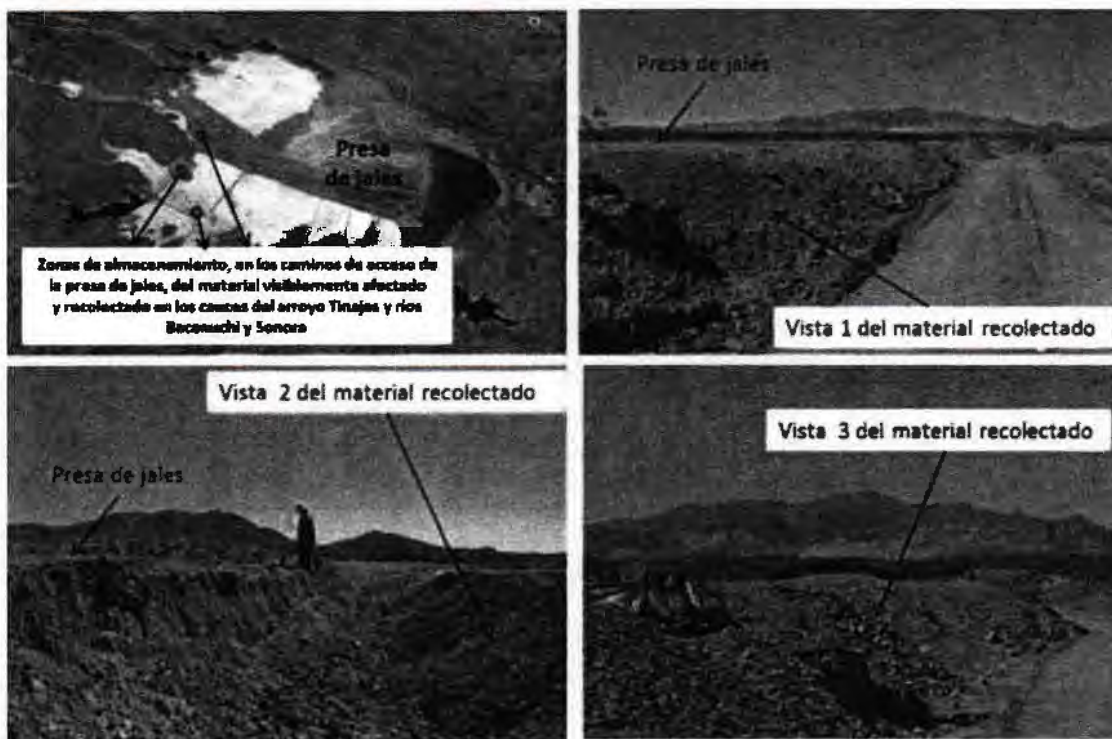


Figura 1.3 Almacenamiento, en los caminos de acceso de la presa de jales de BVC, de los materiales visiblemente impactados y recolectados en los cauces del arroyo Tinajas y Ríos Bacanuchi y Sonora

II CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL VISIBLEMENTE IMPACTADO POR EL DERRAME QUE FUE RECOLECTADO Y DEPOSITADO EN LOS CAMINOS DE ACCESO DE LA PRESA DE JALES DE BUENA VISTA DEL COBRE

2.1) Muestreo

Se realizaron dos muestreos:

A) Muestreo orientativo: El 26 de febrero de 2015 se muestrearon los materiales removidos, producto de la remediación, que se encuentran almacenados en los accesos de la presa de jales de Buena Vista del Cobre. Se identificaron tres zonas de almacenamiento de este material removido y se tomaron 6 muestras simples (Figura 2.1A).

En la Figura 2.2 se presentan las fotografías del material muestreado.

En el Anexo I.1 y I.2 se presenta el informe de muestreo y la cadena de custodia, respectivamente.

B) Muestreo exploratorio: El 10 de abril de 2015 se muestrearon los materiales removidos, en las tres zonas identificadas durante el muestreo orientativo de febrero de 2015. Se tomaron un total de 30 muestras compuestas distribuidas en cada una de las tres zonas (Figura 2.1 B) . Cada muestra se conformó con 5 muestras simples cada una, tomada en tresbolillo en una área aproximada de 12 m².

En la Figura 2.3 se presentan las fotografías del material muestreado.

En el Anexo I.3 y I.4 se presenta el informe de muestreo y la cadena de custodia, respectivamente.

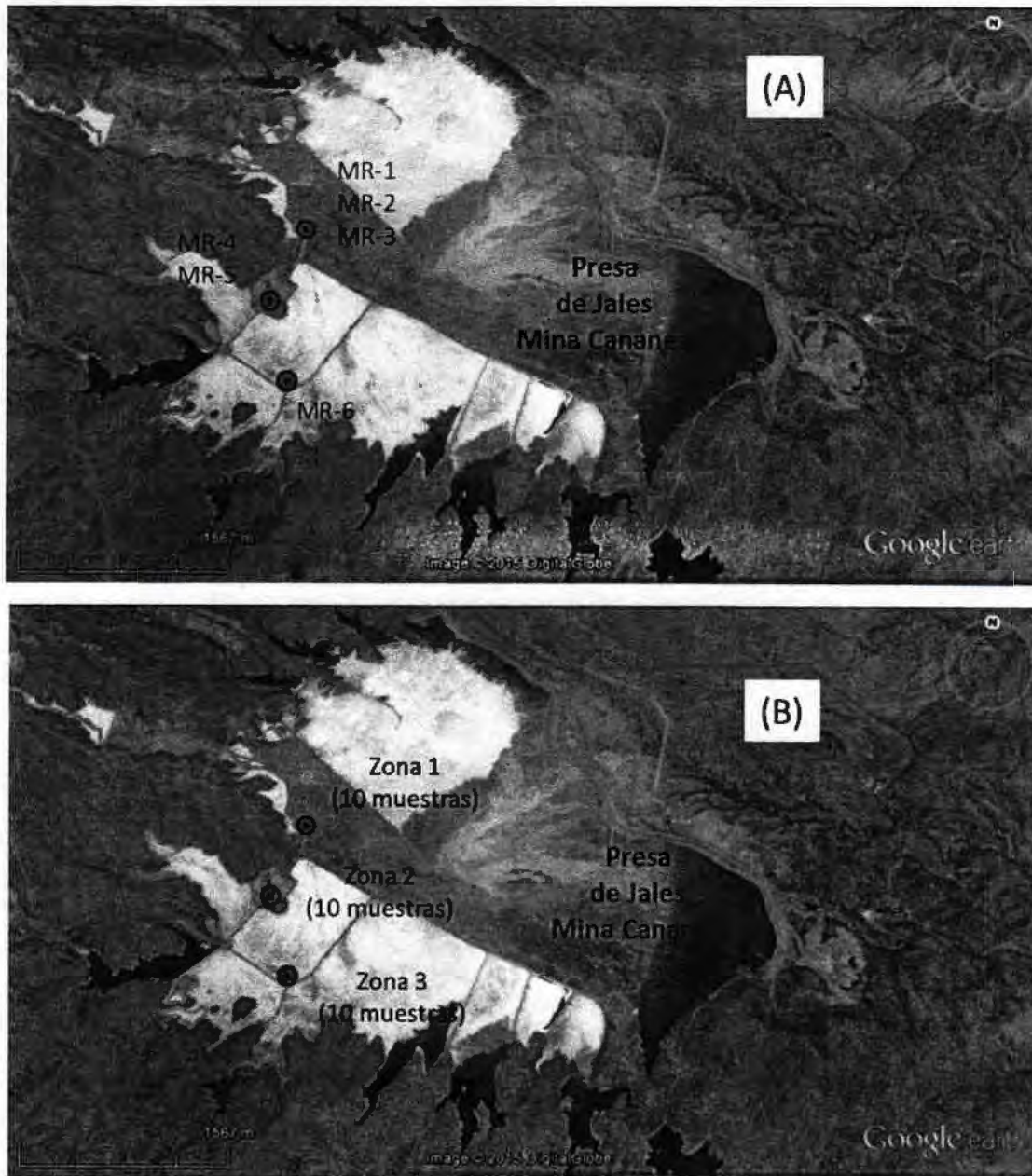


Figura 2.1 Ubicación de las muestras del material producto de la remediación de BVC, almacenados en los caminos de acceso de la Presa de Jales de la mina Cananea. (A) Muestreo Orientativo de febrero de 2015. (B) Muestreo exploratorio de abril 2015

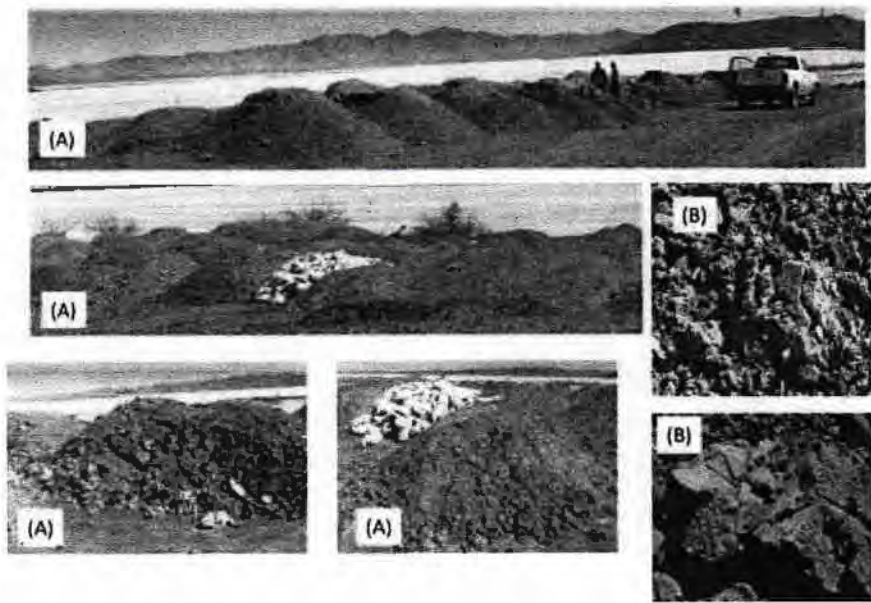


Figura 2.2a Sitios de muestreo de MR-1, MR-2 y MR-3: (A) Aspecto general y (B) Detalle

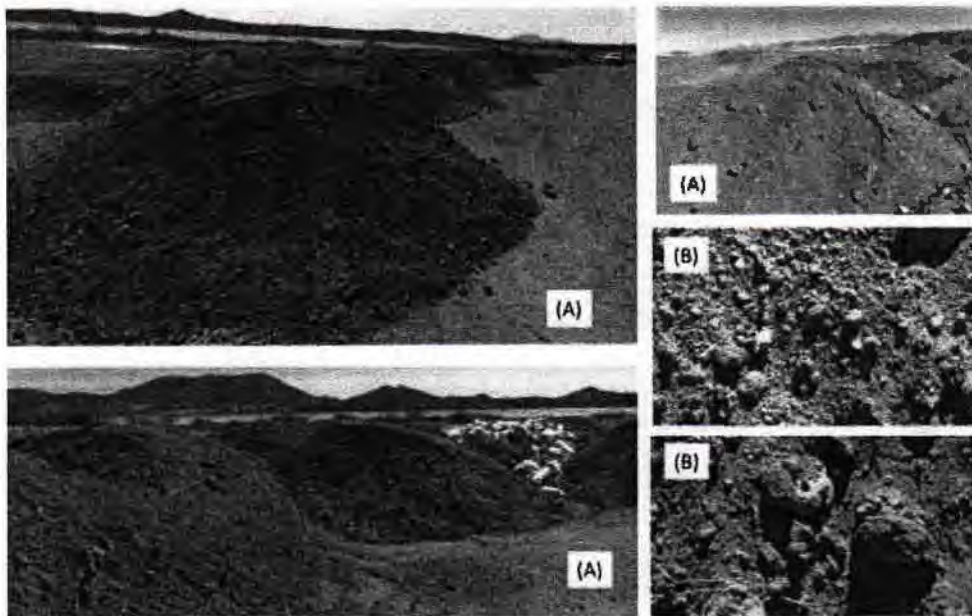


Figura 2.2b Sitios de muestreo de MR-4 y MR-5: (A) Aspecto general y (B) Detalle

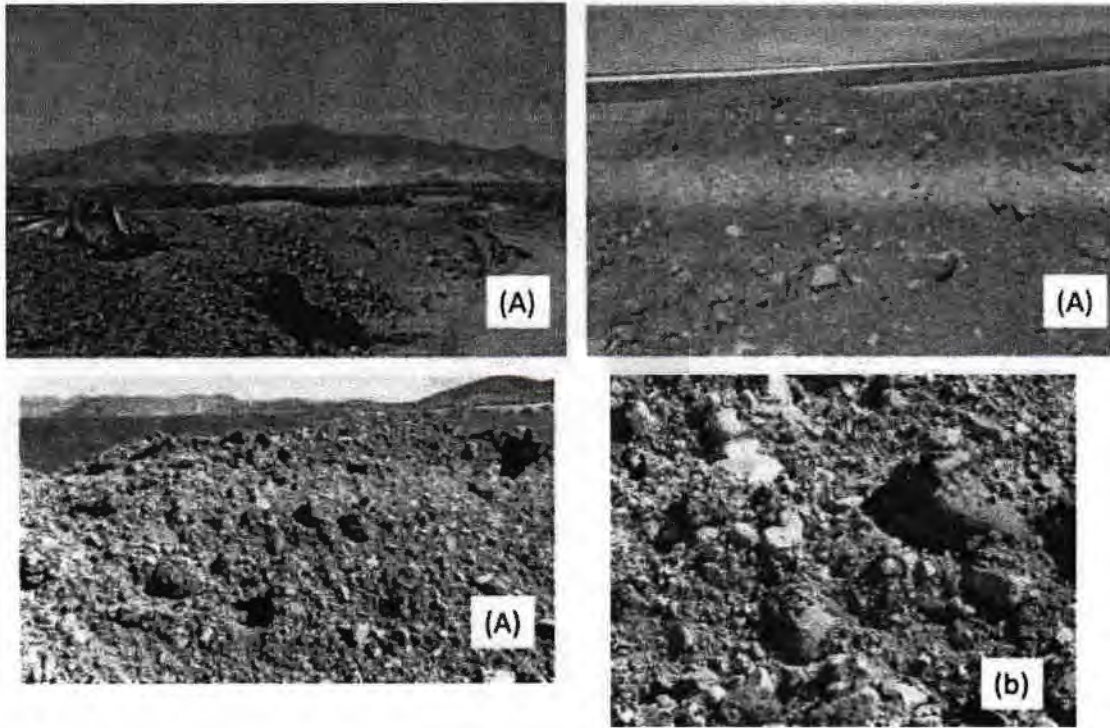
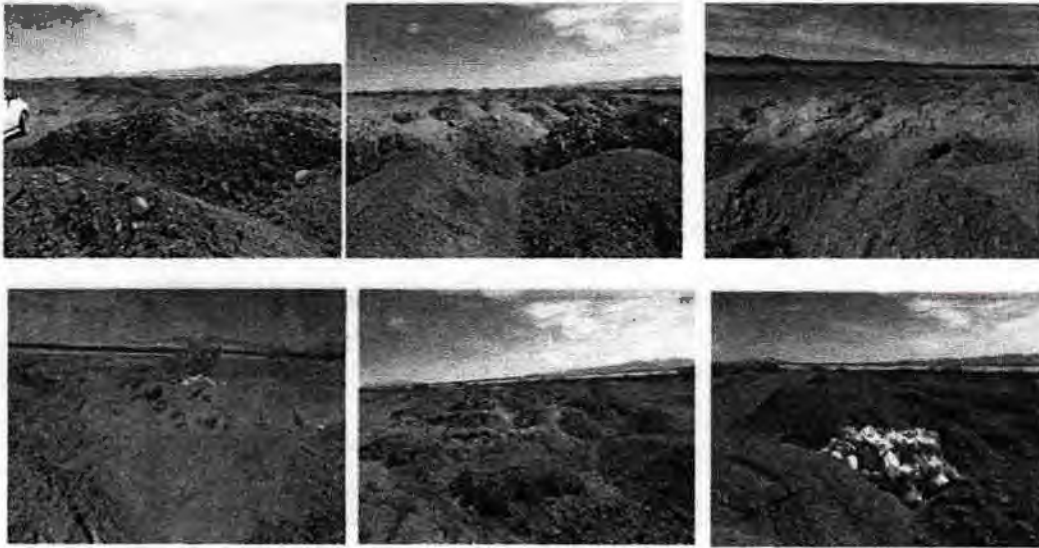


Figura 2.2 c Sitios de muestreo de MR-6: (A) Aspecto general y (B) Detalle

Zona 1: Panorámica



Zona 1: Detalle

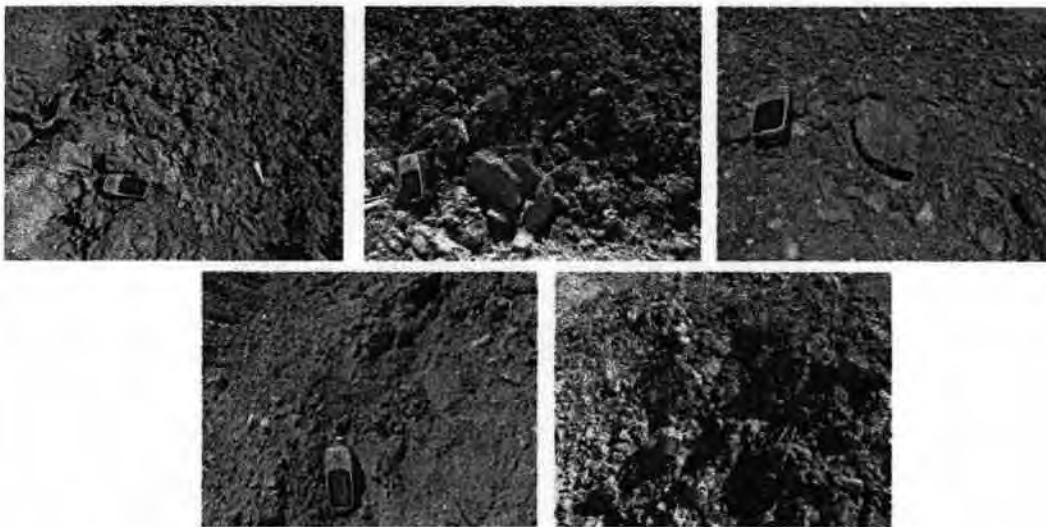
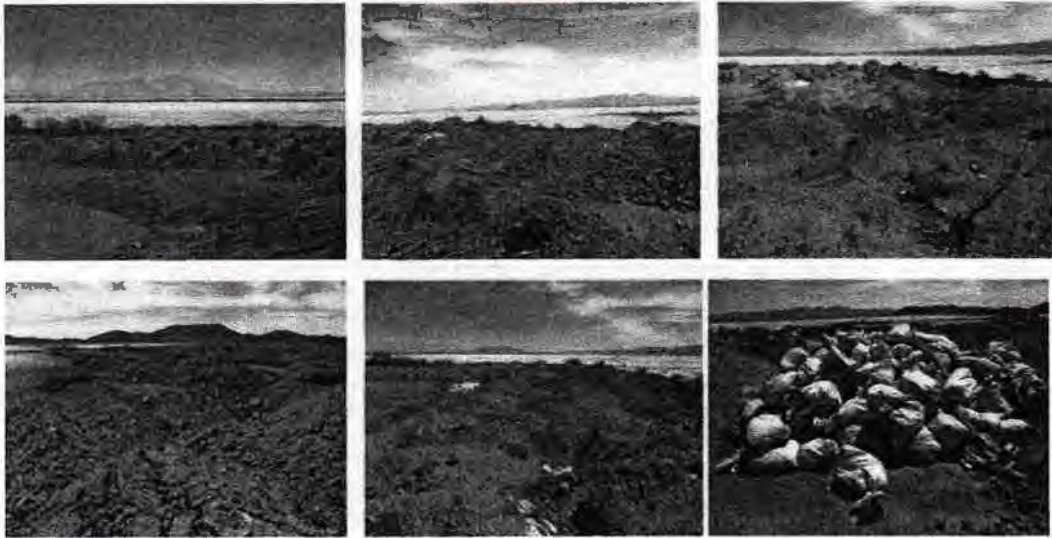


Figura 2.3a Sitios de muestreo en la Zona 1: (A) Aspecto panorámico y (B) Detalle

Zona 2: Panorámica



Zona 2: Detalle

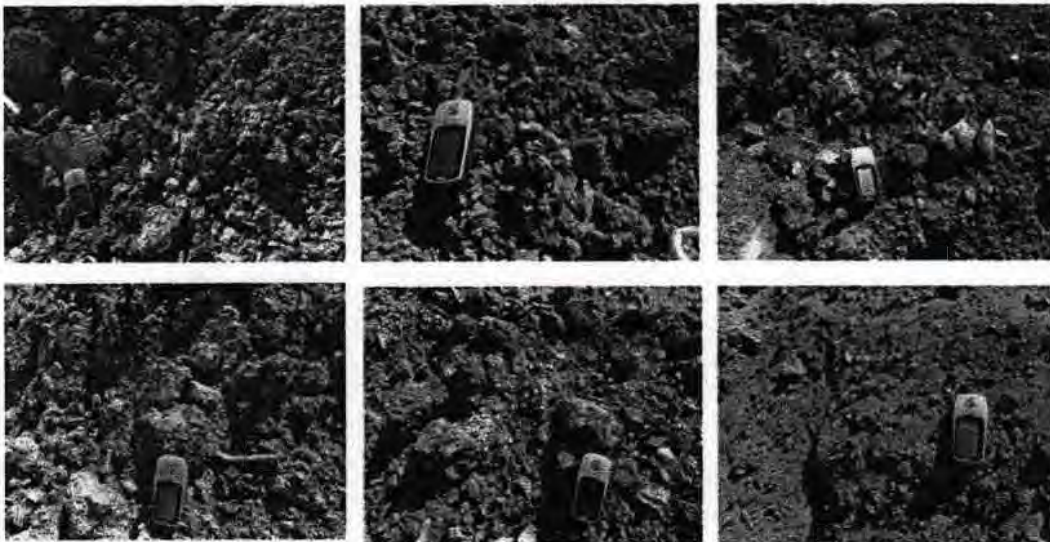
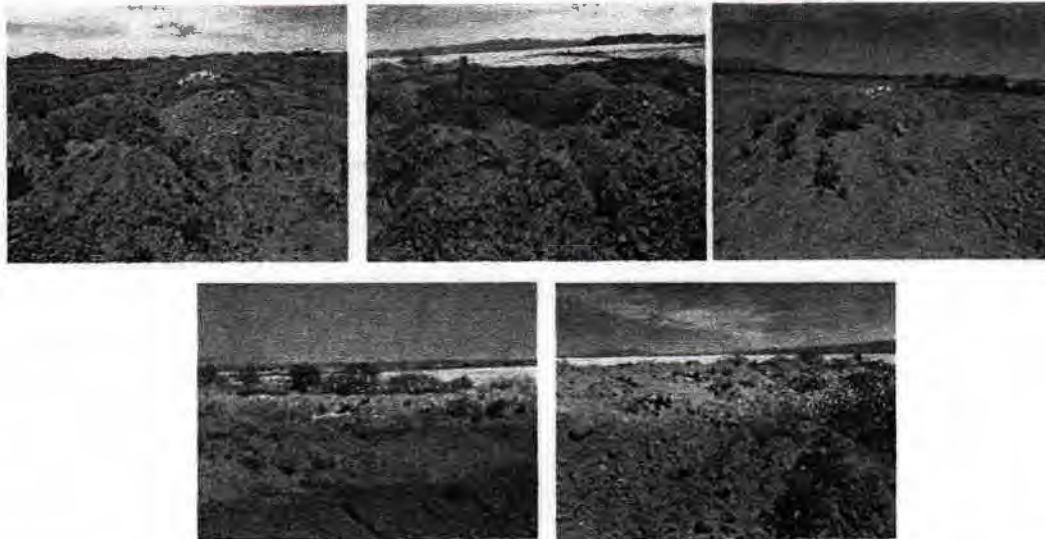


Figura 2.3b Sitios de muestreo en la Zona 2: (A) Aspecto panorámico y (B) Detalle

Zona 3: Panorámica



Zona 3: Detalle



Figura 2.3c Sitios de muestreo en la Zona 3: (A) Aspecto panorámico y (B) Detalle

2.2) Análisis de laboratorio

Se determinaron los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente y las concentraciones totales de los elementos traza y mayores. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la UNAM

Las concentraciones totales se determinaron utilizando la técnica de fluorescencia de rayos x, con un espectrómetro FXL 959. Las concentraciones totales de los elementos mayores se determinaron utilizando la técnica de fluorescencia de rayos x, con un espectrómetro RIGAKU, PRIMUS II.

Actualmente se realizan las digestiones de estas muestras para realizar el análisis por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).

2.3 Resultados

a) Valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y densidad aparente

Los resultados de los análisis de los análisis se presentan en las Tablas 2.1 y 2.2 y en el Anexo II.1 y II.2 el reporte oficial del laboratorio.

Los resultados que se presentan en la Tabla 2.1 y 2.2 indican:

- El pH del material removido varía entre 3.2 y 9.1 con un valor promedio de 6.2. Estos valores de pH pueden ser explicados por el hecho de que parte del material contaminado fue neutralizado en diferente grado mediante la adición de cal y parte del material visiblemente impactado por el derrame ácido también fue removido durante la remediación realizada por Buena Vista del Cobre.

- La conductividad eléctrica (CE) del material removido varía entre 149 y 2300 $\mu\text{S/cm}$, un valor promedio de 799 $\mu\text{S/cm}$. Estos resultados de la CE en los materiales removidos de la remediación, nos permiten afirmar que los materiales impactados por el derrame, así como lo posteriormente neutralizados, se caracterizan por los relativamente altos valores de CE, por lo que este parámetro, de naturaleza física, puede ser un buen indicador para seguir el rastro de la contaminación residual, después de la limpieza, en sedimentos actuales de los cuerpos de aguas por donde fluyó el derrame de Buena Vista del Cobre.
- La densidad aparente del material varía entre 1.03 Ton/m^3 y 1.56 Ton/m^3 con un valor promedio de 1.31 Ton/m^3 .

Muestra	pH	CE, ($\mu\text{S/cm}$)
MR-1	5.8	970
MR-2	9.1	1089
MR-3	6.9	2300
MR-4	4.8	881
MR-5	5.9	2210
MR-6	3.2	308
Zona 1-m1	4.9	620
Zona 1-m2	5.5	587
Zona 1-m3	6.0	1617
Zona 1-m4	6.1	737
Zona 1-m5	6.2	253
Zona 1-m6	6.4	149
Zona 1-m7	6.2	800
Zona 1-m8	6.2	975
Zona 1-m9	6.3	939
Zona 1-m10	6.5	624
Zona 2-m1	6.5	1070
Zona 2-m2	6.8	293
Zona 2-m3	6.8	379

Tabla 2.1 Valores de pH y conductividad eléctrica (CE) en el material removido producto de la remediación realizada por Buena Vista del Cobre

Muestra	pH	CE, (µS/cm)
Zona 2 m4	6.7	653
Zona 2 m5	6.4	460
Zona 2 m6	5.9	486
Zona 2 m7	4.8	199.9
Zona 2 m8	6.5	483
Zona 2 m9	6.3	927
Zona 2 m10	6.3	952
Zona 3 m1	6.4	1197
Zona 3 m2	6.5	883
Zona 3 m3	6.6	916
Zona 3 m4	6.6	1593
Zona 3 m5	6.7	696
Zona 3 m6	6.7	644
Zona 3 m7	6.6	696
Zona 3 m8	6.6	412
Zona 3 m9	6.4	320
Zona 3 m10	6.5	451
Mínimo	3.2	149
Máximo	9.1	2300
Promedio	6.2	799

Tabla 2.1 Valores de pH y conductividad eléctrica (CE) en el material removido producto de la remediación realizada por Buena Vista del Cobre (Continuación)

Muestra	Densidad aparente
	Ton/m ³
Zona 1-M1	1.56
Zona 1-M3	1.23
Zona 1-M5	1.36
Zona 1-M10	1.43
Zona 2-M1	1.03
Zona 2-M5	1.20
Zona 3-M5	1.10
Zona 3-M10	1.56
Mínimo	1.03
Máximo	1.56
Promedio	1.31

Tabla 2.2 Valores de densidad aparente en el material removido producto de la remediación realizada por Buena Vista del Cobre

b) Concentración total de los elementos mayores y traza asociados al derrame

Los resultados de las concentraciones totales de los elementos mayores se presentan en la Tabla 2.3 y en el Anexo II.3 el reporte oficial del laboratorio.

En la Tabla 2.3 se presentan las concentraciones totales de los elementos mayores asociados al derrame (Al, Fe y Mn). Es importante señalar que el laboratorio reportó los datos en forma de óxidos y en unidades de “%”; por lo que se realizó la conversión respectiva a la forma elemental y en unidades de “mg/kg”.

Muestra	Al ₂ O ₃	Al		Fe ₂ O ₃	Fe		MnO	Mn	
	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg	%	%	mg/kg
Zona1 M1	13.8060	7.3065	73065	6.3820	4.4641	44641	0.1350	0.1045	1045
Zona1 M2	13.2860	7.0313	70313	6.0550	4.2354	42354	0.1190	0.0921	921
Zona1 M3	15.1800	8.0337	80337	7.5930	5.3112	53112	0.2540	0.1967	1967
Zona1 M4	14.7330	7.7971	77971	7.2440	5.0670	50670	0.1150	0.0890	890
Zona1 M5	15.4780	8.1914	81914	6.7790	4.7418	47418	0.2790	0.2160	2160
Zona1 M6	14.6730	7.7653	77653	6.6170	4.6285	46285	0.1480	0.1146	1146
Zona1 M7	14.3200	7.5785	75785	6.5210	4.5613	45613	0.0880	0.0681	681
Zona1 M8	14.4570	7.6510	76510	6.5650	4.5921	45921	0.0970	0.0751	751
Zona1 M9	14.7780	7.8209	78209	6.0320	4.2193	42193	0.0980	0.0759	759
Zona1 M10	15.8800	8.4041	84041	6.9180	4.8390	48390	0.1080	0.0836	836
Zona2 M1	17.1070	9.0535	90535	8.1640	5.7106	57106	0.1270	0.0983	983
Zona2 M5	16.8520	8.9185	89185	7.4960	5.2433	52433	0.1420	0.1100	1100
Zona2 M10	17.5390	9.2821	92821	9.4380	6.6017	66017	0.1370	0.1061	1061
Zona3 M1	17.7480	9.3927	93927	9.3710	6.5548	65548	0.1350	0.1045	1045
Zona3 M5	17.2030	9.1043	91043	8.2880	5.7973	57973	0.1290	0.0999	999
Zona3 M10	14.3760	7.6082	76082	6.3170	4.4186	44186	0.0900	0.0697	697
Mínimo	13.2860	7.0313	70313	6.0320	4.2193	42193	0.0880	0.0681	681
Máximo	17.7480	9.3927	93927	9.4380	6.6017	66017	0.2790	0.2160	2160
Promedio	15.4635	8.1837	81837	7.2363	5.0616	50616	0.1376	0.1065	1065

Tabla 2.3 Concentraciones totales de los elementos mayores asociados al derrame

Los resultados de las concentraciones totales de los elementos traza se presentan en la Tabla 2.4 y en el Anexo I.7 el reporte oficial del laboratorio.

Las concentraciones totales de los metales de interés reportados en la Tablas 2.3 y 2.4 están dentro del intervalo de los valores de fondo regionales que fueron reportados en el Informe de Avances 1 y que se presentan en la Tabla 2.5.

Este fenómeno se puede explicar por el hecho de que durante la remediación fueron removidos materiales impactados por el derrame y materiales no impactados, pero que contienen, de manera natural, a los metales de interés.

Muestra	As	Ba	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe		Mn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg
LD	2.00	23.00	6.00	7.00	3.00	5.00	0.003	30	30.00
MR-1	66.3	628.8	130.4	115.2	56.5	79.5	4.342	43420	462.9
MR-2	69.2	207.0	101.7	484.1	77.8	242.8	3.000	30000	999.0
MR-3	141.0	436.9	126.5	570.0	71.9	200.8	5.487	54870	664.1
MR-4	62.6	595.8	131.0	164.8	58.6	81.6	3.946	39460	371.7
MR-5	185.9	442.5	117.7	832.6	80.5	245.9	6.483	64830	544.9
MR-6	297.2	539.4	91.8	338.0	120.5	61.5	9.371	93710	230.8
zona1 M1	38.4	740.8	110.7	245.7	54.4	149.8	4.381	43810	806.3
zona1 M2	31.2	728.0	108.9	165.3	48.3	112.5	3.655	36550	584.1
zona1 M3	86.8	442.0	120.8	759.8	66.3	476.3	5.825	58250	1382.2
zona1 M4	41.9	599.5	129.3	314.7	46.2	139.0	4.363	43630	599.0
zona1 M5	43.4	495.8	125.2	570.1	85.0	450.8	3.898	38980	2027.0
zona1 M6	31.2	718.5	125.0	157.2	51.8	118.8	4.177	41770	818.5
zona1 M7	36.1	692.6	103.0	324.0	33.5	114.5	4.349	43490	540.3
zona1 M8	37.9	601.7	118.7	198.2	37.5	98.1	4.621	46210	463.4
zona1 M9	30.2	693.6	113.9	629.1	33.2	193.4	4.329	43290	601.8
zona1M10	43.2	620.5	135.3	283.7	41.9	120.1	4.027	40270	549.5
zona2 M1	79.8	405.5	109.0	360.8	61.2	193.3	4.114	41140	740.6
zona2 M2	64.3	425.5	101.0	275.1	59.5	182.4	5.358	53580	749.0
zona2 M3	93.9	330.7	142.3	435.2	62.2	195.7	4.422	44220	554.2
zona2 M3	25.7	447.2	135.7	130.3	33.8	93.6	5.067	50670	473.5
zona2 M4	28.6	495.5	146.9	165.0	37.2	98.5	4.516	45160	533.8
zona2 M5	90.0	438.3	118.0	406.2	60.0	216.2	5.449	54490	808.6

Tabla 2.4 Concentraciones totales de los elementos traza asociados al derrame

Muestra	As	Ba	Cr	Cu	Pb	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
LD	2.00	23.00	6.00	7.00	3.00	5.00
zona2 M6	17.6	545.8	168.0	213.1	59.9	99.3
zona2 M7	25.0	576.5	150.6	145.5	27.9	73.9
zona2 M8	40.6	564.4	154.5	208.0	72.7	118.4
zona2 M9	32.5	553.0	116.2	209.1	38.3	119.0
zona2 M10	91.2	428.6	119.5	462.3	58.1	189.6
zona 3 M1	108.7	344.4	136.8	517.7	66.9	232.8
zona 3 M2	78.1	454.1	110.1	359.9	52.9	164.9
zona 3 M3	81.2	495.8	117.8	369.7	53.8	178.2
zona 3 M4	70.8	463.6	116.0	364.4	52.8	164.6
zona 3 M5	89.5	502.8	111.5	462.9	52.2	163.6
zona 3 M6	69.9	430.5	118.5	348.3	52.9	182.1
zona 3 M7	53.8	696.9	120.9	261.7	44.8	107.2
zona 3 M8	45.6	495.5	120.5	282.8	51.1	137.3
zona 3 M9	34.5	695.3	127.7	166.7	89.9	118.5
zona 3 M10	51.0	673.0	109.9	282.9	31.4	116.3
Mínimo	17.6	207.0	91.8	115.2	27.9	61.5
Máximo	297.2	740.8	168.0	832.6	120.5	476.3
Promedio	68.0	531.0	122.7	340.0	56.3	163.0

LD = Límite de detección

Nota1: Los datos de cadmio (Cd) y níquel (Ni) no se presentan porque la técnica de FRX con el equipo utilizado (FXL 959) no es adecuada

Nota 2: Las concentraciones de mercurio (Hg) y antimonio (Sb) no se consideran, pues no estaban contenidos en el derrame de Buena Vista del Cobre. Las concentraciones de bario (Ba), aunque no estaba contenido en el derrame, se consideran porque puede ser de guía para diferenciar el aporte natural

**Tabla 2.4 Concentraciones totales de los elementos traza asociados al derrame
(Continuación)**

Elemento	Media	Mínimo	Máximo
Fe, mg/kg	36,476	8,900	183,300
Al, mg/kg	24,149	2,600	65,800
Mn, mg/kg	661.7	46.0	5,319
Ba, mg/kg	216.24	24.0	1,436
Zn, mg/kg	95.7	13.0	3,502
Cr, mg/kg	59.5	1.00	547
Cu, mg/kg	54.0	1.00	6,471
Pb, mg/kg	47.7	2.00	17,612
As, mg/kg	18.4	0.32	2,092
Ni, mg/kg	14.8	0.90	838
Sb, mg/kg	2.97	0.20	221
Cd, mg/kg	0.88	0.04	61.6

Tabla 2.5 Valores de fondo regional de los metales de interés en los sedimentos de arroyo de la cuenca del Río Sonora y zonas aledañas (n = 3,625 muestras)
(Información tomada del Informe de Avances 1 que cita como fuente al Servicio Geológico Mexicano "SGM" 1995 – 2000)

2.4 Valoración de la eficiencia de la remediación realizada por Buena Vista del Cobre en la cuenca del Río Sonora

Se hizo una estimación del balance de masas para valorar la eficiencia de la remediación realizada entre el 25 de agosto y el 11 de octubre de 2014

Procedimiento de la estimación preliminar del balance de masas:

1. Considerando la composición química de la solución derramada (Tabla 1.1) y conociendo el volumen que se dispersó en los cauces de los arroyos y ríos (37,634,000 litros), y asumiendo una densidad unitaria, se estima que la carga contaminante vertida a los arroyos de la cuenca del río Sonora es, en orden descendente, de: 40,645 kg de hierro (Fe); 17,349 kg de aluminio (Al); 4,290 kg de cobre (Cu); 3,692 kg de manganeso (Mn); 1919 kg de zinc (Zn); 1,607 kg de arsénico (As); 414 kg de níquel (Ni); 292 kg de cadmio (Cd); 94 kg de plomo (Pb) y 58 kg de cromo (Cr) (Tabla 1.2).
2. Utilizando las concentraciones de los metales de interés (Tablas 2.3 y 2.4) que están en "mg/kg" que significa "mg del metal en un kilogramo de

material removido"; se hizo las conversiones pertinentes a "mg del metal en una tonelada de material removido"

3. Se utilizó la información generada por la empresa y tomada de diferentes documentos presentados a las autoridades para estimar un volumen de 7,398 m³ de material remediado y almacenado en los caminos de acceso de la presa de jales de la mina Cananea
4. Se utilizó la densidad promedio de 1.31 Toneladas/m³ determinadas e muestras del material remediado (Tabla 2.2).
5. Con los datos de los puntos (2), (3) y (4) se estiman los "kilogramos" de los metales de interés que fueron removidos durante la remediación
6. Finalmente se comparan los "kilogramos" de los metales de interés que fueron removidos durante la remediación con la carga contaminante vertida a los arroyos de la cuenca del río Sonora, que se detalla en el punto (1).

Los resultados de la estimación del balance de masa se presentan en la Tabla 2.6

Estos resultados indican que la eficiencia de la remediación varía entre 947% - 1481% para el Fe, entre 3617%– 4831% para el Al, entre 24% y 177% para el Cu, entre 168% y 534% para el Mn, entre 29% y 226% para el Zn, entre 10 y 169% para el As, entre 271% y 1167% para el Pb y entre 1436% y 2626% para el Cr.

En términos de valores promedio la eficiencia es del 1135%, 4210%, 72%, 263%, 77%, 39%, 546% y 1918% para Fe, Al, Cu, Mn, Zn, As, Pb y Cr, respectivamente.

En términos valores máximos la eficiencia de la remediación es muy superior al 100%, lo que indicaría que se han removido mucho más de lo que se liberó al ambiente, debido a que durante la limpieza fueron removidos materiales impactados por el derrame y materiales no impactados, pero que contienen, de manera natural, a los metales de interés

Metal	Estadígrafo	Concentración del metal			Masa del metal		Diferencia Derramado-removido kg	Porcentaje Eficiencia %
		en material removido			removido (*)	derramado (**)		
		mg/kg	kg/kg	kg/Ton material	kg	kg		
Hierro (Fe)	Mínimo	42193	4.22E-02	42.193	408889	40645	-368244	947
	Máximo	66017	6.60E-02	66.017	639770	40645	-599125	1481
	Promedio	50616	5.06E-02	50.616	490521	40645	-449876	1135
Aluminio (Al)	Mínimo	70313	7.03E-02	70.313	681404	17349	-664055	3617
	Máximo	93927	9.39E-02	93.927	910249	17349	-892900	4831
	Promedio	81837	8.18E-02	81.837	793083	17349	-775734	4210
Cobre (Cu)	Mínimo	115	1.15E-04	0.115	1116	4290	3174	24
	Máximo	833	8.33E-04	0.833	8069	4290	-3779	177
	Promedio	340	3.40E-04	0.340	3295	4290	995	72
Manganeso (Mn)	Mínimo	681	6.81E-04	0.681	6604	3692	-2912	168
	Máximo	2160	2.16E-03	2.160	20936	3692	-17244	534
	Promedio	1065	1.07E-03	1.065	10323	3692	-6631	263
Zinc (Zn)	Mínimo	62	6.15E-05	0.062	596	1919	1323	29
	Máximo	476	4.76E-04	0.476	4616	1919	-2697	226
	Promedio	163	1.63E-04	0.163	1580	1919	339	77
Arsénico (As)	Mínimo	18	1.76E-05	0.018	170	1607	1437	10
	Máximo	297	2.97E-04	0.297	2880	1607	-1273	169
	Promedio	68	6.80E-05	0.068	659	1607	948	39
Plomo (Pb)	Mínimo	28	2.79E-05	0.028	271	94	-177	271
	Máximo	120	1.20E-04	0.120	1167	94	-1073	1167
	Promedio	56	5.63E-05	0.056	546	94	-452	546
Cromo (Cr)	Mínimo	92	9.18E-05	0.092	890	58	-832	1436
	Máximo	168	1.68E-04	0.168	1628	58	-1570	2626
	Promedio	123	1.23E-04	0.123	1189	58	-1131	1918

(*) Esta estimación considera el volumen 7,398 m³ del material removido durante la remediación y una densidad promedio de 1.31 Ton/m³ (**) Ver tabla 1.2 de este informe

Tabla 4.3.2 Estimación preliminar del balance de masas para valorar la eficiencia de la remediación de Buena Vista del Cobre

Anexo I.1 Informe de muestreo de febrero de 2015 (Muestreo orientativo)



Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental



INFORME DE MUESTREO

**MATERIAL REMOVIDO DURANTE LA REMEDIACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO SONORA
FEBRERO, 2015**

**PROYECTO
RÍO SONORA**

Fecha que se realizó el muestreo.

26 de febrero 2015

Responsable de muestreo

Dr. Francisco Romero



1. Participantes

Participantes	
Dr. Francisco Romero	Muestreador
M. en C. Gerardo Martínez	Muestreador

2. Muestreo

Se tomaron un total de 6 muestras compuestas de tres zonas donde se encuentran almacenados los materiales removidos durante la remediación de la cuenca del río Sonora. Cada muestra compuesta a su vez se conformó con 5 muestras simples tomadas en tresbolillo en una superficie de unos 12 m².

Estos materiales se encuentran almacenados en los caminos de acceso de la presa de jales de Buena Vista del Cobre.

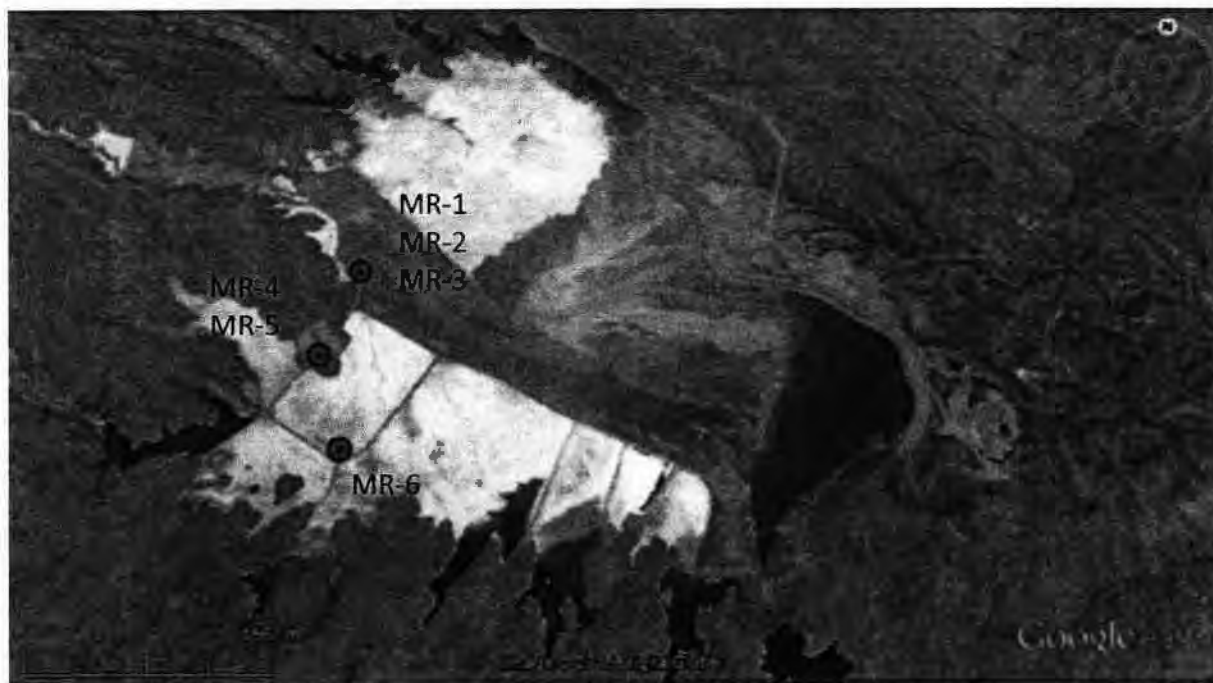
En la Tabla 1, se presenta la relación de muestras y las coordenadas (WGS_1984_UTM_Zone_12N), y en la Figura 1, se muestra su ubicación.

Tabla 1. Relación de muestras y ubicación

Clave	coordenadas	
	x	y
MR-1	571703	3424488
MR-2	571703	3424488
MR-3	571703	3424488
MR-4	571538	3423717
MR-5	571538	3423717
MR-6	571845	3422955



Figura 1. Mapa de distribución de muestras de sedimentos removidos durante la remediación de la Cuenca del Río Sonora



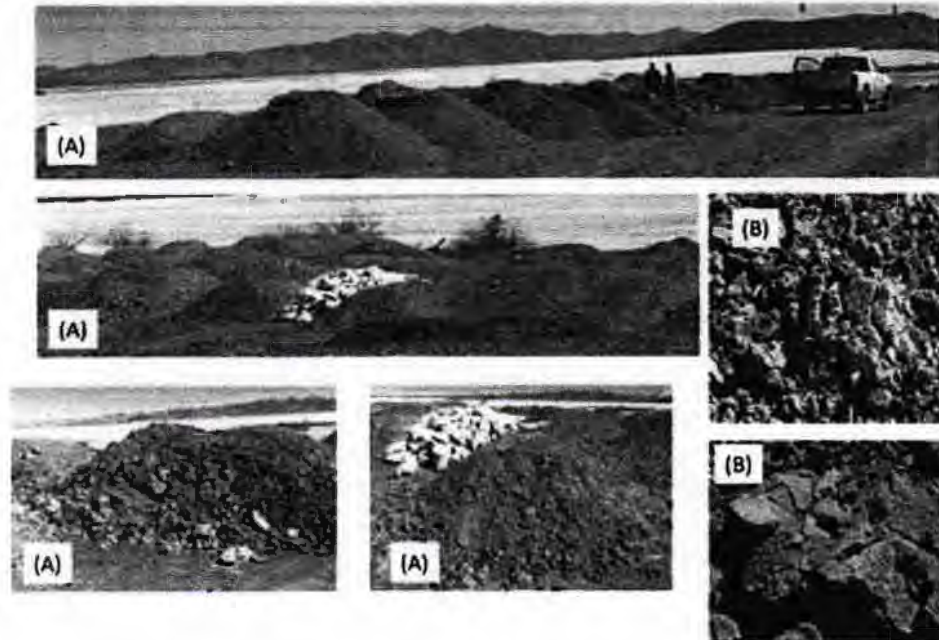
3. Análisis requeridos

Matriz	Parámetros
Sedimentos	pH y CE
	Concentración total de elementos traza (FRX)
	Concentración total de elementos mayores y traza, previa digestión (ICP)

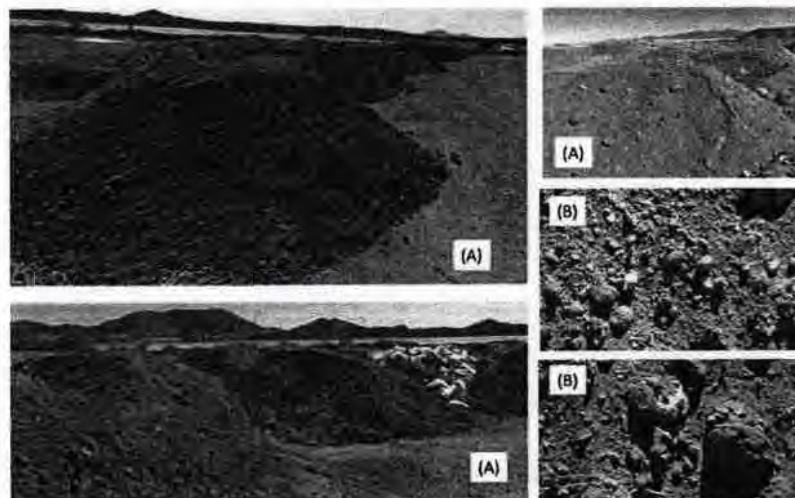
Tabla 2. Relación de análisis requeridos



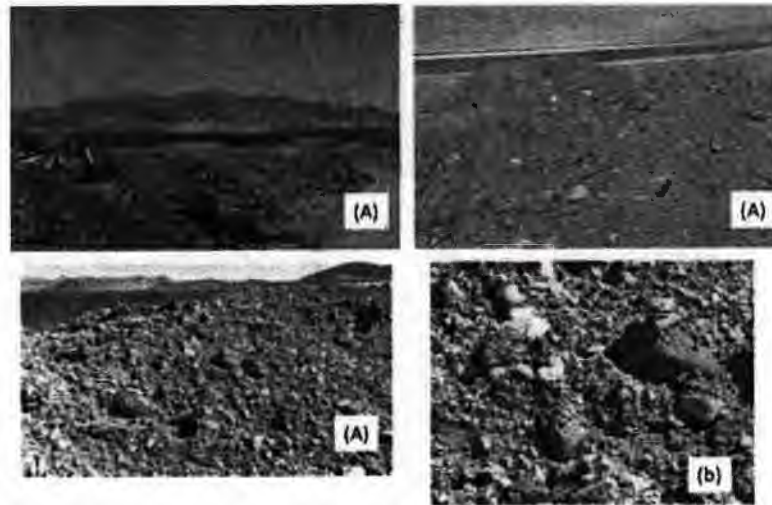
4. Memoria fotográfica



Sitios de muestreo de MR-1, MR-2 y MR-3: (A) Aspecto general y (B) Detalle



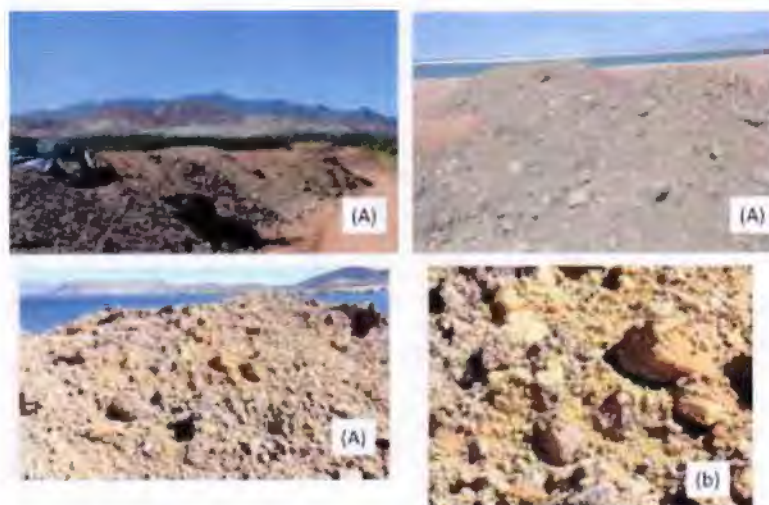
Sitios de muestreo de MR-4 y MR-5: (A) Aspecto general y (B) Detalle



Sitios de muestreo de MR-6: (A) Aspecto general y (B) Detalle

Realizo

Dr. Francisco Martín Romero



Sítios de muestreo de MR-6: (A) Aspecto general y (B) Detalle

Realizo

Dr. Francisco Martín Romero

Anexo I.2 Cadena de custodia del muestreo de febrero de 2015

Anexo I.3 Informe de muestreo de abril de 2015 (Muestreo exploratorio)



Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental



INFORME DE MUESTREO

**MATERIAL REMOVIDO DURANTE LA REMEDIACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO SONORA
ABRIL, 2015**

**PROYECTO
RIO SONORA**

Fecha que se realizó el muestreo.

10 abril 2015

Responsable de muestreo

Dr. Francisco Martín Romero



1. Participantes

Participantes	
Dr. Francisco Romero	Muestreador
M. en C. Gerardo Martínez	Muestreador

2. Muestreo

Se tomaron un total de 30 muestras compuestas de tres zonas donde se encuentran almacenados los materiales removidos durante la remediación de la cuenca del río Sonora. Cada muestra compuesta a su vez se conformó con 5 muestras simples tomadas en tresbolillo en una superficie de unos 12 m².

Estos materiales se encuentran almacenados en los caminos de acceso de la presa de jales de Buena Vista del Cobre.

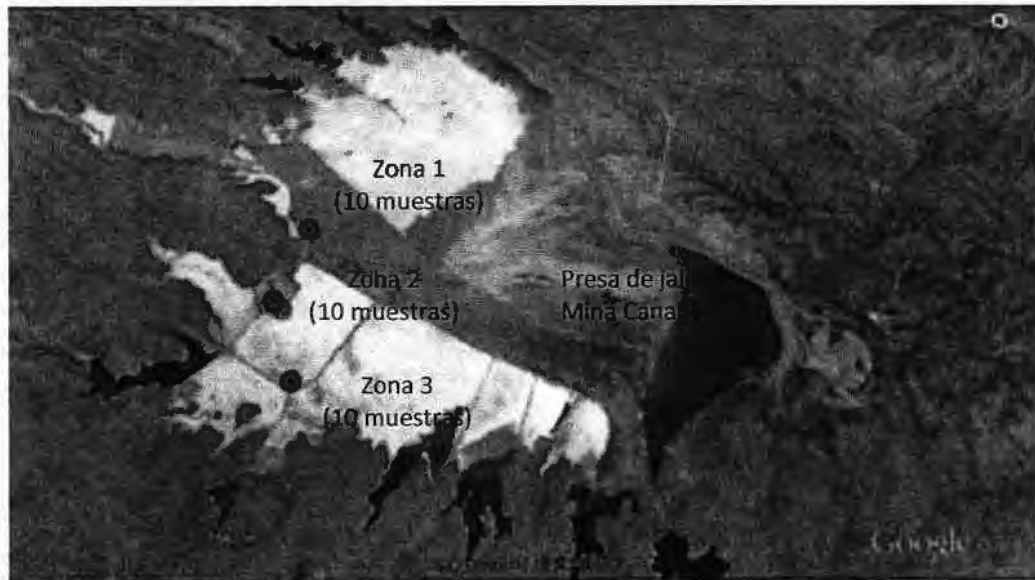
En la Tabla 1, se presenta la relación de muestras y las coordenadas (WGS_1984_UTM_Zone_12N), y en la Figura 1, se muestra su ubicación.

Tabla 1. Coordenadas de las tres zonas de muestreo

ID/Muestra	X	Y
ZONA 1 (10 muestras)	571703	3424488
ZONA 2 (10muestras)	571538	3423717
ZONA 3 (10 muestras)	571845	3422955



Figura 1. Mapa de ubicación de las tres zonas muestras de sedimentos removidos durante la remediación de la Cuenca del Río Sonora



3. Análisis requeridos

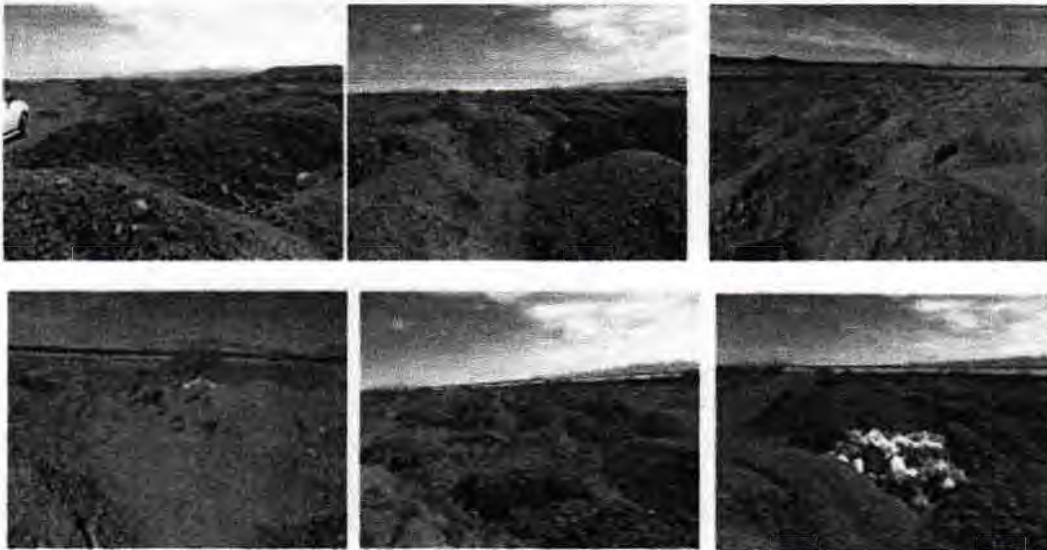
Tabla 3. Relación de análisis que se están realizando en las muestras

Matriz	Parámetros
Sedimentos	pH y CE
	Concentración total de elementos mayores (FRX)
	Concentración total de elementos traza (FRX)
	Concentración total de elementos mayores y traza, previa digestión (ICP)

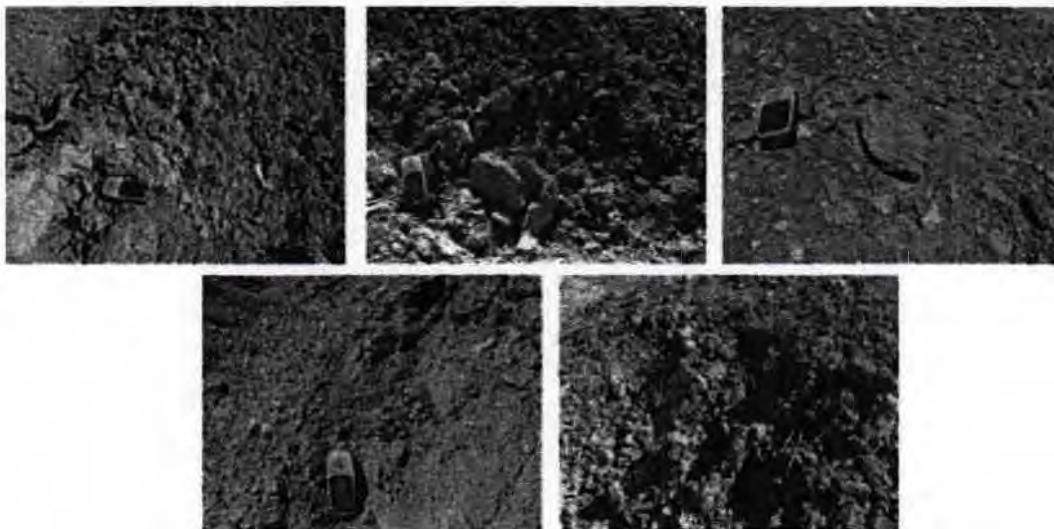


4. Memoria Fotográfica

Zona 1: Panorámica



Zona 1: Detalle

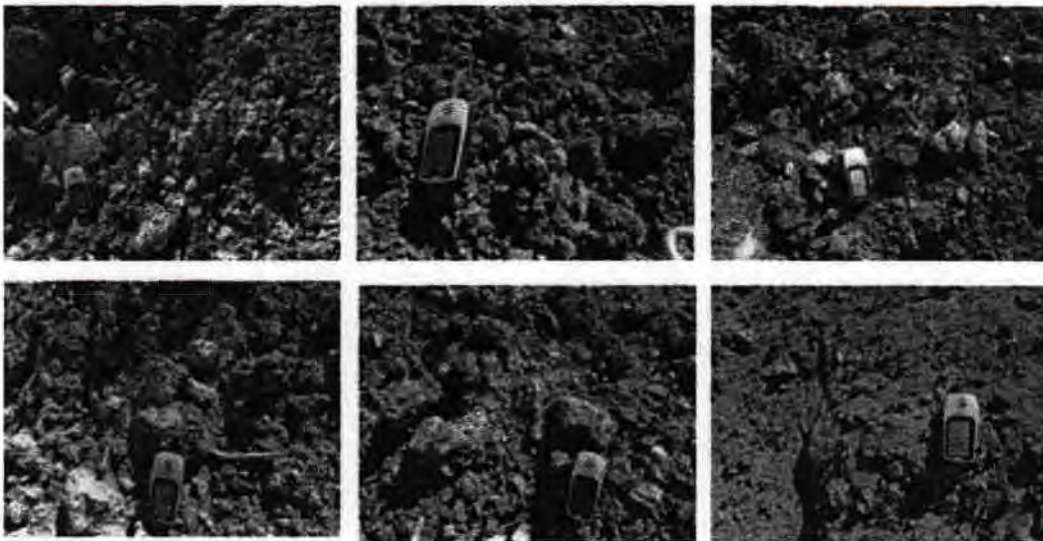




Zona 2: Panorámica

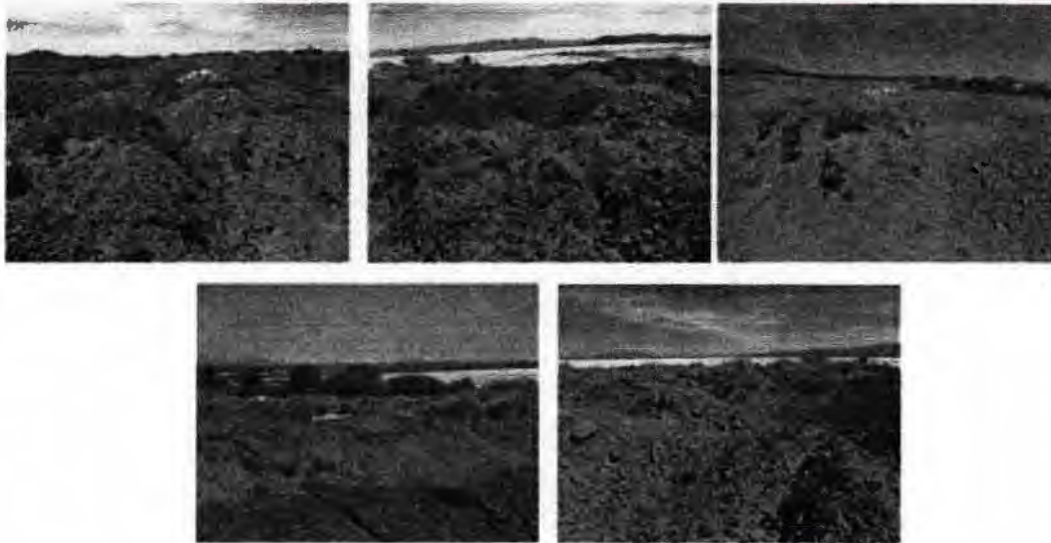


Zona 2: Detalle





Zona 3: Panorámica



Zona 3: Detalle



Realizó

Dr. Francisco Martín Romero



Zona 3: Panorámica



Zona 3: Detalle



Realizó

Dr. Francisco Martín Romero

Anexo I.4 Cadena de custodia del muestreo de abril de 2015

Anexo II.1 Informe de valores de pH, conductividad eléctrica y concentraciones totales de elementos traza del muestreo de febrero de 2015. Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.



INFORME DE RESULTADOS
MATERIAL DE REMEDIACION (MR) CANANEA, SONORA
5 de Marzo 2015

Información de las muestras

Se analizaron 6 muestras de zonas denominadas material de remediación en Cananea, Sonora.

Las muestras se recibieron en bolsas de plástico de 25X10 cm, etiquetadas como MR-1 a la MR-6 y un listado de coordenadas y observaciones adjunto.

Información de los análisis

En el laboratorio de Geoquímica Ambiental las muestras fueron homogeneizadas y tamizadas por malla N° 10 para su análisis por FRX

En las 6 muestras se determinaron los siguientes análisis:

pH se realizaron con un potenciómetro Hanna Instruments, HI-98185 y se siguió el método estandarizado 9045 de la US-EPA (1995).

Conductividad eléctrica (CE) se realizaron con un conductímetro OAKTON Con 700.

Fluorescencia de rayos X. El análisis se realizó con un equipo de Fluorescencia de Rayos X, NITTON FXL 950 de Thermo Scientific. La determinación fue realizada por triplicado con un tiempo de medición de 90s en el modo de suelo y 31 s en el modo de mina para Fe. Los elementos cuantificados en cada determinación se reportan en mg/kg (ppm) para el modo de suelo y en g/100g suelo (%) para el modo de mina.



Listado de recepción de muestras

Clave	coordenadas	
	x	y
MR-1	571703	3424488
MR-2	571703	3424488
MR-3	571703	3424488
MR-4	571538	3423717
MR-5	571538	3423717
MR-6	571845	3422955

Resultados de pH y CE:

ID muestra	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
MR-1	5.75	970
MR-2	9.13	1089
MR-3	6.85	2300
MR-4	4.76	881
MR-5	5.85	2210
MR-6	3.22	308

Resultados de FRX :

muestra	As		Ba		Cr		Cu	
	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV
LD	2		23		6		7	
MR-1	66.343	8.148	628.810	9.790	130.360	10.231	115.200	7.056
MR-2	69.153	0.890	207.013	4.106	101.663	0.939	484.147	1.374
MR-3	140.953	3.297	436.943	5.548	126.450	4.216	569.967	2.271
MR-4	62.623	2.664	595.843	1.653	130.950	3.935	164.760	2.022
MR-5	185.893	4.362	442.457	8.304	117.670	5.846	832.583	2.181
MR-6	297.163	0.806	539.400	2.730	91.843	3.291	338.047	1.409



muestra	Fe		Mn		Pb		Zn	
	%	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV
	0.003		30		3		5	
MR-1	4.342	0.260	462.860	0.474	56.460	7.204	79.470	5.185
MR-2	3.000	0.065	998.997	1.498	77.770	1.800	242.780	0.882
MR-3	5.487	0.332	664.053	2.161	71.927	0.544	200.840	0.469
MR-4	3.946	7.134	371.663	4.749	58.637	8.783	81.643	6.910
MR-5	6.483	2.707	544.910	4.526	80.493	3.066	245.857	0.690
MR-6	9.371	0.225	230.750	4.863	120.453	3.599	61.547	5.548

NA= No aplica

<LOD= Debajo del límite de detección.

CONTROL DE CALIDAD

Precisión

Para la precisión de los análisis de FRX las mediciones se determinaron por triplicado, el valor reportado es el promedio de las tres determinaciones reportando también el % del coeficiente de variación (CV) de las mediciones (menor al 10%).

Exactitud

Para determinar la exactitud en FRX se utilizaron estándares certificados (TILL-4 y NIST-2710a) como control analítico los cuales fueron analizados como muestra para determinar su concentración las concentraciones se encontraron entre el 87 y el 104% lo cual indica un buen desempeño del método de análisis.

TILL 4	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
%Exactitud	95.32	104.20	96.79	92.39	80.27	87.55	93.01

MONTANA 2710a	As	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
%Exactitud	102.86	93.86	93.62	88.48	95.98	97.58



**Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental**



Sin mas por al momento quedo a sus ordenes.

Analizó:

QFB. Fabiola Vega García



**INFORME DE RESULTADOS ICP
MATERIAL DE REMEDIACION (MR) CANANEA, SONORA**

Información de las muestras

Se analizaron 6 muestras de zonas denominadas material de remediación en Cananea, Sonora. Las muestras se recibieron en bolsas de plástico de 25X10 cm, etiquetadas como MR-1 a la MR-6 y un listado de coordenadas y observaciones adjunto.

Información de los análisis

En las 6 muestras se determinaron elementos traza por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en un equipo Pekin Elmer serie 8300

Las muestras fueron digeridas por el método EPA 3051, los resultados se reportan en mg/kg.

modo de inyección : Cámara ciclónica.

Limites de detección :

Los limites considerados son para modo de inyección cámara ciclónica y están reportados en mg/l.

LD mg/L	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
	0.08	0.07	0.01	0.02	0.003	0.122	0.01	0.007	0.01	0.03	0.1	0.007

<LOD= Bajo el limite de detección

Listado de recepción de muestras

Clave	coordenadas	
	x	y
MR-1	571703	3424488
MR-2	571703	3424488
MR-3	571703	3424488
MR-4	571538	3423717
MR-5	571538	3423717
MR-6	571845	3422955



Resultados de ICP :

Muestra	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu
	mg/Kg					
MR-1	15681.517	45.272	171.770	5.843	41.796	94.109
MR-2	24373.415	59.305	105.482	6.200	13.024	401.256
MR-3	57399.642	146.702	ND	10.055	26.294	755.049
MR-4	20012.967	59.697	209.253	5.814	32.592	141.720
MR-5	57770.095	179.456	ND	11.081	26.243	972.530
MR-6	18941.113	345.242	366.863	12.812	19.072	363.125

Muestra	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
	mg/Kg					
MR-1	40013.141	386.626	17.465	54.511	<LOD	105.272
MR-2	33521.251	1292.178	12.973	83.170	<LOD	214.241
MR-3	61761.191	639.133	27.111	69.765	<LOD	267.962
MR-4	39941.815	376.105	18.530	56.525	<LOD	110.521
MR-5	65276.408	571.509	28.957	78.771	<LOD	307.668
MR-6	91267.593	131.787	11.607	155.918	<LOD	113.693

ND= No determinado

NA= No aplica

<LOD= Debajo del límite de detección.

CONTROL DE CALIDAD

En el caso de los análisis determinados por ICP-OES la concentración de cada elemento fue determinada por triplicado, el valor reportado es el promedio de las tres determinaciones la desviación estándar relativa (RSD) de las mediciones fue menor al 10%.

Para determinar la exactitud se utilizaron estándares de control analítico de concentraciones conocidas (5 y 50 ppm) los cuales fueron analizados como muestra para determinar su concentración por medio de curvas de calibración preparadas, indicando un buen desempeño del método de análisis.



Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental



% exactitud	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
50 ppm	103.92	100.18	104.66	97.99	100.09	103.57	101.56	100.29	98.71	101.64	101.04	98.08
5 ppm	105.72	109.72	109.11	111.79	105.09	103.23	105.52	107.18	104.28	106.00	109.03	108.36

Sin mas por al momento quedo a sus ordenes.

Analizó:

QFB. Fabiola Vega García

Revisó:

M en C Luis Gerardo Martínez Jardines

M en C Alicia Santana Silva

Anexo II.2 Informe de valores de pH, conductividad eléctrica y concentraciones totales de elementos traza del muestreo de abril de 2015. Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.



INFORME DE RESULTADOS

MATERIAL REMOVIDO RIO SONORA (EN CAMINOS DE ACCESO DE PRESA DE JALES)

29 abril 2015

Información de las muestras

Se analizaron 30 muestras de zonas de montones de sedimentos del río Sonora, en presa de Jales, en Cananea, Sonora.

Las muestras se recibieron en bolsas de plástico de 25X10 cm, etiquetadas como zona 1, 2 y 3 y cada una de estas con 10 muestras (m1 a m10) así como un listado de coordenadas y observaciones adjunto.

Información de los análisis

En el laboratorio de Geoquímica Ambiental las muestras fueron homogeneizadas y tamizadas por malla N° 10 para su análisis de pH, Conductividad eléctrica y FRX.

En las 30 muestras se determinaron los siguientes análisis:

pH se realizaron con un potenciómetro Hanna Instruments, HI-98185 y se siguió el método estandarizado 9045 de la US-EPA (1995).

Conductividad eléctrica (CE) se realizaron con un conductímetro OAKTON Con 700.

Fluorescencia de rayos X. El análisis se realizó con un equipo de Fluorescencia de Rayos X, NITTON FXL 950 de Thermo Scientific. La determinación fue realizada por triplicado con un tiempo de medición de 90s en el modo de suelo y 31 s en el modo de mina para Fe. Los elementos cuantificados en cada determinación se reportan en mg/kg (ppm) para el modo de suelo y en g/100g suelo (%) para el modo de mina.



Listado de recepción de muestras

TOMA DE MUESTRAS- 10 ABR 2015

	ESTE	NORTE
ZONA 1 (10 muestras)	571,406	3,424,498
ZONA 2 (10muestras)	571,436	3,424,557
ZONA 3 (10 muestras)	571,557	3,423,720

Resultados de pH y CE

muestra	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	muestra	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)
Zona 1-m1	4.87	620	Zona 2 m6	5.88	486
Zona 1-m2	5.47	587	Zona 2 m7	4.79	199.9
Zona 1-m3	5.95	1617	Zona 2 m8	6.45	483
Zona 1-m4	6.06	737	Zona 2 m9	6.27	927
Zona 1-m5	6.22	253	Zona 2 m10	6.29	952
Zona 1-m6	6.37	149	Zona 3 m1	6.39	1197
Zona 1-m7	6.19	800	Zona 3 m2	6.45	883
Zona 1-m8	6.18	975	Zona 3 m3	6.58	916
Zona 1-m9	6.25	939	Zona 3 m4	6.57	1593
Zona 1-m10	6.45	624	Zona 3 m5	6.66	696
Zona 2-m1	6.45	1070	Zona 3 m6	6.69	644
Zona 2-m2	6.84	293	Zona 3 m7	6.62	696
Zona 2-m3	6.8	379	Zona 3 m8	6.64	412
Zona 2 m4	6.73	653	Zona 3 m9	6.44	320
Zona 2 m5	6.43	460	Zona 3 m10	6.5	451



Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental



Resultados de FRX :

muestra	As		Ba		Cr		Cu	
	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV
LD	2		23		6		7	
zona1-m1	38.383	3.110	740.813	1.298	110.653	2.274	245.723	1.011
zona1-m2	31.207	1.176	728.003	4.052	108.903	4.684	165.313	1.844
zona1-m3	86.757	2.816	441.990	6.162	120.763	2.617	759.840	0.528
zona1-m4	41.937	5.759	599.467	2.767	129.260	2.437	314.743	1.854
zona1-m5	43.360	3.617	495.820	1.792	125.213	2.444	570.067	2.483
zona1-m6	31.157	6.451	718.537	1.930	124.967	3.018	157.163	1.485
zona1-m7	36.093	3.228	692.620	3.753	103.047	2.857	323.993	1.266
zona1-m8	37.947	5.463	601.740	1.408	118.667	1.687	198.163	1.592
zona1-m9	30.233	8.101	693.567	0.584	113.857	2.074	629.057	1.215
zona1-m10	43.190	2.222	620.503	1.475	135.287	1.770	283.660	1.867
zona 2-m1	79.753	2.619	405.503	3.454	108.993	7.983	360.767	0.668
zona 2-m2	64.260	0.724	425.490	5.548	100.997	2.084	275.130	1.365
zona 2-m3	93.920	2.494	330.700	3.972	142.293	1.318	435.183	1.013
zona2 m4	28.550	4.204	495.523	2.280	146.873	1.420	165.007	5.126
zona2 m5	89.980	1.450	438.333	3.081	117.950	4.179	406.167	1.746
zona2 m6	17.567	10.866	545.800	0.155	167.980	2.755	213.103	2.043
zona2 m7	24.960	2.396	576.473	1.494	150.557	2.230	145.503	0.703
zona2 m8	40.627	5.242	564.397	2.525	154.493	1.670	208.020	1.794
zona2 m9	32.463	4.787	552.997	2.108	116.240	2.505	209.057	2.079
zona2 m10	91.200	5.411	428.577	3.471	119.473	2.601	462.280	1.847
zona 3 m1	108.667	1.031	344.377	1.824	136.780	2.749	517.733	1.888
zona 3 m2	78.100	1.573	454.087	2.290	110.050	3.572	359.897	0.955
zona 3 m3	81.177	1.424	495.840	2.359	117.840	6.651	369.733	1.419
zona 3 m4	70.750	4.071	463.610	2.014	115.973	2.770	364.407	0.630
zona 3 m5	89.547	1.496	502.767	2.306	111.497	3.628	462.927	1.683
zona 3 m6	69.937	3.506	430.517	1.777	118.533	3.070	348.267	0.357
zona 3 m7	53.833	2.649	696.867	1.246	120.940	2.683	261.650	3.660
zona 3 m8	45.643	5.116	495.527	2.347	120.487	3.365	282.777	1.498
zona 3 m9	34.487	7.540	695.347	1.980	127.673	2.820	166.713	2.112
zona 3 m10	50.987	3.297	672.987	3.631	109.903	0.344	282.857	0.948

NA= No aplica

<LOD= Debajo del límite de detección.



Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Universidad Nacional Autónoma de México
Geoquímica Ambiental



muestra	Fe		Mn		Pb		Zn	
	%	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV	mg/kg	%CV
	0.003		30		3		5	
zona1-m1	4.381	0.323	806.293	1.401	54.350	3.598	149.847	1.239
zona1-m2	3.655	0.321	584.120	2.859	48.257	5.177	112.487	4.332
zona1-m3	5.825	0.174	1382.167	2.639	66.337	3.172	476.267	1.734
zona1-m4	4.363	0.390	599.010	0.843	46.247	4.262	139.017	1.514
zona1-m5	3.898	0.311	2027.030	0.804	84.990	1.682	450.833	1.800
zona1-m6	4.177	0.325	818.490	1.396	51.793	3.056	118.840	1.328
zona1-m7	4.349	7.092	540.293	0.552	33.483	4.363	114.517	0.787
zona1-m8	4.621	3.049	463.387	3.171	37.517	3.160	98.120	4.668
zona1-m9	4.329	0.027	601.793	3.592	33.230	7.733	193.353	0.882
zona1-m10	4.027	0.221	549.467	3.251	41.903	4.632	120.050	2.699
zona 2-m1	4.114	0.269	740.640	3.372	61.207	2.235	193.310	3.139
zona 2-m2	5.358	0.049	749.017	1.614	59.473	2.203	182.390	1.052
zona 2-m3	4.422	0.239	554.167	1.890	62.170	1.700	195.737	1.768
zona 2-m4	4.516	0.268	533.780	4.660	37.203	0.822	98.463	3.149
zona 2-m5	5.449	0.334	808.623	2.056	60.017	5.176	216.210	0.559
zona 2-m6	4.545	0.333	1750.693	2.324	59.937	3.101	99.270	1.024
zona 2-m7	3.253	0.139	453.303	1.443	27.913	4.385	73.857	2.558
zona 2-m8	4.612	0.177	912.397	0.979	72.733	2.018	118.417	4.686
zona 2-m9	6.033	0.377	616.583	3.820	38.297	2.369	118.983	3.080
zona 2-m10	5.789	0.536	890.233	0.612	58.067	5.573	189.630	1.193
zona 3 m1	5.886	0.470	587.913	5.506	66.897	2.283	232.780	1.523
zona 3 m2	5.556	0.058	675.693	1.256	52.913	3.527	164.903	4.520
zona 3 m3	5.223	0.260	709.817	2.069	53.827	3.394	178.240	1.961
zona 3 m4	5.162	0.252	669.990	3.377	52.793	4.871	164.577	0.834
zona 3 m5	4.663	0.086	632.867	5.083	52.230	3.198	163.580	2.442
zona 3 m6	4.832	0.290	692.247	0.440	52.940	1.417	182.053	0.840
zona 3 m7	4.037	0.571	426.960	3.327	44.807	3.400	107.220	1.042
zona 3 m8	4.150	0.327	637.273	1.417	51.120	6.806	137.323	3.115
zona 3 m9	4.350	0.296	1386.323	2.133	89.853	2.099	118.457	2.966
zona 3 m10	4.364	0.310	581.277	3.355	31.353	4.664	116.260	0.626

NA= No aplica

<LOD= Debajo del límite de detección.



CONTROL DE CALIDAD

Precisión

Para la precisión de los análisis de FRX las mediciones se determinaron por triplicado, el valor reportado es el promedio de las tres determinaciones reportando también el % del coeficiente de variación (CV) de las mediciones (menor al 10%).

Exactitud

Para determinar la exactitud en FRX se utilizaron estándares certificados (TILL-4 y NIST-2710^a) como control analítico los cuales fueron analizados como muestra para determinar su concentración las concentraciones se encontraron entre el 80 y el 105% lo cual indica un buen desempeño del método de análisis.

TILL 4	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
%Exactitud	96.40	105.00	103.26	95.90	81.46	86.44	94.30

MONTANA 2710a	As	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
%Exactitud	100.43	99.47	99.68	91.28	96.38	102.03

Sin mas por al momento quedo a sus ordenes.

Analizó:

QFB. Fabiola Vega García



CONTROL DE CALIDAD

Precisión

Para la precisión de los análisis de FRX las mediciones se determinaron por triplicado, el valor reportado es el promedio de las tres determinaciones reportando también el % del coeficiente de variación (CV) de las mediciones (menor al 10%).

Exactitud

Para determinar la exactitud en FRX se utilizaron estándares certificados (TILL-4 y NIST-2710^a) como control analítico los cuales fueron analizados como muestra para determinar su concentración las concentraciones se encontraron entre el 80 y el 105% lo cual indica un buen desempeño del método de análisis.

TILL 4	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
%Exactitud	96.40	105.00	103.26	95.90	81.46	86.44	94.30

MONTANA 2710a	As	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
%Exactitud	100.43	99.47	99.68	91.28	96.38	102.03

Sin mas por al momento quedo a sus ordenes.

Analizó:

QFB. Fabiola Vega García

Anexo II.3 Informe de las concentraciones totales de los Elementos Mayores del muestreo de abril de 2015. Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Dr. Francisco Romero/Quím. Fabiola Vega
 Departamento de Geoquímica,
 Instituto de Geología, UNAM
 Presente.

A continuación me permito detallar el análisis de las 10 muestras que recientemente nos envió para su análisis por fluorescencia de rayos X.

EZSCAN	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Suma		SO ₃
	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %		masa %
Zona 1 malla 10 M-1	64.636	0.821	13.806	6.382	0.135	1.94	2.078	1.717	3.553	0.188	4.49	99.746		0.8264
Zona 1 malla 10 M-2	66.043	0.79	13.286	6.055	0.119	1.798	2.364	1.78	3.504	0.183	3.84	99.762		0.7751
Zona 1 malla 10 M-3	52.36	0.609	15.18	7.593	0.254	2.759	6.235	0.865	3.573	0.192	10.04	99.66		3.745
Zona 1 malla 10 M-4	60.476	0.89	14.733	7.244	0.115	2.116	4.143	1.718	3.377	0.227	4.67	99.709		1.7429
Zona 1 malla 10 M-5	54.885	0.666	15.478	6.779	0.279	4.009	5.432	0.999	3.616	0.185	7.33	99.658		4.366
Zona 1 malla 10 M-6	63.961	0.901	14.673	6.617	0.148	2.212	2.103	1.816	3.61	0.207	3.49	99.738		0.2911
Zona 1 malla 10 M-7	63.047	0.807	14.32	6.521	0.088	1.97	3.403	1.891	3.365	0.214	4.12	99.746		1.1304
Zona 1 malla 10 M-8	61.959	0.807	14.457	6.565	0.097	2.145	3.542	1.934	3.385	0.221	4.64	99.752		1.4709
Zona 1 malla 10 M-9	60.9	0.765	14.778	6.032	0.098	2.036	4.638	1.743	3.197	0.199	5.29	99.676		2.014
Zona 1 malla 10 M-10	59.972	0.798	15.88	6.918	0.108	2.341	3.27	1.606	3.352	0.238	5.25	99.733		0.767

Los elementos mayoritarios se midieron en perla usando 10% de muestra y 90% de Li₂B₄O₇:LiBO₂, como fundente. El agente liberante utilizado fue LiI, del cual se adicionaron 50 microlitros de una solución con 250g/L.

La pérdida por calcinación (PXC), se determinó calentando 1g de muestra a 950°C durante 2 horas, y midiendo la diferencia de masa.

El azufre se midió en tableta usando el programa semicuantitativo EZSCAN.

Sin más por el momento, quedo de usted,

Atentamente,



Quím. Rufino Lozano Santa Cruz
Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X-LUGIs

Ccp. Dr. José Luis Arce Saldaña. Jefe del Departamento de Geoquímica. IGLUNAM



INSTITUTO DE GEOLOGIA
APARTADO POSTAL 70-296 CIUDAD UNIVERSITARIA
04510 MÉXICO, D.F.

Departamento de Geoquímica
Abril 29, 2015
LFRX6615a

Dr. Francisco Romero/Quim. Fabiola Vega
Departamento de Geoquímica,
Instituto de Geología, UNAM
Presente.

A continuación me permito detallar el análisis de las 6 muestras que recientemente nos envió para su análisis por fluorescencia de rayos X.

EZSCAN	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Suma		SO ₃
	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %		masa %
Zona 2 malla 10 M-1	54.334	0.713	17.107	8.164	0.127	2.701	3.868	1.034	3.181	0.255	8.24	99.724		1.52
Zona 2 malla 10 M-5	55.533	0.766	16.852	7.496	0.142	2.767	3.861	1.157	3.299	0.245	7.61	99.728		0.96
Zona 2 malla 10 M-10	51.478	0.655	17.539	9.438	0.137	2.83	3.566	0.858	3.031	0.265	9.89	99.687		2.49
Zona 3 malla 10 M-1	51.464	0.657	17.748	9.371	0.135	2.921	3.44	0.825	3.019	0.258	9.85	99.688		2.32
Zona 3 malla 10 M-5	55.194	0.699	17.203	8.288	0.129	2.726	3.287	1.039	3.195	0.255	7.69	99.705		1.93
Zona 1 malla 10 M-10	63.413	0.732	14.376	6.317	0.09	2.194	3.284	1.753	3.704	0.232	3.65	99.745		0.73

Los elementos mayoritarios se midieron en perla usando 10% de muestra y 90% de Li₂B₄O₇:LiBO₂, como fundente. El agente liberante utilizado fue LiI, del cual se adicionaron 50 microlitros de una solución con 250g/L.

La pérdida por calcinación (PXC), se determinó calentando 1g de muestra a 950°C durante 2 horas, y midiendo la diferencia de masa. El azufre y el arsénico se midieron en tableta usando el programa semicuantitativo EZSCAN.

Sin más por el momento, quedo de usted,

Atentamente,

Quím. Rufino Lozano Santa Cruz
Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X-LUGIs

Ccp. Dr. José Luis Arce Saldaña. Jefe del Departamento de Geoquímica. IGLUNAM