

## **Estudio de la problemática de mineral fino en terreros de lixiviación de cobre en Buena Vista del Cobre**

C. Rodríguez Coronado<sup>1\*</sup>, G. Soto Gámez<sup>1</sup>, A. Parada López<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección Técnica, Gerencia de Proyectos Técnicos e Investigaciones Metalúrgicas, Grupo México  
Calle Arsénico 700, Fracc. Morales, 78180 San Luis Potosí, S.L.P., México.

\* [carolina.rodriguez@mm.gmexico.com](mailto:carolina.rodriguez@mm.gmexico.com)

<sup>2</sup>Operadora de Minas e Instalaciones Mineras, Gerencia de Lixiviación y Plantas ESDE  
Cananea Sonora, México.

### **RESUMEN**

Durante la operación de lixiviación en el terrero Quebalix IV, se observaron superficies de ciertas áreas secas, además de tener una baja extracción de cobre, por lo que se realizó un corte transversal con el objetivo de conocer el comportamiento al interior de terrero. Se detectaron puntos con alta retención de solución generados por alto contenido de material fino, presencia de jarositas y alúminas.

La información que se generó derivado del corte, obligo a realizar cortes de un metro de banda en las Plantas Quebalix con el objetivo de conocer el porcentaje de finos que se deposita en los terreros y los impactos que representa para la extracción de cobre por lixiviación. Al contar con la distribución de fracciones se realizaron trabajos de investigación aplicables en el proceso de Buena Vista del Cobre, que permitirán mejorar las técnicas operativas, evitar la pérdida de solución y mejorar la extracción de cobre.

**PALABRAS CLAVE:** *Lixiviación; Resistividad; Extracción de Cobre.*

## INTRODUCCIÓN

Grupo México es una empresa cuyas principales actividades son la minería, siendo uno de los más grandes productores integrados de cobre a nivel mundial.

La tercera compañía más grande de México en términos de capitalización de mercado y bursatilidad, que emplea a 29,900 colaboradores directos y a más de 110 mil indirectos de alta capacitación, la quinta empresa productora de cobre a nivel mundial y con el menor cash-cost de la industria a nivel mundial.

La compañía en México cuenta con operaciones ubicadas en Sonora, San Luis Potosí, Chihuahua, Guerrero y Zacatecas (Figura 1).



Figura 1. Mapa de Ubicaciones Grupo México.

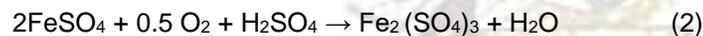
Una de sus minas es Buenavista del Cobre se encuentra ubicada al noroeste de Sonora, considerada la mina más grande de todo México y con las mayores reservas de cobre probadas. Actualmente, el minado de Buenavista del Cobre es mayor a 800 000 toneladas por día, la producción se clasifica en tres:

1. Tepetate con una ley de corte 0 - 0.075 % de cobre por tonelada y una capacidad de movimiento que ronda las 130,000 ton/día,
2. Mineral lixiviable o de baja ley 0.075 - 0.29% de cobre por tonelada con una capacidad de minado alrededor de 490,000 ton/día
3. Mineral de alta ley es aquel que posee contenidos mayores a 0.35% de cobre por tonelada, el cual se envía a las concentradoras, con un volumen alrededor de 200 000 ton/día.

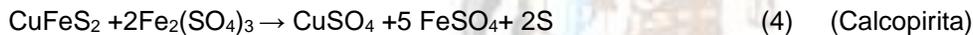
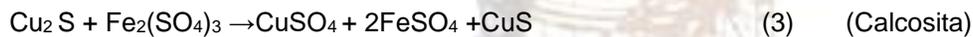
El mineral considerado lixiviable se caracteriza por alto contenido de sulfuros secundarios y minerales óxidos que, después del proceso de lixiviación continua al proceso ESDE para producir cátodos de cobre de alta pureza, la producción anual es de aproximadamente 92 000 toneladas de cobre catódico.

### **Operación Lixiviación- E.S.D. E's.**

En el yacimiento de Buenavista del Cobre se tiene la presencia de una mezcla de sulfuros, estando en mayor proporción los sulfuros primarios, secundarios y por último los óxidos. En general, la lixiviación de sulfuros de cobre es un proceso lento, principalmente cuando se habla de sulfuros primarios, por lo que requieren la presencia de una oxidante que promueva su disolución. El ion férrico resulta ser clave para el proceso de lixiviación, ya que actúa como un oxidante eficaz para la disolución de minerales de sulfuros de cobre. En el sistema se encuentra presente como sulfato férrico y resulta de la oxidación de la pirita, siguiendo las reacciones 1 y 2.



Las reacciones anteriores en las que se produce  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$  permiten la disolución de minerales de sulfuro de cobre, produciéndose una lixiviación férrica en medio ácido. Lo anterior ocurre según las reacciones 3 a 5.



Para llevar a cabo el proceso de lixiviación es necesaria la construcción de terreros a partir del apilamiento del mineral lixiviable. En la mina de Buenavista del Cobre, la formación de los terreros puede realizarse de

dos maneras: utilizando camiones mineros o bandas transportadoras (Figura 2 y 3). Cuando se utilizan camiones de acarreo para formar los terreros, éstos reciben el nombre de ROM (run of mine) debido a que están formados por mineral proveniente de mina. Los terreros formados por bandas transportadoras, corresponden a terreros contruidos a partir de mineral triturado a un tamaño menor de 8" y reciben los nombres de Quebalix, debido a que son el resultado de las plantas del mismo nombre (Quebradoras, bandas transportadoras, lixiviación).



**Figura 2.** Terrero ROM



**Figura 3.** Terrero Quebalix

## PROBLEMÁTICA

El viernes 12 de febrero 2021 en el terrero Quebalix IV, Etapa 17, se realizó un corte transversal a una profundidad de 15 metros, con el objetivo de conocer el comportamiento al interior de terrero, ya que este supera los 100 metros de altura. Al realizar el corte se observó que la humectación al interior del terrero no es uniforme y se encontraron puntos prácticamente secos y otros con alta retención de solución, generadas por alto contenido de material fino, así como la presencia de jarositas y alúminas. La Figura 4, muestra una ilustración del corte transversal en Etapa 17.

Los horizontes formados con cierta inclinación nos indican, las zonas que están siendo atacadas por la solución lixivante, así también en la ilustración podemos definir las zonas que no han sido lixiviadas; estas se muestrearon para determinar el porcentaje de humedad presente. (Tabla 1)



Figura 4.- Corte Quebalix IV, etapa 17.

Tabla 1. Perfil de Humedad.

DIRECCIÓN TÉCNICA Y DE CONTROL METALURGICO				
Friday, February 12, 2021				
N°	IDENTIFICACIÓN	W Hum.	W Seco	% Hum.
1	QX4-Punto #1	500.10	485.50	2.919
2	QX4-Punto #2	500.00	482.60	3.480
3	QX4-Punto #3	500.10	473.40	5.339
4	QX4-Punto #4	500.00	471.20	5.760
5	QX4-Punto #5	500.00	472.50	5.500
6	QX4-Punto #6	500.00	441.30	11.740
7	QX4-Punto #7	500.30	436.70	12.712
8	QX4-Punto #8	500.00	467.00	6.600
9	QX4-Punto #9	500.10	480.90	3.839
10	QX4-Punto #10	500.30	463.30	7.396
11	QX4-Punto #11	500.30	459.90	8.075
12	QX4-Punto #12	500.30	463.30	7.396
13	QX4-Punto #13	500.00	475.40	4.920
14	QX4-Punto #16	500.00	493.60	1.280
15	QX4-Punto #17	500.30	457.20	8.615

Las muestras se secaron, quebraron, homogenizaron y pulverizaron en las instalaciones de Laboratorio de Concentradora I. La siguiente tabla, presenta los resultados de los puntos muestreados, así mismo se puede observar que la ley de cobre varía en el corte horizontal.

Tabla 1 .Análisis de muestras Etapa 17.

REFERENCIA	Cu %	CuO %	CuCN- %	Fe %	FeO %	I. Sol %
QUEBALIX IV PUNTO #1	0.122	0.013	0.010	5.490	0.701	18.852
QUEBALIX IV PUNTO #2	0.087	0.021	0.012	3.670	0.685	37.931
QUEBALIX IV PUNTO #3	0.103	0.037	0.013	4.100	2.270	48.544
QUEBALIX IV PUNTO #4	0.113	0.018	0.030	3.970	2.680	42.478
QUEBALIX IV PUNTO #5	0.100	0.022	0.016	4.840	1.660	38.000
QUEBALIX IV PUNTO #6	0.240	0.072	0.033	8.480	2.000	43.750
QUEBALIX IV PUNTO #7	0.151	0.023	0.014	4.470	0.628	24.503
QUEBALIX IV PUNTO #8	0.194	0.038	0.053	7.200	0.818	46.907
QUEBALIX IV PUNTO #9	0.225	0.054	0.059	2.390	0.740	50.222
QUEBALIX IV PUNTO #10	0.176	0.034	0.023	4.680	0.765	32.386
QUEBALIX IV PUNTO #11	0.183	0.019	0.023	4.870	0.861	22.951
QUEBALIX IV PUNTO #12	0.198	0.019	0.006	2.830	0.641	12.626
QUEBALIX IV PUNTO #13	0.110	0.010	0.008	3.780	0.481	16.364
QUEBALIX IV PUNTO #15	0.067	0.018	0.015	2.890	1.120	49.254
QUEBALIX IV PUNTO #16	0.314	0.085	0.048	3.150	1.550	42.357
QUEBALIX IV PUNTO #17	0.106	0.027	0.050	3.710	1.990	72.642
<b>Promedios</b>	<b>0.156</b>	<b>0.032</b>	<b>0.026</b>	<b>4.408</b>	<b>1.224</b>	<b>37.485</b>

El mineral proveniente de la mina posee humedad promedio de 3.2% (febrero del 2021), en el caso de lixiviación el mineral ya humectado con solución lixiviante debe oscilar entre 7 y 8%, por lo que en el perfil generado encontramos que el 53 % son muestras secas, 27% muestras humectadas dentro de rango y 20% con retención de solución.

La Figura 5 muestra un análisis visual del corte del terrero: la flecha roja indica el recorrido de la solución con un ángulo de inclinación de aproximadamente 25%, el ovalo verde nos muestran las capas de jarosita que se forman e impiden que la solución fluya de manera vertical y el cuadro azul muestra las zonas que están secas sin rastro de contacto de la solución y el mineral, en el depósito.

El objetivo del presente estudio es conocer el comportamiento al interior de terrero, el porcentaje de finos que deposita Planta Quebalix, identificar los impactos que representa para la extracción de cobre por lixiviación e investigar operaciones aplicables al proceso de Buena Vista del Cobre, que permitan mejorar las técnicas operativas, evitar la pérdida de solución y favorecer la extracción de cobre.

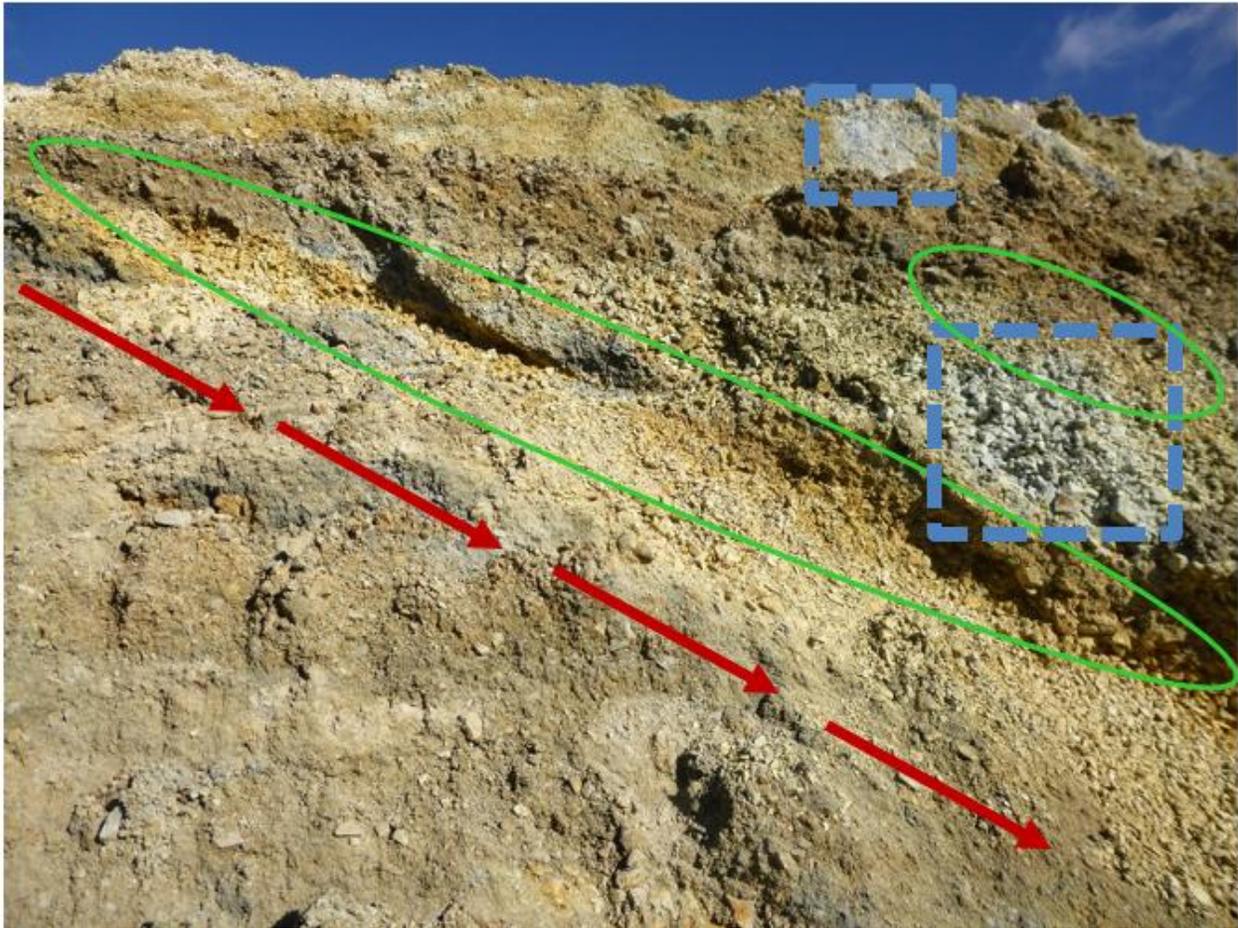


Figura 5. Corte de Terrero identificado.

## METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo planteado se inició con la identificación del porcentaje promedio de finos que se depositan en el terrero Quebalix IV, con el fin de identificar los impactos que el fino genera, para ello se realizaron cortes de banda de 1 metro, en la banda 403 de Quebalix IV que se encuentra a la salida del túnel de la quebradora.

Los resultados del análisis químico-mineralógico nos permitieron conocer la distribución de minerales óxidos, sulfuros secundarios y sulfuros primarios, confirmando así la alta presencia de cobre residual, así como el contenido de especies consumidoras de ácido, estas requieren una mayor cantidad de ácido sulfúrico para neutralizar la ganga.

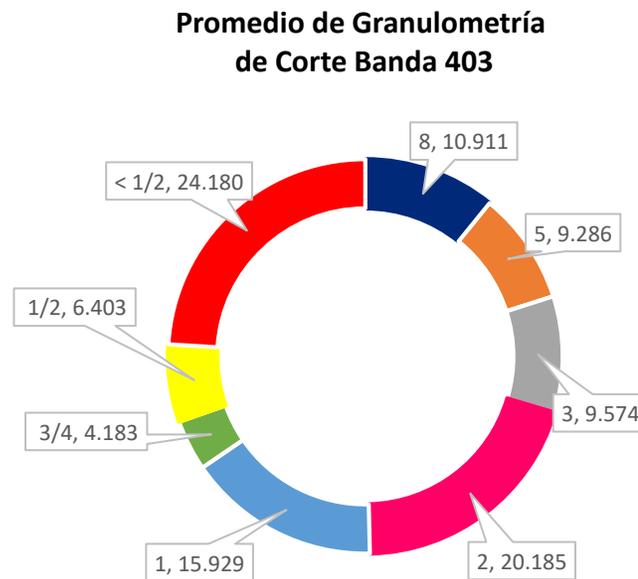
Por otra parte, los diez cortes realizados nos indicaron que contamos con 24.180% de material menor a  $\frac{1}{2}$ ”, este reduce la percolación en los terreros, promoviendo la retención de solución en la superficie (Encharcamientos).

Tomando como referencia los resultados obtenidos se estimó la altura de material fino en 16.776 metros de una altura total promedio de 80 metros, estas estimaciones representarían el ultimo depósito del pastel formado en la Etapa 17 del Quebalix IV.

El material separado fue homogenizado y preparado siguiendo las técnicas de laboratorio de Concertadora I en BVC con el fin de realizar granulometrías valoradas que nos permitan conocer el contenido de cobre por fracción.

## RESULTADOS

Los diez cortes de banda fueron ensayados por análisis químico con el objetivo de obtener leyes del mineral, distribución de especies y granulometría valorada. Esto permitió observar la distribución promedio por mallas del mineral que se transporta a Quebalix IV. La Figura 6, representa la distribución promedio del corte de banda.

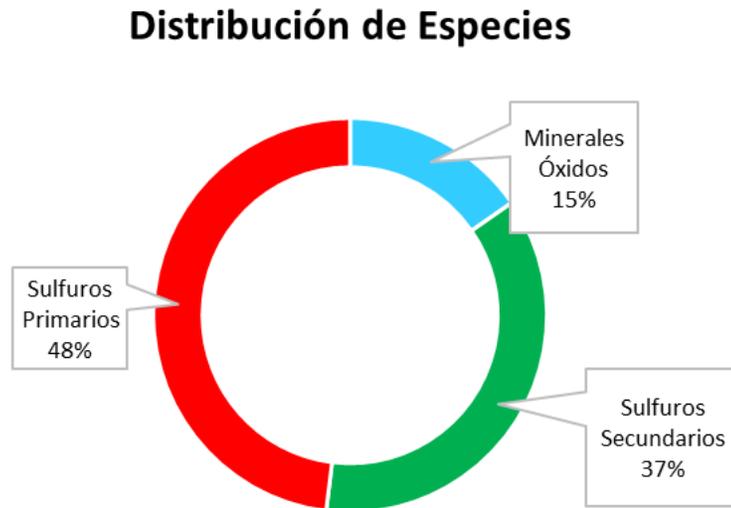


**Figura 6.-** Granulometría Promedio.

La grafica muestra que el 24.180% corresponde a mineral fino menor a 1/2". El material considerado como ideal para un proceso de lixiviación en terreros debe ser mayor a 1" y contamos con el 66%, pero es importante mencionar que el 34 % que queda fuera de la clasificación, es depositado en los terreros de lixiviación por los valores de cobre contenidos. Este trabajo permitió definir como parámetro operacional que se recibirá como máximo 15% de material fino, además de que se implementaron cortes de banda

semanales de las cuatro Plantas Quebalixes, con el fin de monitorear y limitar el depósito de material menor a 1/2".

En la Figura 7 2, se muestra la distribución de minerales óxidos, sulfuros secundarios y sulfuros primarios promedio del corte.



**Figura 7.-** Distribución de Especies.

La siguiente grafica nos muestra la distribución de especies, en el promedio de los 10 primeros cortes, se tiene mayor cantidad de Sulfuros Primarios con un 48%, Sulfuros Secundarios con 37% y por debajo del 15 % minerales óxidos.

El P80 nos indica el tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado. En la Figura 8, se presentan los resultados al graficar el tamaño de tamiz y el pasante.

En la Tabla 3, se observan los resultados de cobre obtenidos de la granulometría valorada, el mayor contenido de cobre se encuentra en la fracción fina, también presenta los resultados del análisis de cobre promedio, así como la distribución de especies.

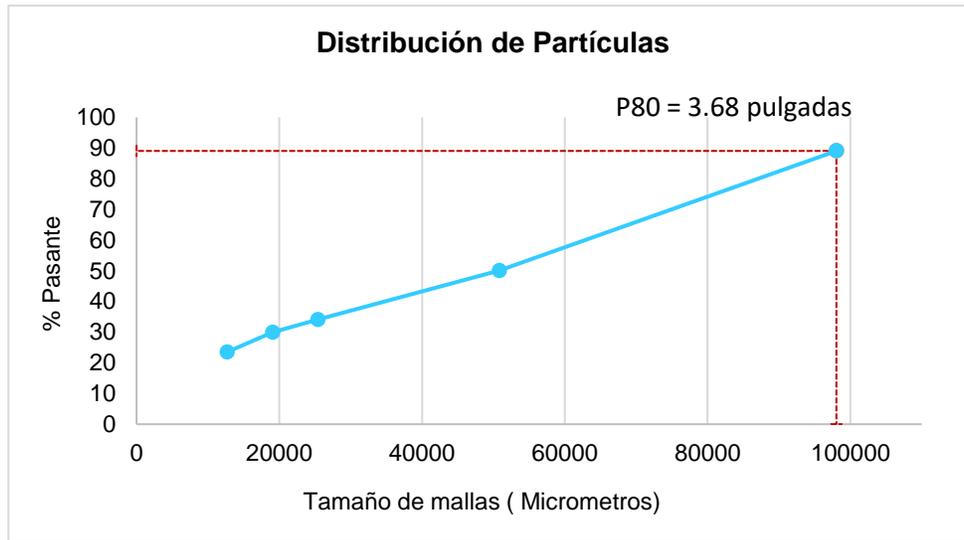


Figura 8.- Gráfica del promedio de P80.

Tabla 2.- Análisis Promedio de Cortes.

Análisis Promedio de Cobre en cortes de Quebalix IV						
MALLA (in)	%Cu	% PESO	Ind. Solubilid.	Min. Óxidos	Sul.Sec	Sul.Prim
				%	%	%
8	0.095	10.911	42.357	14.815%	35.384%	49.802%
5	0.088	9.286	40.399	19.739%	32.953%	47.308%
3	0.112	9.574	42.638	12.310%	29.795%	57.895%
2	0.088	20.185	44.688	15.271%	42.138%	42.590%
1	0.080	15.929	41.223	13.425%	31.430%	55.144%
3/4	0.075	4.183	46.079	11.749%	41.856%	46.395%
1/2	0.097	6.403	54.074	19.505%	43.240%	37.255%
< 1/2	0.166	24.180	48.595	15.865%	36.149%	47.987%
	0.100	12.581	45.007	15.335%	36.618%	48.047%

El análisis nos permitió identificar que tenemos un 15.335% de cobre es soluble en ácido, un 36.618% es soluble posterior a la disolución ácida, y el 48.047% corresponde a cobre residual, este se atribuye a la presencia de minerales refractarios.

Con el objetivo de extraer el cobre contenido en la fracción fina se están realizando pruebas de lixiviación en columna y pruebas de recuperación de cobre por concentración de minerales.

Las pruebas de lixiviación en Columna, se propusieron con el objetivo de comparar la extracción de cobre utilizando columnas con 24.180% y 15.000% de material fino. El primer valor corresponde al porcentaje promedio de material fino obtenido en el estudio de granulometrías, y el segundo al porcentaje de mineral menor a 1/2" establecido como límite para el envío de Plantas Quebalix, derivado de este trabajo. Se

encuentra en desarrollo el equipo necesario para realizar pruebas de aglomeración y su posterior lixiviación, con el material clasificado como fino.

Dando seguimiento a las pruebas de investigación con el material fino proveniente de las bandas de Quebalix, se realizaron pruebas de recuperación de cobre por concentración de minerales utilizando material menor a ½ pulgada, este se mezcló con el mineral clasificado de alta ley, con el fin de conocer la relación que aumente la recuperación de cobre. Esta etapa se encuentra en desarrollo, hasta el momento se han obtenido recuperaciones mayores al 80% en la primera limpia.

Las pruebas de lixiviación y concentración de minerales se están llevando a cabo, los resultados nos permitirán tener opciones para recuperar el cobre contenido en la fracción fina.

Paralelo a las pruebas metalúrgicas, se solicitó un estudio de resistividad en el Quebalix IV, con el objetivo de conocer las zonas conductoras asociadas al grado de humedad. Este estudio nos permitió conocer a distintas profundidades por medio de tomografías eléctricas “polo-dipolo” para medir la resistividad del subsuelo en el terrero.

La Figura 9, representa la escala expresada en Ohm por metro, que se utilizó para el estudio.



**Figura 9.-** Escala de resistividad [Ohm-m]

Los mapas de resistividades se realizaron a profundidades de 20,25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 metros. La Figura 10, muestra una toma superior del terrero Quebalix IV, las líneas verticales indican las zonas estudiadas.

En la imágenes de la Figuras de la 11 podemos observar que las zonas a profundidades de 20, 25 y 30 metros son altamente conductoras y se ven asociadas a mayor grado de humedad, también podemos notar que en la periferia del depósito tenemos zonas resistivas asociadas con menor grado de humedad.

Las resistividades a profundidades de 40, 50 y 60 metros se presenta en la Figura 12, en esta figura podemos observar que al profundizar en el terrero aumentan las zonas resistivas asociadas con el poco grado de humedad

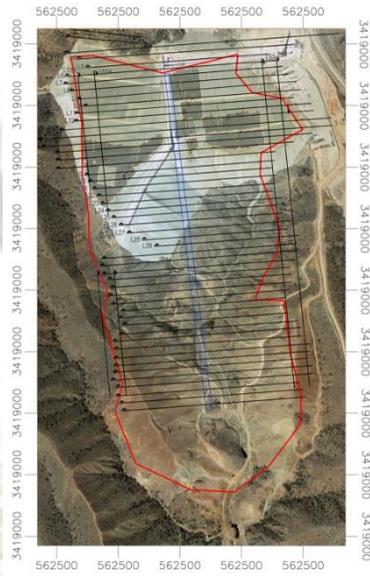
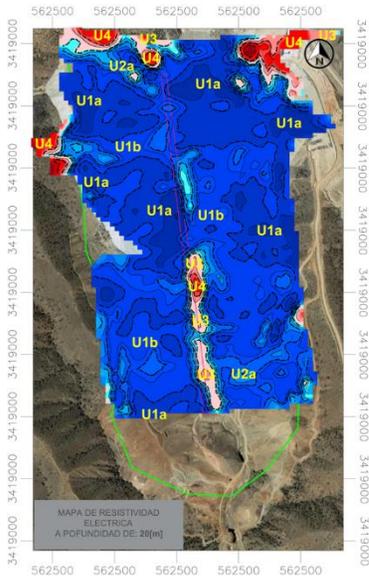
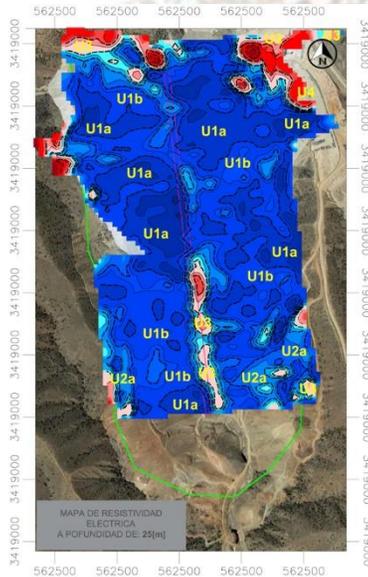


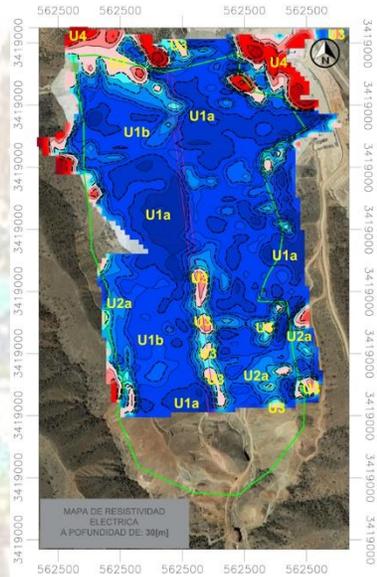
Figura 10.- Toma superior del Terrero Quebalix IV.



Resistividad a profundidad de 20 m.



Resistividad a profundidad de 25 m.



Resistividad a profundidad de 30 m.

Figura 11.- Mapas de resistividades a 20, 25 y 30 m de profundidad del terrero

La Figura 13 presenta las profundidades 70, 80 y 90 metros, en las cuales podemos observar zonas muy resistivas asociadas con el nulo grado de humedad, esto nos ayuda a identificar a profundidad la solución se queda retenida.

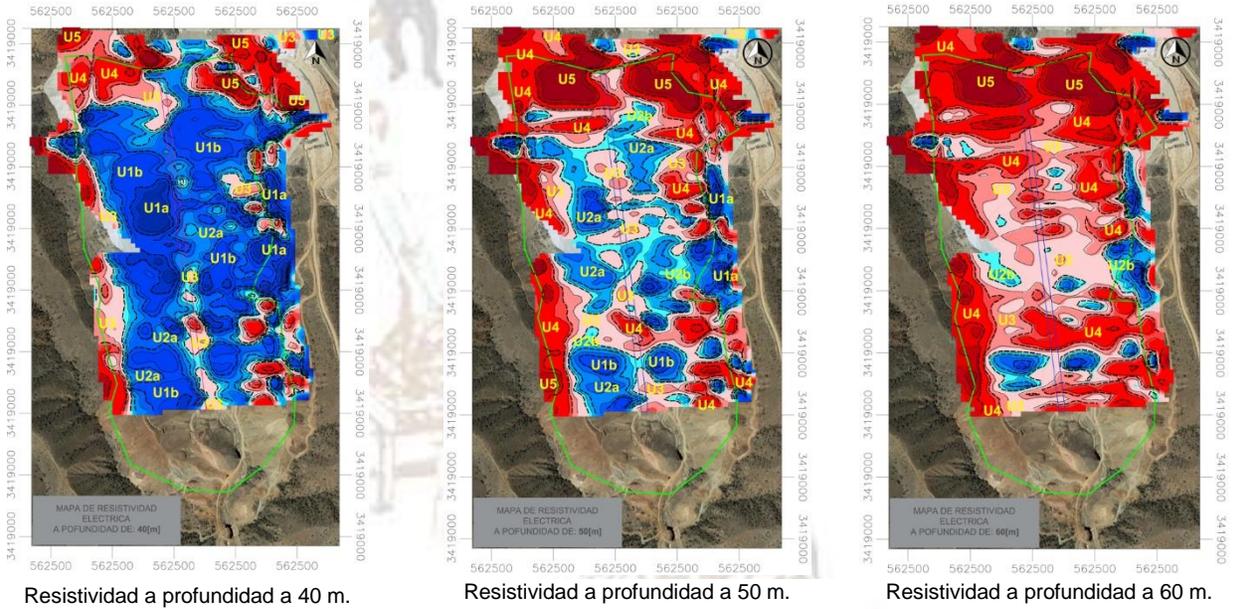


Figura 12.- Mapas de resistividades a 40, 50 y 60 m de profundidad del terrero

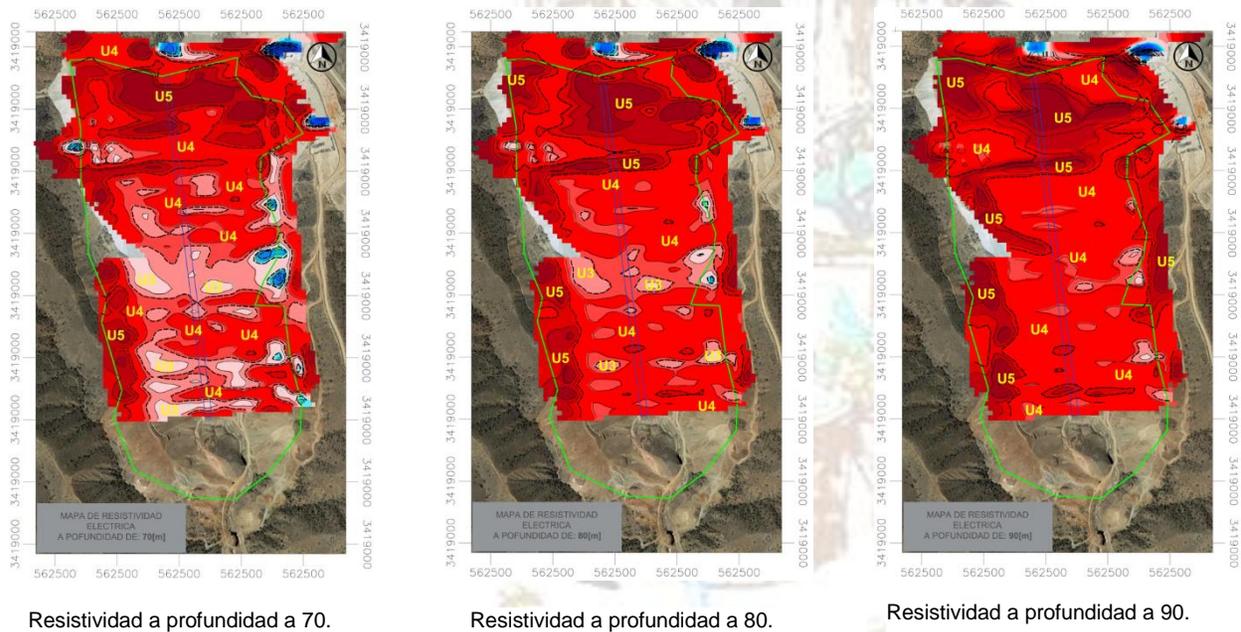


Figura 13.- Mapas de resistividades a 70, 80 y 90 m de profundidad del terrero

Los estudios anteriores indican que, a profundidades mayores a los 50 metros tenemos zonas con menor o nulo grado de humedad, para ello se planea inyectar solución a presión con tuberías ranuradas a partir de los 50 metros, para que la solución de lixiviación entre en contacto con el mineral de las zonas resistivas. Es importante mencionar que esto se ha hecho en algunas zonas de los terreros y se lograron observar pequeños incrementos en la concentración de cobre en el PLS en días posteriores a la inyección. Al realizar estas inyecciones a presión, se recomienda repetir los estudios geofísicos con el fin de confirmar la humectación del mineral a profundidad.

## **CONCLUSIONES**

Del estudio realizado, se obtuvo que el contenido de material fino que se deposita en los terreros es mayor al 24.180%, este representa alturas en el depósito mayores a 15 metros de material menor a 1/2", promoviendo encharcamientos en la superficie, entrapamiento de solución dentro de los terreros y por ende baja extracción de cobre.

Al realizar granulometrías, determinamos que se debe de disminuir el contenido de mineral fino, con el objetivo de evitar capas que impidan que la solución de lixiviación penetre en el terrero, encharcamientos y canalizaciones. El estudio permitió que la Operación de Buenavista del Cobre fijara como limite un 15.000% en la recepción de material fino de sus cuatro Plantas Quebalix, generando resultados positivos para los nuevos depósitos de terreros de lixiviación. Con el fin de dar seguimiento, se realizan granulometrías semanalmente de las cuatro Plantas Quebalixes, que tienen como principal objetivo garantizar que se deposite menos del 15.000% de material fino menor a 1/2" en los terreros.

Los resultados geofísicos de Quebalix IV, nos permitieron identificar las zonas conductoras en el terrero y relacionarlas con el grado de humedad, esto con el objetivo de conocer a que profundidad tenemos mayor solución retenida. Este estudio nos mostró que a una profundidad mayor a 50 metros tenemos zonas con menor o nulo grado de humedad, también qué podemos hacer para humectar el mineral que se encuentra depositado sin lixiviar.

Este trabajo continúa con las pruebas metalúrgicas de lixiviación y concentración de minerales, que nos darán alternativas para extraer el cobre contenido en fracciones finas.

## **REFERENCIAS.**

Valenzuela, J.L., 2018, Notas de Cursos Hidrometalurgia y Procesamiento Acuoso de Materiales en la Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

Rimstidt, J.D., Vaughan, D.J. 2003. Pyrite oxidation: a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism. *Geochemical et Cosmochimica Acta* 67: 873–880.

Ballester A., Verdeja L. F., Sancho J. 2008. *Metalurgia Extractiva Vol. I Fundamentos y Vol. II Procesos de obtención*. Editorial Síntesis, S.A., Madrid, España.

Miller, J.D., 1986, *Solution Concentration and Purification en METALLURGICAL TREATISES*, Editado por Tien, J.K. and J.F. Elliot 1986. The Metallurgical Society of AIME.

Nicol, M.J., E. Schalch, P. Balestra, and H. Hedegus. 1979. A modern study of the Kinetics and mechanism of the cementation of gold. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy* (February):191–198.

W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff. *Applied Geophysics*. 2 edición. Cambridge University Press. Pág. 283-292, 522-609, (1990)

