



Revista Boliviana de Química

ISSN: 0250-5460

ISSN: 2078-3949

revbolquim@outlook.com

Universidad Mayor de San Andrés

Bolivia

Romero Bonilla, Hugo I.; Romero Sagbay, Diego A.; Redrovan Pesante, Felipe F.
EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LOS COLECTORES Z6, 404 Y 1208 EN
LA FLOTACIÓN A GRANEL DE PIRITA Y ARSENOPIRITA AURÍFERA
Revista Boliviana de Química, vol. 36, núm. 2, 2019, Mayo-Junio, pp. 73-82
Universidad Mayor de San Andrés
Bolivia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426360705002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UMSA
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



EFFECT OF THE VARIATION OF THE Z6, 404 AND 1208 COLLECTORS IN THE BULK FLOTATION OF PYRITE AND AURIFEROUS ARSENOPYRITE

EFFECTO DE LA VARIACIÓN DE LOS COLECTORES Z6, 404 Y 1208 EN LA FLOTACIÓN A GRANEL DE PIRITA Y ARSENOPIRITA AURÍFERA

Received 04 26 2019
Accepted 06 15 2019
Published 06 30 2019

Vol. 36, No.2, pp. 73-82, May./Jun. 2019
Revista Boliviana de Química

36(2), 73-82, May/Jun. 2019
Bolivian Journal of Chemistry
DOI: 10.34098/2078-3949.36.2.2



Full original article

Peer-reviewed

Hugo I. Romero Bonilla^{1,*}, Diego A. Romero Sagbay², Felipe F. Redrovan Pesantez³

¹Grupo de Investigación Aplicaciones Electro-analíticas, Laboratorio de Electro-análítica y Bioenergía, Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, Machala, El Oro, Ecuador. ORCID: 0000-0002-7846-0512

²Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Machala, Km 5.5 Vía Pasaje, Machala, Ecuador

³Carrera de Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Machala, Km 5.5 Vía Pasaje, Machala, Ecuador. ORCID: 0000-0001-9157-4760

Keywords: *Collector, Gold recovery, Percentage of pulp solids.*

Palabras clave: *Colector, Recuperación de oro, Porcentaje de sólidos, Pulpa.*

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the influence that the types of manifold mix had: (potassium ammonium xanthate Z6 primary collector + dithiophosphate 404 secondary collector) and (Z6 + dithiophosphate 1208 secondary collector) at different dosages in the flotation cell : 100% (normally used in the process); 50% and 150% in relation to the activator $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and the sparkling 350, in the percentage of gold recovery. Secondary collector concentrations of 10% and 100% purity were used. The percentage of the solid pulp of the mineral was also evaluated (27%, 30%, 33%, and 37%). Gold recovery was determined by measuring its concentration by atomic absorption spectrophotometry. It was determined that with 33% solids in the pulp, there is the highest percentage of gold recovery. Likewise, the replacement of the secondary dithiophosphate 404 collector

Downloadable from: Revista Boliviana 73 de Química. Volumen 36 N°2. Año 2019

<http://www.bolivianchemistryjournal.org>, <http://www.scribd.com/bolivianjournalofchemistry>



with the dithiophosphate 1208 provided better recovery results when they were added at 10% and 100% purity concentrations. Additionally, it was possible to demonstrate that with the reduction of the amount of the Z6 collector and the activator, greater recovery was achieved with 100% dosage, which is what is normally used in the beneficiary plant where the experimentation was performed. Finally, it was statistically determined that the type of secondary collector does not influence the recovery percentage (p -value > 0.05). Whereas, there is an influence (p -value < 0.05) of the percentage of solids in the pulp in the recovery percentage of this metal.

*Corresponding author: hromero@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia que tuvieron los tipos de mezcla de colectores: (xantato amílico de potasio Z6 colector primario + ditiofosfato 404 colector secundario) y (Z6 + ditiofosfato 1208 colector secundario) a diferentes dosificaciones en la celda de flotación: 100% (normalmente utilizado en el proceso); 50% y 150% en relación al activador $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y el espumante 350, en el porcentaje de recuperación de oro. Se utilizaron concentraciones de los colectores secundarios de 10%, y 100% de pureza. También se evaluó el porcentaje de sólidos pulpa del mineral (27%, 30%, 33% y 37%). La recuperación de oro se determinó midiendo su concentración por espectrofotometría de absorción atómica. Se logró determinar que con el 33% de sólidos en la pulpa, existe el mayor porcentaje de recuperación de oro. Así mismo, la sustitución del colector secundario ditiofosfato 404 por el ditiofosfato 1208 proporcionó mejores resultados en la recuperación cuando fueron agregados a las concentraciones de 10% y 100% de pureza. Adicionalmente, se pudo demostrar que con la reducción de la cantidad del colector Z6 y el activador se logró obtener mayor recuperación con el 100% de dosificación, que es lo que normalmente se utiliza en la planta de beneficio donde se realizó la experimentación. Por último, se determinó estadísticamente, que el tipo de colector secundario no influye en el porcentaje de recuperación (p -value > 0.05). Mientras que, sí existe influencia (p -value < 0.05) del porcentaje de sólidos en la pulpa en el porcentaje de recuperación de este metal.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de flotación, comúnmente se requiere una serie de reactivos, donde los colectores tornan la superficie del mineral a hidrofóbico. Por otro lado, se tienen los espumantes que son surfactantes usados para disminuir el tamaño de burbuja y promover la estabilidad de la espuma. Los espumantes tienen estructura heteropolar que los hace adsorberse en una superficie aire-agua, o sea, en la superficie de las burbujas, para satisfacer tanto su parte polar como su parte apolar.

La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral, o especies de valor, y la ganga. Se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por algún medio externo, en la celda de flotación [2].

La optimización de flotación consiste en cuantificar el rendimiento del proceso de flotación mediante el empleo de un modelo adecuado que relacione la recuperación y/o ley de la especie mineral valiosa con las variables controlables del proceso.

La flotación se basa en el proceso de concentración de minerales con alto valor económico a nivel industrial a partir de minerales complejos de alta y baja ley en oro y plata [8]. Estos elementos por su naturaleza especial, requieren a veces de otros métodos de recuperación más eficiente, como, por ejemplo, concentración gravimétrica, cianuración y flotación, o una combinación de estos [7]. En el proceso de flotación, partículas flotables son colectadas en la espuma dejando la parte no flotable en la pulpa [3].

En la flotación Bulk se utilizan depresores y comprende una sola etapa, ya que flotan todos los minerales que están presentes en la pulpa separando los metales preciosos de la ganga. Este tipo de flotación normalmente se realiza a un pH mayor a 7, a temperatura ambiente. Generalmente se emplea xantato amílico de potasio Z6 como colector primario y ditiofosfato AR-404 como colector secundario, actuando como activador el sulfato de cobre y además se utiliza el espumante 350 [3].



El proceso de recuperación tiene sentido sólo si el costo de recuperación es mucho menor que el valor del metal precioso. Además, las restricciones impuestas a la eliminación de residuos y las estrictas regulaciones ambientales exigen una viabilidad económica y tecnologías ecológicas [13].

El oro se produce principalmente en su forma nativa y en menor grado como compuestos de oro de telurio, antimonio y selenio contenidos en el sulfuro (especialmente pirita y, en menor grado, arsenopirita y pirrotita), silicato, carbonato y óxido mineral [5]. La aplicación de la flotación a escala industrial dentro de la minería de oro comenzó con la introducción de colectores de flotación (específicamente colectores de xantatos y ditiofosfatos) que permitía la flotación diferencial de minerales de sulfuro [8]. La extracción de oro de los minerales implica la separación y recuperación del oro grueso, y su posterior flotación para recuperar el oro liberado fino y el oro asociado con otros minerales de sulfuros [10].

Existe el interés en la industria minera por analizar modificadores de superficie orgánicos (también conocidos como colectores y promotores) en superficies minerales en plantas de concentración [6]. En este sentido, un tensoactivo iónico de una carga atrae iones de la carga opuesta. Los iones se concentran en una espuma después de la adsorción del tensoactivo en burbujas de gas ascendentes [11].

Entre los factores que se deben considerar en este proceso se encuentran: el tipo de mineral, la granulometría, la calidad del agua, la familia química del colector utilizado, la altura del colchón de espumas, el flujo de aire en m³/h, así como el % de sólidos de la pulpa y la configuración del circuito, factores todos que influyen en el rendimiento de recuperación de oro durante la flotación [6].

Los depresores son reactivos que impiden la flotabilidad de un mineral, esto se logra previniendo la adsorción del colector sobre la superficie del mineral. Según información obtenida se ha reportado que alrededor del 70% de los minerales en las colas o arenas cianuradas constituyen la fracción liviana o ganga. Esta fracción está compuesta principalmente de cuarzo (50%) y silico-aluminatos alcalinos y de hierro (25%) por lo que se suele utilizar un depresor como el silicato de sodio [12].

Los activadores por su parte sirven para aumentar la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace entre éstos y el colector. Los principales activadores utilizados son: el sulfato de cobre, nitrato de plomo y sulfito de sodio. En esta investigación se utilizó el sulfato de cobre ya que en la bibliografía se reporta como el activador más usado en el caso de la flotación de oro o de los minerales portadores de oro tales como: pirita, pirrotina, arsenopirita y estibina [13].

Los colectores proporcionan propiedades hidrofóbicas a las superficies minerales. Son compuestos heteropolares ya que contienen un grupo polar (cargado) y un grupo no polar (descargado) de manera que, cuando se adhiera a la partícula mineral, las moléculas del colector se orienten de tal forma que el grupo no polar o cadena de hidrocarburos, se extienda hacia afuera, formando una película hidrofóbica de hidrocarburos en la superficie. Particularmente la combinación de xantatos con ditiofosfatos, ha mostrado mejores recuperaciones de oro [4].

Las cantidades de espumantes que se dosifican en el proceso de flotación depende del tipo de mineral a ser tratado, pero los valores que se emplean normalmente fluctúan entre 5 a 25 g/Ton [3].

La densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos óptimo en la flotación de minerales influye en la recuperación del metal, pues la alta viscosidad de la pulpa no apoya a la dispersión del aire o una adecuada formación de la burbuja. En general, en la primera etapa de flotación, en plantas concentradoras de oro, el porcentaje de sólidos es de aproximadamente 30% y 45%, sin embargo, en etapas posteriores como cleaner y recleaner el porcentaje de sólidos es menor. Se ha manifestado que el tema flotación de minerales se usa para los sulfuros, debido a que el uso de este proceso es muy favorable y que ha sido supeditado a la minería de veta, donde se genera la hidrofobicidad de los sulfuros asociados al oro. Esto implica que los estudios de hidrofobicidad selectiva del oro nativo son escasos en la literatura y por lo tanto, la dosificación de los reactivos no está bien determinada [1].

EXPERIMENTAL

Metodología

El mineral utilizado para este estudio fue cuarzo asociado con piritas y arsenopiritas auríferas. Una vez sedimentadas las arenas en las piscinas después de 15 días, se procedió a un muestreo en diferentes puntos tomando aproximadamente 2 kilos de material húmedo, a una profundidad de 20 centímetros. El material fue recolectado en



recipientes plásticos. Luego de obtener 100 kilos aproximadamente de muestra húmeda se procedió a homogeneizar todo el material colocándolo en una geomembrana.

Con luz solar se deshidrató el material y se procedió a homogeneizar nuevamente mediante un cuarteo. Se tomó aproximadamente 2 kilos de muestra. La muestra posteriormente se pulverizó. Luego se colocó en bandejas metálicas de aproximadamente de 3 kilos para ser homogeneizadas nuevamente. Seguidamente, en una balanza se pesó 1 kilo de muestra en fundas plásticas para ser selladas. Una vez obtenidos 50 kilos de material seco se almacenaron para que puedan ser sometidos al proceso de flotación. Se utilizó una celda de flotación DENVER con una capacidad de 2,5 litros de pulpa en la celda, colocando 2,1 litros de pulpa (mineral + agua) en la misma para que la altura de la espuma ocupe el espacio libre. Esta pulpa contenía un 27% de sólidos (700 g de mineral), 30% de sólidos (800 g de mineral), 33% (900 g de mineral) y el 37% (1000 g) que es el normalmente utilizado por la planta de beneficio aurífero.

Preparación de los reactivos de flotación

Colectores

Los colectores utilizados en esta investigación fueron xantato amílico de potasio conocido como Z-6, Ditiofosfato AR-404, Ditiofosfato AR-1208 al 100% p/v de pureza y como activador el sulfato de cobre.

Xantato amílico de potasio Z-6

Este colector es usado frecuentemente en los procesos de flotación de oro ya que es un colector no selectivo. En este trabajo se utilizó al 10% p/v.

Ditiofosfato AR-404

En la planta de beneficio se utiliza al 100% p/v de concentración, pero en esta investigación lo utilizamos al 10% p/v, para lo cual se lo disolvió con agua filtrada.

Ditiofosfato AR-1208

Igualmente, en la planta de beneficio se utiliza al 100% p/v de concentración, pero en esta investigación lo utilizamos al 10% p/v. Para las pruebas de flotación se alternó con el Ditiofosfato AR-404.

Activador

Sulfato de cobre

Este activador es muy usado. En esta investigación lo empleamos al 10% p/v de pureza.

Depresor

Silicato de sodio

Este depresor fue utilizado al 10% p/v de concentración para impedir la flotación de gangas (impurezas) presentes en el mineral. Es importante mencionar que al principio de las pruebas no fue utilizado, pero luego fue necesario incorporarlo al proceso debido al exceso de impurezas en el concentrado de flotación. Con esto logramos aumentar el porcentaje de recuperación de oro.

Espumante 350

Este reactivo se viene utilizando en la planta de beneficio, se utiliza concentrado sin disolverlo ya que durante el proceso se le agrega cantidades del orden de 21 cm³/Ton, por lo que, para pruebas a nivel piloto se utilizó aproximadamente 1 gota de espumante/Kg de mineral.

Determinación de la concentración de oro



Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 220.

Condiciones Experimentales

El cuarzo previamente molido fue llevado a malla 200, el cual fue adicionado a una celda de acero inoxidable de 2,5 L. La flotación se realizó en la celda mecánica Denver. La succión generada por el impulsor permitió la aireación requerida para la formación de la espuma.

El retiro de la espuma fue realizado manualmente con una cuchara metálica, y ésta colectada en unos recipientes plásticos para luego agregar el floculante al mineral y acelerar la precipitación de toda la muestra flotada. Se trabajó a temperatura ambiente (20 °C).

Por otro lado, el concentrado y relave de flotación contenido en bandejas metálicas fue secado mediante una cocineta a gas liberándose toda el agua mediante evaporación no mayor a 110°C. Una vez liberada la humedad se homogeneizó, evitando la calcinación de la muestra evitando así las alteraciones de los sulfuros.

Los análisis de concentración de oro fueron realizados en los laboratorios de la planta en mención.

Con el mineral seco, se procedió a las pruebas de flotación. En las primeras pruebas que se realizaron solo se varió el porcentaje de sólidos presentes en la pulpa con respecto a las características del proceso que se aplican en la planta, donde se flota con los reactivos sulfato de cobre al 10% como activador, xantato amílico de potasio o Z6 al 10% como colector primario, ditiofosfato 404 concentrado como colector secundario y el espumante 350 concentrado con un porcentaje de sólidos de 37% normalmente. Pero en las pruebas realizadas para tratar de optimizar los costos de producción se redujo este porcentaje de sólidos a 27%, 30% y 33% para verificar la variación en la recuperación en el proceso de flotación. Una vez obtenidos los resultados de las primeras pruebas realizadas se procedió a una variación de la dosificación de los reactivos con un 50% menos y un 50% más de lo que normalmente se utiliza en el proceso. Con esto se pudo constatar que con la reducción de algunos reactivos se obtuvieron mejores recuperaciones de oro.

Con los resultados de los análisis químicos de laboratorio se decidió con qué porcentajes de sólidos se realizaría la investigación y en qué concentraciones se utilizarían los reactivos. La Tabla 1 muestra las condiciones experimentales de la investigación.

Dados los resultados obtenidos, se continuó con el 33% de sólidos en las pruebas de flotación. Se procedió a comparar la recuperación aurífera entre el colector 404 con el 1208, ambos al 100% de concentración. En este sentido, la Tabla 2 presenta la sustitución y combinación de los colectores 1208 y 404 concentrados.

Para las pruebas posteriores se redujo la dosificación del reactivo sulfato de cobre y el colector Z6 a la mitad de lo que se utiliza normalmente en la planta, y además variando el colector 404 por el 1208, alternándose y combinándolos al 100% de pureza. Para ello se agregó durante los primeros 5 minutos la primera dosificación (experimento 13, Tabla 2), ya que en estas pruebas utilizamos una adición secuencial de reactivos con intervalo de flotación de 5 minutos hasta completar un total de 10 minutos.

Por otro lado, al haber excedente de ganga en el concentrado de flotación, lo que disminuyó la recuperación de oro, se procedió a utilizar el silicato de sodio como depresor para disminuir las impurezas en el concentrado.

Adicionalmente se realizaron pruebas de flotación con los colectores 404 y 1208 diluidos al 10% de pureza, en ausencia y presencia de silicato de sodio. En este sentido, en la Tabla 3 se puede observar el aumento del colector 1208 y 404 diluido agregando silicato de sodio al 10% en conjunto con la reducción del reactivo sulfato de cobre y el colector Z6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 4 muestra los resultados de recuperación de oro en función del porcentaje de sólidos en la pulpa en cada uno de los experimentos realizados.

El porcentaje de sólidos que se utiliza en la planta de beneficio estudiada, es de 37%. De acuerdo a la tabla 4, se determinó que el porcentaje de sólidos óptimo era de 33% en la pulpa.

Adicionalmente, en la Figura 1 se presentan los resultados de la recuperación de oro en función a la dosificación del colector Z6 agregado al 33% de sólidos en la pulpa. En ella se puede observar que al adicionar 50% menos de la dosificación de los reactivos de flotación se obtiene mayor recuperación de oro con un 85% y con una



menor varianza en este tratamiento, en contraste con el 50% más (150% en total) que tiene mayor varianza y al 100% de dosificación que tiene menor porcentaje de recuperación de oro, obteniéndose mejores porcentajes de recuperación de oro con el colector 1208.

Tabla 1. Condiciones experimentales de la investigación

		Dosificación de Reactivos			
Experimento	% Sól. Pul.	Activador	colector	colector	Espumante
		10% CuSO ₄ .5H ₂ O (g/Ton)	Z-6 10% (g/Ton)	404 conc. (cm3/Ton)	Espumante 350 (cm3/Ton)
Dosificación al 50%					
1	27	156	125	21	21
2	30	156	125	21	21
3	33	156	125	21	21
4	37	156	125	21	21
Dosificación al 100%					
5	27	312	250	42	21
6	30	312	250	42	21
7	33	312	250	42	21
8	37	312	250	42	21
Dosificación al 150%					
9	27	468	375	63	21
10	30	468	375	63	21
11	33	468	375	63	21
12	37	468	375	63	21

Tabla 2. Sustitución y combinación de los colectores 404 y 1208

Experimento	Dosificación de Reactivos			
	Activador (Sulfato de cobre) (10%) (g/Ton)	Colector (Z6) (10%) (g/Ton)	Colector 404 (concentrado) en (cm ³ /Ton)	Colector 1208 (concentrado) en (cm ³ /Ton)
13	312	250	42	0
14	312	250	0	42
15	312	250	42	42

Tabla 3. Aumento del colector 1208 y 404 diluido agregando depresor silicato de sodio al 10%

Experimento	% de Activador (Sulfato de cobre al 10%)	% de Colector (Z6 al 10%)	Colector 404 (10%) (cm ³ /Ton)	Colector 1208 (10%) (cm ³ /Ton)	Depresor Na ₂ SiO ₃ (10%)(cm ³ /Ton)
16	150	100	84	0	50
17	150	100	0	84	50



Así mismo, la Figura 2 representa la variación de recuperación de oro en función del porcentaje sólidos en la pulpa. Se puede evidenciar que el tratamiento sólidos pulpa 3 (33%), tiene un porcentaje de recuperación de 88,52 % de oro y una menor varianza, mientras que los sólidos pulpa 1 (27%) tiene mejor recuperación de oro, pero mayor varianza, al igual que porcentaje sólidos pulpa 2 y pulpa 4.

Tabla 4. Resultados de recuperación de oro en función del porcentaje de sólidos en la pulpa.

Experimento	% Sól. Pul.	% Recuperación (Repetición 1)	% Recuperación (Repetición 2)
<i>Dosificación al 50%</i>			
1	27	86,77	88,17
2	30	82,69	83,55
3	33	88,21	88,83
4	37	80,1	81,76
<i>Dosificación al 100%</i>			
5	27	80,36	81,81
6	30	83,75	84,39
7	33	85,42	85,71
8	37	87,54	87,69
<i>Dosificación al 150%</i>			
9	27	89,55	90,3
10	30	74,59	75,5
11	33	86	86,9
12	37	84,1	85,48

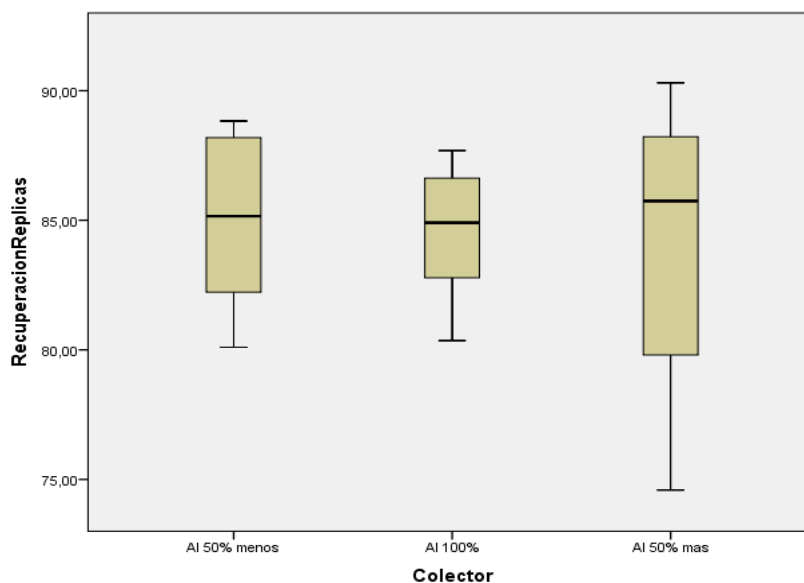


Figura 1. Resultados de la recuperación de oro en función a la cantidad de colector agregado.



Con respecto a los resultados del porcentaje de recuperación de oro en función del colector y porcentaje de sólidos en la pulpa, en la Tabla 5 se puede observar que el factor tipo de colector si influye en el porcentaje de recuperación de oro ($p\text{-value} > 0,05$). Mientras que, si existe influencia del factor porcentaje de sólido en la pulpa en el factor porcentaje de recuperación de oro ($p\text{-value} < 0,05$). Por lo tanto se puede apreciar la variable dependiente y su recuperación de oro por duplicado en su origen, suma de cuadrados, gl, media cuadrática y F y la variación de la significancia estadística.

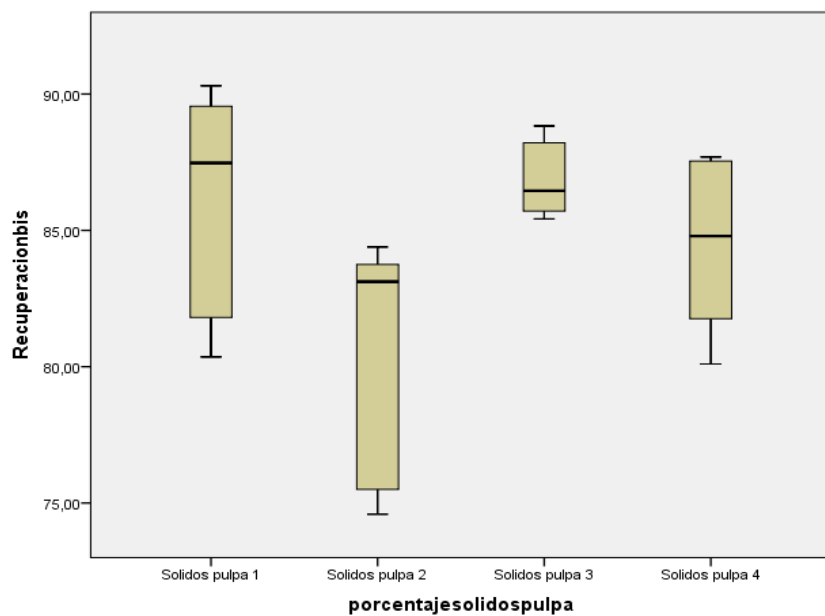


Figura 2. Recuperación de oro en función del porcentaje sólidos en la pulpa.

Tabla 5. Análisis de varianza del p-value del porcentaje de recuperación de oro en función del colector y porcentaje de sólidos en la pulpa

Variable dependiente: Recuperación de oro por duplicado					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	370,002 ^a	11	33,637	64,257	,000
Intersección	171563,787	1	171563,787	327742,782	,000
Colector	3,682	2	1,841	3,517	,063
Porcentaje sólidos pulpa	134,089	3	44,696	85,385	,000
Colector * porcentaje sólidos pulpa	232,231	6	38,705	73,939	,000
Error	6,282	12	0,523		
Total	171940,071	24			
Total corregido	376,283	23			

a. R al cuadrado = ,983 (R al cuadrado ajustada = ,968)

F= factor estadístico de Fisher, gl= grados de libertad, Sig= significancia estadística.

Continuando con los resultados de la investigación, en la Tabla 6 se muestra el porcentaje de recuperación de oro sin utilizar depresor en función de la sustitución el colector secundario 404 (experimento 13) por el 1208 (experimento 14), este último presentó como resultado una mayor recuperación de oro de 89,37% en promedio en comparación con la recuperación obtenida con el colector 404. De igual manera fue mayor en comparación con la recuperación de oro cuando se combinaron ambos colectores (experimento 15).



Por último, en la Tabla 7 se pueden observar los resultados obtenidos a partir de la Tabla 3 agregando el depresor silicato de sodio al 10% e incrementando el 50% de los colectores 404 (experimento 16) y 1208 (experimento 17) diluidos al 10% de pureza, y reduciendo al 50% los reactivos sulfato de cobre y colector Z6, se puede observar que con el colector 404 se llegó a un promedio de 90,08% de recuperación en comparación con el 88,87% del colector 1208 cuando se incluye el depresor.

Tabla 6. Sustitución y combinación de los colectores 1208 y 404 concentrados.

Experimento	% Recuperación de Au después de la flotación (1)	% Recuperación de Au después de la flotación (2)
13	85,42	85,71
14	89,17	89,57
15	86,54	87,35

Tabla 7. Resultados de recuperación de oro con el 50% adicional del colector 1208 y 404 diluido (10%) agregando depresor silicato de sodio al 10% en conjunto con la reducción del reactivo sulfato de cobre y el colector Z6.

Experimento	% Recuperación de Au después de la flotación (1)	% Recuperación de Au después de la flotación (2)
16	89,97	90,2
17	88,31	89,43

Los resultados de esta investigación sin depresor (Tabla 4, experimento 3), están de acuerdo con lo reportado por Vázquez y Chica [15], donde el colector 1208 presenta mejores resultados de recuperación de oro con un 69.21%. Adicionalmente estos autores manifestaron que el tiempo de flotación para recolección de concentrado es de 7 a 10 minutos. Estos mismos autores manifiestan que en otras investigaciones se ha reportado que el colector 1208 recupera un 95.5%, con la diferencia de que el tiempo de flotación es de 19 minutos entre flotación y limpieza.

El objetivo del silicato de sodio en la recuperación de oro por flotación radica en la limpieza de la ganga en el concentrado de flotación ayudando a obtener un mayor porcentaje de recuperación de oro lo que se puede confirmar cuando se compara los porcentajes de recuperación de oro de la Tabla 7 con los porcentajes presentados en las tablas 4 y 6 que fueron obtenidas sin depresor.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se concluye que, el porcentaje de sólidos en la pulpa del mineral influye en la recuperación de oro. El 33% de sólidos en la pulpa tiene el mayor porcentaje de recuperación a diferencia de los porcentajes de sólidos de 27%, 30% y 37%, pero en las pruebas realizadas para tratar de optimizar los costos de producción se redujo este porcentaje de sólidos.

Así mismo, con el colector 404 se obtuvieron mayores recuperaciones de oro a una concentración del 10% cuando se incluyó el depresor, mientras que, el colector 1208 al 100 % y sin depresor proporcionó mejores resultados.

Adicionalmente, se pudo demostrar que con la reducción de la cantidad del colector Z6 y el activador se logró obtener mayor recuperación de oro con el 100% de dosificación, que es lo que normalmente se utiliza en la planta de beneficio donde se realizó la experimentación.

Por último, se determinó estadísticamente, que el tipo de colector secundario no influye en el porcentaje de recuperación de oro (p-value >0,05). Mientras que, sí existe influencia (p-value <0,05) del porcentaje de sólidos en la pulpa en el porcentaje de recuperación.



REFERENCIAS

1. Antoniete, H., Eduardo, M. **2018**, Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos, <http://repositorio.uni.edu.pe/handle/uni/13255>, Acces date: 02/21/2018.
2. Ayllón Meresi, D.E. **2013**, Optimización del proceso de flotación bulk plomo-plata. <http://repositorio.uni.edu.pe/handle/uni/10542>, Access date: 02/21/2018.
3. Bustamante Rúa, M.O., Tobón Suárez, C.M., Naranjo Gómez, D. **2012**, Estudio de hidrofobicidad del oro nativo, *Dyna*, 79(175), 48-52. www.redalyc.org/pdf/496/49624956008.pdf, Access date: 02/21/2018.
4. Cobos Granda, C. J. **2018**, Flotación Rougher de un Mineral Aurífero Complejo asociado a Sulfuros Polimetálicos. Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7913/1/13653.pdf>, Access date: 01/18/2018.
5. Dunne, R. **2016**, Chapter 20 - Flotation of Gold and Gold-Bearing Ores., In: *Gold Ore Processing (Second Edition)*, ed by In M. D. Adams. Elsevier Science B.V., Amsterdam, Netherlands, 315–338. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00020-7>, Access date: 01/18/2018.
6. Flores, C., Kael, J. **2018**, Recuperación de oro en concentrados de cobre, estudio y adecuación de las variables de Flotación Flash. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6351>, Access date: 03/01/2018.
7. Gomez, D. M. **2012**, Flotación directa de oro nativo gruesos, como sustituto de la amalgamación tradicional. , <http://bdigital.unal.edu.co/7226/1/43469333.2012.pdf>, Access date: 01/18/2018.
8. Guo, B., Peng, Y., Espinosa-Gomez, R. **2015**, Effects of free cyanide and cuprous cyanide on the flotation of gold and silver bearing pyrite, *Minerals Engineering*, 71, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.11.016>, Access date: 03/01/2018.
9. Hidalgo, N., Diaz, A. A., Bazan Brizuela, V. L., Sarquis, P. E. **2015**, Avances en la recuperación de oro y plata mediante flotación en escorias de procesamiento de menas de oro, <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/42261>, Access date: 03/01/2018.
10. Moslemi, H., Gharabaghi, M. **2017**, A review on electrochemical behavior of pyrite in the froth flotation process, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 47, 1–18, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.12.012>, Access date: 03/01/2018.
11. Nirdosh, I., Ramanathan, N. **2018**, sphalerite from mixed base metal sulfide ores either without or with largely reduced amount of copper sulfate addition using 2-(alkylamino) ethanethiols as collectors. *US Patent App. 10/005,088*. <https://patents.google.com/patent/US10005088B2/en>, Access date: 03/01/2018.
12. Romero, C., & Jasmany, R. **2018**, Concentración de oro de la mina “San Alfonso” mediante flotación con variación de granulometría y colectores, Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7914/1/13654.pdf>, Access date: 03/01/2018.
13. Suca Pari, J. C. **2017**, Optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro en minerales sulfurados de la Minera Colibrí Sac. Caravelí-Arequipa, <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5110>, Access date: 03/01/2018.
14. Syed, S. **2012**, Recovery of gold from secondary sources—A review, *Hydrometallurgy*, 115-116, 30–51, <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.12.012>, Access date: 01/10/2018
15. Vázquez, S., Jhomara, G., Chica Malla, R. A. **2017**, Concentración de sulfuros de mineral de cobre (calcopirita), mediante el proceso de flotación con la variación del pH y tres tipos de colectores, <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6850>, Access date: 03/01/2018.