

EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO DE ORO DESDE SOLUCIONES ACUOSAS DE TIOSULFATO-AMONIACO CON EXTRACTANTES ANIÓNICOS Y SOLVATANTES.

P. Navarro^a, C. Vargas^a, J. Illanes^a, J. Manríquez^a y F. J. Alguacil^b

^aUniversidad de Santiago de Chile (USACH), Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Avda. Libertador B. O'Higgins 3363, Estación Central, Santiago, Chile.

^bCentro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CSIC), Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid, España.
E-mail: pnavarro@lauca.usach.cl

RESUMEN

Se estudió a nivel de laboratorio con pruebas batch la extracción de oro a la forma de $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ desde soluciones ricas en tiosulfato y amoniacó, con ALIQUAT 336 y Tributillfosfato (TBP), el diluyente empleado fue SHELLSOL 2046AR.

Los parámetros evaluados fueron pH en el rango 6,5 a 12,0; concentración de amoniacó entre 0 y 1,0M; concentración de ALIQUAT 336 entre 0 y 0,005M. La concentración de TBP se mantuvo constante en 1,5M. Se trabajó con razones de fases de 1, tiempo de contacto 18 minutos, 10 mg/L de oro en las soluciones acuosas y 25°C de temperatura.

Con ALIQUAT 336 se obtuvieron elevadas extracciones de oro, siempre superiores a 80% bajo las diferentes condiciones experimentales; se pudo determinar que el mayor aporte del tributillfosfato está relacionado con la mejora en la separación de fases, disminución de arrastres y evitar la formación de terceras fases, más que en la extracción misma de oro.

PALABRAS CLAVE: extracción líquido-líquido; oro; tiosulfato; amoniacó; extractante aniónico.

1. INTRODUCCIÓN

La lixiviación con cianuro es el método más usado para la recuperación de oro desde minerales y/o concentrados que lo contienen. Algunos problemas en la utilización de este reactivo, entre otros, el carácter evidentemente tóxico de este agente de lixiviación, han hecho que se consideren otros medios de lixiviación como alternativas menos tóxicas. El uso de tiosulfato en medio amoniacal y en presencia de Cu(II) aparece como una alternativa interesante. En tabla I se muestran diferentes constantes de estabilidad de algunos complejos de Au(I).

Tabla I. Constantes de estabilidad de algunos complejos de Au(I).

Complejo	Log K	Estructura
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	38,3	Lineal
$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$	17,0	Lineal
AuTu_2^{2+}	23,3	Lineal
$\text{Au}(\text{NH}_3)_2^+$	26,0	Lineal
$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	28,0	Lineal

Sin embargo, algunos problemas en los procesos de recuperación de oro en medio tiosulfato-amoniaco hacen que el proceso, hasta la fecha, no sea competitivo desde un punto de vista económico, si se compara con la cianuración y los procesos asociados con la recuperación de oro desde este medio.

En soluciones acuosas de tiosulfato y amoniaco el oro se presenta a la forma del complejo $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$, luego su extracción selectiva desde estas soluciones es posible haciendo uso de extractantes aniónicos o en mezclas sinérgicas con extractantes solvatantes. Según lo citado en la literatura (Zhao y otros, 1998) al trabajar con extractantes solvatantes es posible extraer oro a pH mayores a 10 con concentraciones de tiosulfato en el rango de 0,5 a 0,8M. Además, las investigaciones de Zhao y otros (1997), establecieron que al mezclar aminas primarias con ésteres, cuando el pH es menor a 9, el extractante principal es la amina primaria; mientras que cuando el pH de equilibrio es mayor a 9, el rol de cada extractante se intercambia, siendo el principal en este caso el éster. Por otra parte, Kejun y otros (2004) utilizaron cloruro de trioctil-metil-amonio (TOMAC) como extractante, encontrando que al aumentar la concentración de tiosulfato se favorece la extracción de oro y disminuye con el aumento de cobre disuelto y amoniaco.

Los objetivos de este trabajo fueron estudiar la extracción de oro desde soluciones de tiosulfato y amoniaco, utilizando una sal de amina cuaternaria mezclada con TBP, disueltos en el diluyente SHELLSOL 2046AR.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Reactivos Utilizados

Los reactivos orgánicos usados en el desarrollo de las experiencias fueron: ALIQUAT 336 y Tributilfosfato (TBP) como extractantes, y SHELLSOL 2046AR como diluyente. En tabla II se presentan sus principales características.

Tabla II. Características de los reactivos orgánicos utilizados.

Reactivo	Fórmula	Peso molecular g/mol	Pureza %	Densidad g/cm ³
TBP	$(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{O})_3\text{PO}$	266,3	97	0,98
ALIQUAT 336	$\text{C}_{25}\text{H}_{54}\text{ClN}$	269	90	0,88

2.2 Metodología Experimental

La metodología experimental realizada fue la misma en todas las experiencias, variando solamente las condiciones a la cual fueron realizadas. Las etapas realizadas fueron:

- Se preparan las soluciones acuosas y orgánicas bajo las condiciones particulares de cada experiencia.
- Se agregan las soluciones al mezclador-sedimentador y se ajusta la temperatura.
- Una vez alcanzada la temperatura de trabajo se mezclan, mediante agitación mecánica (800 rpm), las fases durante un tiempo predeterminado.
- Alcanzado el tiempo requerido de contacto, se detiene la agitación.
- Se dejan separar la fase acuosa y orgánica durante 20 minutos.
- Se sacan muestras y se analizan químicamente.

2.3 Variables Estudiadas

Las variables y sus niveles estudiados fueron los siguientes:

- pH de equilibrio: 6,5 a 12,5
- Concentración de tiosulfato de sodio: 0 - 1,5M
- Concentración de amoníaco: 0 - 1,0M
- Concentración ion cloruro: 0 - 1,0M
- Concentración ALIQUAT 336: 0 - 0,005M

Los parámetros que se mantuvieron constantes durante el desarrollo de todas las experiencias fueron:

- Temperatura: 25°C
- Razón (orgánico/acuoso): 1
- Tiempo de contacto: 18 minutos
- Tiempo de separación de fases: 20 minutos
- Velocidad de agitación: 900 rpm
- Concentración de oro en acuoso: 10 mg/L
- Concentración de TBP: 1,5M

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cinética de Extracción

En la figura 3.1 se presentan los resultados obtenidos al trabajar con TBP(1,5M) y ALIQUAT 336(1,79E-3M). Se encontró que el equilibrio se alcanza muy rápidamente, a los 3 minutos con TBP y a los 5 minutos con ALIQUAT 336, obteniendo una extracción de solo 20% con TBP y sobre 80% con ALIQUAT 336.

3.2 Efecto del pH de Equilibrio

El efecto del pH de equilibrio y el coeficiente de distribución de oro se muestran en la figura 3.2. Se confirma la mayor capacidad de extracción del ALIQUAT 336 por sobre el TBP, como al mismo tiempo una mayor sensibilidad del TBP frente al pH.

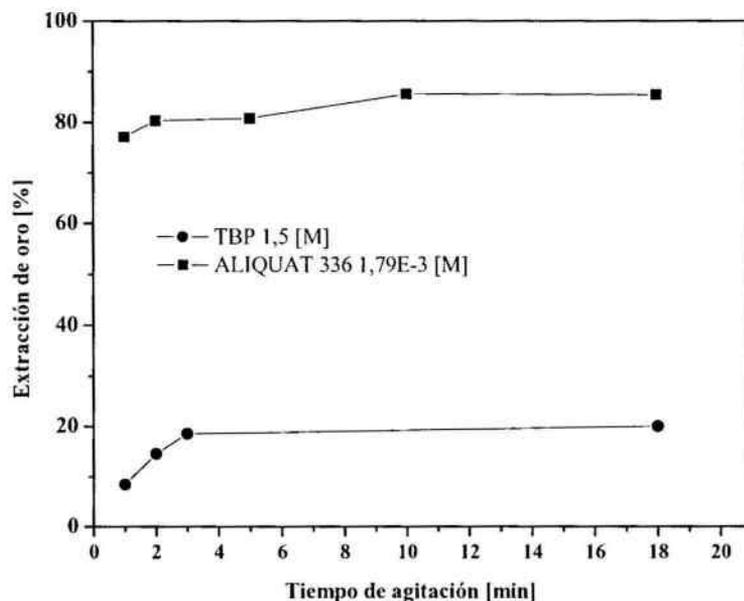


Figura 1. Extracción de tiosulfato de oro v/s tiempo utilizando TBP y pH equilibrio = 11,5, ALIQUAT 336 y pH de equilibrio = 11,9, Shellsol 2046 AR como diluyente, [Au] inicial promedio de 10 [mg/L], $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 0,05$ [M], $T^\circ = 25$ [°C], O/A= 1, tiempo de agitación de 18 minutos.

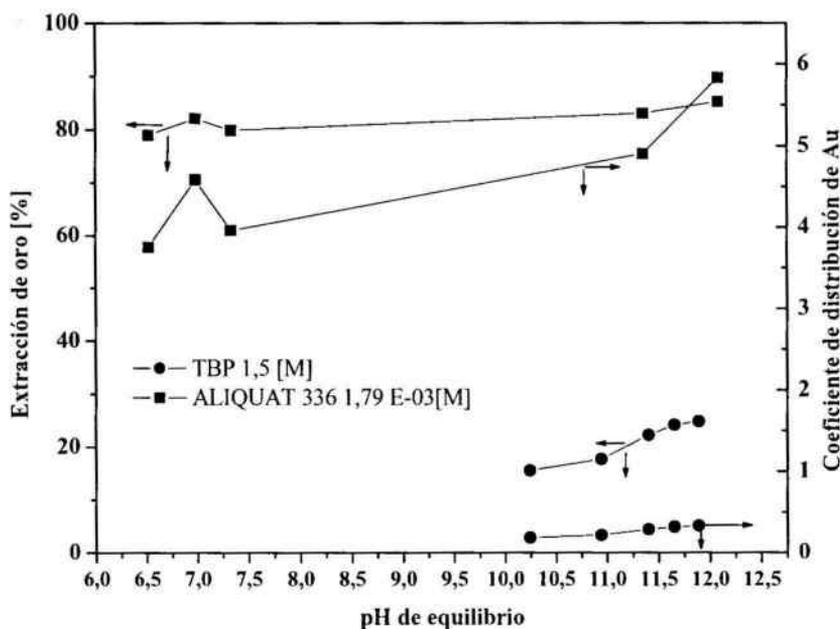


Figura 2. Extracción y coeficiente de distribución de tiosulfato de oro v/s pH de equiibrio utilizando TBP 1,5 [M], y ALIQUAT 336 1,79 E-3 [M], Shellsol 2046 AR como diluyente, [Au] inicial promedio de 10 [mg/L], $T^\circ = 25$ [°C], $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 0,05$ [M], O/A= 1, tiempo de agitación de 18 minutos.

3.3 Efecto de la concentración de ALIQUAT 336.

Se trabajó con diferentes concentraciones de ALIQUAT 336 y con una concentración constante de TBP. Esto se debe a que el reactivo tributilfosfato se usó fundamentalmente como modificador de fases, es decir, para prevenir la formación de terceras fases y lograr la completa solubilidad del diluyente y extractante, ya que su capacidad de extraer oro es baja y no se observaron efectos sinérgicos.

En figura 3.3 se muestra la extracción de oro en función de la concentración de ALIQUAT 336, donde se observa una fuerte dependencia con respecto a este parámetro.

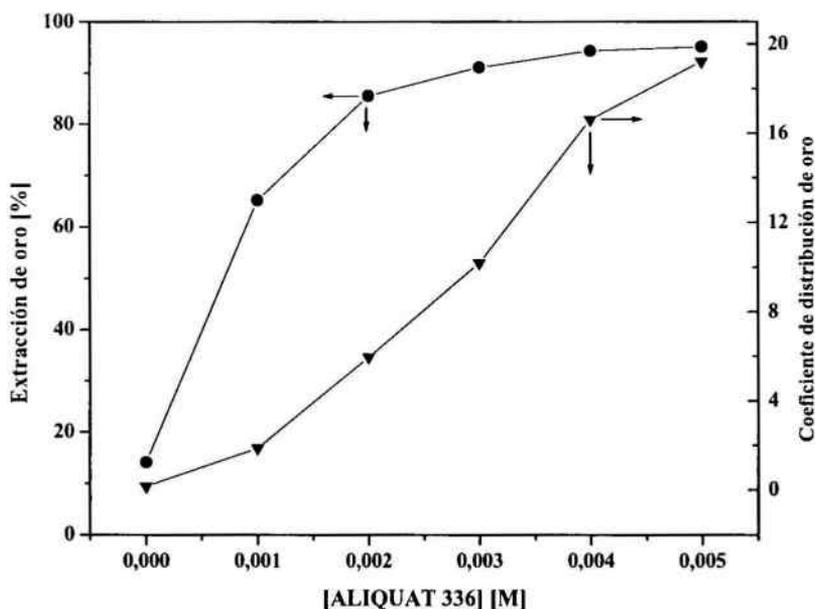
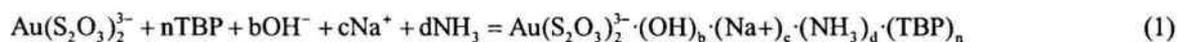


Figura 3. Extracción de tiosulfato de oro v/s [ALIQUAT 336] utilizando TBP 1,5 [M], Shellsol 2046 AR como diluyente, [Au] inicial de 10 [mg/L], $T^{\circ} = 25$ [°C], O/A= 1, pH eq = 11,9, [NH₃] = 0,3 [M], tiempo de agitación de 18 minutos.

3.4 Efecto de la concentración de NH₃

En figura 3.4 se observa que al aumentar la concentración de amoníaco aumenta la extracción de oro al utilizar TBP, debido posiblemente a que el amoníaco participa en el mecanismo de extracción de oro a través de la siguiente reacción de extracción:



En el caso de utilizar ALIQUAT 336, el amoníaco no tiene efecto en la extracción de oro, posiblemente debido a que no participa del mecanismo de extracción y no constituye un elemento competidor.



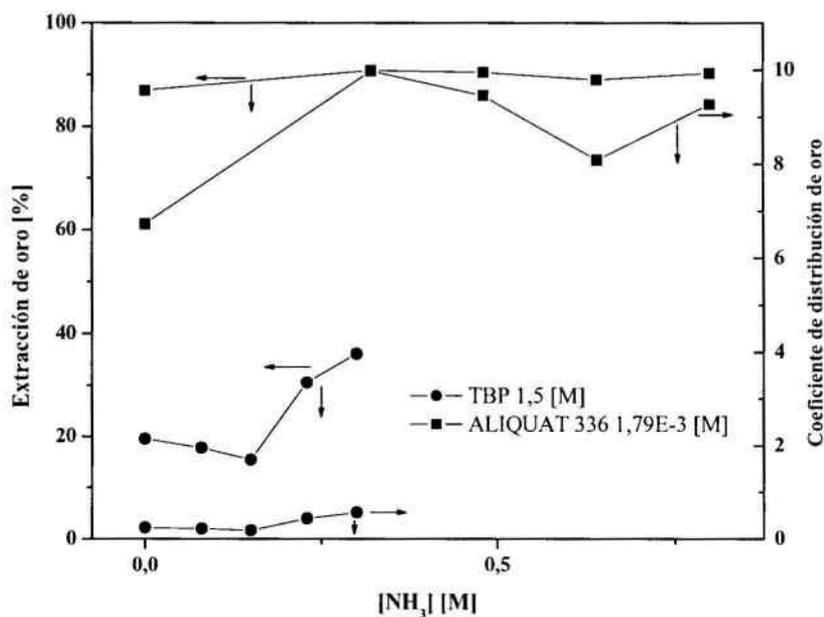


Figura 4. Extracción de tiosulfato de oro v/s $[NH_3]$ utilizando TBP y pH equilibrio = 11,5, JM-T y pH equilibrio = 9,5, ALIQUAT 336 y pH de equilibrio = 11,9, Shellsol 2046 AR como diluyente, $[Au]$ inicial promedio de 10 [mg/L], $[Na_2S_2O_3] = 0,05$ [M], $T^\circ = 25$ [°C], O/A = 1, tiempo de agitación de 18 minutos.

3.5 Efecto del tiosulfato de sodio

En figura 3.5 se observa que al aumentar la concentración de tiosulfato, la extracción de oro aumenta al usar TBP, obteniendo un valor máximo para una concentración de 1,2 M de $S_2O_3^{2-}$. Al utilizar ALIQUAT 336, la extracción de oro disminuye con el aumento de concentración de tiosulfato; posiblemente el anión de tiosulfato actúa como un competidor del complejo de oro, lo cual hace indicar que a mayores concentraciones podría actuar como un anión reextractante.

3.6 Efecto del ión cloruro

En figura 3.6 se observa que al agregar cloruro de sodio, la extracción de oro disminuye. El reactivo ALIQUAT 336 es una sal de amina que posee cloro en su estructura molecular, siendo este el ión intercambiado por el complejo de oro. Por esto, al aumentar la concentración de cloruro en el sistema se inhibe la extracción de oro.

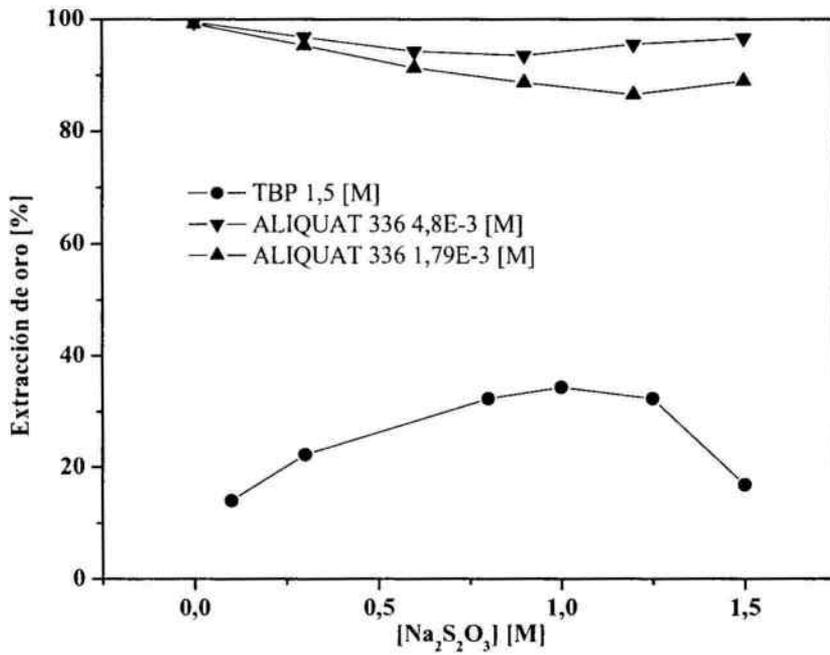


Figura 5. Extracción de tiosulfato de oro v/s $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$ utilizando TBP 1,5 [M] y pH equilibrio = 11,5, ALIQUAT 336 4,8 E-3 y 1,79 E-3 [M] y pH de equilibrio = 11,9 $[\text{NH}_3]$ 0,4 [M], Shellsol 2046 AR como diluyente, $[\text{Au}]$ inicial promedio de 10 [mg/L], $T^\circ = 25$ $^\circ\text{C}$, O/A= 1, tiempo de agitación de 18 minutos.

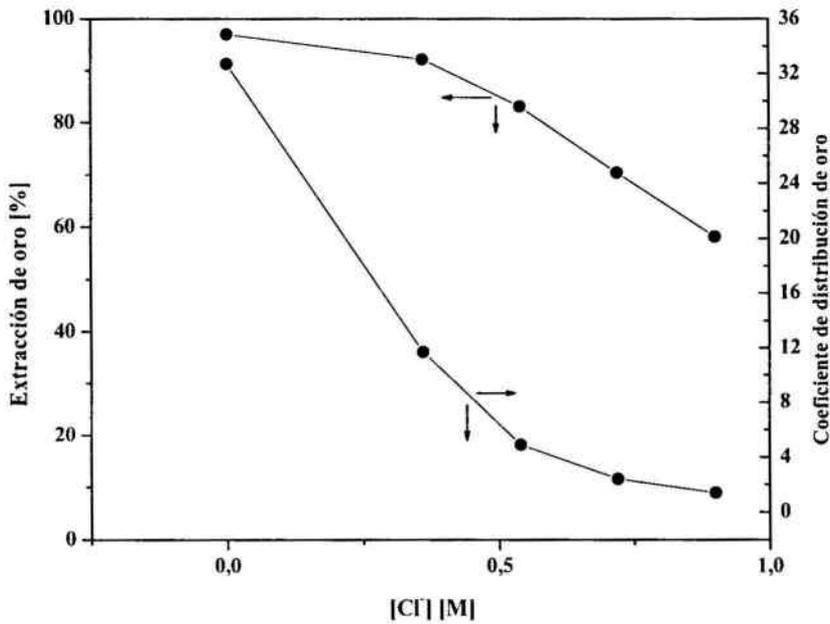


Figura 6. Extracción de tiosulfato de oro v/s $[\text{Cl}^-]$ ALIQUAT 336 y pH de equilibrio = 11,9, Shellsol 2046 AR como diluyente, $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 0,05$ [M], $[\text{Au}]$ inicial promedio de 10 [mg/L], $T^\circ = 25$ $^\circ\text{C}$, O/A= 1, tiempo de agitación de 18 minutos.

3.7 Reextracción del oro

Para finalizar este estudio, se han realizado ensayos complementarios para investigar las posibilidades de reextracción del oro de fases orgánicas cargadas con el metal precioso. Así, el empleo de disoluciones de cloruro sódico y a pH alcalino, permite la recuperación del oro de las fases orgánicas, con rendimientos cercanos al 95% y en una etapa.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se obtuvieron de este estudio son:

- La amina cuaternaria ALIQUAT 336 es un buen extractante de oro en medio tiosulfato-amoniaco.
- La presencia de tributilfosfato (TBP) en la fase orgánica produce una solubilidad completa del extractante y diluyente, y a la vez evita la posible formación de terceras fases.
- La presencia de tiosulfato libre mejora la extracción de oro, hasta un valor de 1,2M, luego la perjudica.
- El amoniaco no influye en la extracción de oro con ALIQUAT 336, al igual que el pH en el rango de 6,5 a 12,5.
- La extracción de oro con tributilfosfato(TBP) fue deficiente, alcanzando extracciones de 20% bajo las diferentes condiciones experimentales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos por el patrocinio recibido de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) a través del proyecto FONDECYT 1040180.

6. REFERENCIAS

- Kejun, Liu., Yen, Wan., Shibayama, Atsushi., Miyazaki, Toshio. & Fujita, Toyohisa. Gold extraction from thiosulfate solution using trioctylmethylammonium chloride. *Hydrometallurgy*, 73:1-2, p.41-53, 2004.
- Navarro, P., Vargas, C., Villarroel, A. & Alguacil, F. J. On the use of ammoniacal/ammonium thiosulphate for gold extraction from a concentrate. *Hydrometallurgy*, 65:1, p.37-42, 2002.
- Navarro, P., Alvarez, R., Vargas, C. & Alguacil, F. J. On the use of zinc for gold cementation from ammoniacal-thiosulphate solutions. *Minerals Engineering*, 17:6, p. 825-831, 2004.
- Navarro, P., Vargas, C., Alonso, M. & Alguacil, F. J. The adsorption of gold on activated carbon from thiosulfate-ammoniacal solutions. *Gold Bulletin*, 39:3, p.93-97, 2006.
- Navarro, P., Vargas, C., Revoco, V. & Orellana, J. Recuperación de oro desde un medio amoniaco-tiosulfato con resina de intercambio iónico AMBERLITE IRA-410. *Rev. Metal.*, 42:5, p.354-366, 2006.
- Navarro, P., Vargas, C., Araya, E., Pavez, F., & Alguacil, F. J. Recuperación de oro a partir de disoluciones de amoniaco y tiosulfato utilizando carbón activado. *Rev. Metal.*, 42:3, p.222-233, 2006.
- Zhao, Jin., Wu, Zhichun. & Chen, Jiayong. Extraction of gold from thiosulfate solutions with alkyl phosphorus esters. *Hydrometallurgy*, 46:3, p.363-372, 1997.
- Zhao, Jin., Wu, Zhichun. & Chen, Jiayong. Extraction of gold from thiosulfate solutions using amine mixed with neutral donor reagents. *Hydrometallurgy*, 48:2, p.133-144, 1998.