

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN  
FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS  
ANEXO 2 – DETALLES DE LA PROPUESTA

Investigación Básica <input checked="" type="checkbox"/> X	Investigación Aplicada <input type="checkbox"/>
<b>DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTO(S):</b>	
1. Departamento de Metalurgia Extractiva	
2.	
<b>LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:</b>	
1. Mineralurgia metalurgia extractiva de minerales	
2.	

<b>DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)</b>	
Ciencias Naturales y Exactas;	X
Ingeniería y Tecnologías;	
Ciencias Médicas;	
Ciencias Agrícolas;	
Ciencias Sociales;	
Humanidades	

<b>OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)</b>	
Exploración y explotación del medio terrestre;	
Ambiente;	
Exploración y Explotación del espacio;	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras;	
Energía;	
Producción y tecnología industrial;	
Salud;	
Agricultura;	
Educación;	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación;	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos;	
Defensa;	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU);	X
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes.	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



1	<b>Proyecto de Investigación</b>
	<b>Título:</b> Recuperación de oro con agentes lixiviantes no cianurados
	<b>Resumen del proyecto</b> (máximo 200 palabras) <p>El proyecto de investigación se centra en la recuperación de oro a partir minerales o de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) empleando agentes lixiviantes no cianurados. En la actualidad las sales de cianuro son empleadas para la recuperación de metales preciosos debido a su elevada eficiencia en la disolución de metales preciosos. No obstante, en países desarrollados se ha prohibido el uso de sales de cianuro debido a los impactos ambientales negativos que causa el uso de estas sustancias. Debido a la toxicidad y a las problemáticas ambientales que causan las sales de cianuro, se propone investigar agentes lixiviantes alternativos que no sean dañinos ni con el medio ambiente ni con el ser humano. Dentro de estas sustancias se encuentran el tiosulfato de sodio, el amoníaco y los aminoácidos como es el caso de la glicina y el ácido glutámico. Sin embargo, estas sustancias no han sido lo suficientemente investigadas para ser aplicadas a nivel industrial con la misma eficacia con la que se usan las sales de cianuro. Es así, que este proyecto pretende investigar las mejores condiciones para el adecuado uso de los agentes lixiviantes no cianurados en los diferentes procesos hidrometalúrgicos (lixiviación, adsorción, desorción y electrodeposición) para la recuperación de oro.</p>
	<b>Palabras clave</b> (4-6): Lixiviantes no cianurados, hidrometalurgia, oro, minerales



2	<b>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
---	---

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 Objetivo General

- Recuperación de oro empleando agentes lixiviantes no cianurados

#### 2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Evaluar el proceso de lixiviación para recuperación de oro con agentes lixiviantes no cianurados
- b. Evaluar la recuperación de oro de las soluciones provenientes de lixiviación mediante adsorción con carbón activado
- c. Evaluar la recuperación de oro mediante el uso de resinas de intercambio iónico
- d. Evaluar los procesos de desorción y electrodeposición para la obtención de oro

#### 2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Obtener recuperaciones de oro en las soluciones de lixiviación comparables a las obtenidas por cianuración
- b. Encontrar las mejores condiciones para la adsorción de oro con carbón activado
- c. Encontrar las mejores condiciones para la recuperación de oro mediante el empleo de resinas de intercambio iónico.
- d. Encontrar los eluyentes adecuados en el proceso de desorción y las mejores condiciones para la obtención de oro mediante electrodeposición

3	<b>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</b>
---	--

El presente proyecto de investigación permitirá encontrar las mejores condiciones para la recuperación de oro a partir de minerales o de RAEE en cada uno de los procesos hidrometalúrgicos convencionales (lixiviación, adsorción, desorción y electrodeposición). Cabe resaltar que las condiciones óptimas con las que se lleva a cabo la recuperación de metales preciosos con sales de cianuro no funcionan con la misma eficiencia al emplear otros agentes lixiviantes. Además, se debe tener en cuenta que los procesos de recuperación de oro para agentes lixiviantes no cianurados no se encuentran desarrollados y por esta razón su implementación a nivel industrial ha sido casi nula. Por lo tanto, el presente proyecto permitirá generar el conocimiento necesario para aplicar agentes lixiviantes de naturaleza química distinta al cianuro en los procesos hidrometalúrgicos destinados a la recuperación de oro y que estos a la larga puedan ser implementados a nivel industrial.



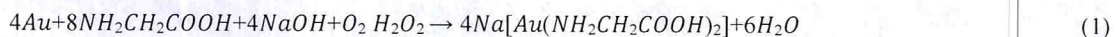
4 Productos esperados (marcar con una "X" al menos uno de los productos no señalados)

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	
g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	

5 Descripción y metodología y diseño del proyecto

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

En los últimos años, se ha incursionado en el uso de agentes lixiviantes que sean amigables con el ambiente. Entre ellos se encuentran los aminoácidos los cuales, al ser menos costosos que las sales de cianuro, también pueden disolver el oro de minerales. Estas sustancias poseen un comportamiento anfótero, es decir, se comportan tanto como ácidos o como bases ya que tienen al menos un grupo carboxilo (-COOH) y un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) en su estructura [1, 2]. En los últimos años se ha investigado la lixiviación de oro y plata en soluciones básicas y neutras de glicina a temperaturas ambiente y temperaturas comprendidas entre 23 y 60 °C, con la adición de peróxido de hidrógeno [3]. Al usar una solución de glicina, se debe controlar tanto el pH como el potencial de óxido-reducción (Eh) el cual deber de al menos 600 mV. De esta manera la glicina forma el glicinato áurico [Au(NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup>)<sub>2</sub>] al entrar en contacto con el oro metálico según la siguiente ecuación [3]:

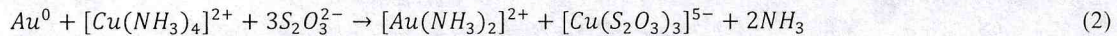


Dentro de los agentes lixiviantes no cianurados a evaluar se encuentra también el tiosulfato de sodio el cual es altamente eficiente en la disolución de oro y no presenta impactos ambientales negativos. Sin embargo, el tiosulfato de sodio por sí solo presenta una cinética de disolución de oro mucho menor que las sales de cianuro [4, 5]. Por lo tanto, es imperativo utilizar iones cobre (II) e hidróxido de amonio los cuales hacen las veces de catalizador en la disolución del oro. De esta manera, es posible obtener recuperaciones de oro en solución comparables al proceso de cianuración. Cabe resaltar que, que los parámetros a controlar durante los procesos de lixiviación con agentes lixiviantes no cianurados, se deben optimizar para cada material a lixiviar. La disolución de metales preciosos con tiosulfato de sodio como agente lixiviante es un proceso hidrometalúrgico que debe ser desarrollado para cada tipo de mineral o RAEE, y los parámetros que controlan la disolución de metales preciosos deben ser evaluados de acuerdo a la composición química y mineralógica del material a lixiviar [4]. Finalmente, es importante señalar que la lixiviación con tiosulfato de sodio puede aplicarse de manera exitosa a materiales que contienen sustancias cianicidas y materiales carbonáceos ya que estas sustancias pueden actuar como catalizador, como es el caso del cobre, y el complejo oro-tiosulfato presenta una baja afinidad con materiales carbonáceos [6].

En el caso de la cianuración se sabe que sustancias cianicidas como el cobre consumen el cianuro libre disponible, evitando de esta manera la reacción del anión cianuro con el oro contenido en el mineral. En el caso de sustancias carbonáceas ocurre el fenómeno conocido como *pre-robbing* el cual consiste en que el oro



disuelto en forma de complejo oro-cianuro es adsorbido por dichas sustancias carbonáceas. Por otro lado, el proceso de lixiviación con tiosulfato posee la ventaja de que sustancias cianicidas como el cobre o el hierro permiten catalizar la disolución de oro. Además, el complejo oro-tiosulfato tiene poca afinidad por materiales carbonáceos por lo que no existe el problema de *pre-robbing* [4]. No obstante, la lixiviación con tiosulfato de sodio debe ser optimizada con el fin de obtener una elevada velocidad de disolución del oro a través del uso de la cuprotetramina como catalizador [7, 8]:



A pesar de la baja toxicidad que presenta el tiosulfato de sodio y las ventajas que presenta sobre el proceso de cianuración; no se ha podido implementar a nivel industrial ya que la recuperación del complejo oro-tiosulfato no es posible realizarla mediante los métodos convencionales de adsorción con carbón activado. Es así, que es imperativo la búsqueda de métodos alternativos que permitan la recuperación de oro a partir de las soluciones lixiviadas con tiosulfato de sodio. Actualmente, las técnicas más empleadas son cementación y recuperación con resinas de intercambio iónico [9, 10].

### Metodología

a) Para evaluar el proceso de lixiviación se procederá a determinar el tiempo óptimo de operación al cual se obtiene la mayor disolución de oro. Para la disolución de oro con glicina se preparará una solución de 500 mL de glicina 1,0 M procurando mantener el Eh en 600 mV con la adición de  $H_2O_2$  y el pH a 10.5 con la adición de una solución de NaOH 0.1 M. En el caso del tiosulfato de sodio se preparará una solución de 500 mL de tiosulfato de sodio 0,7 M a la cual se le agregará sulfato de cobre y amoníaco. De esta manera se formará la cuprotetramina que hace las veces de catalizador en la disolución de oro. Se añadirá hidróxido de amonio para controlar el pH en un rango que va entre 9,6 a 11,0, y una vez estabilizada la solución lixivante se añadirá el material a lixiviar. El proceso de lixiviación se llevará a cabo durante 24 horas durante el cual se tomarán muestras a diferentes intervalos de tiempo para determinar la recuperación de oro.

Una vez terminado el proceso de lixiviación, la pulpa será filtrada para obtener la solución fuerte la cual contiene el complejo oro-tiosulfato. Posteriormente se añadirán 300 mL de agua al filtro prensa con el fin de extraer todo el oro remanente en el relave. El relave obtenido se secará en la estufa a una temperatura de 100 °C durante 3 horas. Se mezclará 30 g del relave con una carga fundente previamente establecida para realizar ensayo al fuego y de esa forma obtener el oro que no se disolvió. Las alícuotas obtenidas durante la lixiviación serán analizadas por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Analyst 300 marca Perkin Elmer. De igual forma, el doré obtenido en ensayo al fuego será disgregado con agua regia y analizado mediante espectrofotometría de absorción atómica para completar el balance metalúrgico.

Una vez determinado el tiempo óptimo de lixiviación se procederá a variar la concentración de cobre iónico presente en la solución lixivante a 2 mM, 6 mM y 10 mM. Conocida la concentración de cobre iónico óptima, se procederá a variar la concentración de tiosulfato de sodio (0,7 M; 0,9 M y 1,0 M). Después, conociendo las concentraciones óptimas de tiosulfato de sodio y cobre iónico, se procederá a variar el porcentaje de sólidos a 15.00% y 33.33%. Por último, se variará el tamaño de partícula del mineral a 90  $\mu m$ , 100  $\mu m$  y a 132  $\mu m$  con el fin de determinar las condiciones idóneas del proceso de lixiviación con tiosulfato de sodio.

b) Para evaluar el proceso de recuperación de oro por adsorción con carbón: Se procederá a utilizar las soluciones lixivadas que contienen el complejo oro-tiosulfato y oro-glicinato. Se empleará carbón activado granular Calgon GCR20 de 1000  $m^2/g$  de superficie específica. En primer lugar, se construirán las isotermas de adsorción para lo cual se emplearán las siguientes cantidades de carbón activado: 0.01, 0.10, 1.00 y 10.00 g. Cada cantidad de carbón activado se pondrá en contacto mediante agitación magnética con las soluciones provenientes de lixiviación durante 24 horas. Al principio y al final del proceso de adsorción se tomarán muestras para analizar el contenido de oro por absorción atómica y de esta manera construir las isotermas de adsorción. Con las isotermas de adsorción se determinará la relación óptima carbón activado/solución y con dicho valor se evaluará el tiempo óptimo de adsorción. En este caso 500 mL de la solución de lixiviación se agitarán con la cantidad óptima de carbón activado durante 24 horas. Se tomarán muestras de la solución a diferentes intervalos de tiempo para monitorear la recuperación de oro y establecer el tiempo óptimo de adsorción.



c) Para evaluar el proceso de recuperación de oro mediante el uso de resinas de intercambio iónico: se procederá a utilizar las soluciones lixiviadas que contienen el complejo oro-tiosulfato y oro-glicinato. Se emplearán resinas comerciales como es el caso de la Resina aniónica MTA 5011 Purogold. En primer lugar, se construirán las isotermas de adsorción para lo cual se emplearán las siguientes cantidades de resina: 0,01; 0,10; 1,00 y 10,00 g. Cada cantidad de resina se pondrá en contacto mediante agitación magnética con las soluciones provenientes de lixiviación durante 24 horas. Al principio y al final del proceso de intercambio iónico se tomarán muestras para analizar el contenido de oro por absorción atómica y de esta manera construir las isotermas de adsorción. Con las isotermas de adsorción se determinará la relación óptima resina/solución y con dicho valor se evaluará el tiempo óptimo de recuperación de oro. En este caso 500 mL de la solución de lixiviación se agitarán con la cantidad óptima de resina durante 24 horas. Se tomarán muestras de la solución a diferentes intervalos de tiempo para monitorear la recuperación de oro y establecer el tiempo óptimo de recuperación de oro. Los resultados se compararán con los obtenidos por adsorción con carbón activado.

d) Para evaluar los procesos de desorción y electrodeposición: se procederá a evaluar diferentes tipos de eluyentes como son: tiosulfato de sodio (para el caso del proceso llevado a cabo con tiosulfato), glicina (para el caso del proceso llevado a cabo con glicina) y para ambos casos: tiocianato, cloruro de sodio, sulfito de sodio entre otros. En estos ensayos se utilizarán tanto las resinas como el carbón activado enriquecidos en los complejos de oro. Como la desorción es un proceso endotérmico se evaluarán dos temperaturas (temperatura ambiente de Quito y 50 °C) además de diferentes concentraciones de los mencionados eluyentes (1,0; 1,5 y 2,0 M). Durante el proceso, se tomarán muestras con el fin de determinar la variación de concentración de oro en solución mediante absorción atómica.

Para el proceso de electrólisis, se utilizarán tanto las soluciones provenientes de lixiviación como de desorción. El proceso se llevará a cabo en una celda electrolítica con electrodos de acero inoxidable a diferentes voltajes (0,5; 1,0 y 1,5 V) durante diferentes intervalos de tiempo (1, 3 y 6 h). Durante el proceso, se tomarán muestras con el fin de determinar la variación de concentración de oro en la solución que se encuentra en la celda electrolítica.

1. Nuñez, V. (2012). *Curvas de titulación de aminoácidos*. Obtenido de: <http://diarium.usal.es/vgnunez/files/2012/1/4.-Curvas-de-titulaci%C3%B3n-de-aminoacidos.pdf> (Enero, 2018).
2. Perea, G. (2016). *Evaluación de una metodología alternativa a la cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/55035/1/1065623713.2016.pdf> (Noviembre, 2017).
3. Oraby, E., Eksteen, J. (2015). The leaching of gold, silver and their alloys in alkaline glycine-peroxide solutions and their adsorption on carbon. *Hydrometallurgy, volumen (152)*, 99-203.
4. Haddad, P.; Grosse, A.; Dicinowski, G. y Shaw, M. (2003). Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors. *Hydrometallurgy*, 69: 1-18.
5. Zelinsky, A. y Novgorodtseva, O. (2013). EQCM study of dissolution of gold in thiosulphate solutions. *Hydrometallurgy*, 138, 79-83.
6. Senanayake, G. (2011). Gold leaching by copper (II) in ammoniacal thiosulphate solutions in the presence of additives. Part I: A review of the effect of hard-soft and Lewis acid-base properties and interactions of ions. *Hydrometallurgy*, 115-116, 1-20.
7. Navarro, P.; Villarroel, A. y Alguacil, F. (2001). Lixiviación de oro con tiosulfato de amonio catalizado con ion cúprico desde un concentrado polimetálico. *Jornadas SAM-CONAMET* (pp. 93-97). Santiago de Chile, Chile.
8. Senanayake, G. y Zhang, X. (2012). Gold leaching by copper (II) in ammoniacal thiosulphate solutions in the presence of additives. Part II: Effect of residual Cu (II), pH and redox potentials on reactivity of colloidal gold. *Hydrometallurgy* 115-116, 21-29.
9. Hiskey, J. y Lee, J. (2003). Kinetics of gold cementation on copper in ammoniacal thiosulfate solutions. *Hydrometallurgy*, 69, 45-56.
10. Navarro, P.; Vargas, C.; Alonso, M. y Alguacil, F. (2006). The adsorption of gold on activated carbon from thiosulfate-ammoniacal solutions. *Gold Bulletin*, 2006, 93-97.



6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos disponibles para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio de Metalurgia Extractiva	Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elemer AA300	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Microscopio Electrónico de Barrido	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Tamiz vibratorio con motor Lenoy Samar tipo LS8011 de 0,25 kW	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Molino de bolas	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Agitador, Junke&Kunkel de GMBH y Co, 100 a 2000 RPM	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Filtro a presión, Junke&Kunkel de GMBH y Co, 5 L	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Mufla eléctrica Sepor	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva
	Equipo Quantasorb para análisis superficial BET	Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Metalurgia Extractiva

6.2 Breve justificación del equipo requerido

- No requieren equipos adicionales

6.3 Fondos Adicionales

- No se requiere fondos adicionales





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN  
FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS  
ANEXO 4 - DECLARACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica

Investigación aplicada


TÍTULO DEL PROYECTO

Recuperación de oro con agentes lixiviantes no cianurados

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que todos los bienes adquiridos en proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto durante la ejecución del mismo.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.

  
-----  
Firma del Director del Proyecto  
Nombre: Ing. Sebastián Gámez MSc.  
C.I.: 1716519531

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de **REMEX**....., en sesión del día **15/10/2018**..... mediante resolución No. **73-2018**

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.

  
-----  
Firma del Jefe del Departamento  
Nombre: Ph.D. Alicia Guevara  
C.I.: 171117304-5

