



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



***“Determinación de los parámetros que influyen en la inhibición
del fenómeno de pregrobbing en minerales de oro”***

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: Bach. MONROY SOTO, KLYNERS NAZARENO

ASESOR: Dr. RAÚL GERARDO ÁVILA MEZA

Ica, Perú

2026

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis seres queridos, principalmente a mis padres, por ser el pilar fundamental y el apoyo constante a lo largo de mi formación académica.

A mis maestros, quienes con sus enseñanzas y orientación contribuyeron a mi desarrollo profesional.

Y a todas aquellas personas que llegaron a formar parte de mi vida, quienes de una u otra manera han sido inspiración para seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por guiar mi camino y brindarme la fortaleza necesaria para superar cada dificultad presentada a lo largo de esta etapa. Gracias por acompañarme siempre, permitiéndome aprender de mis errores y orientando el destino de mi vida. A ti, Padre Celestial, creador del universo, elevo mi sincero agradecimiento.

Asimismo, manifiesto mi gratitud a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible mi educación y me brindaron su apoyo incondicional durante toda mi formación.

De igual manera, agradezco a los catedráticos de mi facultad, quienes compartieron sus conocimientos y contribuyeron significativamente a mi formación académica y profesional con dedicación y amabilidad.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que confiaron en mí y que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo y motivación para continuar y culminar con éxito este importante logro.

Índice de Contenidos

	Pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras	viii
Resumen	xi
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN	01
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	03
2.1. Pregrobbing	03
2.1.1. Minerales no carboníferos	04
2.1.2. Minerales carbonáceos	04
2.1.2.1. Mineralogía	05
2.1.2.2. El componente de carbón activado	06
2.1.2.3. Los componentes orgánicos	06
2.1.3. Tratamiento de los minerales de pregrabbing	07
2.1.3.1. Flotación	07
2.1.4. Tratamiento de los minerales de pregrabbing	08
2.1.4.1. Flotación	08
2.1.4.2. Tostado	09
2.1.4.3. Oxidación química	09
2.1.4.4. Pulpa de carbón activado o resina en lixiviación	11
2.1.4.5. Agentes cegadores	11
2.2. Actividad pregrabber	12
2.3. Distribución en carga de oro del adsorbente	19
2.4. Porosidad del pregrabber	22
2.5. Concentración de la solución	26

III.	RESULTADOS	30
3.1.	Adsorción de oro sobre minerales puros	30
3.2.	Cianuración de minerales puros	32
3.3.	Adsorción versus fijación física	34
3.4.	Adsorción de oro sobre los minerales de pregrobbing	35
3.5.	Cianuración de los minerales de pregrobbing	36
IV.	DISCUSIÓN	38
4.1.	Recuperación de oro de los minerales de pregrobbing	38
4.2.	Cianuración convencional de los minerales de pregrobbing	39
4.3.	Cianuración en presencia de una resina de intercambio iónico	40
4.4.	Cianuración en presencia de una resina y un compuesto orgánico	43
V.	CONCLUSIONES	52
VI.	RECOMENDACIONES	54
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	55

Índice de Tablas

Tabla 1 Coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de las diferentes actividades de pregrobbing en la extensión del pregrobbing.	16
Tabla 2 Los valores de carga de equilibrio del adsorbente y el pregrobber se determinan para las diferentes actividades del pregrobber	18
Tabla 3 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de la distribución de la carga de oro de la resina sobre el grado de pregrobbing.	21
Tabla 4 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia en mm estimados para determinar el efecto de la porosidad de pregrobber en la extensión del pregrobbing.	25
Tabla 5 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de la concentración de la solución en la extensión del pregrobbing.	28
Tabla 6 La adsorción del oro sobre minerales puros.	30
Tabla 7 La desorción de oro de minerales puros.	32
Tabla 8 La pérdida de contenido de oro en minerales puros debido al lavado.	34
Tabla 9 Adsorción de oro sobre los minerales pregrobbing.	35
Tabla 10 La desorción de oro de los minerales cargados y de pregrobbing.	37
Tabla 11 La pérdida de oro en los minerales de pregrobbing debido al lavado.	37
Tabla 12 Cianuración convencional de minerales de pregrobing.	39
Tabla 13 Cianuración de los minerales pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro (RIL).	41
Tabla 14 Cianuración o minerales de pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y diésel	45
Tabla 15 Cianuración de los minerales de pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y queroseno.	45

Tabla 16 Cianuración de minerales en pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro y lauril sulfato de sodio (SLS).	46
Tabla 17 Cianuración de los minerales en pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro y tricaprilmétilo-amonio cloruro (Aliquat 336)	46
Tabla 18 Cianuración de minerales en pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y dodecilamina (DDA).	47

Índice de Figuras

Fig. 1 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y el carbono	13
Fig. 2 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro sobre la resina y carbono cargado al 25 %	14
Fig. 3 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono cargado al 50 %	14
Fig. 4 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono cargado al 75 %	15
Fig. 5 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de aceite de cianuro de oro en la resina en las diferentes actividades de pregrobber.	15
Fig. 6 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro sobre el carbono en las diferentes actividades de pregrobber.	16
Fig. 7 Datos iniciales de tasa para determinar los coeficientes de transferencia de película del adsorbente y las diferentes actividades de pregrobber	17
Fig. 8 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para los perfiles combinados de la resina en presencia del pregrobber.	17
Fig. 9 Representación gráfica de los coeficientes de transferencia de película estimados al evaluar la resina y el carbono por separado en las diferentes actividades de pregrobber	18
Fig. 10 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en resina cargada al 50 % y carbono cargado al 50 % para determinar el efecto de la distribución de carga de la resina en el grado de pregrobbering.	20
Fig. 11 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y el pregrobber en diferentes cargas de resina de oro.	21
Fig. 12 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para la resina en presencia del pregrobber.	22

Fig. 13 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono tratado para determinar el efecto de la porosidad de pregrobbber en la extensión del pregrobbling.	24
Fig. 14 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina, carbono y el WBEN de carbono tratado se evaluaron por separado.	24
Fig. 15 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para los perfiles combinados de la resina cuando están en contacto con el carbono tratado y el carbono no tratado.	25
Fig. 16 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro.	26
Fig. 17 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en una solución con una baja concentración inicial de cianuro de oro.	27
Fig. 18 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en el pregrobbber en una solución con alta concentración inicial de oro y en una solución con baja concentración inicial de oro	27
Fig. 19 Los datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para la resina y el pregrobbber en una solución con una baja concentración inicial de oro.	28
Fig. 20 Efecto del contenido total de carbono orgánico sobre la cantidad de oro absorbida por los minerales de pregrado.	36
Fig. 21 Aumento porcentual en la recuperación de oro mediante el uso de resina de intercambio iónico en la solución de lixiviación.	42
Fig. 22 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 1 en presencia de compuestos orgánicos.	48
Fig. 23 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 2 en presencia de compuestos orgánicos.	48
Fig. 24 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 3 en presencia de compuestos orgánicos.	49

Fig. 25 Comparación de las recuperaciones de oro obtenidas al aplicar los diferentes compuestos orgánicos.

50

RESUMEN

En una planta típica de recuperación de oro, se estima que una cantidad considerable del oro en los residuos puede estar en forma recuperable mediante cianuración. El oro en los residuos puede atribuirse en términos generales (1) la presencia de cianuros, que consumen el radical cianuro y por tanto inhiben la disolución del oro, (2) oro refractario resultante de recubrimientos en algunas partículas de oro, (3) partículas grandes de oro disueltas incompletamente debido a un tiempo de contacto inadecuado, (4) oro no liberado como resultado de un producto molido demasiado grueso, y (5) oro disuelto durante la lixiviación, luego adsorbido por otros minerales o por materia carbonácea en la pulpa. Este estudio se centra en este último, donde el oro disuelto es impregnado durante la lixiviación por materiales adsorbentes en el mineral. El término pregrobbing se refiere a la adsorción activa de oro a partir de soluciones de cianuro por parte de componentes del mineral.

Se ha sugerido que el oro ya disuelto por cianuro puede ser adsorbido por otros minerales y por materia carbonácea en la pulpa. La presencia de materia carbonácea en los minerales de oro presenta un problema doble: la mala liberación de oro de la matriz carbonácea y la absorción del oro disuelto por los residuos de lixiviación carbonosa. Estudios de varios otros investigadores que utilizan minerales de diversas partes del mundo han demostrado de forma similar que la materia carbonácea natural asociada a los minerales de oro refractarios a menudo se comporta como carbón activo cuando está en contacto con soluciones de aurocianuro. También existe cierto debate sobre hasta qué punto el oro puede adsorberse en las superficies de los minerales. Diferentes autores han identificado que minerales como la pirita, sulfuros de cobre, cuarzo y silicatos en capas, como caolín, flogramita e ilita, presentan propiedades de adsorción de oro.

El carbón activado se utilizó por primera vez como modelo de pregrobber en experimentos de adsorción cinética por lotes en presencia de una resina de intercambio aniónico fuerte selectiva con base de oro. El carbón activado se utilizó para simular el efecto de pregrobbing del material carbonáceo en el mineral de oro. Estos aspectos se investigaron centrándose tanto en el comportamiento cinético como en el de equilibrio del sistema. Los resultados mostraron que el fenómeno del pregrobbing es función de la actividad y porosidad del pregrobber, así como de la distribución de la carga de oro de la resina, la concentración de oro de la solución y el tiempo.

Se examinaron las propiedades adsorbientes de oro de minerales puros como pirita, cuarzo, caolín y calcopirita. Los experimentos de adsorción de oro demostraron que

todos los minerales adsorbían oro en cierta medida, siendo los minerales de cobre y sulfuro (calcopirita y pirita) el efecto de pregrobación más fuerte. Sin embargo, era posible extraer la mayor parte del oro de los minerales cargados en presencia de cianuro de potasio. Por tanto, el efecto predrogante de estos minerales probablemente no sería un problema en la mayoría de las plantas de carbono en pulpa o resina en pulpa.

Las pruebas en varios minerales de pregrado indicaron que el contenido de carbono orgánico de los minerales supone un problema, ya que los minerales con alto contenido de carbono orgánico muestran menores capacidades de desorción de oro. La resina en estudios de lixiviación con resina selectiva de oro resultó ser mucho más eficaz que la cianudación convencional, aunque en algunos casos aún son posibles recuperaciones bajas de oro. El uso de agentes cegadores orgánicos en una configuración de resina en lixiviación también demostró ser una combinación eficaz. Se encontró que varios compuestos orgánicos tenían un efecto cegador, reduciendo la adsorción de cianuro de oro por los componentes de pregrobbing en el mineral.

Palabras clave: Pregrobbing, cianuración, minerales de oro.

ABSTRACT

In a typical gold recovery plant, it is estimated that a significant amount of gold in the tailings may be in the form obtained by cyanidation. Gold in tailings can be attributed, in general terms, to (1) the presence of cyanides, which consume the cyanide radical and thus prevent the dissolution of gold, (2) refractory gold resulting from coatings on some gold particles, (3) due to large, immature particles of incomplete gold (4) as a result of excessive dissolution of gold coarsely ground product, and (5) gold dissolved during leaching, and then adsorbed by other minerals or carbonaceous matter in the pulp. This study focuses on the latter, where molten gold is impregnated during the leaching of adsorbent materials on the ore.

The term "pregnancy" refers to the active adsorption of gold from cyanide solutions of the ore components. It has been suggested that gold that has been dissolved by cyanide can be adsorbed by other minerals and carbonaceous matter in the pulp. The presence of carbonaceous matter in gold ores presents two problems: poor release of gold from the carbonaceous matrix and adsorption of dissolved gold by carbonaceous leaching residues. Studies by several researchers using ores from different parts of the world have similarly shown that the natural carbonaceous matter associated with refractory gold ores often acts as activated carbon when in contact with cyanide solutions. There is also a debate about the extent to which gold reaches the minerals.

Different authors have identified minerals such as pyrite, copper sulfides, quartz, and layered silicates, such as kaolin, phlogramite, and illite, with gold adsorption properties. Activated carbon was first used as a pregrobber model in batch kinetic adsorption experiments in the presence of a gold-based, selective, strong anion exchange resin. Activated carbon was used to simulate the impregnation effect of carbonaceous material on gold ore.

These aspects were investigated by focusing on both kinetic and equilibrium behavior of the system. The results showed that the impregnation depends on the activity and porosity of the pre-grobber, as well as the distribution of the gold load in the resin, the concentration of gold in the solution, and the time. The gold adsorption properties of pure minerals such as pyrite, quartz, kaolin, and chalcopryrite were examined. Gold adsorption experiments showed that all minerals adsorbed gold to some extent, with copper and sulfide minerals (chalcopryrite and pyrite) having the strongest pre-grobber effect. However, it is possible to extract most gold from mineral deposits in the presence of potassium cyanide. Therefore, the pre-grobber effect of these minerals may not be a problem in most carbon-in-pulp or resin-in-pulp plants.

Tests on some pregrobbing ores have shown that the organic carbon content of the ores presents a problem, as ores with a high organic carbon content have a lower gold extraction capacity. Resin leaching in selective gold resin leaching studies has been shown to be more efficient than conventional cyanidation, although lower gold recoveries are still possible in some cases. The use of organic blinding agents in the resin leaching configuration also proved to be an effective combination. Some organic compounds have a blinding effect, reducing the adsorption of gold cyanide by the pregrobbing components on the ore.

Keywords: Pregrobbing, cyanidation, gold ores.

I. INTRODUCCIÓN

La industria minera de oro en Sudáfrica ha sido el pilar de la economía sudafricana durante más de un siglo. Gracias a la minería de oro, muchas ciudades han surgido y han proporcionado empleo a millones de personas: gran parte del desarrollo de infraestructuras de carreteras, generación eléctrica, reticulación de agua, telecomunicaciones, vivienda y el desarrollo de la industria secundaria para proveer insumos a la industria minera de oro han resultado directamente de la minería de oro.

Sudáfrica es considerada la mayor industria minera de oro del mundo, con aproximadamente el 40 por ciento de las reservas mundiales conocidas de oro. Por lo tanto, es seguro decir que la minería de oro seguirá desempeñando un papel vital en el desarrollo económico del país en términos de contribuciones a la creación de riqueza, al empleo, al desarrollo de infraestructuras y a las ganancias en divisas extranjeras

El desafío más fundamental al que se enfrenta la industria minera del oro es la productividad del trabajo y el capital y su impacto en el coste de la minería y extracción del oro. La minería de oro es intensiva tanto en mano de obra como en capital, y la creciente profundidad minera, que en algunos casos ha llegado a niveles de cuatro kilómetros bajo la superficie, las barreras técnicas, la disminución constante de las pendientes y la fluctuación del precio del oro han ejercido una enorme presión sobre los márgenes de beneficio.

Estos factores han puesto más énfasis en el desarrollo de procesos de minería de oro más efectivos para mejorar la recuperación del oro, minimizar posibles pérdidas durante la extracción y, en última instancia, hacer que el proceso de recuperación del oro sea más viable económicamente.

El oro se encuentra en la naturaleza principalmente como oro autóctono. Varias aleaciones de oro, siendo las más importantes el electrum, una aleación de oro y plata, y los telururos constituyen los principales minerales de oro. Las otras aleaciones y telururos tienen propiedades y estructuras ópticas diferentes al electrum y son raros. A los tres tipos anteriores de minerales portadores de oro, oro nativo, aleaciones de oro y compuestos auríferos, debe añadirse una cuarta clase, a saber, oro "invisible", que se dispersa en forma de solución sólida o inclusiones submicronicas en minerales sulfurosos y sulfosales [1].

Existe mucha literatura que clasifica la presencia de oro en los minerales bajo ciertos títulos. McQuiston y Shoemaker (1975) [2]propusieron la siguiente clasificación:

- Oro nativo, que es la forma de oro más común que se encuentra en los minerales.

- El oro asociado a sulfuros, que aparecen ya sea como partículas libres o diseminados en sulfuros. La pirita aurífera con oro finamente diseminado en su matriz es bastante común.
- Telururos de oro, que suelen aparecer junto con oro y sulfuros nativos. La calaverita y la krennerita son minerales que contienen alrededor del 40 % de oro y la sylvanetita contiene alrededor del 25 % de oro.
- Oro en otros minerales, como con arsénico y/o antimonio (aurostibnita, AuSb_2), con pórfidos de cobre (como seleniuro y telururo), con minerales de plomo y zinc, y con materiales carbonáceos.

En general, los otros minerales asociados al conglomerado de oro consisten esencialmente en lo siguiente [3]:

- Cuarzo, tanto primario como secundario.
- Moscovita acompañada de cantidades variables de clorita, pirofilita, caolín, illita y cloritoide.
- Pirita, que se clasifica en tres tipos: (1) piritas compactas redondeadas alogénicas, (2) piritas sinsedimentarias alogénicas redondeadas y porosas, y (3) piritas o acumulaciones de pirita idiomorfas a hipidiomorfas autógenas. La pirita se encuentra principalmente como piritas compactas redondeadas alogénicas.
- Otros sulfuros como calcopirita, pirrotita, arsenopirita y pentlandita, que suelen aparecer como pequeñas manchas irregulares; y
- Granos ovalados y redondos de minerales primarios, que incluyen minerales como uraninita, circón, magnetita, cromita, monazita y turmalina. Estos minerales van acompañados de productos de alteración como óxido de hierro hidratado y leucoxeno, a veces de minerales secundarios como la anatasa y, más raramente, de calcita.

Las aletas de distribución mineral de diferentes conglomerados de oro. Por lo tanto, la mineralogía del mineral y la forma en la que está presente el metal de oro, ya sea en forma liberada/libre o en asociación con otros minerales, determinan las características del mineral específico.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Pregrobbing

Durante el proceso de lixiviación, donde el oro se disuelve en una solución acuosa de cianuro alcalino, se pierde oro por varias razones. Estas pérdidas de oro pueden atribuirse en términos generales a las siguientes causas (Stanley, 1987) [3]:

- Oro no liberado como resultado de un producto molido demasiado grueso.
- Oro refractario resultante de recubrimientos, generalmente óxidos hidratados de hierro, sobre algunas partículas de oro. Los recubrimientos se producen de forma natural o como resultado de la oxidación de la pirita. El oro recubierto se disuelve muy lentamente durante el proceso de lixiviación.
- Aireación insuficiente que resulta en oxígeno disuelto insuficiente para promover la química de la reacción de lixiviación. La reducción de materia contenida en el mineral provoca con frecuencia bajos niveles de oxígeno.
- La presencia de cianídicos, que consumen el radical cianuro y por tanto inhiben la disolución del oro. Esto se debe frecuentemente a la presencia de componentes fácilmente oxidables, cobre metálico y compuestos de cobre.
- Tiempo de contacto demasiado corto.
- Adsorción de oro, a partir de disolución, por material carbonáceo y por ciertas lutitas y arcillas.

Este estudio se centra en este último, donde el oro disuelto es impregnado durante la lixiviación por materiales adsorbentes en el mineral. El término pregrabbing se refiere a la adsorción activa de oro a partir de soluciones preñadas con cianuro por parte de componentes del mineral (Yannopoulos, 1991) [1].

Se cree que pocos yacimientos que contienen oro primario no presentan un pregrado significativo y prácticamente irreversible en al menos algunas partes de sus minerales. No hay duda de que el oro es adsorbido por material carbonáceo en el mineral, pero existe cierto debate sobre hasta qué punto el oro puede adsorberse en las superficies del mineral.

2.1.1. Minerales no carboníferos

Urban et al. (1973) [4] concluyeron que aproximadamente 0,1 g/t de la pérdida total de oro en una planta de oro típica podría atribuirse a la adsorción en los predrágenos. Sugerían que minerales como la pirita y la calcopirita y, en menor medida, minerales arcillosos como la pirofilita, el caolín y la montmorillonita, eran responsables de la adsorción. También descubrieron que otros filosilicatos ricos en Mg, o una combinación de estos con óxidos de hierro y manganeso hidratados, tienen potencial para el pregrobbing.

Sin embargo, Logan (1986) [5] encontró que los minerales filosilicatos pirofilita, caolinita, flogopita e illita no adsorben cantidades detectables de oro de la solución de cianuro y sugirió que el carbono finamente dividido presente en la lutita aurífera es responsable de las propiedades de adsorción de la esquista.

Hausen y Bucknam (1985) [6] sugirieron que la pirita es un adsorbedor de oro y demostraron que pequeñas cantidades de oro se adsorbían de soluciones de cianuro en muestras que contenían aproximadamente un 45 % de pirita.

Quach et al. (1993) [7] demostraron que el cianuro de oro, en ausencia de osígeno, se adsorbe sobre la pirrotita, con la posterior liberación de iones cianuro, mientras que investigadores posteriores especularon que la clorita podría ser responsable de gran parte de la adsorción de oro en los minerales.

Más recientemente, Adams et al. (1996) [8] examinaron las propiedades adsorbientes de oro de una amplia variedad de minerales, que van desde sulfuros de cobre hasta silicatos de arcilla y cuarzo, y concluyeron que los minerales sulfuros de cobre producían la adsorción más fuerte y que el cuarzo solo adsorbía una cantidad relativamente pequeña de oro, dependiendo del tipo de cuarzo, su superficie y características superficiales.

2.1.2. Minerales carbonáceos

Los efectos adversos del material carbonáceo en la cianurización de los minerales de oro se conocen desde hace muchos años. En algunas zonas de la mina Carlin, Nevada, EE. UU., el mineral carbonáceo es tan perjudicial para la cianuración que una mezcla que contiene un cinco por ciento de mineral carbonáceo y un 95 por ciento de mineral cianhídrico estándar da una extracción del 76 por ciento de oro frente al 93 por ciento del 100 por ciento de mineral estándar [9].

La mala extracción de oro por cianuro de estos minerales se atribuye a la característica de pregrobbing de la materia carbonosa. La materia carbonácea

activa presente tiene la capacidad de adsorbir oro disuelto de soluciones de cianuro, haciendo que el licor de lixiviación quede en estéril.

Estudios realizados por varios investigadores utilizando minerales de diversas partes del mundo han demostrado que la materia carbonácea natural asociada a los minerales carbonosos se comporta como carbón activo cuando está en contacto con soluciones de aurocianuro. También sugirieron que el mecanismo de adsorción de la materia carbonosa con cianuro de oro es similar al del carbón activado [10].

Hausen y Bucknam (1985) [6] establecieron mediante experimentos de laboratorio que la tasa de adsorción por ciertos minerales carbonosos era aproximadamente cuatro veces mayor que la del carbón activado estudiado.

Adams et al. (1996) [8] también observaron que el material carbonoso que se encuentra naturalmente en estos minerales puede ser un adsorbente muy potente del oro y evita la recuperación del oro mediante cianidación convencional. Como resultado, la minería de minerales carbonosos en el pasado se controlaba cuidadosamente para evitar que la materia carbonosa entrara en los minerales enviados para su procesamiento.

La presencia de materia carbonácea en los minerales de oro, por tanto, presenta un problema doble: (1) la mala liberación de oro de la matriz carbonácea y (2) la absorción del oro disuelto por los residuos de lixiviación carbonosa.

2.1.2.1. Mineralogía

El término "carbonáceo" se ha aplicado de forma aproximada a los componentes del mineral con características muy variadas. La mineralogía de los minerales de oro carbonáceos es variada, pero para todos estos minerales los componentes más vitales son los componentes que contienen carbono, que a menudo interactúan negativamente con el oro disuelto.

El material carbonáceo está íntimamente asociado con cuarzo, sericita, clorita, carbonatos y cierta cantidad de sulfuro. Los minerales sulfuros que se encuentran con frecuencia son pirita, esfalerita, calcopirita, arsenopirita y pirrotita. La mineralogía de este tipo de mineral está relacionada con la naturaleza del material carbonáceo, el medio aurífero y la roca huésped. El material carbonáceo puede clasificarse de la siguiente manera [9]:

- Un componente de carbón activado (carbono amorfo, grafitico y carbonato) capaz de adsorber complejos de oro a partir de la solución, y
- Un componente orgánico, que consiste en (1) una mezcla de hidrocarburos de cadena larga de alto peso molecular generalmente asociados a los componentes de carbón activado, y (2) ácidos orgánicos similares a ácidos húmicos que contienen grupos funcionales capaces de interactuar con complejos de oro para formar compuestos de oro orgánicos.

2.1.2.2. El componente de carbón activado

El componente de carbón activado es predominantemente carbón elemental (C), pero puede tener impurezas como S, Ti y AT. La información disponible sobre la estructura del carbón indica que podría tener las siguientes estructuras: amorfo de grano fino, pseudográfico o una estructura de grafito bien desarrollada. Es posible que el carbono tenga una combinación de estructuras amorfas y grafiticas en el mismo yacimiento carbonáceo. El componente de carbono en la materia carbonácea es normalmente muy fino y puede ser tan fino como 0,002 μm a 0,005 μm [11].

A menudo se afirma que el componente del carbono es "similar" al carbón activado. Algunos de los primeros trabajos sobre carbón activo fueron, de hecho, estimulados por la necesidad de comprender el comportamiento de los minerales carbonosos. Es bien sabido que el aumento de temperatura disminuye la absorción de AuCl_4^- por carbón activado en soluciones de aurocianuros. Sin embargo, los experimentos de adsorción en minerales carbonáceos indicaron el efecto contrario [12].

Estos resultados sugieren que las interacciones químicas juegan un papel mucho más importante en el caso de los minerales carbonosos, en comparación con el carbón activado sintético.

2.1.2.3. Los componentes orgánicos

La parte orgánica (ácidos orgánicos e hidrocarburos) contiene C, H, O, N y S. Los investigadores han argumentado que el gran papel de la quimisorción en la interacción de los minerales carbonáceos con el complejo aurocianuro es resultado de la presencia de ácido húmico en los minerales.

Sugirieron que el componente ácido húmico del mineral proporciona grupos funcionales superficiales, capaces de formar enlaces químicos fuertes con el complejo aurocianuro. La experimentación mostró que cuando se añadieron cinco

gramos de ácido húmico a un mineral cianiclable no carbonoso antes de la cianuración, la extracción de oro se redujo del 95 por ciento al 21 por ciento. De manera similar, estos investigadores obtuvieron un 84 % de absorción de oro cuando se añadió la misma cantidad de ácido húmico a la solución de aurocianuro en ausencia de mineral oxidado.

Se sabe poco sobre la estructura de los hidrocarburos, pero la experimentación que consistía en la eliminación de una parte de los hidrocarburos de un mineral resultó en menos extracción de oro cuando el mineral se trataba con cianuración, lo que sugiere que el hidrocarburo se adsorbía en el carbón activado.

Los componentes orgánicos tienen características de pregrobbing que generalmente se cree que roban oro mediante la quelación. Los compuestos orgánicos de la predación suelen ser agentes reductores, y esta reducción podría precipitar el oro. Sin embargo, también es posible la polimerización de aurocianuro.

Dicha polimerización podría iniciarse mediante abstracción de cianuro, por ejemplo, mediante la reacción de cianohidrina sobre grupos extremos reductores. Los compuestos orgánicos con grupos extremos reductores podrían resultar de la descomposición de raíces y otros residuos vegetales.

2.1.3. Tratamiento de los minerales de pregrobbing

Cada mineral de pregrobbing tiene su problema peculiar, que hay que abordar. Los valiosos minerales portadores de oro que contienen especies prepotentes son poco aptos para las técnicas estándar de cianuración. Se han desarrollado varios métodos de procesamiento para tratar estos minerales. El éxito de cualquiera de estos métodos, o una combinación de ellos, depende de la mineralogía del mineral [13].

2.1.3.1. Flotación

El método más sencillo para tratar un mineral carbonáceo es el método en el que el carbono se despega y se desecha. El mineral restante responde entonces a la cianuración. Sin embargo, este método solo es práctico cuando pequeñas cantidades de oro están asociadas a la materia carbonácea y cuando el oro no presenta flotabilidad natural. Cuando prevalecen tales condiciones, la flotación ha sido utilizada con éxito por estos investigadores para eliminar el carbonáceo

cuando se añadió la misma cantidad de ácido húmico a la solución de aurocianuros en ausencia de mineral oxidado.

Se sabe poco sobre la estructura de los hidrocarburos, pero la experimentación que consistía en la eliminación de una parte de los hidrocarburos de un mineral resultó en menos extracción de oro cuando el mineral se trataba con cianuración, lo que sugiere que el hidrocarburo se adsorbía en el carbón activado.

Los componentes orgánicos tienen características de pregrobbing que generalmente se cree que roban oro mediante la quelación. Los compuestos orgánicos de la predación suelen ser agentes reductores, y esta reducción podría precipitar el oro. Sin embargo, también es posible la polimerización de aurocianuro. Dicha polimerización podría iniciarse mediante abstracción de cianuro, por ejemplo, mediante la reacción de cianohidrina sobre grupos extremos reductores. Los orgánicos con grupos finales reductores podrían resultar de la descomposición de raíces y otros residuos vegetales.

2.1.4. Tratamiento de los minerales de pregrobbing

Cada mineral de pregrobbing tiene su problema peculiar, que hay que abordar. Los valiosos minerales portadores de oro que contienen especies prepotentes son poco aptos para las técnicas estándar de cianuración. Se han desarrollado varios métodos de procesamiento para tratar estos minerales. El éxito de cualquiera de estos métodos, o una combinación de ellos, depende de la mineralogía del mineral [13].

2.1.4.1. Flotación

El método más sencillo para tratar un mineral carbonáceo es el método en el que el carbono se despega y se desecha. El mineral restante responde entonces a la cianuración. Sin embargo, este método solo es práctico cuando pequeñas cantidades de oro están asociadas a la materia carbonácea y cuando el oro no presenta flotabilidad natural. Cuando prefieren tales condiciones, la flotación se ha utilizado con éxito para eliminar la materia carbonácea antes de la cianuración. Sin embargo, existen muchos minerales con un alto contenido de oro en la materia carbonácea y, en tales casos, se rechaza la flotación [1].

2.1.4.2. Tostado

Probablemente el método más sencillo para destruir materia carbonosa y, al mismo tiempo, oxidar los minerales sulfurosos en los minerales de oro refractarios es el tostado. El tueste elimina materiales carbonosos como el CO y el CO₂, y descompone la pirita en óxidos de hierro de los que el oro puede ser lixiviado. Las temperaturas para el tostado de muchos minerales sulfídicos refractarios varían entre 550 °C y 800 °C [11].

Sin embargo, el proceso requiere controles operativos muy estrictos. Por debajo de 500 °C o con el uso de una atmósfera ligeramente reducida, el tueste es incompleto, lo que resulta en una reducción drástica en la extracción de oro. Las condiciones de funcionamiento incorrectas también pueden activar la materia carbonosa, lo que mejorará sus propiedades de adsorción de oro, o convertir la pirita en una forma refractaria de hematita de la que el oro no puede ser lixiviado con cianuro.

El proceso también genera SO₂ y da lugar a la volatilización de elementos como el arsénico. Por tanto, las limitaciones ambientales frenaron el uso de este proceso. Los altos costes de capital y el consumo excesivo de energía también restringen su uso a minerales con un contenido respetable de oro [14].

2.1.4.3. Oxidación química

En el proceso de oxidación química, el mineral se somete a técnicas preliminares de oxidación química para oxidar materiales carbonáceos antes del tratamiento estándar con cianuración.

Actualmente existen tres técnicas de oxidación de importancia: (1) Oxidación con cloro, (2) Oxidación a presión y (3) Oxidación bioquímica.

Oxidación con cloro

El cloro (Ch) se utiliza como un agente ligeramente oxidante capaz de oxidar la materia carbonácea y cualquier pirita asociada, disolviendo la mayor parte del oro libre. Las minas que usaban cloro para tratar los minerales lograron recuperaciones de oro entre el 83 por ciento y el 90 por ciento tras la cianudación (Guay, 1980). Sin embargo, a medida que el mineral se volvió más refractario, el consumo de cloro se volvió excesivo y se introdujo un proceso de doble oxidación, que implica la oxidación con aire y cloro [11].

En este proceso, el aire se dispersa en una mezcla acuosa de mineral molido con un 40 a 50 por ciento de sólidos a temperaturas de 80 a 86 °C hasta que una parte considerable de la pirita se oxida a óxidos de hierro. También se produce cierta descomposición de los materiales carbonáceos, pero es necesario seguir la oxidación del aire con cloración para completar la oxidación de los materiales carbonosos y la pirita [1].

Sin embargo, el éxito de este proceso depende en gran medida de la mineralogía del mineral y el alto consumo general de cloro lo convierte en un método costoso, que no resultará rentable para el mineral de baja calidad.

Oxidación a presión

Esta técnica utiliza oxígeno para oxidar minerales refractarios a altas presiones y temperaturas para aumentar las velocidades de reacción. Las reacciones esenciales que tienen lugar son la oxidación de la matriz dorada y la precipitación de algunos productos de lixiviación. Los precipitados se descomponen para mejorar la extracción de oro [11].

El problema de este proceso es que puede oxidar materiales sulfídicos pero no grafiticos ni carbonáceos en el mineral, que actuarán como predrábicos en el posterior proceso de cianurización. En algunos casos, este proceso puede incluso activar impurezas previamente inactivas [15].

Oxidación bioquímica

La oxidación bacteriana es un concepto relativamente nuevo para el tratamiento de minerales carbonosos. Las bacterias más comunes utilizadas para lixiviar minerales carbonosos son *Thiobacillus ferrooxidans*. Estas bacterias oxidan sulfuros de hierro bajo condiciones ácidas a temperaturas entre 30 °C y 40 °C. La materia carbonácea, por otro lado, solo está parcialmente oxidada y, por tanto, no queda totalmente inactiva [11].

Este microorganismo crece fácilmente en minerales piríticos y arsenopiríticos. Crece y se multiplica a temperaturas moderadas, pero se inactiva a temperaturas superiores a 40 °C. Por tanto, la biolixiviación del mineral con alto contenido de azufre presenta un problema, ya que las reacciones potenciadas por las bacterias son exotérmicas. Por lo tanto, un sistema de oxidación microbiana para minerales y concentrados de sulfuros debe estar equipado con un sistema de refrigeración, lo que incrementa el coste operativo. Otra desventaja de este método es que la

velocidad de reacción es lenta y tarda días en lugar de horas para tratar un mineral [1].

2.1.4.4. Pulpa de carbón activado o resina en lixiviación

El carbono en lixiviación (CIL) o resina en lixiviación (RIL), son métodos en los que se añade carbón activado granular o, en el caso de RIL, una resina de intercambio iónico, al proceso de lixiviación para competir con las especies preñadas por el complejo de cianuro de oro. Este proceso funciona bajo el principio de usar un adsorbente aurocianiuro más fuerte que la materia carbonácea del mineral [15].

Este proceso puede mejorar la recuperación de oro en los minerales de pregrobbing, especialmente cuando se utilizan carbonos o resinas con actividades muy elevadas.

En general, las resinas de intercambio iónico son superiores a los carbonos activados disponibles actualmente tanto en cuanto a la tasa de carga como la carga en equilibrio del ion cianuro de oro. Por tanto, las resinas de intercambio iónico serán el adsorbente preferido, especialmente con mineral muy grafitico, donde el material carbonáceo puede superar al carbón activado.

El proceso de carbono o resina en pulpa tiene la ventaja de bajos costes de capital y operativos, y para los minerales cuyo único componente perjudicial son concentraciones moderadas de material carbonoso, puede ser la mejor opción.

2.1.4.5. Agentes cegadores

Ciertos reactivos orgánicos (tensioactivos), que se adsorben selectivamente en las superficies del carbón activado y asfixian la superficie, se han utilizado para cegar la materia carbonácea en los minerales de oro antes de la cianuración. Los agentes cegadores se utilizan para pasivar las superficies de la materia carbonosa en el mineral adsorbiendo preferentemente al complejo de cianuro de oro. Diversos investigadores han reportado la capacidad de los recubrimientos superficiales de compuestos orgánicos para modificar el comportamiento de absorción de oro de los minerales carbonosos.

Abotsi y Osseo-Asare (1987) [12] experimentaron con compuestos orgánicos teniendo en cuenta dos posibles efectos. En primer lugar, se esperaba que estos compuestos se adsorbieran inicialmente en los sólidos como especies aniónicas, conferiendo así una carga negativa al interfaz sólido/acuosa. La repulsión electrostática entre la superficie sólida negativa altamente cargada y el anión

Au(CN)₂⁻ podría entonces impedir la adsorción del ion aurocianuro. En segundo lugar, se esperaba que estos aditivos orgánicos recubrieran la superficie del mineral y, al limitar el número de sitios disponibles en la superficie, inhibieran la absorción de oro.

La práctica tradicional de las plantas implica añadir diésel, queroseno o sacresote to el mineral cuando se sospecha un pregrobbing, pero varios otros surfactantes como lauril sulfato sódico (SLS), sulfonato de petróleo, dodecilsulfato (DDA) y aceites pesados para máquinas han sido utilizados por los investigadores, lo que ha resultado en distintos grados de éxito inhibiendo la adsorción de oro [8].

También se ha comprobado que la combinación del uso de tensioactivos y un proceso de lixiviación con carbono o resina da como resultado un método eficiente para el tratamiento de minerales de pregrado. El proceso RIL es una mejor opción para este escenario debido a la posible intoxicación del carbono por el surfactante en un proceso CIL posterior. Los experimentos en los que los tensioactivos se combinaron con el proceso RIL mostraron que los tensioactivos pueden disminuir sustancialmente la actividad de la especie preñada y pueden potenciar la cinética de lixiviación al afectar la viscosidad y la tensión superficial de la pulpa.

2.2. Actividad pregrabber

Dado que la actividad del material carbonoso de pregrab en los minerales variará, fue necesario investigar el efecto de las diferentes actividades del pregrabber sobre la adsorción del oro mediante experimentos de adsorción cinética por lotes que involucraban resina con un grabber en una solución sintética de cianuro de oro.

El carbón activo se utilizó como un prerobber sintético para simular el efecto de pregrobbing del material carbonáceo en los minerales de oro. Se obtuvieron diferentes actividades de pre-robador precargando las muestras de carbono con cianuro de oro al 25%, 50 % y 75 % de su capacidad de carga en equilibrio. También se realizaron pruebas para determinar que ningún oro precargado en el carbón se desprendió ni se adsorció en la resina durante la prueba.

Experimentos comparativos de adsorción realizados en los diferentes tipos de resinas de intercambio iónico utilizadas en este estudio demostraron que una resina selectiva de oro era la resina más eficaz para la adsorción de oro, especialmente en soluciones que contenían otros complejos de cianuro de

metales básicos que compiten con el oro por sitios de resina. Por ello, se utilizó una resina selectiva de oro para todos los experimentos cinéticos por lotes.

Las figuras 1 a 4 presentan los resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina selectiva de oro, el carbono cargado y en la adsorción combinada donde la resina estaba en solución con el carbono cargado.

Las mismas cantidades de resina y carbono se utilizaron durante toda la experimentación. Como era de esperar, al medir la fase de solución, la presencia de un pregrobber resultó en un aumento tanto de la capacidad cinética como de la capacidad de carga de equilibrio.

La influencia de la actividad de Pregrobber en las características de adsorción del adsorbente puede determinarse restando el perfil combinado de resina/pregrobber del perfil de Pregrobber.

El perfil de pregrobbing puede determinarse restando el perfil combinado de resina/pregrobber del perfil de resina.

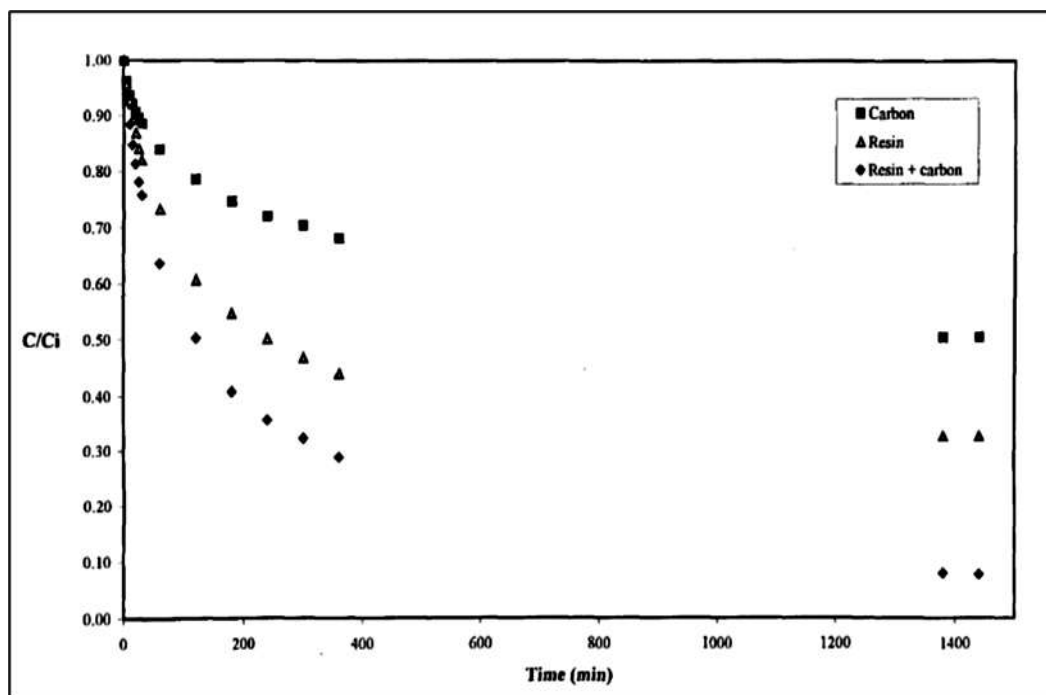


Fig. 1 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y el carbono

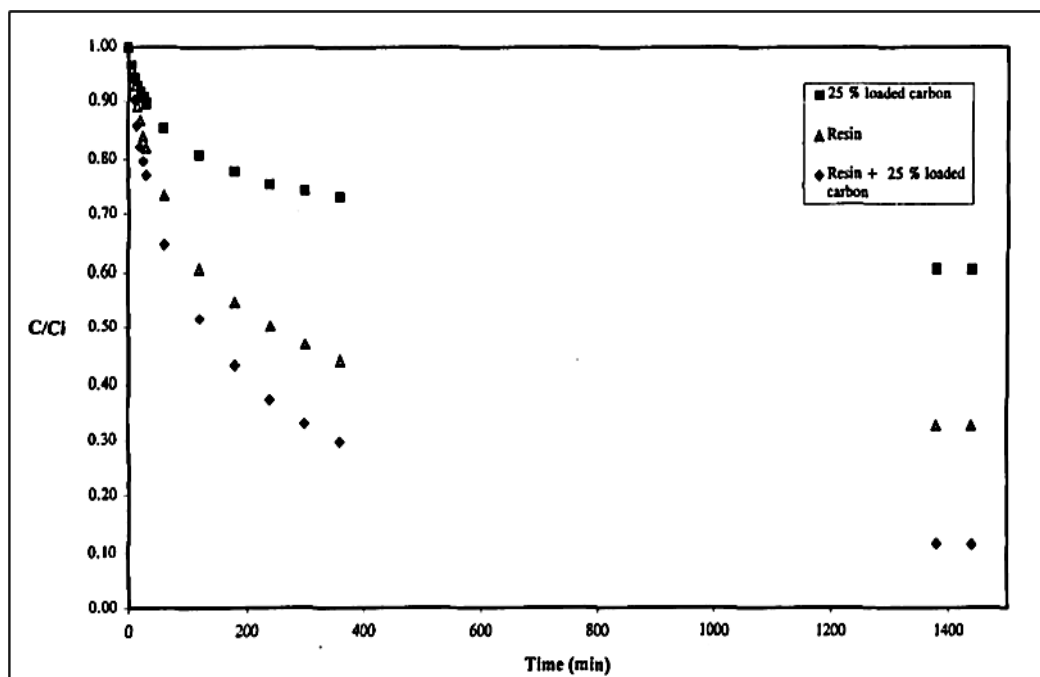


Fig. 2 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro sobre la resina y carbono cargado al 25 %

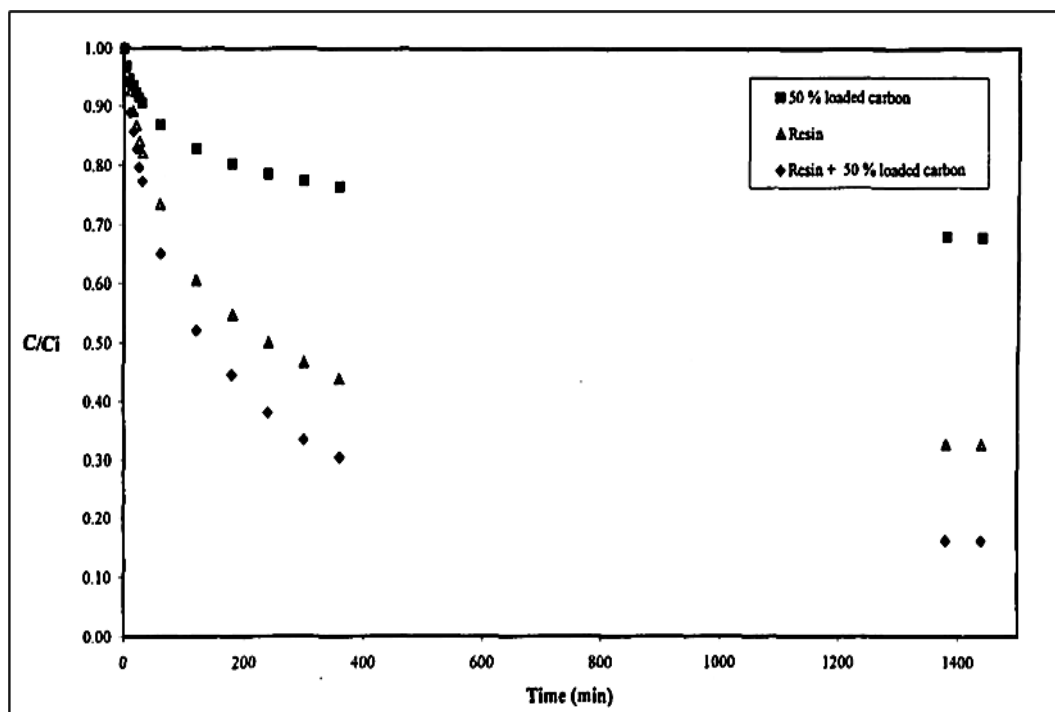


Fig. 3 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono cargado al 50 %

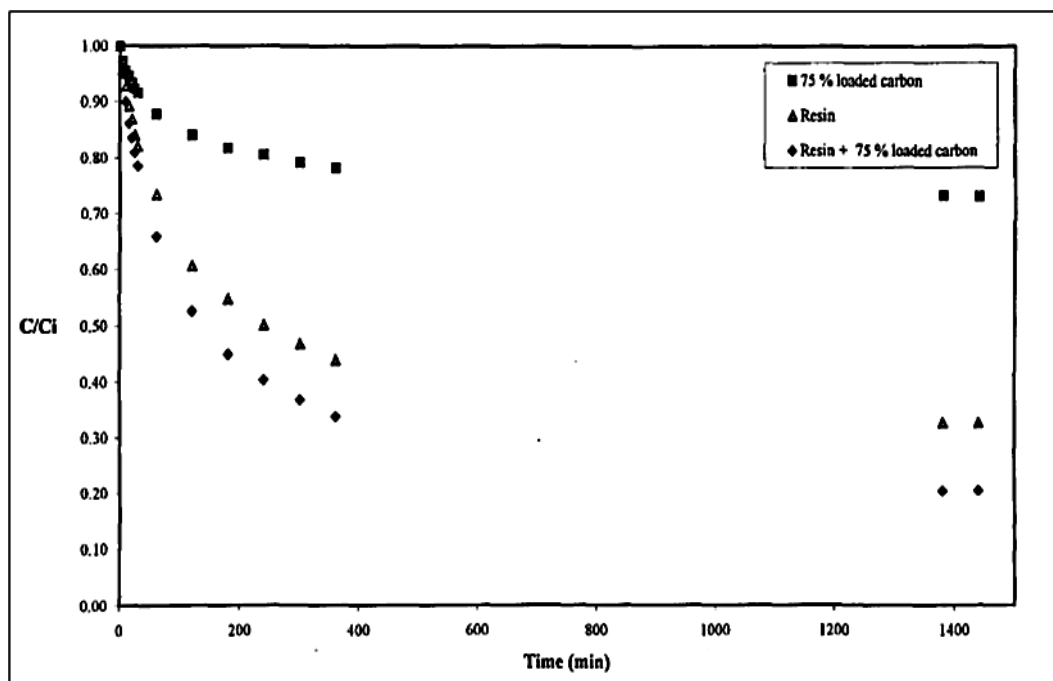


Fig. 4 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono cargado al 75 %

Las figuras 5 y 6 muestran los perfiles de adsorción del preñado y de la resina en las diferentes actividades del pregrobbing, respectivamente. Las figuras ilustran claramente que si la actividad del pregrobber aumenta, los perfiles de adsorción del grábano y de la resina se desplazan.

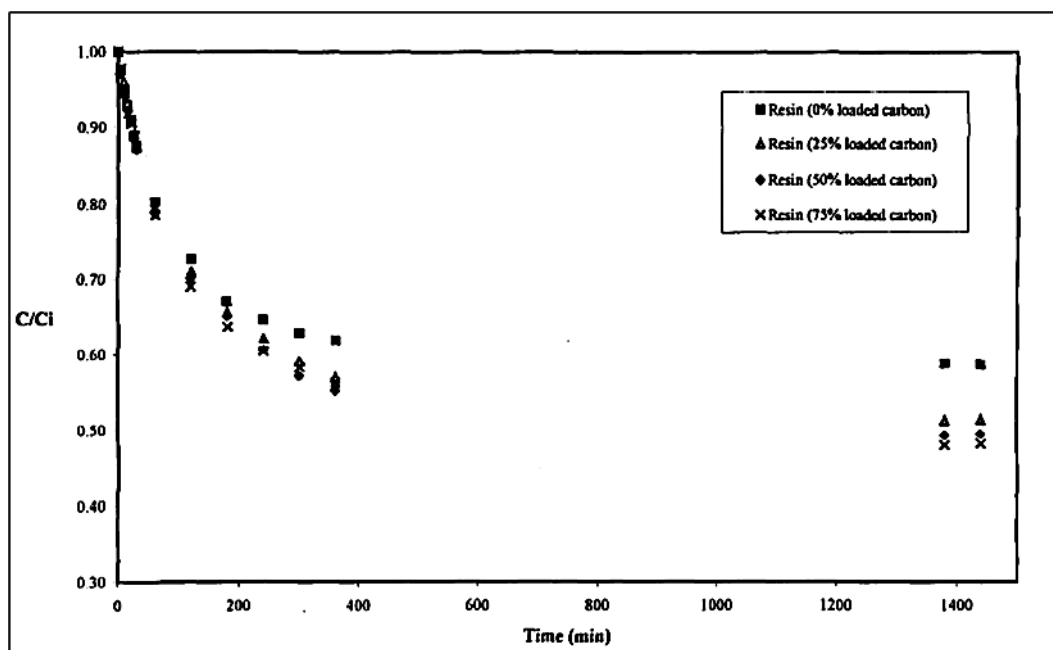


Fig. 5 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de aceite de cianuro de oro en la resina en las diferentes actividades de pregrobbing.

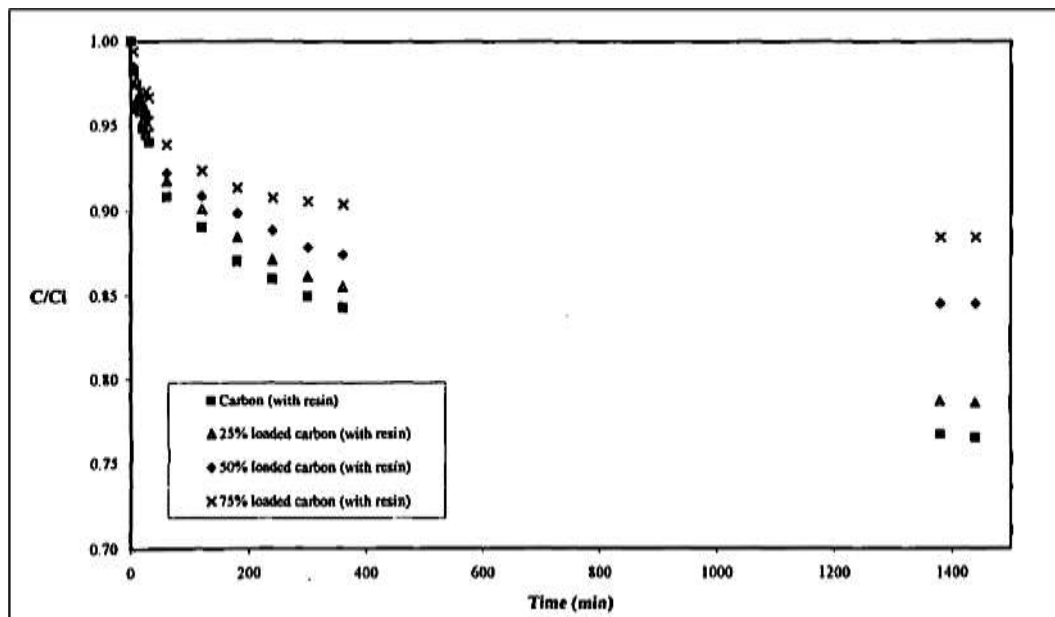


Fig. 6 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro sobre el carbono en las diferentes actividades de pregrobbing.

La tabla 1 y las figuras 7, 8 y 9 muestran los coeficientes de transferencia de película estimados a partir de los datos iniciales de tasa para la resina y los perfiles de carbono individualmente en cada actividad de pregrobbing.

Tabla 1 Coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de las diferentes actividades de pregrobbing en la extensión del pregrobbing.

Actividad Pregrobbing	Resina $kr(m/s)$	Carbono $kr(m/s)$
Resina	1.34×10^{-3}	-
Carbono	-	9.61×10^{-4}
25 % carbono cargado	-	8.59×10^{-4}
50 % carbono cargado	-	7.76×10^{-4}
75 % de carbono cargado	-	6.97×10^{-4}
Resina + carbono	9.14×10^{-4}	4.93×10^{-4}
Resina + 25 % de carbono cargado	9.27×10^{-4}	4.24×10^{-4}
Resina + 50 % carbono cargado	9.40×10^{-4}	3.48×10^{-4}
Resina + 75 % carbono cargado	9.43×10^{-4}	2.77×10^{-4}

El valor de kr para los perfiles del pregrobbing en las diferentes actividades aumentó de 2.77×10^{-4} a 4.93×10^{-4} m/s, mientras que los valores de kr para los perfiles de resina disminuyeron de 9.43×10^{-4} a 9.14×10^{-4} m/s. A partir de estos

resultados, es evidente la influencia del pregrober en las características de adsorción de la resina, ya que el coeficiente de transferencia de película para el perfil de adsorción de resina estándar es de $1,34 \times 10^{-3}$ m/s.

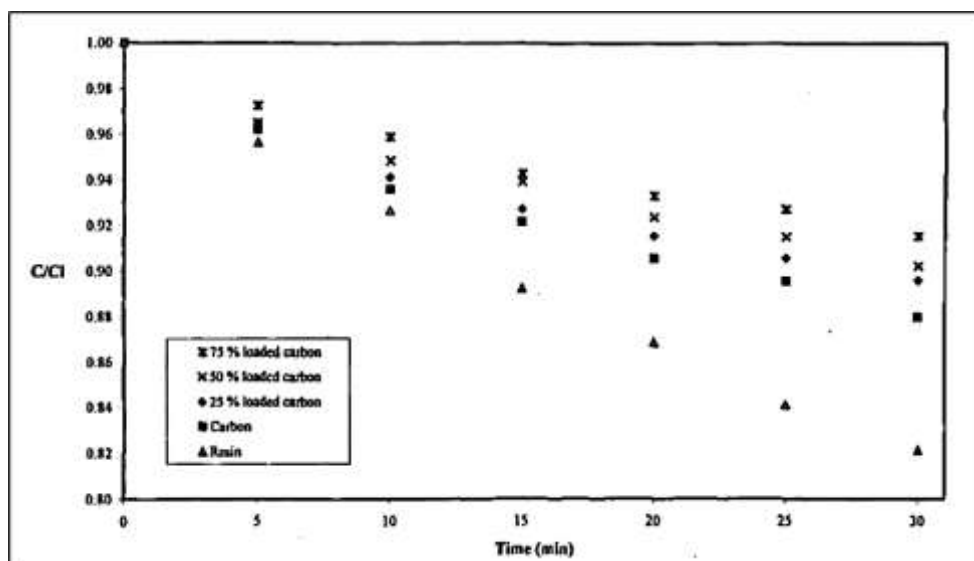


Fig. 7 Datos iniciales de tasa para determinar los coeficientes de transferencia de película del adsorbente y las diferentes actividades de pregrober

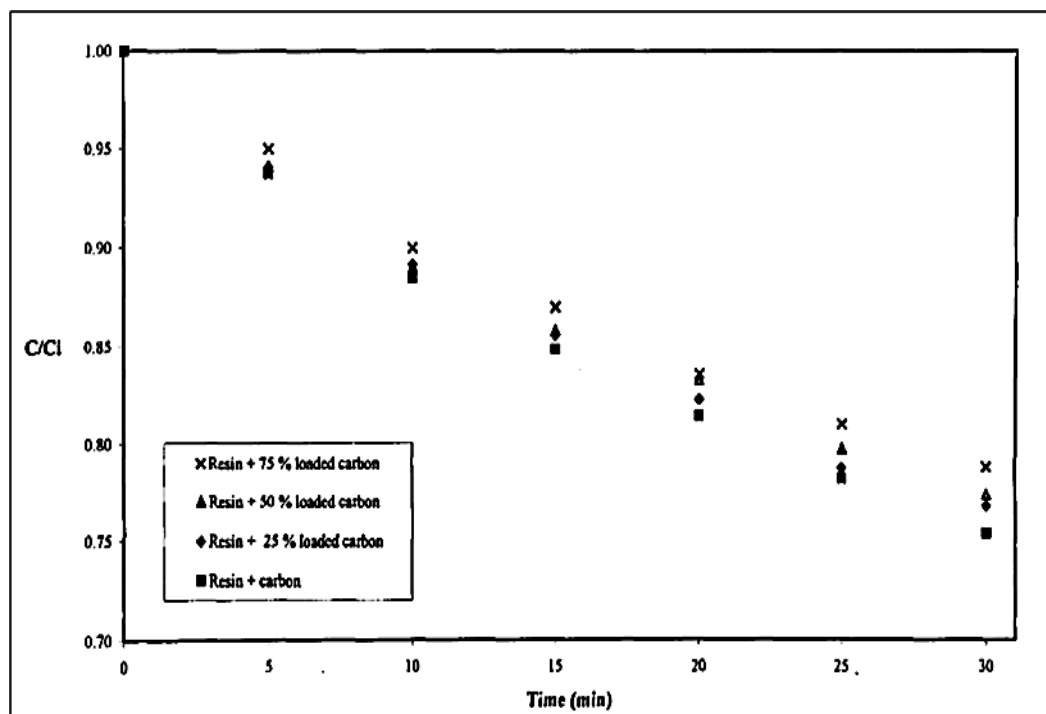


Fig. 8 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para los perfiles combinados de la resina en presencia del pregrober.

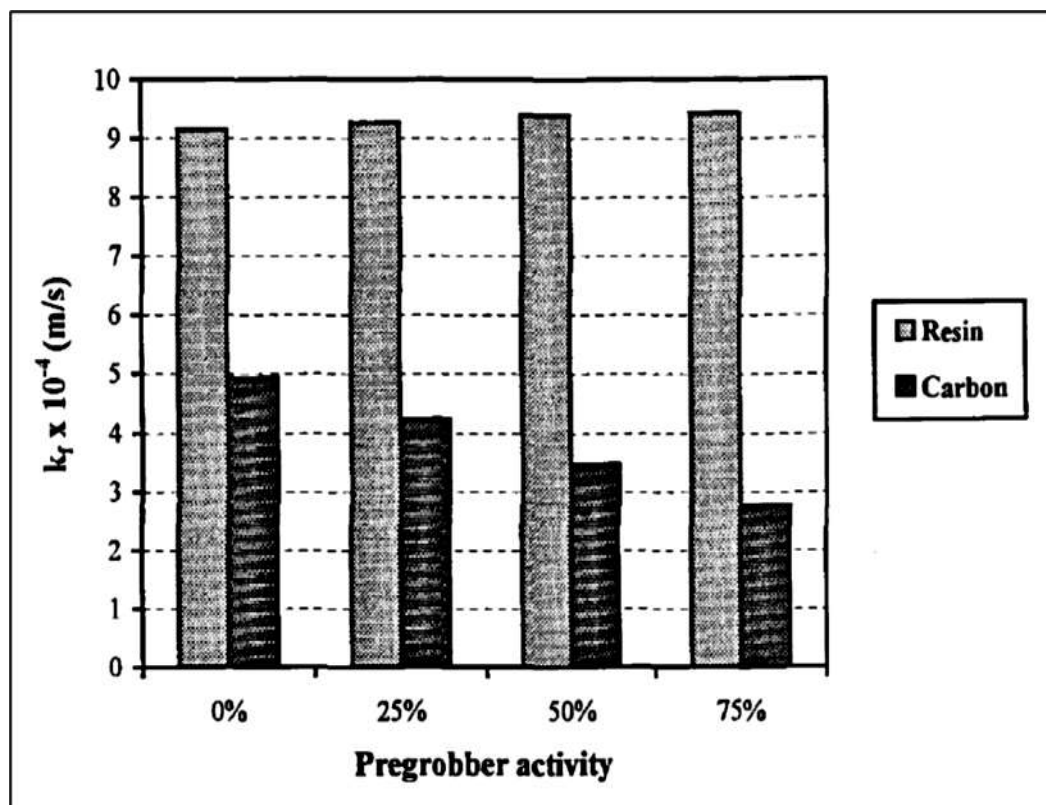


Fig. 9 Representación gráfica de los coeficientes de transferencia de película estimados al evaluar la resina y el carbono por separado en las diferentes actividades de pregrobber

Los valores de carga de equilibrio para la resina y el pregrobber calculados en la Tabla 2 muestran una disminución en la capacidad de carga de la resina con un aumento de la actividad del pregrobber.

Tabla 2 Los valores de carga de equilibrio del adsorbente y el pregrobber se determinan para las diferentes actividades del pregrobber

Experimento	Initial solution concentration (mg/l)	Concentración de equilibrio (mg/l)	Oro adsorbido de la solución (mg/l)	Carga inicial sobre carbon	Carga sobre sólidos	
					Carbon	Resina
1. Resina	29.36	9.58	19.78	-	-	19.78
2. Carbon	29.24	14.78	14.46	0	14.46	-
3. 25% carbon cargado	29.82	18.04	11.78	3.33	15.11	-
4. 50% carbon cargado	29.35	19.97	9.38	5.66	15.04	-
5. 75% carbon cargado	29.77	21.77	8.00	7.20	15.20	-
6. Resina + carbon	29.01	2.27	26.74	0	10.46	15.78
7. Resina + 25% carbon cargado	29.65	3.40	26.25	3.33	12.31	16.97
8. Resina + 50% carbon cargado	29.06	4.69	24.37	5.66	12.75	17.49
9. Resina + 75% carbon cargado	29.18	5.96	23.22	7.20	13.65	18.23

El valor de A para el perfil de resina disminuyó de 18,23 a 15,78 mg/l en presencia del pregrobber con mayor actividad. Esta disminución en la capacidad de carga de la resina se debe en parte a la baja concentración de oro en la solución tras 24 horas, lo que en la práctica supone una disminución del gradiente de difusión entre la solución y la resina/pregrobber. Sin embargo, la capacidad de equilibrio de la resina debería ser más o menos la misma dado suficiente tiempo de residencia y concentraciones suficientes de oro.

En general, los resultados indican una disminución en la tasa de adsorción del adsorbente para un aumento de la actividad del pregrobber y también un aumento en la extensión del pregrobbing para aumentar la actividad del pregrobber. Por tanto, la actividad del material carbonoso en los minerales de oro tendrá un impacto significativo en la extensión total de la predigrabilidad que tendrá lugar en cualquier sistema en particular.

2.3. Distribución en carga de oro del adsorbente

Se realizaron experimentos similares de adsorción por lotes mencionados en la sección anterior para investigar qué efecto tendrán diferentes cargas de oro sobre el adsorbente en la extensión del pregrobbing.

Por tanto, las muestras de resina se pre-cargaron con cianuro de oro hasta el 50 % de su capacidad de carga en equilibrio y luego se contactaron con un pregrobber (carbón activado cargado al 50 %) en una solución sintética de cianuro de oro.

La Figura 10 muestra los resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina cargada al 50 %, el carbono cargado al 50 %, la adsorción combinada de la resina cargada al 50 % más el carbono cargado al 50% y la adsorción combinada de la resina más el carbono cargado al 50 %.

De nuevo, se utilizaron las mismas cantidades de resina y carbono durante toda la experimentación. El perfil de adsorción de la resina cargada muestra una clara falta de rendimiento en comparación con la resina virgen.

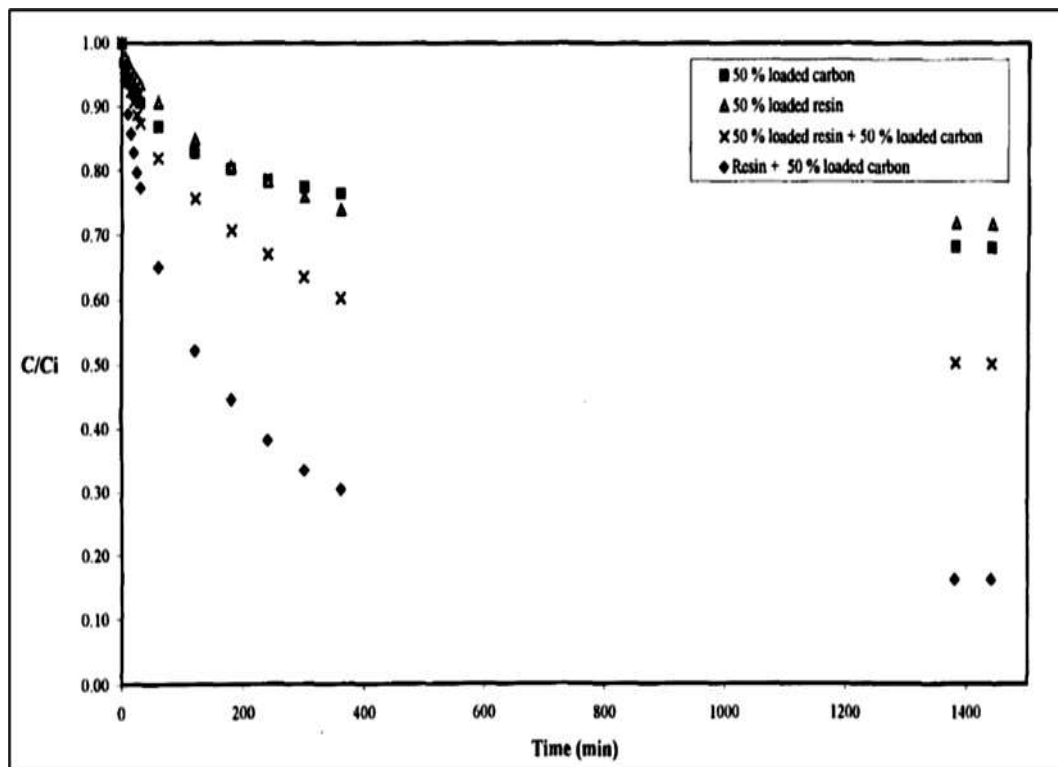


Fig. 10 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en resina cargada al 50 % y carbono cargado al 50 % para determinar el efecto de la distribución de carga de la resina en el grado de pregrobbing.

La Figura 11 muestra los perfiles de adsorción del pregrobber, la resina y la resina cargada, respectivamente. Si la carga de oro de la resina aumenta del 0 % al 50 %, el perfil de adsorción del pregrobber se desplaza, lo que significa efectivamente que un aumento en la distribución de carga de la resina resultará en un aumento en la extensión total del pregrobbing.

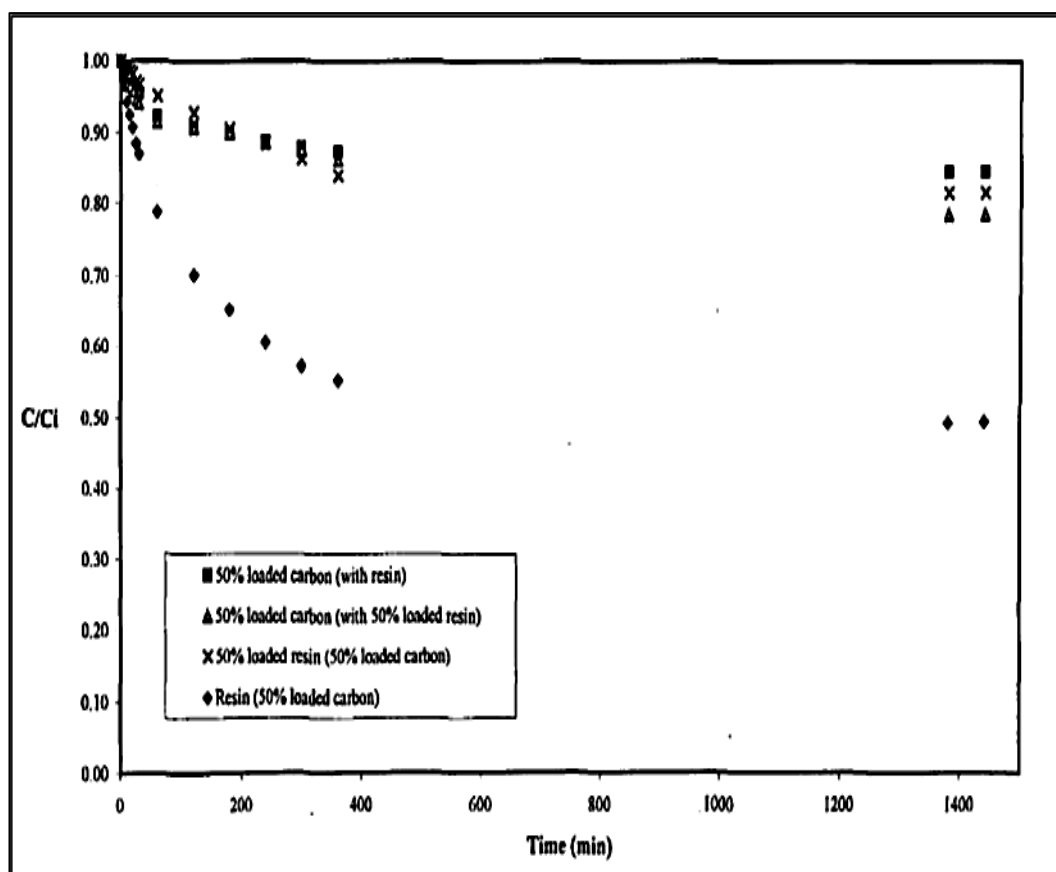


Fig. 11 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y el pregrobbing en diferentes cargas de resina de oro.

La tabla 3 muestra los valores A y los coeficientes de transferencia de película (Figura 12) estimados para los perfiles de adsorción.

Tabla 3 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de la distribución de la carga de oro de la resina sobre el grado de pregrobbing.

Experimento	$kr(m/s)$		A (mg/l)	
	Resina	Carbón	Resina	Carbón
1. Resina	1.34×10^{-3}	-	19.78	-
2. Carbón	-	9.61×10^{-4}	-	14.46
3. 50 % de resina cargada	4.36×10^{-4}	-	8.13	-
4. 50 % de carbón cargado	-	7.76×10^{-4}	-	9.38
5. Resina +50% carbón cargado	9.40×10^{-4}	3.48×10^{-4}	14.99	4.59
6. 50 % resina cargada + 50 % carbón cargado	2.08×10^{-4}	4.83×10^{-4}	5.56	6.64

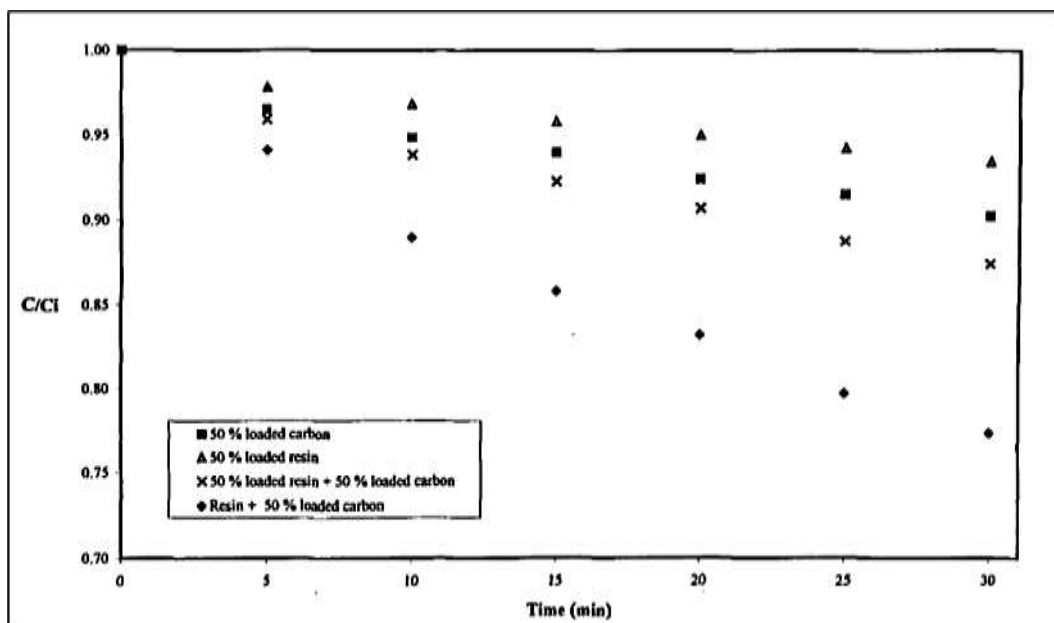


Fig. 12 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para la resina en presencia del pregrober.

El valor de A para la resina cargada al 50 % era de 8.13 mg/l, mientras que el valor de A para la resina cargada al 50 % en presencia del pregrober era de 5,56 mg/l.

El valor de carga de equilibrio del pregrober aumentó de 4,59 mg/l en presencia de resina virgen a 6,64 mg/l en presencia de la resina cargada y los coeficientes de transferencia de película aumentaron de $3,48 \times 10^{-4}$ a $4,83 \times 10^{-4}$ m/s, respectivamente.

Los valores de k_f de la resina disminuyeron de $9,40 \times 10^{-4}$ a $2,08 \times 10^{-4}$ m/s, lo que confirma que la extensión global de la pregrobbing aumenta con un incremento en la distribución de carga de oro del adsorbente.

2.4. Porosidad del pregrober

El objetivo del trabajo en esta sección fue investigar el efecto de la porosidad del carbono en la adsorción del oro, ya que la estructura porosa del material carbonáceo en prerobación en los minerales de oro puede variar mucho de un carbono a otro.

Para poder comparar el efecto de diferentes porosidades de carbono del mismo tipo de carbono sobre la adsorción del oro, fue necesario modificar la estructura

de los poros del carbono. La regeneración térmica se consideraba el método ideal para cambiar la estructura de los poros del carbono.

Van Vliet y Venter (1985) [16] han realizado estudios de investigación sobre los diversos cambios estructurales intraparticulares que ocurren durante el tratamiento térmico progresivo de un carbón activado.

Concluyeron que por encima de 850 °C y durante el intervalo de tiempo de residencia de 10 a 30 minutos, se produjo una conversión casi estequiométrica de los microporos a mesóporos, lo que resultó en un aumento del volumen total de poros.

Este aumento del volumen de poros durante este periodo probablemente se debió a la erosión de la matriz entre los microporos. Tras 30 minutos, se produjo una conversión adicional de los microporos a tipos de poros más grandes, así como una destrucción progresiva de la matriz de carbón activado, con un resultado neto en una pérdida extensa de volumen microporoso y un aumento del volumen de mesoporo y macroporos.

Por tanto, el carbono virgen utilizado en este estudio fue tratado térmicamente a una temperatura de 850 °C durante un periodo de 20 minutos. Inmediatamente después del tratamiento térmico, el carbono se almacenaba en botellas Schutt selladas bajo nitrógeno para evitar la formación de grupos funcionales adicionales que contenían oxígeno en la superficie de carbono [17].

Se realizaron pruebas de adsorción cinética por lotes en una solución clara de cianuro de oro sobre el carbono tratado y sobre carbono no tratado para comparar sus propiedades de adsorción de oro.

Las pruebas de porosidad han indicado que el carbono tratado tenía un volumen total de poros mayor que el del carbono no tratado. Además, la capacidad de carga de equilibrio del carbono no tratado y tratado fue de 14,46 mg/l y 17,93 mg/l, respectivamente.

La Figura 13 muestra los perfiles de adsorción de los dos lotes de carbono analizados y los perfiles donde la resina estaba presente. Los perfiles indican diferencias claras en la cinética, así como en la capacidad de carga de equilibrio, de los lotes de carbono.

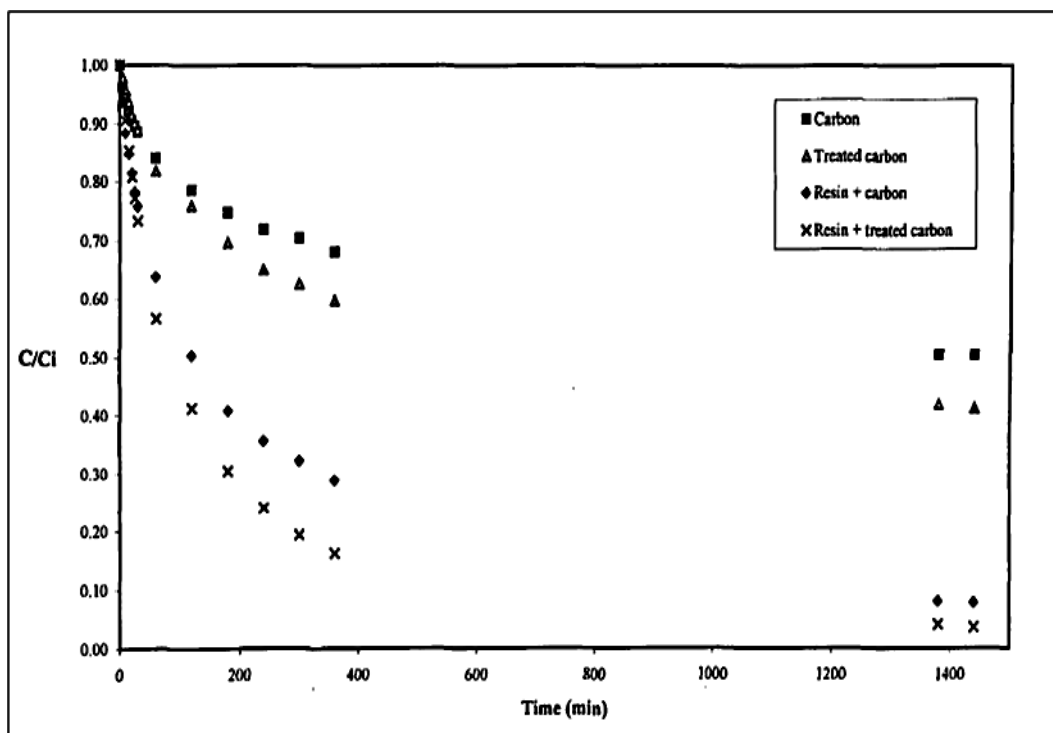


Fig. 13 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina y carbono tratado para determinar el efecto de la porosidad de pregrobbing en la extensión del pregrobbing.

La Figura 14 muestra los perfiles de adsorción del carbono y del carbono tratado en contacto con la resina y los perfiles de la resina cuando están en contacto con los pregrobbers.

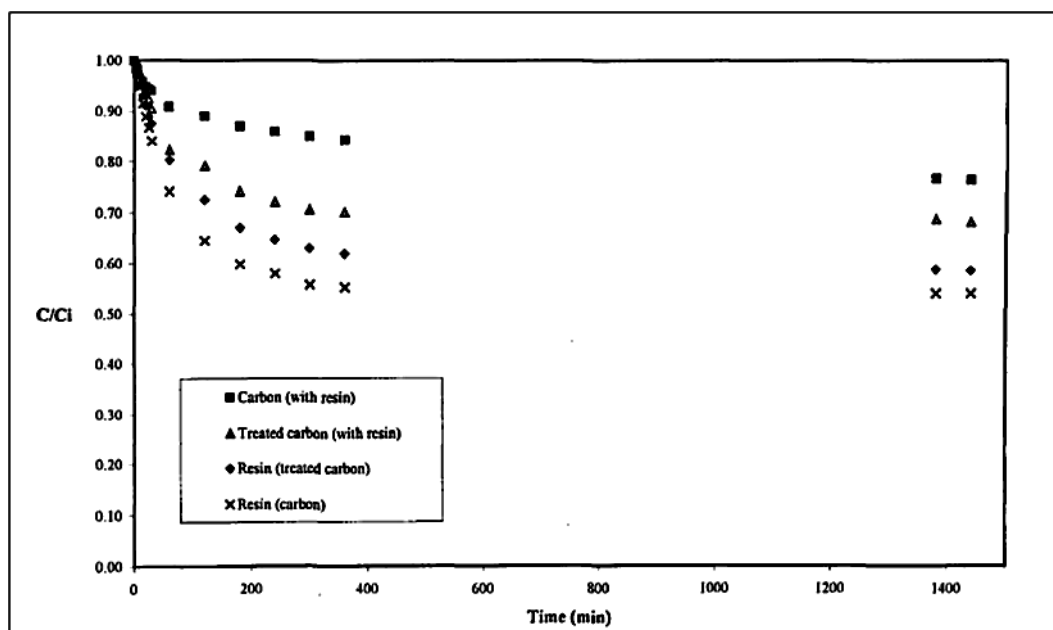


Fig. 14 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en la resina, carbono y el WBEN de carbono tratado se evaluaron por separado.

En la figura se puede observar que el perfil de adsorción del carbono tratado es inferior al del carbono no tratado cuando está en contacto con la resina, lo que indica que el aumento de la porosidad resultó en un incremento en la extensión total del pregrabbing.

Los valores de carga de equilibrio y los coeficientes de transferencia de película (Figura 15) calculados en la Tabla 4 muestran que la tasa de adsorción de oro en el pregrabbing subió de $4,93 \times 10^{-4}$ a $8,86 \times 10^{-4}$ m/s y el valor A aumentó de 6,96 a 9,98 mg/l con el aumento de la porosidad.

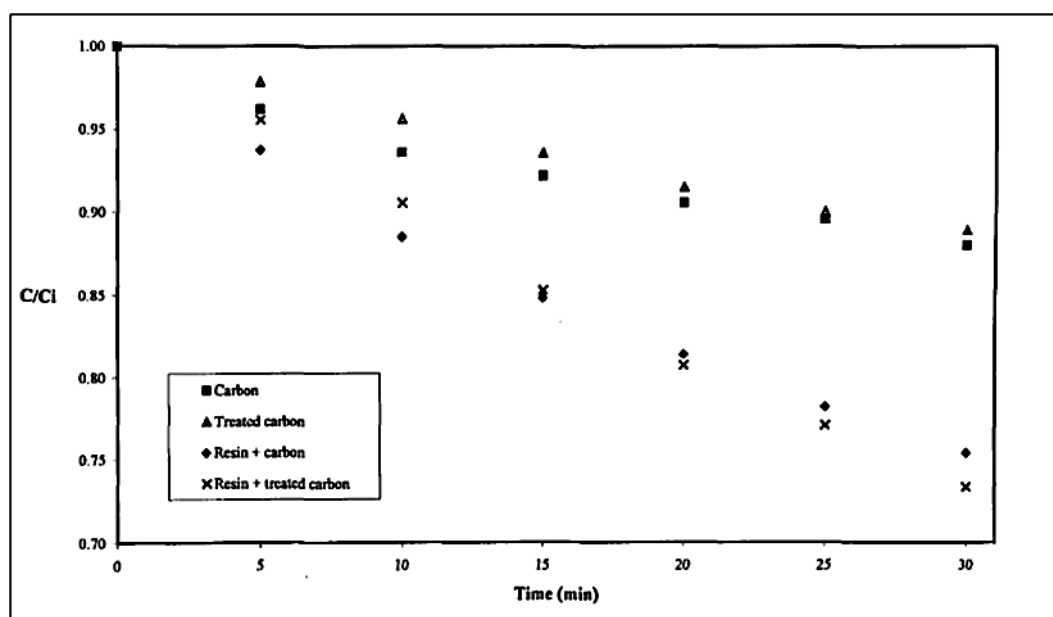


Fig. 15 Datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para los perfiles combinados de la resina cuando están en contacto con el carbono tratado y el carbono no tratado.

Tabla 4 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia en mm estimados para determinar el efecto de la porosidad de pregrabber en la extensión del pregrabbing.

Experimento	<i>kr(m/s)</i>		<i>A (mg/l)</i>	
	Resina	Carbón	Resina	Carbón
1. Resina	1.34×10^{-3}	-	19.78	-
2. Carbón no tratado	-	9.61×10^{-4}	-	14.46
3. Carbón tratado	-	1.00×10^{-3}	-	17.93
5. Resina + carbón no tratado	9.14×10^{-4}	4.93×10^{-4}	12.28	6.96
6. Resina + carbón tratado	9.08×10^{-4}	8.86×10^{-4}	11.83	9.98

Los valores de kr de la resina disminuyeron de $9,14 \times 10^{-4}$ a $9,08 \times 10^{-4}$ m/s y el valor A disminuyó de 12,28 a 11,83 mg/l con el aumento de la porosidad, lo que

significa que la adsorción de oro sobre la resina fue afectada negativamente y que el grado de pregrobbing aumenta con el aumento de la porosidad de pregrobber.

2.5. Concentración de la solución

Se investigó el efecto de la concentración en la solución sobre la pregrobbing ya que un aumento en la concentración de oro en la solución tiene un efecto positivo en la tasa de adsorción debido al aumento del gradiente de difusión entre la solución y la superficie del adsorbente/pregrobber. Del mismo modo, experimentos de equilibrio realizados por varios investigadores utilizando diferentes concentraciones iniciales de solución de oro mostraron una diferencia considerable en las capacidades de adsorción [18].

Para determinar el efecto que la concentración de solución tiene sobre el pregrobbing, se realizaron experimentos de adsorción por lotes con la resina y un pregrobber (carbono cargado al 50%) en soluciones con altas concentraciones iniciales de oro y en soluciones con bajas concentraciones iniciales de oro.

Las figuras 16 y 17 muestran los resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro sobre los adsorbentes para las diferentes concentraciones de solución de oro. El grado de la pregrobbing se determinó restando el perfil combinado de resina/pregrobber del perfil de resina para las diferentes concentraciones de disolución.

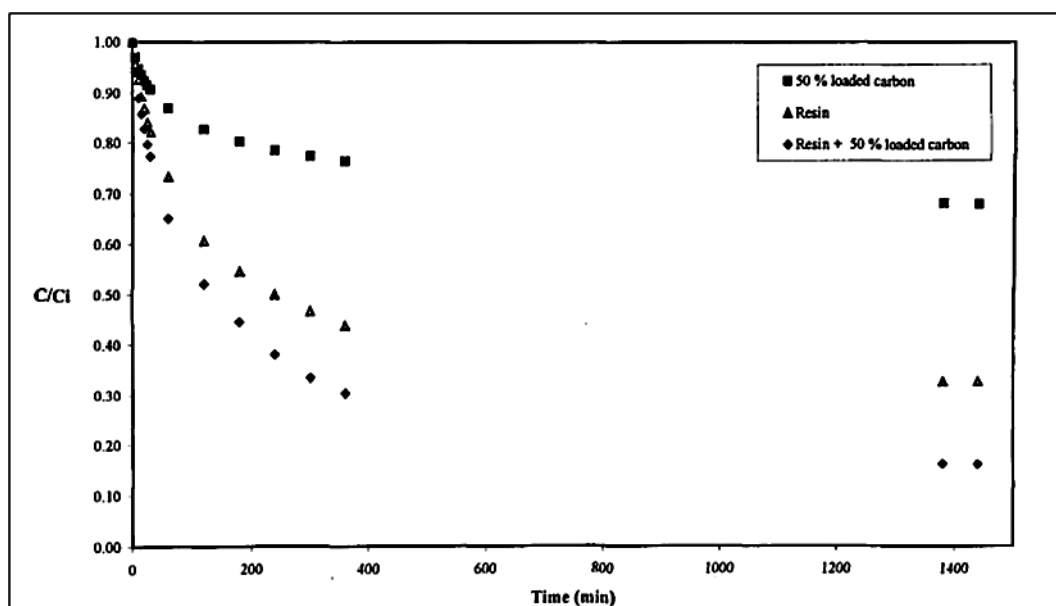


Fig. 16 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro.

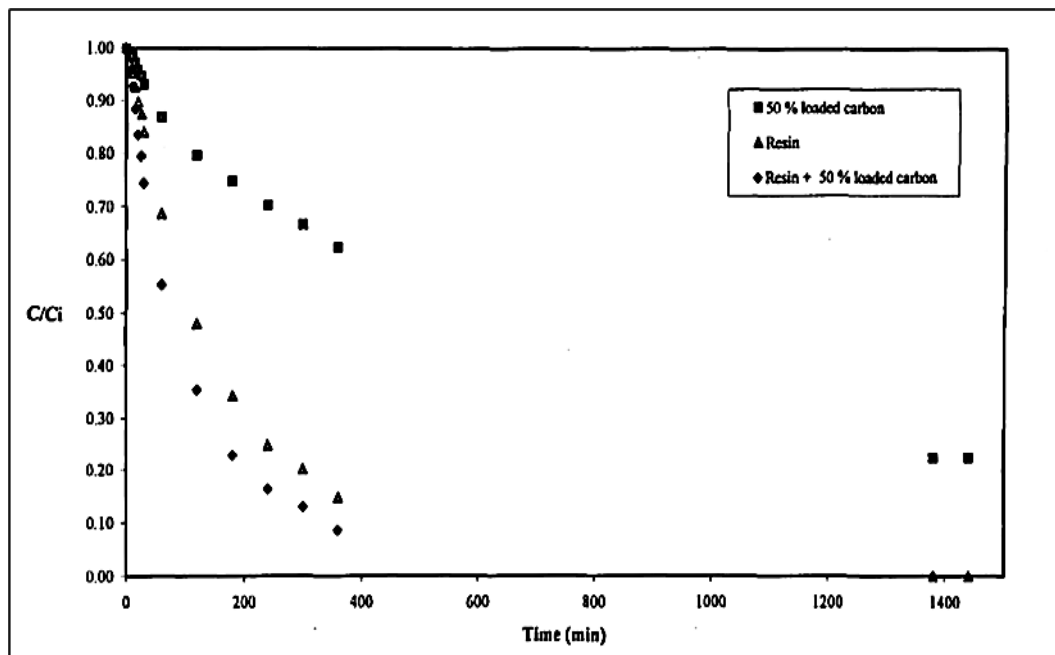


Fig. 17 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en una solución con una baja concentración inicial de cianuro de oro.

La Figura 18 ilustra los perfiles de pregrobbing para las concentraciones de disolución alta y baja, y se puede observar que la concentración de disolución tiene un impacto claro en la extensión total del pregrobbing.

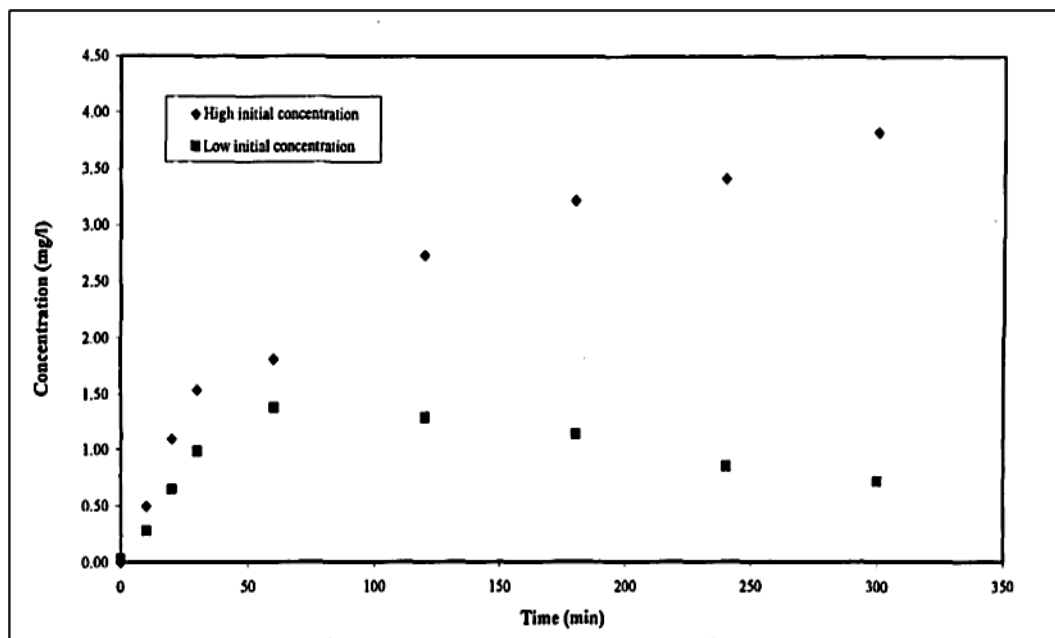


Fig. 18 Resultados cinéticos por lotes para la adsorción de cianuro de oro en el pregrobbing en una solución con alta concentración inicial de oro y en una solución con baja concentración inicial de oro

En la solución con baja concentración inicial de oro, el pregrabbing se produce inicialmente y luego disminuye con la disminución de la concentración de oro, y en la solución con una concentración inicial alta de oro, el efecto del pregrabbing aumenta con una disminución de la concentración de la solución.

La Tabla 5 muestra los valores de carga de equilibrio y los coeficientes de transferencia de película (Figura 19) estimados a partir de los perfiles para las diferentes concentraciones de solución.

Tabla 5 Valores de carga de equilibrio y coeficientes de transferencia de película estimados para determinar el efecto de la concentración de la solución en la extensión del pregrabbing.

Experimento	$kr(m/s)$		$A (mg/l)$	
	Resina	Carbón	Resina	Carbón
Alta concentración				
1. Resina	1.34×10^{-3}	-	19.78	-
2. 50 % de carbón cargado	-	7.76×10^{-4}	-	9.38
3. Resina +50% carbón cargado	9.40×10^{-4}	3.48×10^{-4}	14.99	4.59
Baja concentración				
4. Resina	1.16×10^{-3}	-	*	*
5. 50 % de carbón cargado	-	6.00×10^{-4}	-	7.85
6. Resina +50% carbón cargado	9.31×10^{-4}	2.89×10^{-4}	*	*

(*) No alcanzó la capacidad de carga de equilibrio

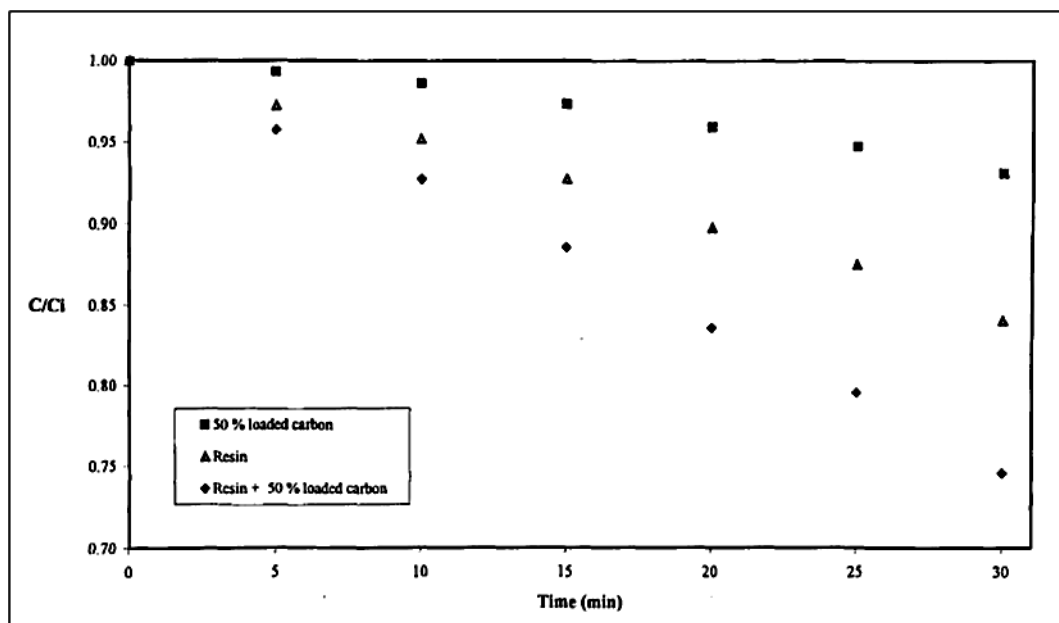


Fig. 19 Los datos iniciales de velocidad para determinar los coeficientes de transferencia de película para la resina y el pregrabber en una solución con una baja concentración inicial de oro.

La capacidad de carga de equilibrio de la resina no pudo determinarse en la solución con la baja concentración de oro, ya que la concentración inicial de oro no era lo suficientemente alta para que la resina alcanzara su capacidad de carga de equilibrio. Sin embargo, el valor de A para el pregrobbing disminuyó de 9,38 mg/l en la solución con alta concentración de oro a 7,85 mg/l en la solución con baja concentración de oro.

Los valores de k_c para el perfil de adsorción de la resina disminuyeron de $9,40 \times 10^{-4}$ m/s en la solución con alta concentración de oro a $9,31 \times 10^{-4}$ m/s en la solución con baja concentración de oro. La extensión del pregrobbing también disminuyó significativamente, con los valores de k_f para el pregrobbing en la baja concentración de oro siendo $2,89 \times 10^{-4}$ m/s y en la alta concentración de oro $3,48 \times 10^{-4}$ m/s.

El aumento de la cinética de reacción observado con un aumento en la concentración de solución indica, por tanto, que el pregrobbing tendrá lugar en menor medida en soluciones con baja concentración de oro que en soluciones con alta concentración de oro.

III. RESULTADOS

3.1. Adsorción de oro sobre minerales puros

El objetivo del trabajo es establecer la presencia y el alcance del pregrobbing por minerales en los minerales de oro. Varios minerales puros, pirita, calcopirita, cuarzo y caolín, que se encuentran comúnmente en los minerales de oro, se utilizaron para investigar la adsorción del oro en las superficies de los minerales. Las muestras minerales molidas se contactaron cada una con una solución sintética de aurocianuro y luego se analizaron en busca de oro.

Se consideró que los análisis de solución eran más propensos al error que los análisis de los sólidos y, por tanto, todos los resultados se basan en la carga real de oro sobre los sólidos. Los resultados y condiciones experimentales se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6 La adsorción del oro sobre minerales puros.

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Adición de oro (mg/l)	Oro final sobre mineral (g/t)
Caolín	0.00	150	15.37
Cuarzo	0.00	150	16.04
Pirita	0.00	150	55.90
Chalcopirita	0.00	150	97.20

Condiciones:

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 30 g

Volumen de disolución: 500 ml

El oro se adsorbía en todos los minerales estudiados, pero en distintos grados. Se encontró que la calcopirita y la pirita eran adsorbentes relativamente potentes de oro. El cuarzo y el caolín también adsorbían cantidades significativas de oro, pero no en la misma medida que los minerales sulfuros.

Las muestras minerales también se cargaron con oro en soluciones con altas concentraciones de oro para proporcionar muestras para microscopía electrónica de barrido (SEM) y así proporcionar más información sobre la especiación y distribución del oro cargado en las superficies minerales. Sin embargo, no se

encontró oro visible en ninguno de los minerales cargados porque las cargas de oro para los minerales estaban por debajo del límite de detección del instrumento.

Adams et al. (1996) [8], sin embargo, investigaron las fuertes propiedades de adsorción de oro de la calcopirita y la pirita mediante espectroscopía de Mossbauer y microscopía electrónica de barrido, y concluyeron que el oro se adsorbía en estos minerales como oro metálico, sin evidencia de que el complejo Au(I) esté presente.

Este resultado es consistente con el análisis ion-cromatográfico que mostró que hay cianuro libre residual tras la adsorción. Las micrografías electrónicas de barrido de calcopirita cargada en oro mostraron que el oro metálico se acumula en los bordes y en dislocaciones, es decir, en sitios de defectos en la superficie del mineral. El hecho de que el oro metálico visible solo se encontrara en sitios con defectos sugiere que el cianuro de oro reacciona con la fase oxidada de cobre presente en estos sitios.

Adams et al. (1996) [8] no pudieron detectar ningún oro visible en pirita mediante MEB, por las mismas razones mencionadas anteriormente. Sin embargo, atribuyeron las propiedades adsorbidoras de oro de la pirita a las propiedades semiconductoras de los minerales sulfuro y sugirieron que el mecanismo de adsorción de aurocianuro sobre pirita implica una reducción electroquímica, con la formación de oro metálico en la superficie.

Habashi (1978) [19], que investigó la química y metalurgia de la calcopirita, sugirió que la calcopirita sufre oxidación acuosa en soluciones neutras y alcalinas con la formación lenta de hidróxido cúprico.

También demostró que cuando tanto cobre como oro están presentes en una solución de cianuro, se forma el compuesto polimérico AuCNCuCN. El AuCN insoluble tiende a reducirse en solución alcalina, con la formación de oro metálico (Au^0) y $\text{Cu}(\text{CN})_2$.

Las pequeñas cantidades de oro adsorbidas por el cuarzo y el caolín pueden estar relacionadas con los efectos de carga superficial y la superficie de los minerales. Según Adams et al. (1996), la cantidad de oro adsorbida por minerales silicatados, como el cuarzo y el caolín, está dictada principalmente por la superficie disponible. Observaron diferentes cargas de oro en muestras de cuarzo con distintas superficies.

La espectroscopía de Mossbauer mostró que no había oro metálico en el cuarzo, lo que sugiere que los minerales silicatos contienen solo oro químicamente unido en forma de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

Petersen (1997) [20] descubrió que el oro se adsorbía sobre el cuarzo, y no solo se adhería físicamente a la superficie, y demostró mediante pruebas infrarrojas que $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ estaba presente en la superficie mineral. También descubrió que a un pH de 12 la carga de oro sobre cuarzo era aproximadamente un tercio de la carga de oro a un pH de 10, lo que indica que el fenómeno de adsorción probablemente sea de naturaleza electrostática.

Otros investigadores sugirieron que los bordes de minerales arcillosos, como el caolín, presentan efectos de carga superficial debido a la hidroxilación e ionización de enlaces Al-O y Si-O rotos, y a su activación por especies catiónicas. También afirmaron que es posible el intercambio iónico entre los grupos hidroxilo libres en los bordes de los planos de capa de minerales arcillosos y aniones en solución.

3.2. Cianuración de minerales puros

Los experimentos de adsorción de oro demostraron que el oro se adsorbía en todos los minerales estudiados. Para determinar el efecto que la pregrobbing con estos minerales tendrá sobre una planta CIP o RIP, fue necesario investigar si el oro pregrado podía recuperarse mediante cianuración. Los minerales cargados se lixivaban en una solución de cianuro de potasio y luego se analizaban en busca de oro. Los resultados y condiciones experimentales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 La desorción de oro de minerales puros.

Mineral	Oro sobre mineral tras adsorción (g/t)	Adición de KCN (mg/l)	Oro sobre mineral tras desorción (g/t)	Desorción (%)
Caolín	15.37	200	0.45	97.07
Cuarzo	16.04	200	0.62	96.13
Pirita	55.90	200	3.74	93.31
Chalcopyrita	97.20	200	3.90	95.99

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 30 g

Volumen de solución: 500 ml

Fue posible obtener más del 90 % de desorción de oro adsorbido de todos los minerales. En presencia de cianuro de potasio, calcopirita y pirita mostraron una desorción relativamente completa del oro. Aunque el porcentaje de desorción de oro adsorbido para calcopirita y pirita era más o menos el mismo que el del cuarzo y el caolín, la lixiviación de estos minerales no era tan efectiva como la de los minerales silicatados.

Pequeñas cantidades de oro no podían eliminarse de los minerales sulfuros mediante cianuración, posiblemente debido a reacciones químicas y reducción electroquímica entre el oro y la superficie mineral. También es posible que parte del oro desorbido pudiera haberse readsorbido sobre los minerales durante la cianurización.

Esto no supone un problema y puede superarse utilizando una resina de intercambio iónico o carbón activado en la solución de lixiviación. Sin embargo, debe señalarse que las muestras de calcopirita y pirita utilizadas en este estudio no estuvieron expuestas a la oxidación. No se investigó la oxidación severa de estos minerales, pero es posible que el estado de oxidación de estos minerales influya en su adsorción y comportamiento de lixiviación.

La desorción del oro adsorbido de los minerales silicatados, cuarzo y caolín, se acercaba al 100%. Urban et al. (1973) [4] demostraron que la adsorción del oro sobre algunos minerales silicatos es un fenómeno lento y reversible que se reduce con un aumento de los niveles de cianuro.

Teniendo en cuenta que no se utilizó carbón activo ni resina de intercambio iónico durante la lixiviación, solo cantidades muy pequeñas de oro no se eliminaron mediante la cianuración. El oro restante puede explicarse posiblemente por la presencia de pequeñas grietas en las partículas, que pueden atrapar iones aurocianuro.

En general, el oro podía extraerse con éxito de los minerales investigados en presencia de cianuro de potasio. El fenómeno de adsorción puede ser totalmente reversible si hay carbón activado o una resina de intercambio iónico presente en la solución de lixiviación. Por lo tanto, el efecto de pregrobbing de estos minerales probablemente no sería un problema en la mayoría de las plantas CIP o RIP.

3.3. Adsorción versus fijación física

Aunque los resultados de la Tabla 6 muestran claramente que el oro se adsorbe sobre los minerales, se realizaron pruebas adicionales para confirmar la adsorción física del oro, y que no se trataba simplemente de una fijación a la superficie de las partículas minerales.

En las pruebas, las muestras minerales se cargaron en una solución sintética de aurocianuro bajo las mismas condiciones que los estudios de adsorción. Los minerales cargados se extrajeron de la solución y se analizó una porción de cada muestra mineral en busca de oro. Las muestras minerales cargadas restantes se lavaron a fondo con agua y luego se analizaron en busca de oro.

Los resultados (Tabla 8) muestran la presencia de oro con una carga equivalente al 25 y 3,5 por ciento de la concentración inicial de oro para las muestras de caolín y cuarzo, respectivamente. Solo un pequeño porcentaje de oro se extrajo de los minerales sulfurosos mediante lavado, con pirita y calcopirita mostrando una pérdida de oro del 30 y 19 por ciento, respectivamente. Las pequeñas pérdidas de oro causadas por estos minerales confirman que la adsorción de oro sobre estos minerales es más de naturaleza química y electroquímica y no tanto un efecto de área superficial.

Tabla 8 La pérdida de contenido de oro en minerales puros debido al lavado.

Mineral	Oro sobre mineral tras adsorción (g/t)	Oro sobre mineral tras lavar (g/t)	Pérdida por lavado (%)
Caolín	9.22	2.27	75
Cuarzo	15.87	5.70	64
Pirita	47.78	33.30	30
Chalcopirita	83.48	67.54	19

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 30 g

Volumen de solución: 500 ml

Adición de oro: 150 mg/l

3.4. Adsorción de oro sobre los minerales de pregrobbing

Se investigaron las propiedades adsorbientes de oro de varios minerales de oro en pregrobbing contactando los minerales con una solución sintética de aurocianuro. Los minerales se analizaron para obtener la carga de oro, el carbono orgánico y el contenido de azufre pirítico antes del contacto con la solución de aurocianuro. Se encontró que el contenido de carbono orgánico varía entre el 0,5 y el 0,9 por ciento, lo cual es relativamente alto para los minerales de oro y probablemente responsable de las características de pregrobbing de los minerales.

La Tabla 9 muestra los resultados y condiciones de los experimentos de adsorción de oro. Todos los minerales mostraron cierta adsorción de oro. Los minerales con los niveles más altos de carbono orgánico tenían en general las mayores cargas de oro.

Tabla 9 Adsorción de oro sobre los minerales pregrobbing.

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro final sobre mineral (g/t)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	37.20	0.90	1.30
No.2	5.73	9.67	0.50	1.70
No.3	5.20	18.32	0.59	5.20
No.4	10.00	24.30	0.70	0.40
No.5	1.25	32.21	0.90	0.75

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa de mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de oro: 50 mg/l

La Figura 20 muestra que existe una correlación lineal aproximada entre la cantidad de oro adsorbida por el mineral y el contenido total de carbono orgánico en el mineral.

Sin embargo, según Osseo-Asare et al. (1984) [10], esto no siempre es así, debido a las diferentes actividades asociadas al carbono orgánico en los minerales, así

como a las diferentes cantidades de hidrocarburos y ácidos orgánicos presentes y, en menor medida, a los diferentes contenidos de azufre pirítico en los minerales.

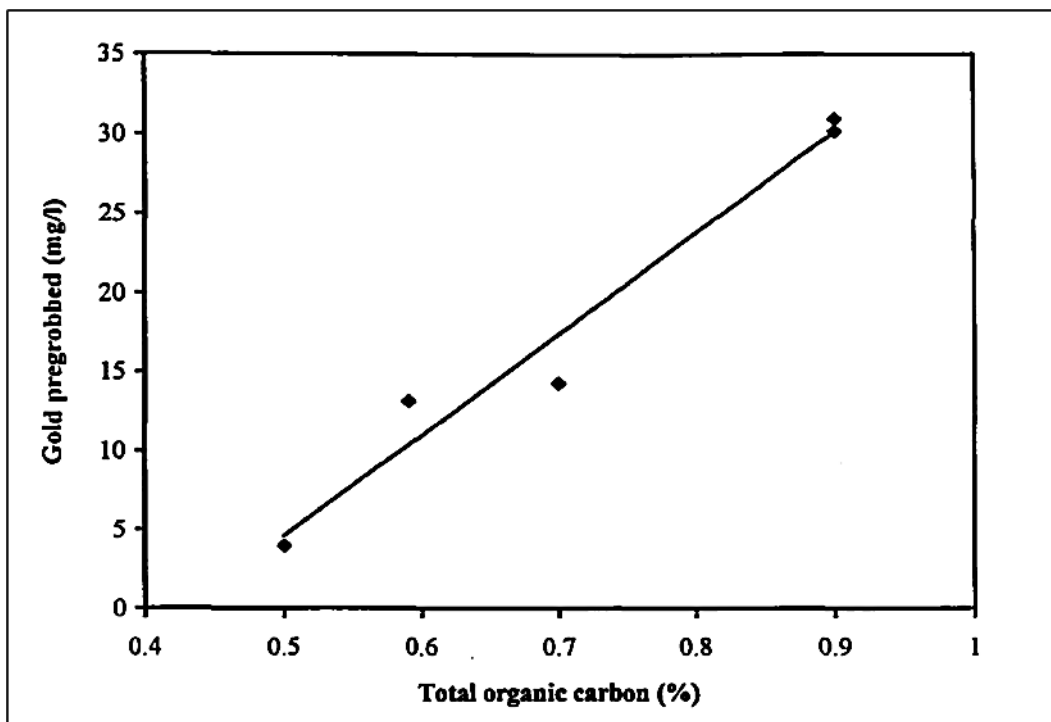


Fig. 20 Efecto del contenido total de carbono orgánico sobre la cantidad de oro absorbida por los minerales de pregrado.

Las tablas 6 y 9 muestran que la absorción de oro por los minerales de silicio fue considerablemente menor que la de los minerales carbonosos. Esto sugiere que existe un mayor grado de interacción química entre el complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ y los grupos funcionales superficiales que contienen carbono en los minerales carbonáceos que con los grupos funcionales que contienen silicio en los minerales de silicio.

3.5. Cianuración de los minerales de pregrobbing

Tras la adsorción, los minerales cargados se lixiviaban en una solución de cianuro potásico sin la presencia de carbón activado ni resina de intercambio iónico. El propósito de los experimentos en esta sección era determinar la recuperación de oro de los minerales cargados mediante cianuración convencional.

Los resultados de los experimentos de desorción se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10 La desorción de oro de los minerales cargados y de pregrobbing.

Mineral	Oro sobre mineral tras adsorción (g/t)	Oro sobre mineral tras la desorción (g/t)	Desorción (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	37.20	21.54	42	0.90	1.30
No.2	9.67	6.03	38	0.50	1.70
No.3	18.32	6.88	62	0.59	5.20
No.4	24.30	11.59	52	0.70	0.40
No. 5	32.21	17.33	46	0.90	0.75

Las eficiencias de desorción eran bajas para todos los minerales, especialmente aquellos con un alto contenido de carbono orgánico. Las bajas eficiencias de desorción pueden atribuirse al contenido inicial de oro relativamente alto de los minerales y porque no había carbón activado ni resina de intercambio iónico presente que adsorbiera el oro durante su disolución. Por lo tanto, es posible que el oro disuelto pudiera haber sido impregnado por el material carbonáceo del mineral.

Para obtener más información sobre las propiedades de adsorción del oro de los minerales, se realizaron experimentos de lavado similares a los descritos anteriormente (Tabla 11).

Tabla 11 La pérdida de oro en los minerales de pregrobbing debido al lavado.

Mineral	Oro sobre el mineral tras la adsorción (g/t)	Oro sobre mineral tras lavar (g/t)	Pérdida por lavado (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	37.20	32.56	12	0.90	1.30
No.2	9.67	9.40	3	0.50	1.70
No.3	18.32	13.44	27	0.59	5.20
No.4	24.30	16.52	32	0.70	0.40
No. 5	32.21	25.63	20	0.90	0.75

El porcentaje de pérdida de oro en los minerales debido al lavado fue bajo para todos los minerales. La correlación entre la eficiencia de la desorción de oro y el contenido total de carbono orgánico del mineral, y el hecho de que solo pequeñas cantidades de oro se eliminaron mediante lavado, ilustra que la presencia de material carbonáceo en los minerales de oro probablemente tiene un efecto mayor que la de la fase mineral.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Recuperación de oro de los minerales de pregrobbing

En el capítulo anterior se estableció que las propiedades adsorbientes de oro y el mal comportamiento de lixiviación de los minerales de pregrado se deben generalmente a la presencia de materia carbonosa y, en menor medida, minerales sulfuros. Estos componentes de pregrobbing tienen la capacidad de adsorber oro disuelto de soluciones de cianuro.

Además, el oro puede estar asociado con estos componentes en el mineral y no ser lixiviado por los agentes complejos de cianuro utilizados en técnicas convencionales de cianuro.

Por tanto, los minerales de pregrobing utilizados para la experimentación en este capítulo fueron analizados en cuanto a contenido de azufre pirítico y carbono orgánico, y se asumió que estos componentes son responsables de las características de prerobing de los minerales.

Por tanto, el grado de la degradación por estos minerales se explicaba en términos del contenido de carbono orgánico y azufre pirítico del mineral. También se investigó una posible correlación entre la eficiencia de la extracción del oro y el contenido total de carbono orgánico y azufre pirítico.

Se han empleado varias técnicas para contrarrestar el efecto perjudicial de estos minerales durante la recuperación de oro y el éxito de estos métodos de procesamiento, o una combinación de ellos, depende principalmente de la mineralogía del mineral.

A partir de estos procesos, la resina en lixiviación y el uso de tensioactivos son algunos de los métodos más prometedores. Por tanto, el trabajo de este capítulo se centra en el uso de una resina de intercambio iónico en la solución de lixiviación y en pruebas preliminares sobre la influencia de ciertos compuestos orgánicos o tensioactivos en la eficiencia de lixiviación de los minerales de pregrobbing.

Se investigaron tres escenarios para la recuperación de oro de los diferentes minerales de pregrobing, a saber: (1) la cianuración convencional de los minerales en una solución de cianuro de potasio, (2) la cianuración en presencia de una resina selectiva de oro (RIL) y, (3) la cianuración en presencia de una resina y un agente cegador orgánico.

4.2. Cianuración convencional de los minerales de pregrobbing

Cuando se lixivia un mineral de oro carbonoso, el aurocianuro producido es fácilmente absorbido por la materia carbonácea y la solución se despoja de su oro. Varios investigadores han demostrado que la materia carbonácea natural asociada a la prefabricación de minerales de oro a menudo se comporta como carbón activo cuando está en contacto con soluciones de aurocianuro. La disolución del oro procede hasta alcanzar el equilibrio químico entre el complejo de cianuro adsorbido por el mineral y el complejo de cianuro en solución.

Por tanto, el oro restante en el mineral en equilibrio, ya sea oro disuelto que fue readorbido por el mineral u oro asociado a los componentes del pregrobbing que no pudieron ser lixiviados, es oro que fue pregrobbing por el mineral. Para determinar el efecto de pregrobbing de la materia carbonosa en los minerales investigados, se realizaron experimentos de lixiviación con cianuro de potasio. Los resultados y condiciones experimentales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 Cianuración convencional de minerales de pregrobbing.

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras la lixiviación (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	4.92	30	0.90	1.30
No.2	5.73	4.80	16	0.50	1.70
No.3	5.20	2.36	55	0.59	5.20
No.4	10.00	2.18	78	0.70	0.40
No. 5	1.25	0.89	29	0.90	0.75

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de solución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Todos los minerales prergrobaban oro hasta cierto punto. Las recuperaciones muy bajas se obtuvieron especialmente de los minerales 1, 2, 3 y 5. Las bajas

recuperaciones de los minerales 1 y 5 se deben a su alto contenido de carbono orgánico.

Aunque el mineral N° 3 contiene solo un 0,59 % de carbono orgánico, es posible que el alto contenido de azufre pirítico sea responsable de su pobre lixiviabilidad.

El mineral N° 2 mostró una recuperación de oro muy baja y es obviamente un mineral muy prepotente. Es difícil concluir por qué se obtuvo una recuperación tan baja, ya que en comparación con otros minerales tiene un contenido relativamente bajo de carbono orgánico y azufre pirítico.

Es posible que el carbono natural del mineral tenga una actividad muy alta para la adsorción del oro o que el carbono orgánico en el mineral esté asociado con altos niveles de ácidos orgánicos, como el ácido húmico, que contienen grupos funcionales superficiales capaces de formar fuertes enlaces químicos con complejos aurocianuros para formar compuestos orgánicos de oro que no pueden disolverse con cianuro.

4.3. Cianuración en presencia de una resina de intercambio iónico

En el proceso resina-in-lixiviación (RIL) se añade una resina de intercambio iónico a la solución de lixiviación para competir con las especies pregrobbings el complejo de cianuro de oro. Este proceso funciona bajo el principio de utilizar un adsorbente con una actividad mayor que la materia carbonosa del mineral.

Durante la lixiviación, el oro en el mineral se disuelve por el cianuro y la mayor parte del complejo de cianuro de oro en formación es adsorbida por la resina de intercambio iónico más fuerte, hasta que la concentración de oro en la resina alcanza el equilibrio químico con la concentración de oro sobre el material carbonáceo.

Por lo tanto, si los materiales de pregrobing presentan ciclos de adsorción y desorción de oro, un desplazamiento en las condiciones de equilibrio al añadir resina al proceso de lixiviación podría resultar en una reducción de la contribución de la característica de pregrobing del mineral.

Los diferentes tipos de resinas de intercambio iónico utilizadas en este estudio se compararon en soluciones de cianuro de oro transparente y en soluciones que contenían otros complejos de cianuro de metales básicos para determinar la resina más eficaz para usar con los minerales de pregrobbing.

La resina selectiva de oro tenía una mayor capacidad de carga de oro que las otras resinas comerciales en la solución que contenían otros cianuros de metales básicos que compiten con el oro por los sitios de resina.

Dado que los minerales de oro de pregrobing también contienen otros metales básicos, se decidió que la resina selectiva de oro tendrá el mayor impacto en las características de pregrado del mineral y, por tanto, se utiliza en todos los experimentos de resina en lixiviación.

Los resultados y condiciones de las pruebas de segunda etapa, es decir, el contacto de los minerales de pregrobbing con una resina selectiva de oro en presencia de cianuro de potasio, se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Cianuración de los minerales pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro (RIL).

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	3.06	56	0.90	1.30
No.2	5.73	4.02	30	0.50	1.70
No.3	5.20	1.75	66	0.59	5.20
No.4	10.00	1.10	89	0.70	0.40
No. 5	1.25	0.47	62	0.90	0.75

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Todos los minerales mostraron un aumento en la recuperación de oro. Aunque los minerales 1 y 5 mostraron el mayor aumento en la recuperación de oro, aún tuvieron la recuperación global más baja. El alto contenido de carbono orgánico de estos minerales probablemente sea responsable de esto.

Se obtuvieron recuperaciones aceptables de oro del mineral 4 con una recuperación del 89 por ciento. Se obtuvieron recuperaciones de oro muy bajas del mineral N° 2. Excepto por las razones dadas en la sección anterior, no es posible explicar el mal comportamiento de lixiviación de este mineral con la información disponible.

Es necesario un análisis mineralógico completo de este mineral (que no se realizó en este estudio) para identificar y caracterizar los posibles componentes del pregrobbing.

En general, los aumentos obtenidos entre el 11 y el 33 por ciento (Figura 21) ilustran que el aurocianuro es adsorbido por la materia carbonosa del mineral y que la presencia de una resina que compite con los componentes pregrádicos por el complejo de cianuro de oro puede ser un método eficaz para tratar estos minerales.

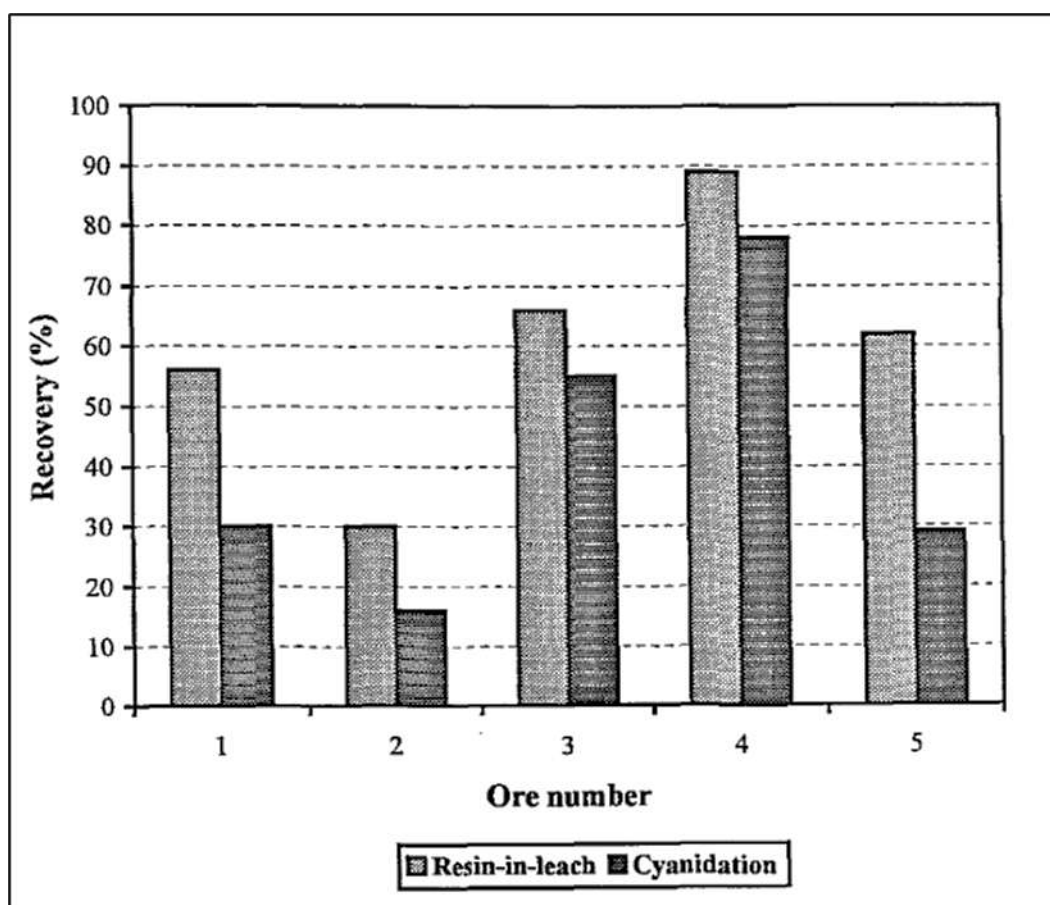


Fig. 21 Aumento porcentual en la recuperación de oro mediante el uso de resina de intercambio iónico en la solución de lixiviación.

4.4. Cianuración en presencia de una resina y un compuesto orgánico

El objetivo del trabajo en esta sección fue investigar los efectos de aditivos orgánicos y tensioactivos en la absorción de aurocianiuros por los minerales de pregrado. Los compuestos orgánicos o agentes activos superficiales (tensioactivos) se describen como agentes cegadores porque son capaces de pasivar las superficies de la materia carbonosa del mineral al ser adsorbidos preferentemente al complejo de cianuro de oro.

La literatura revisada no fue consistente en su explicación sobre los mecanismos exactos por los cuales estos compuestos orgánicos inhiben la adsorción de oro por los minerales carbonáceos. Se postuló que estos compuestos se adsorberían en el sólido como especies aniónicas, conferiendo así una carga negativa al interfaz sólido/acuoso.

La repulsión electrostática entre la superficie sólida negativa altamente cargada y el anión $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ podría entonces impedir la adsorción del ion aurocianuro. Una segunda explicación fue que estos aditivos orgánicos recubrirían la superficie del mineral y, al limitar el número de sitios disponibles en la superficie, inhibían la absorción de oro.

Según Abotsi y Osseo-Asare (1987) [12], tanto las interacciones hidrofóbicas como electrostáticas son importantes. Concluyeron, mediante experimentos de movilidad electroforética, que por encima de un pH de 3, las superficies de los distintos sólidos en el mineral investigado tenían carga negativa, lo que resulta en una repulsión entre los sólidos cargados negativamente y el anión aurocianuro.

También observaron un aumento en la adsorción de oro por parte del mineral con una disminución del pH y explicaron esto debido a una disminución en la repulsión electrostática, ya que los resultados de movilidad electroforética indicaban que las superficies de los sólidos eran menos negativas con una disminución del pH.

Sin embargo, es un hecho bien conocido que el carbón activado adsorbe compuestos orgánicos y, por tanto, es posible que la adsorción de los aditivos orgánicos limite los sitios superficiales disponibles en el carbono para la adsorción del complejo de cianuro de oro.

Estos dos mecanismos resultaron ser suficientes para explicar la eficacia de los compuestos orgánicos para disminuir la actividad de la materia carbonosa prepotente en el mineral.

La combinación del uso de tensioactivos con un sistema de adsorbente en lixiviación para el tratamiento de minerales de oro en pregrado no es un concepto nuevo. Sin embargo, el único adsorbente utilizado con los tensioactivos hasta ahora es el carbón activado.

El carbón activado no es la mejor opción, porque si el tensioactivo es capaz de cegar la materia carbonácea del mineral, también cegará el carbón activado en cierta medida, especialmente a dosis altas.

Las resinas de intercambio iónico no solo tienen capacidades y velocidades de carga potencialmente mayores que el carbón activado, sino que también tienen menos probabilidades de ser envenenadas por materia orgánica como los tensioactivos.

Por tanto, la combinación de la resina selectiva de oro utilizada en este estudio y un tensioactivo debería ser más eficaz para minimizar las propiedades adsorptivas del material carbonoso en los minerales.

Los agentes cegantes orgánicos utilizados en este estudio fueron diésel, queroseno, lauril sulfato de sodio (SLS), tricaprílmethylamonio cloruro (Aliquat 336) y dodecilamina (DDA).

Los compuestos orgánicos fueron elegidos para cubrir una variedad de propiedades, como la ionicidad, los efectos de emulsificación y la solubilidad en agua, y en función de sus posibles interacciones con el mineral carbonáceo y/o el complejo aurocianuro.

Se utilizaron dosis relativamente altas (hasta un 1%) de estos agentes cegantes para investigar su efecto sobre las características de pregrobbing de los minerales 1, 2 y 3.

Estos minerales se eligieron en función de su variable contenido de carbono orgánico y azufre pirítico, y porque se obtuvieron recuperaciones de oro muy bajas de estos minerales en los experimentos de resina en lixiviación.

Los resultados y condiciones de los experimentos se muestran en la Tabla 14 a la Tabla 18.

Tabla 14 Cianuración o minerales de pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y diésel

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	2.78	60	0.90	1.30
No.2	5.73	3.02	47	0.50	1.70
No.3	5.20	1.16	78	0.59	5.20

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Adición de diésel: 1%

Tabla 15 Cianuración de los minerales de pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y queroseno.

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	2.66	62	0.90	1.30
No.2	5.73	2.92	49	0.50	1.70
No.3	5.20	1.94	63	0.59	5.20

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Adición de queroseno: 1%

Tabla 16 Cianuración de minerales en pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro y lauril sulfato de sodio (SLS).

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	2.44	65	0.90	1.30
No.2	5.73	2.06	64	0.50	1.70
No.3	5.20	1.34	74	0.59	5.20

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Adición de SLS: 1%

Tabla 17 Cianuración de los minerales en pregrobbing en presencia de una resina selectiva de oro y tricaprilmétilo-amonio cloruro (Aliquat 336)

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	3.48	50	0.90	1.30
No.2	5.73	3.22	44	0.50	1.70
No.3	5.20	2.08	60	0.59	5.20

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Adición de Aliquat 336: 1%

Tabla 18 Cianuración de minerales en pregrobbing en presencia de resina selectiva de oro y dodecilamina (DDA).

Mineral	Oro inicial sobre mineral (g/t)	Oro sobre el mineral tras RIL (g/t)	Recuperación (%)	Carbón orgánico (%)	Azufre pirítico (%)
No. 1	7.02	4.50	36	0.90	1.30
No.2	5.73	3.48	39	0.50	1.70
No.3	5.20	3.08	41	0.59	5.20

Condiciones

pH: 11

Tiempo: 24 horas

Velocidad de agitación: 300 rpm

Masa mineral: 50 g

Volumen de disolución: 500 ml

Adición de KCN: 200 mg/l

Volumen de resina: 5 ml

Adición de DDA: 1%

Dado que la práctica tradicional de la planta implica añadir diésel o queroseno al mineral de pregrado, se decidió utilizar estos compuestos como referencia para evaluar el rendimiento de los otros compuestos probados.

Aunque se obtuvieron aumentos en las recuperaciones de oro de hasta un 34 %, ninguno de los compuestos inhibe suficientemente la adsorción del oro por parte del material de preñadación para proporcionar recuperaciones globales aceptables, y algunos compuestos incluso tuvieron un impacto negativo en las recuperaciones de oro.

Las figuras 22 a 24 ilustran las recuperaciones de oro obtenidas en presencia de compuestos orgánicos. La adición de diésel tuvo un efecto positivo en el comportamiento de lixiviación de todos los minerales, pero para los minerales 1 y 2 las recuperaciones totales del 60 % y 47 % respectivamente siguen siendo bajas y probablemente no serían aceptables para ninguna planta de oro.

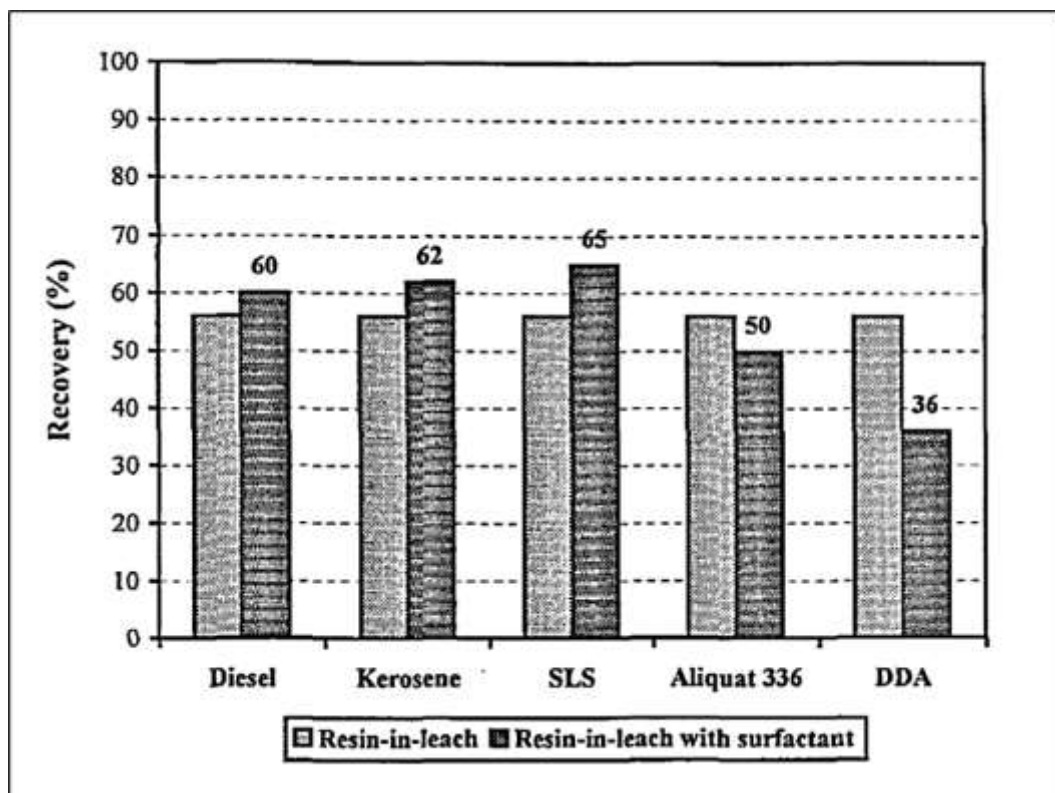


Fig. 22 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 1 en presencia de compuestos orgánicos.

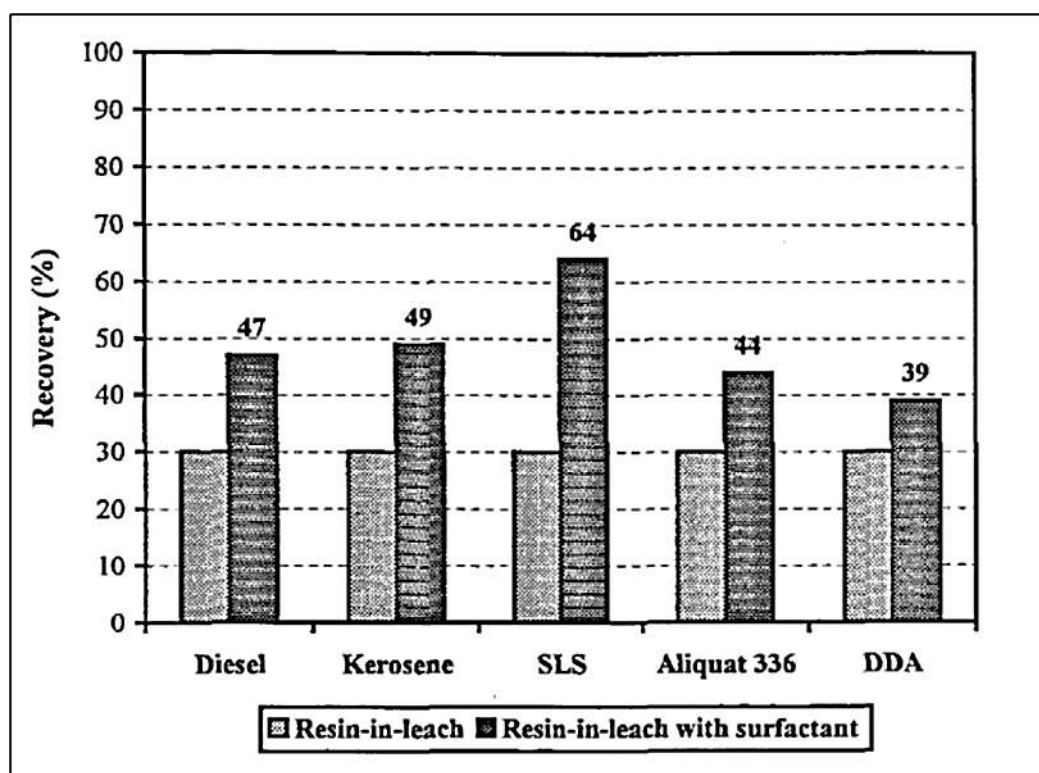


Fig. 23 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 2 en presencia de compuestos orgánicos.

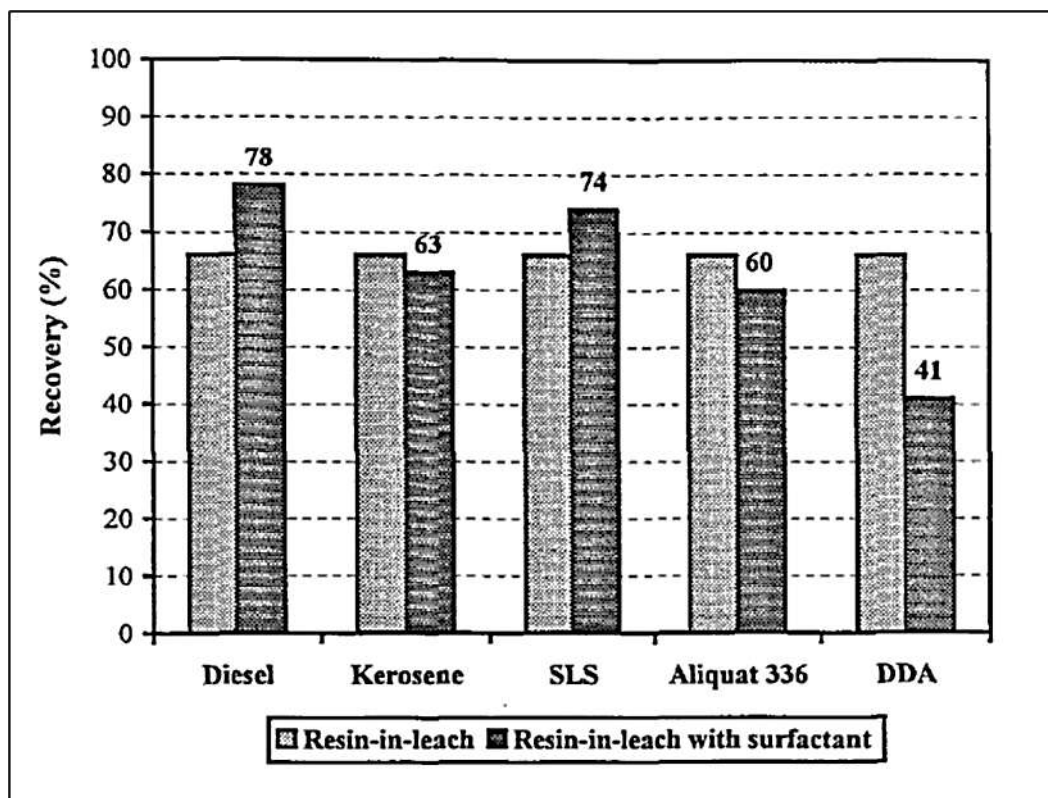


Fig. 24 Las recuperaciones de oro se obtuvieron del mineral N° 3 en presencia de compuestos orgánicos.

El queroseno fue menos efectivo que el diésel en el caso del mineral 3, que tuvo una recuperación del 63 %, pero proporcionó más o menos las mismas recuperaciones que el diésel para los otros dos minerales.

El SLS fue en general el reactivo más efectivo, lo que resultó en un aumento del 34 % en la recuperación obtenida para el mineral 2. La SLS forma especies aniónicas en solución y, según Abotsi y Osseo-Asare (1987) [12], quienes investigaron reactivos aniónicos similares, las especies aniónicas se adsorben sobre las partículas carbonáceas cargadas negativamente, lo que provoca un aumento de la carga negativa del interfaz sólido/agua carbonácea. El aniónico. por lo tanto, el surfactante deprime la carga de oro sobre el mineral carbonoso como resultado de la repulsión entre las partículas de mineral altamente cargadas negativamente y el anión $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

DDA, y en menor medida Aliquat 336, ambos tuvieron un efecto negativo en la recuperación del oro. Se obtuvieron disminuciones significativas en las recuperaciones de oro de hasta un 25 % para los minerales 1 y 3 en ambos casos, y solo se observaron ligeros aumentos para el mineral 2.

Estos resultados coinciden más o menos con los observados por Abotsi y Osseo-Asare (1987) [12] usando los mismos tensioactivos. Aliquat 336, que es completamente catiónico, y DDA, que forma especies catiónicas y neutras, potencia la absorción de oro por parte del mineral carbonoso, presumiblemente actuando como un activador que conecta el complejo aurocianuro cargado negativamente con la superficie sólida cargada negativamente.

En la Figura 25, que compara las recuperaciones de oro obtenidas de los minerales 1, 2 y 3 al aplicar los diferentes aditivos orgánicos, se observa que no existe correlación entre el contenido de carbono orgánico y azufre pirítico y las recuperaciones de oro obtenidas.

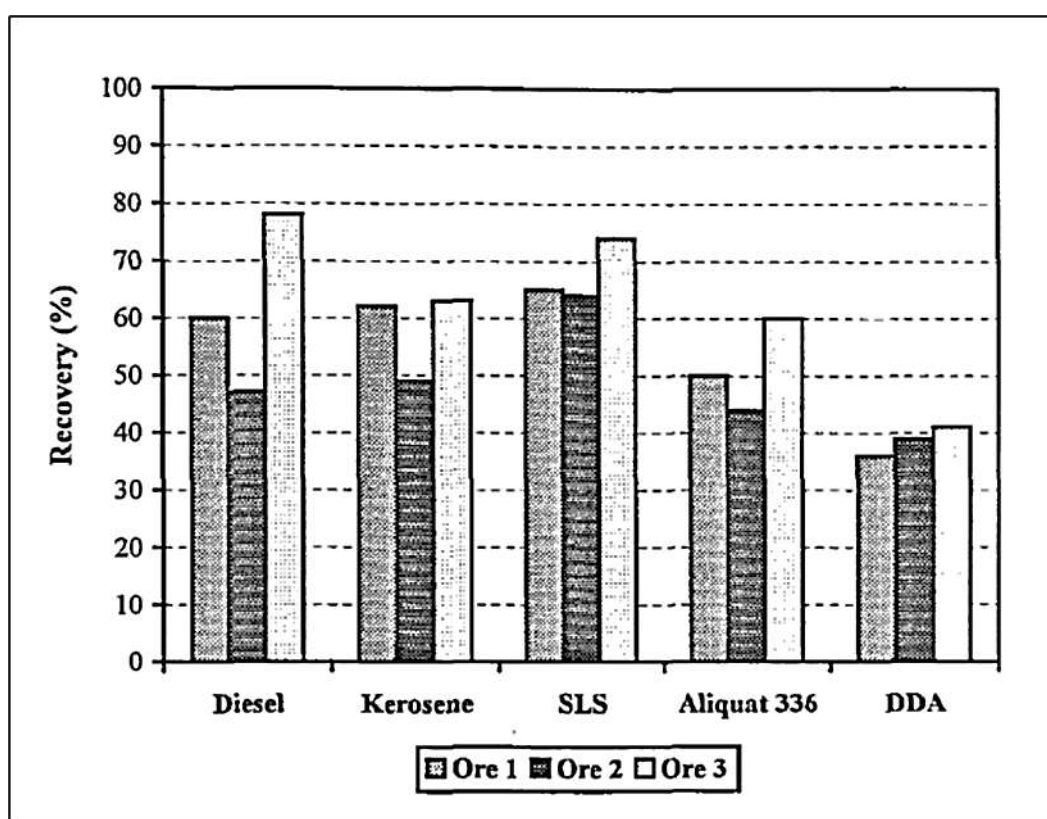


Fig. 25 Comparación de las recuperaciones de oro obtenidas al aplicar los diferentes compuestos orgánicos.

De media, las menores recuperaciones de oro se obtuvieron para el mineral 2, que tiene el menor contenido de carbono orgánico. Además, ciertos minerales reaccionaron positivamente a un compuesto orgánico específico, mientras que otros reaccionaron negativamente a ese mismo compuesto.

Dado que existe una gran diferencia en la mineralogía de los minerales de pregrubing y el hecho de que diferentes minerales de pregrubing tienen distintas

actividades de oro, así como diferentes cantidades de hidrocarburos y ácidos húmicos presentes, puede resultar mejor optimizar las condiciones de cegamiento para cada mineral específico tratando cada tipo de mineral con un compuesto orgánico específico.

V. CONCLUSIONES

Una encuesta bibliográfica reveló que el pregrobbing de minerales supone un problema claro para la industria minera del oro y se cree que pocos sitios que contienen oro primario no presenten un pregrobbing significativo y prácticamente irreversible en al menos algunas partes de sus minerales. También existe una amplia variedad de procesos de tratamiento diferentes que se practicaron o se usan actualmente, con distintos grados de éxito.

Los objetivos principales de este estudio fueron investigar el mecanismo del pregrobbing por materia carbonácea en los minerales de oro y sugerir una metodología para minimizar su efecto en la adsorción del oro.

- ✓ Se determinó que el pregrobbing es función de la actividad y porosidad del pregrobber, la concentración de oro en la solución preñada, la distribución de carga de oro del adsorbente y el tiempo.
- ✓ Todos los minerales puros investigados en cierta medida adsorbían el oro. Los minerales de sulfuro de cobre y hierro, calcopirita y pirita, eran adsorbentes relativamente fuertes de oro. Los minerales silicatados, cuarzo y caolín, mostraron el efecto más pequeño, pero aun así absorbieron cantidades significativas de oro.
- ✓ Se postuló que el oro se adsorbe a calcopirita y pirita debido a una reacción química y una reducción electroquímica, con la formación de oro metálico en la superficie del mineral. La adsorción del oro sobre los minerales silicatos parecía estar relacionada con los efectos de carga superficial y la superficie de los minerales.
- ✓ Solo pequeñas cantidades de oro adsorbido podían extraerse de calcopirita y pirita mediante lavado, mientras que el 64 y 75 por ciento del oro cargado se extraían del cuarzo y el caolín, respectivamente. Esto también indica que la adsorción de oro sobre minerales sulfurosos es más química y que la adsorción sobre los minerales silicatados se debe principalmente a sus características superficiales.
- ✓ La cianuración convencional de los minerales de pregrob resultó ineficaz. El pobre comportamiento de lixiviación de estos minerales se debe generalmente a la presencia de materia carbonosa, que tiene la capacidad de adsorbir oro disuelto a partir de soluciones de cianuro. La disolución del oro procede hasta alcanzar el equilibrio químico entre el complejo de cianuro adsorbido por el mineral y el complejo de cianuro en solución.

- ✓ La presencia de una resina selectiva de oro en la solución de lixiviación que compite con la especie preñada por el complejo de cianuro de oro resultó en un aumento de las recuperaciones de oro. Se obtuvieron aumentos de entre el 11 y el 33 por ciento. Por lo tanto, RIL puede ser un método eficaz para tratar minerales cuyo único componente perjudicial son concentraciones moderadas de material carbonáceo.
- ✓ El cegamiento del material carbonáceo en el mineral con compuestos orgánicos en configuración resina en lixiviación demostró ser una combinación eficaz. Se descubrió que varios compuestos, de los cuales el diésel y el SLS fueron los más efectivos, tuvieron un efecto cegador sobre el mineral, reduciendo la adsorción de cianuro de oro.
- ✓ Para los compuestos orgánicos analizados, los resultados mostraron que cada tipo de mineral de pregrobing requiere un agente cegador específico, ya que el efecto cegador del reactivo puede ser positivo en algunos minerales y negativo en otros. Por tanto, probablemente sería necesaria optimizar las condiciones para el cegamiento para cada mineral pregrobbing.

VI. RECOMENDACIONES

- Es posible extraer la mayor parte del oro de los minerales cargados en presencia de cianuro. Por tanto, el fenómeno de adsorción es reversible y el efecto de pregrobbing de estos minerales probablemente será mínimo en plantas CIP o RIP.
- La adsorción de oro en los minerales con alto contenido de carbono orgánico fue, en general, la más alta. Sin embargo, el contenido total de carbono orgánico no siempre puede usarse como guía para determinar el potencial de pregrobbing de un mineral, ya que los carbonos tienen diferentes actividades del oro, así como diferentes cantidades de hidrocarburos y ácidos orgánicos presentes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. Yannopoulos, The extractive metallurgy of gold, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991, pp. 79-110.
- [2] F. McQuiston Jr. y R. Shoemaker, Gold and Silver cyanidation plant practice, New York: S.ME-A.LME, 1975.
- [3] G. Stanley, «The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa,» *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 379-401, 1987.
- [4] M. Urban y et al., «The adsorption of gold from cyanide solutions onto constituents of the reef, and its role in reducing the efficiency of the gold-recovery process,» *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, vol. 73, pp. 385-394, 1973.
- [5] C. Logan, «A mineralogical investigation of potential gold-sorbing minerals and shales,» Randburg, 1986.
- [6] D. Hausen y C. Bucknam, «Study of pregrobbing in the cyanidation of carbonaceous gold ores from Carlin, Nevada,» de *Applied Mineralogy: proceedings of the second international congress on applied mineralogy in the minerals industry*, Warrendale (USA), The Metallurgical Society of AIME, 1985, pp. 833-856.
- [7] T. Quach y et al., «Adsorption of gold cyanide on gangue minerals,» *APCChE & CHEMECA 93 official proceedings*, vol. 2, pp. 101-105, 1993.
- [8] M. Adams y et al., «Preg-robbing minerals in gold ores and residues. Hidden Wealth,» *South African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 163-173, 1996.
- [9] W. Guay, «The treatment of refractory gold ores containing carbonaceous material and sulphides,» de *Gold and Silver: Leaching, Recovery and Economics*, New York, SME-AIME, 1981, pp. 17-22.
- [10] K. Ossea-Asare y et al., «Carbonaceous matter in gold ores: isolation, characterization and adsorption behaviour in aurocyanide solutions,» de *Precious Metals: Mining, Extraction and Processing*, Warrendale, Pa., AIME Metallurgical Society, 1984, pp. 125-144.
- [11] P. Afenya, «Treatment of carbonaceous refractory gold ores,» *Minerals Engineering*, vol. 4, nº 7-11, pp. 1043-1055, 1991.

- [12] G. Abotsi y K. Osseo-Asare, «Surface chemistry of carbonaceous gold ores. I. Characterization of the carbonaceous matter and adsorption behaviour in aurocyanide solution,» *International Journal of Mineral Processing*, nº 18, pp. 217-236, 1986.
- [13] K. J. Henly, «Gold ore mineralogy and its relation to metallurgical treatment,» *Mineral Science and Engineering*, pp. 289-312, 1975.
- [14] X. Wang y E. Forssberg, «The Chemistry of Cyanide-Metal Complexes in Relation to Hydro metallurgical Processes of Precious Metals,» *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, vol. 6, pp. 81-125, 1990.
- [15] L. Buckingham y A. T. Robles, «Utilization of surfactants in recovery of gold employing carbon,» de *24 th Canadian Mineral Processors Conference*, Ottawa, Ontario, 1992.
- [16] B. Van Vliet y et al., «Modelling and prediction of specific compound adsorption by activated carbon and synthetic adsorbents,» *Water Research*, vol. 14, pp. 1719-1728, 1985.
- [17] S. Voges, «The effect of the pore structure of activated carbon on gold adsorption,» 1996.
- [18] R. Davidson y et al., «Aspects of laboratory and pilot plant evaluation of CIP with relation to gold recovery,» de *XIV International Mineral Proc. Congress*, Toronto, 1982.
- [19] F. Habashi, *Chalcopyrite-its chemistry and metallurgy*, New York (USA): McGraw-Hill, 1978, pp. 65-76.
- [20] F. Petersen, «The characterisation of the pregrobbing phenomenon during gold extraction,» de *Proceedings of the XX IMPC*, Aachen, 1997.



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA INHIBICIÓN DEL FENÓMENO DE PREGROBBING EN MINERALES DE ORO"

BACH. MONROY SOTO, KLYNERS NAZARENO

Autor de la Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 1% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 17 de junio de 2026

Nº de Recibo:20161707

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
F. C. P.
Dr. FERNANDO CUBA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA