

EPISTEMUS

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

UNIVERSIDAD DE SONORA, JULIO-DICIEMBRE DE 2021, NÚMERO 31

ISSN: 2007-8196



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Geociencias, Medio Ambiente y Tecnología

INVESTIGACIÓN

Agente lixiviante alternativo al cianuro para minerales refractarios de telururo de oro.

Uso de biomateriales como alternativa para la remediación de jales mineros.

Comportamiento de flotación y mecanismos de interacción entre la anglesita e hidroxamatos.

Firmas de ree en intrusivos asociados a pórfidos de cobre en sonora.

Consumo de cianuro de concentrado de pirita aurífera, empleando ozono como pretratamiento.

Adsorción de cromo hexavalente mediante el uso de residuos minero-metalúrgicos como material adsorbente de bajo costo.

Evaluación de aditivos alternativos al SeD_2 en la electrodeposición de manganeso metálico.

Extracción de ree de un mineral rico en óxidos de hierro.

Descomposición de cianuro usando ozono y óxidos de hierro.

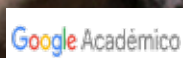
Termobarometría y termocronología: aplicaciones al estudio de los pórfidos de cobre de la caridad y suaqui verde.

CTS EPISTEMUS

Conciencia ambiental en estudiantes de la Universidad de Sonora.

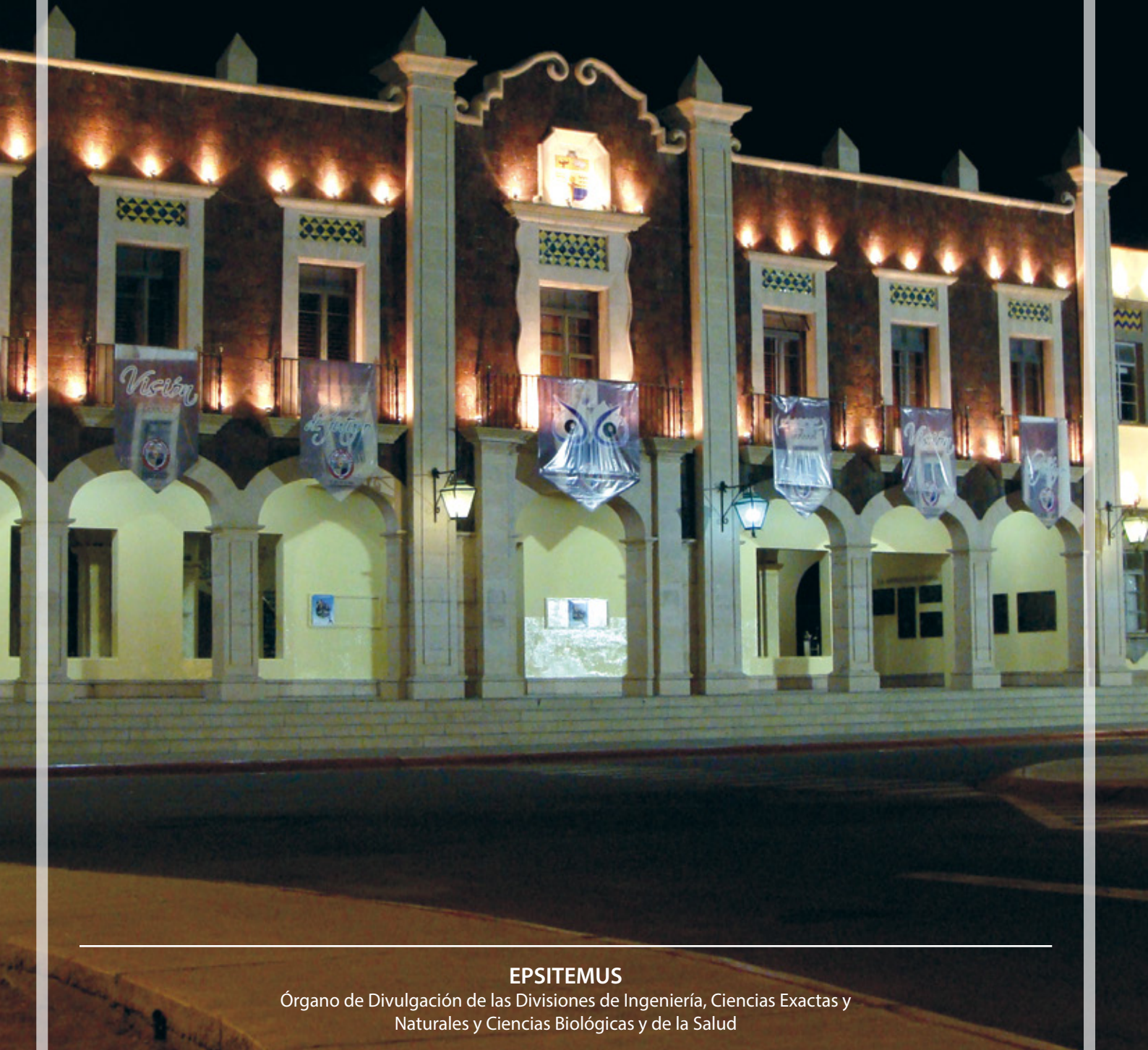
Metodología propuesta para la mejora en una línea de producción de cacahuates salados botaneros.

Indexada en:





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



EPSITEMUS

Órgano de Divulgación de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y
Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud



CONTENIDO

CONTENIDO	1
DIRECTORIO	2
EDITORIAL	3
BASES	4

INVESTIGACIÓN



AGENTE LIXIVIANTE ALTERNATIVO AL CIANURO PARA MINERALES REFRACTARIOS DE TELURURO DE ORO

D.G. TERÁN-BOJÓRQUEZ, O. ALONSO-GONZÁLEZ, P.C. SANTOS-MUNGUÍA, M.A. ELIZONDO-ÁLVAREZ, S. BELLO-TEODORO

7



USO DE BIOMATERIALES COMO ALTERNATIVA PARA LA REMEDIACIÓN DE JALES MINEROS

JESÚS RAFAEL SIQUEIROS VALENCIA, RENÉ LOREDO PORTALES, VERÓNICA MORENO RODRÍGUEZ, RAFAEL DEL RIO SALAS

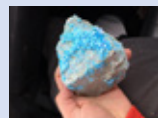
15



COMPORTAMIENTO DE FLOTACIÓN Y MECANISMOS DE INTERACCIÓN ENTRE LA ANGESITA E HIDROXAMATOS

MARTHA ARACELI ELIZONDO ÁLVAREZ, ALEJANDRO URIBE SALAS, SIMON BELLO TEODORO, OMERON ALONSO GONZÁLEZ

22



FIRMAS DE REE EN INTRUSIVOS ASOCIADOS A PÓRFIDOS DE COBRE EN SONORA

CECILIA SANTILLANA-VILLA, MARTÍN VALENCIA-MORENO, LUCAS OCHOA-LANDÍN, RAFAEL DEL RÍO-SALAS.

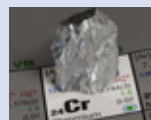
31



CONSUMO DE CIANURO DE CONCENTRADO DE PIRITA AURÍFERA, EMPLEANDO OZONO COMO PRETRATAMIENTO

CAROLINA RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, GABRIELA SALAS-PUENTE, JUAN CARLOS BALTAZAR-VERA, JOEL EVERARDO VALTIERRA-OLIVARES, OMERON ALONSO-GONZALEZ

38



ADSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS COMO MATERIAL ADSORBENTE DE BAJO COSTO

NALLELY GUADALUPE PICAZO RODRÍGUEZ, FRANCISCO RAÚL CARRILLO-PEDROZA, MA DE JESÚS SORIA AGUILAR, GABRIELA BALTIERRA COSTEIRA, GREGORIO GONZALEZ ZAMARRIPA

44



EVALUACIÓN DE ADITIVOS ALTERNATIVOS AL SeO_2 EN LA ELECTRODEPOSICIÓN DE MANGANESO METÁLICO

CÉSAR GUILLERMO FLORES SANTILLÁN, JAIME CRISTÓBAL ROJAS MONTES, VÍCTOR JESÚS MARTÍNEZ GÓMEZ, DIANA CRISTINA MARTÍNEZ CASILLAS, RAFAEL LUCHO CHIGO, FÉLIX ALONSO ALCÁZAR MEDINA

49



EXTRACCIÓN DE REE DE UN MINERAL RICO EN ÓXIDOS DE HIERRO

DIEGO TAMAYO SORIANO, ANTONIA MARTÍNEZ LUÉVANOS, MA. DE JESÚS SORIA AGUILAR, FRANCISCO RAÚL CARRILLO PEDROZA

56



DESCOMPOSICIÓN DE CIANURO USANDO OZONO Y ÓXIDOS DE HIERRO

MARLETH ROXANA GARZA-ROMÁN, FRANCISCO RAÚL CARRILLO-PEDROZA, MA. DE JESÚS SORIA-AGUILAR, NALLELY GUADALUPE PICAZO-RODRÍGUEZ

63



TERMOBAROMETRÍA Y TERMOCRONOLOGÍA: APLICACIONES AL ESTUDIO DE LOS PÓRFIDOS DE COBRE DE LA CARIDAD Y SUAQUI VERDE

MÉLANIE NOURY, THIERRY CALMUS

70

CTS-EPISTEMUS



CONCIENCIA AMBIENTAL EN ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA

KARLA PÉREZ GÁMEZ, JUANA ALVARADO IBARRA, ALFONSO CORTE LÓPEZ

79



METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA MEJORA EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CACAHUATES SALADOS BOTANEROS.

GLADYS IRASEMA GRANICH ARMENTA, MARIA ELENA ANAYA PEREZ

87

EPISTEMUS

UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS. Año 15, No. 31, julio-diciembre 2021 es una publicación semestral arbitrada y es editada por la Universidad de Sonora a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo Sonora; Tel. (662) 2592157, (662)2592183, www.epistemus.uson.mx. Editor ejecutivo: Dr. José Luis Ochoa Hernández, Co-Editores: Dr. Raul Sánchez Zeferino y Dr. José Manuel Galván Moroyoqui. Editor Invitado: Dra. Paula Cristina Santos Munguía, Universidad Estatal de Sonora, Reservas de Derechos al Uso Exclusivo. ISSN: 2007-8196 otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: equipo interno de la Editorial de Epistemus de la Universidad de Sonora; fecha de la última modificación 21 de enero del 2022.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la presente publicación siempre y cuando se cite plenamente la fuente.

Información del contacto institucional de la publicación: Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. (662)2592157, Correo electrónico: revista.epistemus@correom.uson.mx, At'n. Dr. José Luis Ochoa Hernández, Editor ejecutivo.

EPISTEMUS está Indexada AURA, en el portal especializado en Revistas Científicas y Académicas publicadas en América Latina y el Caribe (Biblat), en el portal de difusión de la Fundación Dialnet de la Universidad de la Rioja, España, Directory of Open Access Journal (DOAJ), en E-Z3 de Alemania, en el Google Académico, I40C – Crossref, el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), Base de datos MIAR, en la base de datos Open Aire de Europa, en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias (PERIODICA), en los repositorios de la Unison CRIS-Unison, Catalogo de Libros y Ciencia Unison.

Y en los sitios de consulta / repositorios AURA, EZ3, Google Académico, I40C, MIAR, OpenAire, Catalogo de Libros de la UniSon, Repositorio Institucional CRIS-UNISON y Ciencia Unison y es firmante de la Declaración DORA

REVISTA EPISTEMUS

Universidad de Sonora
Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y
Rosales, s/n, Col. Centro, C.P. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.
Teléfono: (662) 259 2157.
Correo: revista.epistemus@correom.uson.mx
Atn. Dr. José Luis Ochoa Hernández
Editor Ejecutivo



UNIVERSIDAD DE SONORA

Dr. Enrique F. Velázquez Contreras
Rector

Dr. Ramón Enrique Robles Zepeda
Secretaria General Académica

Dra. Rosa María Montesinos Cisneros
Secretaria General Administrativa

Dra. María Rita Plancarte Martínez
Vicerrectora de la Unidad Regional Centro

Dr. Rodolfo Basurto Álvarez
Director de Vinculación y Difusión

DIRECCIÓN GENERAL

Dr. Martín Antonio Encinas Romero

Dr. Rodrigo Melendrez Amavizca

Dr. Juan Carlos Gálvez Ruíz

EDITOR EJECUTIVO

Dr. José Luis Ochoa Hernández

Departamento de Ingeniería Industrial - Universidad
de Sonora. revista.epistemus@correom.uson.mx

COMITÉ EDITORIAL

Dr. José Luis Ochoa Hernández

[joseluis.ochoa \(@\) unison.mx](mailto:joseluis.ochoa (@) unison.mx)

Departamento de Ingeniería Industrial - Universidad
de Sonora. Secretario del Comité Editorial

CORRECCIÓN DE ESTILO

M.C. Fermín González Gaxiola

Depto. de Letras y Lingüística
Universidad de Sonora

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Dra. Erika Silva Campa

Departamento de Investigación en Física -
Universidad de Sonora

Dr. Raúl Sánchez Zeferino

Departamento de Física - Universidad de Sonora

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

M.A. Jesús Fernando García Arvizu

Departamento de Ingeniería Civil y Minas -
Universidad de Sonora

Dr. José Luis Ochoa Hernández

Departamento de Ingeniería Industrial - Universidad
de Sonora

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Dra. Kadiya del Carmen Calderón Alvarado

Departamento de Investigación Científica y
Tecnológica - Universidad de Sonora

Dr. José Manuel Galván Moroyoqui

Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud -
Universidad de Sonora

DISEÑO

L.D.G. José Benito Montaña Dórame

PÁGINA WEB

<http://www.epistemus.uson.mx/>

EPISTEMUS considera como pilar fundamental la divulgación del conocimiento para lograr impactar en la sociedad derivado de las actividades que se desarrollan en las áreas de las divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud, Ciencias Exactas y Naturales e Ingenierías, así como de otras áreas de la Universidad de Sonora.

En la actualidad se requiere de un enfoque transdisciplinario en la investigación que promueva la solución de problemas complejos a nivel local, regional y nacional. Considerando lo anterior, las publicaciones de la revista EPISTEMUS reflejan la interacción de las áreas mencionadas en sus publicaciones. En este número se pueden observar las aportaciones realizadas por los editores asociados que colaboran con nosotros mediante invitación, las cuales coadyuvan en la consolidación de la revista y contribuyen con su crecimiento e ingreso a nuevos catálogos de indexación.

Aportaciones locales y nacionales se registran en este número, en el plano local académicos de la Universidad de Sonora evalúan la conciencia ambiental en un grupo de estudiantes de Ingeniería, Biología y Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de Sonora, el cual indica que los jóvenes tienen apertura y disposición para contribuir en la solución de la problemática ambiental. Otros colegas investigadores reportan el uso de biomateriales como alternativa para la remediación de jales mineros, en el cual reportan el uso de bone char (BC; bio hidroxipatita) como una alternativa para la biorremediación al mostrar su potencial para el tratamiento de drenaje ácido de mina.

Un estudio realizado en Sonora aplicó la termobarometría y termocronología, como aplicaciones para el estudio de los pórfidos de cobre de La caridad y Suaqui verde, del cual se reportó que la termobarometría asociada a los estudios de termocronología son herramientas prometedoras para la futura exploración de depósitos de pórfidos de cobre y minerales relacionados. Autores de la Universidad de Sonora proponen una metodología para la mejora en una línea de producción de cacahuates salados botaneros, la cual mostró que al lograr estandarizar e identificar las características de los procesos impacta positivamente en la producción. Otro trabajo reporta el uso de firmas de elementos del grupo de las tierras raras en intrusivos asociados a pórfidos de cobre en Sonora en los que se encontraron mayor enriquecimiento en las muestras de los plutones precursores combinado con el desarrollo de anomalías positivas en el caso de los plutones porfíricos.

En el contexto nacional, investigadores de Zacatecas reportan el comportamiento de flotación y mecanismos de interacción entre la anglesita e hidroxamatos, los cuales proponen que por su efecto quelante mitigarán los efectos negativos a la salud y al medio ambiente ocasionados por los xantatos. Académicos de Guanajuato

y Zacatecas desarrollaron la investigación del consumo de cianuro de concentrado de pirita aurífera, empleando ozono como pretratamiento, en el cual proponen que el uso del ozono puede incrementar la recuperación de plata además de un impacto ambiental significativo. Mientras que autores de Coahuila probaron la adsorción de cromo mediante el uso de residuos minero-metalúrgicos como adsorbentes de bajo costo, como la hematita y magnetita que mostraron una buena efectividad de remoción de cromo, y se proponen que pueden ser empleados en el tratamiento de aguas residuales industriales.

En otro trabajo desarrollado por investigadores de Durango, se evaluaron aditivos alternativos al dióxido de selenio SeO_2 en la electrodeposición de manganeso metálico, debido al potencial tóxico y contaminante del SeO_2 , derivado del anterior trabajo los autores muestran que de acuerdo con los resultados obtenidos el dióxido de telurio (TeO_2) fue el aditivo más apto para la sustitución del SeO_2 . En Coahuila se evaluó la extracción de elementos del grupo de las tierras raras de un mineral rico en óxidos de hierro en el cual, se pudo concluir con base los resultados obtenidos que el HCl es el agente más eficiente para la extracción. Otro trabajo aborda la descomposición de cianuro usando ozono y óxidos de hierro, el cual reporta que los tiempos de oxidación son más cortos cuando se agregan los óxidos de hierro al medio.

Finalmente, investigadores de Zacatecas utilizaron un agente lixivante alterno al cianuro para minerales refractarios de telururo de oro, en el que se encontró que el ácido de Caro, es un efectivo agente lixivante que permite la obtención de valores de oro que se consideraban no recuperables.

Por lo anterior esperamos que este número cumpla con las expectativas de nuestros lectores así como los trabajos publicados en los números anteriores.

Atte. Dr. José Manuel Galván Moroyoqui

Co-Editor Ejecutivo.



POLÍTICA EDITORIAL

La educación, la ciencia y tecnología son consideradas como pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país; por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia, la tecnología y la salud.

OBJETIVO

Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en las áreas de Ingenierías, Ciencias Exactas y Naturales y las Ciencias Biológicas y de la Salud para favorecer el debate académico y la producción de nuevos conocimientos para generar un espacio de difusión, reflexión y crítica, en nuestro entorno.

DIRIGIDA A

Está dirigida a investigadores, profesores y estudiantes de las Ingenierías, las Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y la Salud, y a todos aquellos profesionales que desarrollan la ciencia y la aplican en estas áreas.

SECCIONES DE LA REVISTA

La revista publica artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, y comunicaciones breves sobre ciencia y tecnología y salud, en las siguientes secciones:

Investigación

Incluye resultados de proyectos de investigación y quiere mostrar la metodología del caso.

Divulgación

- **Desde la academia.** Comprende los temas relacionados con el quehacer académico, ensayos, reseñas, desarrollo de problemas, temas de la vida académica y su relación con el entorno.
- **Políticas de Ciencia y Tecnología.** Incluye temas que tienen que ver con el análisis de las políticas en materia de ciencia y tecnología, la relación entre la investigación y el desarrollo, la innovación y las políticas públicas.
- **Ciencia, Tecnología y Sociedad.** Se trata de promover una cultura científica, tecnológica, de la salud y de la sociedad, abordando diversos temas específicos que inviten a la reflexión, y/o al análisis para comprender el conocimiento.

ARBITRAJE

Cada trabajo será revisado por integrantes del Comité Editorial, y una vez que el trabajo sea considerado pertinente, se someterá al proceso de revisión en doble ciego por al menos dos especialistas en el área al que corresponde el artículo. Estos pares académicos deben ser de una institución diferente a la(s) institución(es) de origen del artículo. En caso de que los dictámenes de los especialistas sean contradictorios, el artículo se someterá al Consejo Editorial, o bien se solicitará una evaluación adicional.

- **La decisión podrá ser:** Aceptado, Condicionado o Rechazado.

El dictamen, será comunicado por escrito exclusivamente al autor corresponsal, en un plazo no mayor a tres meses, a partir de la fecha de recepción del original.

EXCLUSIVIDAD

Todos los textos deberán ser originales e inéditos, enviando declaratoria de originalidad (<https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/libraryFiles/downloadPublic/11>) y de no presentarse en paralelo para otras publicaciones. Se deberá asumir la responsabilidad si se detecta falsificación de datos y falta de autenticidad en la publicación.

DERECHOS DE AUTOR

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos sólo para difusión sin ningún fin de lucro, sin menoscabo de los propios derechos de autoría.

Los autores son los legítimos titulares de los derechos de propiedad intelectual de sus respectivos artículos, y en tal calidad, al enviar sus textos expresan su deseo de colaborar con la Revista Epistemus, editada semestralmente por la Universidad de Sonora.

Por lo anterior, de manera libre, voluntaria y a título gratuito, una vez aceptado el artículo para su publicación, ceden sus derechos a la Universidad de Sonora para que la Universidad de Sonora edite, publique, distribuya y ponga a disposición a través de intranets, internet o CD dicha obra, sin limitación alguna de forma o tiempo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y con la obligación expresa de respetar y mencionar el crédito que corresponde a los autores en cualquier utilización que se haga del mismo.

Queda entendido que esta autorización no es una cesión o transmisión de alguno de sus derechos patrimoniales en favor de la mencionada institución. La Universidad de Sonora le garantiza el derecho de reproducir la contribución por cualquier medio en el cual usted sea el autor, sujeto a que se otorgue el crédito correspondiente a la publicación original de la contribución en Epistemus.

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica se distribuyen bajo una licencia de uso y

Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). Puede consultar desde aquí la versión informativa y el texto legal de la licencia. Esta circunstancia ha de hacerse constar expresamente de esta forma cuando sea necesario.

FORMATO GENERAL

- 1. Título:** de la colaboración, máximo de 12 palabras. Escrito en los idiomas Español e Inglés. Debe representar el contenido del artículo y permitir al lector situarse en el contexto específico que aborda.
- 2. Nombre(s) de los autores:** en mayúsculas, separados por una coma, sin grados. Máximo 5 autores.
- 3. Resumen:** Aproximadamente de 100 a 150 palabras, colocado después de los autores del artículo. Debe contener información concisa de principales resultados, métodos y conclusiones.
- 4. Palabras clave:** Mínimo 3 y máximo 5.
- 5. Abstract:** La traducción al inglés del resumen es responsabilidad del autor.
- 6. Keywords:** Mínimo 3 y máximo 5. La traducción al inglés es responsabilidad del autor.
- 7. Nombre(es) de los autores:** ámbito disciplinar, institución académica, dirección de correo electrónico de autor(es).
- 8. Estructura deseable para artículos de investigación** (mínima de 3000 palabras y máxima de 5000 palabras):
 - A. Introducción.
 - B. Objetivo.
 - C. Planteamiento del problema.
 - D. Método de trabajo.
 - E. Resultados.
 - F. Discusión.
 - G. Conclusiones.
- 9. Estructura deseable para artículos de divulgación** (Extensión mínima de 2500 palabras y máxima de 4000 palabras):
 - A. Introducción.
 - B. Desarrollo.
 - C. Conclusiones.
- 10. Citas y referencias:** Preferentemente de los últimos 5 años; deben seguir el formato IEEE (https://biblioguias.uam.es/citar/estilo_ieee) e ir al final de la colaboración.
- 11. Contenido:** Elaborado en Microsoft Word de Windows. Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, normal, a doble espacio, justificada. Para las expresiones matemáticas debe usarse un editor de ecuaciones y deberán estar numeradas consecutivamente entre paréntesis. No incluir notas en pie de página.
- 12. Tablas, fotos y gráficos:** Se deben incluir en archivos separados. Incluir el título (como nombre Figura1.ext).

Fotos y gráficos en formato jpg o tif con una resolución (en puntos por pulgada) de 300 ppp para imágenes a escala de grises o color, 600 ppp para combinaciones imagen texto o 1,200 ppp para imágenes a línea; las tablas en Excel. Las imágenes deben ser originales o de licencia creative commons (libres de regalías).

- 13. Plantilla:** Bajar la plantilla con el formato general para el documento: Para desarrollar el artículo se encuentra una plantilla establecida de acuerdo a las características de los artículos. En la liga <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/libraryFiles/downloadPublic/12> se puede encontrar la plantilla en Word para la publicación de los trabajos.

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista proporciona un acceso abierto inmediato a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global de conocimiento. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

Esta revista no aplica ningún cargo económico ni en la entrega de artículos ni para la producción editorial de los artículos.

CLÁUSULA DE EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del Comité Editorial de la publicación. Las imágenes son responsabilidad de los autores y o de la imprenta que realiza el diseño. El Comité Editorial declina toda responsabilidad por los derechos que pudieran derivarse de ellas.

FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

Los artículos se reciben durante todo el año de manera electrónica en la página:

www.epistemus.uson.mx

- Cierre de la edición del primer número del año: Primera quincena de marzo
- Cierre de la edición del segundo número del año: Primera quincena de septiembre
- Impresión y distribución: Junio y Diciembre de cada año.

MAYORES INFORMES AL CORREO Y PÁGINA WEB

revista.epistemus@correom.uson.mx

www.epistemus.uson.mx

Dr. Enrique Fernando Velázquez Contreras

Rector de la Universidad de Sonora

2017 – 2021



Originario de Hermosillo, Sonora, el Dr. Enrique F. Velázquez Contreras cursó sus estudios de licenciatura en el Departamento de Ciencias Químico Biológicas dentro de la carrera de Químico Biólogo con especialidad en Análisis Clínicos, para posteriormente cursar sus estudios de maestría y doctorado en el Programa de Posgrado en Ciencias de Materiales, Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales.

A desarrollado diversas actividades académicas, entre ellas como auxiliar de laboratorio y profesor de asignatura en el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, y dentro de la Universidad de Sonora incluye participación como Profesor de Asignatura y posteriormente de tiempo completo en el Departamento de Ciencias Químico Biológicas (1985 – 1992), y a partir de 1992 como Investigador de Tiempo Completo, del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales formando parte del Cuerpo Académico “Química Supramolecular”, reconocido como Cuerpo Académico Consolidado por PROMEP.

Ha dirigido 8 tesis de licenciatura, 3 de maestría y 2 de doctorado, participando asimismo en 16 jurado de tesis de posgrado, incluyendo 3 como sinodal externo en el Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana y 3 en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Como producto de su trabajo académico y de investigación, el Dr. Velázquez Contreras cuenta con más de 17 artículos científicos publicados en revistas indizadas de circulación internacional, con 113 citas independientes a sus publicaciones. Lo anterior le ha hecho merecedor de distinciones tales como el Reconocimiento de Profesor con Perfil Deseable otorgado por la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación

Científica (SESIC), y ser miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1998, contando actualmente con el nivel 1.

En el ámbito administrativo y colegiado, fungió como miembro de los Comités de Evaluación de los Programas Integrantes de Fortalecimiento Institucional (PIFI) de la SESIC, como miembro de los Comités de Evaluación de los Programas Integrales de Fortalecimiento del Posgrado (PIFOP) de CONACyT, así como miembro del jurado del Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”, otorgado por la Sociedad de Química de México. A la fecha, es miembro activo del Comité de Ciencias Naturales y Exactas de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIIES), participa como evaluador del Comité de Ingeniería y Tecnología de los CIIES, así como evaluador del Comité de Biología y Química de CONACyT.

Cuenta también con experiencia en Administración Académica dentro de la Universidad de Sonora, ejerciendo diversos cargos entre ellos, Secretario Administrativo del Departamento de Ciencias Químico Biológicas (1987 – 1991), Secretario Académico del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales (1992 – 1995), Director de la División de Ingeniería (1995 – 1999), Coordinador de los Programas de Posgrado en Ciencia de Materiales (2000 – 2001), y como Secretario General Académico (2001 – 2017).

En Junio de 2017, la Junta Universitaria lo elige por mayoría de votos como rector de la máxima casa de estudios del estado de Sonora, por el periodo comprendido del 16 de junio de 2017 al 15 de junio de 2021.

AGENTE LIXIVIANTE ALTERNO AL CIANURO PARA MINERALES REFRACTARIOS DE TELURURO DE ORO

Alternative cyanide leaching agent for gold telluride refractory minerals

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

D.G. Terán-Bojórquez ¹

O. Alonso-González ²

P.C. Santos-Munguía ³

M.A. Elizondo-Álvarez* ⁴

S. Bello-Teodoro ⁵

Recibido: 21 / 10 / 2021

Aceptado: 23 / 03 / 2022

Publicado: 31 / 03 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.196>

Autor de Correspondencia:

D.G. Terán-Bojórquez

Correo : 39207600@uaz.edu.mx

Resumen

Los minerales de telururo de oro son refractarios a la cianuración convencional, por lo que para su procesamiento requieren de un tratamiento previo, o el uso de agentes lixiviantes alternos al cianuro. La creciente presencia de los telururos de oro, ha creado la necesidad de buscar nuevas alternativas para el tratamiento de este tipo de minerales. En este trabajo se propone un proceso de extracción empleando ácido de Caro como pre oxidante del mineral para una posterior cianuración convencional. Para esto, se utilizó un mineral de telururo de oro, ya cianurado con anterioridad, con presencia de calaverita (AuTe₂). Se encontró que el ácido de Caro es un efectivo agente lixiviante, produciendo una disolución ácida directa y permitiendo la obtención de valores de oro que se consideraban no recuperables.

Palabras clave: Telururo de oro, ácido de Caro, Minerales refractarios.

Abstract

Gold telluride minerals are refractory to conventional cyanidation, so their processing requires a previous treatment, or the use of alternative cyanide leaching agents. The growing presence of gold tellurides has created the need to search for new alternatives for the treatment of this type of minerals. In this, an extraction process of this type of minerals is proposed using Caro's acid as a pre-oxidant of the mineral for a subsequent conventional cyanidation. For this, a gold telluride mineral was used, previously cyanide, with the presence of calaverite (AuTe₂). Caro's acid, for its part, is an oxidizing agent used to oxidize the CN⁻ ion in cyanidation tails. Caro's acid functioned as a leaching agent, where direct acid leaching occurs, obtaining gold values that were considered non-recoverable.

Keywords: Caro's acid, gold telluride, refractory minerals.

¹ Mtro, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac. México, gteranb17@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5776-5969>

² Dr., Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac. México, omero.alonso@uaz.edu.mx

³ Dra., Universidad Estatal de Sonora, Hermosillo, Sonora México, paula.santos@ues.mx, <https://orcid.org/0000-0002-4616-8138>

⁴ Dra., Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac. México, martha.elizondo.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9706-7177>

⁵ Dr., Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac. México, simon.bello276@uaz.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-0664-896X>



INTRODUCCIÓN

El oro y el telurio se pueden combinar en la naturaleza formando telururos de oro dando origen a un mineral refractario, lo cual significa que durante la cianuración convencional se obtienen recuperaciones menores al 80%. Sin embargo, la creciente necesidad de extracción de los telururos de oro, ha creado la necesidad de buscar nuevas alternativas para el tratamiento de este tipo de minerales; se han propuesto tratamientos para la recuperación de oro y plata de sus telururos, incluyendo tostado, preoxidación, cianuración con plomo y nitrato y el uso de agentes de lixiviación distintos del cianuro.

Debido a que el ácido de Caro (H_2SO_5) es un conocido oxidante fuerte, ha sido empleado con anterioridad para la oxidación de minerales de uranio, zinc y cobre, obteniendo resultados favorables.

Con el objetivo de estudiar la capacidad del ácido de Caro como agente pre oxidante de los minerales refractarios a la cianuración, específicamente los telururos de oro, se realizó este estudio experimental, con el propósito de encontrar las condiciones de preoxidación aptas para utilizarse y obtener una mayor recuperación del mineral.

ANTECEDENTES

Caracterización mineralógica

El mineral que se utilizó en este estudio proviene del Noroeste de México, del estado de Sonora, el cual contiene telururo de oro (AuTe_2). La caracterización de la muestra se



llevó a cabo en trabajos previos realizados por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Saltillo y el laboratorio Petrochemin LABS de S.L.P.

Según los resultados obtenidos en este estudio previo, la muestra caracterizada se compone de sulfuros y de óxidos minerales de ganga y de mena: cuarzo (SiO_2), feldespatos, hematita (Fe_2O_3), goethita (FeO(OH)), pirita (FeS), esfalerita (ZnS), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita (FeTiO_3), oro nativo (Au), calaverita (AuTe_2) y trazas de calcopirita (CuFeS_2).

Las especies de oro identificada son oro nativo y calaverita (AuTe_2) como el mineral de telurio y que se presenta liberado y ocluido. (Tabla I).



Tabla I.- Distribución de especies oro de la muestra del mineral proveniente de una mina del noroeste del país con mineral refractario de telururo de oro.

Especie de Oro		%	Tamaño de partícula (μm)	Tamaño promedio (μm)
Oro Nativo (40%)	Oro nativo libre	30%	3 – 30	20
	Oro nativo ocluido en Cuarzo	70%	4 – 10	8
Calaverita (60%)	Calaverita Libre	25%	6 – 18	9
	Calaverita ocluida en cuarzo	65%	4 – 20	16
	Calaverita ocluida en hematita	10%	20	20
100%				

Consideraciones termodinámicas

El potencial estándar de oxidación del H₂SO₅ se estima en aproximadamente 1.5 V a pH 0 y varía con el pH según la siguiente ecuación [3]:

$$HSO_5^- + H^+ + 2e^- \leftrightarrow SO_4^{2-} + H_2O \quad (1)$$

$$E(HSO_5^-/SO_4^{2-}) = 1.5 - 0.0295 \text{ pH} + 0.0295 \log[HSO_5^-] / [SO_4^{2-}]$$

La Figura 1 presenta el diagrama Eh – pH del Au – Te – H₂O en donde se traza una línea punteada que representa el potencial estándar del H₂SO₅, el cual es más que suficiente para la oxidación requerida en la calaverita, (0.3 V). Por lo tanto, se establece que termodinámicamente es posible realizar la disolución del AuTe₂ mediante la adición de ácido de Caro, y debido al efecto oxidante de este compuesto, se obtendría la formación de Au⁺ y una especie de Te (IV) (TeO₃²⁻, HTeO₃⁻, H₂TeO₃, dependiendo del pH).

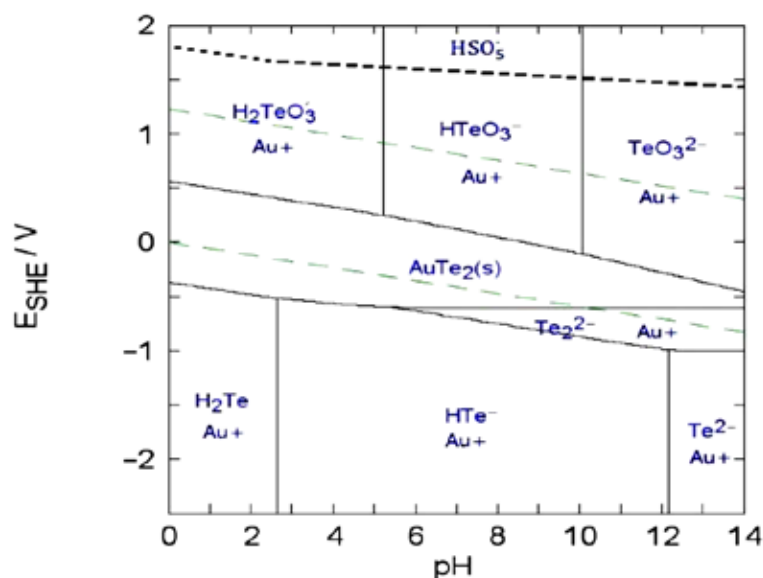
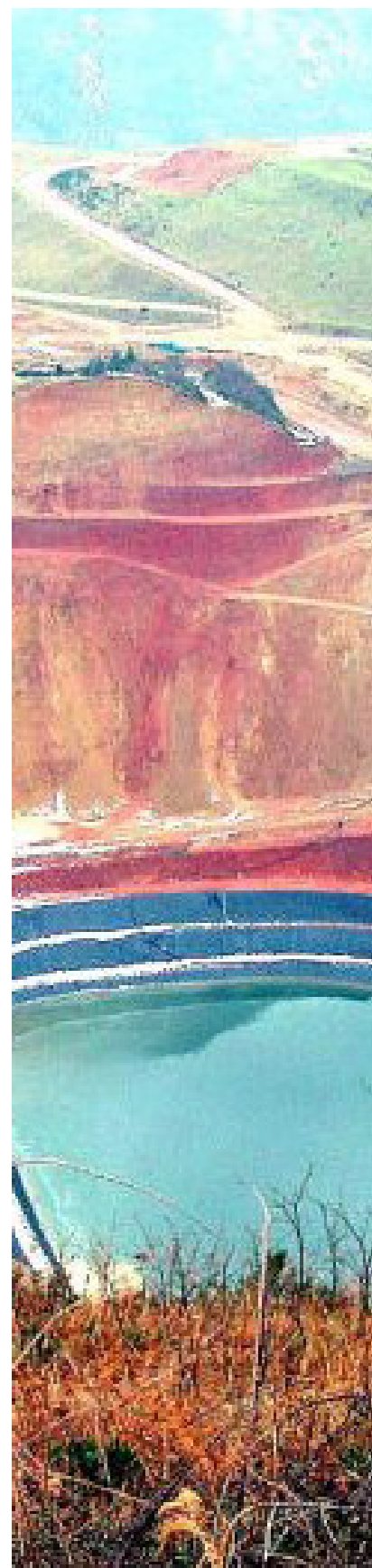


Figura 1.- Diagrama Eh-pH del sistema Au-Te-H₂SO₅-H₂O (25°C; 1 atm; 0.001 M Ag⁺, 0.001 M H₆TeO₆, 0.001 M S), elaborado con el software Making Equilibrium Diagrams Using Sophisticated Algorithms (MEDUSA).





METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Este estudio se llevó a cabo en 3 etapas experimentales, comenzando por la síntesis del ácido de Caro, el tratamiento pre-oxidativo, y la cianuración al mineral, con el fin de evaluar el grado de refractariedad de los minerales de metales preciosos contenidos en cada muestra y establecer una relación con la presencia de telurio en el mineral.

Síntesis del ácido de Caro

El ácido de Caro fue preparado de acuerdo con el método descrito por [2] mediante la adición lenta de H_2O_2 a H_2SO_4 , manteniendo agitación constante y enfriando por medio de baño de agua para mantener la temperatura por debajo de $20^\circ C$, con un sistema de enfriamiento para remover el calor de dilución del ácido (Figura 2) y el calor de reacción y, de esta manera, evitar la pérdida de H_2SO_5 activo por auto-descomposición [1]. El ácido de Caro preparado con $H_2SO_4:H_2O_2 = 3:1$, con H_2SO_4 al 98% (w/w) y H_2O_2 al 50% (w/w) presenta un contenido de 25% (w/w) de H_2SO_5 , el cual será diluido con agua desionizada hasta obtener una concentración de H_2SO_5 al 10% (w/w), ideal para ser utilizado en los experimentos.

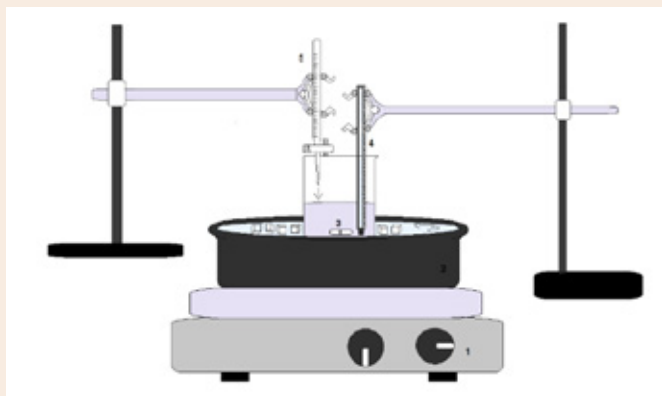


Figura 2.- Representación equipo experimental para la síntesis del ácido de Caro. 1. Parrilla de agitación; 2. Baño de temperatura con agitación magnética; 3. Agitador magnético; 4. Termómetro; 5. Bureta para adición de H_2O_2 .

Procedimiento pre-oxidativo (H_2SO_5 -AuTe₂)

La prueba se realizó en un reactor de vidrio de 500 mL de capacidad, el cual está encaquetado para mantener la temperatura constante. Se añadió el ácido de Caro a la pulpa del mineral (Figura 3) manteniendo una agitación magnética constante, así como el control de la temperatura y el pH.

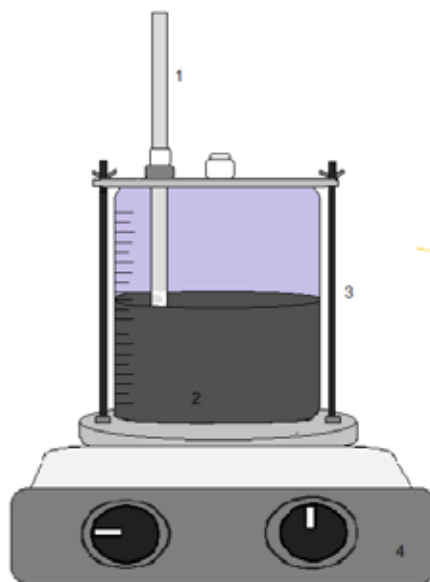


Figura 3.- Representación del equipo experimental. 1. Termómetro; 2. Agitador; 3. Reactor; 4. Parrilla de agitación.

La pre-oxidación se realizó empleando diferente concentración del ácido de Caro, tomando muestras a intervalos predeterminados, las cuales fueron filtradas para realizar la medición de Au en solución mediante espectroscopía de absorción atómica. Las condiciones de cada una de estas pruebas se muestran en la Tabla II. Posteriormente, se realizó un lavado de este mineral oxidado con agua desionizada para eliminar el ácido de Caro físicamente adsorbido en el mineral y que pudiera reaccionar con el cianuro que se agregará en la etapa posterior.





Tabla II.- Condiciones de pre-oxidación a la muestra del noroeste de México con presencia de telururo de oro.

Condición	Valor
Tiempo de agitación (minutos)	30, 60, 120, 180
Masa del mineral (g)	50
Acidez (pH)	<2
Volumen (mL)	300
Velocidad de agitación (rpm)	500
Concentración del ácido de Caro (w/w)	2, 5, 10%
Temperatura (°C)	25

Cianuración estándar

Las pruebas de cianuración se realizaron empleando mineral con pretratamiento oxidativo y con el mineral sin pretratamiento. Las condiciones de estas pruebas se muestran en la Tabla III.

Tabla I.- Condiciones de cianuración estándar al mineral refractario de calaverita.

Condición	Valor
Masa Mineral concentrado (g)	50 g
Volumen de pulpa	310
Acidez (pH) controlado con NaOH	11-11.5
Velocidad de agitación (rpm)	400

Para realizar la cianuración, se preparó una solución lixivante de cianuro de sodio, la cual se agregó al reactor, seguido de esto, se agregaron los 50 g del mineral, el reactor se mantuvo en agitación constante. Por último, se midió la recuperación de oro y se tomó una muestra a los 30 minutos, después cada hora hasta que se consideró necesario.

RESULTADOS

Los resultados de la evaluación del efecto de la variación de la concentración del ácido de Caro se presentan en la Figura 4. Comenzando por el ácido de Caro al 2% en una solución de 300 mL y 50 g de mineral con contenido de calaverita. La disolución de oro máxima en esta prueba fue de 0.41 ppm en 3 horas (Figura 4). A continuación, se evaluó la recuperación de oro al aumentar la concentración del ácido de Caro al 5%. Se puede apreciar un aumento en la disolución de oro de 0.24 ppm en 3 horas, significando un aumento considerable respecto a la prueba en que se empleó el ácido de Caro al 2%.

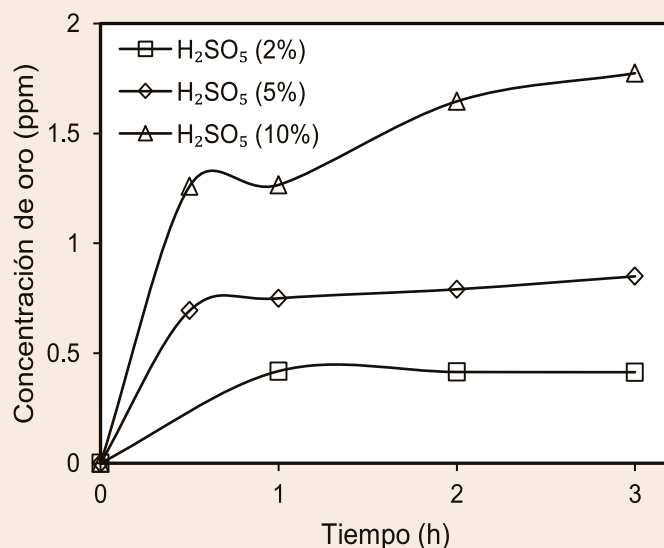


Figura 4.- Disolución de oro contenido en un mineral refractario de calaverita empleando H₂SO₅ (25 °C; 1 atm).

Al aumentar la concentración del ácido de Caro al 10%, se observa que a las 3 horas se observa que la recuperación de oro alcanzó 1.77 ppm de oro.



Se encontró que la presencia de ácido de Caro provoca una sobreestimación del contenido de oro en las mediciones de absorción atómica. Para estimar el efecto de esta interferencia, se midió el ácido de Caro a diferente concentración mediante AA y posteriormente se realizó el cálculo para conocer la concentración de oro real disuelto en la solución.

Al medir el ácido de Caro en AA se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 5); Error! No se encuentra el origen de la referencia., los cuales muestran que a mayor concentración del ácido de Caro se presenta una interferencia mayor, posiblemente proveniente del ácido sulfúrico que lo compone. Para el ácido de Caro en una concentración del 2% la interferencia es de 0.26 ppm de oro, al aumentar la concentración al 5 y 10% la interferencia incrementa a 0.60 y 1.26 ppm de oro, respectivamente; este valor posteriormente fue restado a los resultados obtenidos de la oxidación del mineral de calaverita, para obtener la concentración real de oro en solución.

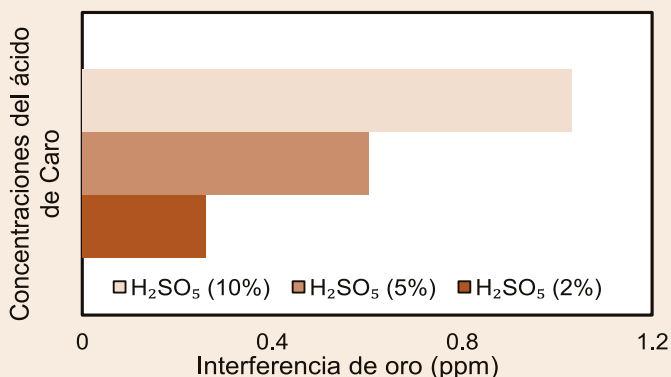


Figura 5.- Cuantificación de la interferencia del ácido de Caro que provoca una sobre estimación del oro en solución (25 °C; 1 atm).

Al realizar los ajustes para conocer la concentración real de oro en solución, la recuperación de este metal disminuyó; sin embargo, se obtuvieron altas disoluciones de oro, como se observa en la Figura 6. La disolución de oro en la prueba con el ácido de Caro al 2% fue de 0.15 ppm en 3 horas, con una concentración del 5% la disolución de oro fue de 0.24 ppm en el mismo tiempo y al aumentar la concentración del ácido de Caro al 10% la disolución del metal alcanzó recuperaciones cercanas a 0.74 ppm de oro.

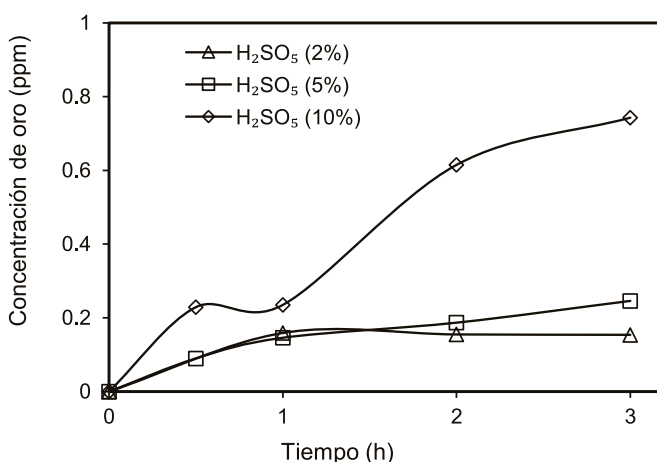


Figura 6.- Disolución de oro contenido en un mineral refractario de calaverita empleando H_2SO_5 (25°C; 1 atm).

Una vez completada la oxidación, el mineral fue sometido a un proceso de cianuración para averiguar si existe mayor recuperación del elemento de interés.

Cianuración de calaverita

Los resultados de las cianuraciones realizadas al min-

eral con presencia de calaverita se presentan en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7; con el mineral de calaverita que no fue sometido al proceso de oxidación con ácido de Caro se alcanzó una recuperación de 0.04 ppm de oro durante 5 horas de cianuración estándar. La disolución de oro para el caso del mineral oxidado con ácido de Caro al 2% fue de 0.04 ppm. Para el caso de la oxidación con ácido de Caro al 5% la disolución máxima fue de 0.08 ppm.

Al emplearse el ácido de Caro al 10% se obtuvieron recuperaciones máximas de 0.066 ppm de oro; estos resultados claramente indican que no hubo aumento significativo de la disolución de oro entre el mineral que se sometió a la oxidación con ácido de Caro y el que solamente fue sometido a cianuración estándar.

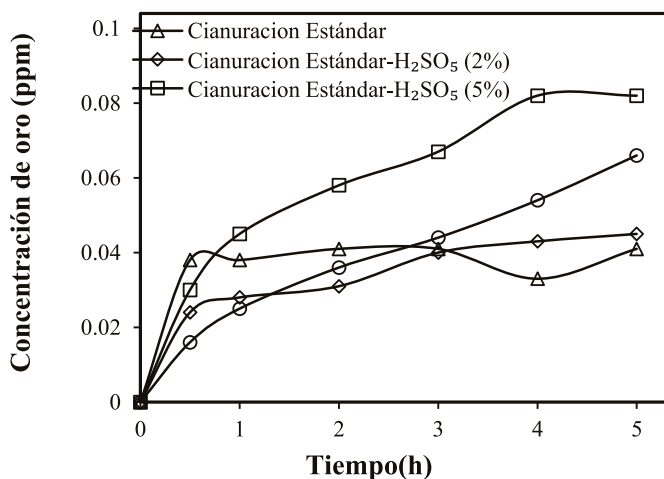
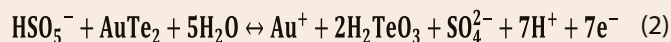


Figura 7.- Disolución de oro con cianuro de sodio del mineral refractario de calaverita (25°C; 1 atm).



Disolución total de oro

A partir de los resultados obtenidos, se propone que la disolución de oro mediante la adición de ácido de Caro se lleva a cabo a través de una lixiviación ácida directa (2).



Los resultados mostraron que hubo un aumento significativo en la recuperación de oro al pasar de 0.041 ppm empleando cianuración estándar, mientras que al emplear ácido de Caro se obtuvieron disoluciones de 0.74 ppm de oro, representando un aumento considerable en la disolución de oro, el cual se reportaba como no recuperable dentro de una cianuración estándar.

La recuperación total al sumar la cianuración estándar y la disolución con el ácido de Caro al 10% asciende a 0.81





ppm de oro (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.8). Al aplicarse el ácido de Caro como un agente lixivante fue posible recuperar el oro que había sido considerado como no recuperable al encontrarse asociado al telururo.

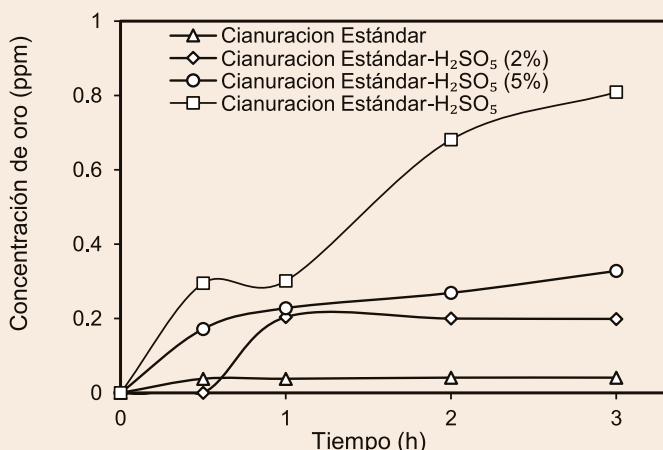
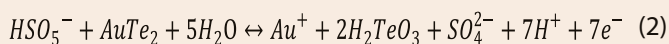


Figura 8.- Recuperación total de oro del mineral refractario de calaverita (25°C; 1 atm).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, la disolución del oro en el mineral refractario de calaverita se produce dentro de la etapa de oxidación con el ácido de Caro, lo cual podría ocurrir como se describe en la ecuación (2):



Esto significa que el ácido de Caro funciona como un agente lixivante alternativo al cianuro para minerales de telururo de oro, lo cual abre una nueva alternativa para procesar este tipo de minerales.



RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar este trabajo. A la Maestría en Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la Universidad Autónoma de Zacatecas por el apoyo otorgado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Loveitt, E. "The Preparation of Caro's Acid from Hydrogen Peroxide and Sulphuric Acid or Oleum." Solvay Interlox Research Report, UK., (1981).
- [2] Solvay, Interlox. "Caro's Acid Laboratory Procedure for Hydrometallurgy." Technical Bulletin AO.5.5, Warrington, UK, 1985, (1985).
- [3] Spiro, M. "The Standard Potential of the Peroxosulphate/Sulphate Couple." *Electrochimica Acta* 24, no. 3 (1979): 313-314.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

TERÁN-BOJÓRQUEZ, D. G., ALONSO-GONZÁLEZ, O., SANTOS-MUNGUÍA, P. C., ELIZONDO-ÁLVAREZ, M. A., & BELLO TEODORO, S. (2022). Agente Lixivante alternativo al cianuro para minerales refractarios de telururo de oro. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.196>

USO DE BIOMATERIALES COMO ALTERNATIVA PARA LA REMEDIACIÓN DE JALES MINEROS

Use of biomaterials as an alternative for remediation of mine tailings

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Jesús Rafael Siqueiros Valencia ¹

René Loredó Portales ²

Verónica Moreno Rodríguez ³

Rafael Del Río Salas ⁴

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 19 / 03 / 2022

Publicado: 31 / 03 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.208>

Autor de Correspondencia:

Rene Loredó Portales

Correo: r.loredo@ugto.mx

Resumen

Los beneficios de la industria minera son innegables, sin embargo, los residuos son frecuentemente asociados con problemáticas medioambientales, debido a la presencia de elementos potencialmente tóxicos. Las técnicas de remediación propuestas son diversas, aunque recientemente se ha popularizado el uso de biomateriales como una alternativa sustentablemente económica, en donde se utilizan biomateriales adsorbentes sintetizados mediante pirólisis de desechos biológicos. En este trabajo se probó al bone char (BC; bio hidroxiapatita), sintetizado a partir de huesos de ganado vacuno para la remediación de jales mineros históricos de San Felipe de Jesús, Sonora, mediante un diseño experimental factorial. Los resultados mostraron que el BC disminuye la producción de sales eflorescentes, además de amortiguar parámetros como el pH y CE, demostrando su potencial para el tratamiento de drenaje ácido de mina.

Palabras clave: jales mineros, sales eflorescentes, biomateriales, remediación.

Abstract

The benefits of the mining industry are undeniable; however, its waste is frequently associated with environmental problems, due to the presence of potentially toxic elements. The proposed remediation techniques are diverse, although the use of biomaterials has recently become popular as an economical sustainable alternative, where adsorbent biomaterials synthesized by pyrolysis of biological waste are used. In this work, bone char (BC; bio hydroxyapatite), synthesized from cattle bones, was tested for the remediation of historic mining tailings in San Felipe de Jesús, Sonora, through a factorial experimental design. The results showed that BC reduces the production of efflorescent salts, in addition to buffering parameters such as pH and EC, demonstrating its potential for treating acid mine drainage.

Keywords: Mine tailings, efflorescent salts, biomaterials, remediation.

¹ Pasante, Ingeniería en Geociencias, Universidad Estatal de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, j-rsv@live.com.

² Doctorado, Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Irapuato, Guanajuato, México, r.loredo@ugto.mx, ORCID: 0000-0003-0493-4532.

³ Doctorado, Ingeniería en Geociencias, Universidad Estatal de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, veronica.moreno@ues.mx, ORCID: 0000-0001-9033-6824.

⁴ Doctorado, Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México, rdelrio@geologia.unam.mx, ORCID: 0000-0002-4474-172X.



INTRODUCCIÓN

Del lado de los beneficios innegables de la minería, esta actividad genera una cantidad importante y diversa de residuos derivados de sus procesos; de estos, los jales mineros, tienen mayor relevancia ambiental, ya que generalmente quedan a merced de las condiciones climáticas, y sin algún tipo o escaso tratamiento de remediación, representando un grave problema ambiental dado que suelen contener altas concentraciones de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), como: As, Cd, Pb, Cr, Zn, Al, entre otros.

Un fenómeno común en las zonas áridas es la oxidación de sulfuros, en conjunto con fenómenos de capilaridad, que ocurren en los depósitos de jales mineros, formando costras de sales solubles conocidas como sales eflorescentes [1] y [2]. Las sales eflorescentes pueden ser transportadas fácilmente el aire al medio ambiente circundante [3]. Debido a esto, surge la necesidad de implementar técnicas de remediación económicamente rentables, cuyos efectos positivos ocurran en el corto plazo y se mantengan por un tiempo considerable, sin que se requiera mayor inversión; ya que la mayoría de las técnicas empleadas actualmente suelen mostrar efectos a largo plazo y requieren continua intervención durante sus procesos [4] y [5].

En años recientes, se ha popularizado la adición de enmiendas de biomateriales que se obtienen a partir de la pirólisis de desechos orgánicos, y que son prometedores para la inmovilización de EPT y en específico de metales pesados, debido a las propiedades que presentan. Un ejemplo de estos materiales es el bone char (BC), compuesto de fosfato tricálcico (hidroxiapatita; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), que se sintetiza mediante la pirólisis de huesos animales de desecho, derivados de las industrias del procesamiento de carnes [6]. Las aplicaciones del BC son amplias, desde micro fertilizante (por su alto contenido en P) [7], hasta su

capacidad de remover el fluoruro del agua potable [8] y [9]. Además, el BC posee una elevada porosidad y potencial para actuar como material absorbente cuando es aplicado en los suelos [10]. El objetivo del presente trabajo fue probar el efecto de la adición de BC, obtenido a partir de fémur de ganado vacuno, en jales mineros de San Felipe de Jesús, Sonora, sobre la disminución de la producción de sales eflorescentes y con ello evaluar su potencial uso como técnica de remediación de residuos de mina.

METODOLOGÍA

Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra a 142 km al NE de Hermosillo en el municipio de San Felipe de Jesús. La zona de estudio que contiene los jales mineros abandonados se localiza al sur del poblado a 2 km aproximadamente (Figura 1).

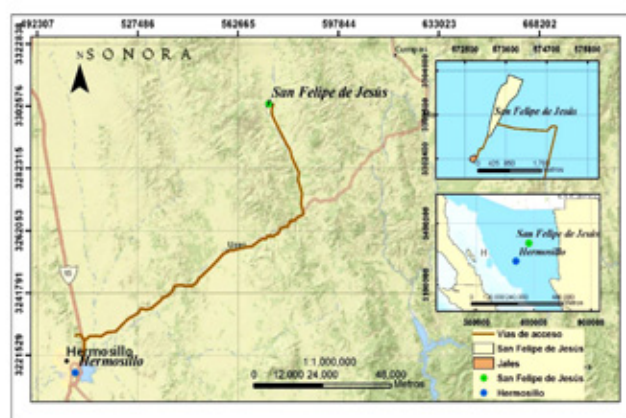


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio y el poblado de San Felipe de Jesús.





Colecta y procesamiento de las muestras

Se colectaron muestras de jales mineros ricos en óxidos (rojos) y ricos en sulfuros (grises) (JR y JG respectivamente), en 6 estaciones de muestreo, con un total de 6 muestras y de acuerdo con la NMX-AA-132-SCFI-2016 [11] El material se trasladó al Laboratorio de Ciencias Ambientales (LCA) de la Estación Regional del Noroeste (ERNO) del Instituto de Geología (IGL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Las muestras se secaron durante 24 h a temperatura ambiente y posteriormente se tomaron submuestras, mediante el método de cono y cuarteo de acuerdo con "Campos y Campos (2017)" [12], finalmente se tamizaron a tamaño de partícula <2 mm para almacenarse hasta su análisis.

Síntesis de bone char

Para realizar la síntesis del biomaterial se utilizaron huesos de fémur de ganado vacuno, obtenidos de desechos de forma comercial en el mercado municipal de Hermosillo. El BC se obtuvo mediante pirolisis a 700°C de acuerdo con "Encinas Yáñez, 2019" [13] y "Andreu et al. (2008)" [14]. Trabajos previos han demostrado que la metodología empleada, produce BC con las mejores características de contenido de hidroxiapatita, presencia de grupos funcionales y porosidad [13].

Experimento con enmiendas de bone char en jales mineros

La parte experimental se basó en la determinación de la movilidad con agua meteórica en columnas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 [15]. El procedimiento consistió en hacer pasar un fluido de extracción a través de una columna con una muestra de mineral, por un periodo de 24 h y con una relación del fluido de extracción/mineral de 1:1. El diseño experimental fue factorial general completo, con jales y enmiendas de BC en proporciones de 0 %, 10 % y 20 % esto por duplicado tanto para el JR como para JG, empleando como variables el pH, CE y concentraciones de EPT. Para formar las sales





eflorescentes se tomó una muestra de 25 ml del efluente de la lixiviación, que se secó a 45 °C en un horno de secado en placas de Petri.

Procedimientos analíticos

El pH y la Conductividad eléctrica (CE), se determinaron de acuerdo con "Ponce de León et al. (2012)" [16]. Los análisis de Difracción de rayos-X (DRX), para identificación de fases y semi-cuantificación, se realizaron en el IG, UNAM de acuerdo con "Morales-Pérez et al. (2021)" [17]. La caracterización mediante espectroscopía electrónica de barrido (SEM) realizó en el LCA, ERNO [17]. El análisis de contenido total, se realizó una digestión de acuerdo con el método 3050b de la "USEPA (1996)" [18]. El análisis se realizó empleando un espectrómetro de emisión atómica de plasma por microondas de nitrógeno (MP-AES), para Pb, Mn y Zn.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de pH iniciales y finales para todos los tratamientos excepto para los JR con 0 % de BC. Mientras que los valores de pH finales solo mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos de JR. Al final de la experimentación se observó un incremento del pH proporcional a la adición de BC a excepción del tratamiento con 0 % de BC en los JG (Figura 2).

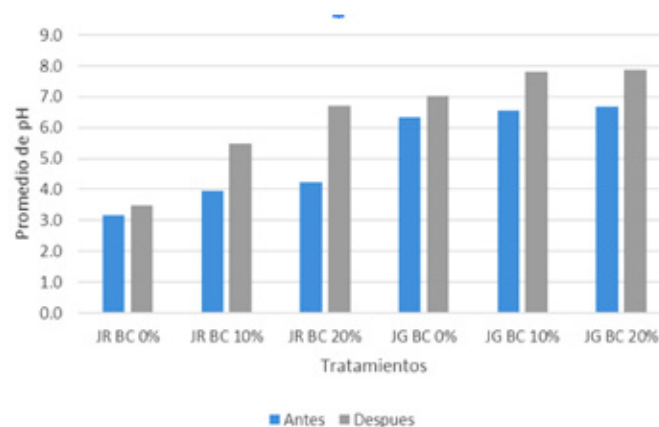


Figura 2. Resultados de los valores de pH medidos antes y después de la lixiviación con agua meteórica, para las mezclas de Jales ricos en óxidos (JR) y jales ricos en sulfuro (JG) con bone char (BC).

De acuerdo con los resultados, el BC ejerce un efecto inmediato sobre el pH de los jales mineros. Este efecto obe-





dece a la solubilización del BC que consume acidez incrementando el pH de la solución [19] y [20]. La alcalinización del tratamiento de JG sin enmienda de BC puede atribuirse al efecto amortiguador del pH, de minerales presentes en los jales como la calcita (CaCO_3) y yeso (CaSO_4), además de que estos jales mineros han sido expuestos en menor grado a las condiciones ambientales [21].

Los valores de CE sólo mostraron diferencias significativas al final del experimento para todos los tratamientos; específicamente para los JR los valores de CE, muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 0 y 10 % de BC y entre los tratamientos 0 y 20 % de BC, con valores menores al tratamiento con 0 % de BC. Mientras que, para los JG, los valores de CE muestran diferencias significativas en todos los tratamientos ($p < 0.05$), directamente proporcionales a la adición de enmienda de BC (Figura 3).

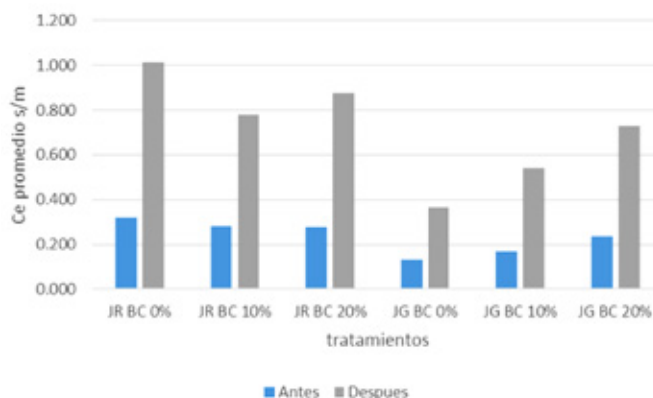


Figura 3. Resultados de los valores de CE medidos antes y después de la lixiviación con agua meteórica, para las mezclas de Jales ricos en óxidos (JR) y jales ricos en sulfuro (JG) con bone char (BC).

Al final del experimento los valores de CE de los JR con adición de BC, muestran una disminución independientemente de la enmienda de BC. Este efecto puede deberse a la precipitación de fosfatos e hidróxidos insolubles con cationes de EPT. Por el contrario, en los JG se muestra un incremento proporcional de la CE principalmente al final del experimento, esto puede deberse a que los JG no han sido expuestos en el mismo grado a los procesos de lixiviación y por ello incrementen la cantidad de cationes en solución además de que la solubilización del BC es menos importante a pH alcalinos y por ende no se produce la remoción de EPT [22] y [23].

Contenido elemental y mineralogía

La composición elemental de los jales mineros. Los principales EPT presentes en los JR son Al, Mn, Pb en concentraciones de alrededor de 5850, 2127 y 5489 ppm, respectivamente. Mientras que, para los JG, los EPT presentes en mayor concentración son el Al, Zn, Pb y Mn en concentraciones de alrededor de 6947, 4117, 5159 y 16362 ppm, respectivamente. La composición de los jales mineros es en general similar a excepción del Zn, que muestra concentraciones menores para los JR.

Los análisis de DRX mostraron que las especies más abundantes en los jales mineros son: cuarzo, yeso y calcita, otras fases presentes en los JG son la actinolita y caolinita mientras que en los JR jarosita, hematita y plagioclasa intermedia. Mediante DRX solo se lograron identificar algunas fases asociadas a los EPT presentes en mayor concentración como la mimetita. Sin embargo, los análisis de DRX antes y después de la experimentación no muestran una diferencia clara en la composición y mineralogía de los jales mineros.



Producción de sales eflorescentes

El peso de las sales generadas para los JG mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de 0 y 20 % de BC y entre los tratamientos de 10 y 20 % de BC. En el caso de los JR se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos con 0 y 10 % de BC y entre los tratamientos con 0 y 20 % de BC; la generación de sales de JG mostró un incremento significativo en el tratamiento con 20 % de BC respecto al tratamiento con 0 % de BC. Por otro lado, la generación de sales de JR disminuyó con respecto al tratamiento con 0 % de BC (Figura 4).

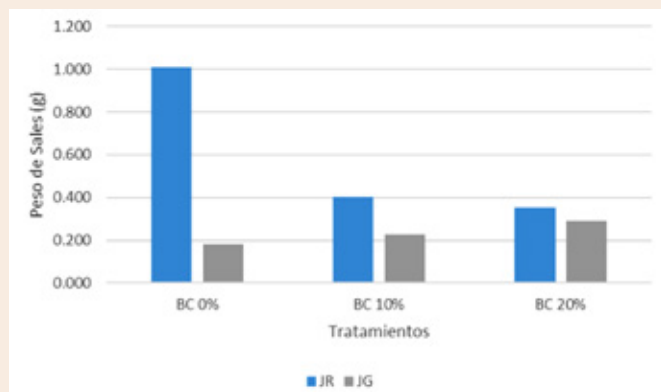


Figura 4. Resultados de la producción de sales eflorescentes por cada 25 ml de efluente, para las columnas con mezclas de Jales ricos en óxidos (JR) y jales ricos en sulfuro (JG) con bone char (BC).

En el caso de los JR, la disminución puede explicarse por ambos; la adsorción de cationes sobre la superficie del BC y el efecto amortiguador que produce su disolución. Mientras que, en el caso de los JG, aunque muestran valores cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos, es probable que contengan más especies solubles debido a que estos materiales no han sido expuestos en el mismo grado a los procesos de lixiviación [17].

De acuerdo con los análisis por SEM, en las muestras de las sales eflorescentes para ambos tratamientos de jales mineros sin enmienda de BC y con enmienda de BC, se

observa una morfología similar que presente agregados y prismas de sales probablemente sulfatos y carbonatos. Las fases, presentan un mayor tamaño en los tratamientos con enmienda de BC. Además, se observaron algunas fases con presencia de elementos de mayor peso atómico en los tratamientos que no contienen enmiendas de BC independientemente del tipo de jal (Figura 5). La semi-cuantificación con Detector de Energía Dispersiva (EDX), mostró un comportamiento similar en todas las muestras de sales eflorescentes (JR, JG con y sin enmienda de BC), en donde los principales EPT asociados a las sales son: Zn, Pb, Mn.

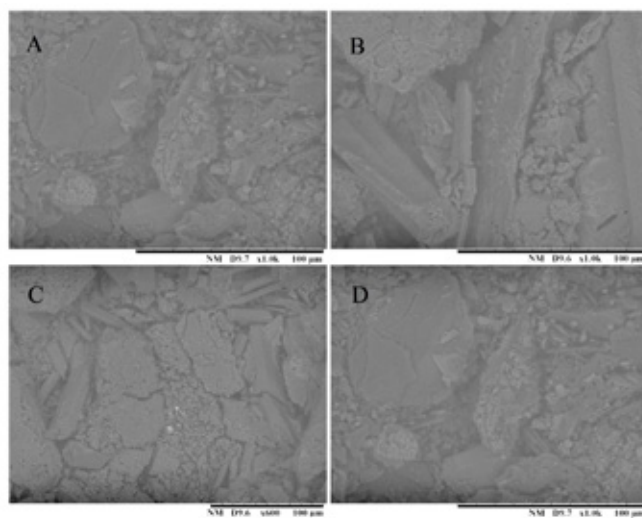


Figura 5. Micrografías de las sales eflorescentes producidas en los tratamientos: A, JR 100% BC 0%; B, JR 80% BC 20% C, JG 100 % BC 0 % y; D, JG 80 % BC 20 %.

Estos resultados muestran que los principales EPT asociados a la movilización asociada a la formación de sales eflorescentes son Zn, Pb, Mn y Al, independientemente del tipo de jale minero, presumiblemente por la formación de sulfatos y carbonatos. Estas especies químicas son altamente solubles y pueden representar un riesgo potencial de movilización y toxicidad mediante la dispersión hídrica por disolución y eólica por su tamaño del orden de micras. Estas especies químicas muestran también un alto grado de disponibilidad [17].

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, el BC ejerce un efecto inmediato sobre el pH de los jales mineros amortiguándolo. Al final del experimento los valores de CE de los JR con adición de BC, muestran una disminución independientemente del porcentaje de enmienda de BC, estos resultados son prometedores para la inhibición de la formación de drenaje ácido de mina.

La producción de sales eflorescentes a partir de los efluentes de lixiviación de los Jales mineros mostró decrementos significativos con las enmiendas de BC y muestran la formación de fases más estables de sulfatos y carbona-



tos presumiblemente. Finalmente, los EPT asociados a los jales mineros son Zn, Pb, Al y Mn. Estos resultados confirman que la adición de BC en los jales mineros reduce la formación de sales eflorescentes y presumiblemente reduce el contenido de EPT.

RECONOCIMIENTOS

A la DGAPA-PAPIIT y PRODEP-NPCT proyectos IN204918, IN113519 y CESUES-PTC-035. Al LCA, ERNO UNAM y al Q. F. Martínez Rodríguez por su asistencia en el LCA.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. H. Johnson, D. W. Blowes y W. D. J. Robertson, «The hydrogeochemistry of the Nickel Rim mine tailings impoundment, Sudbury, Ontario,» *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 41, n° 1-2, pp. 49-80, 2000.
- [2] B. Dold y L. Fontboté, «Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing,» *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 74, n° 1-3, pp. 3-55, 2001.
- [3] B. G. Lottermoser, *Sulfidic mine wastes in mine wastes*, Berlin: Springer, 2010.
- [4] S. C. Wetzel, M. K. Banks y A. P. Schwab, «Rhizosphere effects on the degradation of pyrene and anthracene in soil in Phytoremediation of Soil and Water Contaminants, USA: American Chemical Society, 1997, pp. 254-262.
- [5] P. J. Harvey, B. F. Campanella, P. M. Castro, H. Harms, E. Lichtfouse, A. R. Schäffner, S. Smrcek y D. Werck-Reichhart, «Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 9, n° 1, pp. 29-47, 2002.
- [6] M. J. Zwetsloot, J. Lehmann, T. Bauerle, S. Vanek, R. Hestrin y A. Nigussie, «Phosphorus availability from bone char in a P-fixing soil influenced by root-mycorrhizae-biochar interactions,» *Plant and soil*, vol. 408, n° 1, pp. 95-105, 2016.
- [7] M. Gulyás, M. Fuchs, I. Kocsis y G. Fülek, «Effect of the soil treated with biochar on the rye-grass in laboratory experiment,» *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*, vol. 6, n° 1, pp. 24-32, 2014.
- [8] V. Hernández-Montoya, M. P. Elizalde-Gonzalez y R. Trejo-Vazquez, «Screening of commercial sorbents for removal of fluoride in synthetic and groundwater,» *Environmental Technology*, vol. 28, n° 6, pp. 595-607, 2007.
- [9] N. Kawasaki, F. Ogata, H. Tominaga y I. Yamaguchi, «Removal of fluoride ion by bone char produced from animal biomass,» *Journal of Oleo Science*, vol. 58, n° 10, pp. 529-535, 2009.
- [10] K. F. Mendes, K. E. Hall, V. Takeshita, M. L. Rossi y V. L. Tornisiello, «Animal bonechar increases sorption and decreases leaching potential of aminocyclopyrachlor and mesotrione in a tropical soil,» *Geoderma*, vol. 316, n° 1, pp. 11-18, 2018.
- [11] D. O. d. I. F. Secretaría de Gobernación, «dof.gob.mx,» 6 Marzo 2017. [En línea]. Available: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5475373&fecha=06/03/2017. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [12] M. M. Campos y C. R. Campos, «Applications of quartering method in soils and foods,» *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 7, n° 1, pp. 35-39, 2017.
- [13] M. F. Encinas-Yáñez, «Informe final de actividades de prácticas profesionales,» Cordinación Divisional de Ciencias Biológicas y de la Salud, Sonora, 2019.
- [14] G. C. Andreu, P. M. Saval, B. F. Brotons y T. J. A. Abril, «Prácticas de materiales de construcción I.T.O.P. Práctica No. 3,» Universidad de Alicante, España, 2008.
- [15] D. o. d. I. F. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «dof.gob.mx,» 30 Agosto 2011. [En línea]. Available: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4485/semarnat1/semarnat1.htm>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [16] D. L. H. C. Ponce, Q. M. Hernández, P. C. Vanegas y C. S. Heydrich, *Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales*, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [17] A. Morales-Pérez, V. Moreno-Rodríguez, R. Del Rio-Salas, N. G. Imam, B. González-Méndez, T. Pi-Puig, E. F. Molina-Freaner y R. Loredó-Portales, «Geochemical changes of Mn in contaminated agricultural soils nearby historical mine tailings: Insights from XAS, XRD and, SEP,» *Chemical Geology*, vol. 573, n° 1, p. 120217, 2021.
- [18] U. E. P. A. USEPA, «epa.gov,» 1 Diciembre 1996. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- [19] P. H. Warren, G. W. Kallemeyn, H. Huber, F. Ulf-Møller y W. Choe, «iderophile and other geochemical constraints on mixing relationships among HED-meteoritic breccias,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 73, n° 19, pp. 59518-5943, 2009.
- [20] N. Siebers, K. Jens y P. Leinweber, «Siebers, N., Kruse, J. and Leinweber, P., 2013. Speciation of phosphorus and cadmium in a contaminated soil amended with bone char: Sequential fractionations and XANES spectroscopy,» *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 224, n° 5, pp. 1-13, 2013.
- [21] V. Jobbágy, T. Altitzoglou, P. Malo, V. Tanner y M. Hult, «A brief overview on radon measurements in drinking water,» *Journal of environmental radioactivity*, vol. 173, n° 1, pp. 18-24, 2017.
- [22] E. Gruden, P. Bukovec y M. Zupančič, «Preliminary evaluation of animal bone char as potential metal stabilization agent in metal contaminated soil,» *Acta Chimica Slovenica*, vol. 64, n° 3, pp. 577-581, 2017.
- [23] S. S. Alqzweeni y R. S. Alkizwini, «Alqzweeni, Saif S., and Rasha S. Alkizwini. "Removal of Cadmium from Contaminated Water Using Coated Chicken Bones with Double-Layer Hydroxide (Mg/Fe-LDH),» *Water*, vol. 12, n° 8, p. 2303, 2020.

Cómo citar este artículo:

Siqueros Valencia, J. R., Loredó Portales, R., Moreno Rodríguez, V., & Del Rio Salas, R. (2022). USO DE BIOMATERIALES COMO ALTERNATIVA PARA LA REMEDIACIÓN DE JALES MINEROS. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.208>

COMPORTAMIENTO DE FLOTACIÓN Y MECANISMOS DE INTERACCIÓN ENTRE LA ANGRESITA E HIDROXAMATOS

Flotation behavior and interaction mechanisms between anglesite and hydroxamates

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Martha Araceli Elizondo Álvarez ^{1*}

Alejandro Uribe Salas ²

Simon Bello Teodoro ³

Omero Alonso González ⁴

Recibido: 26 / 09 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 01 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.182>

Autor de Correspondencia:

Martha Araceli Elizondo Álvarez

Correo: martha.elizondo.a@gmail.com

Resumen

Entre los agentes quelantes destacan los ácidos hidroxámicos, los cuales han mostrado un rendimiento superior sin las preocupaciones de salud, seguridad y medio ambiente asociadas con los xantatos. En este estudio se evaluó y comparó mediante espectroscopia infrarroja y mediciones de potencial zeta, la adsorción química de dos hidroxamatos, sobre la superficie de la anglesita. Asimismo, se efectuaron mediciones de microflotación para evaluar y comparar su respuesta a la flotación. Finalmente, se propusieron los mecanismos de interacción entre la anglesita con los aniones hidroxamato en solución acuosa, los cuales presentan reacciones globales que ayudan a entender la manera en que reaccionan ambos colectores. En general, las pruebas de microflotación mostraron mayores recuperaciones de anglesita usando AOH. Se sugiere que los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato se adsorben químicamente sobre la anglesita en la mayoría de las condiciones estudiadas, excepto sobre la superficie de la anglesita acondicionada a pH 5, en donde se encuentran fisisorbidos.

Palabras clave: ácidos hidroxámicos, mecanismo de interacción, anglesita, flotación, adsorción.

Abstract

Today chelating agents have received special attention, notably hydroxamic acids, which have shown superior performance without the health, safety and environmental concerns associated with xanthates. In this study, the chemical adsorption of two hydroxamates (BHA and OHA) on the surface of anglesite was evaluated and compared by infrared spectroscopy and zeta potential measurements. Likewise, microflotation measurements were made to evaluate and compare their response to flotation. Finally, the mechanisms of interaction between anglesite with hydroxamate anions in aqueous solution were proposed, which present global reactions and help to understand the way in which both collectors react. In general, microflotation tests showed higher recoveries of anglesite using AOH. It is suggested that benzohydroxamate and octanohydroxamate anions are chemically adsorbed on anglesite under most of the conditions studied, except on anglesite conditioned to pH 5, where they are physisorbed.

Keywords: hydroxamic acids, interaction mechanism, anglesite, flotation, adsorption technologies.

¹ Doctora en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, martha.elizondo.a@gmail.com, Orcid. 0000-0002-9706-7177.

² Doctor en Ingeniería Metalúrgica, Metalurgia Extractiva, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Unidad Saltillo), Ramos Arizpe, Coahuila, México, alejandro.uribe@cinvestav.edu.mx, Orcid. 0000-0003-4549-9557.

³ Doctor en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, simon.bello276@uaz.edu.mx, Orcid. 0000-0003-0664-896X

⁴ Doctor en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, omero.alonso@uaz.edu.mx, Orcid. 0000-0003-1699-6343

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los sistemas de flotación, la hidrofobicidad que adquieren las partículas se debe a la adsorción selectiva del colector, siendo este uno de los reactivos químicos más importantes involucrados en el proceso. Desafortunadamente, muchos de los colectores actualmente utilizados tienen importantes implicaciones para la salud y el medioambiente, lo cual ha motivado la búsqueda de colectores más sustentables, que ofrezcan un rendimiento similar o superior, al obtenido con los reactivos convencionales más tóxicos [1].

Es bien conocido que los xantatos son los colectores más comúnmente empleados en la flotación de minerales sulfurosos y algunos minerales oxidados [2]. No obstante, diversas investigaciones han demostrado que no son compuestos estables [3-8]. Su oxidación e hidrólisis genera distintas especies: perxantato, monotiocarbonato y dioxantógeno, las cuales proporcionan propiedades diferentes a la superficie mineral y afectan la acción del colector.

Los agentes quelantes han recibido especial atención en la búsqueda de reactivos para mejorar la separación por flotación de minerales sulfurosos, minerales oxidados y algunas tierras raras. La estructura química de estos colectores se caracteriza por la presencia de grupos iónicos y grupos de coordinación [9]. Entre estos reactivos destacan los ácidos hidroxámicos, los cuales al no hidrolizarse, oxidarse o descomponerse en otras especies químicas, podrían considerarse reactivos amigables con el medio ambiente, en comparación con los xantatos [8].

En las últimas décadas, los ácidos hidroxámicos y sus sales han mostrado buenos resultados en la flotación de minerales oxidados de cobre, minerales oxidados de plomo y algunas tierras raras. No obstante, la interacción entre las superficies minerales y los ácidos hidroxámicos en



solución aún no queda del todo esclarecida. En la presente investigación se propusieron los mecanismos de interacción entre la anglesita con los aniones hidroxamato en solución acuosa, los cuales explican satisfactoriamente los resultados obtenidos haciendo uso de las técnicas experimentales de microflotación, adsorción de colector (espectroscopia infrarroja) y potencial zeta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La composición química de la muestra de anglesita fue determinada mediante análisis elemental de metales con espectroscopia de absorción atómica (AA) e ICP, mientras que la cuantificación de azufre se llevó a cabo mediante análisis químico por combustión (LECO). En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis químico elemental, donde se puede observar que el mineral es relativamente puro.





Tabla 1. Composición química del mineral empleado en la investigación.

Mineral	Elementos químicos presentes (% en peso)							
	Pb	S	Cu	Fe	Zn	C	Si	Insolubles
Anglesita	68.5	11	0.0005	---	---	0.14	---	---

Además, la muestra se caracterizó mediante difracción de rayos X (DRX). La Figura 1 muestra el espectro de difracción obtenido, en los que se observan solamente los picos característicos de la anglesita; ninguna otra fase mineral fue identificada.

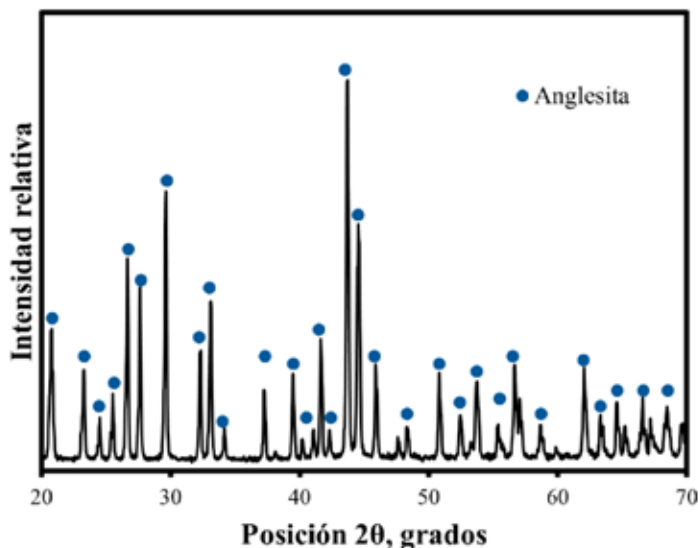


Figura 1. Espectros de difracción de rayos X anglesita (carta: 00-005-0575).

Microflotación de anglesita

Los experimentos de microflotación se efectuaron en una celda Partridge-Smith de 80 mL de capacidad empleando una muestra de 1 g de anglesita en la fracción de tamaños $-106+75 \mu\text{m}$, la cual se acondicionó durante 5 minutos en 100 mL de solución de colector (ABH o AOH), a la concentración de interés. El mineral y 80 mL de la solución fueron transferidos a la celda Partridge-Smith, donde el mineral se flotó durante 1 min, utilizando un flujo volumétrico de 23 mL/min de nitrógeno de alta pureza. Los 20 mL de solución de acondicionamiento restantes se adicionaron progresivamente a la celda para remplazar el agua que acompaña a los sólidos flotados. Al finalizar la prueba, los flotados y hundidos se filtraron, secaron y pesaron, para estimar la recuperación de sólidos.

Espectroscopia Infrarroja

La adsorción de colectores ABH y AOH sobre la superficie de anglesita fue investigada mediante espectroscopia infrarroja. La metodología experimental consistió en el empleo de anglesita pura de un tamaño inferior a $25 \mu\text{m}$. El mineral fue acondicionado durante 24 horas en 200 mg/L de ABH o AOH, según el caso de interés. Después del acondicionamiento, el mineral fue decantado y sometido a nueve etapas de lavado empleando agua desionizada al mismo pH, con la intención eliminar cualquier traza de colector residual. Por último, las muestras se analizaron cualitativamente mediante espectroscopia infrarroja por ATR, utilizando un espectrómetro Varian 3000 Excalibur Series.

Mediciones de Potencial Zeta

Las mediciones de potencial zeta se llevaron a cabo empleando un zetámetro Pen Kem Lazer Zee Meter modelo 501, el cual permite la lectura directa del potencial zeta de partículas coloidales, que se calcula con la ecuación de Smoluchowski [10], a partir de la movilidad electroforética de las partículas en la suspensión, en un campo eléctrico conocido. El rango de pH investigado fue de pH 4 a 10, y en todos los casos se empleó un tamaño de partícula menor a 20 μm . 0.15 g de mineral fueron acondicionados durante 10 minutos en una solución de 5×10^{-4} mol/L de ABH o AOH, según el caso de interés, abierta a la atmósfera. Al finalizar la etapa de acondicionamiento químico, se tomó una muestra de la suspensión y se procedió a medir el potencial zeta de las partículas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del pH en la flotación de anglesita

La microflotación de anglesita se realizó empleando dosis crecientes de colectores ABH y AOH, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 2. La figura muestra que un incremento en la dosificación del AOH conduce a un aumento en la recuperación bajo condiciones ligeramente ácidas (ver Figura 2b). Sin embargo, este comportamiento no se observa cuando la anglesita se flota utilizando ABH (ver Figura 2a). Obsérvese que la recuperación se mantiene alrededor de 20%, incluso cuando la dosis de ABH se incrementa de 5×10^{-4} a 10^{-3} mol/L. Esta diferencia probablemente se debe a una menor densidad de adsorción del ABH sobre los sitios de plomo, en comparación con la desarrollada por el AOH.

Por otro lado, la recuperación de anglesita se ve afectada adversamente cuando el pH se incrementa de 7 a 10, incluso cuando la dosis de AOH se incrementa de 10^{-4} a 5×10^{-4} mol/L. Esta disminución en la recuperación seguramente se deba a la presencia de leadhillita ($\text{Pb}_4(\text{CO}_3)_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_2$) e hidrocerusita ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) en su superficie, especies que tienen propiedades hidrofílicas y predominan en esta región de pH.

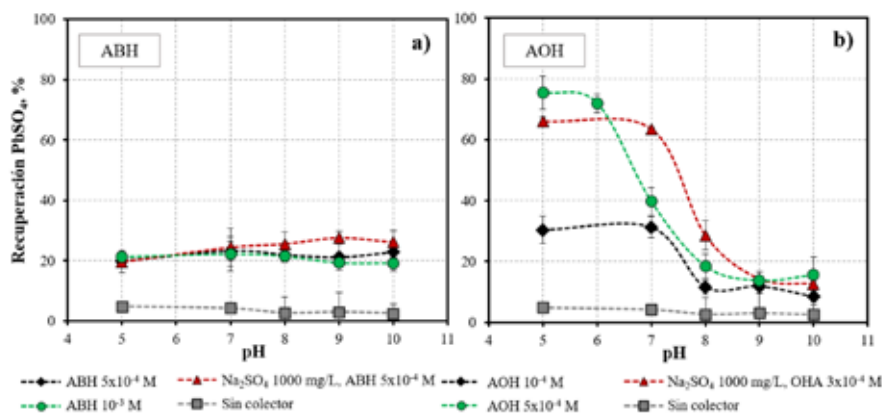


Figura 2. Efecto del pH y la presencia de sulfato (1000 mg/L) en la recuperación de anglesita (-106+75 μm) usando: (a). ABH y (b). AOH. Las mediciones se llevaron a cabo a 25°C. La anglesita se flotó durante 1 minutos.

Caracterización de las especies adsorbidas sobre la anglesita mediante ATR-FTIR

El espectro individual de cada uno de los colectores, de la anglesita sin colector (blanco) y de la anglesita acondicionada con ABH y AOH, a tres diferentes valores de pH (5, 8 y 10), son presentados para su comparación en la Figura 3.

El espectro de la anglesita sin tratar (blanco) es consistente con el reportado





por Yao, Li [11]. De acuerdo con la literatura, los enlaces S=O dan lugar a bandas vibracionales intensas [12]. En este contexto, las bandas S=O del compuesto aparecen en la región de número de onda esperada, 1019 cm⁻¹ y 964 cm⁻¹, para vibraciones de tensión y, en 627 cm⁻¹ y 591 cm⁻¹, para vibraciones de flexión.

Cuando la anglesita es acondicionada con ABH y AOH se observan diferencias con respecto al blanco únicamente a pH 8 y 10; a pH 5 no se observa desplazamientos o presencia de nuevas bandas, lo cual sugiere que a pH 5 no existe adsorción química del colector. Sin embargo, se encontró que la mayor recuperación de anglesita se obtiene usando AOH a valores de pH 5 y 7. Las razones de este último comportamiento serán discutidas más adelante.

En el caso de la anglesita acondicionada con ABH a pH 8 y 10 (ver Figura 3a y 3b), se observa la presencia de cuatro bandas: dos de baja intensidad en 1520 cm⁻¹ y 1325 cm⁻¹, una de mediana intensidad en 682 cm⁻¹ y una de alta amplitud e intensidad en 1400 cm⁻¹. A diferencia de las bandas del ión carbonato de la cerusita, las bandas características del ión sulfato de la anglesita no desaparecen ni pierden intensidad, lo cual indica una baja densidad de adsorción del colector, de modo que no alcanza a cubrir las. En cuanto al AOH, al acondicionar la anglesita con este colector a pH 8 y 10 (ver Figura 3c y 3d), se observa la aparición de una nueva banda en 3198 cm⁻¹. Asimismo, las bandas C-H del colector, ubicadas en 2916 cm⁻¹ y en 2847 cm⁻¹, son observadas en ambos casos. Además, se observan bandas de alta amplitud e intensidad en 1602 cm⁻¹ y 1395 cm⁻¹. Cabe señalar que la intensidad de estas bandas es más alta a pH 8.

La detección de grupos funcionales del ABH y AOH sobre las superficies de la anglesita, manifiesta la adsorción química (i.e., quimisorción) de los colectores [13]. Apparently, para la anglesita la quimisorción únicamente ocurre a pH 8 y 10.

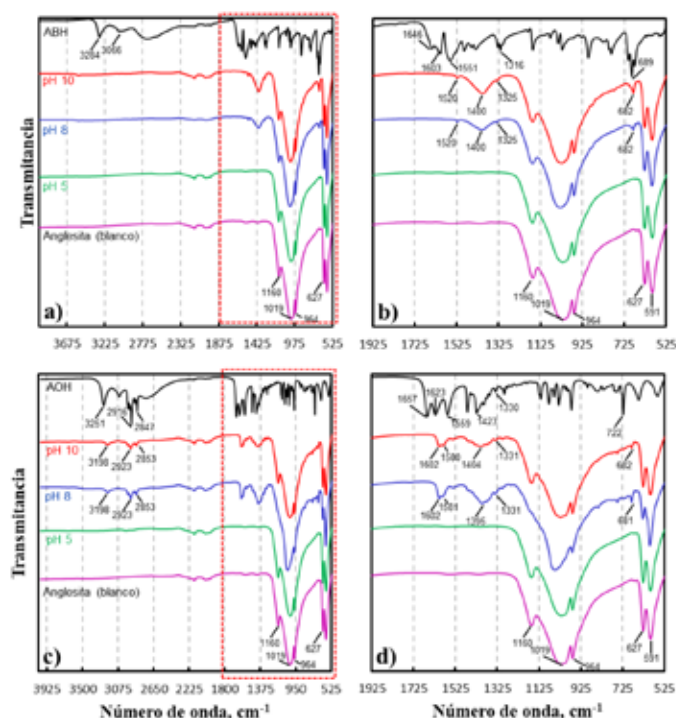
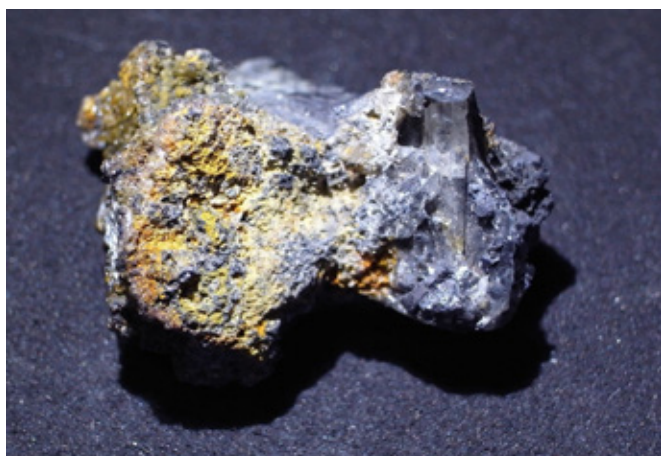


Figura 3. Espectros IR de la anglesita no acondicionada (blanco) y acondicionada a pH 5, 8 y 10 con: (a) y (b) ABH; (c) y (d) AOH.

Formación de complejos metálicos monodentados y bidentados con los aniones benzohidroxamato y octano-hidroxamato

Con el propósito de determinar si el enlace que se forma entre los sitios de plomo con ABH y AOH consiste en una estructura de anillo, se extrajeron los valores de las frecuencias C=O y C-N de los espectros mostrados anteriormente, los cuales se presentan en la Tabla 2 para su comparación.





Resulta importante mencionar que Zhang, Honaker [13] señalan que el oxígeno del grupo carbonilo sirve como centro donante en los quelatos metálicos, por lo que habrá una pérdida de electrones de este grupo funcional que, a su vez, aumentará la densidad de electrones en el enlace C-N. De modo que la extracción de electrones hará que la frecuencia a la que absorbe el enlace C=O disminuya y que la frecuencia del enlace C-N aumente [14], formándose una estructura de anillo, es decir, un ligando bidentado.

Tabla 2. Frecuencias de los enlaces C=O y C-N de los colectores ABH y AOH y de la anglesita acondicionada en su presencia.

Condiciones	Anglesita (PbSO_4)	
	Frecuencia (cm^{-1})	
	C=O	C-N
Colector ABH	1646	1551
Mineral con ABH (pH 5)		
Mineral con ABH (pH 8)	1520	1400
Mineral con ABH (pH 10)	1520	1400
Colector AOH	1657	1559
Mineral con AOH (pH 5)		
Mineral con AOH (pH 8)	1602	1581
Mineral con AOH (pH 10)	1602	1580

En la Tabla 2 se observa que esta condición se cumple para la anglesita acondicionada con AOH pH 8 y 10, lo cual sugiere que en estas condiciones los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato se encuentran adsorbidos químicamente formando un quelato bidentado, es decir, una estructura de anillo. Por el contrario, la condición no se cumple para la anglesita es acondicionada con ABH a pH 8 y 10, lo anterior aparentemente se debe a que, bajo estas condiciones, los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato no se encuentran formando un anillo con el

plomo, y que muy probablemente el quelato formado es monodentado. Cabe señalar que la formación de quelatos bidentados da como resultado un complejo más estable, que el que se forma cuando el metal se une con un solo ligante (monodentado).

Potencial Zeta de la anglesita con y sin colector

Se efectuaron mediciones de potencial zeta con el fin de determinar los cambios de carga superficial de las partículas de anglesita, antes y después del acondicionamiento con los colectores ABH y AOH. La Figura 4 presenta los resultados obtenidos.

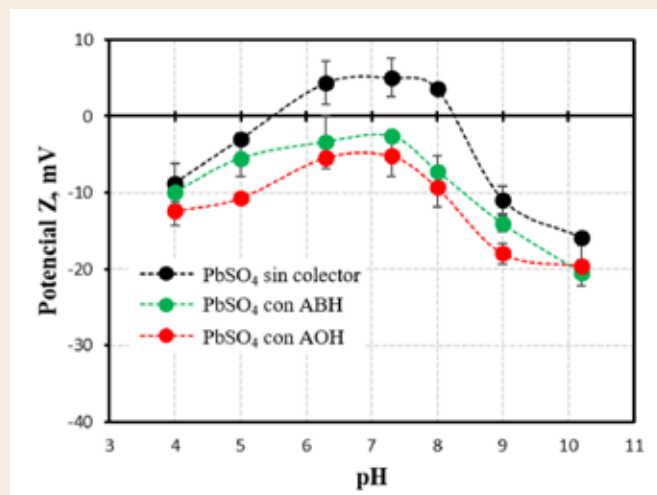


Figura 4. Potencial zeta de la anglesita en agua y en 5×10^{-4} mol/L de ABH y AOH, en función del pH. Las barras de error que se muestran corresponden a intervalos de confianza del 95%.

En la figura claramente se observa que en ausencia de colector la anglesita adquiere carga positiva o negativa dependiendo del pH en el que se encuentre. De acuerdo con la modelación termodinámica del sistema, reportada por Elizondo-Álvarez, Uribe-Salas [15], por debajo de pH 6 únicamente se tiene anglesita, con carga negativa de acuerdo a los resultados de potencial z obtenidos. En el rango de pH de 6 a 8, las especies $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$, PbOH^+ y $\text{Pb}_4(\text{CO}_3)_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_2$ son las responsables de darle la carga positiva a la superficie de la anglesita en esta región de pH. Finalmente, para valores de pH por encima de 8.5, la hidrocerusita ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) es la especie predominante [15]. Además, a estos valores de pH también puede haber $\text{Pb}(\text{OH})_2$. Aparentemente, ambas especies son las responsables de cambiar la carga de las partículas de anglesita, de positiva a negativa, en la región de pH de 8.5 a 10.

Cuando la anglesita es acondicionada con ABH y AOH, el potencial zeta se vuelve más negativo en todo el rango de pH estudiado, indicando que ambos colectores aniónicos son adsorbidos. La adición de AOH presenta mayor efecto sobre el potencial zeta de la anglesita, que el ABH, indicando que existe una mayor adsorción de este colec-



tor sobre el mineral, como lo demuestran los resultados de caracterización superficial mediante reflectancia infrarroja.

Con base en estos resultados, se puede decir que existe colector adsorbido sobre la anglesita a pH 5. No obstante, las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR no detectaron colector adsorbido. A este respecto, cabe comentar que es posible que el lavado al que se someten las partículas minerales posterior a la adsorción (9 etapas de lavado), con el objeto de eliminar residuos “entrampados” del colector, haya eliminado prácticamente el total del colector fisiorbido en las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR.

Mecanismos de interacción entre la anglesita y los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato en solución acuosa

Anglesita-benzohidroxamato

De acuerdo con los resultados mostrados y discutidos anteriormente, el presente trabajo propone que el anión benzohidroxamato reacciona químicamente con los sitios activos de su superficie únicamente a pH 8 y 10 (ver Figura 5). El Pb^{2+} se disuelve de la red cristalina a pH 5 y reacciona con el anión benzohidroxamato para formar el precipitado Pb-benzohidroxamato, el cual es readsorbido físicamente en las vecindades de la superficie, dando como resultado una superficie hidrofóbica. A pH 8, $-PbOH$, $-PbSO_4$ y $-Pb(CO_3)_2(SO_4)(OH)_2$ son los sitios activos predominantes, de los cuales $-PbSO_4$ puede reaccionar químicamente con los aniones benzohidroxamato para formar quelatos monodentados. Finalmente, a pH 10 el anión benzohidroxamato reacciona con el sitio $-PbCO_3$ que no ha sido convertido a hidrocerusita ($Pb(CO_3)_2(OH)_2$), produciendo quelatos bidentados. Cabe mencionar que a pH 10 tam-

bién puede haber $-Pb(OH)_2$ sobre la superficie de la anglesita, especie que inhibe la adsorción de colector.

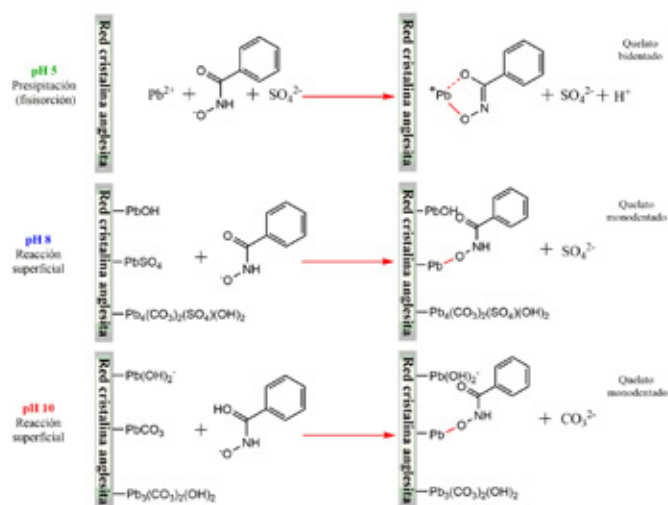


Figura 5. Representación esquemática del mecanismo de adsorción del anión benzohidroxamato sobre la anglesita a pH 5, pH 8 y pH 10.

Anglesita-octanohidroxamato

Los mecanismos de interacción anglesita-octanohidroxamato propuestos en este trabajo se ilustran en la Figura 6. A pH 5, el anión octanohidroxamato reacciona con el Pb^{2+} disuelto de la red cristalina, formando un precipitado Pb-octanohidroxamato, el cual es fisiorbido en las vecindades de la superficie, como lo demuestran las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR y mediciones de potencial zeta. A pH 8, el anión octanohidro-

amato reacciona con los sitios -PbOH y -PbSO₄ formando quelatos bidentados. Finalmente, a pH 10, el anión octanohidroxamato reacciona con el sitio -PbCO₃ que no ha sido convertido a hidrocerusita (Pb₃(CO₃)₂(OH)₂), produciendo quelatos bidentados. Obsérvese que existe una menor concentración de enlaces con los sitios de plomo desarrollados por el benzohidroxamato (ver Figura 5), en comparación con los desarrollados por el octanohidroxamato (ver Figura 6). Lo cual se debe a las limitaciones estereológicas impuestas por la estructura morfológica del ABH.

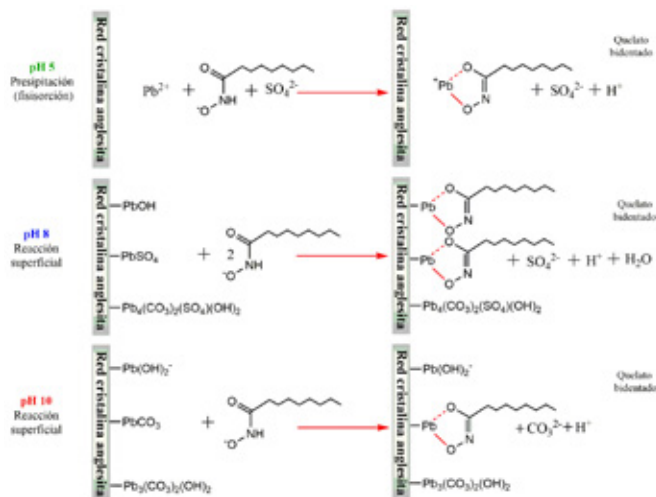


Figura 6. Representación esquemática del mecanismo de adsorción del anión octanohidroxamato sobre la anglesita a pH 5, pH 8 y pH 10.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Con base en las mediciones efectuadas con las diferentes técnicas experimentales empleadas se propusieron los



mecanismos de interacción, los cuales presentan reacciones globales y ayudan a entender la manera en que reaccionan el ABH y AOH con los minerales de plomo.

Se sugiere que los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato se adsorben químicamente formando quelatos bidentados con la anglesita acondicionada con AOH pH 8 y 10. Asimismo, dichos colectores forman quelatos monodentados en el caso de la anglesita con ABH a pH 8 y 10. Por último, ambos colectores se fisiorben sobre la anglesita a pH 5.

Se encontró una menor densidad de adsorción del ABH sobre los sitios de plomo, en comparación con la densidad de adsorción desarrollada por el AOH. Lo cual probablemente se debe a que el ABH contiene un anillo bencénico en su estructura mientras que el AOH tiene una sola cadena oclítica, de modo que el anión benzohidroxamato probablemente tenga mayores limitaciones estereológicas, comparado con el anión octanohidroxamato, para unirse con los sitios de plomo de la superficie mineral.





Estos resultados dan la pauta para investigar el uso del ácido octanohidroxámico (colector más reactivo) en la flotación de minerales reales de baja ley de plomo. Se espera que su empleo como colector proporcione buenos resultados en la recuperación simultánea de galena, cerusita y anglesita, sin la necesidad de una etapa de sulfuración previa de los minerales oxidados. Además, el uso del AOH mitigaría los efectos negativos a la salud y al medio ambiente ocasionados por los xantatos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por el personal de Cinvestav-IPN Unidad Saltillo, así como la beca otorgada por CONACYT (México).

BIBLIOGRAFÍA

[1] Owusu, C., K. Quast, and J. Addai-Mensah, The use of canola oil as an environmentally friendly flotation collector in sulphide mineral processing. *Minerals Engineering*, 2016. 98: p. 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.08.003>

[2] Amrollahi, A., M. Massinaei, and A. Zeraatkar Moghaddam, Removal of the residual xanthate from flotation plant tailings using bentonite modified by magnetic nano-particles. *Minerals Engineering*, 2019. 134: p. 142-155. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.01.031>

[3] Pomianowski, A. and J. Leja, Spectrophotometric study of xanthate and dioxanthogen solutions. *Canadian Journal of Chemistry*, 1963. 41(9). <https://doi.org/10.1139/v63-322>

[4] Sun, Z. and W. Forsling, The degradation kinetics of ethyl-xanthate as a function of pH in aqueous solution. *Minerals Engineering*, 1997. 10(4): p. 389-400. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00016-2)

[5] Shen, Y., et al., Study of xanthate decomposition in aqueous solutions. *Minerals Engineering*, 2016. 93: p. 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.04.004>

[6] Maillot, M., J.L. Cecile, and R. Bloise, Stability of ethylxanthate ion in neutral and weakly acidic media. Part 1: Influence of pH. *International Journal of Mineral Processing*, 1984. 13(3): p. 193-210. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(84\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0301-7516(84)90003-6)

[7] De Donato, P., et al., Stability of the amylxanthate ion as a function of pH: Modelling and comparison with the ethylxanthate ion. *International Journal of Mineral Processing*, 1989. 25(1): p. 1-16. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(89\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0301-7516(89)90052-5)

[8] Elizondo-Álvarez, M.A., A. Uribe-Salas, and S. Bello-Teodoro, Chemical stability of xanthates, dithiophosphinates and hydroxamic acids in aqueous solutions and their environmental implications. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021. 207: p. 111509. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111509>

[9] Fuerstenau, D.W., R. Herrera-Urbina, and D.W. McGlashan, Studies on the applicability of chelating agents as universal collectors for copper minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 2000. 58(1): p. 15-33. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00058-7](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00058-7)

[10] Delgado, Á.V., *Interfacial Electrokinetics and Electrophoresis*, ed. I. Marcel Dekker. 2002, New York.

[11] Yao, W., et al., Flotation behavior and mechanism of anglesite with salicyl hydroxamic acid as collector. *JOM*, 2018. 70(12): p. 2813-2818. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-3149-9>

[12] Larkin, P.J., *IR and Raman Spectra-Structure Correlations: Characteristics Group Frequencies*, in *IR and Raman Spectroscopy Principles and Spectral Interpretation*. 2017, Elsevier: The USA. p. 73-115.

[13] Zhang, W., R.Q. Honaker, and J.G. Groppo, Flotation of monazite in the presence of calcite part I: Calcium ion effects on the adsorption of hydroxamic acid. *Minerals Engineering*, 2017. 100: p. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.020>

[14] Chatterjee, B., Donor properties of hydroxamic acids. *Coordination Chemistry Reviews*, 1978. 26(3): p. 281-303. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(00\)80350-1](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(00)80350-1)

[15] Elizondo-Álvarez, M.A., A. Uribe-Salas, and F. Nava-Alonso, Flotation studies of galena (PbS), cerussite (PbCO₃) and anglesite (PbSO₄) with hydroxamic acids as collectors. *Minerals Engineering*, 2020. 155: p. 106456. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106456>

Cómo citar este artículo:

Elizondo-Álvarez, M. A., Uribe Salas, A., Bello Teodoro, S., & Alonso González, O. (2022). COMPORTAMIENTO DE FLOTACIÓN Y MECANISMOS DE INTERACCIÓN ENTRE LA ANGLESITA E HIDROXAMATOS. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.182>

FIRMAS DE REE EN INTRUSIVOS ASOCIADOS A PÓRFIDOS DE COBRE EN SONORA

*REE signatures of intrusives associated
with porphyry copper of Sonora*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Cecilia Santillana-Villa ¹
Martín Valencia-Moreno ²
Lucas Ochoa-Landín ³
Rafael Del Río-Salas ⁴

Recibido: 18 / 10 / 2021

Aceptado: 24 / 03 / 2022

Publicado: 01 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.188>

Autor de Correspondencia:

Cecilia Santillana Villa

Correo: cecilia.santillanav@gmail.com

Resumen

Las firmas de REE en muestras de rocas plutónicas de cinco sistemas de pórfido de cobre en Sonora, sugieren que existe un proceso petrogenético a partir del enfriamiento de un plutón principal que genera columnas de magma de textura porfídica, emplazada en niveles más someros de la corteza. Esto es revelado por una aparente inversión en la polaridad de la anomalía de europio en los patrones normalizados de REE. En general, los patrones muestran una pendiente enriquecida en LREE, con una anomalía negativa de europio bien desarrollada en el caso del plutón principal. Las firmas de los intrusivos asociados con la mineralización son muy similares, a excepción de que la anomalía de europio se hace menos negativa e incluso positiva. De acuerdo con los modelos existentes, esto puede explicarse considerando que hay un fraccionamiento importante de hornblenda durante la generación del stock porfídico, tal vez en condiciones magmáticas más reductoras.

Palabras clave: pórfidos de cobre, REE, anomalía de europio.

Abstract

REE signatures in samples of plutonic rocks from five copper porphyry systems in Sonora, suggest that there is a petrogenetic process linked to the cooling of a major pluton that generates magma columns of porphyritic texture, which are emplaced at shallow levels in the crust. This is revealed by an apparent reversal in the polarity of the europium anomaly in the REE normalized patterns. In general, the patterns display a LREE-enriched slope, with a well-developed negative europium anomaly in the case of the main pluton. The signatures of the intrusives associated with mineralization are very similar, excepting the europium anomaly, which becomes less negative and even positive. According to existing models, this can be explained by considering that there is a significant fractionation of hornblende during the generation of the porphyritic stock, perhaps under more reducing magmatic conditions.

Keywords: Copper porphyry, REE, europium anomaly.

¹ Estudiante de posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México, cecilia.santillanav@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0816-5892>

² Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México. martin.valencia@unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1212-6682>

³ Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. Lucaso.geologia@gmail.com

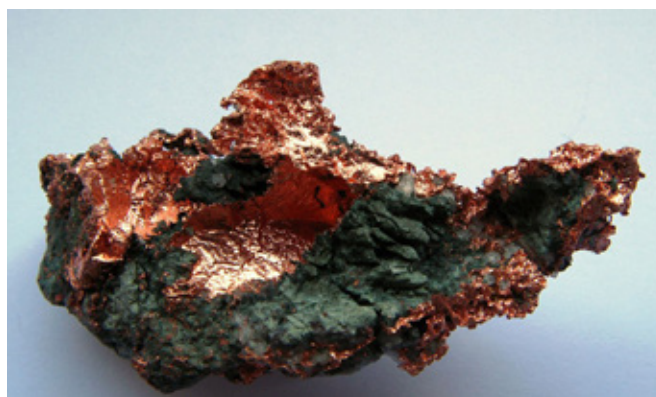
⁴ Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México. rdelriosalas@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4474-172X>,



INTRODUCCIÓN

Los depósitos del tipo pórfido de cobre son la principal fuente de cobre en el mundo [1]. Estos yacimientos son comunes en todo el mundo, pero tienen una importancia particular en las cordilleras occidentales de Norteamérica y Sudamérica. En Norteamérica, se localizan a lo largo de un cinturón que se extiende desde Alaska hasta el sur de México, siendo particularmente importantes en la región entre los estados de Arizona y New Mexico, en el suroeste de Estados Unidos, y en el estado de Sonora, en el noroeste de México. Esta región concentra la mayor parte del cobre de este tipo en una zona que se ha denominado el Gran Clúster de los pórfidos de cobre de Norteamérica. El emplazamiento de estos depósitos inició desde el período Triásico, con la activación de la subducción de la placa oceánica Farallón debajo de la placa de Norteamérica, y continuaron formándose en el Mesozoico y gran parte del Cenozoico [2], aunque los más importantes se emplazaron durante el Cretácico Tardío y el Eoceno [3].

Los yacimientos de pórfidos de cobre son sistemas magmático-hidrotermales emplazados en ambientes subvolcánicos asociados a zonas de subducción (Figura 1). El origen de estos pórfidos mineralizados está ligado a la



evolución de plutones de composición calcoalcalina [1], [3] emplazados a niveles mesozonales de la corteza, a ~8-12 km de profundidad [5], [6]. A partir del enfriamiento de estos cuerpos se desarrollaron columnas de magma relativamente delgadas (~2 km), de textura porfídica, que se emplazaron en niveles subvolcánicos (~1-3 km) [4],[8]. La composición de los plutones porfídicos varía entre cuarzo-dioritas y granitos [6], [7], los cuales generalmente presentan más de una fase en un mismo sistema; y no todos ellos mineralizan.

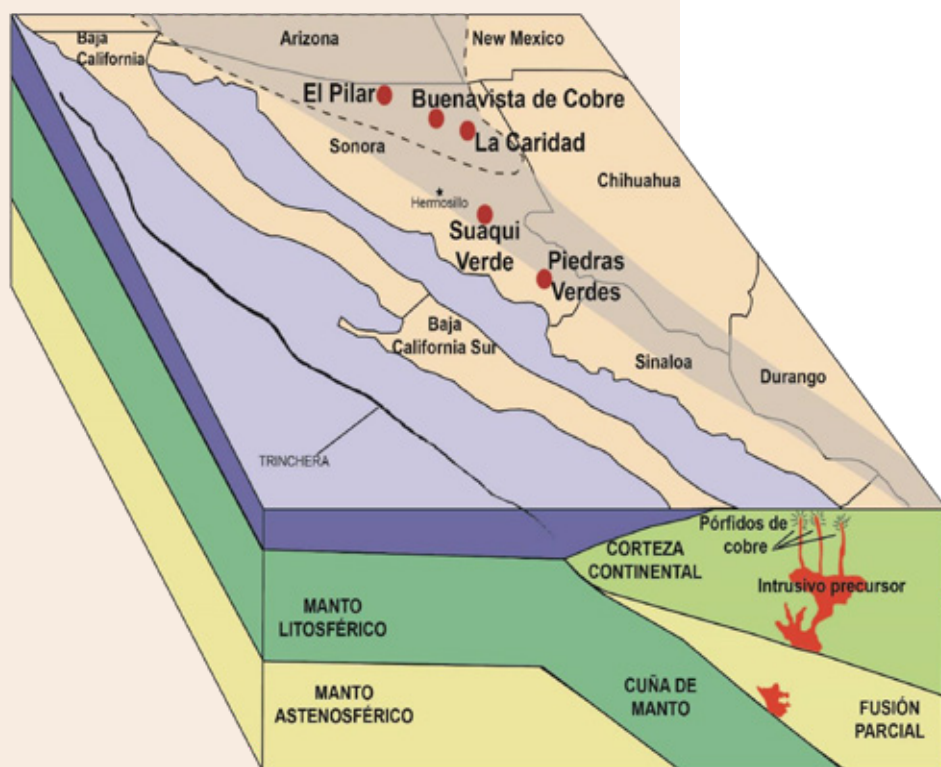


Figura 1. Modelo esquemático de la formación de pórfidos de cobre a partir de un proceso de subducción, en la región del noroeste de México. En rojo se indican los pórfidos de cobre considerados para este trabajo. La línea punteada indica el límite sur del Gran clúster de pórfidos de cobre de Norteamérica. (adaptado de Valencia-Moreno [9]).





Actualmente resulta muy difícil discernir entre un plutón porfídico productivo y uno no productivo de mineralización basado en las características geológicas y geoquímicas. Sin embargo, existe un aparente indicador en las concentraciones de los elementos del grupo de las tierras raras (REE). Nuestras observaciones indican una aparente reducción e incluso una inversión en la polaridad de la anomalía de europio observada en los patrones de REE, partiendo un patrón enriquecido en las REE ligeras (LREE) y una anomalía negativa claramente desarrollada en el plutón principal. La causa específica de este comportamiento es desconocida; sin embargo, Lang y Titley [10], realizaron un estudio en varios pórfidos de cobre de Arizona, mediante el cual observaron un cambio en las anomalías de europio, con una firma más positiva en los plutones porfídicos, propusieron que esta característica está ligada a un proceso magmático que ocurrió en equilibrio con la hornblenda. Tomando lo anterior, en este estudio se realizó un análisis geoquímico en cinco depósitos de Sonora con

mineralización del tipo pórfido de cobre, poniendo énfasis en la composición de las REE, para evaluar si el comportamiento de las mismas es similar a lo observado en Arizona.

SITIOS DE ESTUDIO

En Sonora se han documentado 27 localidades de pórfido de cobre, de las cuales El Pilar, Buenavista del Cobre, La Caridad, Suaqui Verde y Piedras Verdes fueron seleccionados para este estudio, cuyas características particulares se describen a continuación.

El Pilar

El prospecto El Pilar se encuentra ubicado a 45 km al noroeste de la ciudad de Cananea, en el municipio de Santa Cruz. Este prospecto se encuentra en etapa de exploración por parte del corporativo Grupo México, y contiene reservas estimadas en ~325 Mt de cobre con una ley promedio de 0.287% Cu [11]. El sistema está relacionado al emplazamiento de un plutón de composición granodiorítica, el cual fue fechado por U-Pb en zircones en 74.7 ± 1.1 y 74.6 ± 1.4 Ma [12]. La mineralización está asociada al emplazamiento de un pórfido cuarzofeldespático dominado por fenocristales de ortoclasa y cuarzo.

Buenavista del cobre

La mina Buenavista del Cobre, la mayor en México y una de las más importantes en Norteamérica, se encuentra a 1 km al oeste-suroeste de la ciudad de Cananea. Este depósito cuenta con recursos estimados en ~7140 Mt, con leyes de 0.42% Cu y 0.008% Mo [13]. La mineralización está alojada principalmente en rocas volcánicas de las Formaciones Henrietta y Mesa, y está asociada al emplazamiento de intrusivos porfídicos generados durante el enfriamiento

de la granodiorita Cuitaca. La edad determinada para esta granodiorita fue de 64 Ma, por U-Pb en zircones. La mineralización del depósito está centrada en un pórfido cuarzofeldespático, la cual fue fechada por Re-Os en molibdenita en $59.2-59.3 \pm 0.3$ Ma [12].

La Caridad

La mina La Caridad se ubica a unos 14 km al sureste de Nacozari, siendo la segunda en importancia en México; cuenta con recursos estimados en ~1800 Mt, con leyes de 0.452% de Cu y 0.0247% de Mo [13]. La mineralización se aloja principalmente en rocas volcánicas de la Formación Tarahumara, asociada a la intrusión de una granodiorita fechada por U-Pb en zircones en 55.5 ± 1.9 y 55.6 ± 1.7 Ma [14]. La mineralización está asociada al emplazamiento de un cuerpo porfídico de composición cuarzomonzonítica, cuya edad ha sido determinada por Re-Os en molibdenita en 54.3 ± 1.7 Ma [14].

Suaqui Verde

El prospecto Suaqui Verde se encuentra a unos 5 km al noreste del poblado de Suaqui Grande, en Sonora central. Este prospecto tiene un tamaño estimado en ~87.2 Mt, con una ley de 0.43% de Cu [13]. El depósito está alojado principalmente en rocas volcánicas de la Formación Tarahumara, y está asociada al emplazamiento de un plutón granodiorítico, con edades K-Ar en hornblenda y biotita de 58.8 ± 1.3 y 56.4 ± 1.2 Ma, respectivamente [1]. La mineralización deriva del emplazamiento de un intrusivo porfídico cuarzofeldespático, fechado por Re-Os en molibdenita en $57 \pm$

0.3 Ma [15].

Piedras Verdes

La mina Piedras Verdes se localiza a unos 10 km al noroeste de Álamos, y contiene recursos estimados en ~452.79 Mt con una ley de 0.28% Cu [16]. El depósito está emplazado en rocas sedimentarias de cuenca marina profunda de edades de la Era Paleozoica, las cuales son intrusionadas por una granodiorita de edad K-Ar en biotita de 67.3 ± 1.4 Ma [1]. La mineralización está asociada al emplazamiento de un pórfido cuarzofeldespático fechado por KAr en biotita en 62.2 ± 1.6 Ma [17].

METODOLOGÍA

En cada sitio de estudio se colectaron 2 muestras, una del intrusivo principal y una muestra del plutón porfídico asociado con la mineralización. Las muestras se colectaron de afloramientos o de núcleos de barrenación, tratando de coleccionar la roca con la mejor preservación posible. Las muestras se prepararon en las instalaciones de la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la UNAM en Hermosillo, Sonora (ERNO), para su posterior análisis por XRF en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía de la UNAM en la Ciudad de México, y por ICP-MS en el Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Querétaro.

RESULTADOS

Las concentraciones de elementos mayores obtenidos por XRF se presentan en la Tabla 1.



Tabla 1. Concentración de óxidos de elementos Mayores (wt%) y algunos traza (ppm) medidos por XRF, indicando el índice de alcalinidad (A/CNK); los valores de número de magnesio (Mg#) y de algunos minerales fueron calculados de acuerdo con la norma CIPW.

	Plutones precursores					Plutones porfídicos							
	PMX-1828	PMX-1837	LC-1	PMX-1802	PV-04	PMX-1829	Fsp ¹	CN-1	PMX1818	LC-2	SV-006	PV-03	
SiO ₂	64.73	66.72	67.46	64.38	63.05	70.35	65.70	68.75	68.16	69.59	65.86	67.37	
TiO ₂	0.61	0.54	0.55	0.65	0.73	0.23	0.31	0.40	0.47	0.39	0.48	0.49	
Al ₂ O ₃	15.73	16.31	15.18	16.41	16.51	14.59	16.70	15.62	15.78	15.75	14.97	15.08	
Fe ₂ O ₃	4.38	3.37	3.93	4.74	5.38	1.90	2.11	3.31	3.19	3.81	4.56	3.52	
MnO	0.05	0.05	0.05	0.11	0.09	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	0.02	
MgO	1.70	1.14	1.60	1.94	2.39	0.46	0.63	0.78	1.00	1.42	1.72	1.74	
CaO	3.38	3.71	3.03	4.50	5.04	1.06	0.23	0.12	2.74	0.06	2.84	3.09	
Na ₂ O	4.25	4.12	3.50	3.20	3.31	3.61	0.22	0.15	4.01	0.16	1.72	3.30	
K ₂ O	3.57	3.40	3.88	3.15	2.66	5.86	5.25	7.07	3.70	5.12	3.55	2.73	
P ₂ O ₅	0.19	0.21	0.15	0.16	0.18	0.07	0.14	0.07	0.16	0.14	0.12	0.15	
LOI	1.42	0.44	0.58	0.77	0.67	1.84	8.65	3.60	0.76	3.08	4.14	2.51	
Total	100.00	100.00	99.90	100.00	100.00	100.00	99.98	99.88	100.00	99.55	100.00	100.00	
A/CNK	0.92	0.95	0.98	0.97	0.94	1.03	2.58	1.92	1.01	2.66	1.27	1.08	
Mg#	37.48	34.29	38.56	38.77	40.67	27.01	31.59	26.60	32.52	36.51	36.78	43.37	
Rb	102	138	210	147	107	215	300	357	175	423	121	108	
Sr	689	582	364	478	448	168	130	52	474	18	299	450	
Ba	1170	908	871	812	928	1009	1700	920	861	434	761	598	
Y	20	23	40	23	20	33	<10	46	23	50	22	24	
Zr	187	173	198	130	180	148	170	156	187	151	108	163	
Nb	6	5	12	7	9	11	20	8	6	11	7	6	
V	80	56	75	96	104	21	N.D.	40	55	47	64	60	
Cr	22	331	10	303	27	34	N.D.	<2	393	<2	19	61	
Co	11	8	8	13	16	8	N.D.	6	7	5	7	10	
Ni	22	12	9	18	14	9	<1	4	14	3	43	15	
Cu	17	18	515	31	20	192	529	90	52	810	172	227	
Zn	21	28	87	110	71	<2	N.D.	41	40	67	58	15	
Th	9	12	35	13	14	14	N.D.	10	16	17	15	7	
Pb	10	12	12	10	11	11	N.D.	29	11	35	12	14	
CIPW calculado en minerales diagnósticos													
Qz	20.98	21.89	31.65	23.73	21.59	35.02	44.69	41.11	23.96	48.35	49.71	37.10	
Pg	42.51	49.11	25.75	43.49	47.60	17.79	0.00	1.54	46.83	N.D.	0.00	25.06	
Or	21.10	20.09	22.52	18.62	15.72	34.63	31.03	43.38	22.04	30.61	20.98	16.13	
C	2.47	0.63	5.78	1.72	1.01	4.79	11.03	7.94	0.58	10.30	11.13	7.25	
Hy	4.23	2.84	3.91	4.83	5.95	1.12	1.57	1.99	2.49	3.56	4.28	4.33	
Ilm	0.11	0.11	0.11	0.24	0.19	0.06	0.06	0.04	0.09	0.06	0.13	0.04	
He	4.38	3.37	3.68	4.74	5.38	1.90	2.11	3.43	3.22	3.85	4.56	3.52	
Ap	0.44	0.49	0.35	0.37	0.42	0.14	0.32	0.16	0.37	0.32	0.28	0.35	

NOTA: LOI: Perdida por encendido. A/CNK: Relaciones de álcalis basadas en las proporciones molares de Al₂O₃/CaO+Na₂O+K₂O). Mg#: índice de magnesio calculado a partir de 100 veces la relación molar de MgO/(MgO+FeO). 1 Datos de Wodzicki [18]. Patrones y curvas de calibración dados en Lozano y Bernal [19]. N.D.: Sin datos.

El contenido de SiO₂ varía entre ~63.05 y 70.35% con una media de 66.84%. Los elementos mayores muestran tendencias negativas en relación a la variación de sílice, a excepción del K₂O, que muestra una distribución positiva, y el Na₂O que tiene una distribución más enriquecida hacia los valores medios del rango de sílice.

En la mayoría de los casos, las muestras de los intrusivos precursores y de los plutones porfídicos estudiados, tienen una composición muy similar a los plutones asociados a los sistemas de pórfido de cobre en Arizona, en particular los intrusivos porfídicos. La concentración de algunos elementos traza, incluyendo el grupo de las tierras raras (REE) se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2. Concentración de elementos traza y tierras raras en ppm para las rocas colectadas en los distintos sitios con mineralización tipo pórfido de cobre estudiados en Sonora.

	Plutones precursores					Plutones porfídicos						
	PMX-1828	PMX-1837	LC-1	PMX-1802	PV-04	PMX-1829	Fsp ¹	CN-1	PMX1818	LC-2	SV-006	PV-03
La	30 02	29 52	34 24	23 65	28 27	27 60	24 87	30 22	35 62	14 59	23 61	25 20
Ce	54 23	58 84	70 41	48 27	55 21	49 77	53 97	55 61	59 59	30 96	43 29	48 72
Pr	6 94	7 26	7 99	5 99	6 83	5 59	N D	6 27	6 26	3 32	4 91	5 89
Nd	25 31	26 64	29 96	22 68	25 51	18 29	16 74	23 86	21 37	12 26	17 41	21 79
Sm	4 50	4 84	5 81	4 45	5 15	3 07	3 15	4 42	3 50	2 38	3 17	4 10
Eu	1 23	1 19	1 42	1 12	1 17	0 71	1 45	1 65	0 93	0 83	0 88	1 08
Gd	3 42	3 77	4 69	3 69	4 60	2 43	2 51	3 31	2 75	2 08	2 71	3 37
Tb	0 44	0 51	0 68	0 51	0 68	0 36	0 33	0 40	0 36	0 31	0 39	0 47
Dy	2 10	2 54	4 18	2 63	3 95	1 97	1 39	2 09	1 77	1 84	2 05	2 47
Ho	0 38	0 47	0 86	0 48	0 77	0 40	0 24	0 37	0 34	0 39	0 39	0 47
Er	0 08	1 25	2 12	1 25	2 12	1 18	0 67	0 84	0 92	0 83	1 05	1 25
Tm	N D	N D	0 31	N D	N D	N D	N D	0 12	N D	0 13	N D	N D
Yb	0 93	1 18	2 26	1 16	2 05	1 35	0 74	0 83	0 91	0 78	1 05	1 19
Lu	0 15	0 18	0 36	0 18	0 31	0 22	0 16	0 14	0 15	0 14	0 16	0 18
ΣREE	130 62	138 18	165 29	116 06	136 61	112 94	106 22	130 12	134 47	70 86	101 06	116 19
Eu/Eu*	0 96	0 85	0 83	0 85	0 73	0 79	1 58	1 32	0 91	1 14	0 91	0 89
Ce _N /Yb _N	16 17	13 89	8 65	11 55	7 49	10 22	20 26	18 60	18 25	11 00	11 47	11 38
Cs	2 97	3 45	N D	9 31	5 07	6 39	30 41	17 12	6 37	N D	8 47	5 11
Rb	96 79	118 09	210 00	149 92	102 49	219 25	472 44	399 89	175 00	423 00	125 13	113 92
Sr	670 25	546 40	364 00	471 76	431 21	162 93	6 16	46 63	474 00	18 00	327 00	467 80
Ba	1267 52	955 62	871 00	866 55	966 46	1170 54	243 24	1037 31	861 00	434 00	831 66	674 86
Zr	170 99	146 57	198 00	180 18	196 88	165 16	15 18	173 44	187 00	151 00	61 22	155 16
U	4 41	3 88	N D	4 05	2 16	2 98	N D	4 86	5 17	N D	9 92	2 46
Th	7 58	10 06	35 00	12 74	10 50	9 34	N D	10 49	16 00	17 00	15 66	6 04
Ta	0 89	0 83	N D	0 81	0 89	0 89	N D	0 66	0 77	N D	0 81	0 64
Hf	4 48	3 90	N D	4 70	5 08	4 56	N D	4 46	3 89	N D	1 93	4 01
Nb	11 29	9 95	12 00	9 58	10 70	11 97	20 00	9 12	6 00	11 00	7 53	8 43



Concentraciones de elementos obtenidas por ICP-MS, con excepción de las muestras LC-1 y LC-2, que fueron medidas por XRF. Datos de Wodzicki [18]. El subíndice "N" indica valores normalizados de condrita de acuerdo con los valores de McDonough y Sun [20]. $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$. Ce_N/Yb_N = pendiente REE. Estándares utilizados y curvas de calibración dadas en Mori et al [21]. N.D.: Sin datos.

Las abundancias totales de REE varían de entre 116 y 165 ppm para las muestras de los plutones precursores, y entre 70 y 134 ppm, con promedios de 137 y 110, respectivamente. La pendiente de los patrones de REE normalizados a la condrita (REEN), dado por las relaciones Ce_N/Yb_N , son entre 7.5 y 16.2 con un promedio de 11.5 para los plutones precursores, y entre 10.2 y 20.2, con un promedio

de 14.4 para los plutones porfídicos. En cuanto a la anomalía de europio (Eu/Eu^*), los valores de los intrusivos precursores son entre 0.73 y 0.96, con un promedio de 0.85, y entre 0.79 y 1.58 con un promedio de 1.08 para los pórfidos. Estos valores obtenidos de las concentraciones de REE sugieren que existe una clara menor concentración en las muestras de los intrusivos porfídicos, acoplados a patrones normalizados con pendientes y anomalías de europio relativamente mayores, con tres de las siete muestras estudiadas indicando anomalías positivas (Figura 2).

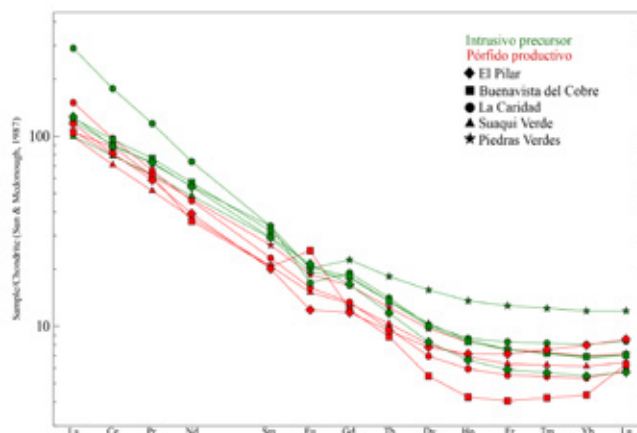


Figura 2. Diagrama de los patrones de REE normalizados a los valores condriticos propuestos por Sun y McDonough [20].

Haciendo un análisis de los patrones de tierras raras normalizados a la condrita (REEN) se observa un claro mayor enriquecimiento en las muestras de los plutones precursores combinado con el desarrollo de anomalías positivas en el caso de los plutones porfídicos.

CONCLUSIÓN

Los resultados de los datos geocronológicos y geoquímicos en muestras de los intrusivos precursores y de los plutones porfídicos en El Pilar, Buenavista del Cobre, La Caridad, Suaqui Verde y Piedras Verdes, indican una gran afinidad temporal y composicional entre ellos. Los patrones de tierras raras normalizados a la condrita indican que los plutones porfídicos fueron extraídos a partir del plutón principal en enfriamiento, probablemente en equilibrio con hornblenda, clinopiroxeno y esfena, cuyo fraccionamiento causó una inversión de la anomalía de Eu a posiciones menos negativas e incluso positivas en los espectros. Además de esto, el fraccionamiento de estas fases minerales está evidenciado por una disminución en el total de tierras raras, así como por una mayor concavidad en el segmento de las tierras raras pesadas (HREE).

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo otorgado por CONACYT (beca 624575) y al proyecto PERUMEX (UNAM-Grupo México, convenio No. 49647-2463-25-IX-17). Extendemos el agradecimiento al personal que nos dio acceso a los sitios de estudio, así como a R. Lozano-Santa Cruz por su colaboración en la obtención de los análisis por XRF (LANGEM), a O. Pérez-Arvizu por su apoyo en los análisis de ICP-MS (CGEO-LEI) y A. Orcí-Romero por su trabajo en la preparación de las láminas delgadas

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sillitoe, R. H., "Porphyry Copper Systems", *Economic Geology* 105, p. 3–41, 2010. DOI:10.2113/gsecongeo.105.1.3
- [2] Damon, P. E., Shafiqullah, M. and Clark K. F., "Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of México", *Canadian Journal of Earth Sciences* 20, p. 1052–1071, 1983. DOI:10.1139/e83-095
- [3] Valencia-Moreno, M., Camprubí, A., Ochoa-Landín, L., Calmus T. and Mendiál-Quijada, H., "Latest Cretaceous-early Paleogene "boom" of porphyry Cu mineralization associated with the Laramide magmatic arc of México", *Ore Geology Reviews* 81, p. 1113–1124, 2017. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.05.005
- [4] Damon, P.E., Shafiqullah, M. and Clark, K.F., "Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis", *Revista del Instituto de Geología* 5, p. 223–238, 1981.
- [5] Richards, J. P., "Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation", *Economic Geology* 98 (8), p. 1515–1533, 2003. DOI:10.2113/98.8.1515
- [6] Berger, B.R., Ayuso, R.A., Wynn, J.C. and Seal, R.R., "Preliminary model of porphyry copper deposits", *Geological Survey of U.S.A., Open File Report 2008–1321*, p. 55, 2008.
- [7] Tittley, S., "Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera", *Arizona Geological Digest* 20, p. 6–20, 1995.
- [8] Sillitoe, R. H., "The tops and bottoms of porphyry copper deposits", *Economic Geology* 68, p. 799–815, 1973. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.68.6.799>
- [9] Valencia-Moreno, M., "Los batolitos de Sonora", *Investigación y ciencia*, 2007.
- [10] Lang, J.R., and Tittley, S.R., "Isotopic and geochemical characteristics of Laramide magmatic systems in Arizona and implications for the genesis of porphyry copper deposits", *Economic Geology* 93, p. 138–170, 1998. DOI:10.2113/GSECONGEO.93.2.138
- [11] Grupo México S.A.B. de C.V., "Informe de resultados tercer trimestre 2019", Información de lared, https://www.gmexico.com/images/documentos/reportes_financieros/NP_GMEXICO_3T19_VERSION_FINAL.pdf, 2019.
- [12] Del Río-Salas, R., Ochoa-Landín, L., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., Meza-Figueroa, D., Salgado-Souto, S., Kirk, J. Ruiz, J. and Mendiál-Quijada, H., "New U-Pb geochronology of Laramide porphyry copper mineralization along the Cananea lineament, northeastern Sonora, México: Contribution to the understanding of the Cananea copper district", *Ore Geology Reviews*, v. 81, p. 1125–1136, 2017. DOI:10.1016/j.oregeorev.2015.11.029
- [13] Singer, D. A., Berger, V. and Moring, B. C., "Porphyry Copper Deposits of the World: Database and Grade and Tonnage Models", U. S. Geological Survey, Open-File Reports 2008–1155, 2008.
- [14] Valencia, V., Noguez-Alcántara, B., Barra, F., Ruiz, J., Gehrels, G., Quintanar, F. and Valencia-Moreno, M., "U–Pb zircon and Re–Os molybdenite geochronology from La Caridad porphyry copper deposit: insights for the duration of magmatism and mineralization in the Nacozari District, Sonora, México", *Mineralium Deposita* 40, p. 175–191, 2005. DOI:10.1007/s00126-005-0480-1.
- [15] Barra, F., Ruiz, J., Valencia, V.A., Ochoa-Landín, L., Chesley, J.T. and Zürcher, L., "Laramide porphyry Cu–Mo mineralization in northern México: age constraints from Re–Os geochronology in molybdenite", *Economic Geology* 100, p. 1605–1616, 2005. DOI:10.2113/gsecongeo.100.8.1605.
- [16] Cobre del Mayo S.A. de C.V., "Technical Report", p. 2, 2015.
- [17] Espinosa-Perea, V., "Magmatic evolution and geochemistry of the Piedras Verdes deposit, Sonora, México", M. C. Tesis. The University of Arizona, p. 114, 1999.
- [18] Wodzicki, W.A., "The evolution of magmatism and mineralization in the Cananea district, Sonora, México", *Economic Geology Special Publication* 8, p. 243–263, 2001.
- [19] Lozano, R., and Bernal, J. P., "Characterization of a new set of eight geochemical reference materials for XRF major and trace element analysis", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22 (3), p. 329–344, 2005.
- [20] Sun, S. S. and McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", *Geological Society, London, Special publications* 42, p. 313–345, 1989. DOI:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19
- [21] Mori, L. A., Gómez-Tuena, Y., and Goldstein, C. S., "Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt", *Chemical Geology* 244, p. 452–473, 2007.

Cómo citar este artículo:

Santillana Villa, C., Valencia-Moreno, M., Ochoa-Landín, L., & Del Río-Salas, R. (2022). Firmas de REE en intrusivos asociados a pórfidos de cobre en Sonora. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.188>

CONSUMO DE CIANURO DE CONCENTRADO DE PIRITA AURIFERA, EMPLEANDO OZONO COMO PRETRATAMIENTO

*Flotation behavior and interaction mechanisms between
anglesite and hydroxamates*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Carolina Rodríguez-Rodríguez ^{1*}

Gabriela Salas-Puente ²

Juan Carlos Baltazar-Vera ³

Joel Everardo Valtierra-Olivares ⁴

Omero Alonso-Gonzalez ⁵

Recibido: 21 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 01 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.194>

Autor de Correspondencia:

Carolina Rodríguez-Rodríguez

Correo: carolina.rodriguez@ugto.mx

Resumen

La pirita (FeS₂) es el segundo mineral huésped más común de las especies de oro. Esta asociación presenta una complejidad diversa, ya que el oro puede encontrarse finamente diseminado o incluido a tamaño muy fino (0.1 a 1.0 µm), por lo que requieren condiciones de trituration extremas y/u oxidación para liberar el oro. En este trabajo se evaluó el consumo de cianuro cuando un concentrado de pirita aurífero es sometido a un pretratamiento con ozono antes de la cianuración. Se realizaron pruebas de cianuración a 1000 y 3000 ppm de CN⁻ para un concentrado de pirita con una ley de 67.44% de FeS₂, observándose una reducción en el consumo de cianuro del 54% y 69% para dichas concentraciones de cianuro, cuando el mineral se somete a un pre-tratamiento con ozono. Estos resultados sugieren que el uso del ozono, además de incrementar la recuperación de plata, genera un impacto ambiental significativo.

Palabras clave: pirita aurífera, minerales refractarios, cianuración, ozono.

Abstract

Pyrite (FeS₂), is the second most common host mineral for gold species. This association presents a great complexity, due to the gold can be finely disseminated or included at very fine size (0.1 to 1.0 µm), which requires extreme crushing conditions and strong oxidation in order to, liberate the gold, in a subsequent cyanidation step. In this work, cyanide consumption was evaluated, when a gold-bearing pyrite concentrate is submitted to a pretreatment with ozone prior to the conventional cyanidation. Tests were carried out at two different cyanide concentrations (1000 and 3000 ppm of CN⁻), for a gold pyrite concentrate (67.44% of FeS₂), where a significant decrease in cyanide consumption of 54% and 69% was found, when the mineral is submitted to an ozone treatment before cyanidation. These findings suggest that the use of ozone increases silver recovery and generates significant environmental impact.

Keywords: Gold-bearing pyrite, refractory ores, cyanidation, ozone.

¹ Doctora en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Departamento de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México, carolina.rodriguez@ugto.mx

² Ingeniera Metalúrgica, Departamento de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México, g.salaspuente@ugto.mx

³ Doctor en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México, jc.baltazarvera@ugto.mx

⁴ Doctor en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Guanajuato, México, valtierra.je@ugto.mx

⁵ Doctor en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, omero.alonso@uaz.edu.mx



INTRODUCCIÓN

México es un país mundialmente reconocido por la producción de metales preciosos como son el oro y la plata, por lo que se encuentra posicionado como el mayor productor de plata a nivel mundial y en cuanto a la producción de oro se encuentra escalonado en noveno lugar a nivel mundial [1].

El proceso de cianuración es ampliamente utilizado por la industria minera para la recuperación en solución de dichos metales preciosos, ya que este proceso resulta ser eficaz y de bajo costo, cuando las partículas de los metales están completamente libres o expuestas en asociaciones simples.

La pirita ha recibido una gran atención recientemente debido a que es el segundo mineral huésped más común de las especies de oro [2]. Esta asociación puede mostrar muy diversa complejidad, es decir, el oro puede encontrarse finamente diseminado sobre las piritas, pero expuesto, en otras puede encontrarse incluido a tamaño muy fino (0.10 a 1.0 μm) dentro de granos de pirita de entre 5 a 15 micras, o bien dentro de la red cristalina de la pirita (oro invisible). Sin embargo, tales asociaciones hacen que el metal no responda a la solución de cianuro [3] y se clasifique como refractario (recuperaciones por debajo al 80%), en este caso se debe de emplear tratamientos de oxidación o condiciones de trituración extremas complementarios a la cianuración, para poder romper la estructura del mineral y hacerlo más accesible a la cianuración [4]. Así que, es necesario implementar nuevas alternativas que ayuden a eficientar los procesos de concentración y/o extracción, para lograr altos porcentajes en la recuperación de los metales de interés.

Algunas de estas alternativas, consisten en aplicar pre-tratamientos de tostación, oxidación a presión, biolixiviación y molienda ultrafina, este último es el más empleado de manera industrial actualmente. Cada uno de estos pre-

tratamientos busca la manera de optimizar la extracción del oro en la etapa siguiente de cianuración. Cabe mencionar que, la generación de SO_2 , los altos costos de operación y los tiempos largos de operación, hacen que estos métodos sean poco convenientes para su empleo. Actualmente, las investigaciones relacionadas con el tratamiento de pirita se enfocan principalmente a tratamientos de tostación [5], biolixiviación [6], remolienda [7], oxidación con ácido nítrico [8].

El uso del ozono en la metalurgia extractiva ha tomado un papel importante en los últimos años como agente oxidante en la lixiviación de metales y minerales, esto debido a su alto poder oxidante ($E^\circ = 2.07 \text{ V}$) y el impacto mínimo al medio ambiente. Debido a su alto poder oxidante, puede oxidar a los minerales refractarios de tal manera que incrementa el potencial de oxidación del medio acuoso y disuelve a los minerales sulfurosos asociados con el oro y la plata [9]. Por estas razones, el uso del ozono se presenta como una alternativa interesante para el pretratamiento de minerales refractarios.

La presente investigación consiste en presentar el comportamiento del consumo de cianuro de un

concentrado de pirita aurífera proveniente de la etapa de flotación de una concentradora localizada en el estado de Zacatecas, cuando se propone aplicar un pretratamiento con ozono previo al proceso de cianuración convencional. De igual manera, se presenta el comportamiento en la disolución de la plata de dicho concentrado. Al aplicar un pre-tratamiento con ozono se busca liberar al oro y la plata disolviendo las especies minerales huésped de los minerales de valor, para lograr exponer las partículas de oro y plata a la solución lixivante de cianuro, y así alcanzar altos porcentajes de recuperación de dichos metales. Asimismo, se busca contribuir de manera positiva al cuidado del medio ambiente, al impactarlo de manera mínima, así como no elevar los costos de producción.



MATERIALES Y METODOLOGÍAS

Materiales

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se obtuvo una muestra de concentrado de pirita (5.6 kg) de una planta de concentración ubicada en el estado de Zacatecas. La preparación del mineral se realizó de la siguiente manera: la muestra se desgrumó y homogenizó, para enseguida obtener una muestra de 2 kg mediante el cuarteo.

Al concentrado de pirita se le determinó el tamaño de partícula mediante un análisis granulométrico en húmedo, en el cual, primero se deslamo por la malla 500 para retirar las partículas finas; la fracción gruesa se tamizó en seco utilizando las mallas 100, 200, 270, 325, 400 y 500. La Figura 1, muestra que el d80 del concentrado de estudio es de 45.70 μm .

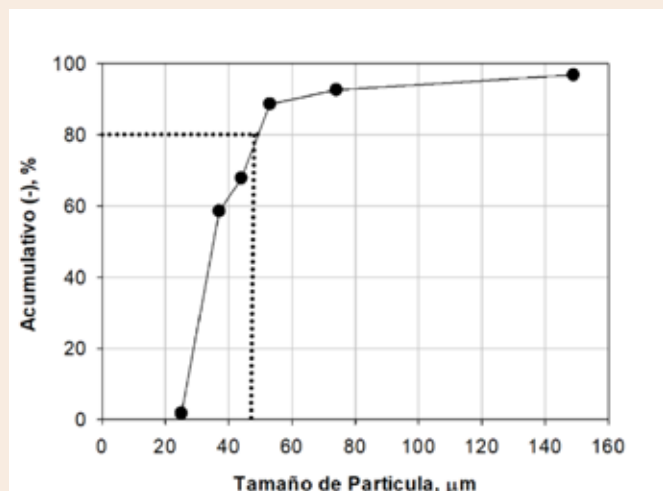


Figura 1. Distribución de tamaño de partícula del concentrado de pirita empleado.

La Tabla 1, muestra el análisis químico para el concentrado de pirita. La ley de oro y plata se determinó mediante análisis de vía seca, mientras que el análisis de hierro, cobre zinc y plomo se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica, Perkin-Elmer Analyst-200.

Tabla 1. Análisis químico para el concentrado de pirita.

Elemento o Compuesto	g/ton	%
Au	5.99	
Ag	733.53	
FeS_2		67.44
Pb		1.62
Zn		6.07
Cu		6.37

Se realizó una caracterización mineralógica del concentrado aurífero con el objetivo principal de observar las especies minerales presentes en dicho concentrado. El estudio de la caracterización mineralógica se realizó mediante un microscopio metalográfico Nikon Eclipse MA200. La Figura 2 presenta fotomicrografías del concentrado de estudio, en donde se observa que cualitativamente, la especie presente en mayor proporción en el concentrado resulto ser la pirita, con contenidos menores de calcopirita y de esfalerita, así como una pequeña cantidad de silicatos.

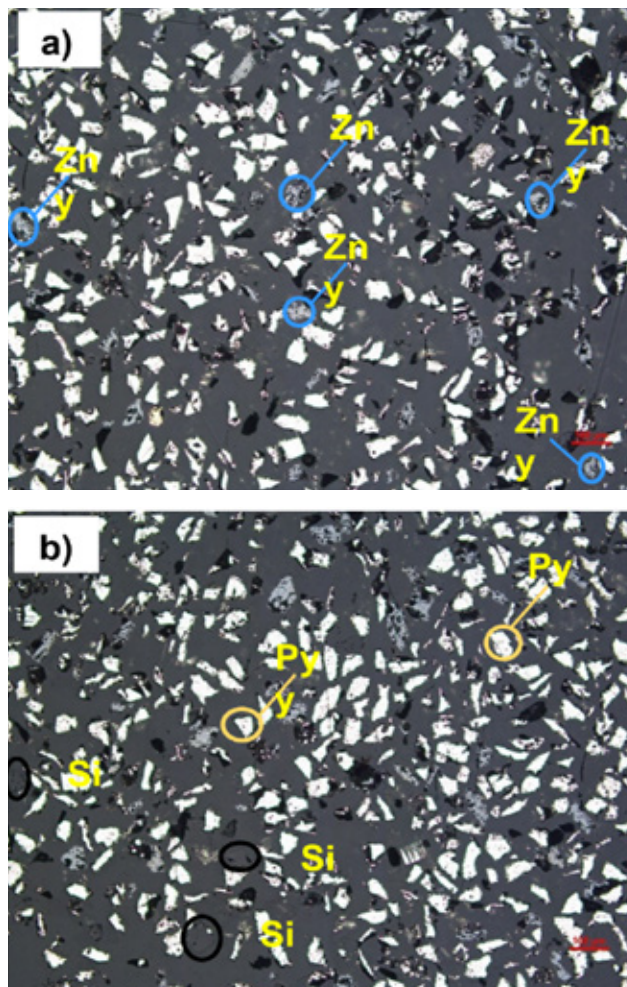


Figura 2. Fotomicrografía de las partículas del concentrado de estudio para la fracción +325 μm : (a) Granos de esfalerita y (b) Granos de silicatos y partículas de pirita. Escala: 100 μm .

METODOLOGÍAS

Para este trabajo de investigación, se implementaron 3 metodologías: a) una cianuración convencional, b) un pre-tratamiento con ozono y c) pretratamiento con ozono seguido de cianuración. A continuación, se describe de manera general el objetivo de cada una de las metodologías.

Cianuración convencional

Se realizaron 2 cianuraciones al concentrado de pirita a diferentes concentraciones de cianuro: 1000 y 3000 ppm de CN^- . Las condiciones experimentales que se utilizaron fueron: una dilución de pulpa 1:1, es decir 50% CW (100 g de concentrado mineral y 100 mL de la solución de cianuro), 25°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), pH de la pulpa fue 14 (regulado por NaOH) y un tiempo de cianuración de 48 horas. Las pruebas se efectuaron en botellas y permanecieron en agitación durante todo el tiempo de cianuración. Todas las pruebas se realizaron por duplicado.

Los experimentos se realizaron de la siguiente manera: se pone en contacto el concentrado de pirita y la solución de cianuro a una determinada concentración en una botella ámbar de 1 L de capacidad. La agitación se llevó a cabo en una mesa rodillos, con una velocidad de agitación 110 rpm (ver Figura 3). Se tomaron alícuotas de 20 mL de pulpa a 2, 4, 6, 10, 24 y 48 horas, y 5 mL se destinaron para medir el consumo de cianuro mediante titulación con nitrato de plata (AgNO_3) con una concentración de 0.025 M y los otros 15 mL se utilizaron para medir Ag y Fe. En cada muestreo se repone el cianuro consumido y el volumen de pulpa extraído.

A las 48 horas, se procedió a filtrar la pulpa para recuperar los sólidos que no reaccionaron y se analizaron por oro y plata; también se analizó la solución rica por oro y plata. Adicionalmente, cada vez se lavaron los sólidos filtrados para retirar los contenidos de oro y plata remanentes.

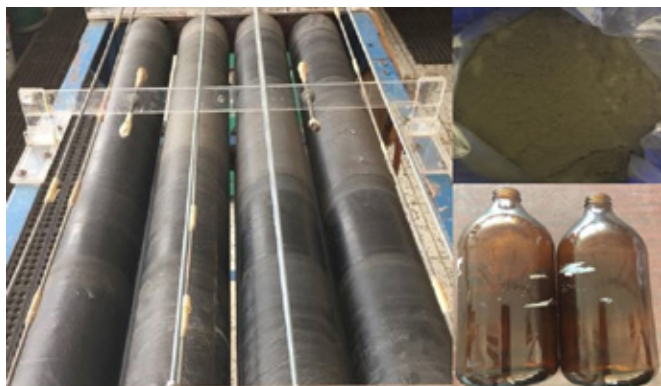


Figura 3. Sistema empleado para realizar proceso de cianuración.

Pre-tratamiento con ozono

Se utilizó un ozonificador, el cual generó una corriente gaseosa de 1 L/min con una concentración de 0.02 g O_3/L . Se da inicio a la generación de ozono y una vez que se estabiliza la producción de ozono se vierten 400 mL de solución de ácido nítrico al 10% vol., junto con 115 g del concentrado de pirita al reactor de vidrio, se inicia el cronometraje del tiempo y la agitación mecánica a 1100 rpm. El tiempo de tratamiento con ozono fue de 6 horas a una temperatura de 25°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Al final del tratamiento se recuperan los sólidos, se enjuagan, se filtran y se secan. El equipo experimental empleado se muestra en la Figura 4.

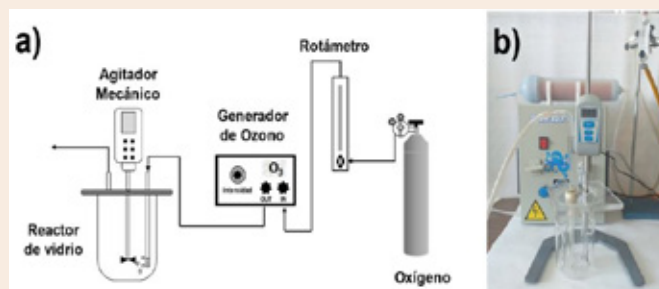


Figura 4. a) Esquema y b) fotografía del equipo experimental utilizado en la ozonización del concentrado de pirita.

Cianuración con Pre-Tratamiento con Ozono

Una vez que se aplicó el pretratamiento con ozono al concentrado de pirita, se procedió a preparar soluciones de cianuro a 1000 y 3000 ppm de CN^- . El procedimiento seguido para estas cianuraciones fue idéntico al mencionado-describió en el apartado de la cianuración convencional.

RESULTADOS

Cianuración convencional

La cianuración en botellas se realiza con el fin de obtener información sobre el consumo de reactivos, como lo es el cianuro, de igual manera, ayuda a predecir el porcentaje de recuperación de metales preciosos tales como el oro y la plata de acuerdo a determinados tiempos de lixiviación.

Para este trabajo solo se presenta la recuperación de plata. La Figura 5 presenta el porcentaje de recuperación de plata mediante el proceso de cianuración convencional, para las concentraciones de cianuro de 1000 y 3000 ppm de CN^- , en donde se observa que el porcentaje de recuperación resultó ser aproximadamente de 22% y 54%, respectivamente. A concentraciones altas de cianuro (3000 ppm de CN^-) se tienen porcentajes de recuperación más altos.

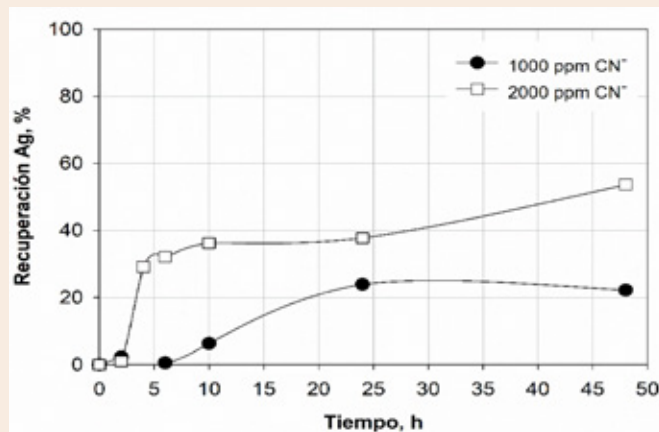


Figura 5. Cinética de lixiviación de plata contenido en el concentrado de pirita aurífero empleando una cianuración convencional.

Cianuración con Pre-Tratamiento con Ozono

El ozono busca disolver parcialmente la matriz de pirita para que posteriormente, las partículas de oro se encuentren expuestas en la solución de cianuro y exista mayor recuperación de metales preciosos como el oro y la plata en solución. Es conveniente mencionar que, en las pruebas que se presentan a continuación se realizó el pretratamiento con ozono antes de la cianuración.

En la Figura 6 se muestra la cinética de lixiviación de plata para el concentrado de pirita aurífera utilizando un pretratamiento de ozono antes de la cianuración, en donde se aprecia que, durante el periodo de las primeras 10 horas de cianuración se obtiene la mayor recuperación de plata para las concentraciones aplicadas de 1000 y 3000 ppm de CN^- , resultando estas de aproximadamente 37% y 93%, respectivamente. Sin embargo, a partir de las 10 horas del proceso de cianuración, se observa que, para las mismas concentraciones de cianuro, el porcentaje de recuperación de plata disminuye hasta 35% y 67% respectivamente.

La alta recuperación de plata en las primeras 10 horas se debe principalmente a que el ozono logra disolver una cantidad considerable de partículas minerales, lo que lleva a que los metales de interés tales como la plata queden expuestos a la solución de cianuro. No obstante, al finalizar la cianuración, los niveles de recuperación para las tres concentraciones empleadas de cianuro, disminuye notablemente, ya que se sugiere una precipitación de los valores de plata, debido a que como se tiene una concentración de oxígeno limitada y una alcalinidad alta, es posible dar lugar a una concentración mínima de ion sulfuro (S^{2-}), la cual sería suficiente para precipitar la plata.

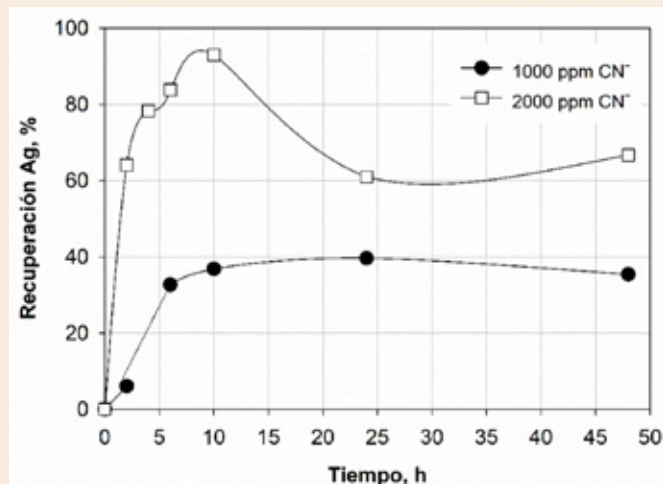


Figura 6. Cinética de lixiviación de plata utilizando un pretratamiento con ozono antes de la cianuración para un concentrado de pirita aurífera.

Consumo de Cianuro

La Figura 7 muestra la comparación del consumo de cianuro para las dos concentraciones de cianuro estudiadas para a) la cianuración convencional y b) utilizando el

pretratamiento con ozono antes de la cianuración. Se observa en la Figura 7a, que el consumo de cianuro fue de 367 ppm y 518 ppm de CN^- para las concentraciones de cianuro a un tiempo de 48 horas de cianuración. En la Figura 7b, se observa que el consumo resultó ser aproximadamente de 200 ppm y 359 ppm de CN^- respectivamente.

Estos resultados inferen que, el consumo de cianuro para la lixiviación del concentrado de pirita aurífero disminuyó al emplear un pretratamiento con ozono, esto en comparación con la cianuración convencional, en donde para las concentraciones de 1000 y 3000 ppm de CN^- se tuvo una disminución en el consumo de cianuro de alrededor del 54.5% y 69.3%.

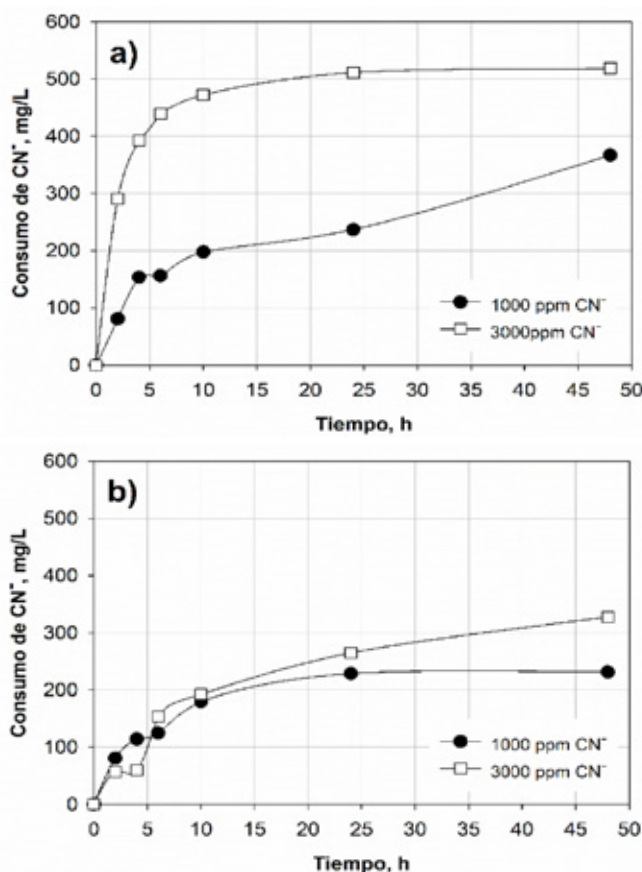


Figura 7. Consumo de cianuro para el concentrado de pirita para 1000 y 3000 ppm CN^- , para el a) proceso de cianuración convencional y b) utilizando

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo han sido principalmente enfocados en el comportamiento de la disolución de plata contenida en un concentrado pirítico de oro-plata, cuya concentración de esta última es de 734 g Ag/ton, dicho concentrado proviene de un proceso de flotación de una operación industrial mexicana en el estado de Zacatecas.

Se observó que un pretratamiento con ozono en me-



dio ácido aplicado al concentrado de pirita, genera una extracción mayor de plata cuando este es sometido a una cianuración a una concentración alta de cianuro (3000 ppm de CN⁻), incrementado su recuperación de 54% a 93% pero en un tiempo de cianuración de 10 horas. Sin embargo, la disminución de la plata que se da después de las 10 horas de cianuración se pudiera atribuir a una reprecipitación de la plata, debido a que se estuvo incrementando la alcalinidad para contrarrestar el carácter ácido que genera el concentrado de pirita, el cual pudiera dar lugar a una concentración pequeña de ion sulfuro (S²⁻) pero suficiente para precipitar la plata [10].

En cuanto al consumo de cianuro, se observó una disminución de un 69.3% para la recuperación más alta de plata empleando un pre-tratamiento con ozono antes de la cianuración, esto se debe a que, en la etapa de ozonización, se disuelve una cantidad considerable de pirita, la cual reaccionaría en la etapa de cianuración.

En este sentido, se puede concluir, que el uso del ozono puede ser una alternativa interesante para la recuperación de metales preciosos contenidos en concentrados de pirita industriales al emplearlo como pre-tratamiento antes de una cianuración convencional, presentando disminuciones considerables de consumos de cianuro, lo cual generaría un impacto ambiental positivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT por el financiamiento parcial para esta investigación de acuerdo con el proyecto 35079.

BIBLIOGRAFÍA

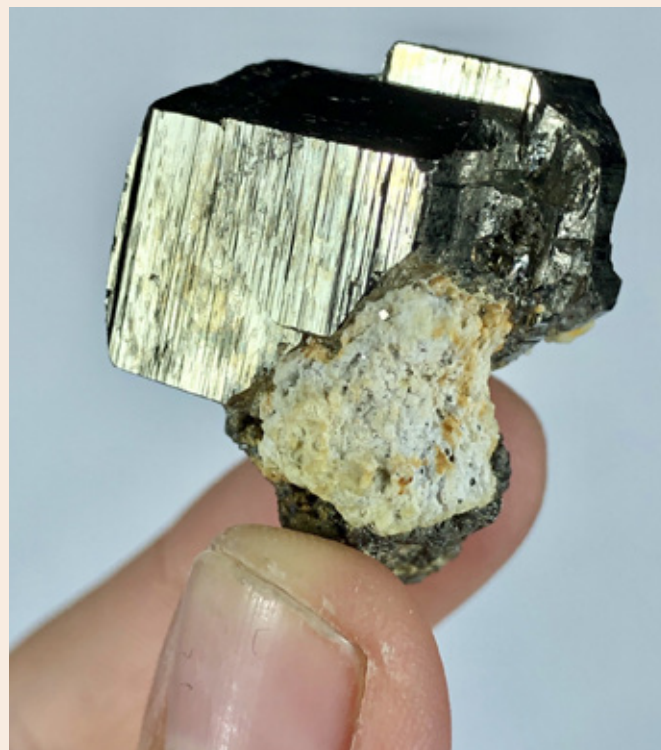
- [1] SGM, Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliado 2019, Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2020.
- [2] Bustos R., H., Oyola L., D., Rojas M., A., Pérez A., G. A., Balogh, A. G. (2011). Cuantificación de oro refractario en granos de pirita y arsenopirita de la mina de oro "El Diamante" en Nariño - Colombia. *Revista Tumbaga*, 6, 153-164.
- [3] Habashi, F. (2006). Pyrite: The Strategic Mineral That became an industrial Nuisance. *De re Metallica*, 6 (7), 43-58.
- [4] Arias-Arce V., Coronado-Falcon, R., Puentes-Santibáñez, L., Lovera-Dávila, D. (2005). Refractoriedad de concentrados

auríferos. *Revista del Instituto de Investigación*, 8(16), 5-14. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v8i16.493>

- [5] Coronado, J. H., Encinas, M. A., Leyva, J. C., Valenzuela, J. L., Valenzuela, A., Minive, G. T. (2012). Tostación de un concentrado de refractario de oro y plata. *Revista de Metalurgia*, 48(3), 165-174. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1102>
- [6] Iglesias, N., Carranza, F., Palencia, P., (1997). La biolixiviación como pretratamiento de menas auríferas refractarias en matriz de sulfuros. *Revista de Metalurgia*, 34 (1), 29-38. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1998.v34.i1.656>
- [7] Gavino, J. P. (2018). Tratamiento por flotación y cianuración de minerales auríferos con presencia de pirita para la concentración y extracción de oro y plata a nivel experimental (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Huacho, Perú.
- [8] Flatt, J.R, Wood, R. (1995). A voltametric investigation of the oxidation of pyrite in nitric acid solutions: relation to treatment of refractory gold ores. *Journal of applied electrochemistry*, 25, 882-856. <https://doi.org/10.1007/BF00233904>
- [9] Morera, J. (2004). Lixiviación de metales con ozono acuoso. Cinética de la plata y el oro: aplicaciones (tesis de pregrado). Universidad de Barcelona, España.
- [10] Uribe, A. S. (2002). Precipitación química de metales de sus soluciones. U. S. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Guanajuato, Guanajuato: 1-15.

Cómo citar este artículo:

Rodriguez-Rodriguez, C. de J., Salas-Puente, G., Baltazar-Vera, J. C., Valtierra-Olivares, J. E., & Alonso-Gonzalez, O. (2022). CONSUMO DE CIANURO DE CONCENTRADO DE PIRITA AURIFERA, EMPLEANDO OZONO COMO PRETRATAMIENTO. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.194>



ADSORCIÓN DE CROMO HEXVALENTE MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS COMO MATERIAL ADSORBENTE DE BAJO COSTO

*Chrome adsorption through the use of mining-metallurgical
waste as low-cost adsorbents*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez ¹
Francisco Raúl Carrillo-Pedroza ²
Ma de Jesús Soria Aguilar ³
Gabriela Baltierra Costeira ⁴
Gregorio Gonzalez Zamarripa ⁵

Recibido: 21 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 06 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.195>

Autor de Correspondencia:

Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez

Correo: nallely.pr@monclova.tecnm.mx

Resumen

En los últimos años los residuos generados por las industrias metalúrgicas han recibido mayor atención a causa de las implicaciones ambientales que conlleva su disposición, no obstante, se ha reportado que este tipo de residuos funcionan como adsorbentes de bajo costo para remover metales pesados de aguas residuales debido a su composición. Por otro lado, existen procesos que se llevan a cabo en las industrias de recubrimientos metálicos que generan aguas residuales con altos contenidos de cromo hexavalente, el cual es sumamente tóxico para la salud y el medio ambiente.

En el presente trabajo se realizaron una serie de pruebas de adsorción en una solución sintética de cromo hexavalente empleando como adsorbentes residuos procedentes de la industria minero-metalúrgica. Se observó que, empleando un residuo constituido principalmente por hematita y magnetita, se logró remover el 76% del cromo presente en la solución.

Palabras clave: adsorción, residuos, cromo.

Abstract

In recent years, the waste generated by the metallurgical industries has received greater attention due to the environmental implications of its disposal, however, it has been reported that this type of waste works as low-cost adsorbents to remove heavy metals from wastewater. due to its composition. On the other hand, there are processes that are carried out in the metal coating industries that generate wastewater with a high content of hexavalent chromium, which is highly toxic to health and the environment. In the present work, a series of adsorption tests were carried out in a synthetic hexavalent chromium solution using as adsorbents residues from the mining-metallurgical industry. It was observed that, using a residue consisting mainly of hematite and magnetite, it was possible to remove 76% of the chromium present in the solution.

Keywords: adsorption, waste, chromium.

¹ Nallely Guadalupe Picazo Rodríguez, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, nallely.pr@monclova.tecnm.mx. <https://orcid.org/0000-0002-5780-2747>

² Dr. Francisco Raúl Carrillo-Pedroza, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Metalurgia, Monclova, México, raul.carrillo@uadec.edu.mx. <https://orcid.org/0000-0002-0413-0676>

³ Dra. Ma de Jesús Soria Aguilar, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Metalurgia, Monclova, México, mjsoriaa@yahoo.com.mx

⁴ M.C. Gabriela Baltierra Costeira, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, gabriela.bc@monclova.tecnm.mx,

⁵ Dr. Gregorio Gonzalez Zamarripa, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México, gregorio.gz@monclova.tecnm.mx



INTRODUCCIÓN

Las industrias minero-metalúrgicas generan una gran cantidad de diferentes tipos de residuos, en estado sólido, líquido y gaseoso [1]. En el caso de los residuos sólidos, generalmente son vertidos en grandes extensiones de terreno y si estos no son gestionados de manera correcta pueden traer consecuencias irreversibles al medio ambiente y a la salud de seres vivos.

Se estima que en México del 2004 al 2016 la industria metalúrgica generó 191,314.554 toneladas de residuos. Lo anterior indica la importancia de buscar nuevas alternativas para fomentar la economía circular dentro de este tipo de industrias mediante la generación de nuevas alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de residuos metalúrgicos [2].

Por otro lado, la presencia de metales pesados en aguas residuales ha incrementado con el crecimiento de la actividad industrial, lo cual es una situación muy preocupante debido a que estos aún en pequeñas cantidades pueden ser nocivos para los organismos vivos al acumularse en el organismo e interrumpir el funcionamiento de órganos vitales y glándulas [3].

Uno de los metales pesados de mayor preocupación es el cromo, este se encuentra en aguas residuales procedentes de industrias textiles y de recubrimientos. El metal está presente en la naturaleza principalmente en estado de oxidación de +3 (trivalente) y +6 (hexavalente), las cu-

ales son sus formas más estables, siendo esta última la más preocupante por su toxicidad [4].

Varias técnicas como la precipitación, el intercambio iónico, la electrocoagulación y la adsorción se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales que contienen Cr (VI). Actualmente la técnica más utilizada para su eliminación es la precipitación, en la que Cr (VI) se reduce primero a Cr (III) empleando sulfito, y luego se elimina mediante precipitación [5,6], no obstante, mediante esta técnica se generan una gran cantidad de lodos y costos extras por su disposición. Las demás técnicas generan grandes costos

extras de operación a excepción de la adsorción, el cual es un proceso flexible en diseño y operación y en la mayoría de los casos ofrece una alta eficiencia de remoción [7]; se han empleado diversos adsorbentes en la remoción de cromo, entre los cuales destacan el carbón activado y los óxidos de hierro. Los óxidos de hierro son conocidos por su alta capacidad para adsorber ciertos metales, entre los más comunes presentes en la naturaleza se encuentran los siguientes; magnetita (Fe_3O_4), óxido férrico (Fe_2O_3), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), y goetita (FeOOH) [8,9].

En este contexto algunos residuos industriales sólidos procedentes de procesos minero-metalúrgicos están compuestos por óxidos de hierro, lo cual puede ser aprovechado para implementarlos como adsorbentes de cromo y de esta manera promover la economía circular dentro de las empresas.

En el presente trabajo se llevaron a cabo una serie de pruebas de adsorción de cromo hexavalente contenido





en soluciones sintéticas, para esto se emplearon distintas muestras de residuos, variando parámetros como el tipo de residuo y pH de la solución. lo cual servirá como un primer acercamiento para la resolución de la problemática planteada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se empleó una solución sintética de cromo con una concentración de 20 ppm, esta fue preparada empleando un patrón de cromo de 1000 ppm marca sigma-aldrich.

Se eligieron dos tipos de residuos minero-metalúrgicos; (R01, R02 y R03), los cuales fueron caracterizados mediante Difracción de rayos x (para determinar las fases presentes de óxidos de hierro).

Se realizaron cuatro pruebas de adsorción (dos ajustando el pH con ácido nítrico de prueba a 2 empleando ácido nítrico) y dos sin ajuste de pH. En cada prueba de

adsorción, se utilizó un vaso de precipitado, parrilla y un agitador magnético. Se colocó una determinada muestra de adsorbente en contacto con 100 ml de la solución de cromo durante 15 minutos, posteriormente la solución fue filtrada; el líquido de cada prueba se analizó químicamente para determinar la cantidad de cromo adsorbido a través de un Espectrofotómetro de absorción atómica, marca Varian modelo SpectrAA-220FS.

La introducción puede plantear el problema, indicar la importancia del mismo, mencionar la hipótesis si hubiese, los objetivos, alcances del trabajo y limitaciones para su desarrollo, si es que las hubo. Ésta es sólo una propuesta, las mejores secciones de los artículos serán aquellas que sean acordes al desarrollo del trabajo, donde usted es el experto. Esta plantilla está hecha con el fin de facilitar el pasar su documento del formato que lo tenga al formato que se publicará en la Revista Epistemus. Sólo tiene que utilizar el icono de Copiar formato que aparece en la parte superior izquierda del menú de Word, para formatear su documento.

En la Tabla 1 se muestra el diseño experimental de las pruebas de adsorción.

Tabla 1. distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos.

Prueba	Residuo	pH
A1	R01	2
A2	R01	3
A3	R02	2
A4	R02	3



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra la distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos:

Tabla 2. distribución de fases de óxidos de hierro presentes en los residuos minero-metalúrgicos.

Material	Especies identificadas (Composición % Peso)					
	Hematita (Fe ₂ O ₃)	Magnetita (Fe ₃ O ₄)	Franklinita (ZnFe ₂ O ₄)	Óxido de hierro (FeO)	Hierro cero valente (Fe ⁰)	Suma de % de especies de hierro
R01	15.04	12.53	0.45	11.03	9.02	48.07
R02	47	20	23	-	-	90

En la Figura 1 se muestran los resultados de las pruebas de adsorción de cromo hexavalente en las diferentes condiciones de pH.

Figura 1. Resultados de pruebas de adsorción de cromo en residuos minero-metalúrgicos.

Como se puede observar en la Figura 1, cuando el pH de prueba es superior a 2 hay una baja remoción de cromo hexavalente en ambos residuos, esto puede ser atribuido a la carga de la superficie de los residuos, los cuales están constituidos en mayor proporción por óxidos de hierro.

De acuerdo con algunos investigadores [10], entre más bajo el pH, la superficie de los óxidos de hierro es más positiva lo que incrementa su afinidad por los cromatos aniónicos (⁻), estas especies son las que se encuentran en soluciones de cromo a pH ácido. Por lo tanto, el hecho de que el residuo R02 está constituido por el doble de especies de hierro que el residuo R01, lo hace más susceptible a los incrementos de pH provocando una disminución de la adsorción de los cromatos.

Es interesante observar que hay una relación directa entre la proporción de los óxidos de hierro que hay en los residuos y la remoción del cromo. En la prueba A3 realizada a pH 2, en donde se empleó el residuo R02 compuesto por un 90% de óxidos de hierro se logró remover el 76% del cromo de la solución y en la prueba A1, en donde el residuo R01 estaba constituido por el 48.07% de óxidos de hierro se removió el 23.74% de cromo.

CONCLUSIONES

Los residuos minero-metalúrgicos representan un gran desafío ya que la gestión de estos es un tema estrechamente relacionado con el cuidado del medio ambiente. Debido a que se considera que los desechos mineros, metalúrgicos e industriales tienen poco o ningún uso económico, generalmente se descartan y/o se depositan en vertederos, por lo que encontrar un segundo uso trae consigo beneficios económicos y ambientales.





Esta investigación mostró que hay una relación directa entre las fases de hierro contenidas y su capacidad de adsorción (a mayor cantidad de especies de hierro mayor remoción de cromo hexavalente) lo que los hace buenos materiales adsorbentes para ser empleados en el tratamiento de aguas residuales industriales. No obstante, es importante determinar previamente la carga superficial de los materiales adsorbentes para saber si son afines a los iones metálicos que se pretendan remover.

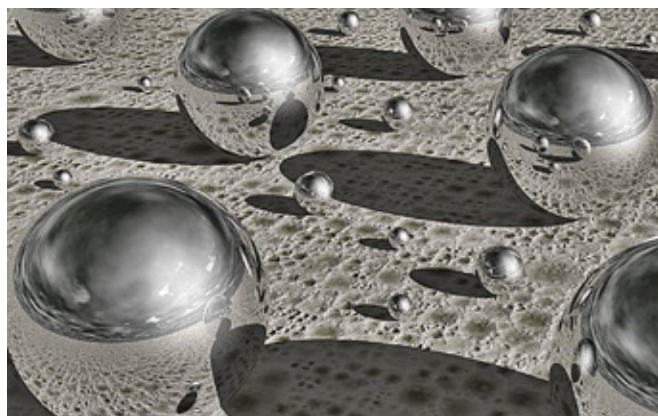
Como trabajos a futuro se evaluarán una mayor variedad de residuos, se estudiarán los mecanismos termodinámicos y cinéticos del proceso para poder aplicar los residuos en el tratamiento de aguas residuales industriales reales, lo cual representa un mayor reto debido a la diversidad de iones contenidos en estas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Matinde, G. Simate and S. Ndlovu. "Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices". The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol.118, pp. 825-844, 2018
- [2] Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2017-2018.
- [3] U. Tezcan, S. Eroglu and E. Ozel. The treatment of chromium containing wastewater using electrocoagulation and the production of ceramic pigments from the resulting sludge. Journal of Environmental Management, vol. 200, pp. 196-203, 2017.
- [4] M. Ataabadi, M. Hoodaji, A. Tahmourespour, M. Kalbasi and M. Abdouss. Optimization of factors affecting hexavalent chromium removal from simulated electroplating wastewater by synthesized magnetite nanoparticles. Environ Monit Assess, vol. 187, pp. 1-11, 2014.
- [5] Y. Bao, J. Huang, G. Cagnetta, and G. Yu. Removal of Fe-53B as PFOS alternative in chrome plating wastewater by UV/Sulfite reduction. Water Research, vol. 163, pp. 1-9, 2019.
- [6] H. Peng, Y. Leng, Q. Cheng, Q. Shang, J. Shu and J. Guo. Efficient Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater with Electro-Reduction. Processes, vol. 7, pp. 1-12, 2019.
- [7] M. Jadidi, M. Etesami and M. Esfahany. Adsorption and Desorption Processes of Chromium Ions Using Magnetic Iron Oxide Nanoparticles and Their Relevant Mechanism. Iranian Journal of Chemical Engineering, vol. 14, pp. 31-40, 2017.
- [8] E. Smith and K. Ghiassi, K. Chromate Removal by an Iron Sorbent: Mechanism and Modeling. Water Environment Research, vol. 78, pp. 84-93, 2006.
- [9] T. Petrova, L. Fachikov and J. Hristov. The Magnetite as Adsorbent for Some Hazardous Species from Aqueous Solutions: A Review. International Review of Chemical Engineering, vol. 3, pp. 134-152, 2011.
- [10] A. Gallo, M. Morales and E. Mazarío. Effect of the Surface Charge on the Adsorption Capacity of Chromium(VI) of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles Prepared by Microwave-Assisted Synthesis. Water, vol. 11, pp. 1-12, 2019.

Cómo citar este artículo:

Picazo Rodríguez, N. G., Carrillo Pedroza, F. R., Soria Aguilar, M. de J., Baltierra Costeira, G., & González Zamarripa, G. (2022). ADSORCIÓN DE CROMO MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS MINERO-METALÚRGICOS COMO ADSORBENTES DE BAJO COSTO. EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.195>



EVALUACIÓN DE ADITIVOS ALTERNATIVOS AL SeO_2 EN LA ELECTRODEPOSICIÓN DE MANGANESO METÁLICO

Evaluation of alternative additives to SeO_2 in the electrodeposition of metallic manganese

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Jaime Cristóbal Rojas Montes ¹
César Guillermo Flores Santillán ²
Victor Jesús Martínez Gómez ³
Diana Cristina Martínez Casillas ⁴
Rafael Lucho Chigo ⁵
Félix Alonso Alcázar Medina ⁶

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 23 / 03 / 2022

Publicado: 07 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.198>

Autor de Correspondencia:

Jaime Cristóbal Rojas Montes

Correo: jcrojas@itdurango.edu.mx

Resumen

La demanda de productos metálicos obtenidos de la industria minero-metalúrgica ha aumentado con el paso del tiempo debido al amplio abanico de usos que tienen, un ejemplo es el manganeso. En México los minerales que contienen este elemento se emplean como materia prima en la industria siderúrgica, sin aprovechar su valor como producto comercializable. Un ejemplo es el manganeso metálico que se obtiene por el proceso de electrodeposición. Sin embargo, este proceso tiene el inconveniente de utilizar SeO_2 como aditivo con la finalidad de inhibir la generación de gas hidrógeno por la reducción del agua. Este elemento es altamente tóxico y contaminante para el medio ambiente, por lo que este trabajo se enfoca en encontrar aditivos alternos más amigables con el medio ambiente sin afectar significativamente parámetros de eficiencias de corriente y consumos de energía.

Palabras clave: electrodeposición, manganeso, aditivos.

Abstract

The demand for metallic products obtained from the mining and metallurgical industry has increased over time due to the wide range of uses they have, an example of which is manganese. In Mexico, ores containing this element are used as raw material in the iron and steel industry, without taking advantage of its value as a marketable product. One example is metallic manganese, which is obtained by the electrodeposition process. However, this process has the disadvantage of using SeO_2 as an additive to inhibit the generation of hydrogen evolution by the water reduction. This element is highly toxic and environmentally polluting, so this work focuses on finding alternative additives that are more environmentally friendly without significantly affecting current efficiency and energy consumption parameters.

Keywords: electrodeposition, manganese, additives.

¹ Doctor en Ciencias, Ing. Química, CONACYT-Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales, Durango, Durango, México, jcrojas@itdurango.edu.mx, orcid.org/0000-0003-4344-9046.

² Licenciatura, Ing. Química, Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales, Durango, Durango, México, 10040647@itdurango.edu.mx.

³ Doctor en Ciencias, Ing. Química, CONACYT-Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales Durango, Durango, México, v.martinez@itdurango.edu.mx, orcid.org/0000-0002-5313-3494.

⁴ Doctora en Ciencias, Ing. Química, CONACYT-Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales, Durango, Durango, México, dmartinez@itdurango.edu.mx, orcid.org/0000-0002-0128-3355.

⁵ Maestro en Ciencias, Ing. Química, Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales, Durango, Durango, México, rlucho@itdurango.edu.mx, orcid.org/0000-0003-4151-6911.

⁶ Doctor en Ciencias, Ing. Química, CONACYT-Tecnológico Nacional de México/IT Durango, Maestría en Sistemas Ambientales, Durango, Durango, México, fmedina@itdurango.edu.mx, orcid.org/0000-0001-6635-810X.



INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado el interés por los estudios enfocados en la obtención de manganeso metálico, debido al amplio abanico de usos que tiene, como resultado de esto; se ha presentado un incremento en la producción mundial anual de manganeso, pasando de 180,000.000 a 1,700,000.000 toneladas entre el año 2000 y 2012. Además, aún se prevé un crecimiento en la demanda de este metal hasta en un 83% para el año 2021. Con relación a estos datos; países como Sudáfrica, Australia, Gabón, México, entre otros; encabezan la mayor producción minera en todo el mundo en cuanto a manganeso se refiere [1].

En el caso particular de México, se cuenta con importantes yacimientos de pirolusita (MnO_2), tanto de alta ley como de baja ley. En la actualidad, este país solo emplea estos minerales como materia prima en el alto horno de la industria siderúrgica, sin que se aproveche de manera significativa su valor; por lo que es atractivo para el país desarrollar conocimiento sobre las técnicas que se emplean para la recuperación de productos de valor agregado que impacten en la economía. Es común recuperar los productos a partir de minerales de alta ley, sin embargo, el aumento en la demanda de este metal (cuarto más consumido del mundo) ha hecho necesaria la recuperación desde fuentes secundarias como minerales de baja ley.

El proceso final para la obtención de este producto en forma metálica es la electrodeposición (posterior a una serie de procesos hidrometalúrgicos) [2]; esta técnica consiste en la descarga de un metal (presente en solución) sobre un electrodo llamado cátodo como respuesta al paso de una corriente eléctrica continua. El principal problema de este proceso es; que la reducción de manganeso se lleva a cabo un potencial muy negativo ($E^\circ \text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^0 = -1.18$ VSHE) lo que da como resultado la generación de gas hidrógeno a cualquier valor de pH por la reducción del agua ($E^\circ \text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 = -0.82$ VSHE) [3]. Esto propicia la obtención de depósitos inconsistentes de baja cobertura, bajas eficiencias de corriente y altos consumos de energía.



El dióxido de selenio es el principal aditivo utilizado para solucionar esta problemática gracias a que el selenio es adsorbido sobre el electrodo, resultando en un aumento en el sobrepotencial de la reacción de reducción del agua haciendo posible la deposición del metal sobre el electrodo. Sin embargo, el uso del selenio presenta inconvenientes, ya que es un elemento altamente tóxico para los ecosistemas naturales tanto atmosféricos como acuáticos y son causadas por diversas actividades industriales como operaciones relacionadas con la minería [4].

El presente trabajo, se enfoca en encontrar aditivos alternos que sustituyan al SeO_2 sin que parámetros como la eficiencia de corriente, consumo de energía y calidad del depósito se vean afectados de forma considerable. Durante el desarrollo experimental se evaluaron algunos aditivos tanto orgánicos como inorgánicos tales como la dextrina, glicerina, dióxido de teluro y tiosulfato de sodio.

Además, se evalúa el efecto que tienen variables de densidad de corriente, la concentración sulfato de amonio y la agitación del electrolito en la electrodeposición de manganeso con la finalidad de encontrar una alternativa para mitigar la contaminación de este proceso.

Objetivo

Evaluar la factibilidad del uso de diferentes aditivos orgánicos e inorgánicos en la electrodeposición de manganeso como una alternativa al dióxido de selenio.

Planteamiento del problema

Es común hacer uso de aditivos como el SeO_2 en el proceso de electrodeposición de manganeso, este aditivo es tóxico para el medio ambiente; por lo que este trabajo se enfocó en evaluar el uso de otros aditivos más amigables para el medio ambiente, tales como: glicerina, dextrina, dióxido de teluro y tiosulfato de sodio, para este proceso. Esto con la finalidad de eliminar o reducir el uso del SeO_2 sin que parámetros como eficiencia de corriente y consumo de energía se vean afectados significativamente.



Método de trabajo

Las pruebas de electrodeposición se realizaron en una celda de polimetilmetacrilato, dividida en dos compartimentos por una membrana de intercambio aniónico AMI-7001. Se utilizó una placa de acero inoxidable 304 como cátodo y una placa de una aleación plomo-plata (1% Ag) como ánodo, la energía fue suministrada por una fuente de poder Tektronik PWS-4305 y la recirculación se realizó con una bomba peristáltica. La Figura 1 muestra el sistema electroquímico montado para la realización de las pruebas.

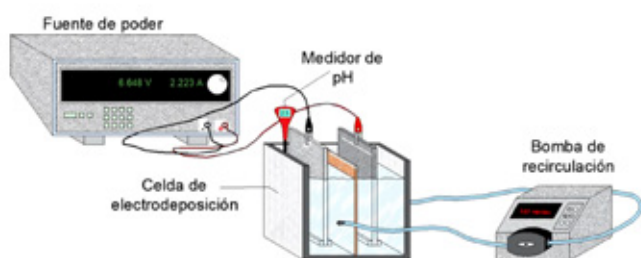


Figura 1. Representación del sistema electroquímico para las pruebas de electrodeposición.

Las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones de operación: densidad de corriente de 600 A/m², concentración de sulfato de amonio de 0.9 M, concentración inicial de manganeso de 0.27 M y un caudal de recirculación de 107 ml/min. La Tabla 1 detalla los aditivos que se utilizaron, así como los valores de operación estudiados para realizar la electrodeposición de manganeso.

Tabla 1. Valores de concentración de aditivos utilizados para la electrodeposición.

Aditivo	Concentración molar			
Dextrina	5×10^{-5}	5×10^{-4}	5×10^{-3}	5×10^{-2}
Glicerina	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
Dióxido de telurio	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}
Tiosulfato de sodio	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	4×10^{-4}

Para el cálculo de la eficiencia de corriente (η) y el consumo de energía (WMn) se utilizaron las ecuaciones establecidas por Faraday [5]. Los análisis químicos se realizaron calculando la diferencia de concentración (inicial y final) de manganeso en el cátodo, determinada mediante un espectrofotómetro de adsorción atómica modelo Avanta marca GBC (EAA).



RESULTADOS

La finalidad del proyecto es encontrar un aditivo que sustituya al SeO_2 tomando en cuenta la recuperación de manganeso metálico y sin que la eficiencia de corriente y consumo de energía se vean afectados de manera significativa. Los resultados se presentan en las siguientes tablas (Tabla 2-5).

Tabla 2. Porcentajes de recuperación de manganeso, eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando TeO_2 como aditivo.

Conc. TeO_2 (M)	%R	η	W_{mn}
1×10^{-6}	34.57	52.83	13175
1×10^{-5}	36.37	57.85	12077
1×10^{-4}	19.11	29.51	23904
1×10^{-3}	8.82	19.20	38009

Tabla 3. Porcentajes de recuperación de manganeso, eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ como aditivo.

Conc. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (M)	%R	η	W_{mn}
1×10^{-2}	23.24	31.77	36459
5×10^{-2}	17.01	23.39	45174
1×10^{-1}	20.72	23.96	43240
4×10^{-1}	16.05	31.23	54363

T

Tabla 4. Porcentajes de recuperación de manganeso, eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ como aditivo.

Conc. $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ (M)	%R	η	W_{mn}
5×10^{-5}	39.39	43.58	22708
5×10^{-4}	30.78	48.54	16475
5×10^{-3}	18.47	26.44	28612
5×10^{-2}	9.59	13.41	59255



Tabla 5. Porcentajes de recuperación de manganeso, eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ como aditivo.

Conc. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ (M)	%R	η	W_{mn}
1×10^{-4}	27.90	51.44	15.392
1×10^{-3}	17.30	52.21	18016
1×10^{-2}	31.90	51.68	18634
1×10^{-1}	35.05	39.83	21876

DISCUSIÓN

Porcentaje de recuperación de manganeso metálico, porcentaje de eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando TeO_2 como aditivo

En la Figura 2 se observa que las menores concentraciones benefician la cinética de la prueba, dando como resultado las mayores recuperaciones (34 y 36%); caso contrario a las concentraciones más altas donde se obtuvieron recuperaciones de 8 y 19% aproximadamente, perjudicando la recuperación en comparación con las concentraciones más bajas. Esto se atribuye a que el TeO_2 y el Mn estarían formando complejos aniónicos, complejos que son atraídos al compartimento anódico, reduciendo la cantidad de iones de Mn sujetos a ser depositados en el electrodo a medida que la cantidad de este aditivo aumenta.

Por otro lado, la eficiencia de corriente que presentó este aditivo con las concentraciones bajas en el proceso fue muy prometedora (52-60%), ya que se acerca a valores reportados por otros autores utilizando SeO_2 (60-70%), al igual que en la recuperación de Mn; la eficiencia de corriente iba en descenso a medida que aumentaba la concentración de TeO_2 . En cuanto al consumo de energía, se tiene un aumento a medida que la concentración de TeO_2 aumenta, por otro lado; cuando las concentraciones disminuyen se tienen valores similares a los encontrados cuando es utilizando SeO_2 (9000-12000 kWh/t). Por lo que es claro que el uso de concentraciones bajas de TeO_2 benefician el proceso de electrodeposición de Mn metálico, además de que los resultados son similares a los encontrados con el SeO_2 , lo cual es bastante benéfico para el medio ambiente.



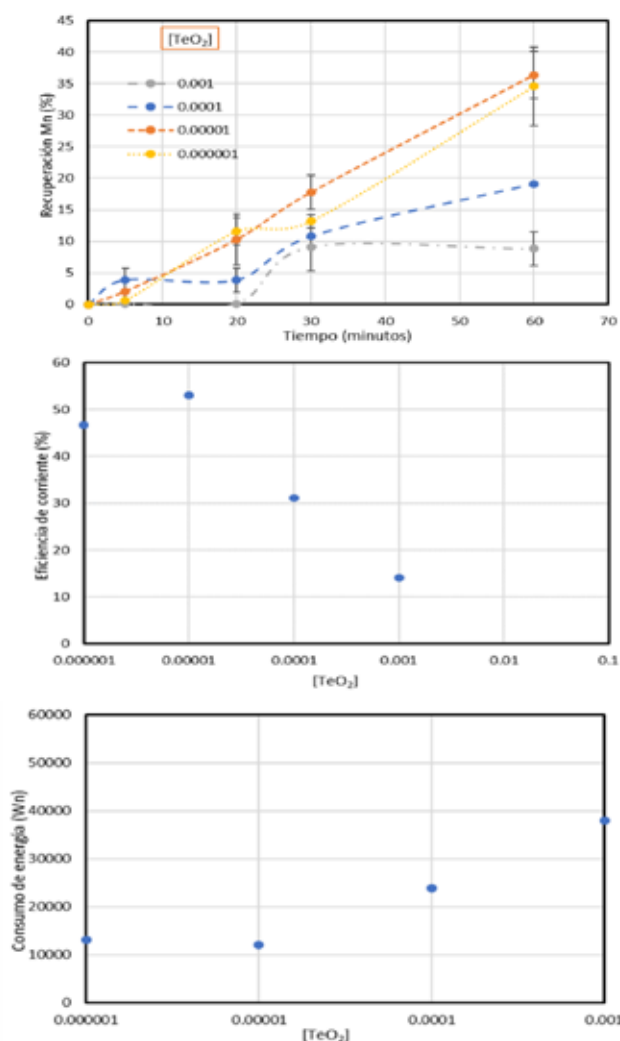


Figura 2. Recuperación de Mn, eficiencia de corriente y consumo de energía en función de la concentración de TeO_2 . Densidad de corriente=600 A/m², $[Mn^{+2}]=0.27$, $[(NH_4)_2SO_4]=0.9$.

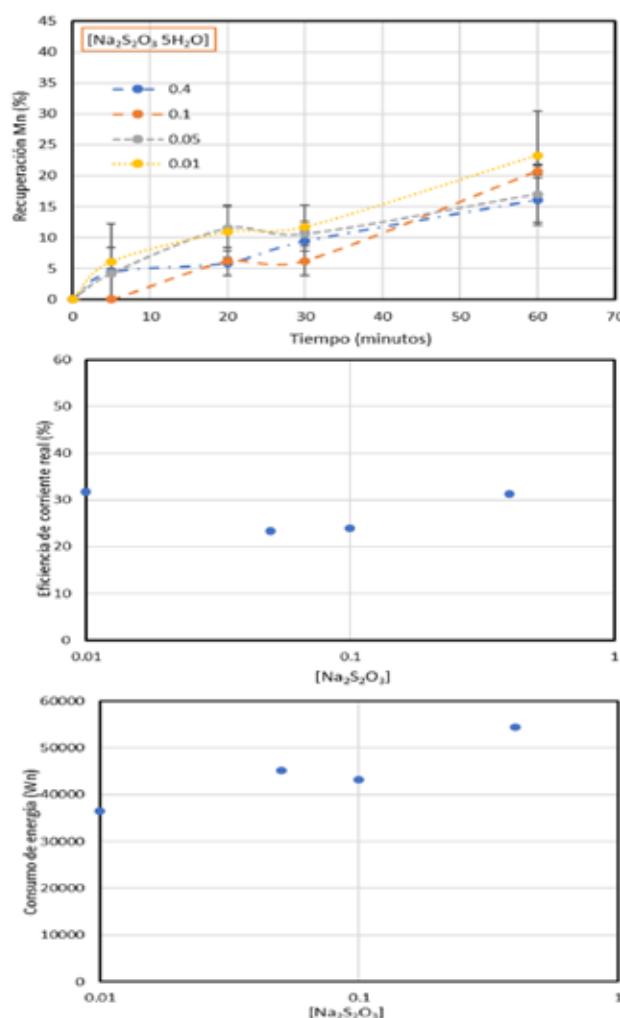
Porcentaje de recuperación de manganeso metálico, porcentaje de eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $Na_2S_2O_3$ como aditivo

Los resultados en la Figura 3 muestran que, existe una tendencia ascendente en la recuperación de manganeso a lo largo de la prueba, manteniéndose posteriormente constante entre el minuto 20 y el minuto 30, después de este tiempo, se tiene nuevamente un crecimiento hasta el final de la prueba, brindando recuperaciones del 20-24% en bajas concentraciones durante la primera hora, y recuperaciones de 16-18% utilizando concentraciones más altas, muy por debajo de los resultados que se tienen utilizando SeO_2 (45%), esto se asocia al comportamiento que se tiene en el pH, cuyos valores fueron de 7 en el uso de concentraciones bajas mientras que las concentraciones altas alcanzaron valores de 8.8.

Estos resultados se deben a que el aditivo en concentraciones bajas logra inhibir la generación de gas hidrógeno de mejor manera que utilizando las concentraciones más altas. Ya que, si bien está comprobado que un pH ácido es idóneo para un proceso de recuperación de Mn; existen trabajos como el de Gong and Zangari [6] y Griskonis, et al. [7] donde se documenta que puede existir una diferencia de pH entre la interfase electrodo-electrolito.

Por otro lado, utilizando $Na_2S_2O_3$ como aditivo, se observa que tanto la menor como la mayor concentración dieron paso a mejores eficiencias de corriente, destacando que ambas tienen valores similares (32%), sin embargo; la mayor concentración tuvo un consumo de energía por arriba de los 50000 kWh/t, mientras que el uso de la menor concentración tuvo un consumo menor a 40000 kWh/t, lo que indica que nuevamente; la menor concentración muestra los mejores resultados.

Figura 3. Recuperación de Mn, eficiencia de corriente y consumo de energía, en función de la concentración de $Na_2S_2O_3$. Densidad de corriente=600 A/m², $[Mn^{+2}]=0.27$ M, $[(NH_4)_2SO_4]=0.9$ M.



Porcentaje de recuperación de manganeso metálico, porcentaje de eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $[(C_6H_{10}O_5)_n]$ como aditivo

Utilizando $[(C_6H_{10}O_5)_n]$, los resultados mostraron una cinética similar a las de los aditivos inorgánicos, ya que el uso de concentraciones bajas dio lugar a las mayores recuperaciones (30-40%), mientras que el uso de concentraciones más altas resultaron en una disminución notable de recuperación, cuyos valores fueron 10-19%, esto puede verse reflejado en la Figura 4.

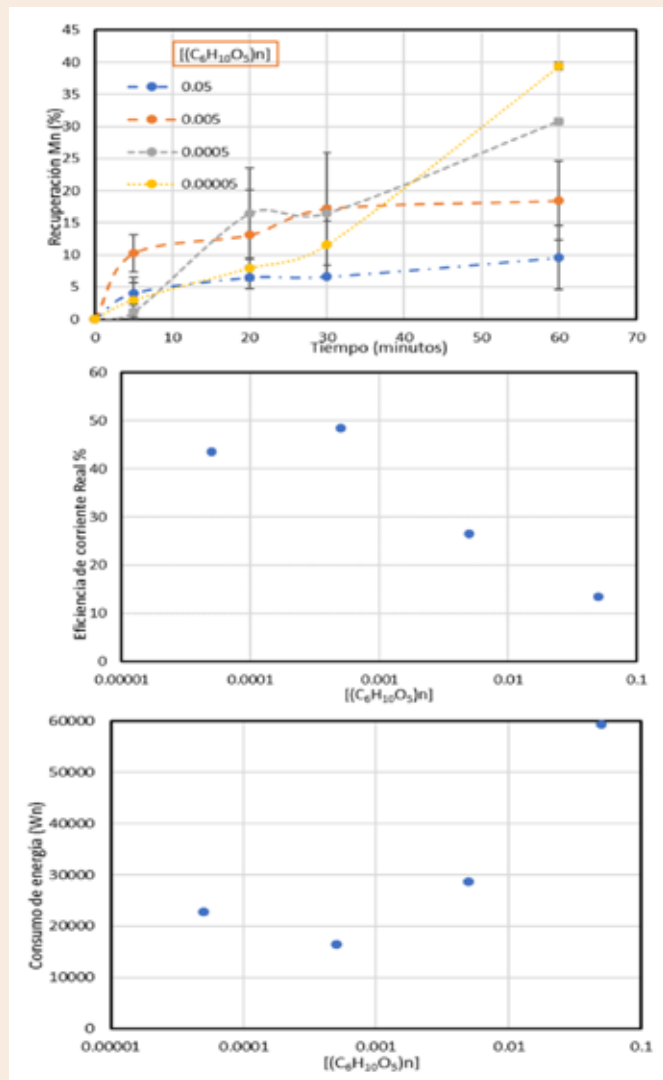


Figura 4. Recuperación de Mn, eficiencia de corriente y consumo de energía, en función de la concentración de $(C_6H_{10}O_5)_n$. Densidad de corriente=600 A/m², $[Mn^{+2}]=0.27$ M, $[(NH_4)_2SO_4]=0.9$ M.

Lo anterior puede deberse al mecanismo de reacción que se tiene utilizando aditivos orgánicos, ya que la aparición de iones hidroxilo (OH^-) reaccionarían con los iones hidrógeno resultado de la reacción electroquímica de la reducción del agua, dando lugar a la aparición de moléculas



de H_2O . Por otro lado, las eficiencias de corriente fueron prometedoras, ya que las menores concentraciones oscilan en valores similares a las obtenidas utilizando TeO_2 alcanzando porcentajes de aproximadamente 43 y 48%. Esto se atribuye a que el uso de cantidades altas propicia una mayor generación de iones hidroxilo que afectan este parámetro, y un menor uso significa un agotamiento de aditivo en un menor tiempo, lo que provocaría del mismo modo, aparición de estas especies que afectan el proceso.

Porcentaje de recuperación de manganeso metálico, porcentaje de eficiencia de corriente y consumo de energía utilizando $C_3H_8O_3$ como aditivo

La Figura 5 muestra una recuperación de Mn con un crecimiento casi lineal utilizando concentraciones altas (0.1 y 0.01 M) prácticamente en toda la prueba, pero utilizando concentraciones bajas (0.001 y 0.0001 M) el crecimiento deja de ser tan notorio después del minuto 30. Esto se asocia al aumento en el pH que se presenta utilizando la glicerina. Después se tiene la eficiencia de corriente utilizando glicerina en este proceso, donde se observan cifras parecidas a las que se consiguieron utilizando otros aditivos (50-52%) a los 60 minutos de prueba.

En general este aditivo mostró eficiencias altas en comparación con aditivos anteriores, prácticamente permanecieron constantes (52%) a excepción de la concentración más alta, donde tuvo un descenso significativo, esto se puede asociar a la viscosidad que tiene este aditivo, ya que cantidades altas propician un aumento en la resistencia de la celda, aumentando el consumo de energía a medida que aumenta la cantidad de glicerina, siendo el mínimo consumo el valor aproximado de 15000 kWh/t (valor por arriba del consumo de energía determinado utilizando TeO_2 y SeO_2).

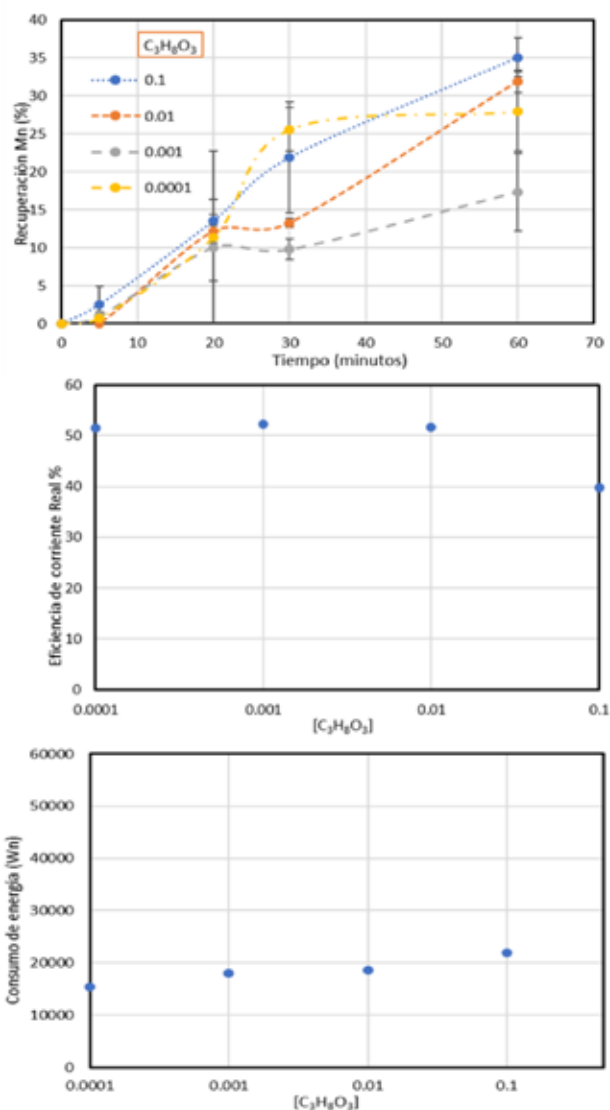


Figura 5. Recuperación de Mn, eficiencia de corriente y consumo de energía a diferentes concentraciones de $C_2H_8O_2$. Densidad de corriente [600 A/m²], [Mn+2]=0.27 M, [(NH₄)₂SO₄]=0.9 M.

CONCLUSIONES

Se observaron recuperaciones de manganeso en todas las pruebas; teniendo mayor estabilidad electroquímica en los aditivos inorgánicos.

Las bajas concentraciones de TeO_2 favorecen la recuperación de manganeso a comparación de las altas concentraciones utilizadas.

El TeO_2 mostró las mejores eficiencias y los mejores consumos de energía en relación a la cantidad de metal recuperado, además de estar dentro de los rangos más usuales a lo reportado por [8] utilizando SeO_2 .

De acuerdo con los resultados obtenidos el TeO_2 fue el aditivo más apto para la sustitución del dióxido de selenio (SeO_2).



RECONOCIMIENTOS

Reconocimiento al Programa de Maestría en Sistemas Ambientales (MSA) del I.T. Durango y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. D. MEXICO, Informe anual 2020. México, 2020, p. 339.
- [2] F. Habashi, V. Verlagsgesellschaft mbH., Ed. Handbook of extractive metallurgy. 1997, p. 2426.
- [3] M. Gonsalves and D. Pletcher, "A study of the electrodeposition of manganese from aqueous chloride electrolytes," Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry, vol. 285, no. 1, pp. 185-193, 1990/06/11/ 1990. [https://doi.org/10.1016/0022-0728\(90\)87120-9](https://doi.org/10.1016/0022-0728(90)87120-9)
- [4] L. C. Tan, Y. V. Nanchaiah, E. D. van Hullebusch, and P. N. L. Lens, "Selenium: environmental significance, pollution, and biological treatment technologies," Biotechnology Advances, vol. 34, no. 5, pp. 886-907, 2016/09/01/ 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.05.005>
- [5] Q. Wei, X. Ren, J. Du, S. Wei, and S. Hu, "Study of the electrodeposition conditions of metallic manganese in an electrolytic membrane reactor," Minerals Engineering, vol. 23, no. 7, pp. 578-586, 2010/06/01/ 2010. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.01.009>
- [6] J. Gong and G. Zangari, "Electrodeposition of sacrificial tin-manganese alloy coatings," Materials Science and Engineering: A, vol. 344, no. 1, pp. 268-278, 2003/03/15/ 2003. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00412-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00412-4)
- [7] Griskonis, E., Sulcius, and Zmuidzinaviciene, "Influence of temperature on the properties of Mn coatings electrodeposited from the electrolyte containing Te(VI) additive," Journal of Applied Electrochemistry, vol. 44(10), p. 1125, 2014. [10.1007/s10800-014-0733-8](https://doi.org/10.1007/s10800-014-0733-8)
- [8] J. Rojas-Montes, R. Pérez-Garibay, and A. Uribe-Salas, "The Effects of an Anionic Membrane on the Electrodeposition of Manganese Ions: A Kinetic and Statistical Study. Journal of the Electrochemical Society, 161: D67-D72," 2013. [10.1149/2.048401jes](https://doi.org/10.1149/2.048401jes)

Cómo citar este artículo:

Flores Santillán, C. G., Rojas Montes, J. C., Martínez Gómez, V. J., Martínez Casillas, D. C., Lucho Chigo, R., & Alcázar Medina, F. A. (2022). EVALUACIÓN DE ADITIVOS ALTERNATIVOS AL SeO_2 EN LA ELECTRODEPOSICIÓN DE MANGANESO METÁLICO. EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.198>

EXTRACCIÓN DE REE DE UN MINERAL RICO EN ÓXIDOS DE HIERRO

Extraction of ree from a mineral rich in iron oxides

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Diego Tamayo Soriano ¹
Antonia Martínez Luévanos ²
Ma. De Jesús Soria Aguilar ³
Francisco Raúl Carrillo Pedroz ⁴

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 24 / 03 / 2022

Publicado: 08 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.204>

Autor de Correspondencia:
Diego Alejandro Tamayo Soriano
Correo: dtamayo@uadec.edu.mx

Resumen

Las tierras raras (REE) han atraído la atención del mundo debido a su importancia para su aplicación en tecnologías avanzadas, lo cual ha generado la optimización y desarrollo de nuevos procesos para su recuperación a partir de relaves de minas, escorias metalúrgicas y yeso fosforado. A nivel mundial las REE, se obtienen principalmente de carbonatitas, rocas ígneas alcalinas, placeres, lateritas y arcillas. La monacita, apatita y los zircones, son los principales minerales que contienen REE.

En este trabajo se presentan los avances del procesamiento de un mineral de hierro con contenidos de REE. Se realizó flotación utilizando ácido graso y depresores de Fe y Si. Las colas fueron procesadas por separación magnética. El material no magnético fue lixiviado utilizando HCl y H₂SO₄ con la finalidad de investigar la influencia del tipo y concentración de ácido. Los resultados obtenidos indicaron que el HCl es el agente más eficiente.

Palabras clave: tierras raras (REE), Extracción, Flotación, Separación magnética, Lixiviación ácida.

Abstract

Rare earths (REE) have attracted the attention of the world due to its importance for its application in advanced technologies, which has generated the optimization and development of new processes for its recovery from mine tailings, metallurgical slags and phosphorous gypsum. Globally, REE are obtained mainly from carbonatites, alkaline igneous rocks, placers, laterites and clays. Monazite, apatite, and zircon are the main minerals that REE contains. This work presents the progress of the processing of an iron ore with REE contents. Flotation was performed using fatty acid and Fe and Si depressants. The tails were processed by magnetic separation. The non-magnetic material was leached using HCl and H₂SO₄ in order to investigate the influence of the type and concentration of acid. The results obtained indicated that HCl is the most efficient agent.

Keywords: Rare earth (REE), Extration, Flotation, Magnetic separation, Acid leaching.

¹ Maestro en Ciencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México, dtamayo@uadec.edu.mx

² Doctora en Ciencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México, aml15902@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0003-3499-1693

³ Doctora en Ciencias, Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México, ma.soria@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0003-3910-7772

⁴ Doctor en Ciencias, Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México, raul.carrillo@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0002-0413-0676



INTRODUCCIÓN

Las tierras raras (REE por sus siglas en inglés: Rare Earth Elements) no existen como metales naturales por lo cual se encuentran en la naturaleza contenidas en minerales en estado sólido. Existen más de 250 minerales que contienen REE, sin embargo, solo tres (bastnasita, monacita y xenotima) son explotados por ser económicamente rentables a escala comercial. La bastnasita es el principal mineral portador de REE (Mountain Pass, CA, EE. UU y Bayan Obo, China), y los otros dos existen como depósitos de arenas pesadas [1]. El procesamiento para el beneficio de estos minerales ricos en REE ha sido ampliamente estudiado, con el objetivo de diseñar diagramas de flujo para su procesamiento [2]. Su procesamiento y beneficio establecen combinaciones de procesos de gravimetría, separación magnética y flotación [3,4].

El material utilizado para este trabajo (Mineral R) proviene del norte del Estado de Coahuila, México. Se reporta que en esta zona la mineralización está alojada en estructuras de cuerpos lenticulares y tubiformes en posición vertical y como diseminaciones en cuerpos intrusivos de skarn de carbonatita y ferrocronatita.

En forma cuantitativa, la mayor concentración está en el mineral de hierro (con excelentes características magnéticas) y zinc a partir del valor económico; la parte más valiosa está formada por cuerpos de morfología de venas grandes con altas concentraciones de fosfatos de apatita, con grados de hasta 2% y 4% de óxidos de elementos de REE contenidos juntos con fósforo que varía entre el 5% al 25%.

En este trabajo se investiga sobre la propuesta de un

esquema de procesamiento de un mineral con contenidos importantes de RRE, utilizando primeramente flotación en espuma, seguido de un proceso de separación magnética y lixiviación ácida de los productos de este proceso.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El primer paso fue llevar a cabo la caracterización del mineral, Tabla 1. Se determinó la composición elemental mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X, con el objetivo de poder identificar los elementos de mayor abundancia del material de estudio. Para esto, se empleó un equipo de fluorescencia de Rayos X Panalytical modelo Epsilon, de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla 1. Composición química del mineral de cabeza.

Elemento	%
Si	11.250
P	2.740
Ca	11.730
Mn	1.940
Fe	47.300
Zn	1.970
REE	ppm
La	810
Ce	1000
Pr	740
Nd	620





Flotación

Se procedió a triturar, pulverizar y moler el material en un molino de bolas por un periodo máximo de 2 horas. Posteriormente, se tamizó el material en seco mediante mallas a diferentes fracciones de tamaños hasta alcanzar partículas de 0.106 mm, o que el material se encontrara por debajo de la malla 150, esto con el objetivo de liberar las especies minerales de interés. Las pruebas de flotación del mineral se realizaron en una celda mecánica tipo Denver. Las condiciones de flotación se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones experimentales de las pruebas de flotación.

Reactivos	Acondicionamiento (min)	Temp (°C)	Volumen (L)	Mineral (g)	Dosis (g/ton)
Depresor de Fe	7	25	1	300	200 a 500 g/ton
Depresor de Si	7	25	1	300	200 a 500 g/ton
Ácido graso	7	25	1	300	200 a 500 g/ton

Separación magnética

Se procedió a realizar una separación magnética, utilizando un imán de 9 cm de diámetro. Se utilizaron 706 g, con la finalidad de obtener dos productos; mineral no magnético y mineral magnético. Posterior a esta separación, se realizaron lixiviaciones ácidas para cada material obtenido.

Lixiviación ácida

Todos los productos químicos utilizados en los experimentos fueron de grado analítico. Las pruebas de lixiviación se realizaron con dos productos sometidos a distintos tratamientos: 1. Mineral flotado, 2. Mineral sometido a separación magnética. Cada prueba de lixiviación se llevó a cabo en un reactor acoplado a una parrilla de calentamiento y controlando la temperatura. Se mezclaron muestras de 50 g con volúmenes variables de agentes lixiviantes: HCl y H₂SO₄, siguiendo el modelo experimental que se muestra en la Tabla 3.

Después de cada prueba, la solución final se separó del sólido mediante filtración. El sólido se lavó con agua caliente y se secó en un horno a 100°C durante 24 h. Se analizó el sólido final por fluorescencia de Rayos X Panalytical modelo Epsilon.

Tabla 3. Planificación experimental: Experimentos de lixiviación ácida.

Pruebas de lixiviación	Mineral (g)	Solución lixiviante (mL)	Tiempo (min)	Temp (°C)	Agente lixiviante	Concentración [M]
Lix Mineral R No magnético	50	200	60	25	HCl	3.79
Lix Mineral R No magnético	50	200	60	25	H ₂ SO ₄	5.94
Lix Mineral R magnético	50	200	60	25	HCl	3.79
Lix Mineral R magnético	50	200	60	25	H ₂ SO ₄	5.94

RESULTADOS

Inicialmente como proceso de beneficio del mineral, se realizaron pruebas de flotación con el objetivo de poder visualizar mediante los análisis químicos, en que producto de la flotación se concentran las REE (concentrados o colas). Se efectuaron cuatro pruebas.

En la Tabla se muestran los resultados obtenidos por FRX para cada una de las pruebas de flotación. Se observa que el P y Ca, responden a la adición del ácido graso, promoviendo su flo-

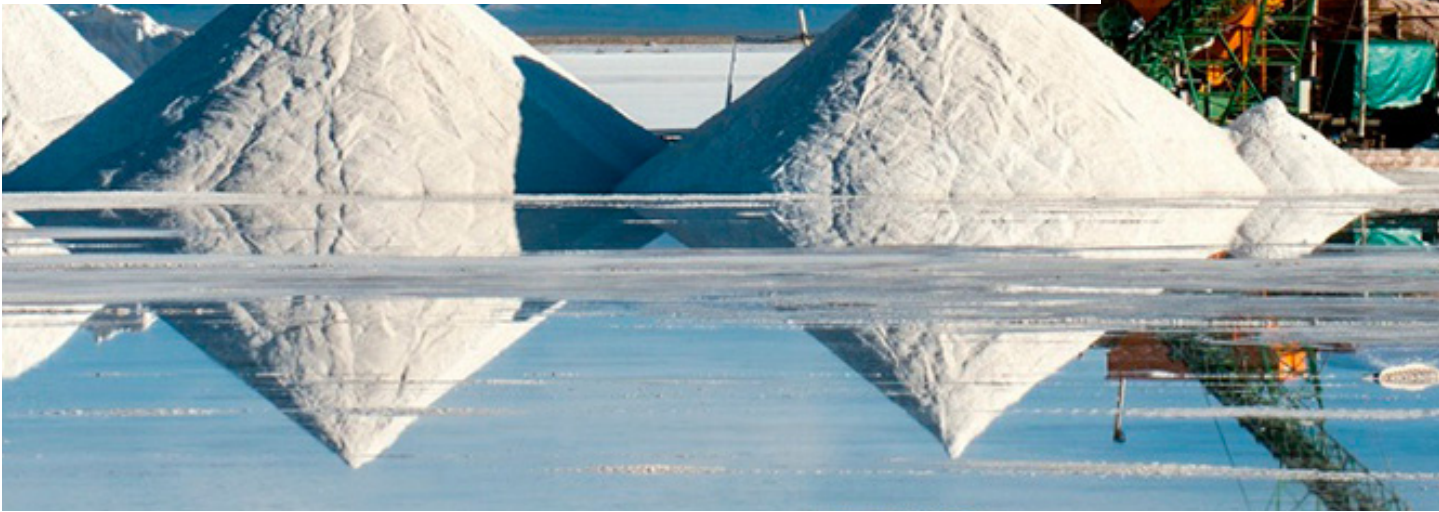
tabilidad y concentración. Es aquí donde se observó que las REE, tienden a concentrarse en el principal producto de flotación (concentrados) obteniendo leyes en La y Ce de hasta 1800 ppm para ambos elementos. De igual forma, los reactivos depresores de Fe y Si, cumplieron el objetivo de concentrar en las colas dichos elementos.

Tabla 4. Resultados de las flotaciones

Ley Mineral R	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	p pm	ppm
Cabeza	11.250	2.740	11.730	1.940	47.300	1.970	1000	1000

Leyes (concentrados)	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
Mineral R Flotación 1	8.120	4.320	19.350	1.250	32.740	2.430	1800	1800
Mineral R Flotación 2	6.150	3.870	20.820	1.990	39.360	2.070	1400	1400
Mineral R Flotación 3	7.070	3.950	19.650	1.820	40.070	2.320	1500	1500
Mineral R Flotación 4	2.630	2.560	8.890	3.250	57.370	1.020	800	700

Leyes (colas)	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
Mineral R Flotación 1	13.010	2.550	10.900	2	48.950	1.8800	700	900
Mineral R Flotación 2	10.490	2.750	11.070	2.110	48.780	2.17	700	1100
Mineral R Flotación 3	10.710	1.840	8.060	2.100	51.7100	1.950	500	800
Mineral R Flotación 4	6.960	1.690	6.670	2.620	53.620	1.830	600	800





En este punto, observando que las leyes de Fe en las colas de flotación, se elevaron gracias a los reactivos depresores de Fe, se procedió a procesar por separación magnética las cuatro colas de flotación.

El objetivo de este proceso, es poder eliminar la mayor cantidad de Fe de las colas de flotación y determinar si las REE tienden a concentrarse en el producto magnético o No magnético. A continuación, en la Tabla 5, se muestran los resultados de FRX.

Se observa que de una ley de cabeza de 47.040% en Fe, el producto No magnético disminuyó a una ley del 24.380% en Fe. En este producto, los elementos Si, P y Ca, se concentran significativamente, al igual que el La y Ce, con leyes de 1700 ppm y 1800 ppm respectivamente. Por otra parte, para el producto magnético las leyes de los elementos La y Ce decayeron hasta 600 ppm y 700 ppm.

Tabla 5. Resultados de separación magnética.

Ley Cabeza Mineral R (colas de flotación)	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
	8.570	3.160	13.780	2.230	47.040	2.210	930	1000
Ley Magnético	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
	6.750	1.930	7.360	2.710	56.880	1.790	600	700
Ley No magnético	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
	9.040	3.850	23.190	0.910	24.380	3.100	1700	1800

El siguiente proceso para la extracción de las REE, consistió en lixiviar los productos del proceso de la separación magnética. En la Tabla 6 se presentan los resultados de mayor relevancia.

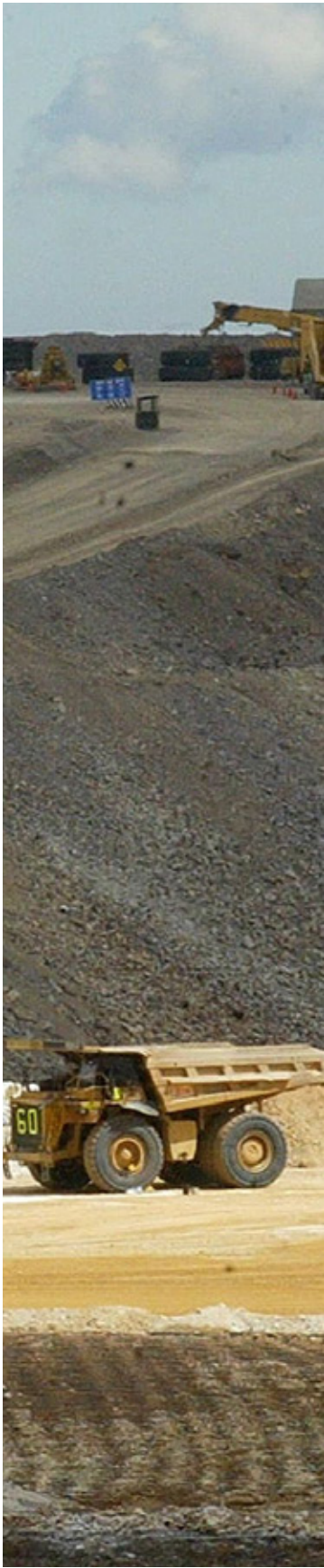
Las lixiviaciones se realizaron utilizando H₂SO₄ y HCl como agentes lixiviantes. Para las pruebas de lixiviación del material magnético utilizando los mismos ácidos lixiviantes, se observa que, con ambos ácidos, el P es lixiviando en su totalidad, el Fe presenta una mejor respuesta de disolución utilizando H₂SO₄, y las REE tienden a disolverse con mayor eficacia utilizando HCl.

El material No magnético, presentó una mejor respuesta en la disolución de La y Ce, al utilizar ácido clorhídrico, obteniendo leyes de 50 ppm y 440 ppm respectivamente. De igual forma, tanto el P y el Ca fueron prácticamente diluidos en su totalidad. La ley de Fe al utilizar HCl no presenta un significativo cambio. Por otro lado, al utilizar ácido sulfúrico como agente lixivante en este mismo material, el valor de mayor relevancia se observó en la ley de Fe, obteniendo una ley final de 16.980%. Para el caso del La y Ce, no se presentaron cambios relevantes en sus leyes.

Tabla 6. Resultados de las pruebas de lixiviación.

	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
Lix Mineral R magnético H ₂ SO ₄	12.210	0	8.960	0.910	33.070	0	420	500
Lix Mineral R magnético HCl	18.160	0	0	1.290	48.630	0.0500	270	180

	Si	P	Ca	Mn	Fe	Zn	La	Ce
	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm
Lix Mineral R No magnético H ₂ SO ₄	8.710	0	12.520	0	16.980	0	690	1000
Lix Mineral R No magnético HCl	19.760	0	0.820	0	42.870	0	50	440





CONCLUSIONES

Se valida lo reportado en la literatura, donde se menciona que los procesos de separación magnética en concentrados con REE no son muy eficientes, proponiendo que el método de flotación es el indicado para la concentración de REE.

Para este trabajo, basándonos en los análisis químicos por FRX, se observa que el método de mayor eficacia para la concentración de REE es la flotación, obteniendo leyes, en el peor de los casos de 800 ppm hasta 1400 ppm, 1800 ppm de La y Ce, valores prácticamente similares a los obtenidos en el producto No magnético del proceso de separación magnética (1700 ppm y 1800 ppm de La y Ce). Por lo cual, la separación magnética, para este caso de estudio, es un proceso que no aporta datos significativos en la línea del beneficio de las REE.

En términos de porcentajes de extracción, el H₂SO₄ en el material magnético logra lixiviar el 48.14% de La y 50% de Ce. Con HCl, se disuelve el 66.66% de La y 82% de Ce. En cambio, para el material No magnético, se obtuvieron valores de extracción con H₂SO₄ de 14.81% de La y 0% de Ce. Los mejores resultados para este material se obtuvieron con el HCl, alcanzando extracciones hasta del 93.82% de La y 56% de Ce.

El utilizar H₂SO₄ y HCl para lixiviar ambos materiales (Mineral R magnético y No magnético) demuestra que la vía de mayor eficacia para disolver el La y Ce, es el HCl, a una concentración de 3.79 [M]. Sin embargo, es importante realizar distintas pruebas de lixiviación con variadas concentraciones de ácidos, que sirvan para hacer más eficiente el proceso.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece al CONACyT por la beca otorgada con No 887854. Al programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas, y a la Facultad de Metalurgia (ambas de la Universidad Autónoma de Coahuila), por la infraestructura prestada

para las pruebas y caracterización realizadas para este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Kim and S. Jeong, "Separation of monazite from placer deposit by magnetic separation", *Minerals*, vol. 9, pp. 149, 2019. <https://doi.org/10.3390/min9030149>
- [2] H. Cui and C. G. Anderson, "Alternative flowsheet for rare earth beneficiation of Bear Lodge ore", *Minerals Engineering*, vol. 110, pp. 166-178, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.04.016>
- [3] R. G. Rejeith and M. Sundarajan, "Combined magnetic, electrostatic, and gravity separation techniques for recovering strategic heavy minerals from beach sands", *Geotechnology*, vol. 36, pp. 959-965, 2018. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2017.1403523>
- [4] W. Xiong, J. Deng, B. Chen, S. Deng and D. Wei, "Flotation-magnetic separation for the beneficiation of rare earth ores", *Minerals Engineering*, vol. 119, pp. 49-56, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.01.014>

Cómo citar este artículo:

Tamayo Soriano, D. A., Martínez Luévanos, A., Soria Aguilar, M. de J., & Carrillo Pedroza, F. R. (2022). M.C EXTRACCIÓN DE REE DE UN MINERAL RICO EN ÓXIDOS DE HIERRO. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.204>



DESCOMPOSICION DE CIANURO USANDO OZONO Y ÓXIDOS DE HIERRO

Decomposition of cyanide using ozone and iron oxides

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Marleth Roxana Garza-Román ¹
Francisco Raúl Carrillo-Pedroza ²
Ma. De Jesús Soria-Aguilar ³
Nallely Guadalupe Picazo-Rodríguez ⁴

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 08 / 04 / 2022

DOL: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.202>

Autor de Correspondencia:

Marleth Roxana Garza Román

Correo: marleth.garza@uadec.edu.mx

Resumen

La cianuración ha sido por años el proceso más empleado para la extracción de oro, sin embargo, las soluciones resultantes afectan al medio ambiente ya que son tóxicas y complejas. Algunos de los procesos convencionales para la eliminación de cianuro es la oxidación, no obstante, esta puede resultar lenta. Debido a lo anterior el presente trabajo se enfoca en la eliminación de cianuro con procesos de oxidación avanzada catalítica como lo son el ozono y los óxidos de hierro. Las pruebas experimentales se desarrollaron bajo condiciones controladas a nivel laboratorio, usando óxidos de hierro como catalizadores. Los resultados mostraron que al agregar 1 g/L de óxidos de hierro, la concentración inicial de cianuro (250 ppm) se lograron disminuir a 11.9 ppm en un promedio de 11 minutos, por otro lado, en las pruebas que no usaron dichos óxidos a este tiempo se tenían 150 ppm de cianuro en la solución.

Palabras clave: descomposición, cianuro, procesos de oxidación avanzada, óxidos de hierro.

Abstract

Cyanidation has been for years the most used process for gold extraction; however, the resulting solutions affect the environment as they are toxic and complex. Some of the conventional processes for the elimination of cyanide is oxidation, however, this can be slow. Due to the above, this work focuses on the elimination of cyanide with advanced catalytic oxidation processes such as ozone and iron oxides. The experimental tests were developed under controlled conditions at the laboratory level, using iron oxides as catalysts. The results showed that by adding 1 g / L of iron oxides, the initial concentration of cyanide (250 ppm) was reduced to 11.9 ppm in an average of 11 minutes, on the other hand, in the tests that did not use said oxides at this time there were 150 ppm of cyanide in the solution.

Keywords: decomposition, cyanide, advanced oxidation processes, iron oxides

¹ Maestra en Ciencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México, marleth.garza@hotmail.com, Orcid 0000-0001-5178-5643

² Doctor en Ciencias, Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México, raul.carrillo@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0002-0413-0676

³ Doctora en Ciencias, Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila, México, ma.soria@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0003-3910-7772

⁴ Doctora en Ciencias, Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Monclova, Coahuila, México, nallely.pr@monclova.tecm.mx, Orcid 0000-0002-5780-2747



INTRODUCCIÓN

El cianuro se conforma de un grupo de sustancias químicas de carbono y nitrógeno, que pueden ser naturales o artificiales [1]. En cuanto a la química del cianuro la disolución y disociación de cianuro molecular o iónico en solución acuosa forma cianuros libres. Además, dependiendo del pH de la solución este se puede encontrar como cianuro libre (CN^-) o ácido cianhídrico (HCN) [2].

Este compuesto es el más utilizado en la industria química por su composición, debido a que ambos elementos (carbono y nitrógeno) son elementos comunes y tienden a reaccionar fácilmente con otras sustancias. El 80% de cianuro se utiliza en la producción de productos químicos orgánicos como el nitrilo, nailon y plásticos acrílicos, entre otras aplicaciones industriales como procesamiento de metales, endurecimiento del acero entre otros. En cuanto al porcentaje restante de su producción se utiliza para fabricar cianuro de sodio en forma sólida, y el resto (18%) se utiliza en la minería, principalmente para la recuperación de oro [1].

Este método para la recuperación de oro se ha utilizado durante décadas y hasta la fecha, debido a que es un proceso económico y eficiente, sin embargo, si su manejo no es el adecuado tiene el riesgo de contaminar al medio ambiente y causar efectos negativos en la salud de los seres vivos [3]. Por lo que es de suma importancia dar seguimiento a los efluentes del proceso, ya que estos

presentan cianuro libre, tiocianato y cianatos [4].

Algunos de los métodos más utilizados para su descomposición son la degradación natural, precipitación, biodegradación y oxidación química los cuales presentan distintos niveles de efectividad [5], sin embargo, estos procesos pueden resultar lentos y poco sustentables.

Debido a lo anterior, investigadores como Forero, Ortiz y Ríos [6]; Albdraha, Al-Obaidi, Hashim y Zangana [7], denominan procesos de oxidación avanzada cuando los procesos convencionales se combinan, resultando reacciones más eficientes para la remoción de compuestos orgánicos en los efluentes, ya que incrementan la generación de radicales hidroxilos ($\cdot\text{OH}$).

Uno de los procesos más estudiados y utilizados es la ozonización, investigadores como Jiménez-Prieto, Esperanza-Pérez y Ramírez-González [8], realizaron una evaluación de los procesos de oxidación con gas ozono y cloración alcalina para eliminar cianuros de las soluciones provenientes de un procesamiento de minerales auríferos, encontrando que la ozonización simplifica y mejora la rentabilidad eliminando el cianuro a un 98% a comparación del proceso de la cloración alcalina.

Por otro lado, Pueyo, Miguel, Ovelleiro y Ormad [9], realizaron un estudio para la eliminación de cianuro contenido en residuos de solución provenientes del proceso de coquización, a partir del proceso de ozonización y la oxidación de ozono combinado con peróxido de hidrógeno obteniendo una eliminación del 90% de cianuros con ozono y un 95% con el ozono y H_2O_2 .





Además, otra tecnología eficiente de los procesos de oxidación avanzada son los catalizadores, ya que diversos investigadores mencionan que la velocidad de las reacciones se incrementa, dando como resultados una remoción eficiente de cianuro en las soluciones. Los catalizadores más utilizados son el dióxido de titanio, nano materiales, carbón activado, zeolita, hematita, goetita y magnetita además de algunos óxidos metálicos [10].

Investigadores como Lin, Gu, Cui y Liu [11], estudiaron la degradación de cianuro en aguas residuales provenientes de un proceso de extracción de oro, utilizando ozono sin y con diatomita para producir una oxidación catalítica encontrando que la oxidación catalítica con ozono fue la más favorable obteniendo una contribución del 65.7%. Por otro lado, Hanela, Durán y Jacobo [12], realizaron un estudio comparando la efectividad del proceso de oxidación de ozono-UV seguido de zeolita tratada la cual utilizaron como catalizador para acelerar la reacción y así determinar la descomposición del cianuro complejo con hierro proveniente de un proceso de galvanizado, obteniendo un 82% de eliminación de cianuro.

Por otro lado, el uso de óxidos de hierro como catalizadores, ha sido reportado por diversos investigadores para el tratamiento de aguas residuales de algunas industrias farmacéuticas para la remoción de sus contaminantes, no obstante para el tratamiento de efluentes cianurados

no hay mucha información al respecto, por lo que en el presente trabajo se llevó a cabo un estudio referente a la descomposición de cianuro contenido en una solución sintética, empleando la oxidación con ozono y ozono con óxidos de hierro bajo condiciones controladas a nivel laboratorio, con la finalidad de conocer el efecto de su catálisis.

METODOLOGÍA

Etapas 1: Pruebas de descomposición de cianuro con ozono

Para las pruebas de descomposición de cianuro con ozono se utilizó un reactor cilíndrico de vidrio transparente de 2 L de capacidad, al cual se le adecuó un burbujeador de piedra cilíndrica de 4 cm de altura y 25 mm de diámetro, a través del cual se inyectó ozono, generado mediante un reactor de ozono marca Pacific Ozone Technology, modelo G11, alimentado con oxígeno grado industrial.

Para las soluciones sintéticas se empleó una concentración de 250 ppm de cianuro de potasio marca Fermont, pureza 99.4%, en 1.3 L en un medio alcalino (pH 11, ajustado con hidróxido de sodio, marca Jalmek, pureza 97.0%), las pruebas se mantuvieron en agitación con un agitador mecánico marca Arrow Engineering modelo Agitator, y se llevaron a cabo a temperatura ambiente, tomando muestras a diferentes tiempos.

Etapas 2: Pruebas de descomposición de cianuro con ozono y óxidos de hierro

Dado que, diversos investigadores han mencionado, que la combinación de dos o más oxidantes, han obtenido resultados muy positivos en los procesos de oxidación para la eliminación de efluentes, se consideró esta etapa en donde se llevara a cabo la combinación de O₃ y óxidos de hierro.

Caracterización de óxidos de hierro

Para el presente trabajo se utilizaron dos tipos de óxi-



dos de hierro los cuales provenían de residuos industriales, dichos óxidos fueron analizados por Fluorescencia de Rayos X (FRX), marca PANalytical, modelo Epsilon 1. En la Tabla 1 se puede observar una jarosita la cual se compone principalmente de hierro y calcio.

Tabla 1. Análisis químico. Elementos principales que componen la jarosita

Jarosita	Composición (% peso)							
	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
	0.338	1.295	7.199	21.558	0.516	23.401	0.458	8.640

En cuanto al segundo óxido de hierro se trata de un polvo de colector el cual podemos apreciar en la Tabla 2 que este se compone en su mayoría por hierro.

Tabla 2. Análisis químico. Elementos principales que componen el polvo de colector

	Composición (% peso)						
PC	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Zn
	1.803	4.579	2.416	3.501	0.157	29.095	0.263

Previamente a dichos óxidos de hierro se les realizó un tratamiento el cual consistió en someterlos a una temperatura de 500 °C por una hora, ya que autores como Ristić, Musić y Orehovec [13] mencionan que este proceso térmico produce una descomposición en los óxidos de hierro demostrando que las sales se descomponen a temperaturas de 500 a 600 °C, resultando como productos una mezcla de hematita y sulfato de sodio. En la Tabla 3 se muestra la jarosita tratada la cual presentó un incremento de hierro a 30.926 %, en cuanto al polvo del colector tratado el hierro disminuyó de forma significativa a 22.747 % tal y como se observa en la Tabla 4.

Tabla 3. Análisis químico. Elementos principales que componen la jarosita tratada

Jarosita T.	Composición (% peso)							
	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
	0.376	1.319	8.970	18.426	0.501	30.926	0.586	8.502

Tabla 4. Análisis químico. Elementos principales que componen el polvo de colector tratado

PC. T.	Composición (% peso)							
	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
	2.377	4.810	2.604	3.812	0.141	22.747	0.143	0.162

Previo a la caracterización, las pruebas se llevaron a cabo de igual forma que la Etapa 1 con la diferencia de que en esta etapa se le agregó a la solución 1 g/L de óxidos de hierro.

Métodos de análisis de cianuro

Una vez que se tomaron las muestras en cada etapa y a los diferentes tiempos, se llevó a cabo la determinación de cianuro libre por el método de volumetría reportado por Nava-Alonso, Elorza-Rodríguez, Pérez-Garibay y Uribe-Salas [14].

Cabe mencionar que antes de realizar la determinación de cianuro libre en las pruebas donde se agregaron los óxidos de hierro (Etapa 2), se realizó una separación de sólido-líquido, por filtrado, en cada muestra.



DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Ozono

La Figura 1 muestra el efecto del ozono en la descomposición de cianuro de la prueba OX1, donde se puede ob-

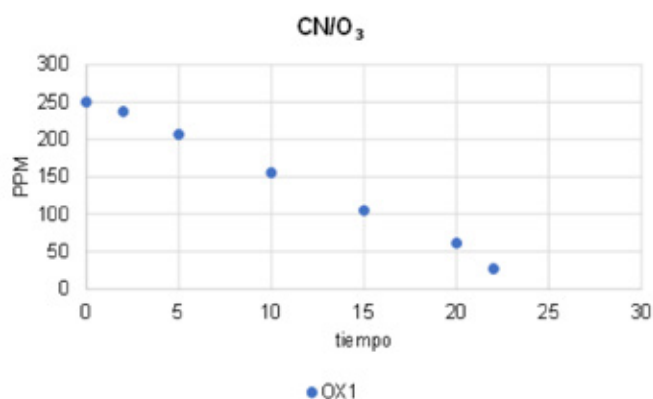


Figura 1. Pruebas de oxidación de cianuro con ozono

De acuerdo con Nyamunda [15], la ozonización consta con dos mecanismos de oxidación, una primera posible propuesta es que cuando el cianuro es oxidado este pasa a convertirse a cianato lo anterior se puede observar en la Ecuación (1):



Mientras que la segunda podría tratarse de un mecanismo catalítico (Ecuación 2), sin embargo, Nyamunda menciona que esto solo tiende a ocurrir en condiciones ácidas.



Sin embargo, como ya se había mencionado este proceso resulta lento impactando en la optimización del proceso de oxidación de cianuro.

Ozono y óxidos de hierro

Jarosita

En las pruebas donde se utilizó este óxido de hierro se pudo observar que el cianuro se elimina en un promedio de 15 minutos, lo anterior se expone en la Figura 2, en donde la prueba OX2 con jarosita presento 11.36 ppm en la solución en un tiempo de 20 minutos. Por otro lado, la prueba OX3 en donde se utilizó la jarosita tratada mostró un mejor efecto presentando las mismas ppm en menor tiempo (11 minutos).

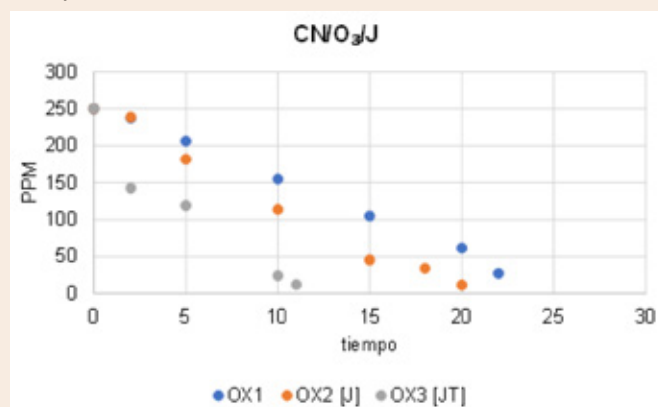


Figura 2. Pruebas de oxidación de cianuro con ozono y jarosita sin y con tratamiento

Los resultados obtenidos en la prueba OX3 se podrían aludir al cambio de fases de la jarosita, ya que esta se encuentra como sulfato de hierro y al ser sometido al tratamiento térmico, esta pasa a convertirse en especies tales como magnetita o hematita, las cuales favorecen a la catálisis de la reacción.



Polvo de colector

Las pruebas en donde se agregó este óxido de hierro no se vieron tan favorables como las pruebas en donde se utilizó la jarosita, sin embargo, si presentaron mejores resultados a comparación de la prueba en donde se utilizó solo ozono. Lo anterior se puede observar en la Figura 3 en donde la prueba OX4, la cual contenía polvo de colector la solución presentaba 22.72 ppm y la OX5 con polvo de colector tratado presentó 13.16 ppm ambas a los 20 minutos. Si bien los tiempos para la remoción de cianuro fueron similares a las pruebas donde solo se utilizó ozono, el polvo de colector logró oxidar mayor cantidad de cianuro a los mismos minutos.

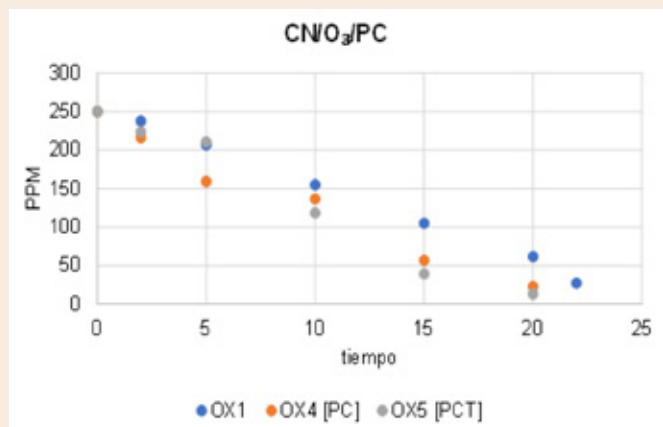
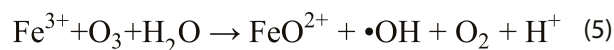
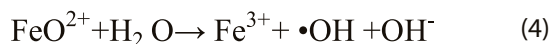
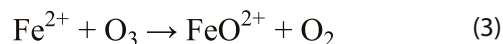


Figura 3. Pruebas de oxidación de cianuro con ozono y polvo de colector sin y con tratamiento

Yan, Bing, y Wu [16], mencionan que cuando el ozono se encuentra en contacto con óxidos de hierro en especial especies como hematita, magnetita y óxido férrico, ocurre una descomposición en la molécula del O₃, la cual se convierte en O₂ y contribuyen a la formación de radicales hi-

droxilos.

Wang, Zhang, Wang, Xiong y Tian [17], realizaron una comparación de diversos óxidos de hierro entre los cuales destacan el óxido férrico atribuyéndole una alta actividad catalítica en procesos para eliminación de otros contaminantes, sin embargo, describió el mecanismo de los ciclos de reducción que ocurren con el Fe²⁺ y Fe³⁺, los cuales se observan en la Ecuación (3-5), estos son responsables de la generación de radicales hidroxilos.



Así mismo los radicales hidroxilo (•OH) generados comienzan a actuar con el cianuro de la solución oxidándolo y convirtiéndolo a tiocianato esta reacción se puede observar en la Ecuación 6 [18].



CONCLUSIONES

El ozono puede oxidar al cianuro, no obstante, esta toma más de 22 minutos para eliminarlo en su totalidad.

En general los resultados nos indican que el ozono con y sin óxidos de hierro si logra oxidar al cianuro, sin embargo, los tiempos de oxidación de este son más cortos cuando se agregan los óxidos de hierro al medio, reduciendo en un 50% los tiempos de oxidación, siendo la jarosita tratada la más eficiente.

A pesar de que el polvo de colector no tuvo el mismo efecto que la jarosita con y sin tratamiento, este se muestra más favorable un 9% en comparación a la oxidación con ozono.





RECONOCIMIENTOS

Garza Román agradece al CONACYT por la Beca No. 777941 otorgada para realizar sus estudios de posgrado, dentro del Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Autónoma de Coahuila. De igual forma se agradece al proyecto CONACYT CB-2017-2018-A1-S-15832.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Logdson, K. Hagelstein and T. Mudder, "The management of cyanide", International Council on Metals and the Environment, pp.1-40, 1991.
- [2] N. Kuyucak and A. Akcil, "Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes", Minerals Engineering, Vol. 50, pp. 13-29, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.05.027>
- [3] T. Mudder and M. Botz, "Cyanide and society: A critical review", The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, Vol. 4, pp. 62-74, 2004.
- [4] J. E. Angove and S. Acar, "Metallurgical Test Work: Gold Processing Options, Physical Ore Properties, and Cyanide Management. In Gold ore processing", Elsevier, pp. 131-140, 2016. doi: [10.1016/S0167-4528\(05\)15004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15004-2)
- [5] J. Sancho, B. Fernández, J. Ayala, M. García and A. Lavandeira, "Aplicación del permanganato potásico para la eliminación de cianuros de cobre en aguas residuales de la planta de lixiviación en una mina de oro", Revista Metalurgia, Vol. 45, pp. 315-320, 2004. doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0846>
- [6] J. Forero, O. Ortiz and F. Ríos, "Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería", CT&F- Ciencia, Tecnología y Futuro, Vol. 3, pp. 97-109, 2005.
- [7] W. Alabdrraba, A. Al-Obaidi, S. Hashim and S. Zangana, "Industrial Wastewater treatment by advanced oxidation processes - A Review", Journal of Advanced Sciences and Engineering Technologies, Vol. 1, pp. 24-33, 2018.
- [8] Y. Jimenez-Prieto, G. Esperanza-Pérez, S. Ramírez-González and I. Alomas-Vicente, "Assessment of technological alternatives for cyanide waste waters management in gold ores processing plant", Revista Cubana de Química, Vol. 32, pp. 218-231, 2020.
- [9] N. Pueyo, N. Miguel, J. Ovelleiro and M. Ormad, "Limitations of the removal of cyanide from coking wastewater by ozonation and by hydrogen peroxide-ozone process", Water Science and Technology, pp. 482-490, 2016. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.227>
- [10] A. Buthiyappan, A. Raman, A. Aziz and W. Wan Daud, "Recent advances and prospects of catalytic advanced oxidation process in treating textile effluents", Rev. Chem. Eng, Vol. 32, pp. 1-47, 2016. doi: <https://doi.org/10.1515/revce-2015-0034>
- [11] M. Lin, Q. Gu, X. Cui and X. Liu, "Cyanide containing wastewater treatment by ozone enhanced catalytic oxidation over diatomite catalysts", MATEC Web of

Conferences, Vol. 142, pp. 1-7, 2018. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814201003>

- [12] S. Hanel, J. Durán and S. Jacobo, "Removal of iron-cyanide complexes from wastewaters by combined UV-ozone and modified zeolite treatment", Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol.3, pp. 1794-1801, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.06.023>
- [13] M. Ristić, S. Musić and Z. Orehovec (2005). Thermal decomposition of synthetic ammonium jarosite. Journal of Molecular Structure, 744, 295-300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2004.10.051>
- [14] F. Nava-Alonso, E. Elorza-Rodríguez, R. Pérez-Garibay and A. Uribe-Salas (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. Revista de Metalurgia, 43, 20-28. doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2007.v43.i1.48>
- [15] B. Nyamunda, "Review of the Impact on Water Quality and Treatment Options of Cyanide Used in Gold Ore Processing", Water Quality, Mutare, Zimbabwe: INTECH, pp. 225-243, 2017. doi: [10.5772/65706](https://doi.org/10.5772/65706)
- [16] L. Yan, J. Bing, and H. Wu, "The behavior of ozone on different iron oxides surface sites in water", Scientific Reports, pp. 2045-2322, 2019. doi: [10.1038/s41598-019-50910-w](https://doi.org/10.1038/s41598-019-50910-w)
- [17] B. Wang, H. Zhang, F. Wang, X. Xiong, K. Tian, Y. Sun, and T. Yu, "Application of heterogeneous catalytic ozonation for refractory organics in wastewater", Catalysts, pp. 1-40, 2019. doi: <https://doi.org/10.3390/catal9030241>
- [18] L. Quispe, M. D. C. Arteaga, E. Cárdenas, C. Santelices, E. Palenque, and S. Cabrera, "Eliminación de cianuro mediante sistema combinado UV/H₂O₂/TiO₂", Revista Boliviana de química, Vol. 28, pp. 113-118, 2011.

Cómo citar este artículo:

Garza Román, M. R., Carrillo Pedroza, F. R., Soria Aguilar, M. de J. , & Picazo Rodriguez, N. G. . DESCOMPOSICION DE CIANURO USANDO OZONO Y ÓXIDOS DE HIERRO. EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.202>



TERMOBAROMETRÍA Y TERMOCRONOLOGÍA: APLICACIONES AL ESTUDIO DE LOS PÓRFIDOS DE COBRE DE LA CARIDAD Y SUAQUI VERDE

*Thermobarometry and thermochronology: applications to the study
of the la caridad and suaqui verde porphyry copper deposits*

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Mélanie Noury ¹
Thierry Calmus ²

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 08 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.206>

Autor de Correspondencia:

Mélanie Noury

Correo: mnoury@geologia.unam.mx

Resumen

Clásicamente, se considera que los depósitos de tipo pórfidos de cobre se forman entre 2 y 4 km de profundidad. Sin embargo, en la provincia Basin and Range, algunos pórfidos de cobre como los de La Caridad y Suaqui Verde permanecieron preservados en el bloque de piso de fallas normales. Este trabajo propone un estudio comparativo de estos dos depósitos, combinando análisis de termobarometría y de termocronología para cuantificar la profundidad de emplazamiento y la historia de enfriamiento de los plutones, respectivamente. Los resultados sugieren que la profundidad de emplazamiento de los sistemas de pórfidos de cobre podría ser superior a 4 km. Además, muestran que el este de Sonora no registró un aumento significativo de la tasa de exhumación durante la extensión Basin and Range, lo que puede explicar la buena preservación de los depósitos del Cretácico-Eoceno en esta región.

Palabras clave: U-Pb en apatitos, termobarometría Al-en-hornblenda, trazas de fisión, exhumación.

Abstract

Classically, porphyry-type copper deposits are considered to form between 2 and 4 km depth. However, in the Basin and Range province, some of them, as the La Caridad and Suaqui Verde deposits, have been preserved in the footwall of normal faults. This study addresses this paradox by taking the aforementioned deposits as an example by combining thermobarometry and thermochronology analyses to quantify the emplacement depth and cooling history of the plutons, respectively. The results suggest that the emplacement depth of the porphyry copper systems could be greater than 4 km. In addition, they show that eastern Sonora did not experience a clear increase in exhumation rate during the Basin and Range extension, which may explain the good preservation of the Cretaceous-Eocene deposits in this region.

Keywords: apatite U-Pb, Al-in-hornblende thermobarometry, fission-track, exhumation.

¹ Doctora, Estación Regional del Noroeste y Laboratorio Nacional de Geoquímica y mineralogía (LANGEM), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, Mexico, mnoury@geologia.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8716-1370>

² Doctor, Estación Regional del Noroeste y Laboratorio Nacional de Geoquímica y mineralogía (LANGEM), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, Mexico, arnithy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4278-9487>

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos minerales de tipo pórfido de cobre contribuyen con más del 60% de la producción anual de cobre [1]. Los depósitos de pórfidos de cobre gigantes o de clase mundial están asociados a arcos magmáticos continentales. Según el modelo genético más aceptado [2], los cuerpos mineralizados están asociados a la intrusión de magmas calco-alcalinos que se emplazan dentro de la corteza superior entre 10 y 5 km de profundidad. Durante su cristalización, los magmas diferenciados enriquecidos en fluidos magmáticos se concentran al ápex del plutón, provocando la fracturación hidráulica de las rocas encajonantes, lo cual facilita la formación de depósitos minerales. Estos depósitos están asociados a intrusiones de textura porfídica emplazadas típicamente entre 2 y 4 km de profundidad y que muestran una importante alteración hidrotermal [2].

En el sur de Arizona y el norte de Sonora se encuentra una provincia o *cluster* de pórfidos de cobre (Fig. 1). El *cluster* se compone de cuerpos porfídicos que se emplazaron durante la formación del Arco Magmático Mexicano del Cretácico-Eoceno (AMMCE) [3] (anteriormente referido como arco Laramide) en una corteza engrosada durante la compresión previa y contemporánea del desarrollo del arco. Posteriormente, durante el Oligoceno-Mioceno, particularmente entre 25 y 12 Ma, el noroeste de México fue afectado por la fase extensional intra-continental *Basin and Range*, la cual se caracteriza por un cinturón de complejos de núcleos metamórficos que corresponde a una franja con una tasa de extensión alta que permitió la exhumación de rocas de la corteza media (Fig. 1).

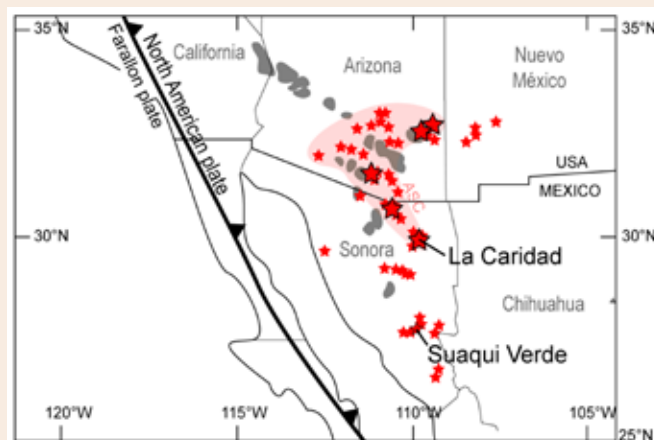


Figura 1. Mapa esquemático del suroeste de Estados Unidos de América y del noroeste de México mostrando la posición aproximativa respecto a la costa actual de la fosa de subducción entre ~120 y ~40 Ma (línea negra gruesa; los triángulos muestran la placa superior). Los yacimientos de tipo pórfido de cobre (estrellas rojas, las grandes correspondiendo a yacimientos gigantes y súper gigantes) del *cluster* de Arizona-Sonora (ASC, área roja). Los complejos de núcleos metamórficos formados durante la extensión *Basin and Range* están representados en gris oscuro. Modificado de Noury y Calmus [4].

A pesar del largo período de extensión que condujo a la formación de la provincia *Basin and Range*, algunos de los cuerpos mineralizados poco profundos fueron





Tarahumara entre otras) [3]. Los depósitos de tipo pórfido de cobre de Sonora se formaron durante este evento tectono-magmático (Fig. 2).

En La Caridad, las rocas de la Formación Tarahumara (Fig. 2) tiene edades U-Pb en circón entre 73.6 ± 1.0 y 57.1 ± 0.4 Ma [10], [11], y están intrusionadas por un plutón que se emplazó entre 58.3 ± 2 y 53.3 ± 1.6 Ma [11], [12]. Este plutón es considerado como el cuerpo precursor de los pórfidos mineralizados de edad U-Pb en circón (edad de cristalización) entre 55 ± 1.7 y 52.6 ± 1.6 Ma [5], [12]. La mineralización fue datada por Re-Os en molibdenitas en 53.8 ± 0.2 y 53.6 ± 0.2 Ma [13]. Por otra parte, las dataciones K/Ar en biotita de diferentes intrusiones mineralizadas porfíricas y pegmatíticas arrojaron edades comprendidas entre 55.2 ± 1.6 y 52.5 ± 1.3 Ma [14], [15].

En Suaqui Verde, las rocas de la formación Tarahumara (Fig. 2) han sido fechadas entre 89 ± 0.8 Ma y 70.2 ± 0.6 Ma (análisis U-Pb en circón) [16], [17]. Estas rocas volcánicas fueron intrusionadas por una granodiorita datada por K/Ar en hornblenda entre 62 ± 3 y 58.8 ± 1.3 Ma [14], [18]. Esta granodiorita se considera como el cuerpo plutónico precursor del que se diferenció el magma porfídico en el origen de la mineralización de cobre-molibdeno. Una veta de cuarzo-molibdenita en la zona de alteración fílica fue datada por Re-Os en 57.0 ± 0.3 Ma [13].

La actividad magmática en Sonora disminuyó alrededor de ~ 45 hasta ~ 38 Ma cuando inició el volcanismo ignimbrítico de la Sierra Madre Occidental [19] a [21]. Cabe resaltar que en La Caridad y Suaqui Verde, rocas volcánicas contemporáneas de la Sierra Madre Occidental cubren en discordancia las rocas del AMMCE (Fig. 2). En Sonora, se considera que la extensión *Basin and Range* empezó en ~ 27 Ma [22], [23]. El basculamiento de los bloques a lo largo de las fallas normales generó cuencas que fueron rellenadas por los depósitos continentales de la Formación Báucarit (Fig. 2). En el centro de Sonora, la extensión cesó a ~ 12 Ma.

En La Caridad, la extensión *Basin and Range* se caracteriza por fallas normales de dirección NW-SE y N-S (Fig. 2). En particular, se interpreta que la falla normal La Caridad de bajo ángulo y con buzamiento al NE, controla la exhumación de las rocas intrusivas asociadas al AMMCE (Fig. 2) [10]. Las rocas del Oligoceno solo afloran en el bloque de techo de la falla La Caridad y consisten en un abanico fluvial ferruginoso cubierto por la Riolita El Globo, la cual ha sido datada por K/Ar en biotita en 24.0 ± 0.4 Ma (Fig. 2) [24].

En Suaqui Verde, las rocas volcánicas del Oligoceno fueron datadas por Ar/Ar en 26.3 ± 0.2 y 25.8 ± 0.1 Ma [25], y cubren la Formación Tarahumara en discordancia (Fig. 2) [16]. Como en La Caridad, estas rocas volcánicas del Oligoceno sólo se conocen en los bloques de techo de las fallas normales de dirección N-S donde aparecen basculadas hacia el este y cubiertas por la Formación Báucarit.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

Termobarometría Al-en-anfíboles

El contenido total de aluminio (Al_{tot}) en anfíboles es correlacionado con la presión y la temperatura del magma al momento de la cristalización del mineral [26]. Existen varios modelos de calibración del termobarómetro Al-en-anfíboles que se han utilizado para estimar las profundidades de emplazamiento y la temperatura de cristalización de los anfíboles cálcicos de las rocas ígneas. En este estudio, aplicamos el método propuesto por Mutch et al. [27] el cual es válido para rocas graníticas de baja presión que cristalizaron cerca del solidus haplogranítico ($750 \pm 50^\circ C$) y cuando está presente la asociación mineral apropiada.

Se realizó una descripción petrológica para asegurar que las rocas analizadas contienen la asociación mineral anfíbol + plagioclasa + biotita + cuarzo + feldespato alcalino + magnetita + apatito + óxido de Ti como lo recomiendan Mutch et al. [27]. A continuación, se





identificaron los pares de plagioclasa-anfíbol frescos y en aparente equilibrio textural con el resto de la asociación mineral. En primer lugar, se analizaron las plagioclasas de interés para determinar la temperatura de cristalización del conjunto mineral [28] ya que el barómetro propuesto por Mutch et al. [27] está calibrado para temperaturas cercanas al sólido del haplogranito ($725 \pm 75^\circ\text{C}$). En segundo lugar, se midieron solamente las concentraciones en elementos mayores de los anfíboles cristalizados en contacto con los plagioclasas que cristalizaron a temperaturas compatibles con el sólido del haplogranito. Para este estudio, se usó una microsonda electrónica JEOL JXA-8900R equipada con dos espectrómetros de rayos X de longitud de onda dispersiva (WDS) en el Laboratorio Universitario de Petrología de la UNAM.

Principios de termocronología

La termocronología es la ciencia de fechar materiales geológicos usando sistemas radio-isotópicos compuestos de: (i) un isótopo padre radiactivo, (ii) un isótopo hijo radiogénico (o un rasgo cristalográfico formado durante la desintegración radiactiva) y (iii) un mineral en el cual se encuentran. Los isótopos hijos no son incorporados en la estructura cristalina del mineral y, por lo tanto, tienen libertad de movimiento y pueden escarpase del mineral por difusión [29]. La difusión es un proceso controlado principalmente por la temperatura. A altas temperaturas, el isótopo se escapa de la red cristalina por difusión, y se dice que el sistema termocronológico

es abierto. A bajas temperaturas, el sistema se cierra lo que significa que el isótopo radiogénico se queda en el mineral. Cada sistema termocronológico se caracteriza por su temperatura de cierre. Midiendo las concentraciones de los isótopos padres e hijos en el mineral, se puede fechar el tiempo transcurrido en el cual el sistema quedó debajo de la temperatura de cierre. Las edades obtenidas son entonces interpretadas como representativas de la edad de enfriamiento de las rocas. Este concepto es muy útil porque se puede relacionar directamente una edad a una temperatura, es decir a una

profundidad asumiendo un gradiente geotérmico. Por ende, se pueden calcular velocidades de migración de las rocas hacia la superficie terrestre (procesos de exhumación: erosión o tectónica). La termocronología permite entonces reconstruir la historia térmica de las rocas e investigar los procesos que influyen la estructura térmica de la corteza superior (tectónica, magmatismo, hidrotermalismo, erosión y sepultamiento).



Doble fechamiento de apatitos por U-Pb y trazas de fisión

El apatito es un mineral accesorio de las rocas ígneas calco-alcalinas muy utilizado en estudios termocronológicos. Por un lado, la técnica U-Pb en apatito se basa en la desintegración radiactiva de ^{235}U y ^{238}U respectivamente a ^{207}Pb y ^{206}Pb [30]. La temperatura

de cierre del termocronómetro U-Pb en apatito depende principalmente de la velocidad de enfriamiento y del tamaño del cristal analizado. Se suele considerar que esa temperatura de cierre oscila entre 450 y 550°C [31]. Por otro lado, la técnica de datación por trazas de fisión se basa en el decaimiento por fisión espontánea del ^{238}U que deja defectos lineales en la red cristalina del apatito, las trazas de fisión, las cuales se borran totalmente a temperaturas superiores a $\sim 120^\circ\text{C}$ [32]. Una de las grandes ventajas de este método es que las trazas se acortan progresivamente entre ~ 120 y $\sim 60^\circ\text{C}$ con una cinética bien conocida [33], [34], lo cual permite reconstruir la historia térmica de la muestra en este rango de temperaturas mediante la medición de las longitudes de las trazas de fisión [35].

En la última década, se desarrolló un método permitiendo la doble datación por U-Pb y de trazas de fisión en el mismo cristal de apatito [36], [37]. En práctica, después de haber determinado la densidad de trazas de fisión en los apatitos de interés, se determinan sus composiciones isotópicas de uranio, plomo y otros elementos por LA ICP-MS (*laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry*). Esta técnica permite analizar un mismo apatito con un único punto de ablación para obtener dos edades de enfriamiento: uno a temperaturas de 450-550°C y el otro a 60-120°C [37].

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Este trabajo [4] corresponde a los primeros estudios de termocronología y termobarometría para las rocas intrusivas de los sistemas de pórfidos de cobre de La Caridad y Suaqui Verde. En ambos sistemas, los pórfidos mineralizados y la granodiorita “precursora” se emplazaron

contemporáneamente. En Suaqui Verde, determinamos una profundidad de emplazamiento comprendida entre 3.9 y 5.6 km, lo que implica que la mineralización de Cu-Mo puede ocurrir a mayor profundidad que la propuesta clásicamente para los sistemas de pórfidos de cobre (2 a 4 km; [2], [38]) y podría explicar las pequeñas leyes hipogénicas de Cu en este yacimiento [16].

Las historias térmicas de los depósitos de Suaqui Verde y La Caridad fueron reconstruidas (Fig. 3) [4]. Los resultados demuestran que estas intrusiones poco profundas (<6 km de profundidad) experimentaron un enfriamiento inicial muy rápido que corresponde a la relajación térmica posterior a la intrusión y al calentamiento de las rocas que la albergan. Posteriormente, el enfriamiento y la exhumación hacia la superficie fueron lentos, con tasas inferiores a $3^\circ\text{C}/\text{Myr}$ y $0.2 \text{ km}/\text{Myr}$, respectivamente.

Cabe resaltar que la modelización inversa de los datos termocronológicos a lo largo de un núcleo de perforación de $\sim 700 \text{ m}$ de profundidad en La Caridad (Fig. 3) sugiere que la evolución a lo largo del tiempo del gradiente geotérmico es coherente con la geodinámica regional. En efecto, se observa primero una disminución inicial del gradiente geotérmico de ~ 70 a $\sim 25^\circ\text{C}/\text{km}$ entre 50 y 32 Ma, lo cual refleja la re-equilibración térmica de la corteza superior después del fin del pulso magmático-hidrotermal dado a la migración del AMMCE hacia el este (Fig. 3). Sigue un periodo (entre 32 y 25 Ma) durante el cual el gradiente geotérmico es constante y característico de una corteza continental normal ($\sim 24 \pm 4^\circ\text{C}/\text{km}$; Fig. 3). Desde entonces (periodo 25-0 Ma), los modelos térmicos sugieren que el gradiente geotérmico incrementó paulatinamente hasta $40 \pm 9^\circ\text{C}/\text{km}$ (Fig. 3). Esta evolución es coherente con la extensión regional *Basin and Range* que inició en 25 Ma en Sonora septentrional [23], [39]–[41], originando un adelgazamiento y calentamiento cortical.



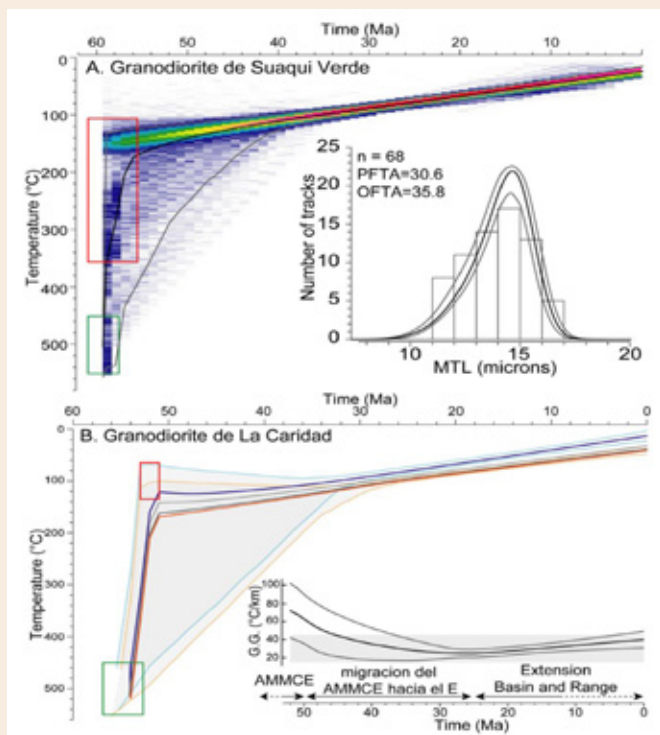


Figura 3. Historias térmicas obtenidas con el software QTQt [42] para las granodioritas de los distritos estudiados. A. Suaqui Verde: los colores corresponden a la densidad de probabilidad de la historia térmica (azul poco probable, rojo muy probable). El modelo esperado está representado por una línea negra y su intervalo de confianza al 95% por las líneas grises. Las restricciones impuestas al modelo se definieron gracias a los datos U-Pb en apatito y de termobarometría y se representan con cuadros verdes y rojo, respectivamente. Se indica también el histograma de las longitudes de trazas de fisión con la distribución predicha por el modelo esperado (línea negra) y el intervalo de credibilidad del 95% de los valores predichos (línea gris). Se indican el número n de longitudes de traza medidas, así como la edad de traza de fisión observada (OFTA) y la edad predicha por el modelo esperado (PFTA). B. La Caridad: se presentan los resultados de la inversión para cuatro muestras colectadas a lo largo de un núcleo de perforación de 700 m de profundidad. Los modelos esperados de las historias térmicas de las muestras superiores, intermedias e inferiores se representan con líneas azules, grises y naranjas, respectivamente. El cuadro verde corresponde a las edades U-Pb en apatito obtenidas y que se utilizaron como restricciones externas impuestas al modelo. El cuadro rojo es otra restricción externa que se colocó para favorecer las trayectorias que muestran un enfriamiento post-emplazamiento rápido. Se reporta también la evolución del gradiente geotérmico entre las muestras superior e inferior para el modelo esperado (negro) y su desviación estándar de ± 1 sigma. El área gris corresponde a un gradiente geotérmico de 30 ± 15 °C/km. Se reportan por comparación los eventos geodinámicos de escala regional contemporáneos.

Considerando que las tasas de exhumación tectónica son de uno a dos órdenes de magnitud mayores a las tasas de exhumación erosiva, un período de exhumación tectónica debería ser registrado por un rápido enfriamiento contemporáneo. Sin embargo, en las zonas de Suaqui Verde y La Caridad, no se registra una clara aceleración de la tasa de exhumación, ni siquiera durante el período de ~25-12 Ma correspondiente a la extensión a escala continental *Basin and Range*. Interpretamos estos resultados como el reflejo de mecanismos extensionales distintos entre el centro y el este de Sonora. En el centro de Sonora, la extensión se localizó principalmente a lo largo de fallas de despegue (fallas de bajo ángulo) que condujeron a la formación de complejos de núcleos metamórficos. Al contrario, en el este de Sonora la tasa de extensión fue menor, distribuida en numerosas fallas normales de pequeño desplazamiento, que permitieron preservar la parte superior de la corteza del arco magmático mesozoico y sus numerosos sistemas de pórfidos de cobre asociados.

En este contexto, la termobarometría asociada a los estudios de termocronología aparecen como herramientas prometedoras para la futura exploración de los depósitos de pórfidos de cobre y minerales relacionados, ya que permite apuntar a zonas donde la exhumación total se mantuvo moderada y excluir zonas donde los depósitos de pórfidos de cobre fueron erosionados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el convenio de cooperación "PERUMEX" entre la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Grupo México. Agradecemos al Laboratorio Nacional de Geoquímica y





Mineralogía - LANGEM, UNAM, México por apoyar este trabajo. También damos las gracias a Aimé Orcí Romero y Elizard González Becuar de la Estación Regional del Noroeste, quienes estuvieron a cargo de la preparación de las muestras. Gracias a Carlos Linares López del Instituto de Geofísica, UNAM por su ayuda en los análisis de microsonda. Finalmente, agradecemos a Víctor Almada Gutiérrez y al Dr. G. Jepson y el equipo del Laserchron de la Universidad de Arizona por su valiosa ayuda durante el proceso de datación por trazas de fisión. M. N. agradece a la DGAPA, UNAM, por una beca posdoctoral.

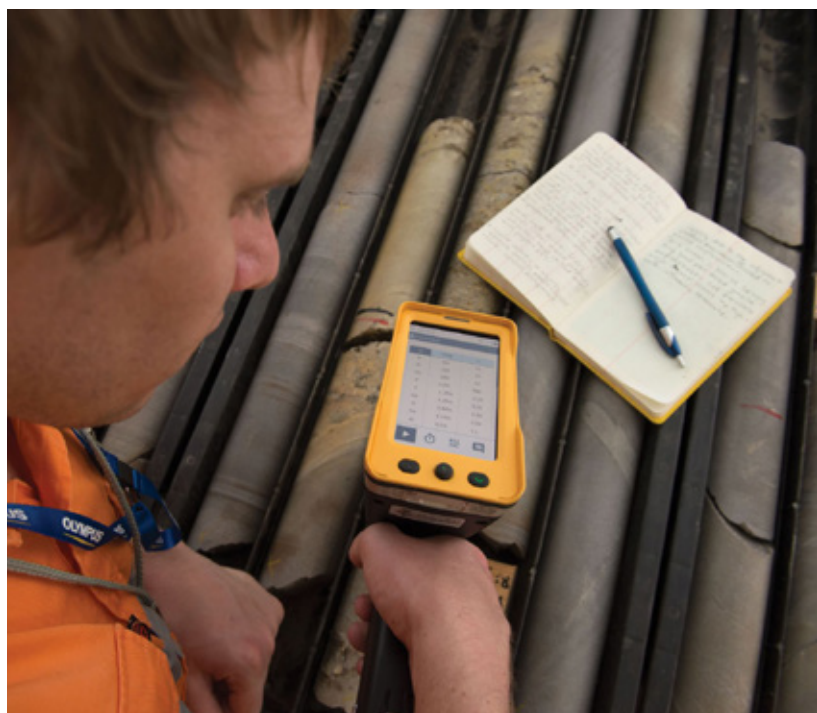
BIBLIOGRAFÍA

- [1] John, D. A., Ayuso, R. A., Barton, M. D., Blakely, R. J., Bodnar, R. J., Dilles, J. H., Gray, F., Graybeal, F. T., Mars, J. C., McPhee, D. K., Seal, R. R., and Taylor, R. D., "Porphyry copper deposit model, chap. B of mineral deposit models for resource assessment," in *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-B*, 2010, p. 169.
- [2] Sillitoe, R. H., "Porphyry copper systems," *Econ. Geol.*, vol. 105, no. 1, pp. 3–41, Jan. 2010, doi: 10.2113/GSECONGEO.105.1.3.
- [3] Valencia-Moreno, M., López-Martínez, M., Orozco-Esquivel, T., Ferrari, L., Calmus, T., Noury, M., and Mendivil-Quijada, H., "The Cretaceous-Eocene Mexican Magmatic Arc: Conceptual framework from geochemical and geochronological data of plutonic rocks," *Earth-Science Rev.*, vol. 220, p. 103721, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.EARSCIREV.2021.103721.
- [4] Noury, M. and Calmus, T., "Exhumation history of the La Caridad and Suaqui Verde porphyry copper deposits in the eastern Basin and Range province of Sonora: Insights from thermobarometry and apatite thermochronology," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 105, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JSAMES.2020.102893.
- [5] Valencia, V. A., Eastoe, C., Ruiz, J., Ochoa-Landín, L., Gehrels, G., González-León, C., Barra, F., and Espinoza, E., "Hydrothermal evolution of the porphyry copper deposit at La Caridad, Sonora, Mexico, and the relationship with a neighboring high-sulfidation epithermal deposit," *Econ. Geol.*, vol. 103, no. 3, pp. 473–491, May 2008, doi: 10.2113/GSECONGEO.103.3.473.
- [6] Gans, P. B., "Large-magnitude Oligo-Miocene extension in southern Sonora: Implications for the tectonic evolution of northwest Mexico," *Tectonics*, vol. 16, no. 3, pp. 388–408, 1997, doi: 10.1029/97TC00496.
- [7] Anderson, T. H. and Silver, L. T., "An overview of Precambrian rocks in Sonora," *Rev. Mex. Ciencias Geológicas*, vol. 5, no. 2, pp. 131–139, 1981.
- [8] Anderson, T. H. and Silver, L. T., "U-Pb isotope ages of granitic plutons near Cananea, Sonora," *Econ. Geol.*, vol. 72, no. 5, pp. 827–836, 1977, doi: 10.2113/GSECONGEO.72.5.827.
- [9] Valencia-Moreno, M., Ruiz, J., Barton, M. D., Patchett, P. J., Zürher, L., Hodgkinson, D. G., and Roldán-Quintana, J., "A chemical and isotopic study of the Laramide granitic belt of northern Mexico: Identification of the southern edge of the North American Precambrian basement," *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 113, no. 11, pp. 1409–1422, 2001, doi: 10.1130/0016-7606(2001)113<1409:ACAISO>2.0.CO;2.
- [10] Rascón-Heimpel, M. A., Valencia-Moreno, M., Ochoa-Landín, L., and Calmus, T., "Geología y geoquímica del pórfido cuprífero Los Alisos, distrito minero de La Caridad, Sonora, México," *Rev. Mex. Ciencias Geol.*, vol. 29, no. 2, pp. 355–383, 2012.
- [11] González-León, C. M., Solari, L., Valencia-Moreno, M., Rascón Heimpel, M. A., Solé, J., González Becuar, E., Lozano Santacruz, R., and Pérez Arvizu, O., "Late Cretaceous to early Eocene magmatic evolution of the Laramide arc in the Nacozari quadrangle, northeastern Sonora, Mexico and its regional implications," *Ore Geol. Rev.*, vol. 81, pp. 1137–1157, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.OREGEOREV.2016.07.020.
- [12] Valencia, V. A., Ruiz, J., Barra, F., Geherls, G., Ducea, M., Titley, S. R., and Ochoa-Landín, L., "U-Pb zircon and Re-Os molybdenite geochronology from La Caridad porphyry copper deposit: insights for the duration of magmatism and mineralization in the Nacozari District, Sonora, Mexico," *Miner. Depos.*, vol. 40, no. 2, pp. 175–191, Jun. 2005, doi: 10.1007/S00126-005-0480-1.
- [13] Barra, F., Ruiz, J., Valencia, V. A., Ochoa-Landín, L., Chesley, J. T., and Zurcher, L., "Laramide porphyry Cu-Mo mineralization in northern Mexico: Age constraints from Re-Os geochronology in molybdenite," *Econ. Geol.*, vol. 100, no. 8, pp. 1605–1616, Dec. 2005, doi: 10.2113/GSECONGEO.100.8.1605.
- [14] Damon, P. E., Shafiqullah, M., and Clark, K. F., "Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico," *Can. J. Earth Sci.*, vol. 20, no. 6, pp. 1052–1071, 1983, doi: 10.1139/E83-095.
- [15] Damon, P. E., Shafiqullah, M., Roldán-Quintana, J., and Cochemé, J. J., "El batolito Laramide (90–40 Ma) de Sonora," in *Memoria de la XV Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros de Minas y Metalurgistas y Geólogos de México*, 1983, pp. 63–95.
- [16] Ochoa-Landín, L. H., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., Del Rio-Salas, R., Mendivil-Quijada, H., Meza-Figueroa, D., Flores-Vásquez, I., and Zúñiga-Hernández, L. G., "Geology and geochemistry of the Suaqui Verde deposit: A contribution to the knowledge of the Laramide porphyry copper mineralization in south central Sonora, Mexico," *Ore Geol. Rev.*, vol. 81, pp. 1158–1171, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.OREGEOREV.2016.10.011.
- [17] McDowell, F. W., Roldán-Quintana, J., and Connelly, J. N., "Duration of Late Cretaceous-early Tertiary magmatism in East-central Sonora, Mexico," *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 113, no. 4, pp. 521–531, 2001, doi: 10.1130/0016-7606(2001)113<0521:DOLCET>2.0.CO;2.
- [18] Roldán-Quintana, J., McDowell, F. W., Delgado-Granados, H., and Valencia-Moreno, M., "East-west variations in age, chemical and isotopic composition of the Laramide batholith in southern Sonora, Mexico," *Rev. Mex. Ciencias Geol.*, vol. 26, no. 3, pp. 543–563, 2009.
- [19] Ferrari, L., López-Martínez, M., and Rosas-Elguera, J., "Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate," *Tectonics*, vol. 21,

- no. 4, pp. 17-17-24, 2002, doi: 10.1029/2001TC001302.
- [20] Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., and Bryan, S., "Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de norteamérica," *Boletín la Soc. Geológica Mex.*, vol. 57, no. 3, pp. 343-378, 2005, doi: 10.18268/BSGM2005V57N3A5.
- [21] Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Bryan, S. E., López-Martínez, M., and Silva-Fragoso, A., "Cenozoic magmatism and extension in western Mexico: Linking the Sierra Madre Occidental silicic large igneous province and the Comondú Group with the Gulf of California rift," *Earth-Science Rev.*, vol. 183, pp. 115-152, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.EARSCIREV.2017.04.006.
- [22] Nourse, J. A., Anderson, T. H., and Silver, L. T., "Tertiary metamorphic core complexes in Sonora, northwestern Mexico," *Tectonics*, vol. 13, no. 5, pp. 1161-1182, 1994, doi: 10.1029/93TC03324.
- [23] Wong, M. S. and Gans, P. B., "The 40Ar/39Ar thermochronology of core complexes and other basement rocks in Sonora, Mexico: Implications for Cenozoic tectonic evolution of northwestern Mexico," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 115, no. B7, Jul. 2010, doi: 10.1029/2009JB007032.
- [24] Valencia, V., Ruiz, J., Barra, F., Ochoa-Landín, L. H., Pérez-Segura, E., and Espinoza, E., "La Caridad porphyry Cu-Mo deposit: a porphyry-epithermal transition in the southwest North America Porphyry Copper Province," 2003.
- [25] Tili, C. B., Gans, P. B., Spera, F. J., MacMillan, I., and Blair, K. D., "Perils of petro-tectonic modeling: A view from southern Sonora, Mexico," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 186, no. 3-4, pp. 160-168, Oct. 2009, doi: 10.1016/J.JVOLGEORES.2009.06.014.
- [26] Hammarstrom, J. M. and Zen, E., "Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer," *Am. Mineral.*, vol. 71, no. 11-12, pp. 1297-1313, 1986.
- [27] Mutch, E. J. F., Blundy, J. D., Tattitch, B. C., Cooper, F. J., and Brooker, R. A., "An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 171, no. 10, 2016, doi: 10.1007/s00410-016-1298-9.
- [28] Holland, T. and Blundy, J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 116, no. 4, pp. 433-447, 1994, doi: 10.1007/BF00310910.
- [29] Dodson, M. H., "Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 40, no. 3, pp. 259-274, 1973.
- [30] Chew, D. M., Sylvester, P. J., and Tubrett, M. N., "U-Pb and Th-Pb dating of apatite by LA-ICPMS," *Chem. Geol.*, vol. 280, no. 1-2, pp. 200-216, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.CHEMGEO.2010.11.010.
- [31] Cherniak, D. J., Lanford, W. A., and Ryerson, F. J., "Lead diffusion in apatite and zircon using ion implantation and Rutherford Backscattering techniques," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 55, no. 6, pp. 1663-1673, Jun. 1991, doi: 10.1016/0016-7037(91)90137-T.
- [32] Donelick, R. A., O'Sullivan, P. B., and Ketcham, R. A., "Apatite fission-track analysis," *Rev. Mineral. Geochemistry*, vol. 58, pp. 49-94, 2005, doi: 10.2138/rmg.2005.58.3.
- [33] Green, P. F., Duddy, I. R., Gleadow, A. J. W., Tingate, P. R., and Laslett, G. M., "Thermal annealing of fission tracks in apatite: 1. A qualitative description," *Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect.*, vol. 59, no. C, pp. 237-253, Jan. 1986, doi: 10.1016/0168-9622(86)90074-6.
- [34] Carlson, W. D., Donelick, R. A., and Ketcham, R. A., "Variability of apatite fission-track annealing kinetics: I. Experimental results," *Am. Mineral.*, vol. 84, no. 9, pp. 1213-1223, Sep. 1999, doi: 10.2138/AM-1999-0901.
- [35] Gleadow, A. J. W., Duddy, I. R., Green, P. F., and Lovering, J. F., "Confined fission track lengths in apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 94, no. 4, pp. 405-415, 1986, doi: 10.1007/BF00376334.
- [36] Hasebe, N., Barbarand, J., Jarvis, K., Carter, A., and Hurford, A. J., "Apatite fission-track chronometry using laser ablation ICP-MS," *Chem. Geol.*, vol. 207, no. 3-4, pp. 135-145, Jul. 2004, doi: 10.1016/J.CHEMGEO.2004.01.007.
- [37] Hasebe, N., Tamura, A., and Arai, S., "Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating," *Isl. Arc*, vol. 22, no. 3, pp. 280-291, Sep. 2013, doi: 10.1111/IAR.12040.
- [38] Singer, D. A., Berger, V. I., and Moring, B. C., "Porphyry copper deposits of the world: Database and grade and tonnage models," Reston, V.A., 2002. doi: 10.3133/ofr02268.
- [39] Nourse, J. A., Anderson, T. H., and Silver, L. T., "Tertiary metamorphic core complexes in Sonora, northwestern Mexico," *Tectonics*, vol. 13, no. 5, pp. 1161-1182, 1994, doi: 10.1029/93TC03324.
- [40] Wong, M. S. and Gans, P. B., "Geologic, structural, and thermochronologic constraints on the tectonic evolution of the Sierra Mazatán core complex, Sonora, Mexico: New insights into metamorphic core complex formation," *Tectonics*, vol. 27, no. 4, Aug. 2008, doi: 10.1029/2007TC002173.
- [41] Wong, M. S. and Gans, P. B., "Tectonic implications of early Miocene extensional unroofing of the Sierra Mazatán metamorphic core complex, Sonora, Mexico," *Geology*, vol. 31, no. 11, pp. 953-956, 2003, doi: 10.1130/G19843.1.
- [42] Gallagher, K., "Transdimensional inverse thermal history modeling for quantitative thermochronology," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 117, no. 2, Feb. 2012, doi: 10.1029/2011JB008825.

Cómo citar este artículo:

Noury, M., & Calmus, T. (2022). TERMOBAROMETRÍA Y TERMOCRONOLOGÍA: APLICACIONES AL ESTUDIO DE LOS PÓRFIDOS DE COBRE DE LA CARIDAD Y SUAQUI VERDE. *EPISTEMUS*, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.206>



CONCIENCIA AMBIENTAL EN ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA

Environmental awareness in students at the university of sonora

Resumen

La presente investigación tiene el objetivo de conocer los comportamientos, las actitudes y los valores ambientales con los que cuenta un grupo de 68 estudiantes de los Departamentos de Biología, Ciencias Químico-Biológicas e Ingeniería de la Universidad de Sonora. Es un estudio de corte mixto y transversal donde se aplicó un instrumento de 18 variables a 18 estudiantes de Ingeniería, 23 de Biología y 27 de Ciencias Químico-Biológicas. Se realizó un análisis descriptivo y correlacional comparativo de los datos obtenidos. Los resultados indican que los jóvenes tienen apertura y disposición para la protección del ambiente y para contribuir en la solución de la problemática ambiental. Se concluye en este estudio que se pueden generar oportunidades que favorecerán la colaboración integral entre estudiantes, profesores y autoridades universitarias, que repercutan en la protección del ambiente y se fortalezca la conciencia ambiental para coadyuvar en la meta del ODS 4, Educación de Calidad, un ejemplo de estas acciones es concebir un curso tipo MOOC que integre competencias profesionales relacionadas con el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: actitudes ambientales, conciencia ambiental, sustentabilidad, Universidad de Sonora, ODS

Abstract

The objective of this research is to know the behavior, attitudes, and environmental values of a group of 68 students from the Departments of Biology, Chemical-Biological Sciences and Engineering of the University of Sonora. This is a mixed cross-sectional study where an instrument of 18 items was applied to 18 Engineering students, 23 Biology students and 27 Chemical- Biological Sciences students. A comparative descriptive and correlational analysis of the data obtained was carried out.

The results indicate that the students are open and willing to protect the environment and contribute to solve environmental problems. This study allowed generating opportunities that will favor comprehensive collaboration between students, professors and university authorities, which have an impact on the protection of the environment and strengthen environmental awareness to contribute to the goal 4, of SDG, Quality Education, an example of these actions is design a MOOC-type course that integrates professional skills related to caring for the environment.

Keywords: environmental attitudes, environmental awareness, sustainability, University of Sonora, SDG.

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Karla Pérez Gámez ¹

Juana Alvarado Ibarra ²

Alfonso Corte López ³

Recibido: 24 / 09 / 2021

Aceptado: 17 / 01 / 2022

Publicado: 20 / 01 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.179>

Autor de Correspondencia:

Karla Pérez Gámez

Correo: karla.perez@unison.mx

¹ M.S. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, karla.perez@unison.mx, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0910-6069>

² Dra. Departamento de Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, juana.alvarado@unison.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3837-1694>

³ Dr. Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, alfonso.corte@unison.mx Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3857-7855>.



INTRODUCCIÓN

El Programa de Desarrollo Institucional 2017-2021 de la Universidad de Sonora, en el apartado de objetivos estratégicos 12.3 Desarrollo Sustentable, establece como objetivo general que, para fortalecer a la Universidad de Sonora, se debe incorporar la dimensión de sustentabilidad en sus actividades sustantivas y de gestión, mejorando la comunicación y difusión en la materia. Entre sus objetivos específicos tiene establecido [1]:

- » Fortalecer la formación de los alumnos, la generación y aplicación del conocimiento, así como las relaciones con el entorno en beneficio del desarrollo sustentable.
- » Ampliar y desarrollar en la comunidad universitaria la cultura del desarrollo sustentable.

Asimismo, establece las siguientes líneas de acción:

- » Diseñar oferta educativa orientada a la formación de recursos humanos especializados en materia de desarrollo sustentable.
- » Apoyar iniciativas de investigación, innovación y difusión que aborden el desafío de la sustentabilidad como un elemento formativo e impulsen campus sustentables.
- » Fomentar la formación de grupos interdisciplinarios en el tema de sustentabilidad.
- » Promover la inclusión de proyectos de servicio social, prácticas profesionales, así como asesoría y consultoría en materia de sustentabilidad.
- » Ofrecer cursos, talleres y diplomados en el Programa de Educación Continua en materia de sustentabilidad.
- » Actualizar los lineamientos generales para asegurar el uso sustentable del agua, la energía, la gestión de residuos sólidos no peligrosos y peligrosos; y otros insumos institucionales.

La complejidad planteada necesita respuestas y soluciones y eso exige que la comunidad universitaria pase

de una actitud sumisa a una actitud crítica, que conduzca a una consciencia de índole ambiental. Para lo anterior, mediante este trabajo se requiere: a) el conocimiento de la realidad ambiental y la identificación de problemas, b) la comprensión de los procesos sociales, históricos y ecológicos, c) el desarrollo de una sensibilidad ambiental, d) la búsqueda de soluciones y medios de acción disponibles. Se busca desarrollar: la parte cognitiva (ideas), que incluye el grado de información y conocimiento sobre cuestiones relacionadas con el medio ambiente; la parte afectiva (emociones), la cual se refiere a la percepción del medio ambiente, creencias y sentimientos en materia medio ambiental; la parte conativa (actitudes), refiriéndose a la disposición a adoptar criterios pro ambientales en la conducta, manifestando interés o predisposición a participar en actividades y aportar mejoras; por último, la parte activa (conductas), como la realización de prácticas y comportamientos ambientalmente responsables, tanto individuales como colectivos, incluso en situaciones comprometidas o de presión.

Se persigue con ello que, alcanzando un grado de consciencia ambiental, el individuo adquiera un compromiso con el desarrollo sostenible que le permite integrar la variable ambiental como valor en su toma de decisiones diaria a partir de unos niveles mínimos en sus dimensiones cognitiva, afectiva, conativa y activa [2].

Con base en lo anterior, se planteó un estudio de investigación en la Universidad de Sonora, buscando realizar un diagnóstico de sostenibilidad en los estudiantes dentro de su ámbito universitario, buscando respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son sus ideas y conocimientos en materia del cuidado del ambiente? ¿En qué grado se sienten informados sobre este tema en el centro de estudios? ¿Qué percepción tienen de la gravedad del problema medioambiental? ¿Qué hábitos y



comportamientos personales llevan a cabo en este campo? y ¿Cuál es su actitud o predisposición para participar o realizar determinados esfuerzos por una universidad más sostenible? Así mismo, el estudio tuvo como fin comprobar si las iniciativas de educación ambiental puestas en marcha tienen suficiente apropiación entre el alumnado, si se logra con ellas que determinados valores o actitudes pro ambientales queden asentados en su conducta. Desde hace décadas, se ha enfatizado que la educación ambiental ha de abordarse; en el Seminario Internacional de Educación Ambiental celebrado en Belgrado en el año de 1975, se propuso como objetivo lograr que la población mundial tome conciencia sobre el medio ambiente en el que vive y se interese por él y sus problemas [3] [4] [5] [6], razón por la cual la educación ambiental no debe dejar de implementarse en las instituciones de educación, pues solamente así, veríamos reflejados los resultados en una mayor conciencia ambiental de los estudiantes.

Según Febles (2004) [7] la conciencia ambiental es definida como el sistema de vivencias, conocimientos y experiencias que el individuo utiliza activamente en su relación con el medio ambiente, infiriendo la presencia de subjetividad en el proceso de interrelación con el entorno. Por lo tanto, la concienciación ambiental es indispensable para lograr conductas sustentables. De acuerdo a Grana (1997) [8], tomar conciencia, es el apoyo y sostén insustituible para efectivizar las responsabilidades que corresponden a cada nivel de decisión, que permita que las personas asuman sus deberes ambientales y al mismo tiempo, defiendan sus derechos ecológicos, reclamando y obligando a que los otros: personas e instituciones civiles y gubernamentales, cumplan con sus propios deberes diferenciados en la preservación y construcción de un ambiente sano. En nuestro país, el conocimiento y la concientización ambiental se han venido construyendo desde la ciencia en general, que, si bien se aborda desde un enfoque especializado, que por otro lado se ha restringido el desarrollo de nuevas aproximaciones, principios y perspectivas para la comprensión. Frente a esta realidad, se hace necesario insistir en revisiones más profundas que permitan identificar tres aspectos fundamentales a saber: la construcción de la teoría del conocimiento y conciencia ambiental, la metodología que se ha seguido sobre el objeto de estudio y el nuevo conocimiento construido sobre ese objeto de estudio [9]. En el contexto internacional, de acuerdo al Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (United Nations International Children's Fund por sus siglas en inglés) (UNICEF) la concientización ambiental debe promoverse aún más, pues actualmente en octubre del año 2021 emitió un llamado a todos los gobiernos de América Latina y el Caribe para que “establezcan mecanismos para involucrar sistemáticamente a los y las jóvenes en todas las negociaciones y decisiones climáticas nacionales, regionales e internacionales, así como para incorporar la educación climática en el plan de estudios escolar para todos los niños y niñas” [10]



METODOLOGÍA

La presente investigación es de corte mixto y transversal, consistió en recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa en un periodo de tiempo comprendido en el semestre 2020-1 en una población de estudiantes de la Universidad de Sonora. Se seleccionó el instrumento construido por Mattas-Terrón y sus colaboradores [11] sobre actitudes hacia el medio ambiente, dirigido a los estudiantes universitarios. El periodo de estudio fue el comprendido de mayo a agosto de 2020. Participaron 68 estudiantes, 53% hombres y 47% mujeres, de edades comprendidas entre los 18 y 20 años. Los cuestionarios fueron proporcionados a los alumnos por parte del docente, quien informó con antelación acerca del objetivo del estudio, así como de la confidencialidad en el manejo de los datos. La muestra se tomó mediante invitación a la población de estudiantes inscritos en la materia de química en las licenciaturas de Químico Biólogo (QB), Ingeniería y Biología, en el semestre 2020-1; materia que se imparte en los primeros semestres de su carrera. El universo de los estudiantes se muestra en la tabla 1. Se envió la encuesta al correo electrónico institucional de los estudiantes a través del correo electrónico oficial del docente, mismo docente que les impartió esta clase de química en dicho semestre.

Tabla 1. Estudiantes universitarios de los grupos que fueron invitados a participar durante el semestre 2020-1

Programa académico	Total de alumnos inscritos en el semestre 2020-1
Químico Biólogo	40
Ingeniería	55
Biología	30
Total	125



Los autores del instrumento definieron los valores básicos que se consideraron relacionados con actitudes proambientales, las cuales se comprenden mediante las siguientes dimensiones:

- » Conocimiento: implicación del sujeto por el saber.
- » Respeto: sentimiento que lleva a reconocer los derechos de la naturaleza y de los demás.
- » Responsabilidad: capacidad de la persona de sentir cierta obligación por realizar una tarea sin la necesidad de que exista una presión externa y
- » Solidaridad: sentimiento de tener una estrecha relación con las distintas formas de ver la naturaleza y de convivir con ella.

De acuerdo con estas dimensiones, se elaboraron las variables encargadas de recoger información actitudinal correspondiente a los valores indicados. El instrumento consta de una prueba de 18 variables con probabilidad de respuesta en base a una escala de Likert con valores del 1 al 5, la cual establece lo siguiente: 1 muy de acuerdo, 2 de acuerdo, 3 indeciso, 4 en desacuerdo y 5 muy en desacuerdo. Se hizo un análisis descriptivo y correlacional mediante el análisis de los datos proporcionados por los estudiantes de los tres departamentos estudiados auxiliándonos mediante el uso del software (IBM SPSS) versión 20, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). La medición consistente se refiere al grado en que una medida está libre de errores. La prueba seleccionada para evaluar la consistencia interna y confiabilidad del instrumento fue el Coeficiente Alfa de Cronbach analizado mediante el software SPSS versión 20. El coeficiente de confiabilidad se expresa con la letra r e indica la fuerza de la asociación. El valor r varía entre -1 y $+1$, un valor de 0 indica que no existe relación entre los dos puntajes, mientras que un valor cercano a -1 o a

$+1$ indica una relación muy cercana, negativa o positiva, respectivamente. Un valor positivo indica que las personas con puntaje alto en una primera aplicación de la escala también puntuarán alto durante la segunda ocasión [12]. Una confiabilidad negativa indica un error en el cálculo o una terrible inconsistencia de la escala [13].

RESULTADOS

De la población de 125 estudiantes, se tuvo una respuesta de 68 estudiantes, que corresponde al 54.4% de la población de interés. La tabla 2 presenta el número de estudiantes por licenciatura que participaron en el estudio, así como el porcentaje muestral correspondiente.

Tabla 2. Estudiantes encuestados de los Departamentos de Químico biólogo, Ingeniería y Biología.

Programa académico	Total de alumnos que participaron	Porcentaje de participación
Químico Biólogo	27	40
Ingeniería	18	26
Biología	23	34
Total	68	100

Datos sobre las actitudes, valores y comportamiento hacia el medio ambiente de los estudiantes universitarios

A continuación, se presentan los resultados del cuestionario de concienciación y actitudes ambientales aplicado a los estudiantes.

Los universitarios de las tres licenciaturas coinciden en que les gustaría que existiera una asignatura de medio ambiente en todas las carreras, así lo demuestra el 90% de



los estudiantes encuestados, un estudiante indicó estar en desacuerdo y 4 estudiantes se mostraron indecisos.

A la mayoría de los estudiantes les apetece participar en clase en debates sobre la conservación del medio ambiente. Un total de 33 estudiantes están de acuerdo, 17 muy de acuerdo, siendo la mayoría, en comparación con los 16 que se encuentran indecisos y 2 alumnos de la licenciatura en Biología están en desacuerdo.

A la mayoría de los estudiantes les hace sentir importantes trabajar en equipos con sus compañeros en alguna actividad sobre conservación del medio ambiente, siendo 30 los que están muy de acuerdo, 22 de acuerdo y 13 se encuentran indecisos, y sólo 3 estudiantes están en desacuerdo.

A la pregunta de ¿Te gustaría que se promoviera el cuidado del medio ambiente mediante actividades en los cursos que se les imparten?, 64 estudiantes están de acuerdo y 4 se encuentran indecisos.

También, los estudiantes están de acuerdo en que en sus clases se aborden temáticas relacionadas con el medio ambiente, así lo respondieron 61 estudiantes, al decir que se encuentran a favor, en contraste con 7 que se encuentran indecisos.

Resalta la respuesta de 66 estudiantes al manifestar estar de acuerdo en que la Universidad debe tomar más medidas a favor de la conservación del medio ambiente. Un estudiante de QB y otro de Ingeniería se encuentran indecisos.

En el cuestionamiento ¿Te motivaría y te gustaría aprender más acerca del medio ambiente, mediante excursiones o salidas donde tengan contacto con la naturaleza?, el 96.29 % de los alumnos encuestados manifiestan estar de acuerdo, el resto se encuentran indecisos.

En otra interrogante, 66 de los estudiantes encuestados se sienten muy molestos cuando se tiran desperdicios al campo o al medio ambiente cuando se realizan excursiones, sólo 2 estudiantes se encuentran indecisos.

A la pregunta del gusto en formar parte de un club o asociación en beneficio del medio ambiente donde se reúnan en un horario extra-clase, 48 estudiantes están

de acuerdo, 18 se encuentran indecisos, estos son 12 del área de Ingeniería y 6 de Químico-Biólogo y 2 alumnos de Biología están en desacuerdo.

Al 87% de los estudiantes (59 estudiantes) les agrada ver documentales sobre la naturaleza en la televisión, con la finalidad de aprender más sobre ella, el 13.24% (9 estudiantes) se encuentran indecisos.

En cuanto a la pregunta de su aceptación en participar en una manifestación medio ambiental, 75% se encuentra de acuerdo, 4% no está de acuerdo, presentándose este dato en respuestas de estudiantes de Ingeniería y 14 estudiantes, de las tres licenciaturas, se encuentran indecisos.

A los estudiantes se les preguntó si les gusta hablar del medio ambiente con los padres, una mayoría manifestó estar de acuerdo en ello (69%), mientras que 17 estudiantes de las tres licenciaturas se encuentran indecisos, 10 de ellos de Ingeniería, 3 de QB y 4 de Biología. Un 6% está en desacuerdo, aportando este valor cuatro estudiantes, tres de Ingeniería y uno de Biología.

Ante la pregunta ¿La conservación de la naturaleza es uno de tus temas favoritos?, un 69% está de acuerdo en que es uno de sus temas favoritos, el 25% se encuentra indeciso, siendo este dato aportado únicamente por estudiantes de Ingeniería, y 6% está en desacuerdo, respuesta dada por estudiantes de Ingeniería y Biología.

Ante la pregunta si la destrucción del medio ambiente es una situación que les preocupa, el 100 % de los estudiantes respondió que sí. Mismo resultado para la pregunta ¿Admiras a las personas que trabajan de manera voluntaria a favor del medio ambiente?

A continuación, en la figura 1 se muestran los resultados de la pregunta ¿Te sientes corresponsable del deterioro del medio ambiente?

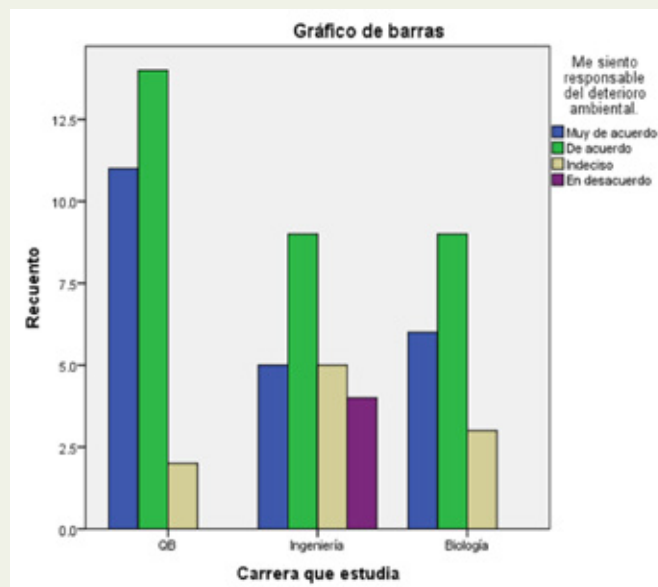


Figura 1. Me siento responsable del deterioro ambiental.



Otra pregunta que se les hizo a los estudiantes era si les gustaría obtener información sobre el medio ambiente, a 56 estudiantes si les gustaría, 9 estudiantes se encuentran indecisos y 3 están en desacuerdo.

Finalmente, un 94% de ellos piensan que su comportamiento puede contribuir en la mejora del medio ambiente y 6% se encuentran indecisos.

En cuanto al análisis de fiabilidad del instrumento aplicado, el coeficiente Alfa de Cronbach obtenido fue de $r: 0.869$ (en una escala de -1 a 1) lo que indica que el instrumento es confiable, ya que se obtuvo un Alfa de Cronbach muy cercano a 1.

DISCUSIÓN

Primeramente, discutiremos acerca de la consistencia interna del instrumento aplicado para confirmar la confiabilidad de este instrumento y los resultados de este estudio. El valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,70; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Por su parte, el valor máximo esperado es 0,90; por encima de este valor se considera que hay redundancia o duplicación [14]. Esto se entendería entonces, como que varias variables están midiendo exactamente el mismo elemento de un constructo; por lo tanto, estas variables redundantes deben eliminarse. Usualmente, se prefieren valores de alfa entre 0,80 y 0,90 [15] y el resultado obtenido se encuentra dentro de este rango ($r: 0.869$).

Con base en los resultados se analiza lo siguiente: los jóvenes tienen interés y disposición para realizar acciones en pro del ambiente, en participar en organizaciones y en que se les enseñe sobre temas de la realidad ambiental; similares resultados se obtuvieron en una investigación previa de la misma Universidad de Sonora con estudiantes de economía, estudiantes que están de acuerdo a participar o que se les involucre más en actividades en beneficio del medio ambiente; además de dar a conocer que les gustaría que se incluyera en el plan de estudios de su carrera asignaturas sobre medio ambiente o sustentabilidad [16] y con lo publicado por Moreno, Rodríguez y Favara

en cuanto al interés de los estudiantes de participar en actividades pro ambientales [17].

Las respuestas a las preguntas ¿Admiras a las personas que trabajan de manera voluntaria a favor del medio ambiente? y ¿Te sientes corresponsable del deterioro del medio ambiente?, muestran que entre los jóvenes hay una preocupación acerca de la sostenibilidad del planeta y que se tiene el interés por aprender acerca del medio ambiente y generar acciones para su mejoramiento en comunidad. Poniendo énfasis en que el ser humano es un agente modificador del ecosistema terrestre.

Los estudiantes encuestados se sienten muy molestos cuando se tiran desperdicios al campo o al medio ambiente cuando se realizan excursiones. Por lo anterior, los jóvenes tienen la creencia de que para alcanzar el equilibrio sistémico debe haber equilibrio con las acciones del ser humano.

Los jóvenes universitarios muestran preocupación acerca de aspectos relacionados con la forma en que se trata el tema medio ambiental en la Universidad. Lo anterior, ante las respuestas dada por las mayorías, manifestando su opinión en que debe haber una asignatura que hable del medio ambiente en todas las carreras de la Universidad de Sonora, así como su gusto en participar en clase en debates sobre la conservación del medio ambiente.

Ante la respuesta de la pregunta ¿Te motivaría y te gustaría aprender más acerca del medio ambiente, mediante excursiones o salidas donde tengan contacto con la naturaleza?, muestran una intención de conducta y conducta manifiesta para la acción individual, creyendo en el ecosistema como un espacio modificador del ser humano para alcanzar la habitabilidad por supervivencia.

Estos resultados son base para la creación de oportunidades de colaboración integral entre estudiantes, profesores y autoridades universitarias, que repercutan en la protección del ambiente y por ende se fortalezca la conciencia ambiental, tal sería el caso de la impartición de cursos teóricos prácticos o mediante la inclusión de los estudiantes en la resolución de problemas de índole social y ambiental que aquejan a la ciudadanía en un determinado sector de la ciudad, etc.





Aún las respuestas obtenidas por parte de los estudiantes, están relacionadas con las creencias, pero dependiendo del punto de vista de la relación sistémica entre el ser humano y el ecosistema en el cual se desarrolla, se debe direccionar la formación y gestionar la currícula en el marco de una educación para la sostenibilidad, pues de acuerdo a Pasek [18], mediante la educación ambiental, los estudiantes toman conciencia de su medio y adquieren los conocimientos, los valores, las competencias, la experiencia y la voluntad capaces de hacerlos actuar, individual y colectivamente, para resolver los problemas actuales y futuros del medio ambiente. Estos resultados concuerdan también con García y García [19], ya que las Instituciones Educativas tienen el compromiso de fortalecer una educación para la conciencia ambiental, el avance en este tema posibilitará buenas prácticas en materia de Responsabilidad Social Universitaria.

CONCLUSIONES

Las respuestas dadas por los estudiantes permitieron evaluar la conciencia ambiental de un grupo de estudiantes de la Universidad de Sonora y con ello se plantea la necesidad de una gestión curricular que posibilite un mejoramiento de la educación para la sostenibilidad en los programas de la institución, pues coincidiendo con Gomera-Martínez y colaboradores [20], la Universidad es considerada un escenario clave para fomentar las bases de una educación para el desarrollo sostenible y alcanzar los objetivos de la Agenda 2030, Agenda promovida por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU), ésta meta se puede lograr trabajando con los planes de estudio.

Además, resalta la necesidad de crear estrategias para estimular o motivar la participación de los estudiantes en las actividades a favor del medio ambiente, sobre todo en estudiantes de la carrera de Ingeniería, pues fue la única licenciatura en la que un porcentaje de los participantes, no se sienten responsables de la destrucción medioambiental, siendo que todos, directa o indirectamente somos responsables, debido a nuestras actividades diarias, y por el uso de los bienes y servicios de los cuales somos beneficiarios. Por lo que, en lo posible, se deben desarrollar e implementar diversos estudios y actividades que permitan una mayor participación entre los estudiantes y lograr incidir en su comportamiento y sensibilización hacia el medio ambiente.

Entre éstas actividades de difusión de la sustentabilidad y sensibilización con el medio ambiente que se pueden implementar con los estudiantes, se encuentra la concepción de un curso tipo MOOC (Massive Open Online Course) por sus siglas en inglés, este tipo de cursos son de modalidad de formación en línea, se caracterizan por ser masivos y en abierto, es decir, diseñados para ser impartidos a un gran número de alumnos a la vez y gratuitos. Mediante este curso se presente que se integren las competencias profesionales relacionadas con el cuidado del medio ambiente, pues mediante un curso de esta índole se lograría dar a conocer la problemática ambiental, y se podría capacitar y educar con enfoque hacia la sustentabilidad para aportar soluciones; además de sentar las bases de una educación de calidad, coadyuvando al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4 (específicamente con la meta 4.7 "De aquí a 2030, asegurar

que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible”) [21].

Lo anterior tiene la finalidad de fortalecer valores en los estudiantes, pues en acuerdo con Acebal-Expósito [22], en la escuela se formarán valores, conocimientos, habilidades, técnicas y normas de comportamiento que capacitarán a los individuos para ser miembros activos e integrados a una cultura concreta, de forma que se permita el progresivo e imparable desarrollo de la especie humana, pero también el fortalecimiento de su conciencia ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Corte-López, J. Alvarado-Ibarra y K. Pérez-Gámez, 2019. “Conciencia ambiental en estudiantes universitarios: caso UNISON”. Visión académica 2030: estrategias de universidades mexicanas. ISBN: 978-607-97911-1-0 p. 1094.
- [2] A. Gomera, 2008. “La conciencia ambiental como herramienta para la educación ambiental: conclusiones y reflexiones de un estudio en el ámbito universitario”, Córdoba, España: Universidad de Córdoba. Disponible en: <https://docplayer.es/8801082-La-conciencia-ambiental-como-herramienta-para-la-educacion-ambiental-conclusiones-y-reflexiones-de-un-estudio-en-el-ambito-universitario.html>.
- [3] A. Gomera-Martínez, F. Villamados-de la Torre, y M. Vaquero-Abellán, 2012. “Medición y categorización de la conciencia ambiental del alumnado universitario: contribución de la Universidad a su fortalecimiento” de curriculum y formación del profesorado”, Revista Ambientalización curricular y sostenibilidad. Nuevos retos de profesionalización docente. 16 (2), p. 1-21.
- [4] A. Matas-Terrán, H.Tójar, A. Benítez y L. Almeida, 2004. “Diagnóstico de las actitudes hacia el medio ambiente en alumnos de secundaria: una aplicación de la tri”. Revista de Investigación Educativa. 22 (1) p. 233-244.
- [5] Cronbach LJ, Meehl PE. 1955. Construct validity in psychological tests. Psychol Bull. 52 p. 281-302.
- [6] D. Gil-Pérez, 2003. “A Proposal to Enrich Teacher’s Perception of the State of the World: First Results”. Environmental Education, 9 (1), p. 67-90.
- [7] E. Pasek, 2004. Hacia una conciencia ambiental. Educare, 8 (24), p. 34-40.
- [8] Febles, M. (2004) Sobre la necesidad de la formación de una conciencia ambiental. Cuba: Universidad de La Habana, Facultad de Psicología.
- [9] Grana, R. (1997). Ambiente, Ciencia y Valores. Fundamentos científicos y axiológicos de la ecología. Buenos Aires, Argentina: Espacio Editorial.
- [10] Hernández-Quiroz, E., Zizumbo-Villarreal, L., & Pérez-Ramírez, C. (2016). La construcción del conocimiento ambiental en México. Revista Ateliè Geográfico, 10(1), 52-72. <https://doi.org/10.5216/ag.v10i1.37040>
- [11] J. A. García y D. A. García, «Conciencia ambiental en estudiantes universitarios: eLearning y eMarketing para la sostenibilidad», RISTI, vol. 09, nº E35, pp. 16-27, 2020.
- [12] J. E. Moreno, L. M. Rodríguez y J. V. Favara, 2019. «Conciencia ambiental en estudiantes universitarios. Un estudio de la jerarquización de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS)», Revista de Psicología, 15 (29), p. 113-119.

- [13] M. Acebal-Expósito, 2010. “Conciencia Ambiental y Formación de maestras y maestros.” Tesis doctoral ed. Málaga, España: Servicios de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- [14] La Carta de Belgrado. 1975. Seminario Internacional de Educación Ambiental. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/614382/11-Carta-de_Belgrado.pdf
- [15] Objetivos de Desarrollo Sostenible. 2015. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Disponible en: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-developmentgoals.html>
- [16] OVIEDO, H. C. y CAMPO-ARIAS, A 2005. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. rev.colomb.psiquiatr. 34 (4), p.572-580. ISSN 0034-7450
- [17] Plan de Desarrollo Institucional, Universidad de Sonora. Disponible en <https://www.unison.mx/institucional/pdi2017-2021.pdf>, Consultado el 22 de marzo de 2021.
- [18] Krus DJ, Helmstadter GC. 1993. The problem of negative reliabilities. Educ Psychol Meas. 53 p.643-50.
- [19] Streiner DL. 2003. Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency. J Pers Assess. 80 p. 99-103.
- [20] UNESCO, 1975. UNESCO.ORG. [En línea] Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000017772_spa [Último acceso: 4 abril 2021].
- [21] UNESCO, 1987. “Elementos para una estrategia internacional de acción en materia de educación y formaciones ambientales para el decenio 1990, Moscú: UNESCO-PNUMA”.
- [22] UNICEF. 2021. Sólo el 4 por ciento de los y las jóvenes activistas en América Latina y el Caribe considera que “la acción climática es suficiente” Nota de prensa. Disponible en: <https://www.unicef.org/lac/comunicados-prensa/la-accion-climatica-suficiente-dijo-solo-el-4-por-ciento-de-la-juventud>

Cómo citar este artículo:

Pérez, K., Alvarado Ibarra, J., & Corte López, A. (2022) CONCIENCIA AMBIENTAL EN ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA . EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.179>



METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA MEJORA EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CACAHUATES SALADOS BOTANEROS

Methodology for improvement capacity installed in a production line of salted peanuts

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Gladys Irasema Granich Armenta ¹
Maria Elena Anaya Perez ²

Recibido: 28 / 06 / 2021

Aceptado: 12 / 01 / 2022

Publicado: 21 / 01 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.165>

Autor de Correspondencia:
Gladys Irasema Granich Armenta
Correo: a210209553@unison.mx

Resumen

El proyecto se enfoca en el análisis de la capacidad de producción en una empresa productora de cacahuates salado botanero la cual actualmente realiza sus actividades de forma no industrializada omitiendo la estandarización adecuada, por lo que se ve afectada respecto a la demanda o los objetivos proyectados en el mercado local. Con lo antes mencionado y en base a su crecimiento y demanda planeada para los próximos 5 años, se elabora una propuesta con la finalidad de cumplir ese objetivo. La capacidad instalada podía abastecer 67,410 piezas anualmente cuando se pronosticaba venta superior a 158,760 piezas. Se presenta el análisis comparativo realizado entre dos alternativas relacionadas con la adquisición de nueva maquinaria o contratación de operarios para el incremento de mano de obra, al área de producción.

Palabras clave: capacidad Instalada, Cacahuates, Análisis de Costos, SIPOC.

Abstract

The project focuses on the production capacity analysis in a company that produces salty peanut botanero which currently carries out its activities in a non-industrialized way, omitting the adequate standardization, so it is affected by the demand or the projected objectives in the local market. According mentioned and based on its growth and planned demand for the next 5 years, a proposal is prepared in order to meet that objective. The installed capacity could supply 67,410 pieces annually when sales of more than 158,760 pieces were forecast. The comparative analysis carried out between two alternatives related to the acquisition of new machinery or hiring of operators to increase the workforce, to the production area.

Keywords: capacity, Peanuts, Cost Analysis, SIPOC.

¹ Maestría, Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, a210209553@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9413-715X>

² Doctorado, Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, elena.anaya@unison.mx, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1050-1039>.





INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolla en la empresa Botanas del Desierto de S.A de C.V en Hermosillo, Sonora. Conforme al éxito de sus últimos años, la empresa se vio en la necesidad de modificar sus sistemas productivos artesanales a industriales, pero sin perder el interés en desarrollar una empresa con insumos locales, principalmente su materia prima que son los cacahuates, los cuales son trasladados de Rayón, Sonora para después procesarlos artesanalmente en la fábrica de Santa Ana, Sonora en presentación de bolsa retail y a granel. Salahuates (nombre comercial de la empresa) se encuentra en 270 tiendas de autoservicio y centros de consumo. Este año sumaron 200 puntos de venta en Tecate Six. Para futuro, se espera en mediano plazo aumentar la distribución en todo México y a largo plazo en Estados Unidos. En los próximos meses se planea lanzar la versión picante, uniéndose a las versiones salado y tostado natural. La empresa se vio en la necesidad de cambiar de localidad, Como estrategia de mejora relacionada con la distribución y producción de los productos y así expandirse con mayor facilidad a otras localidades. Por ello se propone hacer un análisis de la capacidad instalada de producción y proporcionar alternativas con las cuales se tenga oportunidad de cubrir los objetivos de demanda y cumplir con lo más importante: las expectativas del cliente, es decir la calidad del producto. Se busca proponer un diseño que cumpla con una producción industrial y no artesanal como lo es en este momento, considerando los siguientes puntos: la demanda proyectada, flujos de trabajo y métodos utilizados para producir de manera

adecuada sus productos, la capacidad instalada, entre otros. Lo que conllevará a la empresa a una reducción de costos de producción identificando e implementando oportunidades de mejora. Actualmente el proceso general del cacahuate es de la siguiente manera: Se recibe el cacahuate crudo del almacén (materia prima), se hace una inspección básica (no estandarizada ni controlada), pasa por un cribado para separar tamaño de cacahuate, después el cacahuate es lavado con agua para quitar residuos de tierra, etc. Con la finalidad de salar el cacahuate este se remoja con agua yodada por un determinado tiempo (es un proceso de dos estaciones), después para eliminar la humedad y es trasladado a un área de Secado (esta operación varía en tiempo ya que depende de varios factores a analizar), después pasa al área de tostado, para finalizar en su empaquetamiento.

El objetivo de este artículo es mostrar una metodología que permita conocer el estado en que se encuentra la capacidad de los sistemas productivos de la empresa, y proponer alternativas que se alineen a los objetivos de producción, maquinaria más robusta o mano de obra. Las alternativas consideran propuestas de implementación de una línea de producción industrial que pueda satisfacer la demanda de 1 tonelada de cacahuate, versión salada, por semana y un análisis costos-beneficios de la propuesta planteada. Por lo que se hará la propuesta de las alternativas para demostrar que al realizar estos análisis de capacidad instalada en la línea de producción se tendrá una propuesta para satisfacer la capacidad deseada en la línea de producción (mano de obra, maquinaria, control de procesos, etc.). Actualmente se detectan oportunidades

para aumentar la productividad de las empresas; por lo que, tiene un ciclo de producción alto relacionados a los procesos; ausencia operacional en relación con los índices de actividades productivas y no productivas, tiempo muerto del trabajador durante el proceso de producción, mermas de materia prima en la actividad cribado y empaque, se detecta el cuello de botella en el proceso de salado y empaque, no cuentan con instructivos de trabajo. Por lo tanto, se determinará la relación entre la mejora de procesos en la línea de producción. Para poder aumentar la productividad en el área de producción, se realizó una propuesta de mejorar el área de producción. Como consecuencia se obtuvo la elaboración de un manual de procesos para la línea de cacahuates salados, asimismo la propuesta de compra de una máquina cribadora, tanques para el proceso de salado con mayor capacidad y una dosificadora para el empaque. Con lo que se pretende en trabajos futuros es que estas alternativas sean medidas para poder determinar con exactitud el impacto en la línea de producción.

MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los antecedentes teóricos relacionados con este artículo en el cual se enfocan en herramientas que generan una metodología para implementar en empresas que podemos considerar poco estructuradas en sus sistemas productivos, ya que sin estas herramientas (manufactura esbelta y estudio de capacidad) es habitual tener problemas y situaciones que no controlen los recursos para mirar de mejorar la situación del flujo productivo [1].

La presente metodología elabora una guía para poder analizar los problemas y conseguir una situación controlada de la planta. Esta permite el análisis de un

flujo de los procesos, determinar los procedimientos y saber cuál es la capacidad de nuestro sistema productivo. La herramienta utilizada es la herramienta de SIPOC, un método para definir el flujo de material, desde el proveedor hasta el cliente. Por otro lado, se desarrolla un manual de procedimientos y diagrama de flujos para definir cada proceso/estación. Estas dos herramientas juntas permiten hacer un análisis de forma ordenada para poder detectar donde son los posibles cuellos de botella o problemas que afectan la línea de producción. Juntando estas dos herramientas se continua con un análisis de capacidad instalada para después hacer una propuesta de mejora en la línea de producción.

Para lograr el producto final o terminado es importante identificar el camino o el desarrollo del tipo de flujo que lleva la materia prima en todo el proceso. Entre los tipos de flujo de productos podemos citar los propuestos en [2].

- Procesos continuos: la producción es de manera lineal, sin pausas, evitando que no haya interrupciones en cada área de manufactura. Un ejemplo podemos mencionar los refrescos, leche, etc.
- Líneas de ensamble: este tipo de producción se utilizan equipos y maquinaria automática para la manufactura estandarizada. Como ejemplo están los carros, celulares, etc.
- Flujo en lotes: se hacen en conjunto o lotes como, es decir un paquete pasa pasa al mismo tiempo por cada área de producción. Puede que este tome mucho tiempo para pasar de un área a otra.
- Talleres de trabajo: Esta es bajo una orden determinada, es decir, se produce una cantidad determinada de producto final, y se basa en cada proceso.
- Proyectos: Producción limitada de productos final y materia prima, equipos y maquinaria son llevados a donde se realiza cada proceso de producción.

Para desarrollar un modelo que pueda ser efectivamente pertinente en cualquier empresa u organización, el identificar los grupos de interés, así como la información y sus procedimientos es importante [3]. Los modelos basados en el principio SIPOC (proveedor, insumo, proceso, salida y cliente), que significa lo siguiente:

- Proveedor: sistemas, personas, organizaciones u otras fuentes que proporcionan datos o información utilizada en el proceso.
- Entrada: materiales, información, recursos adicionales proporcionados por los proveedores y utilizados en el proceso.
- Proceso: un conjunto de acciones que cambian los datos de entrada a la salida.
- Salida: productos o servicios que se crean durante el proceso y que utilizan los clientes.
- Clientes: individuos, grupos de individuos, empresas, sistemas o procesos en las siguientes etapas, donde se obtienen los resultados finales [4].

Según Maier, el método SIPOC involucra una matriz de procesos para identificar, caracterizar y evaluar los





procesos permitiendo así el análisis y valoración de los aspectos que debería mejorarse o cambiarse [4]. El método es conveniente para la evaluación de particular soluciones a nivel organizacional para incrementar la efectividad de los procesos. La información sobre cada proceso es útil para la gestión de recursos y el desarrollo de los procesos cuyos resultados deseables son insuficientes.

Actualmente las empresas tienen procesos y tienen la necesidad de controlar los procesos para que este se ejecuten de una manera productiva y más que nada estandarizado por lo que es importante el control interno para minimizar los errores operativos aplicado a manuales de procedimientos, los que al mismo tiempo son guías operativas para el proceso que se asigna a una persona o actividad dentro de una empresa [5].

"Un manual de procedimientos es el documento que contiene el desarrollo escrito de actividades que deben ejecutar en relación de las funciones de un área. El manual incluye además los puestos o áreas que definen las responsabilidades y ejecución".[5]

Como lo menciona Vivanco los objetivos principales al desarrollar un manual de procedimientos es para presentar una visión de la empresa, determinar las funciones asignadas a cada área, establecer la jerarquía de la empresa y que los procedimientos sean contables.

El análisis de la capacidad instalada se realiza por lo general en un período de tiempo en específico es probablemente que esta pueda variar durante el día, semana, mes o año. Por lo tanto, se reporta el promedio de un período. Existen distintas formas para la medición de la capacidad instalada en función de la especificación de los equipos y maquinaria, de su producción posible y del número de trabajadores relacionados al proceso de producción. Fuera del método a utilizar, es importante poder diferenciar y aislar los aumentos razonables en la producción de los incrementos que reflejan mayor uso. [6] Los factores para la medición más utilizados son: comparación de la producción actual y la producción máxima alcanzada recientemente, encuestas a empresa sobre el grado de utilización de la capacidad instalada,

indicadores indirectos como el número de turnos trabajados, horas y cantidad de materia prima.

El autor Baca Urbina menciona que, para tomar la decisión de la compra de equipos, se debe tomar en cuenta los siguientes factores para poder pensar en un conjunto de consideraciones y cálculos los cuales serán de mayor beneficio al momento de ejecutar una inversión:

- Proveedor: identificar cuáles son y adquirir formalmente cotizaciones.
- Precio: sirve para calcular la cantidad económica de inversión.
- Capacidad de producción: es importante ya que sirve para no tener una capacidad mayor o menor a la necesaria.
- Mano de obra necesaria: para calcular el costo de la mano de obra directa y el nivel de capacitación necesario.
- Costo de mantenimiento: para saber la durabilidad de los equipos o maquinaria y esto se calcula anualmente.
- Consumo energético: calcular cuántos watts consumirá, según lo indicado en el equipo.
- Reducción de costos por pérdidas generadas: tiene en cuenta el material desechado y la mano de obra que se utilizó. [7]

Análisis costo-beneficio.

Como lo indica Aguilera [8] las empresas deben tener en cuenta que a manera que éstas van creciendo se ven en condiciones limitadas para generar mayores ingresos o simplemente tener productos de mejor calidad en aspectos de maquinaria o equipos de producción, por lo cual, deben invertir en proyectos que presentan mayores beneficios en la producción o en los objetivos estratégicos de la empresa para obtener rentabilidad en un tiempo definido. Tener conocimientos previos de sus ingresos y egresos es importante para poder implementar o desarrollar inversiones a un futuro para eso se requiere un análisis de beneficio/costo. Las herramientas que se utilizan para determinar el costo/beneficio son:

Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN): Es la inversión inicial negativa y por los flujos de fondo futuros (positivos o negativos).

$$VPN = \frac{\text{Valor final}}{(1 + \text{interés})^{\text{numero de años}}} \quad (1)$$

El periodo de repago: El pago se refiere al tiempo que tarda un proyecto en devolver su inversión inicial. Por lo tanto, es una medida rápida de cuánto tiempo la inversión está en riesgo [9]. Es el periodo en el que se pretende recuperar la inversión realizada inicialmente.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Utilidad anual promedio}} \quad (2)$$

Razón Beneficio Costo (RB/C): Es el valor actual de beneficios del proyecto y el valor actual de los costos de este. Dando aquí las ventajas del proyecto, las desventajas y el valor del dinero en el tiempo.

$$\text{Relación } B/C = \frac{\text{Valor presente de los ingresos}}{\text{Valor presente de los costos}} \quad (3)$$

Se considera como un conjunto de análisis a través de la aplicación de técnicas con fundamentos teóricos que a través de argumentos confiables y reales brindan soporte a la toma de decisiones, siendo las más utilizadas el valor presente neto (VPN), la relación beneficio/costo (RB/C) y la tasa interna de retorno (TIR). Las empresas pueden optar por usar una o más técnicas de acuerdo con la necesidad de información que precisen.[10]

Metodología

La metodología (figura 1) para la medición de la capacidad instalada de los sistemas de producción está basada, para mostrar el desarrollo en las etapas de medida y análisis con las cuales se ha proporcionado una visualización del sistema de producción (diagrama de flujo en la figura 1) por lo que se desarrollan distintas fases.



Figura 1 Diagrama de flujo de producción

La primera fase tiene como finalidad conocer cómo se llevan a cabo las actividades, determinar la estandarización de los procesos (elaboran procedimientos y formatos) analizar los pasos del proceso para reducir el ciclo de tiempo o aumentar la calidad, utilizar el proceso actual como punto de partida para llevar a cabo proyectos de mejora. Por ello se detallan las etapas en las siguientes secciones:



Figura 2 Metodología Propuesta



Fase 1: Preliminar

Esta etapa consiste en identificar y desarrollar un manual de procedimientos, con el fin de saber y establecer cómo está la situación actual de la línea de producción y conocer las características con las que actualmente se están realizando las actividades, por ello se mostrarán dentro del manual diferentes herramientas:

- Metodología SIPOC: El objetivo de esta actividad es entender cómo funciona y opera el área de producción, es decir, procesos involucrados, como se alimenta y personal involucrado, se puede utilizar equipo de video para disponer del detalle de cada uno de los procesos.
- Diagrama de flujo: El objetivo de realizar este tipo de representación es para indicar la secuencia y su funcionamiento de cada proceso, para poder comprenderlo y estudiarlo para tratar de mejorar estos mismos.
- Caracterización de los Procesos: Se realizará un análisis profundo de los procesos teniendo en cuenta los elementos (entradas y salidas) que con llevan cada proceso de producción, desde un inicio y un final. Es necesario realizar las fichas de proceso para que sea la base de la elaboración del manual de procedimientos.

Como resultado del conjunto de las herramientas anteriores se tendrá el manual de procedimientos que sirve como un documento de control interno para obtener información detallada, organizada y sistemática de las instrucciones, responsabilidades y flujo de información sobre el sistema de producción y sus distintas operaciones dentro de esta misma área, es decir cada proceso se caracterizará

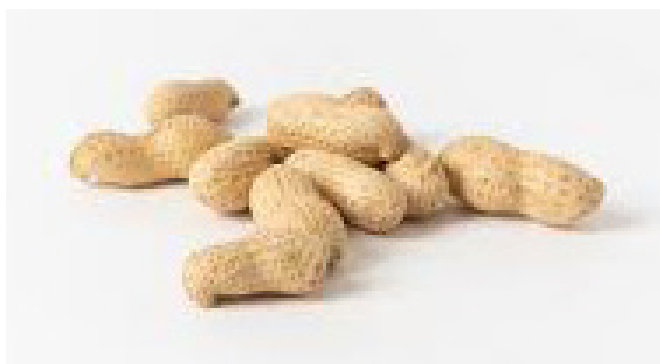


Fase 2: Medición

En esta etapa se va a determinar la capacidad de cada proceso con los siguientes pasos:

- Identificar métricas claves de entrada y salida.
- Recopilar datos de acuerdo con el plan de recolección de datos.
- Entender el comportamiento del proceso.
- Calcular la capacidad instalada actualmente y compararla con la proyectada.
- Comparativo de la capacidad de la maquinaria/ equipos propuestos.





Fase 3: Análisis

- **Análisis de costo-beneficio:** Realizar una comparación de las relaciones beneficios-costos de propuesta de maquinaria nueva contra la actual de la siguiente manera: se llevará a cabo de una investigación sobre el costo y beneficio de la maquinaria que se propone para que los procesos sean de manera industrializada, considerar la instalación de ellos y su capacidad, hacer un análisis de cuanto es la capacidad máxima que puede producir para determinar las ganancias anuales y el retorno de esta inversión.
- **Factibilidad:** Determinar el beneficio total de cada decisión propuesta y calcularla mediante la diferencia entre los beneficios presentes y futuros, y los costos necesarios para su realización por medio de la razón costos-beneficios.

Fase 4: Resultados

En esta sección se deben de mostrar los principales descubrimientos del trabajo y se responde a las preguntas de investigación, prueba las hipótesis que se determinaron bajo los objetivos específicos al comienzo de este documento. Es decir, se obtendrá una propuesta tangible de lo que la empresa necesita para poder tener una línea de producción más robusta y estandarizada, cumpliendo la proyección de demanda de producción.

RESULTADOS ESPERADOS

Con este trabajo se alcanzó a crear una metodología como guía para la documentación y análisis de los procesos para una empresa productora de cacahuates salados, estandarizando las tareas para el área de producción. En un futuro se pretende aplicar dicha metodología con la cual se tendrá como resultado: un manual de procedimientos y una propuesta de maquinaria, mano de obra nueva que se hará en base al análisis de capacidades que se muestra en este artículo para aumentar y mejorar la línea de producción de la empresa, donde se debe mencionar que la compra o cambios están limitados al alcance económico de la empresa pero es tomada en cuenta la potencialidad económica de la empresa.

CONCLUSIONES

Es importante que las empresas desde un inicio establezcan y documenten de forma estandarizadas sus



procesos, ya que en muchos de los casos cuando estas no cuentan con herramientas que les permitan mayor control y visualización de lo que son capaces como sistema productivo se genera muchos problemas y limita sus ingresos económicos. Al estandarizar e identificar las características de los procesos impacta positivamente en las empresas, como por ejemplo agilizando el proceso de iniciación de los nuevos trabajadores y la identificación de posibles errores en el proceso. Así como también una mejor utilización de la maquinaria y del recurso humano, estableciendo sus responsabilidades y objetivos por medio de manuales de procedimientos, determinando el flujo del sistema productivo, teniendo el conocimiento de la capacidad de sus equipos y maquinaria en combinación con su mano de obra, lo que esto podrá permitir a la empresa en saber si es necesario aumentar o no sus recursos para poder llegar a sus demandas de producción proyectadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. Toda Ribes, Estudio del procedimiento del análisis de mejora de una fábrica con una producción en continuo, Projecte Final de Màster Oficial, UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Organització d'Empreses, 2020.
- [2] Cuatrecasas, Lluís. Lean management. Editorial Profit, 2010.
- [3] Egle Klumbyte, Raimondas Bliudzius2 and Paris Foikades, A SIPOC based model for the sustainable management of facilities social housing, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 410, 2019.
- [4] Maier, D., Sven-Joachim, I., Fortmuller, A. and Maier, A, Development and Operationalization of a Model of Innovation Management System as Part of an Integrated Quality, Environment Safety System. Amfiteatru Economic journal. Editura vol.19, 2017.
- [5] Vivanco Vergara, M. E. Los manuales de procedimientos como herramientas de control interno de una organización, Universidad y Sociedad, 9(2), 2017.
- [6] Mundaca Fernando, Saldarriaga Miguel, Virreira Cesar, Utilización de la capacidad instalada, BCRP. Revista Moneda,

179-04, 2019.

- [7] Baca Urbina, Gabriel. Fundamentos de ingeniería económica. 2010.
- [8] Aguilera Díaz A. El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. Cofin Habana 11.2, 2017.
- [9] Whitman, David L., and Ronald E. Terry. Fundamentals of engineering economics and decision analysis. Synthesis Lectures on Engineering 7.1, 2010.
- [10] Arcentales Hidalgo, Cristhian Leonardo. Valuación de un proyecto a través del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), 2020.
- [11] Mishra, P., & Sharma, R. K. A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. International Journal of Quality & Reliability Management, 2014.
- [12] Ana, Gavriluță. Analysis of a production system with the help of lean manufacturing tools." TEHNOMUS-New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, 2017.

Cómo citar este artículo:

Granich, G., & Anaya Pérez, M. E. (2022). METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA MEJORA EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CACAHUATES SALADOS BOTANEROS. EPISTEMUS, 15(31). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.165>



La Universidad de Sonora, a través de las Divisiones de Ingeniería, de Ciencias Exactas y Naturales, así como de Ciencias Biológicas y de la Salud emite la presente invitación para participar en la

Convocatoria para recepción de manuscritos

No. 32

La revista *Epistemos* (ISSN: 2007-8196) publica artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos y comunicaciones breves sobre ciencia y tecnología y salud, dirigida a investigadores, profesores, estudiantes y profesionales en diversas áreas.

Áreas de conocimiento:

(no limitadas a los siguientes campos)

- » Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.
- » Ciencias exactas y naturales: geología, física, matemáticas electrónica y ciencias de la computación.
- » Ciencias biológicas y de la salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuicultura, salud, biología, agricultura, entre otras.

Fechas Importantes:

- » Límite de envío de manuscritos para el No. 32 Febrero 15 de 2022.
- » Publicación electrónica Junio 15 de 2022.

RECIBIMOS ARTÍCULOS DURANTE TODO EL AÑO

Envío de manuscritos: www.epistemos.uson.mx

Mayores informes: epistemos@unison.mx



SÍGUENOS

Revista Epistemos CTyS

Rosales y Blvd. Luis encinas Johnson, Hermosillo, Sonora, 83000, México





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

FORO

Internacional

8 MARZO 2022

MUJERES EN LA CIENCIA Y EN LA EDUCACIÓN

Día Internacional de la Mujer 2022

"Igualdad de género hoy para un
mañana sostenible"

PROGRAMA DEL EVENTO



PARAGUAY



"La mujer Latinoamérica: Participación Social y Política"
Dra. Lucila Bogado de Scheid
Ex Viceministra de Educación en Paraguay
(Docente Universitaria)



GUATEMALA



"La OWSD (Organización de Mujeres para la Ciencia para el Mundo en Desarrollo) en América Latina y El Caribe. Construcción de comunidades entre mujeres científicas, clave para un mañana sostenible"
Dra. Kleinsy Bonilla
Directora nacional en Guatemala de la OWSD



COSTA RICA



"Mujeres en la ciudad: caminar sin miedo, caminar hacia ciudades vivas y sostenibles"
Dra. Karla Barrantes Chaves
Docente e investigadora en Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica



MEXICO



TESTIMONIOS (video)
Mujeres Académicas-Investigadoras de UNISON (Unidad Regional Sur y Dpto. de Ciencias de la Salud)
Entrevista con: Dra. Lidia Zallas, Dra. Patricia Adán, Dra. Teresita Gaxiola, Dra. Jael Quintero, Dra. Angélica Ávila, M.C. Sheida Correa



MEXICO



"Alerta de violencia de género por agravio comparado. Una estrategia en México en el camino de la igualdad de género"
Dra. María del Rosario Molina González
Presidente de la Comisión de Inclusión y Equidad de Género UNISON



ESTADOS UNIDOS



PLENARIA
"Futuras mujeres en Ciencia, Tecnología y Educación"
M.H.S. Priscilla Berenice Valenzuela
Investigadora Universidad de Arizona



MEXICO



Dra. Nohelia Castro Del Campo
Vicepresidenta de la Asociación Nacional para la Inocuidad y Calidad Alimentaria en México
Participación de académicas y estudiantes UNISON Unidad Cajeme y Unidad Navojoa



MEXICO



"Algunas experiencias para reducir la brecha de género en Ciencias"
Dra. Lilia Meza Montes
Coordinadora del Grupo de trabajo Mujeres en la Física de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP).

18:00

CLAUSURA POR LAS AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

MODALIDAD VIRTUAL



Puntos



Departamento de Ciencias y de la Salud.

<https://www.youtube.com/channel/UC1WpTqEgc9q7Tsu6u6p4ODw>

Vicerrectoría URS Unison

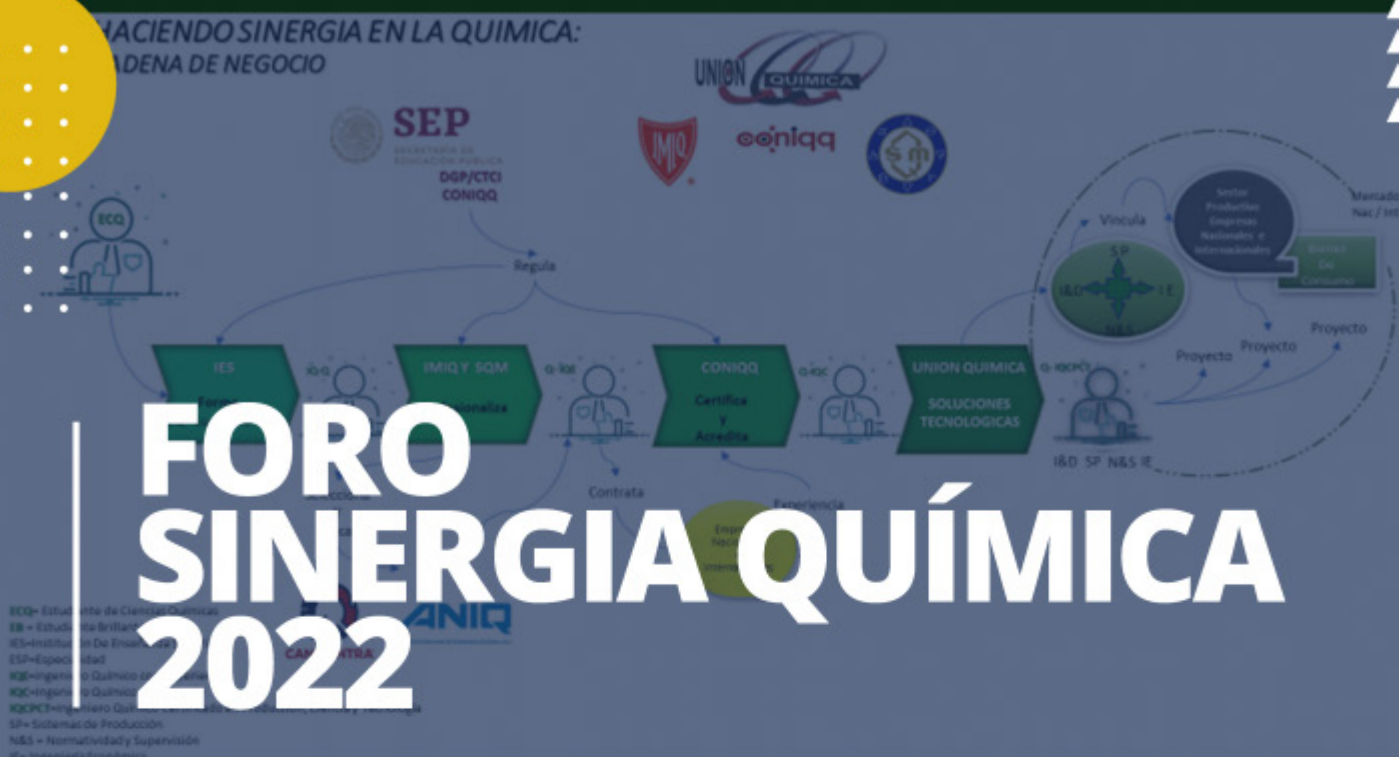
https://www.youtube.com/channel/UC_NiitmpJitNwAb7eCeDawQ

Organizado por

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
COMISIÓN DE SUSTENTABILIDAD URS
UNIVERSIDAD DE SONORA

7, 8 y 9 de junio

17:00 A 18:30 H.



FORO SINERGIA QUÍMICA 2022



CONFERENCIAS

7 DE JUNIO, 17:00 H



SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.
"La química nos une"

Programa de trabajo 2022 y actividades de coordinación con la Unión Química

Sociedad Química de México, A.C.

8 DE JUNIO, 17:00 H



Programa de trabajo 2022 y actividades de coordinación con la Unión Química

Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, A.C.

9 DE JUNIO, 17:00 H

Vinculación Institutos de enseñanza superior, organizaciones gremiales y los industriales



"Educación profesional acreditada y la certificación profesional en el mundo moderno"

Mtra. María Elena Barrera Bustillos

Los retos de la vinculación de escuelas gremios e industriales

- Dra. Alejandra Patiño Cabrera – Centro de desarrollo empresarial UNAM - CANACINTRA, de la Facultad de Economía - UNAM.
- Ing. Héctor A. Cárdenas Lara – Académico del Colegio de Pedagogía de la Facultad de Filosofía y Letras - UNAM.
- Dr. Roberto Ramiro Páez Manzur – Presidente del Sector de la Industria Química y para Química.



ACTIVIDAD VIRTUAL POR ZOOM | ACTIVIDAD SIN COSTO | REGISTRO ONLINE

55 53990875 | contacto@coniqq.mx | www.coniqq.org



50^{to} CONGRESO *de* NACIONAL QUÍMICA

13, 14 y 15 de mayo 2022
Puerto Vallarta

- 
- NEUROENDOCRINOLOGÍA
 - NANOTECNOLOGÍA
 - MICROBIOLOGÍA
 - BIOTECNOLOGÍA
 - BIOQUÍMICA AMBIENTAL
 - BIOMEDICINA
 - TRATAMIENTO DEL AGUA

MAESTROS
**VIAJA
GRATIS**
UNIVERSITARIOS

- 
- CONFERENCIAS Y TALLERES
 - HOSPEDAJE 3 DÍAS 2 NOCHES
 - ALIMENTOS Y BEBIDAS
 - CENA EXCLUSIVA
EN LA PLAYA
 - ACTIVIDADES DE
INTEGRACIÓN
 - CERTIFICADO AVALADO

ASEGURA TU LUGAR EN

www.CongresoLideres.com



/Somoslideresmx



/LideresenQuimica



477-9-10-20-30
55-74-94-93-36