

EPISTEMUS

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

UNIVERSIDAD DE SONORA, ENERO-JUNIO DE 2022, NÚMERO 32

ISSN: 2007-8196



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

INVESTIGACIÓN

Representatividad de un modelo lineal de superficie para muestra de carbón mineral

Análisis de los extractantes Cyanex 272 y Cyanex 926p para La extracción del ion litio

Amplificación de los campos electromagnéticos bajo el Plasmón de superficie

Estudio químico-mineralógico y valorización de residuos pirometalúrgicos de cerro de san pedro

Caracterización de un mineral carbonáceo e identificación del Efecto Preg-Robbing

Modelamiento y simulación de una planta de recuperación de plata con tiourea

El volcán, un depósito de hierro magmático en el NW México: distribución y características generales

Estudio del comportamiento de especies vegetales en un proceso de fitoestabilización para remediación de suelo contaminado por jal minero abandonado

Cuantificación del desgaste en brocas de barrenación diamante mediante el modelo de abrasión pura y desgaste isotrópico

Caracterización química, petrográfica y espectral de la garnierita de república dominicana

CTS EPISTEMUS

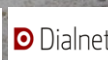
Abordaje preventivo en la enfermedad por hígado graso no alcohólico

Alternativas de recuperación para aceites lubricantes usados 79

El pilar: un caso particular en los depósitos de tipo pórfido de cobre en México

Minerales, Brocas de barrenación y recuperación de aceites

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



REPRESENTATIVIDAD DE UN MODELO LINEAL DE SUPERFICIE PARA MUESTRA DE CARBÓN MINERAL

EUNICE A. GONZÁLEZ BARRAZA, DIEGO MARTÍNEZ CARRILLO, CLAUDIA LÓPEZ-BADILLO, DANIELA M. RAMOS-MORENO

7



ANÁLISIS DE LOS EXTRACTANTES CYANEX 272 Y CYANEX 926P PARA LA EXTRACCIÓN DEL ION LITIO

YEZICA J. SOLÍS HERNÁNDEZ, JESÚS L. VALENZUELA GARCÍA, P.C. SANTOS MUNGUÍA

15



AMPLIFICACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS BAJO EL PLASMON DE SUPERFICIE

JESÚS MANUEL GUTIÉRREZ VILLARREAL, ALBERTO LUNA BRACAMONTES, ADRIAN SEPULVEDA ROMO, JORGE ALBERTO GASPAS ARMENTA, RICARDO ANDRÉS BRITTO HURTADO

20



ESTUDIO QUÍMICO-MINERALÓGICO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PIROMETALÚRGICOS DE CERRO DE SAN PEDRO

J. MARTÍNEZ BANDA, E. ESPINOSA SERRANO, G. ROSALES MARÍN, G. ALVARADO MACÍAS, J. ANDRADE MARTÍNEZ, D. P. NAVA GÓMEZ,

27



CARACTERIZACIÓN DE UN MINERAL CARBONÁCEO E IDENTIFICACIÓN DEL EFECTO PREG-ROBING

MARLEN GÓMEZ SANTIAGO, DIANA CHOLICO GONZÁLEZ, NOEMÍ ORTIZ LARA, RAMIRO ESCUDERO GARCÍA

34



MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE PLATA CON TIUREA

R. ROBLES-RAMOS, M. J. REYNA-ROBELO, D. CALLA-CHOQUE, J.S. SANTOS-JALLATH

42



EL VOLCÁN, UN DEPÓSITO DE HIERRO MAGMÁTICO EN EL NW MÉXICO: DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

MIGUEL ANGEL ENCINAS AGUIRRE, LUCAS OCHOA LANDÍN, RAFAEL DEL RIO SALAS

52



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES EN UN PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN PARA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JAL MINERO ABANDONADO

DIANA NALLELI REYNA-NÁJERA, LEONOR CORTÉS-PALACIOS, GILBERTO SANDINO-AQUINO DE LOS RÍOS, MARTIN MARTÍNEZ-SALVADOR, LUIS MIGUEL RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ

58



CUANTIFICACIÓN DEL DESGASTE EN BROCAS DE BARRENACIÓN DIAMANTE MEDIANTE EL MODELO DE ABRASIÓN PURA Y DESGASTE ISOTRÓPICO

YOSTIN ORTEGA, J. ANDRADE, G. ALVARADO, E. ESPINOSA, D. NAVA, G. ROSALES

63



CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, PETROGRÁFICA Y ESPECTRAL DE LA GARNIERITA DE REPÚBLICA DOMINICANA

DORA ELÍ VÁZQUEZ GÓMEZ, DANIEL CARRANZA GARCÍA, MARCO A. ROJAS BELTRÁN, JESSICA E. BADILLO LEYVA, JUAN JOSÉ BENÍTEZ ESPINOSA

65

CTS-EPISTEMUS



ABORDAJE PREVENTIVO EN LA ENFERMEDAD POR HÍGADO GRASO NO ALCOHÓLICO

GABRIELA LÓPEZ-ALMADA, J. ABRAHAM DOMÍNGUEZ-AVILA, GUSTAVO A. GONZÁLEZ-AGUILAR, MARIA ESTHER MEJÍA-LEÓN, NORMA J. SALAZAR LÓPEZ

71



ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN PARA ACEITES LUBRICANTES USADOS

LUCÍA ARACELI MANZANAREZ-JIMÉNEZ

79



EL PILAR: UN CASO PARTICULAR EN LOS DEPÓSITOS DE TIPO PÓRFIDO DE COBRE EN MÉXICO

SILJA AGUILAR AUSTRIA, MARTÍN VALENCIA MORENO

86

EPISTEMUS



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

EPISTEMUS. Año 16, No. 32, enero-junio 2022 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. Raúl 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 No. 04-2021-091514243200-203. 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 en: Scientific Electronic Library Online (SciELO México), 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, Catálogo de Libros y Ciencia Unison.

Y en los sitios de consulta / repositorios AURA, EZ3, Google Académico, I40C, MIAR, OpenAire, Catálogo 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: epistemus@unison.mx
Atn. Dr. José Luis Ochoa Hernández
Editor Ejecutivo

UNIVERSIDAD DE SONORA

Dra. María Rita Plancarte Martínez

Rector

Dr. Ramón Enrique Robles Zepeda

Secretaría General Académica

Dra. Rosa María Montesinos Cisneros

Secretaría 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. epistemus@unison.mx

SECRETARIO EPISTEMUS

Dr. Francisco Javier Cuen Romero

[franciscojavier.cuen \(@\) unison.mx](mailto:franciscojavier.cuen (@) unison.mx)

Departamento de Geología - 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

Dr. Francisco Javier Cuen Romero

Departamento de Geología - 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

Dra. Ramona Guadalupe Martínez Meza

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia -
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

M.A. Rafael Retes López

Departamento de Agricultura y Ganadería -
Universidad de Sonora

DISEÑO GRÁFICO

L.D.G. José Benito Montaña Dórame

PÁGINA WEB

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

EPISTEMUS es la revista de la Universidad de Sonora, encargada de la divulgación y difusión de temas relacionados con las ciencias exactas y naturales, la ingeniería y ciencias de la salud.

El carácter interdisciplinario de las publicaciones de Epistemus en estos campos conduce a nuevas propuestas de investigación y soluciones que se aplican a diversos problemas locales, nacionales e internacionales.

El consejo editorial de Epistemus agradece a los Editores Asociados nacionales e internacionales por su apoyo en la publicación de este número 32.

En resumen, se describirán los aportes de las publicaciones de esta edición, comenzando con investigaciones en el campo de la física, donde los campos electromagnéticos bajo plasmones de superficie fueron reportados por investigadores de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora y la Universidad de Sonora, ellos brindan una explicación del concepto de plasmón, superficie de gran relevancia en la física aplicada.

Por otro lado, en la sección Ciencias de la Salud, se presenta un estudio de la prevención de la enfermedad del hígado graso no alcohólico, los autores (Universidad Autónoma de Baja California, CIAD-Hermosillo) sugieren como causa la obesidad en las personas, además también plantean diferentes dietas estratégicas para prevenir esta enfermedad.

En ámbito de la ingeniería, investigadores del IPN-Biotecnología (Unidad-Sinaloa) comparten las alternativas de recuperación de aceites lubricantes usados, recomendando métodos para su rescate a lo largo de su ciclo de vida.

En este número se presentan varias publicaciones interesantes relacionadas con el campo de la geología, por ejemplo, investigadores de la Universidad Autónoma de Coahuila participan con un estudio teórico/experimental sobre un modelo de reacción para analizar la tendencia de uniformidad de cada subcuenca usando como muestra el carbón mineral. De la Universidad de San Luis Potosí se presentan tres publicaciones; la primera fue un

estudio químico-mineral y de recuperación de residuos metalúrgicos y se propone posibles opciones de manejo. También demostraron la cuantificación de la abrasión de brocas diamantadas a través del modelado de desgastes, encontrando las condiciones de mejora para el rendimiento de las brocas en perforaciones de hasta 20 m y el tercer estudio fue la caracterización de Garnierita de República Dominicana, en este estudio se presenta por primera vez resultados espectrales, químicos y petrográficos del Garnierita en esta zona actualizando los datos del mineral.

Por otra parte, investigadores de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo exponen sobre un mineral carbonoso y determinan su efecto abortivo, encontrando cómo maximizar el tratamiento y la recuperación de metales preciosos atrapados. Además, desde la UNAM comparten dos estudios, el primero sobre el modelado y simulación de una planta de recuperación de plata con tiourea, utilizando un proceso a través del software MatlabSimulink®, mientras que el segundo estudio se refiere al pilar: un caso específico en la mina de pórfido de cobre en México, que es una mina de cobre atípica ubicada en Sonora, México, cerca de la frontera con Estados Unidos.

En la UNISON se estudia sobre una mina llamada el volcán, que es un depósito de hierro magmático en el noroeste de México y se analiza sus características generales, documentando zonas en México que se podrían explorar para la extracción de Fe. En colaboración la UES y la UNISON presentan su investigación sobre la extracción de iones de litio, se evaluaron las eficiencias de extracción, como sabemos, la importancia del litio radica en su aplicación en baterías recargables. Finalmente, en la Universidad de Chihuahua investigan el comportamiento de las plantas en suelos contaminados por desechos mineros, analizando los elementos metálicos presentes en las plantas muestra.

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

Atte. Dr. Raúl Sánchez Zeferino,
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-sa/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/15> 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

epistemus@unison.mx

www.epistemus.uson.mx

Dra. María Rita Plancarte Martínez

Rector de la Universidad de Sonora

2021 – 2024



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



A lo largo de 79 años, la Universidad de Sonora se ha consolidado como el espacio idóneo para el cultivo del conocimiento científico, social, artístico, desde cualquier vertiente que posea nuestra oferta educativa.

Además, nuestra institución es también el espacio privilegiado donde generaciones de estudiantes han conformado una comunidad universitaria orgullosa de su identidad, de sus valores. Ese mismo orgullo traspasa los muros de la institución y permea en la sociedad.

Desde esta administración institucional, tenemos claro que, cada vez más, debemos insertar el saber que propicia la Universidad, en servicio de los diferentes sectores que requieran apoyo.

Con esa consigna, la Universidad de Sonora continúa su fortalecimiento, mediante un verdadero diálogo con las y los sonorenses que, durante casi ocho décadas, han tenido en la Unison a una aliada, un respaldo firme y generoso para el desarrollo de la región.

En Junio de 2021, 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 2021 al 15 de junio de 2024.

Dra. María Rita Plancarte Martínez

Representatividad de un modelo lineal de superficie para muestra de carbón mineral

Representativeness of a Linear Surface Model for Coal Samples

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Eunice A. González Barraza ¹Diego Martínez-Carrillo ²Claudia López-Badillo ³Daniela M. Ramos-Moreno ⁴

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 19 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.207>

Autor de Correspondencia:

Eunice Alejandra González Barraza

Correo: eunice_gonzalez@uadec.edu.mx

Resumen

La Región Carbonífera de Coahuila posee carbón bituminoso y sub-bituminoso con propiedades variables en sus subcuencas. Se propone un diseño factorial de 22 para desarrollar una serie de flotaciones en dos etapas (robusta y fina), determinando un modelo de reacción que prueba la tendencia de uniformidad existente dentro de cada subcuenca. Se tomaron dos muestras de la subcuenca Saltillo-Lampacitos, se prepararon a -#100, se caracterizaron y concentraron por flotación. Se propone como variable de control el Grado (%) y como variables de estudio la concentración de espumante (MIBC, [A]) y la cantidad de colector (diésel, [B]) se modeló en los programas Minitab17 y Statistica 13.3, el modelo de reacción de superficie obtenido fue $\text{Grado} = 92.396 - 0.007033[A] - 0.014194[B]$. La diferencia entre el modelo de reacción y los datos experimentales es aceptable por lo que se concluye que existe un comportamiento predictivo y hay una uniformidad dentro de la subcuenca.

Palabras clave: carbón, flotación, modelo.

Abstract

The Región Carbonífera of Coahuila has bituminous and sub-bituminous coal with variable properties in its sub-basins. A factorial design of 22 is proposed to develop a two-stage flotation series (robust and fine), determining a reaction model that tests the uniformity trend within each sub-basin. Two samples were taken from the Saltillo-Lampacitos sub-basin, prepared to -#100, characterized and concentrated by flotation. Grade (%) was proposed as a control variable and as study variables the concentration of frother (MIBC, [A]) and the amount of collector (diesel, [B]) were modeled in Minitab17 and Statistica 13.3 programs, the surface reaction model obtained was $\text{Grade} = 92.396 - 0.007033[A] - 0.014194[B]$. The difference between the reaction model and the experimental data is acceptable, so it is concluded that there is a predictive behavior and there is uniformity within the sub-basin.

Keywords: coal, flotation, model.

¹ Afiliación del autor... 1MC, Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México, eunice_gonzalez@uadec.edu.mx, Orcid 0000-0002-2292-6109.

² Afiliaciones de los coautores... 2 Dr., Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Nueva Rosita, Coahuila, México, diegomartinez@uadec.edu.mx

³ Dr., Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México, cllopezb@uadec.edu.mx

⁴ Ing., Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos", Universidad Autónoma de Coahuila, Nueva Rosita, Coahuila, México, danielaramosmoreno@uadec.edu.mx



INTRODUCCIÓN

A nivel global, el carbón suministra el 30% de las necesidades energéticas, es empleado en la generación de electricidad, así como en la fabricación de más del 70% del acero, es un notable combustible que juega un papel fundamental en la industria del cemento. Por estas razones, el carbón crece en demanda día con día, siendo producido en más de 40 países e importado por más de 70 [1].

México es conocido por ser un país minero donde sus principales yacimientos de carbón son localizados en los estados de Oaxaca, Sonora y Coahuila [2], es en este último donde podemos ubicar la Región Carbonífera poseedora de la mayor reserva de carbón del país, ocupando el primer lugar en la producción de carbón nacional aportando un 97.46% de la misma [3].

La Región Carbonífera se ubica en la porción norte-central de Coahuila y se extiende al oriente hasta incluir una pequeña área del Estado de Nuevo León. Como muestra la Figura 1, esta región está constituida por ocho subcuencas que corresponden a sinclinales amplios, cuya orientación SW-NE se ajusta a la estructura regional. Estas subcuencas se designan localmente como Sabinas, Esperanzas, Saltillo-Lampacitos, San Patricio, Las Adjuntas, Monclova y San Salvador [4-7].

Cabe destacar que esta zona está comprendida por carbones que van del sub-bituminoso tipo A al bituminoso bajo volátil [8-10]. Su uso es comúnmente para la industria siderúrgica, como combustible y reductor de menas metálicas en los altos hornos, o para la industria térmica como combustible pulverizado en la producción de energía eléctrica [11-13].

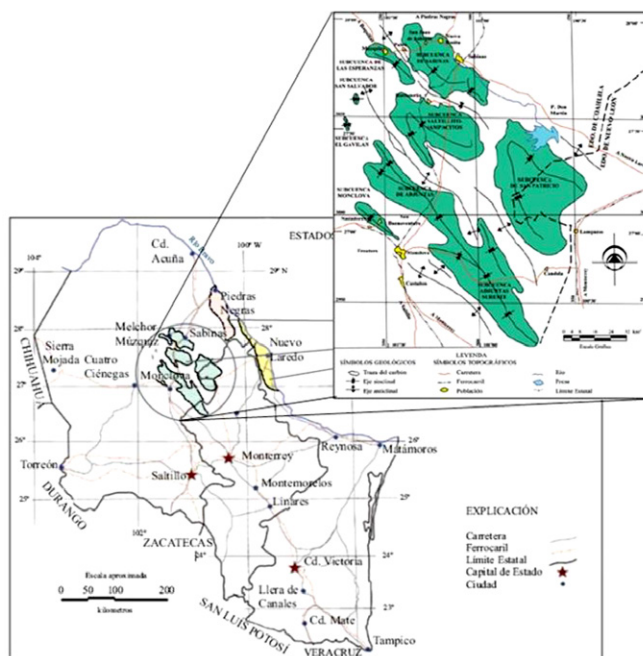


Figura 1. Localización de las subcuencas carboníferas de Coahuila, México [14].

Para determinar la calidad del carbón se establece las cantidades relativas de humedad, materias volátiles, carbono fijo, materia mineral (cenizas), y poder calorífico, estos análisis realizados por métodos estandarizados son considerados primarios o próximos y aunque su realización es sencilla, los resultados sirven para la selección de



un carbón propicio con base a su uso tecnológico [15].

Como se mencionó anteriormente, el carbón de la región es variable, puesto que cada subcuenca se comporta de manera distinta entre sí, sin embargo, conserva cierta tendencia de uniformidad dentro de cada una de ellas, como se aprecia en la Figura 2, donde se observan la ceniza y el poder calorífico presentes en las subcuencas Sabinas y Saltillo-Lampacitos.

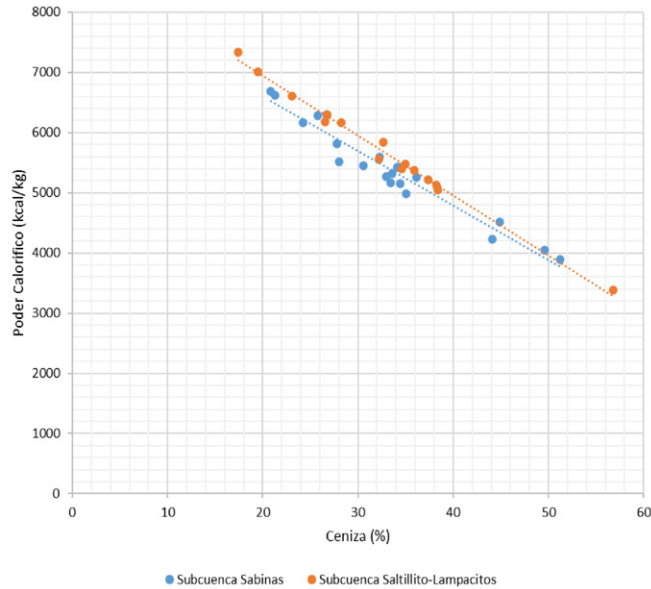


Figura 2. Comparación de ceniza vs poder calorífico en carbones de las subcuencas Sabinas y Saltillo-Lampacitos [16].

Estas propiedades fisicoquímicas tienen un efecto muy marcado al momento de realizarse una concentración por flotación, donde se requiere de un modelo propicio que entrelace el grado de recuperación con las variables controlables del proceso.

Por lo cual, se hará uso de los diseños factoriales y/o modelos de superficie de reacción para ayuden a describir los comportamientos de flotación por espuma, lo cual ha

sido comprobado en diversas investigaciones [17-19]. El objetivo de esta investigación es demostrar que el carbón de la región carbonífera no solo obedece cierta tendencia a través de las variables de caracterización, sino también al modelo de superficie de reacción de la flotación, de dos muestras de una misma subcuenca.

METODOLOGÍA

Recolección y preparación de muestra

El carbón todo uno (CTU), empleado en esta investigación proviene de la subcuenca Saltillo-Lampacitos ubicada dentro de la localidad de Aura, Coahuila. La recolección se realizó en dos fases de acuerdo a la Norma ASTM D 2234, obteniéndose 2 muestras de 30.705 kg y 25.050 kg respectivamente.

Con base a la Norma ASTM D2013-86 las muestras de CTU se llevaron al laboratorio de análisis físico-químicos de carbón y se introdujeron a la estufa de secado a una temperatura de 107 °C ± 3 °C por un lapso de 20 min, posteriormente se homogenizaron y cuartearon obteniéndose las muestras representativas necesarias en el análisis próximo de carbón y las pruebas de flotación.

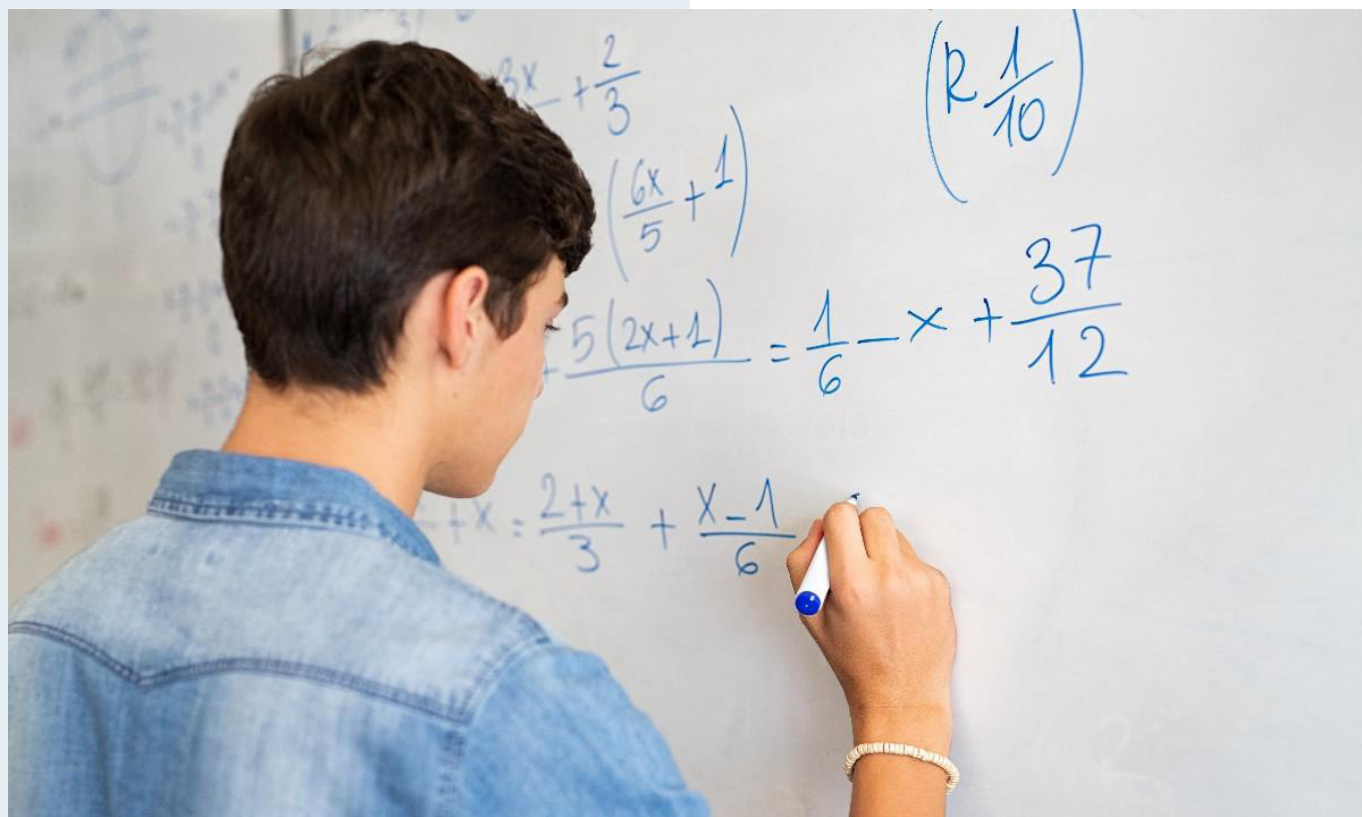
Una vez caracterizado el CTU, se tamizó a -#100 ambas muestras, ambas muestras se volvieron a caracterizar acorde a las normas ASTM correspondientes (ASTM D3173, ASTM D3174-97, ASTM D3286-96) y estas se dispusieron para el desarrollo experimental de la concentración de carbón por flotación.

Diseño experimental.

Se desarrolló un diseño experimental factorial de 22 para la modelación del comportamiento de la recuperación del concentrado de carbón en dos etapas. La primera etapa corresponde a parámetros robustos, mientras que en la segunda etapa los parámetros son más finos o cercanos. Las variables de análisis son la cantidad de espumante (MIBC, [A]) y la cantidad de colector (diésel, [B]). Los valores de operación para la flotación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental 22 aplicado en la primera y segunda etapa. A es la cantidad de MIBC y B es la cantidad de Diésel.

Efecto	Factor	Combinación de tratamientos	Primera etapa g/ton	Segunda etapa g/ton			
	A	B		A	B	A	B
(1)	-	-	A bajo, B bajo	48.5	46.5	97	93
a	+	-	A alto, B bajo	485	46.5	194	93
b	-	+	A bajo, B alto	48.5	465	97	186
ab	+	+	A alto, B alto	485	465	194	186



Las cuatro combinaciones de tratamientos, en caso de este estudio se muestran en la Figura 3. Por lo tanto, a representa la combinación de tratamientos con MIBC en el nivel alto y diésel en el nivel bajo, b representa el MIBC en el nivel bajo y el diésel en el nivel alto, y ab representa ambos factores en el nivel alto. Por convención, se usa (1) para denotar que ambos factores están en el nivel bajo [20].

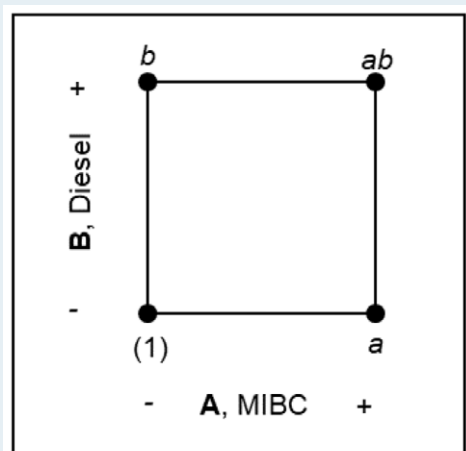


Figura 3. Tratamientos para el diseño factorial 22.

En el diseño factorial con dos niveles, buscamos el efecto principal de cada factor, así mismo como la interacción entre ellos. Los cuales se calcularon, tal cual se muestra a continuación.



Efecto principal de A:

$$A = \frac{1}{2} [ab + a - b - (1)] \quad (1)$$

Efecto principal de B:

$$A = \frac{1}{2} [ab + b - a - (1)] \quad (2)$$

Efecto de la interacción AB:

$$A = \frac{1}{2} [ab + (1) - a - b] \quad (3)$$



Flotación

La flotación se llevó a cabo en 2 etapas con un diseño factorial de 22, cada una consta de 4 pruebas de flotación por triplicado. Cada prueba se realiza acorde a la metodología establecida.

La pulpa de flotación (10% en contenido de sólidos) es vertida en una celda Denver D-12 y se acondiciona a una velocidad de 1200 RPM, en lapsos de 5 minutos, 2 minutos y 20 segundos. El primer lapso está destinado solamente para la pulpa, el segundo para el colector y el ultimo para el espumante. Concluido este tiempo, se inicia la inyección de aire. Cuando se empieza la producción de espuma, esta se recupera, aislándose en otro recipiente. Los tiempos de recuperación empleados son de 20, 40, 60, 80, y 120 segundos, dando así un tiempo de 2 minutos de flotación.

Al finalizar las pruebas, el concentrado y el fondo son filtrados y secados en una estufa por un periodo de 10 a 15 minutos, a una temperatura de $107^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, posteriormente se registra el peso y se le realizan los análisis de ceniza y humedad.

De los resultados obtenidos se calculó la variable de control (Grado) a partir de la fórmula:

$$\text{Grado} = 100 - Ac \quad (4)$$

Donde Ac es el contenido de ceniza del concentrado expresado en %.

Cinética de Flotación

Con base en la recuperación de mineral se determina la cinética de flotación, para ello se emplea la ecuación desarrollada por García-Zuñiga (1935), que se describe a continuación:

$$R = R_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

Donde:

R: Recuperación acumulativa para tiempo t (%).



R_{∞} : Recuperación de equilibrio a tiempo prolongado (%), es decir, la recuperación máxima obtenible del material de interés según las condiciones establecidas.

k: Constante de velocidad específica de flotación o constante cinética (min^{-1}).

t: Tiempo de flotación acumulado (min).

(4)

Modelado

Los datos obtenidos de las etapas 1 y 2 se graficaron en contornos de superficie de respuesta y se realiza una comparación.

Posteriormente se efectúa un análisis de superficie de reacción con la ayuda de los softwares Minitab17 y Statistica 13.3, para concluir con la construcción del modelo.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados arrojados por la caracterización fueron: para la Muestra 1, 30.46% de ceniza con un poder calorífico de 5786 kcal/kg; y para la Muestra 2, 29.24% de ceniza con un poder calorífico de 5744 kcal/kg. Según la clasificación ASTM D388-92, ambas muestras entran en el rango de carbón sub-bituminoso tipo A.

En primera instancia se verificó que la relación Poder Calorífico/% de ceniza se ajuste al modelo de la base de datos de la subcuenca Saltillito-Lampacitos, para lo cual se incluyeron los resultados de las muestras 1 y 2 dentro del grafico de dispersión mostrado en la Figura 1. En la Figura 4 se observa que ambas muestras se encuentran dentro de la línea de tendencia y se ajusta a las expectativas esperadas.

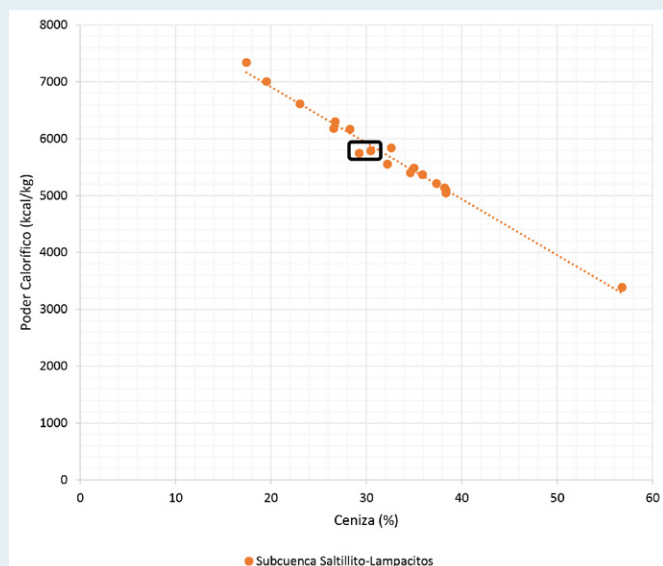


Figura 4. Inclusión de parámetros de las muestras en el modelo de la subcuenca Saltillito-Lampacitos.

Los Grados resultantes de cada flotación realizada se presentan en la Tabla 2 y dentro de los contornos de superficie de respuesta de la Figura 5.

Tabla 2.- Resultados obtenidos de la flotación de carbón en las dos etapas.

Efecto	Grado	
	Primera etapa	Segunda etapa
(1)	91.23	89.47
a	88.49	88.54
b	85.62	86.89
ab	82.22	87.43

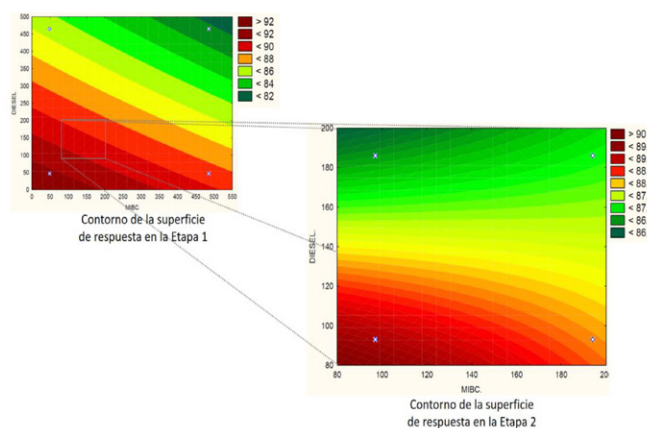


Figura 5. Contornos de las superficies de respuesta en las etapas 1 y 2.

Como se observa, los resultados de las pruebas de flotación obtenidos del diseño experimental 2^2 mostraron en general contenidos de ceniza por debajo del 20% y se lograron obtener grados por encima del 88% al disminuir el colector durante la etapa 2, lo cual evidencio el impacto de las concentraciones de los reactivos y su interacción sobre la cinética de operación (Figura 6).

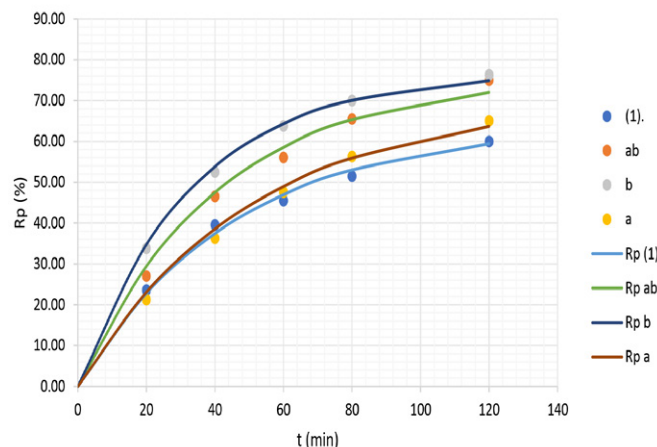


Figura 6. Cinética de flotación de las muestras correspondientes a la etapa 1.

Hay que recordar que los valores de R_{∞} y k pertenecientes a la cinética de flotación resultan ser característicos según el componente flotable, en este caso el carbón de la subcuenca Saltillito-Lampacitos, y las condiciones de operación, es decir cantidad y tipo de reactivos empleados, pH, velocidad y agitación, flujo de aire, diseño de la celda, etc., por lo que debe determinarse para cada situación en particular y es variable de una a otra (Méndez-Muñoz, 2009). Las variaciones presentadas entre las etapas 1 y 2 poseen una similitud aceptable, en la Tabla 3 se observa dicha semejanza, los valores promedios para la etapa 1 son $R_{\infty}=64\%$ y $k=0.0241\text{min}^{-1}$; así como $R_{\infty}=67.8\%$ y $k=0.035\text{min}^{-1}$ para la etapa 2.



Tabla 3. Parámetros cinéticos y coeficientes de correlación de las flotaciones en las etapas 1 y 2.

Pruebas	Etapa 1			Etapa 2		
	R_{inf}	k	R^2	R_{inf}	k	R^2
(1)	64	0.0220	0.9888	67.8	0.0350	0.9649
Ab	76	0.0245	0.9799	75	0.0410	0.9224
B	77	0.0300	0.9953	73	0.0410	0.9208
A	70	0.0200	0.9880	76	0.0315	0.8689
Promedios	71.75	0.0241	---	72.95	0.0371	---

Por otra parte, al realizase un análisis de superficie de reacción con los valores de la Tabla 2 en el software Minitab17 y Statistica 13.3, se determinó el modelo presentado en la Figura 7, para el cual se propone la siguiente ecuación:

La cual se ajusta aceptablemente a los valores experimentales obtenidos.

Figura 7. Modelo de superficie de reacción.

Aplicando este modelo de reacción a los parámetros utilizados en la etapa 2 y comparándolos con los valores experimentales obtenidos (Figura 7), se tiene una diferencia de alrededor del 1.1% para las condiciones (1), a y ab; siendo de 2.51 para la condición b (Tabla 4). Esto indica que efectivamente se tiene un comportamiento predictivo tanto en la caracterización del carbón de la subcuenca Saltillito-lampacitos como en el comportamiento en la recuperación dentro de este rango de estudio.

Tabla 4. Diferencia entre el modelo de reacción y el experimental.

Grado, %		Diferencia, %
Datos experimentales	Modelo de reacción	
89.47	90.39	1.03
88.54	89.71	1.32
86.89	89.07	2.51
87.43	88.39	1.10



CONCLUSIÓN

El comportamiento predictivo observado entre la caracterización de carbón realizada y su recuperación selectiva, así como su cinética de flotación, demuestran una diferencia mínima y se concluye con ello que los parámetros fisicoquímicos del carbón dentro de cada subcuenca guardan la misma semejanza, independientemente del lugar del que procedan, su uniformidad se mantiene.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Subsecretaría de Minería (2021, octubre 1). Perfil de Mercado del Carbón (2017). Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/287796/Perfil_Carbon_2017.pdf.
- [2] Rivera, J.C., y Alcocer, C. (2003). La situación actual del aprovechamiento del carbón en el Estado de Coahuila. Boletín técnico del Consejo de Recursos Minerales, IX, 54. pp. 2-19.
- [3] SGM (2021, octubre 1). Panorama minero del estado de Coahuila (2018). Available: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/COAHUILA.pdf>.
- [4] Robeck, R. C.; Pesquera, V. R. y Ulloa, A. S. (1956). Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila, en XX Congreso Geológico Internacional: México, 109 p.
- [5] Flores-Galicia, E. (1988). Geología y reservas de los yacimientos de carbón en la República Mexicana. In Salas, G. ed., Geología Económica de México. Fondo de Cultura Económica. México, p. 175-217.
- [6] Flores-Espinoza, E. (1989). Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, Northern Mexico: Austin, Texas, Tesis de Doctorado, 315 p.
- [7] Brizuela, V.L., (1992). Geología General de la zona Carbonífera de Monclova-Sabinas, Estado de Coahuila: Minerales Monclova S.A. de C.V. Tomo I, 74 p.
- [8] Sánchez-Salazar, T. (1995). La minería del carbón y su impacto geográfico-económico en el centro-oriente y noreste de Coahuila, México. Boletín Investigaciones Geográficas. XXXI. 93-112.
- [9] Corona-Esquivel, R.; Tritlla, J.; Muñoz, M.; Piedad-Sanchez, N. y Villafranca, I. (2006). Geología y características de los yacimientos de carbón mineral en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. LVIII. 141-160.
- [10] Corona, M., Camporredondo, J.E., García, A., Camacho, L. y Servín, R. (2014). Caracterización de carbones de la región carbonífera de Coahuila (México), para la determinación de dispersión, formas geométricas, concentración y tipos de azufre presentes. Revista Colombiana de Materiales. V. 84-90.
- [11] León, E. (2006). La importancia del carbón mineral en el desarrollo. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 9.18. 91-97. ISSN: 1628-8097.
- [12] León-Altamirano, C. (2008). El carbón. ¿Garantía del futuro energético? Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 16.3. 229-238. I.S.S.N.: 1132-9157
- [13] Estupiñán, L. J. (2009). "El carbón en la cuenca de Sabinas, electricidad y metalurgia. Cienciabieta. 18 1-3.
- [14] Chávez-Cabello, G. (2005). Deformación y Magmatismo Cenozoico en el Sur de la Cuenca de Sabinas, Coahuila, México. Tesis de Doctorado, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Qro. México, 312 p.
- [15] Gupta, R. (2007). Advanced Coal Characterization: A Review†. Energy & Fuels, 21(2), 451-460. doi:10.1021/ef060411m
- [16] Martínez-Carrillo, D., Pecina-Treviño, E., Gómez-Borrego, M., y Estrada-Ruiz, R. (2012). Analysis of washability of sa-

binas basin coal: influence of ash content and fixed carbon on calorific value. MRS Online Proceedings Library, 1380, Imrc2011-1380-s21-full021. Doi:10.1557/opl.2012.406

- [17] Öney, Ö.; Samanlı, S.; Celik, H. y Tayyar, N. (2015). Optimization of Operating Parameters for Flotation of Fine Coal Using Box-Behnken Design. International Journal of Coal Preparation and Utilization. 35. 150203140514004. 10.1080/19392699.2015.1009050.
- [18] Abkhoshk, E.; Kor, M. y Rezai, B. (2010). A study on the effect of particle size on coal flotation kinetics using fuzzy logic. Expert Syst. Appl. 37. 5201-5207. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.12.071.
- [19] Barnwal, J. P.; Govindarajan, B.; Majumder, A. K. y Rao, T. C. (2004). Kinetic analyses of flotation of Indian coal in continuous cell operation, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 113:3, 161-166, DOI: 10.1179/037195504225005732
- [20] Montgomery D.C (1992). Diseño y Análisis de Experimentos, Editorial LIMUSA SA de CV. Capítulo 6. Páginas 218-276.

Cómo citar este artículo:

González Barraza, E. A., Martínez Carrillo, D., López Badillo, C. M., & Ramos Moreno, D. M. REPRESENTATIVIDAD DE UN MODELO LINEAL DE SUPERFICIE PARA MUESTRA DE CARBÓN MINERAL. EPISTEMUS, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.207>



Análisis de los extractantes CYANEX 272 y CYANEX 926p para la extracción del ion litio

Analysis of the Extractants CYANEX 272 and CYANEX 926p for the Extraction of Lithium Ion

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Yezica J. Solís Hernández* ¹
Jesús L. Valenzuela García ²
P.C. Santos Munguía ³

Recibido: 21 / 11 / 2021

Aceptado: 26 / 03 / 2022

Publicado: 19 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.216>

Autor de Correspondencia:

Yezica Jazmín Solís Hernández

Correo: a220230042@unison.mx

Resumen

La recuperación del ion de Litio se ha vuelto una búsqueda constante debido al incremento de demanda de baterías recargables. El objetivo de este trabajo fue evaluar los extractantes; Cyanex 272 y Cyanex 936P para determinar el extractante con mayor afinidad al ion Li. Se analizó la eficiencia de extracción de ambos extractantes utilizando licores de lixiviación sintéticas que contenían Li, K y Al, donde se evaluó el pH y el porcentaje de concentración del extractante, donde resultó que al 10% de extractante Cyanex 936P al estar en contacto con una solución acusa a un pH de 2, obtuvo el 44 % de extracción del ion Li, a comparación del extractante Cyanex 272 donde a las mismas condiciones, este obtuvo el 1.93% de extracción del ion Li.

Palabras clave: litio, Cyanex 272, Cyanex 936P, extracción por solventes.

Abstract

Lithium-ion recovery has become a constant quest due to the increasing demand for rechargeable batteries. The objective of this work was to evaluate the extractants; Cyanex 272 and Cyanex 936P to determine the extractant with the highest affinity to the Li-ion. The extraction efficiency of both extractants was analyzed using synthetic leaching liquors that contained Li, K, and Al, where the pH and the percentage of concentration of the extractant were evaluated, where it turned out that 10% of Cyanex 936P extractant when in contact with A solution with a pH of 2, obtained 44% extraction of the Li-ion, a comparison of the extractant Cyanex 272 where the same conditions, this obtained 1.93% extraction of the Li-ion.

Keywords: lithium, Cyanex 272, Cyanex 936P, solvent extraction.

¹ Ingeniero en Geociencias, Universidad Estatal de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, a220230042@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0001-7074-0694>

² Doctor en Ciencias en Materiales, Master of Metallurgical Engineering, Ingeniero Químico, División de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, jesusleobardo.valenzuela@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0002-1225-4900>

³ Doctora en Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Ingeniero en Geociencias, Universidad Estatal de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, paula.santos@ues.mx, <https://orcid.org/0000-0002-4616-8138>



INTRODUCCIÓN

El litio, es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales alcalinos que cuenta con propiedades electroquímicas únicas en su alto potencial redox y su mayor especificación de calor que lo categoriza dentro del uso de energías verdes por su gran aplicación de baterías recargables y recursos de energía [1]. Sin embargo, varios estudios que muestran que la oferta de litio no podrá satisfacer la demanda en el 2023, debido al incremento de uso de baterías para autos eléctricos. Por lo tanto, viendo la complejidad de recuperar el ion litio, se requiere el desarrollo de un proceso eficiente hidrometalúrgico que se emplee comúnmente en la recuperación de él [2,3].

Teniendo en cuenta la alta eficiencia de purificación y concentración de gran variedad de metales, sin mencionar su fácil operación, la técnica de extracción con solvente se considera comúnmente como un método favorable para la recuperación del ion Li. Esta técnica se basa principalmente en solubilidad de los materiales y la tasa de transferencia de masa. La consiste en el contacto de una fase acuosa (solución de alimentación con el metal de interés) y una fase orgánica (solvente orgánico; extractante), donde posteriormente se mezclan ambas fases a cierta temperatura y agitación, permitiendo el intercambio iónico hasta lograr el equilibrio [4, 5].

El extractante CYANEX® 272 es un ácido fosfínico, el cual permite la recuperación de los metales como el cobalto de las baterías de iones de litio gastadas por medio de un mecanismo de intercambio catiónico [7].

El extractante CYANEX® 936P es a base de fósforo, elaborado específicamente para recuperar Li de soluciones gastadas del proceso convencional litio, además se puede aplicar a las salmueras después de eliminar Mg^{2++} y Ca^{2++} por medio de una filtración o precipitación [8].

No obstante, no se ha encontrado suficiente información sobre la extracción por solvente de Li (I) con extractante prometedores [6]. Por ello, el objetivo de esta investi-



gación es determinar la eficiencia del extractante CYANEX 272 y CYANEX 936P para la separación selectiva de ion litio a partir de soluciones sintéticas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Preparación de Soluciones:

Las soluciones que se realizaron constan de dos fases: Orgánica y Acuosa, las cuales se prepararon individualmente bajo los siguientes parámetros:

Fase Orgánica:

Para la fase orgánica se adquirieron los extractantes Cyanex 272 y Cyanex 936P, y se diluyeron con queroseno, hasta obtener concentraciones de 5% (5% de extractante + 95% Keroseno), 8% (8% de extractante + 92% Keroseno), y 10% de solución (10% de extractante + 90% Keroseno).

Fase Acuosa:

Las soluciones sintéticas (madre) se prepararon disolviendo una cantidad requerida de Li, Al y K (Tabla 1) en una solución de 0.2% de H_2SO_4 , donde se prepararon 3 diferentes soluciones sintéticas, ajustando su pH en 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 usando el mismo H_2SO_4 .



Tabla 1. Concentraciones de solución madre-

Solución Sintética	Concentración de Li (ppm)	Concentración de Al (ppm)	Concentración de K (ppm)
Solución Madre	1	5	5

2.2. Procedimiento:

Los experimentos de extracción se realizaron en una relación 1:1 de fase acuosa (solución madre) y orgánica (soluciones de extractantes), donde se vertió 50 mL de cada solución en un embudo de separación de vidrio de 100 mL. Posteriormente se agitó durante 3 minutos, a temperatura ambiente (25°C) para después dejar separar las dos fases. Las muestras de la fase acuosa (pobre) se tomaron de la parte inferior del embudo y se analizaron mediante un Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer, Modelo AANALYST 400, mientras que las soluciones de la fase orgánica (cargada) se determinaron su concentración por método de balance de masas.

3. RESULTADOS

En base a la concentración inicial de la fase acuosa $[M_i]$ y de acuerdo con su concentración después de la extracción $[M_{Fa}]$ y así mismo asumiendo que no hubo cambio de volumen en ambas fases, se calculó como se puede ver en la ecuación 1.

$$\%E = \left(\frac{[M_i] - [M_{Fa}]}{[M_i]} \right) \times 100 \quad (1)$$

Una vez calculados los resultados de porcentaje de extracción de cada uno de los extractantes a sus diferentes concentraciones, se graficó pH contra % de extracción, para así obtener los isotermas de extracción y permitir ver las mejores condiciones de extracción de Li, las cuales fueron al utilizar un 10% (v/v) de extractante tanto en Cyanex 272 y Cyanex 936P como se muestra más adelante en las Figura 1 y 2.

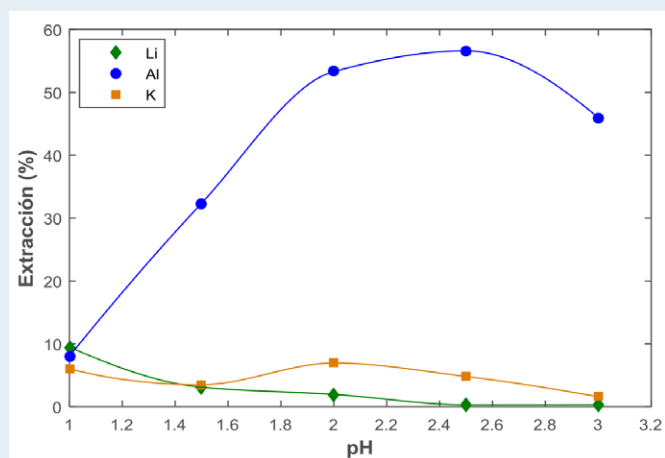
Cuando se realizan las pruebas con el extractante Cyanex 272 al 5%, 8% y 10% (v/v) se observó que al incrementar el pH (1 a 3) de la solución, disminuía el % de extracción. Donde en una solución acusa a un pH de 1, se obtuvo el 9.16% de extracción de Li, 4.89% de K y 8.42% de Al.





Al realizar las pruebas con 8% (v/v) del extractante se obtienen extracciones de 7.80% Li, 7.93% K y 9.49% de Al, a un pH de 1. Mientras que una solución acuosa a pH 1.5 a 3 se obtuvieron extracciones de Li de 0.43%, 0.46%, 0.15% y 0.12%. Por lo tanto, analizando las concentraciones se puede determinar que el extractante Cyanex 272 a 5% y 8% v/v no es muy selectivo con el ion Li.

Cuando se realizan las pruebas ahora con una concentración del 10% (v/v), se obtienen extracciones 9.47 % de Li, 6.03 % de K y 3.07 % de Al, a un pH de 1, como se muestra en la Figura 1.



sualiza que al incrementando el pH de la solución acuosa, el extractante no cuenta con afinidad con el ión Li.



Sin embargo, al realizar las corridas con el extractante Cyanex 936P a concentraciones de 5%, 8% y 10% se obtuvo % de extracciones de; 43% de Li, 0.94% de K y 13.81% de Al (5% v/v), a un pH de 3, 43.62% de Li, 0.46% de K y 4.6 % de Al (8% v/v), a un pH de 2, y extracciones de 44.46 % de Li, 0.88% de K y 5.01% de Al (10% v/v), a un pH igual de 2 en solución. Y así mismo, se puede determinar que las mejores condiciones de extracción para este extractante fueron realizando las corridas con el 10 % de extractante, tal como se muestra en la Figura 2.



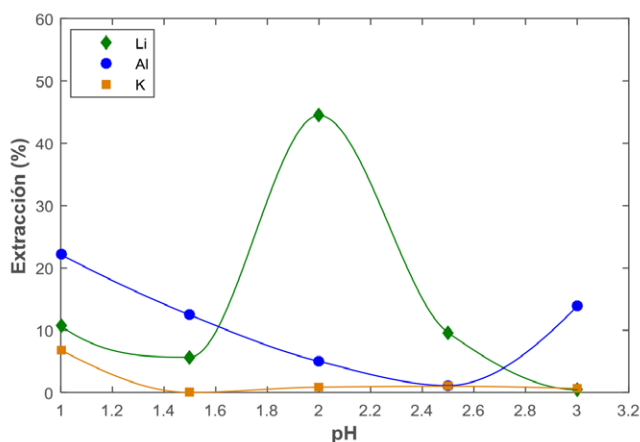


Figura 2. Isotermas de extracción con el extractante Cyanex 936P al 10% (v/v) y una relación ORG/AQ = 1/1

CONCLUSIONES

Considerando los resultados analizados, se concluye:

1. El extractante Cyanex 936P, es más selectivo para el ion Li que el extractante Cyanex 272, analizados ambos extractante en las siguientes condiciones: 5%, 8% y 10% de concentración del extractante y en soluciones de 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 pH.

2. Las mejores condiciones para la etapa de extracción de Li en la cual se obtuvo la mayor extracción del 44 % de Li, fueron las siguientes: extractante = Cyanex 936P, concentración del extractante = 10 %, pH de solución acuosa = 2 y relación ORG/AQ = 1:1.

3. Con base a los resultados se propone realizar pruebas solamente con el extractante Cyanex 936P, pero incrementando su concentración.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de ingeniería Química y Metalurgia, CONACYT por la beca autorizada



de posgrado a Y. Solís-Hernández y SOLVENT por el apoyo brindado durante la investigación del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Yang, S., Liu, G., Wang, J., Cui, L., & Chen, Y., Recovery of lithium from alkaline brine by solvent extraction with functionalized ionic liquid, *Fluid Phase Equilibria*, vol. 493, Pages 129-136, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2019.04.015>.
- [2] Zhao, J. M., Shen, X. Y., Deng, F. L., Wang, F. C., Wu, Y., & Liu, H. Z., Synergistic extraction and separation of valuable metals from waste cathodic material of lithium-ion batteries using CYANEX272 and PC-88a. Separation and purification technology, vol. 78(3), Pages 345-351, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.12.024>.
- [3] Ministerio de Energía y Minería de Argentina, El litio argentino. Situación actual y perspectivas. Recuperado de: www.editorialrn.com.ar, 2017.
- [4] El-Eswed, B., Sunjuk, M., Al-Degs, Y. S., & Shtaiwi, A., Solvent Extraction of Li⁺ using Organophosphorus Ligands in the Presence of Ammonia. *Separation Science and Technology*, vol. 49(9), Pages 1342-1348, 2014, <https://doi.org/10.1080/01496395.2013.879665>.
- [5] Ritcey, G.M. y Ashbrook, A.W., *Solvent Extraction in Process Metallurgy*, Elsevier, Cap. 2 Y 3, 1984.
- [6] Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R., Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: a comprehensive review. *Hydrometallurgy*, vol. 150, Pages 192-208, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.10.012>.
- [7] Solvey, Cyanex 272. Recuperado de: <https://www.solvay.com/en/product/cyanex-272>, 2021.
- [8] Solvey, Cyanex 936P. Recuperado de: <https://www.solvay.com/en/product/cyanex-936p>, 2021

Cómo citar este artículo:

Solis, Y. J., Valenzuela García, J. L., & Santos Munguía, P. C. (2022). ANÁLISIS DE LOS EXTRACTANTES CYANEX 272 Y CYANEX 926P PARA LA EXTRACCIÓN DEL ION LITIO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.216>



Amplificación de los campos electromagnéticos bajo el plasmón de superficie

Enhancement of Electromagnetic Fields Under Surface Plasmon

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Jesús Manuel Gutiérrez Villarreal ¹Alberto Luna Bracamontes ²Adrian Sepulveda Romo ³Jorge Alberto Gaspar Armenta ⁴Ricardo Andrés Britto Hurtado ⁵

Recibido: 16 / 07 / 2022

Aceptado: 12 / 04 / 2022

Publicado: 20 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.172>

Autor de Correspondencia:

Jesús Manuel Gutiérrez Villarreal

Correo: jmgutierrezv86@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se explica de forma general el concepto de plasmones de superficie y sus aplicaciones. Además, se muestra que la geometría Kretschmann que consta de vidrio-metal-vacío es una de las usualmente utilizadas para excitar el campo electromagnético bajo el plasmón. Debido a que, de forma natural en una superficie plana no es posible generar este efecto, con excepción de algunos casos particulares de la fuente incidente o combinación de haces. También, se cuantifica la intensidad o amplificación del campo en función de la posición y se observa una propiedad importante de amplificación bajo la condición del plasmón, en la cual decae la intensidad del campo exponencialmente al alejarse de la interfaz metal-vacío. Igualmente se hace mención de las áreas de investigación relacionadas con los plasmones de superficie.

Palabras clave: plasmón de Superficie, Amplificación del campo, Geometría Kretschmann.

Abstract

In this paper, the concept of surface plasmons and their applications are explained in a general way. In addition, it is shown that the Kretschmann geometry consisting of glass-metal-vacuum is one of the usually used to excite the electromagnetic field under the plasmon, because naturally on a flat surface it is not possible to get this effect, except for some particular cases of the incident source or beams combination. Also, the intensity or amplification of the field as a function of position is quantified and an important property of amplification is observed under the plasmon condition, in which the intensity of the field decays exponentially when moving away from the metal-vacuum interface. As well, is also made of research areas related to surface plasmons.

Keywords: surface Plasmon, field enhancement, Kretschmann geometry.

¹ Doctor en Ciencias Físicas, Docencia, Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Obregón, Sonora, México, jmgutierrezv86@gmail.com.

² Maestría en Ingeniería de Sistemas, Presidente de Academia MAMP, Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Obregón, Sonora, México, aluna@uts.edu.mx.

³ Maestría en Matemáticas Educativa, Presidente de Academia IMA, Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Obregón, Sonora, México, asepulveda@uts.edu.mx.

⁴ Doctor of Philosophy (Ph. D.), Jefe del Departamento del DIFUS, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, jorge.gaspar@unison.mx.

⁵ Doctor en Ciencias Físicas, Investigador, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, ricardo.britto@unison.mx.

INTRODUCCIÓN

El plasmón de superficie es un fenómeno físico que ocurre cuando la energía de la luz interactúa, bajo ciertos parámetros físicos, con la superficie de los metales. Regularmente los materiales absorben o reflejan parte de la energía que reciben, sin embargo, cuando se cumplen ciertos parámetros, la energía de la luz se confina en la superficie del material, a este fenómeno se le conoce como plasmón de superficie (PS). Por ejemplo, en el caso de la plata (Ag), el campo electromagnético de la luz se acopla con el campo de la superficie del metal. Con el efecto del PS se logra sumar y acoplar las ondas de los campos electromagnéticos de luz con las ondas de campo de los electrones en la superficie del metal, a causa de que en los metales existe una gran cantidad de electrones libres.

La importancia del PS es debida a la capacidad que tienen de confinar la energía de la fuente incidente en la superficie del metal [1], [2], [3], [4], [5], [6], esta capacidad puede aprovecharse para diseñar dispositivos opto-electrónicos [7], [8], como diodos, fotodiodos, sensores moleculares y demás sensores [9]. Por otra parte, variantes de PS se emplean en diversas áreas, como es el caso del plasmón de superficie resonante en imágenes (PSRI), éste último emerge como una tecnología importante en análisis clínico de interacción de moléculas [10].

Es importante mencionar que no es posible generar el PS de forma natural en una superficie plana de metal utilizando luz como fuente de incidencia sin combinar haces para excitar el campo por sí solo [1], [11]. Si la superficie no es plana y presenta defectos nanométricos se generan plasmones de superficie localizado [3], [13]. Sin embargo, este efecto no es de interés en el presente trabajo.

Como se mencionó anteriormente, existen condiciones y parámetros que se deben de presentar para lograr excitar el campo del PS, como el ángulo de incidencia indicado, espesor del metal y frecuencia de la fuente incidente.

Para lo cual se usan dos geometrías: la geometría Kretschmann y la geometría Otto. En este trabajo se aborda la primera. La geometría Kretschmann consta de tres medios: el primero es un dieléctrico (vidrio), el segundo una placa de metal y por último el vacío.

LUZ DENTRO DE LA GEOMETRÍA KRETSCHAMNN

En la figura 1, se muestra que la luz dentro de un plano está compuesta por dos componentes vectoriales: la componente paralela k_x a la superficie del metal y la componente perpendicular k_z a la superficie.

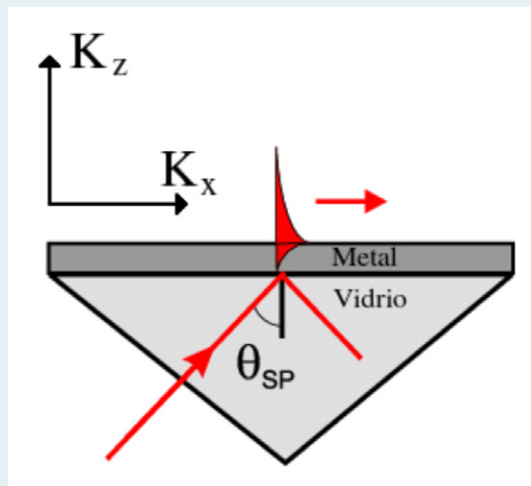
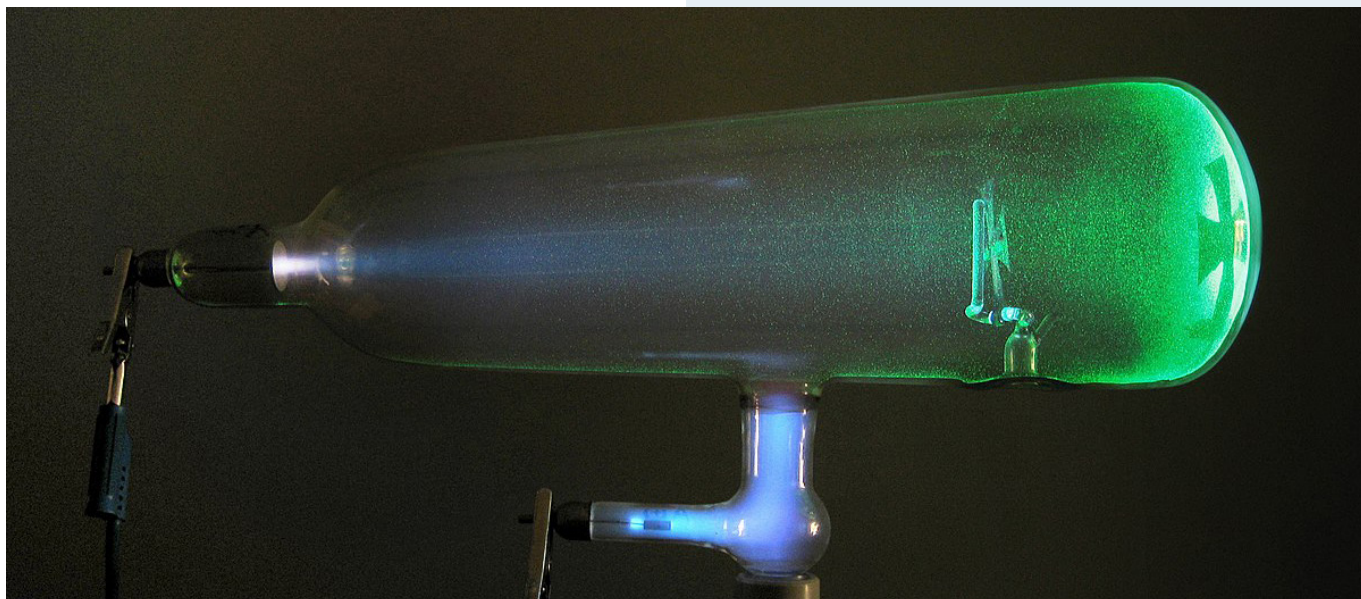
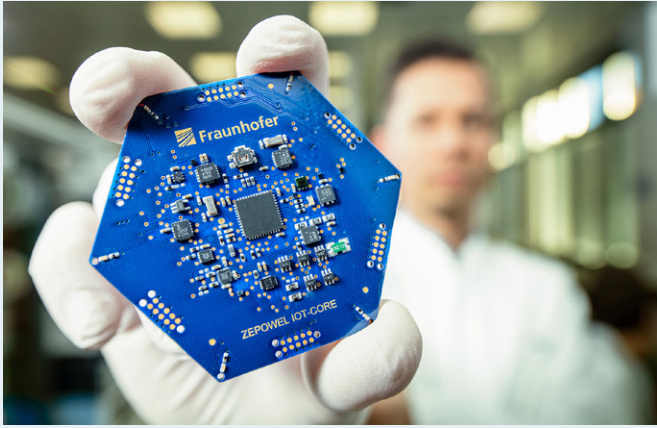


Figura 1: Geometría Kretschmann y componentes del vector de onda de luz.

El vector de onda de la luz en el vacío se considera como $k = (\omega\sqrt{\epsilon})/c$, donde k es el vector de onda de la luz, ω la frecuencia angular, c la velocidad de la luz en el vacío y ϵ es la constante dieléctrica del material (para el vacío, se





considera $\epsilon=1$). Además, el vector de onda k se encuentra implícito en la función, para los campos electromagnéticos en forma de ondas planas, que a su vez satisface las ecuaciones de Maxwell.

En un plano con 2 dimensiones como el de la figura 1 y 2, existe una polarización transversal magnético (TM) para poder obtener el PS, ya que el campo eléctrico de la luz es el encargado de excitar a los electrones en la superficie, por ello es necesario que el campo eléctrico tenga por lo menos una componente perpendicular a la superficie.

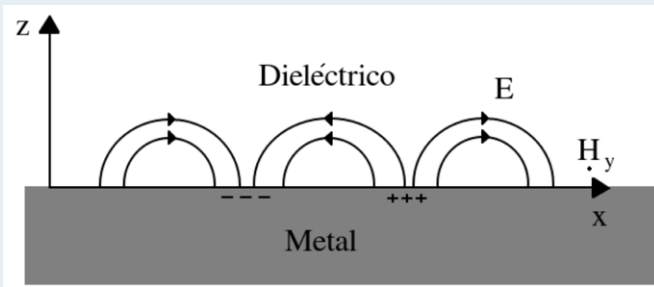


Figura 2: Plasmón de superficie en la interfaz metal vacío.

En la geometría Kretschmann, existe un efecto en el cual la luz se refleja completamente, llamado reflexión interna total (ATR por sus siglas en inglés), que se presenta al dirigir luz desde un medio con un índice de refracción determinado, hacia otro que tenga un índice de refracción menor ($n_1 > n_2$), siendo el índice de refracción n la velocidad de la luz en el medio entre la velocidad de la luz en el vacío.

Existe una dirección en la que incide la luz en un medio y es completamente reflejada, ésta dirección se define mediante el ángulo crítico θ_c . El ángulo en el que se logra excitar el PS llamado θ_{PS} suele ser mayor que θ_c , provocando que la luz sea reflejada totalmente. Es decir, se refleja toda la energía de todas las frecuencias de la luz, excepto la energía asociada a la frecuencia del PS.

Lo anterior, es debido a que la resonancia en la superficie del metal absorbe la energía incidente de la frecuencia del PS y amplifica la amplitud de los campos, debido al confinamiento superficial, tal como se aprecia en la figura 3.

Reflexión Interna Total

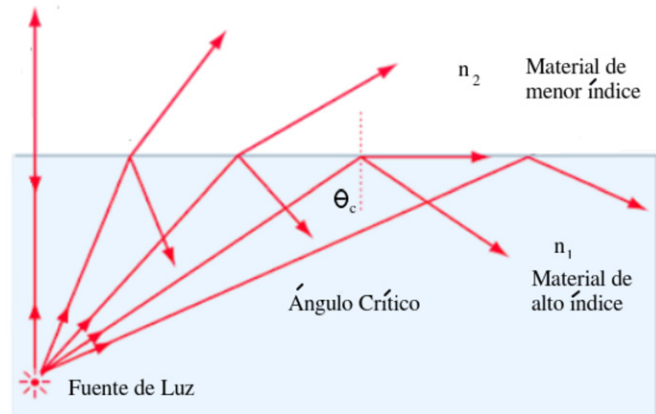


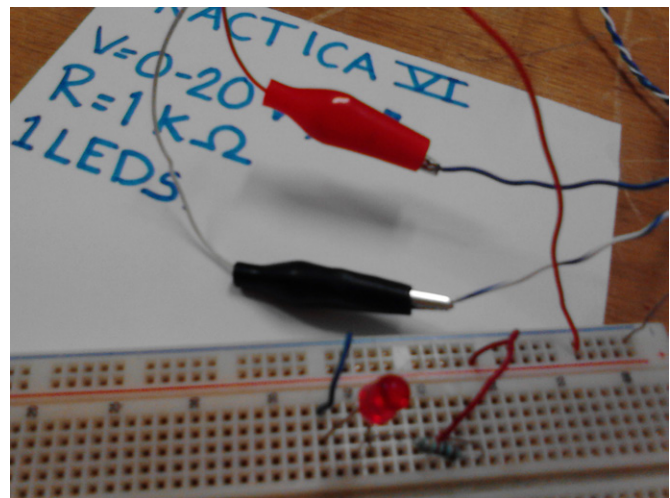
Figura 3: Reflexión Interna Total ATR.

Hasta este momento se ha explicado al lector las condiciones y componentes para que se excite el campo del PS o excitar los modos normales de oscilación de la superficie, los cuales son: luz incidiendo a un ángulo mayor al ángulo crítico en vidrio, un metal pegado al vidrio y un dieléctrico como último medio o vacío. A continuación, se muestra la teoría fundamental para excitación de los campos bajo los modos normales.

MODOS NORMALES

Los modos normales de un sistema en una superficie metálica son la frecuencia natural de oscilación del sistema, debido a que este efecto puede interactuar con la fuente luz. Si se logra igualar la frecuencia natural del sistema con la fuente de luz, se genera el efecto de resonancia o lo que también se denomina PS, incluso retirando la fuente de excitación, el campo bajo el PS permanecerá excitado por el efecto de resonancia.

La teoría para lograr excitarlos modos normales o PS se deducirán a continuación considerando dos medios. Primero, a través de una interfaz metal-dieléctrico, con polarización TM.



Las consideraciones más relevantes son:

- La ley de reflexión: El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.
- La ley de Snell: $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$. Donde θ_1, θ_2 son el ángulo de incidencia y de refracción, n_1, n_2 son los correspondientes índices de refracción.
- Continuidad de las componentes tangenciales de los vectores del campo eléctrico $\vec{E}$ y del campo magnético $\vec{H}$.

El vector de onda paralelo de la luz es:

$$k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon} \sin(\theta) \quad (1)$$

Por lo tanto, el vector de onda perpendicular resulta:

$$k_z = \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} \epsilon - k_x^2} \quad (2)$$

Aplicando las condiciones de frontera, las leyes anteriormente enunciadas y realizándolos procedimientos algebraicos respectivos, se obtiene la expresión matemática para la reflexión del campo en una interfaz:

$$r_{12} = \frac{k_{z2}/\epsilon_2 - k_{z1}/\epsilon_1}{k_{z2}/\epsilon_2 + k_{z1}/\epsilon_1}, \quad (3)$$

Si se obtienen los mínimos del denominador en la ecuación 3, se genera la curva de los modos normales resonantes del sistema, como se muestra en la figura 4. ¿Por qué el hacer mínimo el denominador de la ecuación 3?, debido a que la reflexión tiende a ser muy grande o se refleja la mayoría de la energía incidente, como sucede físicamente con ATR. En la figura 4 se muestran las condiciones para obtener o excitar los campos del PS.

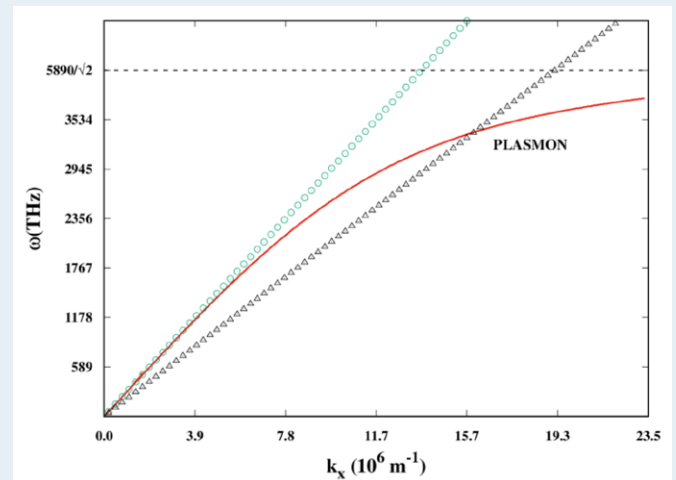
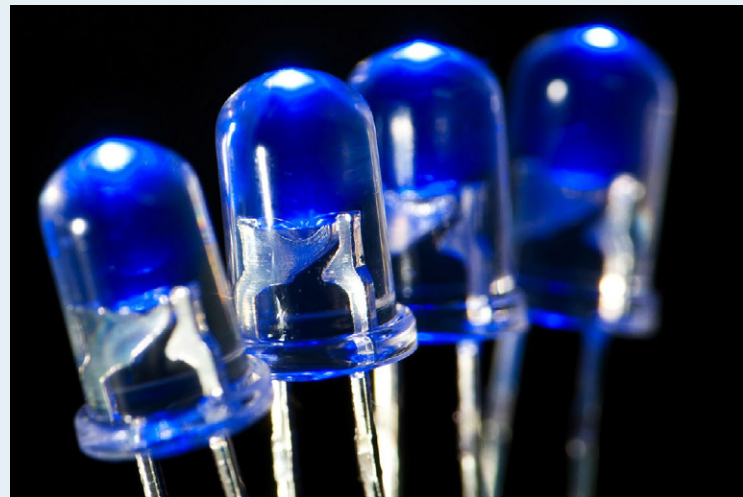
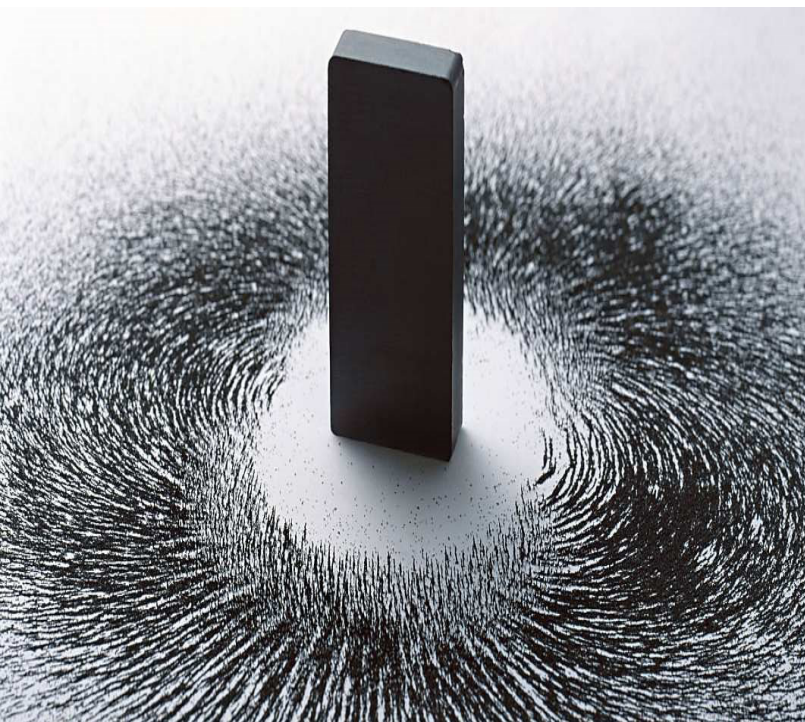
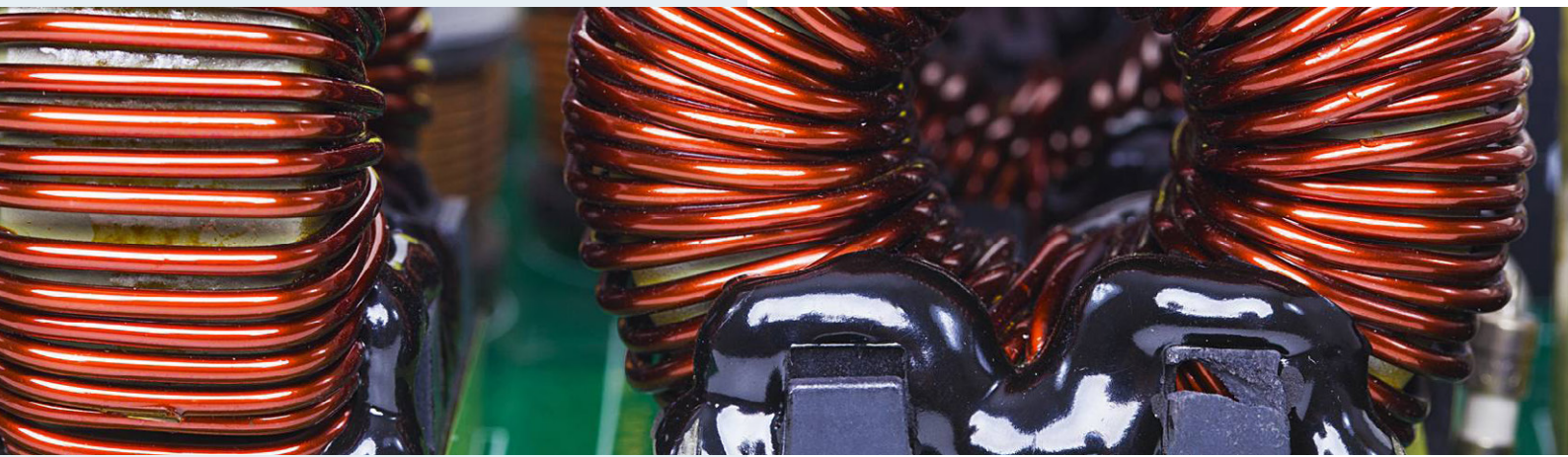


Figura 4: Relación de dispersión para plasmones de superficie no radiativos. Línea de círculos representa luz en vacío, línea con triángulos es luz a 28° de incidencia con $n = 1.52$, y línea continua representa los modos de superficie del sistema.

El rango del espectro visible de la figura 4 se encuentra entre 2071 a 4712 THz, en el eje vertical. Además, se indica una frecuencia con valor de $5890/\sqrt{2}$ THz, debido a que los modos normales que se excitan a frecuencias iguales o más elevadas al valor indicado, se denominan plasmones radiativos. Debido a que en este trabajo se presentan los llamados plasmones no radiativos, las frecuencias más elevadas no son de interés.

Puede causar confusión que la línea de luz en el vacío de la figura 4 (círculos) parece tocar la región de los modos de superficie (línea roja continua) para bajas frecuencias angulares ω , pero en realidad esto no sucede, ya que no se interceptan. Por tanto, no existe excitación de los campos. Es evidente que la componente paralela del vector de onda de luz requiere de un incremento, dicho incremento se presenta cambiando el índice de refracción del medio incidente, y así la fuente pueda llegar a interceptar la curva



donde se da la región de los modos de superficie o plasmón de superficie (línea de triángulos interceptando la línea continua).

Cuando la frecuencia de la luz se iguala con el de la curva de modos normales de oscilación del sistema, se tienen campos excitados bajo el PS, por lo que es de suma importancia resaltar que al igualarse la frecuencia de la luz con la de los modos normales, dicha energía no se refleja y se confina en la superficie del metal.

Amplitud del Campo bajo el PS en geometría kretschmann

Existen expresiones para obtener de forma analítica la amplitud del campo magnético H bajo el PS en ATR Kretschmann, como la ecuación 10 obtenida en la referencia [3], sin embargo, en el presente trabajo se realiza por el método de matriz de transferencia, en el cual se compara el campo de la superficie con el campo incidente bajo el PS.

El método de matriz de transferencia es empleado para cuantificar el campo bajo el efecto del PS, este campo dentro de los medios tiene por nombre campo evanescente u oscilatorio. Es definido evanescente cuando decae exponencialmente a lo lejos de la interfaz, y su máxima amplitud está justo en el límite donde se unen dos medios o una interfaz.

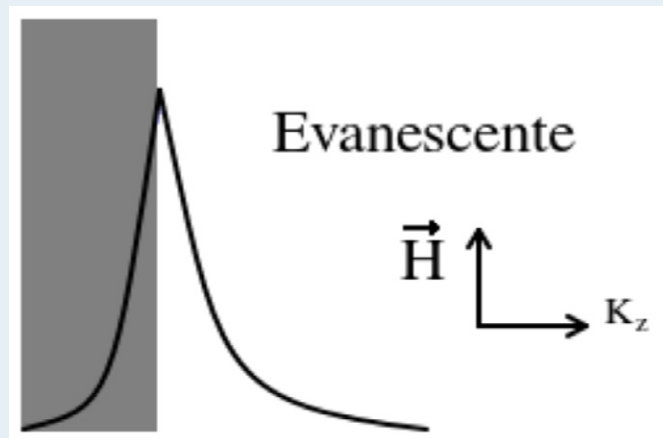


Figura 5: Campo evanescente decayendo a lo lejos de la interfaz

En lo referente a la simulación del metal, se utiliza el modelo de Drude (en este caso la plata como elemento metálico). Drude construyó su teoría eléctrica y de conducción térmica aplicando la teoría (muy exitosa) de los gases al metal, considerando el metal como un gas de electrones. En base a esta teoría se llega a una expresión compleja para la constante dieléctrica del metal.

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}, \quad (4)$$

Donde ω_p es la frecuencia de plasma de la plata y γ el amortiguamiento o absorción del material.

En la figura 6 se muestra el campo evanescente H dentro del interfaz obtenido con el TMM, bajo la condición del PS:

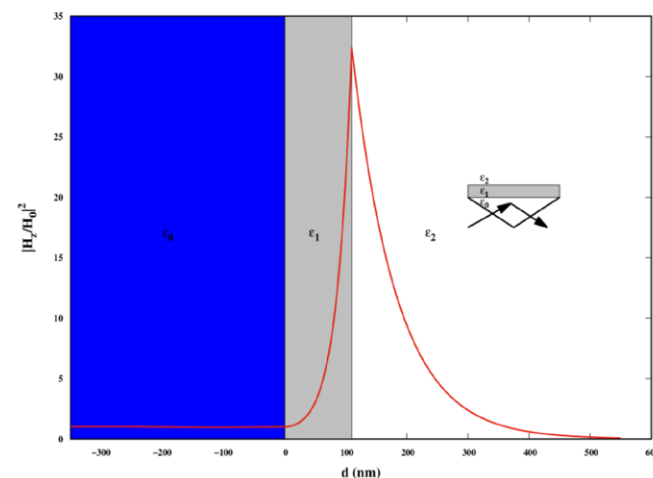


Figura 6: Amplitud del campo H en relación al valor absoluto sobre el campo incidente al cuadrado en función de la distancia con un espesor del metal de 110 nm, el medio incidente es $\sqrt{\epsilon_0} = 1.52$, $\epsilon_1 =$ Drude, $\epsilon_2 =$ vacío y frecuencia del PS $\omega = 2945$ THz. Parte derecha al centro muestra un inserto de la geometría Kretschmann.

Al observar la figura 6, se puede apreciar una de las propiedades del PS, de confinar la energía en la superficie

del metal. En el eje de las "Y" se gráfica la amplitud del campo al cuadrado comparado al campo incidente y su valor máximo de amplificación es de aproximadamente 32 veces el campo incidente, (línea roja). Este efecto de amplificación es muy importante ya que es de interés para investigaciones y diseño nuevas tecnologías.

En el presente trabajo se explicó las condiciones para poder excitar un PS u obtener el efecto de resonancia en una superficie utilizando luz como fuente. Además, se explicó que debido al confinamiento de energía se amplifican los campos en la interfaz metal-vacío, y esta propiedad es muy llamativa para el diseño de nuevas tecnologías en diversas áreas.

INVESTIGACIONES ACTUALES Y ALGUNAS APLICACIONES RELACIONADAS AL PS

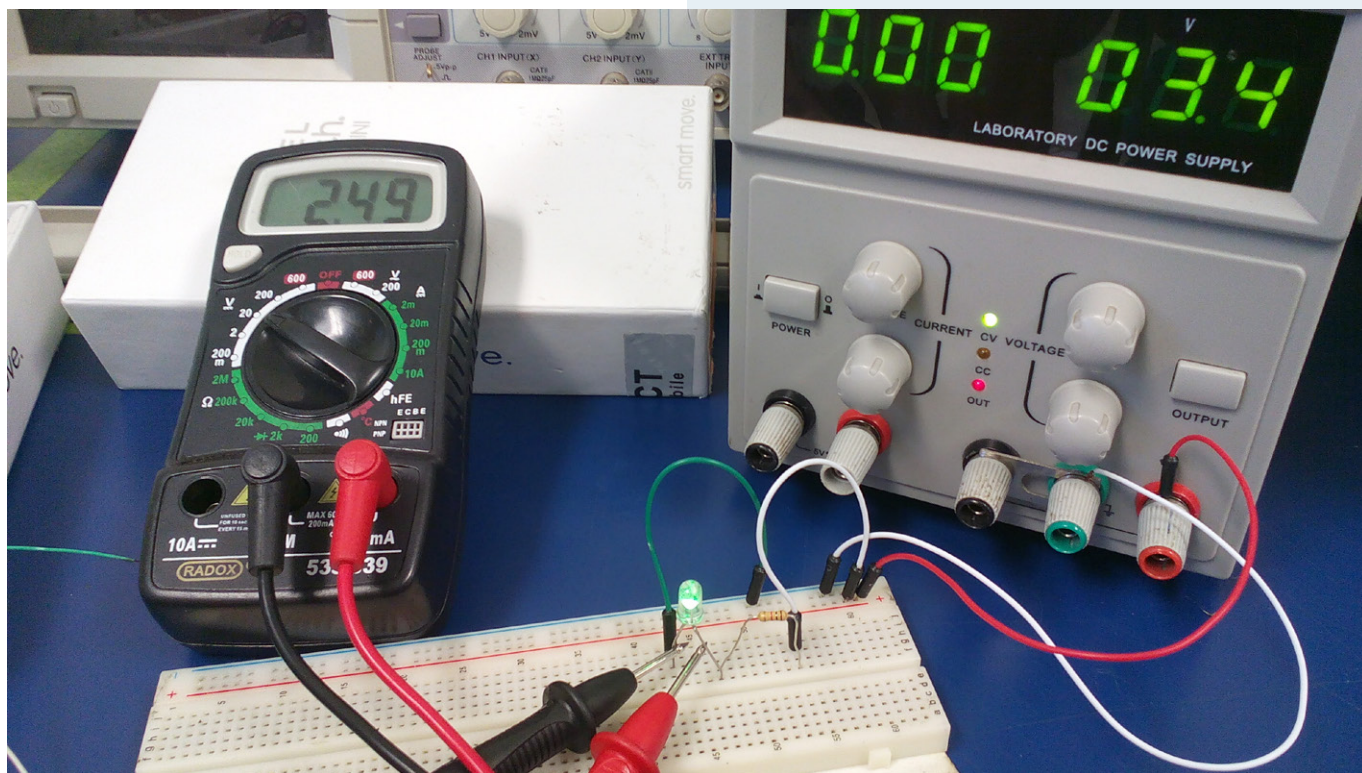
Existen diversas áreas relacionadas al PS, en específico dos de ellas son: la modulación de la fuente incidente y la modificación geométrica del metal. Ambas tienen la finalidad de amplificar y confinar el campo bajo la condición del PS. Trabajos reportados anteriormente [14], [15] [16], [17], [18], son ejemplos de investigaciones relacionadas a la amplificación de la energía y su confinamiento en diferentes medios.

Aunado a lo anterior en particular [13], [22], son trabajos que se puede clasificar en la línea de modificación geométrica, que consisten en encontrar la longitud óptima en el metal finito para un espesor de una placa con esquinas redondeadas para obtener el máximo del campo bajo el PS utilizando una fuente con incidencia normal.



Así mismo, el trabajo numérico realizado en [18] con una cresta de oro que incide luz de un sustrato de vidrio aplicando ATR, simulando con el método numérico de algoritmo-R, para cuantificar el campo en la superficie. Su estructura consta de rejillas con crestas de separación $D > 40 \mu\text{m}$ y un espesor de 45 nm.

En la línea relacionada a la modulación de la fuente incidente [12], demostraron que la modulación de fase (técnica de control espacial) que excita el campo del PS al concentrar la energía en un punto caliente puede triplicar la iluminación de un haz Gaussiano convencional. También, consta el trabajo realizado por [19], en el cual compara la amplitud del campo bajo el PS respecto al ancho de la fuente incidente.



Además, se han reportado trabajos relacionados con la amplificación del campo bajo el PS con espectroscopia de fluorescencia para aplicaciones sensoriales [20] y con nanoestructuras plasmónicas de una sola molécula con efectos cuánticos [21]. Siendo estos últimos importantes líneas de investigación de frontera.

CONCLUSIONES

En conclusión, se dio a conocer el estado del arte del PS, además de una breve reseña histórica de los avances cronológicos relacionados con el tema. Se mencionó la importancia del PS en la actualidad y sus posibles aplicaciones tecnológicas. Los resultados mostraron la propiedad de amplificación del campo bajo el efecto del PS en la frontera del metal con el vacío, donde la amplitud de dicho campo magnético al cuadrado se incrementa aproximadamente 30 veces comparado al campo incidente. Por tanto, las aplicaciones tecnológicas pueden hacer uso de dichas características. Finalmente, es importante mencionar que las tendencias en el uso de tecnologías optoelectrónicas que utilizan o funcionan con el efecto del PS van en aumento y se tienen muchas líneas de investigación para seguir explorando su potencial tecnológico.

AGRADECIMIENTOS

El autor Jesús Manuel Gutiérrez Villarreal agradece a CONACYT.

BIBLIOGRAFÍA

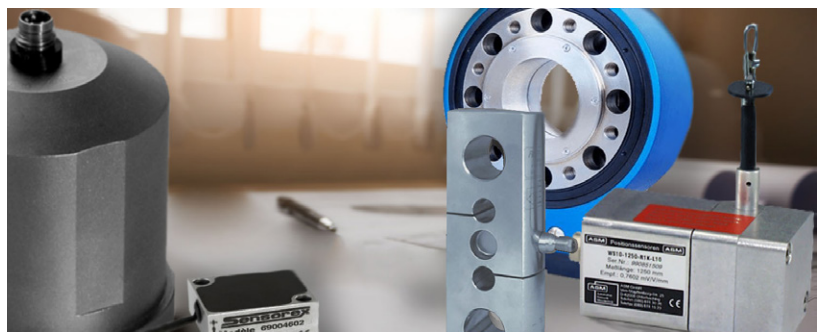
- [1] A. Otto, "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection," *Z. Physik*, vol. 216, pp. 398-410, Julio 1968.
- [2] E. Kretschmann, "Determination of the Optical Constants of Metals by Excitation of Surface Plasmons," *Z. Physik*, vol. 241, pp. 313-321, Agosto 1971.
- [3] W. H. Weber and G. W. Ford "Optical electric-field enhancement at a metal surface arising from surface-plasmon excitation," *Opt. Lett.* vol. 6, pp. 122-124, Marzo 1981.
- [4] D. Sarid, "Long-Range Surface-Plasma Waves on Very Thin Metal Films," *Phys. Rev. Lett.* vol. 47, pp. 1927-1930, Agosto 1981.
- [5] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 6ta ed. New York, Pergamon Press, 1987.
- [6] D. Sarid, R. T. Deck, A. E. Craig, R. K. Hickernell, R. S. Jameson, and J. J. Fasano, "Optical field enhancement by long-range surface-plasma waves," *Appl. Opt.* vol. 21, pp. 3993-3995, Noviembre 1982.
- [7] J. A. Dionne, L. A. Sweatlock, H. A. Atwater, and A. Polman, "Plasmon slot waveguides: Towards chip-scale propagation with subwavelength-scale localization," *Phys. Rev. B*, vol. 73, 035407, Enero 2006.
- [8] X. Huang and M. A. El-Sayed, "Gold nanoparticles: Optical properties and implementations in cancer diagnosis and photothermal therapy," *Adv. Res.* vol. 1, pp. 13-28, Enero 2010.
- [9] Stefano Mariani and Maria Minunni, "Surface plasmon resonance applications in clinical analysis," *Anal. Bioanal. Chem.* Vol. 406, pp. 2303-2323, Abril 2014.
- [10] Masson and Jean Francois, "Surface Plasmon Resonance Clinical Biosensors for Medical Diagnostics," *Am. Chem. Soc. Vol. 2*, pp. 16-30, Enero 2017.
- [11] A. V. Zayats, I. I. Smolyaninov and A. A. Maradudin, "Nano-

optics of surface plasmon polaritons," *Phys. Reports*, vol. 408, pp. 131-314, Marzo 2005.

- [12] Z. Ruan, H. Wu, M. Qiu and S. Fan, "Spatial control of surface plasmon polariton excitation at planar metal surface," *Opt. Letters*, vol. 39, pp. 3587-3590, Enero 2014.
- [13] C. Caiseda, I. Griva, L. Martinez, K. Shaw and D. Weingarten, "Numerical Optimization Technique for Optimal Design of the n Grooves Surface Plasmon Grating Coupler," *Procedia Comput. vol. 29*, pp. 2145-2151, 2014.
- [14] J. Banerjee M. Bera and M. Ray, "Simultaneous excitation of multi-spectral surface plasmon resonance using multi-stepped-thickness metallic film," *J. Appl. Phys.* vol. 117, 113102, Marzo 2015.
- [15] A. P. Demchenko Introduction to Fluorescence Sensing: Evanescent Field Effects and Plasmonic Enhancement of Luminescence in Sensing Technologies, 3ed, Switzerland, Springer, Cham, 2020.
- [16] T. Iqbal, "Propagation length of surface plasmon polaritons excited by a 1D plasmonic grating," *Curr. Appl. Phys.* vol. 15, pp. 1445-1452, Noviembre 2015.
- [17] T. Iqbal and S. Afsheen, "Extraordinary optical transmission: Role of the slit width in 1D metallic grating on higher refractive index substrate," *Curr. Appl. Phys.* vol. 16, pp. 453-458, Abril 2016.
- [18] L. Salomon, G. Bassou, H. Aourag, J. P. Dufour and F. de Fornel, F. Carcenac, and A. V. Zayats, "Local Excitation of Surface Plasmon Polaritons at Discontinuities of a Metal Film: Theoretical Analysis and Optical Near-Field Measurements," *Phys. Rev. B*, vol. 65, 125409, Marzo 2002.
- [19] J. M. Gutierrez Villarreal, J. A. Gaspar Armenta and L. A. Mayoral Astorga, "Surface plasmon field enhancement: excitation by a short pulse or narrow beam of light," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 35, pp. 1040-1045, Marzo 2018.
- [20] Thorsten Liebermann and Wolfgang Knoll, "Surface-plasmon field-enhanced fluorescence spectroscopy," *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* vol. 171, pp. 115-130, Octubre 2000.
- [21] Adam B. Taylor and Peter Zijlstra, "Single-Molecule Plasmon Sensing: Current Status and Future Prospects," *ACS Sensors*, vol. 2, pp. 1103-1122, Agosto 2017.
- [22] Thomas Groses and Dominique Barchiesi, "Geometrical optimization of nanostrips for surface plasmon excitation: an analytical approach," *Opt. Letters*, vol. 43, pp. 54-57, Enero 2018.

Cómo citar este artículo:

Gutiérrez Villarreal, J. M., Luna Bracamontes, A., Sepulveda Romo, A., Gaspar Armenta, J. A., & Britto Hurtado, R. A. (2022). AMPLIFICACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS BAJO EL PLASMON DE SUPERFICIE. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.172>



Estudio químico-mineralógico y valorización de residuos pirometalúrgicos de cerro de San Pedro

Chemical-Mineralogical Study and Valorization of Pyrometallurgical Wastes in Cerro de San Pedro

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

J. Martínez Banda ¹
 E. Espinosa Serrano ²
 G. Rosales Marín ³
 G. Alvarado Macías ⁴
 J. Andrade Martínez ⁵
 D. P. Nava Gómez ⁶

Recibido: 21 / 10 / 2021

Aceptado: 05 / 04 / 2022

Publicado: 20 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.190>

Autor de Correspondencia:

Erik Espinosa Serrano

Correo: erik.espinosa@uaslp.mx

Resumen

Para el beneficio de minerales que contenían oro y plata en la época colonial en México, se utilizó inicialmente la fundición, proceso pirometalúrgico en donde la mena molida se mezclaba con mineral de plomo (por ejemplo, litargirio) y otras sales; una vez fundido el mineral, los metales de interés se separaban y el material residual, la escoria, era desechado, llevando consigo una composición química heterogénea compuesta principalmente de Si, Fe, Ca, Pb y cantidades importantes de As, Cd, Cu, Zn y otros elementos. En algunas regiones de San Luis Potosí se han identificado y estudiando parcialmente diferentes depósitos de escorias metalúrgicas. En este caso se describen y presentan los resultados obtenidos de la caracterización química (ICP-MS) y mineralógica (mediante microscopía electrónica de barrido) de una serie de depósitos de escorias del municipio de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, México, con el objetivo principal de valorizarlas y proponer algunas opciones viables de manejo.

Palabras clave: escorias, oro, plomo, caracterización.

Abstract

At the beginning of the Colonial period in Mexico, the smelting of minerals with gold and silver was used in order to obtain them as metals; in this pyrometallurgical process the ore grounded is mixed with minerals of lead (litharge) and other salts; once the mineral is melted, the elements of interest are separated and the residues (slags) are discarded; the slags are composed mainly of Si, Fe, Ca, Pb and As, Cd, Cu, Zn and other elements in significant quantities. Metallurgical slags deposits have been identified and studied in several regions of San Luis Potosí. In this work, are presented the results obtained in the chemical (ICP-MS) and mineralogical (Scanning Electronic Microscopy) characterization of a series of slags deposits located in Cerro de San Pedro, san Luis Potosí, Mexico, in order to evaluate different ways to use them.

Keywords: slags, gold, lead, characterization.

¹ Pasante de Ingeniera de minerales. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. bandajasseli@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3110-282X>.

² Doctor. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. erik.espinosa@uaslp.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7591-9140>.

³ Doctor. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. gilberto.rosales@uaslp.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3679-3981>.

⁴ Doctora. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. gabriela.alvarado@uaslp.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8504-2485>.

⁵ Doctor. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. jonatan.andrade@uaslp.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2899-031X>.

⁶ Doctora. Coordinación Académica Región Altiplano. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. dora.nava@uaslp.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2651-6246>.



INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la minería ha sido un pilar para el desarrollo y evolución de la humanidad, pero a consecuencia de esta, ha sucedido la generación a mayor escala de residuos con diferente composición química y, con ello, varían sus posibles aplicaciones o riesgo a la salud. En el estado mexicano de San Luis Potosí la minería es una actividad que se realiza formalmente desde el siglo XVI, inicialmente se aprovecharon los abundantes yacimientos de Cero de San Pedro (CSP) para la obtención de oro y plata.

Las actividades históricas de extracción y refinación de minerales por la industria minero-metalúrgica en el distrito minero de CSP, son evidentes hoy en día por la presencia de diferentes depósitos de escorias de fundición.

Las escorias de fundición son descritas como residuos en estado sólido, de masa generalmente vítrea que son generados inevitablemente en los procesos pirometalúrgicos y que la industria minero-metalúrgica ha empleado para procesar distintas menas y extraer metales de interés económico como lo es el oro, plata, cobre y plomo, entre otros [6].

Elementos como la plata y oro eran separados de la ganga a través de un proceso de fusión de la mena empleando fundentes como plomo metálico, galena o litargirio con el fin de mejorar la eficiencia en la separación de la plata del resto del mineral. La “grasa” era removida de la boca del horno, a su vez por una boca más pequeña en la parte inferior se deslizaba la plata líquida la cual contenía

diferentes proporciones de Ag y Pb, se canalizaban hacia una pileta y se formaban planchas. Una vez obtenidas las planchas metálicas de Ag-Pb, la separación de los metales era realizada en hornos denominados “reverbero” mediante un proceso de oxidación de Pb para dejar libre el oro o la plata [10].

Normalmente, estos residuos de fundición se consideran como “estables” o “inertes” frente a las condiciones normales del medio ambiente (por ejemplo: el intemperismo) y han sido ocupados, por ejemplo: como materiales de relleno de calles, uso para materiales de construcción [3] y [8] y para modificar las propiedades de suelos agrícolas [11] y [2].

Por su origen industrial, la caracterización química de las escorias es necesaria para un entendimiento amplio de su uso y manejo.

El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar química y mineralógicamente muestras de escorias colectadas en diferentes depósitos en el distrito minero de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí.

USO INDUSTRIAL DE LAS ESCORIAS

Las escorias generadas en procesos de fundición de menas fueron depositadas originalmente en patios o vertederos localizados cerca de las plantas de beneficio. Por los volúmenes altos de mineral procesado, se generaron cantidades importantes de tales residuos, que cuentan con una dureza y resistencia importantes, además, dependen-



do de sus características físicas y químicas, se les ha encontrado diversos usos [6, 2]. Según [9], el reúso de las escorias recae en tres categorías:

- Utilidad como material para la construcción.
- Recuperar elementos presentes.
- Para llevar a cabo actividades de remediación del medio ambiente.

El método de fundición utilizado desde la época colonial para extraer los minerales, dio lugar a la formación de escorias que en esta investigación se analizarán.

ÁREA DE ESTUDIO

El distrito minero de CSP se localiza en la zona centro del estado de San Luis Potosí, México, entre las coordenadas de proyección UTM: X= 314464 Y= 2457911, aproximadamente a 19.5 km al noroeste de la capital del Estado, en el municipio de Cerro de San Pedro, como se observa en la Figura 1 [4].

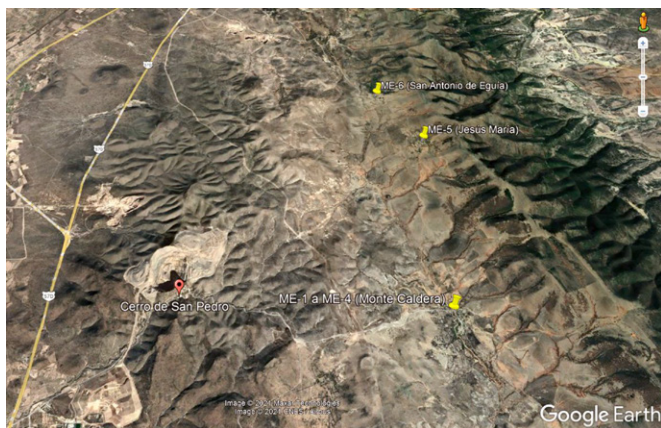


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.

En el distrito minero de CSP se localizan varios depósitos de escorias que no presentan ningún tipo de confinamiento o protección [7] y se encuentran en distintos poblados como (véase también la Figura 1):

- ▶▶ Cerro de San Pedro – 2 depósitos
- ▶▶ Jesús María – 1 depósito
- ▶▶ San Antonio de Eguía - 1 depósito
- ▶▶ Monte Caldera – 6 depósitos

METODOLOGÍA

Para el muestreo de escorias se consideraron los sitios de muestreo que ya han sido estudiados [7] en las localidades de Monte Caldera, Jesús María y San Antonio Eguía (véase la Figura 2). Al acceder a cada sitio se realizó un recorrido para verificar las condiciones generales y geolocalización de cada depósito. En cada lugar se colectó una muestra puntual y superficial de material particulado (tamaño de partícula entre gravas y arenas gruesas a medias). Estas muestras se guardaron en bolsas de polietileno, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio. Como se colectó material seco, las muestras fueron reducidas en su tamaño



hasta pasar una criba de acero inoxidable n° 9 (2 mm) de la serie Tyler, posteriormente mediante el método de cuarteo se obtuvo una muestra y un testigo de 200 g, respectivamente.

Para efectuar el análisis químico, las muestras debieron ser disueltas en una mezcla de ácidos fuertes (HNO_3 - HF - HCl); de cada muestra de particulado fino fue tomado alrededor de 0.1 g y se colocaron en viales de teflón de 30 mL de capacidad, se siguió el método de digestión ácida descrita por [1], modificado de la técnica de digestión total (Basalt Digestion) diseñada en la Universidad de Arizona; usando ácidos concentrados grado ultrex y resuspendiendo el sólido resultante y aforando en agua desionizada hasta 50 mL. Cada muestra fue filtrada a través de membranas de 0.45 μm de tamaño de poro marca Millipore.

La cuantificación total de metales presentes en las muestras digeridas se realizó mediante Espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés), modelo iCAP Qc de la marca Thermo Scientific, en el Laboratorio ICP-MS, Instituto de Geofísica, UNAM.

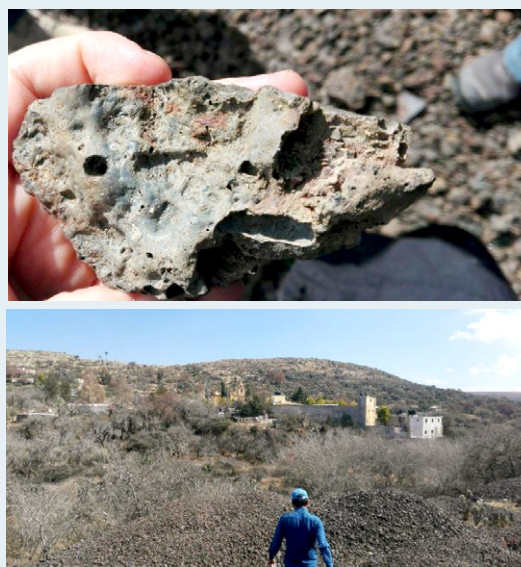


Figura 2. Muestra “de mano” (izquierda). Depósito de escorias muestreados en Monte Caldera (derecha).



Algunas de las muestras colectadas fueron preparadas en forma de briquetas con resina epóxica, se pulieron “a espejo” y se cubrieron con una capa fina de grafito para ser analizadas en un microscopio electrónico de barrido marca Philips, modelo XL30, en el Instituto de Metalurgia de la UASLP.

RESULTADOS

Los datos obtenidos de la cuantificación de los elementos presentes en las muestras en el ICP-MS se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones totales (mg/Kg) para cada muestra

Elemento	CSP-1	CSP-2	CSP-3	CSP-4	CSP-5	CSP-6	% de recuperación ¹
Cd	15	20	5	9	12	50	103
Co	15	13	12	20	11	20	102
Cr	140	145	99	119	110	100	118
Cu	2509	3218	1943	3457	1493	3123	100
Fe	633371	632318	636157	604164	533152	257436	107
Mn	6860	5638	7751	8515	5059	2978	95
Ni	89	376	1507	117	2	141	105
Pb	85734	86943	87200	88019	109781	87477	92
V	209	186	202	214	149	106	119
Localidad del muestreo	Monte Caldera depósito localizado junto al arroyo				Jesús María	San Antonio Eguía	

¹A partir de los datos del 2710 Montana soil highly elevated trace element concentration. NIST Standard Reference Material. U. S. Department of commerce. National Institute of standards and technology. Gaithersburg, MD. 20899. Analizado de la misma forma que las muestras.

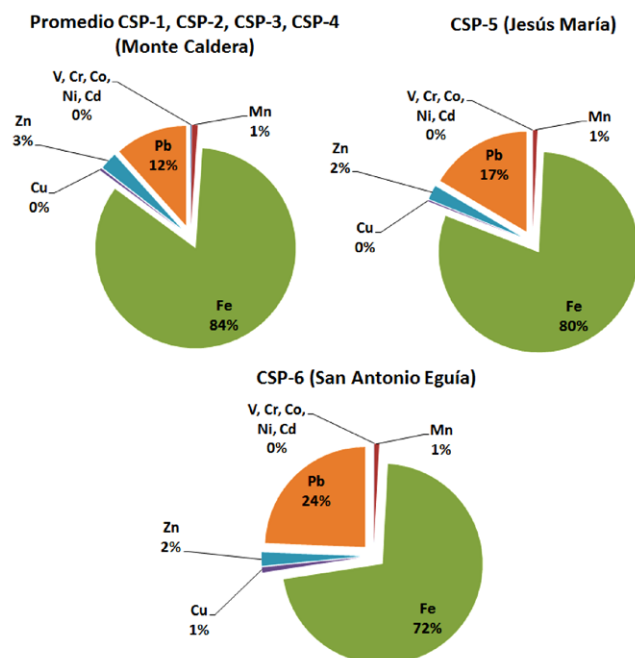


Figura 3. Proporción (%) de elementos encontrados en las muestras de Monte Caldera (promedio de las cuatro muestras), Jesús maría y San Antonio Eguía

De acuerdo con los resultados obtenidos (por ejemplo, no se incluyen otros elementos mayoritarios como Si, Ca, Al, Na), las escorias presentan en su mayor proporción al hierro (72% - 84%) plomo (12 a 24%), zinc (2 a 3%), manganeso (alrededor de 1%) y contenido menor de metales como cadmio, cobalto, cromo, cobre, níquel y vanadio. Los resultados son comparables con los obtenidos por [7]. El análisis de Correlación de Pearson efectuado con estos resultados (Tabla 2) indica que el hierro se encontró asociado principalmente con el manganeso, vanadio y zinc, mientras que el cobre se halló asociado con el cobalto.

Tabla 2. Análisis de correlación de Pearson para las concentraciones elementales totales en las muestras de escorias metalúrgicas analizadas

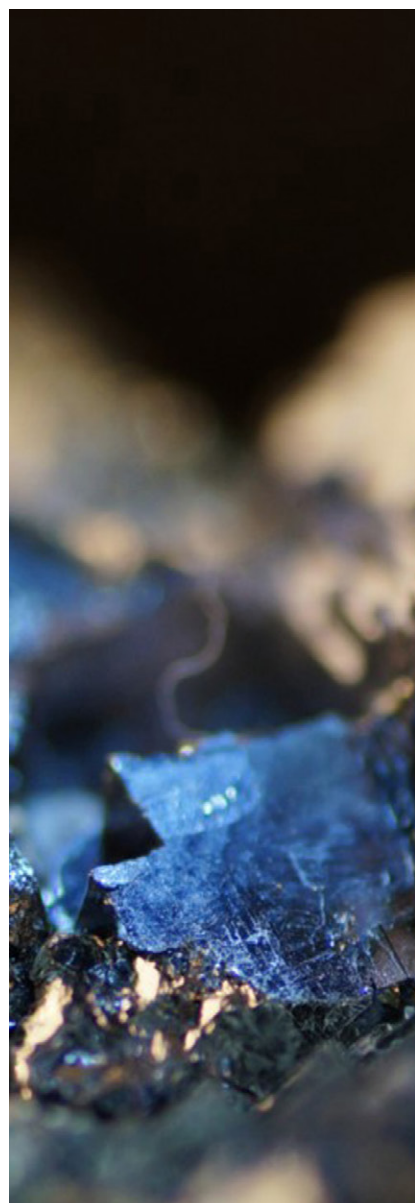
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Cd	1.000									
Co	0.537	1.000								
Cr	-0.198	-0.169	1.000							
Cu	0.380	0.750	0.360	1.000						
Fe	-0.909	-0.547	0.540	-0.153	1.000					
Mn	-0.865	-0.111	0.211	0.036	0.833	1.000				
Ni	-0.363	-0.391	-0.353	-0.280	0.332	0.387	1.000			
Pb	-0.154	-0.430	-0.280	-0.682	-0.112	-0.285	-0.322	1.000		
V	-0.835	-0.217	0.483	0.083	0.924	0.949	0.323	-0.373	1.000	
Zn	-0.879	-0.352	0.519	0.000	0.973	0.919	0.330	-0.275	0.987	1.000

Correlación estadísticamente significativa debe ser >0.750

Las cuatro muestras colectadas en el mismo depósito de Monte Caldera resultaron muy similares (CSP-1, CSP-2, CSP-3 y CSP-4); por el tamaño del depósito se tomaron varias muestras para evaluar su contenido de metales; por lo tanto, es posible estimar que la composición de estas escorias es homogénea.

En los elementos que componen a las escorias de CSP se ha identificado la presencia de cadmio, níquel, plomo y zinc (elementos mayoritarios y con potencial tóxico), por sus cantidades pudieran llegar a ser dañinos para la salud del ser humano y los ecosistemas, por ello se pretende continuar con el estudio de los materiales analizados.

Entre los resultados obtenidos en la caracterización mineralógica, se identificaron mayoritariamente fases compuestas principalmente por óxido de plomo asociado con otros elementos como arsénico, antimonio y zinc (Figura 4).



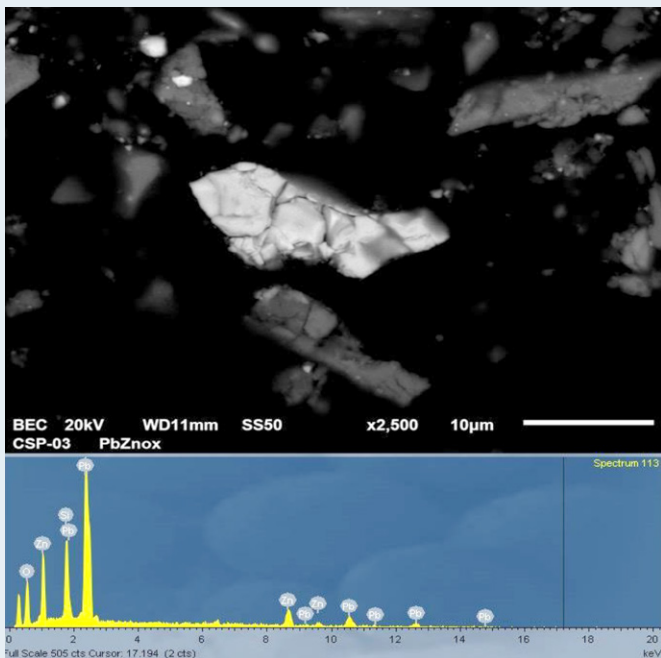


Figura 4. Identificación de óxidos de plomo-zinc en muestra de escoria metalúrgica

En la Figura 5 se observa una partícula que presenta una microestructura con gotas minúsculas (droplet) de óxido de plomo en una matriz de silicatos. [5] describe esta microestructura para especímenes de escorias que se obtuvieron en “sistemas de hogar abierto” (open-hearth slag). Ambientalmente, esta característica permite estimar que

los silicatos reducen la exposición y movilidad del plomo y los elementos que trae consigo (en la Figura 5 se identificaron As y Sb en las partículas de óxidos de plomo), esto también confirma que pueden ser materiales utilizables en la fabricación de concretos, por ejemplo.

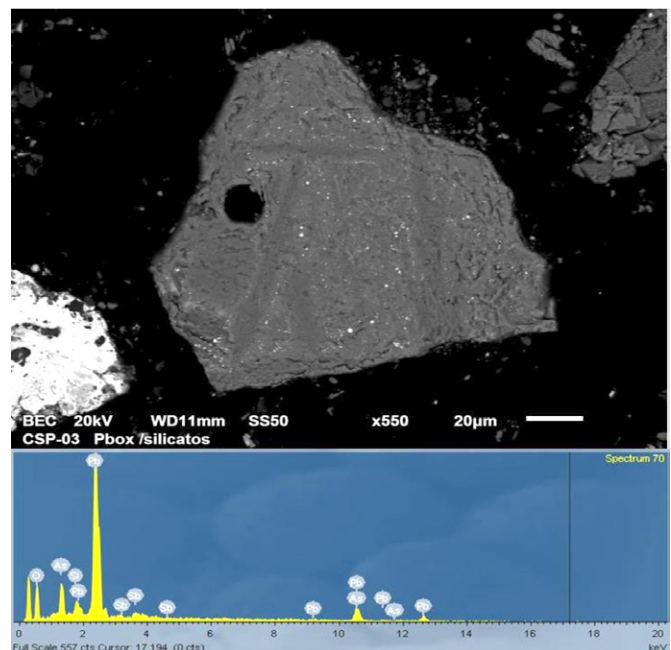


Figura 5. Identificación de óxidos de plomo (partículas blancas) con presencia de arsénico y antimonio asociados a silicatos (matriz en color gris oscuro) en muestra de escoria metalúrgica

CONCLUSIONES

Las escorias minero-metalúrgicas analizadas en esta investigación presentan concentraciones significativas de cadmio, níquel, plomo y zinc; los cuales pueden llegar a significar un riesgo para los seres vivos, aunque la estabilidad física y química de las escorias reduce esta condición. Las muestras fueron recolectadas cerca de sitios actualmente habitados, los depósitos de estas son muy cercanos a los espacios de desarrollo de actividades productivas como agricultura y ganadería en pequeña escala, esto nos motiva a realizar más análisis de las muestras, para el mayor conocimiento de su comportamiento y en un futuro la creación de un plan de manejo sustentable de estos materiales que involucre su valorización.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología de la UASLP, por las facilidades brindadas en la preparación de las muestras; al laboratorio de ICP-MS del Instituto de Geofísica de la UNAM por el apoyo en la cuantificación elemental en ICP-MS; al Dr. Antonio Aragón del Instituto de Metalurgia de la UASLP por el apoyo en el análisis de las muestras en Microscopio electrónico de barrido; el apoyo del proyecto PRODEP número 511-6/17-7930 folio UALSP-PTC-590 y, finalmente, se agradece el aporte del Fondo de Apoyo a la Investigación con el Convenio C20-FAI-10-19.19.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Almaguer Rodríguez J. 2010. Estudio geoquímico de elementos traza en unidades volcánicas del CUSLP: método ICP-MS (validación del método). Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, U.A.S.L.P. (Disponible en <http://ninive.uaslp.mx/jspui/handle/i/2397>).
- [2] Boza-Regueira M., 2011, Utilización de las escorias de acería como material de construcción, Ciencia & futuro, vol.1, No. 4, pp. 31-40. Disponible en: http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/536/294
- [3] Ferreira Neto, J. B.; Fredericci, C.; Faria, J. O. G.; Chotoli, F. F.; Ribeiro, T. R.; Malynowskyj, A.; Silva, A.N.L.; Quarcioni, V. A.; Lotto, A. A. 2016. Modification of BOF slag for cement manufacturing. Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of The 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts (MOLTEN16). Edited by: Ramana G. Reddy, Pinakin Chaubal, P. Chris Pistorius, and Uday Pal. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society). p. 847-854. DOI 10.1007/978-3-319-48769-4
- [4] INEGI, 2009. Cerro de San Pedro, San Luis Potosí. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave geoestadística 24009. Documento electrónico disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/24/24009.pdf. Consultado el 25 de junio de 2018.
- [5] Jonczyk, I. 2016. Microstructures of metallurgical slags. Archives of Metallurgy and Materials. Vol. 6, No 1, p. 61-66. DOI: 10.1515/amm-2016-0015
- [6] Lovera-Dávila D., Arias V., Coronado-Falcón R., 2004. La valoración de las escorias metalúrgicas como recursos industriales. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, vol. 7. No. 13, pp. 26-30. ISSN: 1628-8097.

Disponible en: <<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/513>>. Fecha de acceso: 02 de julio de 2018. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i13.513>.

- [7] Miramontes Aguirre P., 2017. Caracterización química y mineralógica de escorias históricas en Cerro de San Pedro, San Luis Potosí. Trabajo recepcional para obtener el título de: Ingeniero Geólogo, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- [8] Phiri, T.C.; Singh, P.; Nikoloski, A. N. 2021. The potential for copper slag waste as a resource for a circular economy: A review – Part II. Minerals Engineering, Volume 172, 107150. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107150>
- [9] Piatak N., Parsons M., Seal, R., 2015, Characteristics and environmental aspects of slag: A review, Applied Geochemistry, 57, pp. 236 – 266. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.04.009>
- [10] Rodríguez y Rodríguez, Y. 2011. Evaluación de la contaminación por metales en pasivos ambientales de actividades metalúrgicas históricas en el distrito minero de Cerro de San Pedro, SLP (México): Tesis, Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. URL: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3551>
- [11] Shi C; Quian J. 2000. High performance cementing materials from industrial slags — a review. Resources, conservation and recycling, vol. 29. pp. 195–207. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00060-9)

Cómo citar este artículo:

Martínez Banda, J., Espinoza Serrano, E., Rosales Marín, G., Alvarado Macías, G., Andrade Martínez, J., & Nava Gómez, D. P. (2022). ESTUDIO QUÍMICO-MINERALÓGICO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS PIROMETALÚRGICOS DE CERRO DE SAN PEDRO. EPISTEMUS, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.190>



Caracterización de un mineral carbonáceo e identificación del efecto Preg-Robbing

Carbonaceous Ore Characterization and the Identification of the Preg-Robbing Effect

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Marlen Gómez Santiago ¹
 Diana Cholico González* ²
 Noemí Ortiz Lara ³
 Ramiro Escudero García ⁴

Recibido: 22 / 10 / 2022

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 21 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.205>

Autor de Correspondencia:

Diana Cholico González

Correo: diana.cholico@umich.mx

Resumen

El procesamiento de minerales refractarios por métodos convencionales resulta en recuperaciones pobres de oro, siendo una causa el efecto preg-robbing al presentarse la adsorción del complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ en la superficie de materia carbonácea durante la lixiviación. Se hace necesario entonces caracterizar mineralógicamente e identificar la materia carbonácea para establecer la complejidad del mineral. Posteriormente se debe evaluar el grado del preg-robbing para diseñar el procesamiento y recuperar el máximo del metal precioso atrapado. Así, un mineral carbonáceo se caracterizó mediante DRX y por espectroscopía infrarroja, además de evaluar la capacidad de adsorción de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ del mineral. Por DRX, se identificaron las especies calcita y cuarzo; por espectroscopía infrarroja, las bandas características de Ca-O, C-O, Si-O y la C=C asociada a materia carbonácea; de la capacidad de adsorción se determinó un valor $q=0.198 \text{ mg Au}(\text{CN})_2^-/\text{g}_{\text{mineral}}$, que corresponde al 70% de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ adsorbido, por lo que el mineral se clasifica como preg-robbing.

Palabras clave: mineral carbonáceo, efecto preg-robbing, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, adsorción.

Abstract

Limited gold recovery from refractory ores by conventional methods is due to the preg-robbing effect. Adsorption of the $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ complex on the surface of carbonaceous matter during the gold leaching defines this. Mineralogical characterization is required to identify the carbonaceous matter and then establish the complexity of the ore. Subsequently, the preg-robbing degree must be evaluated to design the processing and gold recovery. Thus, a carbonaceous mineral was characterized by XRD and infrared spectroscopy (FTIR), evaluating its adsorption capacity of $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. XRD identified calcite and quartz species; the characteristic bands of Ca-O, C-O, Si-O, and C = C associated with carbonaceous matter, calcite, and quartz were identified by FTIR. A value $q= 0.198 \text{ mg Au}(\text{CN})_2^-/\text{g ore}$ was obtained from the adsorption capacity, corresponding to 70% of $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ adsorbed, evidencing the preg-robbing effect.

Keywords: carbonaceous mineral, preg-robbing effect, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, adsorption.

¹ Maestro en Metalurgia y Ciencias de los Materiales. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad

Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 1731578a@umich.mx, ORCID 0000-0003-1223-9847.

² Doctor en Ciencias Químicas, CONACYT- Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, diana.cholico@umich.mx, ORCID 0000-0002-7164-0799.

³ Doctor en Metalurgia y Ciencias de los Materiales, CONACYT- Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, noemi.ortiz@umich.mx, ORCID 0000-0002-3545-4059.

⁴ Doctor en Filosofía en Ingeniería Metalúrgica, Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, ramiro.escudero@umich.mx, ORCID 0000-0003-1635-8421.

INTRODUCCIÓN

El oro es un metal precioso altamente estable y puede obtenerse de minerales que pueden ser clasificados como mineral de molienda no refractarios y aquellos minerales denominados refractarios. Estos últimos son aquellos difíciles de tratar para la liberación del oro por métodos convencionales como cianuración [1]. La limitada extracción de oro de estos minerales ocurre por el efecto preg-robbing que se define como la adsorción de los complejos de oro-cianuro formados durante la lixiviación [2-4]. El efecto preg-robbing depende de la naturaleza del mineral refractario y por lo tanto es indispensable su caracterización. Se ha identificado que la capacidad preg-robbing de minerales refractarios que contienen materiales carbonáceos se relaciona con la madurez de la estructura del carbón orgánico en una escala de amorfo a grafitico [4, 5]. Este grado de madurez puede ser evaluado principalmente por técnicas de caracterización como difracción de rayos X (DRX) y espectroscopía infrarroja (FTIR), entre otras. Santiago y col. [5] reportaron en base a análisis por DRX un mineral carbonáceo con una estructura desordenada, presenta un alto grado de absorción o mayor grado preg-robbing. Por su parte, Afenya [2] reportó la existencia de carbón amorfo y grafitico y que éste adquiriría diferentes estructuras de acuerdo al grado de maduración. Por espectroscopía infrarroja se puede detectar la presencia de grupos funcionales como $-CH_3$, $-CH_2$, $-C=C-$, $-C=O$, $-COOH$ y en algunos casos se identifican impurezas en el mineral a partir de enlaces Si-O relacionadas con el cuarzo [2]. Ofori y col. [6] reportaron la caracterización por infrarrojo mediante la comparación de espectros de una muestra antracítica con y sin tratamiento biológico buscando dis-



minuir el grado preg-robbing y analizaron la modificación superficial. Los principales cambios ocurrieron en la banda de 2929 cm^{-1} , que corresponde a los hidrocarburos alifáticos, y en las de 2856 cm^{-1} y 1715 cm^{-1} correspondientes a grupos carbonilos $C=O$. El aumento de esos grupos reduce el grado de aromaticidad y con ello la adsorción de complejos de $Au(CN)_2^-$.

De acuerdo a lo anterior, la caracterización este tipo de minerales es muy importante para la identificación del carbón orgánico responsable del efecto preg-robbing. Por lo cual, se realizaron análisis enfocados en el uso de técnicas como difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja (FTIR) y microscopía electrónica de barrido (MEB) para la caracterización de un mineral carbonáceo. Adicionalmente, se realizaron experimentos de adsorción de $Au(CN)_2^-$ en el mineral para cuantificar el grado preg-robbing.



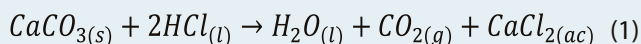


METODOLOGÍA

Caracterización el mineral carbonáceo

La caracterización de un mineral carbonáceo proveniente de la región de Querétaro, México, fue realizada con dos muestras identificadas como 100 y +100. El resultado fue comparado antes y después del tratamiento para la eliminación de carbonato de calcio presente en la muestra. La eliminación de carbonato de calcio es llevada a cabo por adición de HCl como se describe en los párrafos siguientes (ver reacción 1) y tiene como objetivo cuantificar el $C_{\text{inorgánico}}$ (debido al carbonato de calcio). Por medio de difracción de rayos X (DRX) se hizo la identificación de las fases cristalinas del mineral, buscando identificar la presencia de carbón en las muestras pulverizadas. El análisis se realizó con un equipo D8 Advanced Davinci (Bruker) con radiación Cu-K α en un rango de 10 a 90°, paso 0.02° y tiempo de 0.6 segundos. El análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB) se realizó en un equipo JEOL JSM-6400 y se empleó para identificar la morfología en diferentes magnificaciones realizando un análisis elemental por espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS). Por medio de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) se identificaron los grupos funcionales del mineral carbonáceo en un equipo Tensor 27 de Bruker. Para ello, las muestras fueron preparadas en pastillas con KBr obteniendo el espectro de 4000 a 400 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} .

La determinación de la fracción de $C_{\text{inorgánico}}$ (debida al carbonato de calcio) fue evaluada por neutralización con HCl concentrado (Q. Meyer, 37%) a una cantidad de muestra de 25 g, asegurando un exceso para su completa reacción acorde a la reacción 1.



Posteriormente, la solución fue filtrada y el HCl residual se tituló por retroceso con NaOH valorado 0.09 N agregando fenolftaleína como indicador. La diferencia entre la can-

tidad de HCl agregada inicialmente y la residual representa el consumo de HCl debida a la reacción con los carbonatos. La cuantificación de $C_{\text{inorgánico}}$ se realizó por triplicado para cada muestra (100 y +100).

Determinación del grado preg-robbing

Para determinar el grado preg-robbing del mineral carbonáceo, se realizaron experimentos de adsorción de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. Se preparó una disolución de $\text{KAu}(\text{CN})_2$ (Sigma Aldrich) de 10 mg/L en medio básico con NaOH (Q. Meyer) a pH de 11. Se tomaron diferentes masas de mineral carbonáceo (0.1, 1 y 6 g) y se pusieron en contacto con 50 mL de la solución de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. Las muestras fueron colocadas en un agitador orbital manteniendo 160 rpm durante 24 horas a 25°C. Finalizado el tiempo, la solución fue separada por filtración a vacío y se realizó la cuantificación de Au por espectroscopía de absorción atómica de flama (EAAF) en un equipo Perkin Elmer 3100. La capacidad de adsorción de Au en forma de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ por el mineral carbonáceo (q_{Au}) fue evaluada con la siguiente ecuación:

$$q_{\text{Au}} = \frac{C_0 - C_f}{w} \quad (2)$$

Donde, C_0 y C_f son las concentraciones iniciales y finales de Au en forma de complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ expresadas en mg/L y w es la masa en gramos del mineral carbonáceo empleada. Se determinó la capacidad de adsorción del mineral antes y después de la eliminación de carbonato de calcio presente en la muestra. A partir de los experimentos de adsorción es posible calcular el grado preg-robbing (%PR) con la siguiente ecuación:

$$\%PR = 100 (1 - [\text{Au}]_{\text{final}}/[\text{Au}]_{\text{inicial}}) \quad (3)$$

En donde %PR es el porcentaje de oro adsorbido en solución por el mineral carbonáceo, $[\text{Au}]_{\text{inicial}}$ y $[\text{Au}]_{\text{final}}$ corresponden a la concentración de Au en forma de complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ antes y después de la adsorción en mg/L, respectivamente.





RESULTADOS

Caracterización del mineral

La Figura 1 muestra los patrones de difracción para las muestras 100 y +100 del mineral carbonáceo sin tratamiento para $C_{\text{inorgánico}}$. Se observa que se tienen dos fases principales, identificadas como cuarzo SiO_2 y calcita CaCO_3 , sin tener señales de fases que relacionen un contenido orgánico. Este resultado muestra el elevado contenido de CaCO_3 en las muestras por lo que la cantidad de $C_{\text{inorgánico}}$ (debida a carbonato de calcio) fue cuantificada y la Tabla 1 resume este resultado. Se observa que más de la mitad del contenido de la muestra corresponde a carbonato de calcio (>55%) concordando con la descripción del mineral como piedra caliza carbonosa reportada por para la zona en el Panorama Minero del estado de Querétaro [7].

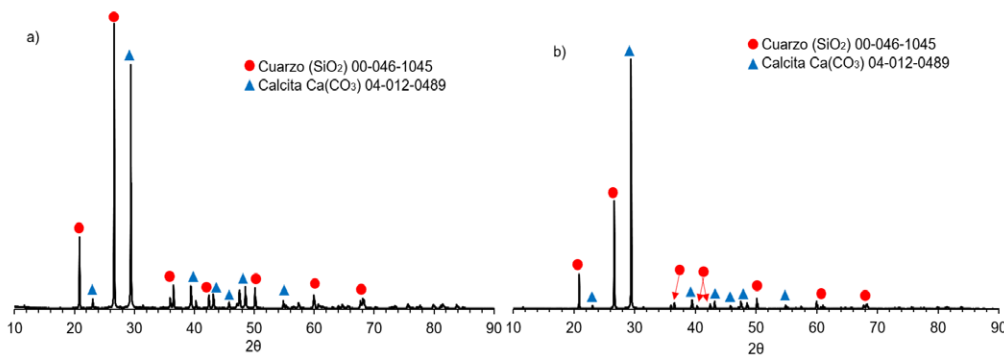


Figura 1. Patrones de difracción para las muestras a) 100 y b) +100.

Tabla 1. Porcentaje de carbonato de calcio en el mineral.

Muestra	CaCO_3 (%)	Promedio (%)	Desviación estándar
100	55.97	55.58	2.21
	53.20		
	57.56		
+100	57.31	57.69	0.87
	57.07		
	58.69		

La Figura 2 muestra los patrones de difracción de las muestras 100 y +100 después del tratamiento para la eliminación del carbonato de calcio. Cuando el mineral es tratado con HCl , el difractograma muestra señales atribuidas al cuarzo y ya no se indexan las señales de CaCO_3 como resultado del tratamiento. No obstante, es posible identificar señales de baja intensidad que corresponden a carbono indicando la presencia de materia carbonosa. Sin embargo, la técnica de DRX no revela el grado de desorden o amorficidad del carbono, ya que las señales del cuarzo cubren las otras señales de menor proporción como lo indica Santiago y col. [5].



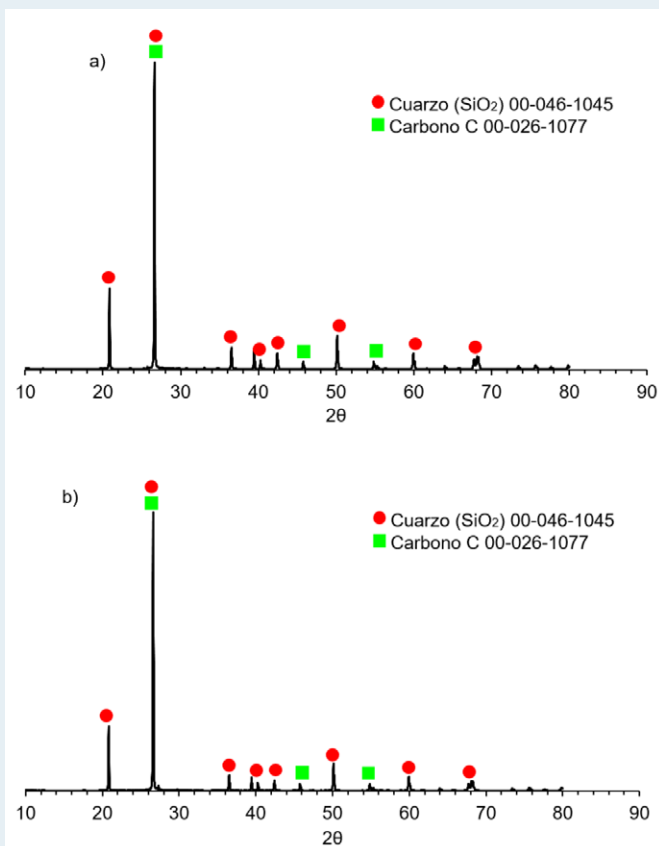


Figura 2. Patrones de difracción para las muestras a) 100 y b) +100, después de la eliminación de carbonato de calcio.

La Figura 3 muestra los espectros de infrarrojo de las muestras 100 y +100 haciendo una comparación antes y después del tratamiento para $C_{inorgánico}$. En los espectros de las muestras sin tratar (color azul) las bandas más representativas son las ubicadas en 1421.61 cm^{-1} y 875.27 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones de estiramiento del enlace C-O en el compuesto carbonato de calcio, así como la banda en 797.49 cm^{-1} asignada al enlace Ca-O. Esta asignación fue realizada en base a lo reportado por Lachehab y col. [8] quienes compararon los espectros de infrarrojo de un carbonato de calcio comercial y uno sintético.



Por otro lado cuando las muestras son tratadas para carbón inorgánico (color rojo), los espectros cambian significativamente y las bandas que predominan son las asignadas a los enlaces Si-O. Adicionalmente, una banda de baja intensidad aparece en 1608.58 cm^{-1} que corresponde a enlaces C=C en compuestos aromáticos indicando la presencia de materia orgánica carbonosa [9]. Para esta asignación, se tomó en consideración que la materia carbonácea en minerales se analiza en base al grado de maduración [4, 5] y se ha comparado con carbones activados y sus derivados debido a su comportamiento de adsorción [10]. También se identificó la banda de absorción en 3427.91 cm^{-1} que se relaciona con las vibraciones del enlace O-H que pertenecen a las moléculas de agua. Esta asignación concuerda con lo reportado por varios autores [8, 11].

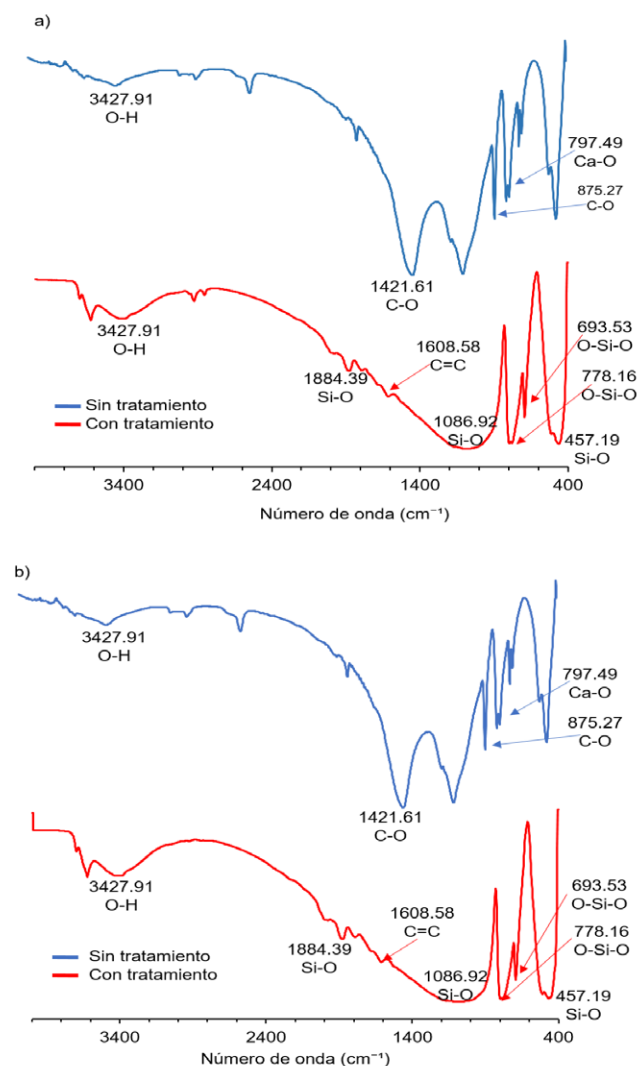


Figura 3. Espectros infrarrojos de la muestra a) 100 y b) +100, antes (azul) y después del tratamiento (rojo) para eliminar el carbonato de calcio.

Las Figuras 4 y 5 muestran las micrografías, análisis y distribución elemental en las muestras 100 y +100 antes y después del tratamiento para $C_{inorgánico}$. Para el caso de la muestra 100, se observan partículas con formas y tamaños variados (Figura 4a). Los resultados del análisis elemental para la muestra sin tratar indica la presencia de calcio y silicio consistente con el resultado de DRX. Por otro lado, la muestra con tratamiento (Figura 4b) ya no muestra la presencia de calcio, lo que indica que fue eliminado con el tratamiento para carbón inorgánico. Para el caso de la muestra +100 (Figura 5a), las micrografías presentan el mismo comportamiento observado en la figura anterior, sin embargo es más evidente la desaparición de una tonalidad o capa blanca cuando se realiza el tratamiento para carbón inorgánico, indicando que esa capa podría estar relacionada con el carbonato de calcio.

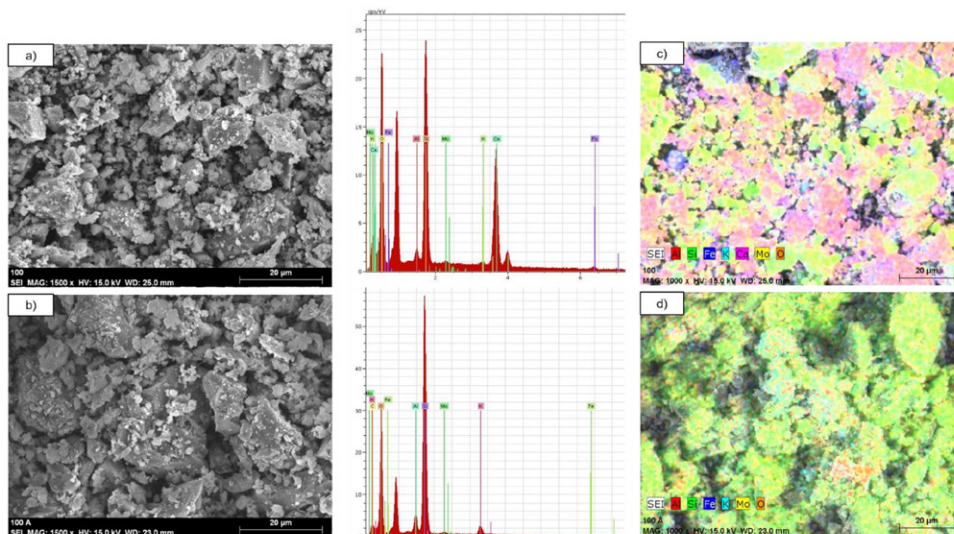


Figura 4. Análisis de la muestra 100 por MEB: a) Micrografía y EDS antes del tratamiento, b) Micrografía y EDS después del tratamiento, c) mapeo antes del tratamiento y d) mapeo después del tratamiento.

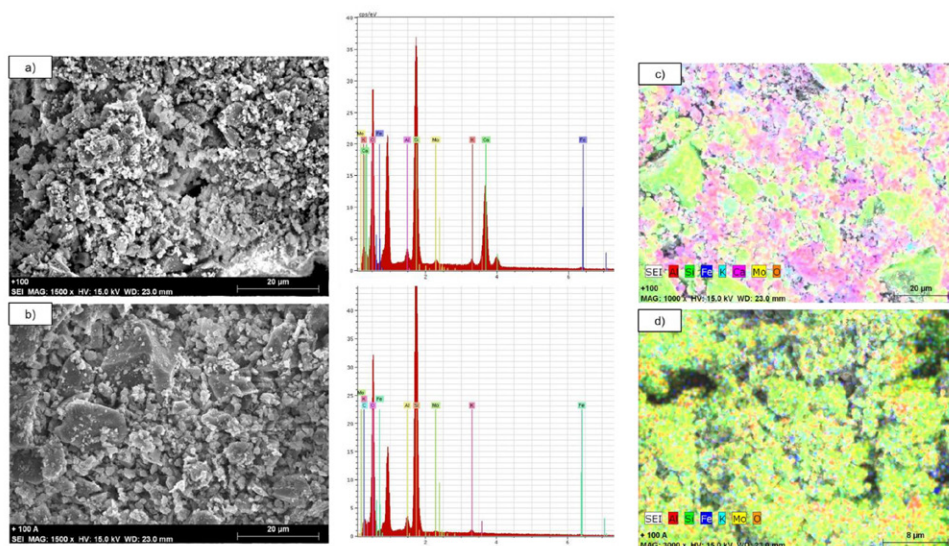
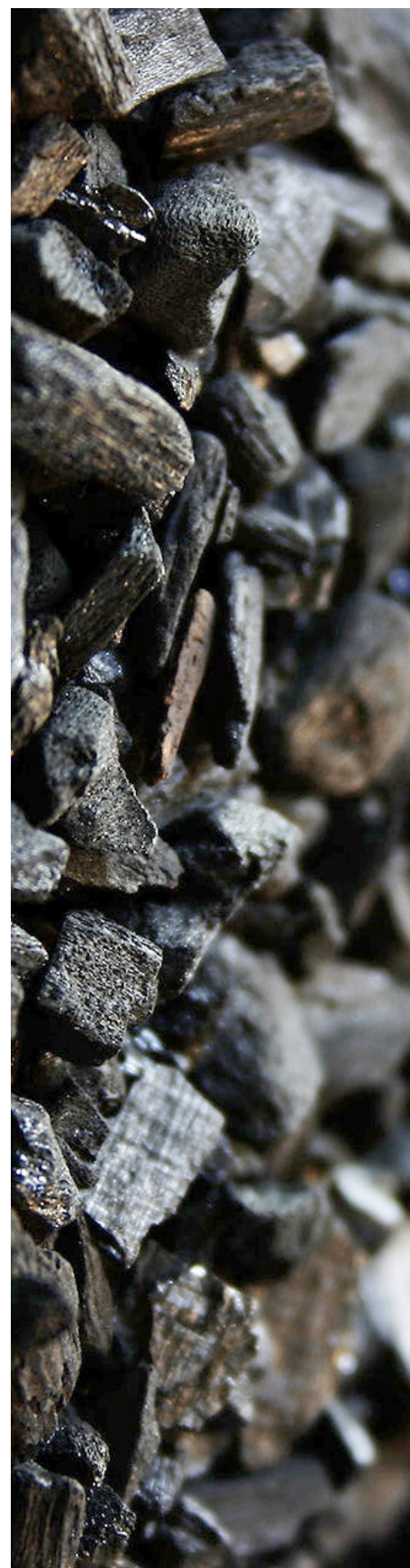


Figura 5. Análisis de la muestra +100 por MEB: a) Micrografía y EDS antes del tratamiento, b) Micrografía y EDS después del tratamiento, c) mapeo antes del tratamiento y d) mapeo después del tratamiento.





La distribución elemental observada es heterogénea y los elementos que más resaltan son el silicio con un color verde y calcio en color rosa (Figura 4c y 5c). El hierro (color azul) sobresale en algunas zonas de la muestra. Por otro lado, en las muestras tratadas (Figura 4d y 5d) se observa que el elemento de mayor proporción es el silicio (color verde) y en algunas zonas se nota un poco de aluminio.

Grado Preg-robbing en el mineral

La Figura 6 muestra los resultados de la capacidad de adsorción reportados como %PR de las muestras 100 y +100 con y sin tratamiento. Este valor indica el porcentaje de oro en forma de $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ que fue adsorbida por el mineral [4], y se calculó por la ecuación 3 para diferentes masas del mineral. En ambas gráficas se observa la misma tendencia, al aumentar la cantidad de mineral aumenta el %PR, indicando que la adsorción está relacionada con la presencia del mineral. Para el caso de las muestras sin tratamiento, el mayor %PR fue de 33.7% (6 g mineral) para la muestra 100. Mientras que para las muestras con tratamiento el porcentaje más alto fue de 69.7% (1 g mineral) para la misma muestra. Estos resultados indican que cuando hay presencia de carbonatos, la adsorción se da en menor proporción que cuando la fase predominante es SiO_2 . Esto puede estar relacionado con dos fenómenos, el primero debido al tamaño de partícula, ya que el mineral es de menor tamaño después del tratamiento. Así, las partículas adquieren mayor área superficial, favoreciendo el contacto con la solución y por lo tanto la adsorción aumenta. El segundo se debe a que la cantidad de C orgánico presente en las muestras con tratamiento es mayor que la de que tendría en la muestra sin tratamiento, lo que también favorece a la adsorción. Para poder demostrar esto, se requieren realizar estudios posteriores para la cuantificación de $\text{C}_{\text{orgánico}}$ en las muestras y relacionar el resultado obtenido.

La Tabla 2 muestra los valores de la capacidad de adsorción para ambas muestras con y sin tratamiento. Se observa que la capacidad de adsorción se incrementa con la

masa de mineral de forma similar a la observada en el grado preg-robbing. Por otro lado, la capacidad de adsorción es mucho mayor cuando el mineral tiene tratamiento (sin carbonatos). De acuerdo a lo reportado por Dunne y col. [12], la capacidad de adsorción permite clasificar el nivel de grado preg-robbing del mineral. Así, para una capacidad de adsorción <0.001 mg Au/g de mineral, el mineral corresponde a levemente preg-robbing y cuando la capacidad de adsorción es >0.5 mg de Au/g de mineral, es un mineral fuertemente preg-robbing [10, 12]. De acuerdo a la capacidad de adsorción y al %PR, el resultado obtenido para el mineral evaluado, permite sugerir un comportamiento preg-robbing moderado.

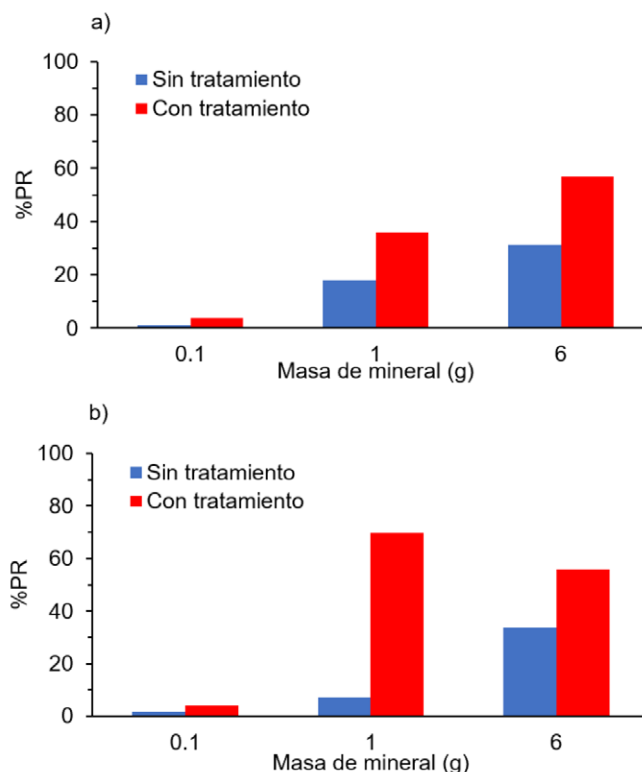


Figura 6. Gráfica del grado preg-robbing (%PR) en función de la masa de mineral para la muestra, a) 100 sin y con tratamiento para carbón inorgánico y b) +100 sin y con tratamiento para carbón inorgánico.

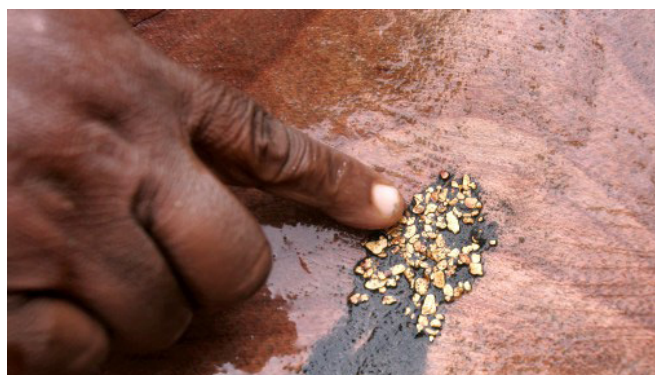




Tabla 2. Capacidad de adsorción (q_{Au}) para ambas muestras con y sin tratamiento para carbón inorgánico.

Muestra	Masa mineral (g)	q_{Au} (mg $Au(CN)_2^-$ /g mineral)	Masa mineral (g)	q_{Au} (mg $Au(CN)_2^-$ /g mineral)
100 +	0.158	0.041	0.103	0.188
100 +	1.009	0.096	1.006	0.198
100 +	6.061	0.028	6.089	0.052
100	0.170	0.057	0.119	0.190
100	1.006	0.038	1.017	0.379
100	6.072	0.030	6.078	0.051

CONCLUSIONES

La caracterización de mineral carbonáceo por DRX reveló que predominan dos fases principales: la calcita ($CaCO_3$) que contribuye con más del 50% de la muestra, y el cuarzo (SiO_2) con el resto. Al eliminar el contenido de calcio en forma de carbonatos, las señales indican la presencia de cuarzo y pudo ser identificado además carbono. Este último se relacionó con la existencia de materia orgánica a partir de espectros de FTIR donde se identificaron bandas asociadas al enlace C=C en compuesto aromáticos especialmente en las muestras sin carbonatos. Derivado de los experimentos de adsorción se demostró que el mineral es el responsable de la adsorción del complejo $Au(CN)_2^-$ y es dependiente de la masa de mineral, por lo anterior y de acuerdo al %PR, se concluye la presencia de un comportamiento preg-robbing moderado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Helm, J. Vaughan, W. Staunton, and J. Avraamides, "An investigation of the carbonaceous component of preg-robbing gold ores," in *World gold conference*, 2009, pp. 139-144.
- [2] P. Afenya, "Treatment of carbonaceous refractory gold ores," *Minerals Engineering*, vol. 4, no. 7-11, pp. 1043-1055, 1991. 10.116/0892-6875(91)90082-7.
- [3] O. P. Karthikeyan, A. Rajasekar, and R. Balasubramanian, "Bio-oxidation and biocyanidation of refractory mineral ores for gold extraction: a review," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 45, no. 15, pp. 1611-1643, 2015. 10.1080/10643389.2014.966423.
- [4] W. S. Ng, Q. Wang, and M. Chen, "A review of Preg-robbing and the impact of chloride ions in the pressure oxidation of double refractory ores," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, pp. 1-28, 2020. 10.1080/08827508.2020.1793142.
- [5] R. Santiago and A. Ladeira, "Reduction of preg-robbing activity of carbonaceous gold ores with the utilization of surface blinding additives," *Minerals Engineering*, vol. 131, pp. 313-320, 2019. 10.1016/j.mineng.2018.11.029.
- [6] G. Ofori-Sarpong, R. Amankwah, and K. Osseo-Asare, "Reduction of preg-robbing by biomodified carbonaceous matter—A proposed mechanism," *Minerals engineering*, vol. 42, pp. 29-35, 2013. 10.1016/j.mineng.2012.11.014.
- [7] (2019). *Panorama minero del estado de Querétaro*
- [8] A. Lachehab, O. Mertah, A. Kherbeche, and H. Hassoune, "Utilization of phosphogypsum in CO₂ mineral sequestration by producing potassium sulphate and calcium carbonate," *Materials Science for Energy Technologies*, vol. 3, pp. 611-625, 2020. 10.1016/j.mset.2020.06.005.
- [9] T. Cui, W. Fan, Z. Dai, Q. Guo, G. Yu, and F. Wang, "Variation of the coal chemical structure and determination of the char molecular size at the early stage of rapid pyrolysis," *Applied Energy*, vol. 179, pp. 650-659, 2016. 10.1016/j.apenergy.2016.06.143.
- [10] J. Miller, R.-Y. Wan, and X. Diaz, "Preg-robbing gold ores," in *Gold Ore Processing*: Elsevier, 2016, pp. 885-907.
- [11] L. Zhang et al., "Coconut-based activated carbon fibers for efficient adsorption of various organic dyes," *RSC advances*, vol. 8, no. 74, pp. 42280-42291, 2018. 10.1039/C8RA08990F.
- [12] R. Dunne, K. Buda, M. Hill, W. Staunton, G. Wardell-Johnson, and V. Tjandrawan, "Assessment of options for economic processing of preg-robbing gold ores," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, vol. 121, no. 4, pp. 217-223, 2012. 10.1179/1743285512Y.0000000019.

Cómo citar este artículo:

Gómez Santiago, M., Cholico-González, D., Ortiz Lara, N., & Escudero García, R. (2022). CARACTERIZACIÓN DE UN MINERAL CARBONÁCEO E IDENTIFICACIÓN DEL EFECTO PREG-ROBBING. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.205>

Modelamiento y simulación de una planta de recuperación de plata con tiourea

Modeling and Simulation of a Silver Recovery Plant with Thiourea

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

R. Robles-Ramos ¹
 M. J. Reyna-Robelo ²
 D. Calla-Choque* ³
 J.S. Santos-Jallath ⁴

Recibido: 02 / 11 / 2021

Aceptado: 25 / 03 / 2022

Publicado: 29 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.210>

Autor de Correspondencia:

Dandy Calla Choque

Correo: dcalla@unam.mx

Resumen

Algunos residuos generados en operaciones metalúrgicas tienen elementos metálicos de interés, por lo que pueden ser reprocesados para darle un valor adicional a la operación. Este trabajo presenta el modelamiento y simulación de tanques de lixiviación para la recuperación de plata con tiourea y oxalato a partir de jarositas que son uno de los principales desechos del procesamiento del zinc. Se usaron modelos de primer orden y se seleccionó el de mejor ajuste para la evaluación de la velocidad de lixiviación en tanques con agitación continua (CSTR). Finalmente se presentan los resultados obtenidos en la simulación del proceso con ayuda del software Matlab-Simulink® por medio de bloques de subsistemas.

Palabras clave: modelamiento, simulación, plata, tanques de lixiviación.

Abstract

Some metallurgical wastes have residual metals of interest generated in metallurgical operations have values of interest that can be reprocessed to give additional value to the operation, this work presents the modeling and simulation of leaching tanks for silver recovery with thiourea and oxalate from jarosite that is principal zinc processing waste for this purpose first-order models were used and the one with the best fit was selected for the evaluation of the leaching rate in tanks with continuous stirring (CSTR). Finally, the results obtained with the process simulation are presented with the help of the Matlab-Simulink® software using subsystem blocks.

Keywords: modeling, simulation, silver, leach tanks.

¹ Estudiante de Ingeniería de Minas y Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, CDMX, México, ruben.robles@ingenieria.unam.edu

² Estudiante de Ingeniería de Minas y Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, CDMX, México, mauricio67@comunidad.unam.mx

³ *Doctor en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Departamento de Ingeniería de Minas y Metalúrgica – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, dcalla@unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-2848-4388>

⁴ Doctor en Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Minas y Metalúrgica – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, jesantos@unam.mx

INTRODUCCIÓN

Las jarositas son de interés en la industria metalurgia del zinc porque su formación facilita la eliminación de hierro en las soluciones de lixiviación, mientras genera un residuo estable y fácilmente removible del sistema [1]. Además, puede eliminar algunos otros elementos como el plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), plata (Ag) entre otros.

La jarosita con contenido de Ag, usada en este artículo es también llamada argentojarosita o jarosita de Ag, su contenido de plata resulta atractiva por el incremento de los precios de los metales; por lo cual se estudia una alternativa para la recuperación de metales valiosos [2].

Tiourea

La tiourea ha sido propuesta como una alternativa para el tratamiento de minerales complicados en la recuperación de metales como, los sulfurosos, minerales que consumen cianuro (cianicidas) y para lugares donde las preocupaciones ambientales hacen que el uso del cianuro sea restringido. La tiourea es un reactivo relativamente no tóxico, que se comporta como fertilizante para algunas plantas, y podría ser una alternativa atractiva al cianuro en ambientes sensibles.

Por otra parte, se sospecha que es cancerígeno y es capaz de disolver metales pesados, además del Au y Ag, presenta algunos problemas ambientales similares al cianuro en el manejo y disposición de efluentes, sin embargo, su

descomposición y tratamiento de las soluciones con tiourea es mucho más sencilla por métodos químicos [2].

Modelos cinéticos

Los modelos matemáticos son un instrumento muy común en el estudio de sistemas de toda índole. Para el caso que se estudia la recuperación de elementos o especies valiosas, un parámetro de importancia es la velocidad de la recuperación, por lo que se busca un modelo matemático para la evaluación y el análisis del proceso de concentración o lixiviación, así como para la optimización y simulación [3].

El primer modelo cinético presentado es el de García Zúñiga (1), se basa en el supuesto que la velocidad de colisión de partículas es de primer orden con respecto al número de partículas presentes y la concentración de la solución en el sistema permanece constante [4].

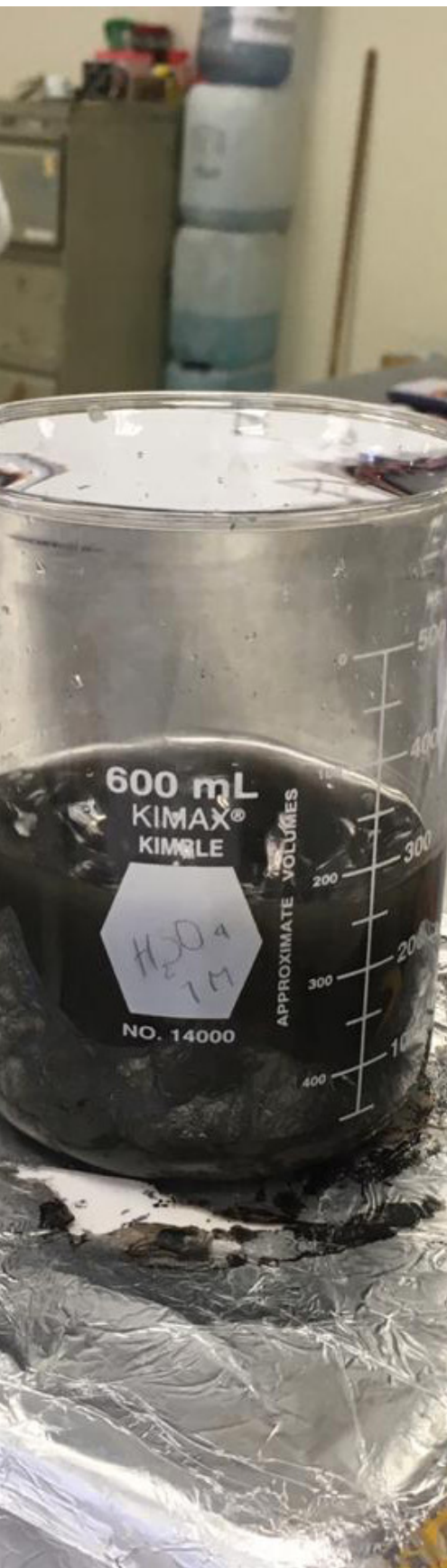
La ecuación cinética se expresa de la siguiente forma [5]:

$$R(t) = R_{max}(1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

El segundo modelo cinético presentado es el Rápido-Lento (2), matemáticamente este modelo se describe como:

$$R(t) = R_{max}[(\theta_r(1 - e^{-k_r t}) + \theta_l(1 - e^{-k_l t}))]; \theta_r + \theta_l = 1 \quad (2)$$





El tercer modelo cinético presentado es el de Klimpel (3), su ecuación es la siguiente:

$$R(t) = R_{max} [1 - \frac{1}{kt} (1 - e^{-kt})] \quad (3)$$

Donde R es la recuperación del elemento útil, k es la constante de velocidad de primer orden, t es el tiempo de lixiviación, R_{max} = Recuperación máxima [6].

El cuarto modelo cinético presentado es el de recuperación de orden n, linealizado, donde CA representa la concentración de plata en solución (4).

$$\text{Log } CA - \text{Log } CA_0 = -kt \quad (4)$$

Finalmente, el modelo cinético presentado es el de modelo de núcleo decreciente (5) que involucra un proceso cinético controlado por reacción química, además describe la velocidad de disolución a diferente tamaño de partícula en la constante de velocidad, k [7].

Su ecuación es la siguiente:

$$1 - [1 - X]^{\frac{1}{3}} = kt \quad (5)$$

Para el presente trabajo se desarrollaron los cinco modelos descritos para hacer el análisis y simulación con los datos experimentales.

METODOLOGÍA

Los siguientes datos experimentales de recuperación de plata a partir de jarositas industriales fueron obtenidos con las pruebas de lixiviación con tiourea y oxalato [1] bajo las siguientes condiciones, pH=1 a una temperatura de 50°C:

Tabla 1: Datos experimentales de la recuperación de plata en jarositas con tiourea.

Tiempo (h)	0.00	0.17	0.33	0.50	1.00	1.50	2.00
%R (Ag)	4.18%	43.92%	53.80%	60.63%	75.95%	88.80%	94.62%

Posteriormente se usaron los diferentes modelos cinéticos para después comparar cuál presenta un mejor ajuste a los datos experimentales. Los modelos considerados para este fin son los siguientes modelos de primer orden, García Zúñiga, Rápido-Lento, Klimpel, ecuación de orden n y núcleo decreciente.

Con el modelo cinético de mejor ajuste se determinó el número de tanques y el volumen de los tanques (6) de agitación continua (CSTR), con una concentración inicial y un $CA_0 = 158 \frac{g}{t}$ Ag y un $F_0 = 30 \frac{m^3}{h}$.

$$V_n = \frac{CA_0 * \text{Flujo pulpa} * (R_n - R_{n-1})}{-r_{An}} \quad (6)$$

Además, se procedió a determinar el volumen promedio que debe tener cada tanque (7).

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5} = \frac{V_T}{5} \quad (7)$$

Con todos los datos obtenidos de las expresiones anteriores, se procedió a la simulación en el software Matlab-Simulink®, para ello es necesario determinar concentración CA, se partió de la ecuación (8) y de ahí la ecuación diferencial (9).

$$A = F_0 CA = V \frac{d(CA)}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{dCA_1}{dt} = \frac{F_0CA_0 - F_1CA_1}{V_1} - kCA_1^n \quad (9)$$

Llegado a este punto, en el reactor CSTR se obtiene una concentración en el primer tanque con la ecuación (9) y para el cálculo de la recuperación, la ecuación (10).

$$\%R = \frac{CA_0 - CA_1}{CA_1} \quad (10)$$

Colocando un segundo reactor en serie, el modelo para el segundo reactor se presenta en la ecuación (11) y la recuperación la ecuación (12).

$$\frac{dCA_2}{dt} = \frac{F_1CA_1 - F_2CA_2}{V} - kCA_2 \quad (11)$$

$$\%R = \frac{CA_0 - CA_2}{CA_2} \quad (12)$$

Y se procede a hacer el mismo calculo para el tercer, cuarto y quinto tanque.

Por último, se determina el promedio de los volúmenes de cada tanque (12).

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5} \quad (13)$$

RESULTADOS

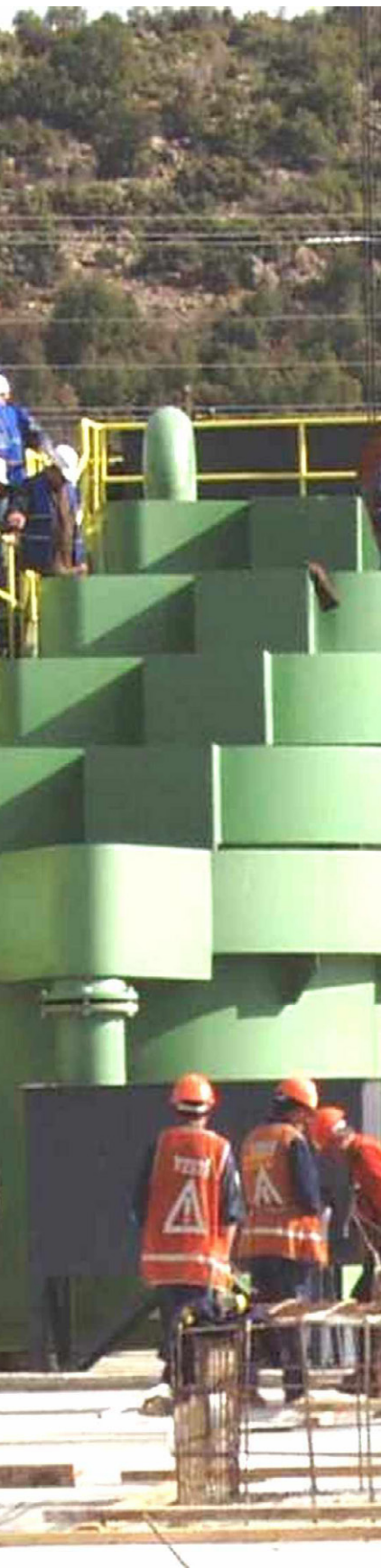
Se presentan los resultados de la elección del modelo cinético y ajuste de datos de recuperación de plata a partir de jarositas con tiourea y oxalato (tabla 2).



Tabla 2: Modelos cinéticos en la recuperación de plata a partir de jarositas con tiourea.

	Rápido-Lento	García-Zuñiga	Klimpel	Orden n	Núcleo decreciente
R_{max}	0.888	0.888	0.981	-	-
K	-	0.047	0.059	0.013	0.050
θ_r, θ_l	0.500	-	-	-	-
kr, kl	0.047	-	-	-	-
$\theta_r + \theta_l$	1.000	-	-	-	-
Error total	0.027	0.027	0.016	0.016	0.012





Del ajuste de los resultados experimentales a los cinco modelos presentados, rápido-lento, Garcia-Zuñiga, orden n y núcleo decreciente se obtuvieron los errores al ajuste de 0.027 rápido-lento y Garcia-Zuñiga, 0.016 Klimpel y Orden, y 0.012 para el modelo de núcleo decreciente por lo que este modelo muestra una mejor descripción de los resultados experimentales obtenidos bajo las condiciones experimentales para la lixiviación de la plata (Figura 1) con un orden $n = 1$ y con una constante de velocidad, $k = 0.05$.

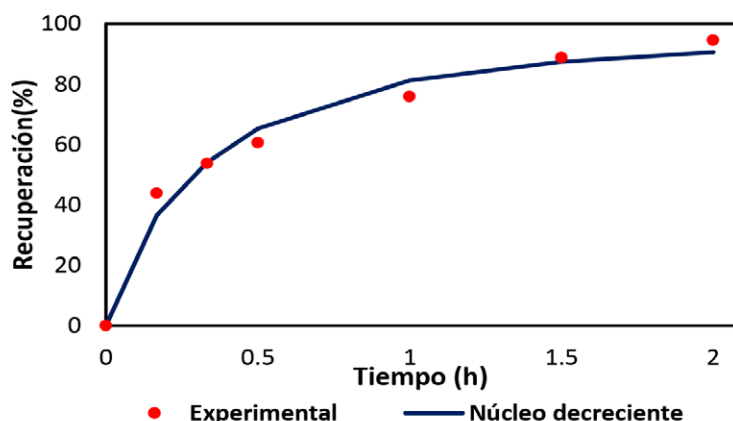


Figura 1: Modelo del núcleo decreciente.

Sustituyendo en la ecuación (6), se obtuvieron los volúmenes de cada tanque y con la ecuación (9) se determina la concentración en cada tanque (ver tabla 3).

Tabla 3: Obtención de volumen y concentración en cada tanque.

Tanque	Volumen [m^3]	$\frac{dCA}{dt}$	Ag, CA $\frac{g}{t}$
TK-1	809	$\frac{(30 \frac{m^3}{h})(158 \frac{g}{t}) - (30 \frac{m^3}{h})(CA_1)}{287.3 m^3} - (0.05)(CA_1)$	101.3
TK-2	287	$\frac{(30 \frac{m^3}{h})(101.3 \frac{g}{t}) - (30 \frac{m^3}{h})(CA_2)}{287.3 m^3} - (0.05)(CA_2)$	65.04
TK-3	139	$\frac{(30 \frac{m^3}{h})(65.04 \frac{g}{t}) - (30 \frac{m^3}{h})(CA_3)}{287.3 m^3} - (0.05)(CA_3)$	42.11
TK-4	149	$\frac{(30 \frac{m^3}{h})(42.11 \frac{g}{t}) - (30 \frac{m^3}{h})(CA_4)}{287.3 m^3} - (0.05)(CA_4)$	27.9
TK-5	52	$\frac{(30 \frac{m^3}{h})(27.9 \frac{g}{t}) - (30 \frac{m^3}{h})(CA_5)}{287.3 m^3} - (0.05)(CA_5)$	19.4

El volumen promedio de cada reactor que se obtuvo de la ecuación (12) para procesar $30 \frac{m^3}{h}$ pulpa, con una ley de oro de $158 \frac{g}{t}$ Ag.

Las recuperaciones en cada tanque se presentan en la tabla 4 a un tiempo de 47.88 horas:

Tabla 4: Recuperación de plata en jarositas con tiourea y oxalato en g/t por tanque.

Recuperación de Plata (%)				
TK-1	TK-2	TK-3	TK-4	TK-5
35.92	58.94	73.35	82.34	87.72

Los resultados que se obtuvieron de la simulación del proceso con ayuda del software Matlab-Simulink® en bloques de subsistemas se presentan en la figura 2 y la gráfica de recuperación en cada tanque con respecto al tiempo se muestra en la figura 3.

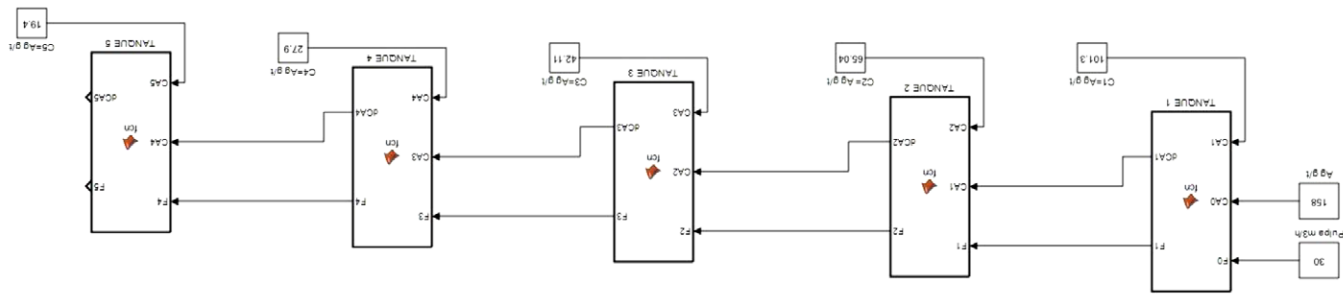


Figura 2: Modelamiento y simulación en el software Matlab-Simulink®

En la figura 2, se muestra parte de la simulación obtenida con ayuda del software Matlab-Simulink con un flujo constante en cada tanque de 30 y una concentración inicial de $158 \frac{g}{t}$ de Ag; en el primer tanque la concentración de plata que se obtiene es de $101.3 \frac{g}{t}$, el segundo tanque tiene una concentración $65.04 \frac{g}{t}$, el tercer tanque $42.11 \frac{g}{t}$, el cuarto $27.9 \frac{g}{t}$ y el último tanque permite obtener una concentración de $19.4 \frac{g}{t}$.

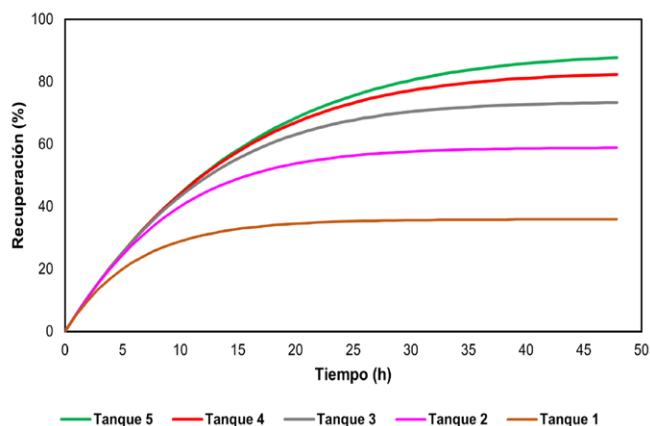


Figura 3: Gráfica de las recuperaciones en cada tanque.

Para las recuperaciones obtenidas en cada tanque, la figura 3 muestra el porcentaje de lixiviación de plata con tiourea y oxalato a partir de jarositas en un tiempo de 47.88 horas. En el primer tanque se obtiene una recuperación del 35.92%, el segundo 58.94%, el tercero 73.35%, el cuarto de 82.34% y el último tanque es de 87.92%.

RECONOCIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PA-PIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México IA 106221.

CONCLUSIÓN

De los cinco modelos presentados, el modelo con un mejor ajuste para la lixiviación con tiourea y oxalato de las

jarositas para obtener plata, bajo una temperatura $50 [^{\circ}C]$ y un $pH=1$ fue el de núcleo decreciente, debido a que representa una mejor descripción de los resultados experimentales con un error total de 0.012 para una constante de velocidad de 0.05.

Se determinó que con flujo constante igual a $\frac{m^3}{h}$ en los 5 reactores CSTR se obtiene una recuperación del 87.72% de plata a partir de las jarositas con contenidos de plata, equivalente a $175.54 \frac{oz}{dia}$.

Se presenta la simulación de una planta de agitación en tanques de lixiviación mediante el software Matlab-Simulink®, así como la representación gráfica del modelado de la recuperación en cada tanque con respecto al tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Calla-Choque, G.T. Lapidus, "Jarosite dissolution kinetics in the presence of acidic thiourea and oxalate media", *Hydrometallurgy*, vol. 206, pp. 1-6, January 2021.
- [2] D. Calla-Choque, "Tratamiento de los residuos del proceso jarosita de la industria metalúrgica del zinc, con la finalidad de mitigar este pasivo ambiental", Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, Lima, Perú, 2012.
- [3] M. Alvarez-Silva, L. Vinnett, R. Langlois, K.E. Waters, "A comparison of the predictability of batch flotation kinetic models", *Mineral Engineering*, vol. 174, August 2016.
- [4] O. Peña i Lillo, "Principios de Flotación Selectiva aplicados a minerales complejos", *Boletín minero de la Sociedad Nacional de Minería*, vol. 47, pp.113, Febrero de 1935.
- [5] R. Klimpel, "Selección de reactivos químicos para flotación", *SME*, vol.33, pp16, Enero 1980.
- [6] T. Coleman, M.A. Branch, A. Grace. *Optimization Toolbox*. 2nd ed. USA: The Math Works, Inc. 1996.
- [7] K.C. Lillie, "Shrinking core models in hydrometallurgy: What students are not being told about the pseudo-steady approximation", *Hidrometallurgy*, vol. 79, pp. 62-68, September 2005.

Cómo citar este artículo:

Robles Ramos, R., Reyna Robledo, M. J., Calla Choque, D., & Santos Jallath, J. E. (2022). MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE PLATA CON TIOUREA. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.210>

El volcán, un depósito de hierro magmático en el NW México: distribución y características generales

El volcán, a Magmatic Iron Deposit in NW Mexico:
Distribution and General Characteristics

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Miguel Angel Encinas Aguirre ¹

Lucas Ochoa Landín ²

Rafael Del Rio Salas ³

Recibido: 03 / 11 / 2021

Aceptado: 25 / 04 / 2022

Publicado: 29 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.211>

Autor de Correspondencia:

Lucas Ochoa Landín

Correo: luкас.ochoa@unison.mx

Resumen

La mayoría de los depósitos de hierro en Sonora se encuentran asociados a zonas de skarn y de reemplazamiento relacionadas a cuerpos intrusivos de composiciones granodiorítica-cuarzomonzonítica, no mayores de 5 Mt y con leyes menores de 50% de Fe total. Sin embargo, se ha documentado la presencia de depósitos de hierro cuyas características geológicas, estilos de alteración-mineralización y contexto tectónico, parecen asociarse a procesos magmáticos, los cuales pueden ser catalogados como depósitos IOCG del tipo hierro-apatito. Un ejemplo de este tipo de depósito es El Volcán, con un tonelaje de ~24 Mt de Fe y ley entre 40 a 60% de Fe total. Este tipo de manifestación mineral podría extenderse al lado occidental de México, abriendo una puerta importante para exploración de este tipo de yacimientos.

Palabras clave: el volcán, IOCG, Depósito de Hierro .

Abstract

The majority of iron deposits in Sonora are associated with skarn zones and/or replacements related to intrusive bodies of granodiorite-quartz monzonite compositions, not greater than 5 Mt and grades less than 50% total Fe. Unlike these deposits, there is the presence of iron deposits whose geological characteristics, alteration-mineralization styles and tectonic context, seem to be associated with magmatic processes, which can be classified as IOCG deposits of the iron-apatite type. A typical example of this type is El Volcán, a deposit of ~ 24 Mt of Fe, with an average grade of 40 to 60% Fe. This type of mineral deposit could extend to the western side of Mexico, which represents new opportunities for exploration of this type of deposits.

Keywords: the volcano, IOCG, Iron Deposit .

¹ Licenciado Geólogo, Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora, Blvd. Luis

Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. miguel.encinasa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5073-4764>

² Doctor, Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México, luкас.ochoa@unison.mx

³ Doctor, Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, L.D. Colosio S/N y Madrid, Col. Los Arcos, Hermosillo, Sonora, México, rdelrio@geologia.unam.mx, <https://orcid.org/0000-0002-4474-172X>

INTRODUCCIÓN

En el noroeste de México, en particular en el Estado de Sonora, se tienen yacimientos de hierro principalmente asociados a zonas de skarn ligados espacial y temporalmente a cuerpos ígneos ampliamente distribuidos en el NW de México con edades que oscilan entre 80 y 40 Ma, especialmente en la parte centro-norte de Sonora [1-3] (Figura 1). Estos yacimientos regularmente presentan una asociación mineral típicamente compuesta por granates, piroxenos y anfíboles, con reservas generalmente menores a un millón de toneladas de Fe. En la actualidad y exclusivamente hacia la parte centro-sur de Sonora, se tiene conocimiento de cierto tipo de depósitos de Fe que presentan un estilo magmático hidrotermal con abundante magnetita y/o hematita en cuerpos masivos y zonas de brechas asociadas con un claro carácter intrusivo, con una probable asociación magmática a profundidad, como es el caso de El Volcán y otros proyectos en esta región del estado (Figura 1), los cuales podrían corresponder a depósitos de Fe magmático, conocidos como IOCG.

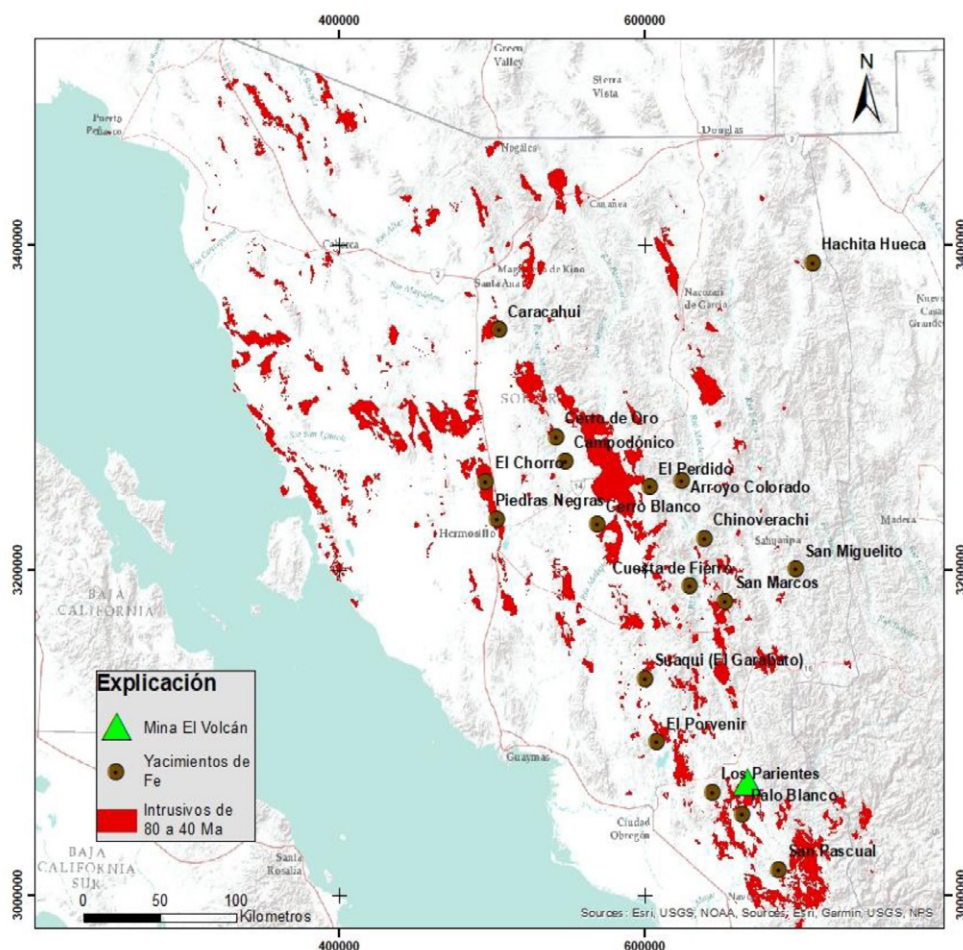


Figura 1. Distribución de los yacimientos de Fe en Sonora.

GEOLOGIA LOCAL

El depósito El Volcán, se encuentra hospedado en un cuerpo intrusivo de composición cuarzomonzonita y en rocas volcánicas de composición andesítica y dacítica de afinidad calco-alkalina asociadas a la Formación Tarahumara de edad cretácica, las cuales están ampliamente distribuidas en el sur de Sonora [4].

Las rocas intrusivas y volcánicas, así como los cuerpos mineralizados de Fe, son cortados por una serie de diques riolíticos, andesíticos y lamprofídicos y son cubiertos por rocas volcánicas riolíticas del Terciario (Figura 2).



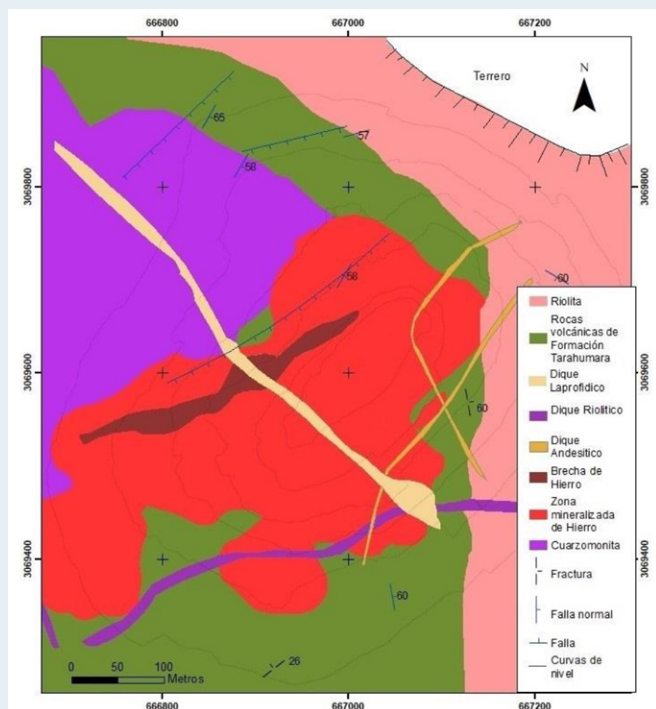


Figura 2. Geología del depósito El Volcán.

MINERALIZACIÓN

La mineralización de Fe en la mina El Volcán, a diferencia de los depósitos tipo skarn de Fe en Sonora, contiene más de 20 Mt con una ley de 40 a 60 % de Fe Total, mos-

trándolo como el depósito de mayor tamaño y concentración de Fe en Sonora. La mineralización consiste de magnetita masiva en forma de cuerpos tabulares con dirección preferencial de W-NW y buzamientos entre 65-75°, con zonas parcialmente oxidadas a hematita en zonas cercanas a la superficie. La mineralización se presenta también en zonas de brecha que se extiende más de 200 m de largo de manera ininterrumpida, que cortan a la zona de magnetita masiva, regularmente con una dirección NE 40-60° SW. La zona de brecha consiste en fragmentos de magnetita sostenidos por sulfuros principalmente pirita-calcopirita, los cuales se presentan como minerales accesorios que por su volumen no son de interés económico.

Las rocas volcánicas hospedantes presentan una fuerte alteración potásica relacionada al emplazamiento del cuerpo intrusivo cuarzomonzonítico que genera un halo de metasomatismo potásico dentro y fuera del cuerpo ígneo, desarrollando vetillas con biotita + magnetita + pirita + calcita y/o cuarzo, con zonas irregulares de clorita-actinolita asociadas producto del mismo metasomatismo.

De acuerdo con sus características litológicas, mineralógicas y de alteración, el depósito El Volcán parece pertenecer a la tipología de los depósitos IOCG (Iron Oxidation Copper Gold), los cuales han sido definidos por su elevado contenido de magnetita y/o hematita, acompañados de calcopirita ± pirita ± bornita y algunos de ellos pueden tener apreciable contenido de Co, U, REE, Mo, Zn, Ag y otros elementos. La mayoría de estos depósitos muestra una amplia asociación en espacio-tiempo con cuerpos ígneos batolíticos de composición granodiorítica-monzonítica con extensas zonas fuertemente metasomatizadas. Algu-





nos de estos depósitos han alcanzado una alta producción de Cu y Au a nivel mundial, y han sido interpretados como asociados a sistemas hidrotermales de gran escala relacionados a magmas del manto que afectan a la corteza [2], aunque Williams [5] los ha clasificado como depósitos no magmáticos.

CONCLUSIONES

En la actualidad se desconoce gran parte de las características geológicas y geoquímicas de los depósitos atribuidos directamente a procesos magmáticos como es el caso de los depósitos de Fe en el sur de Sonora. En el caso muy particular de El Volcán, que se caracteriza por un intenso metasomatismo potásico con presencia de biotita + magnetita + cuarzo-calcita, feldespato potásico (feldespatización) y silicificación, afectando en forma de zonas irregulares al intrusivo y rocas volcánicas hospedantes, con una mineralización de hierro masiva la cual es cortada por

cuerpos de brecha con fragmentos de magnetita sostenidos por sulfuros de pirita-calcopirita, distribuyéndose dentro del cuerpo intrusivo y rocas volcánicas.

La evidencia geológica y estilo de mineralización-alteración del depósito El Volcán y zonas aledañas, sugieren que pudieran pertenecer a depósitos del tipo IOCG lo que implica un nuevo precedente de este tipo yacimiento en la provincia metalogenética del NW de México, generando nuevas expectativas en exploración para localizar áreas potenciales de Fe con características similares al depósito El Volcán.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cabrera, F.J., Vega-Granillo E.L., y Pérez-Segura E., "Los recursos minerales de hierro en Sonora. Evaluación Geológica Regional." Secretaría de Fomento Económico, Dirección de Minería, Geología y Energéticos, vol. 5, p.118, 1983.
- [2] Hitzman, M.W., "Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when and why. Hydrothermal Iron Oxide Copper-gold and Related Deposits: A Global Perspective", pp.9-26, 2000.
- [3] Ochoa-Landín L, Pérez-Segura, E., Del Rio Salas R. y Valencia-Moreno M., "Depósitos Minerales de Sonora. Panorama de la Geología de Sonora, México", Thierry Calmus (ed.), Boletín 118 del Instituto de Geología de la UNAM, Capítulo 9, 2011.
- [4] Roldan-Quintana J, McDowell FW, Delgado-Granados H y Valencia-Moreno M., "East-West variations in age, chemical and isotopic composition of the Laramide batholith in southern Sonora, Mexico", Revista Mexicana de Ciencias, vol. 26, n 3, 2009.
- [5] Williams, P. "Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin", Econ. Geol. 100th Anniversary volume, pp.371-405, 2005, Available: <https://doi.org/10.5382/AV100.13>.

Cómo citar este artículo:

Encinas-Aguirre, M. A., Ochoa Landín, L., & Del Rio Salas, R. (2022). El volcán, un depósito de hierro magmático en el NW de México: Discusión y características generales. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.211>



Estudio del comportamiento de especies vegetales en un proceso de fitoestabilización para remediación de suelo contaminado por jal minero abandonado

Study of the Behavior of Plant Species in a Phytostabilization Process for Remediation of Soil Contaminated by Abandoned Mine Tailings

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Diana Nalleli Reyna-Nájera ¹

Leonor Cortés-Palacios ²

Gilberto Sandino-Aquino De Los Ríos ³

Martin Martínez-Salvador ⁴

Luis Miguel Rodríguez-Vázquez ⁵

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 10 / 05 / 2022

Publicado: 16 / 05 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.197>

Autor de Correspondencia:

Dra. Leonor Cortés Palacio

Correo: lcortes@uach.mx

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el potencial fitorremediador de ocho plantas nativas sembradas con apoyo de enmiendas, sobre el jal de la mina La Prieta en Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, para fitoestabilizar los metales pesados y metaloide-As en sus raíces. La concentración de los elementos, en la parte aérea, raíz y suelo, se determinó siguiendo los criterios establecidos por la Norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Las especies *S. macrostachya* y *S. aireoides* mostraron las mayores concentraciones de cobre con valores entre 150 y 400 mg/kg, mientras que las demás especies oscilaron con valores entre 50 y 380 mg/kg. Las especies *S. aireoides*, *A. Canescens*, *S. Daysilirium* y *S. Macrostachia* presentaron potencial de fitorremediación al mostrar valores de Factor Traslocación <0.5 para As, Cu, Pb y Zn. Las especies antes mencionadas se adaptaron al experimento in situ, mostrando tolerancia a los metales pesados, metaloide y potencial de fitoestabilización.

Palabras clave: fitorremediación, enmienda, contaminación suelo.

Abstract

*The objective of the study was to evaluate the phytoremediation potential of eight native plants sown with the support of amendments, on the mine tailings from the La Prieta mine in Parral, Chihuahua, Mexico, to phytostabilize heavy metals and metalloid-As in their roots. The concentration of the elements, in the aerial part, root, and soil, was determined following the criterion established by the NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 standard. The species *S. macrostachya* and *S. aireoides* showed the highest copper concentrations with values between 150 and 400 mg/kg, whereas in the rest of the species ranged between 50 and 380 mg/kg. The species *S. aireoides*, *A. Canescens*, *S. Daysilirium*, and *S. Macrostachia* presented phytostabilization potential by showing Translocation Factor values <0.5, for As, Cu, Pb, and Zn. The species were adapted to the in situ experiment, showing tolerance to heavy metals, metalloid, and potential for phytostabilization.*

Keywords: phytoremediation, amendment, soil contamination.

¹ Posgrado UACH-FZYE1 Ingeniero Geólogo, Maestría Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih. México, diana.reyna@live.com.mx

² Facultad de Zootecnia y Ecología2, Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, lcortes@uach.mx, 0000-0003-1339-1680

³ Facultad de Zootecnia y Ecología2 Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, gaguino@uach.mx, 0000-0003-0613-7377

⁴ Facultad de Zootecnia y Ecología2 Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, msalvador@uach.mx, 0000-0002-2679-5070

⁵ Tecnológico Nacional de México3 Doctor en Ciencias, Instituto Tecnológico de Parral, Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, lmrodriguez@itparral.edu.mx, 000-0003-4109-5686

INTRODUCCIÓN

La industria minera desempeña una contribución notable en el desarrollo económico de México [1], no obstante, derivado del proceso de explotación de metales preciosos, esta actividad genera residuos tóxicos conocidos como jales mineros que son vertidos en la presa de jales [2] we used the knowledge of RS based image analysis to analyze the direct footprint of mining that is the land use change. Besides, we also used LCA to quantify the environmental impacts focusing mainly on Global Warming Potential (GWP). Este material contiene altas concentraciones de elementos principalmente como Pb, Zn, Cd, y Hg, que son considerados dañinos para el ambiente, ya que su concentración llega a exceder los límites permitidos para la actividad agrícola, industrial o urbano-rural [3], [4]. La industria de la minería, como actividad económica data de siglos atrás en nuestro país, sin embargo, es reglamentada en el año 2003, cuando se estableció la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral para los Residuos [5], encargada de gestionar la prevención de contaminación en sitios con residuos peligrosos y regular su remediación para protección del ambiente [6], lo cual involucra procesos físico-químicos o biológicos que requieren inversiones costosas [7].

Los depósitos de jales que particularmente se encuentran en condiciones de abandono, por localizarse en minas antiguas cuyo cierre de operaciones fue antes de legislarse un manejo apropiado, son de interés ya que en México podrían encontrarse millones de toneladas de estos jales mineros disperso en diferentes depósitos a lo largo del territorio nacional, sin un tratamiento adecuado [8]. El suelo de estos jales mineros abandonados no cuenta con las condiciones físico-químicas necesarias para restituirse de manera autónoma, por lo que se encuentra degradado y expuesto a la propagación en el ambiente por medio de la erosión eólica e hídrica, con la amenaza de introducirse en



la cadena trófica y causar efectos negativos a la salud y medio ambiente [3].

La fitorremediación es una tecnología basada en la capacidad de ciertas plantas para fitoacumular, fitovolatilizar o fitoestabilizar contaminantes como hidrocarburos, metales pesados y metaloides (MPM), a través de tolerar y absorber los elementos por sus raíces, lo que brinda una alternativa sustentable para remover, inmovilizar o contener en buena proporción los contaminantes del suelo [9]. La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de la absorción y acumulación en las raíces de las plantas, reduciendo la movilidad de metales pesados y evitando su migración a las aguas subterráneas o al exterior [10]. La selección de especies vegetales para aplicar esta tecnología requiere de características para adaptarse a las condiciones físico-químicas del jal, además de mostrar un buen desempeño en la absorción de los contaminantes [11], [12] principalmente debido a sus elevados tiempos de residencia, ya que a diferencia de los contaminantes de tipo orgánico, estas sustancias no pueden ser química ni biológicamente degradadas. La fitorremediación es una de las aplicaciones biotecnológicas más difundidas a nivel global, que consiste en la utilización de biomasa vegetal para adsorber y/o acumular una gran variedad de contaminantes químicos presentes en el suelo, el agua o el aire. En el presente trabajo, se evaluó la capacidad de macrófitas acuáticas autóctonas del género *Salvinia* para remover, en forma independiente, iguales concentraciones (50 ± 2 y $100 \pm 1 \mu\text{M}$, por lo que esta técnica puede requerir de la adición de enmiendas para favorecer su supervivencia [13].

Por medio de la cuantificación de los MPM se puede calcular el Factor de Traslocación (FT) que marca la relación que existe entre la concentración de los MPM en las raíces contra los transportados a la biomasa, donde aquellos especímenes con valores de FT menor a 1 tienen potencial para fitoestabilizar los elementos de manera estable en sus raíces evitando que lleguen a la cadena trófica del lugar [14].

En el centro de la ciudad de Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, se encuentran abandonadas alrededor de





84 hectáreas de jales mineros sin tratamiento, producto de la operación de la mina La Prieta cuyo cierre fue en la década de 50's con indicios de contaminación por MPM [3], lo que dificulta que el ecosistema se regenere por el mismo, representando un foco de contaminación para el medio ambiente [15]. Se plantea emplear una tecnología de remediación para recuperar estos sitios abandonados, que, aunque su desarrollo data de unas décadas a la fecha, propone ser menos costosa y requerir menos supervisión [7]. En el presente trabajo, se diseñó e instaló un experimento de fitoremediación in situ para evaluar a un año y medio: 1) la sobrevivencia de ocho especies vegetales nativas; 2) la evaluación del comportamiento de la absorción de los metales y metaloides (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc) y 3) el efecto debido a la adición de seis tratamientos (sustratos), (Tabla 1).

Tabla 1. Composición de tratamientos utilizados en el experimento.

ID	% Composta	% Zeolita	% Jal
T1	10	6.6	83
T2	10	13.3	76
T3	20	6.6	73
T4	20	13.3	66
T5	100	0	0
T6	0	0	100

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Hidalgo del Parral, Chih., México, a 225 kilómetros al sureste de la capital del estado entre los paralelos 26° 51' y 27° 23' de latitud norte y 105° 23' y 105° 59' de longitud oeste

del meridiano de Greenwich [3], en las instalaciones de la mina "La Prieta" cuya zona asignada comprende 312 m², incluyendo pasillos de acceso, (Figura 1).

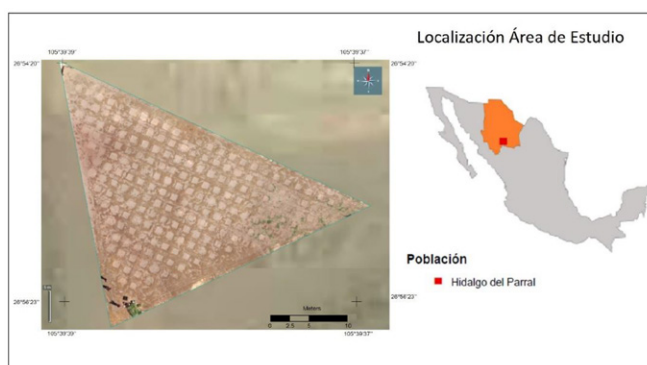


Figura 1. Localización del área de estudio con la distribución de parcelas.

El clima en la región se identifica como un clima semi-seco o semiárido, cuyas lluvias se presentan durante el verano en un promedio de 72 días y una humedad relativa de 48%. La precipitación media anual calculada es de 456.7 mm, considerando los años 2019 y 2020, que abarcaron el periodo de aplicación del experimento, como dos años consecutivos con lluvias por debajo del promedio, con 260 mm para el 2020 [19]. La vegetación está constituida mayormente por pastizal y en menor proporción por matorral, bosque y mezquital [20].

Diseño Experimental

Se analizó la sobrevivencia de ocho especies vegetales: *Bouteloua gracilis*, *Sporobolus airoides*, *Bouteloua curtipendula*, *Setaria macrostachya*, *Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Atriplex canescens*, *Dasyllirion*, bajo las condiciones naturales de riego, en diseño experimental, que consistió en sembrar *in-situ* 192 parcelas de 1x1 m a una separación de 1 m destinado al pasillo de acceso, Figura 1. En cada par-

cela se sembró una de las ocho especies vegetales en adición con uno de los seis tratamientos con cuatro repeticiones por diseño (ocho especies por seis tratamientos por cuatro repeticiones), distribuidas de manera aleatoria.

Muestreo de parte aérea, raíz y suelo.

El muestreo se realizó en diciembre de 2020, a un año y medio de su siembra, se recolectaron 131 especímenes de raíz y 117 muestras de la parte aérea de las plantas además de 137 muestras de suelo, de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006. Las muestras fueron empaquetadas en bolsas de papel craft por separado o herméticas con cintillos para el caso del suelo y etiquetadas con los datos de identificación del número de parcela, especie y tratamiento correspondiente.

Posterior a su recolección se preservaron en el laboratorio de parámetros ambientales de la FZYE-UACH. Las muestras de parte aérea y raíz se colocaron en la estufa para secar por un periodo de 72 h. Una vez seca la muestra se extrajo una porción representativa de 0.5 g. El suelo se colocó en bandejas de plástico para secar a temperatura ambiente (25 °C) durante 96 horas, posteriormente se realizó un tamizado (malla de 2 mm de diámetro) para homogenizar y obtener 0.2 g de la muestra.

Análisis de metales pesados y metaloide en parte aérea, raíz y suelo.

El análisis se realizó con base en los criterios que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para determinar las concentraciones de los elementos: As, Cd, Cr, Cu, Pb y Zn. El acondicionamiento de las muestras consistió en realizar una digestión ácida por microondas, en el equipo Anton Paar- Modelo Multiwave Go, mediante 14 ml de agua regia inversa y 5 ml de peróxido de hidrogeno. Una vez realizada la solución, se colocaron dentro del microondas 11 biseles por un periodo de 40 minutos a una presión de 20 atmosferas, programando el aparato, de acuerdo al método EPA-3055 Organic A. Después del acondicionamiento, las muestras se enfriaron por un periodo de diez minutos dentro de la campana y se vertieron en un matraz volumétrico aforado a 50 ml con agua destilada. Posteriormente las muestras se preservaron en



refrigeración para llevar a cabo la cuantificación de los MPM mediante la técnica de espectroscopia óptica de emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES, PerkinElmer® - Optima™ 8300, Waltham, EE. UU.) [21].

La detección de los elementos tomó en cuenta los estándares de calibración para arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc.

Determinación del Factor de Translocación (FT) y Acumulación (FA).

Los resultados de las concentraciones de los MPM en la planta, raíz y suelo fueron empleados para determinar el FT, ecuación 1 y el FA, ecuación 2.

$$FT = \frac{\text{concentración mineral parte aérea}}{\text{concentración mineral en la raíz}} \quad (1)$$

$$FA = \frac{\text{Concentración mineral total en planta}}{\text{Concentración mineral en suelo}} \quad (2)$$

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los valores promedio y desviación estándar del FT, FA y concentración de elementos por tratamiento, mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia de especies vegetales por tratamiento

En la Tabla 2 se muestran los resultados del porcentaje de supervivencia, donde se observa que las especies *A. canescens*, *S. macrostachya*, *S. airoides* y *Dasyllirion* fueron las que obtuvieron mejor adaptación con un porcentaje de supervivencia de 79, 75, 83 y 83 por ciento, correspondientemente. La especie con menor porcentaje de supervivencia fueron la *B. gracilis* que en general tuvo un porcentaje menor al 50 por ciento de supervivencia para todos los tratamientos excepto en el tratamiento 6 de solo jal y la *B. curtipendula*, presentando un 37 por ciento de supervivencia. El zacate *D. californica* y *L. dubia* se mantuvieron en un rango menor al 50% de supervivencia para la mayoría de los tratamientos a excepción del tratamiento 3, para el *D. californica* que presentó un 75% de supervivencia y *L. dubia* con el 75% de supervivencia en el tratamiento 6 de solo jal.



Tabla 2. Porcentaje de sobrevivencia de las especies vegetales en relación al tratamiento en las parcelas.

Trat	<i>Sporobolus airoides</i>	<i>Bouteloua curtipendula</i>	<i>Artiplex canescens</i>	<i>Leptochloa dubia</i>	<i>Bouteloua gracilis</i>	<i>Digitaria coliformica</i>	<i>Dasyllirion</i>	<i>Setaria macrostachya</i>
T1	100	75	100	50	25	50	75	100
T2	100	100	100	25	50	50	100	100
T3	50	0	100	50	0	75	100	100
T4	100	50	100	25	50	25	25	50
T5	75	0	75	25	0	50	100	25
T6	75	0	0	75	100	50	100	75
Prom	83	38	79	42	38	50	83	75

Las especies de *B. gracilis*, *Dasyllirion spp*, *S. airoides*, *L. dubia*, y *S. macrostachya* mostraron un porcentaje mayor al 75 por ciento de sobrevivencia en el tratamiento de solo jal, en acorde a lo mencionado por estudios previos que indican que algunas especies vegetales logran sobrevivir de manera natural en suelos metalíferos [22].

Factor de Traslocación (FT) y Acumulación (FA)

En la Figura 2, se muestran las medias del FT y FA para las especies vegetales con un porcentaje de sobrevivencia mayor al 50% por tratamiento, encontrando que la especie *A. canescens* traslocó Cu para el tratamiento 1 y 3, Pb para el tratamiento 3, 4 y 5, y Zn para los tratamientos 1, 3, 4 y 5, sin absorber As en ninguno de los tratamientos. La especie *S. airoides* traslocó solo el Zn para los tratamientos 1, 5 y 6, además de Pb para el tratamiento 5 de solo composta, esta misma especie se destaca por acumular Zn y Pb en el tratamiento 1, 2, 3 y solo acumulo Zn para el tratamiento 5. Según un estudio que evaluó el potencial fitorremediador de 11 especies en una mina de cobre en Brasil [14], [23], indica que a través del valor medio del $FT > 1$ y $FA > 1$ podría clasificarse al *S. airoides* con potencial de fitoacumulación de los metales de Pb y Zn. La especie *Dasyllirion* traslocó el Zn en los tratamientos 2, 3, y 5, el Pb en el tratamiento 5 y 6, y Cu en los tratamientos 2 y 3, manteniendo estables los cuatro elementos en sus raíces para el tratamiento 4, por lo que se puede clasificar según los criterios empleados en el estudio de la mina de cobre en Brasil [14], [23], como potencial especie fitoestabilizadora con apoyo de la enmienda del tratamiento 4 de mayor contenido de composta > zeolita y menor contenido de jal sobre los demás tratamientos al presentar valores de $FT < 1$. Por su parte se encontró que el *S. macrostachya* acumulo Zn en los 6 tratamientos y lo estabilizo en sus raíces en todos los tratamientos a excepción del T5 donde si traslocó el metal a la parte aérea de la planta.

Los valores de $FA > 1$ y $FT < 1$ para la especie *S. airoides*, que presento una sobrevivencia favorable en los 6 tratamientos, inclusive con el tratamiento de solo jal, lo que la coloca en una especie con potencial fitoestabilizador para los elementos de As, Cu, Pb y Zn, teniendo un buen desempeño de absorción o adsorción de los elementos en comparación con las concentraciones encontradas en el suelo de jal.

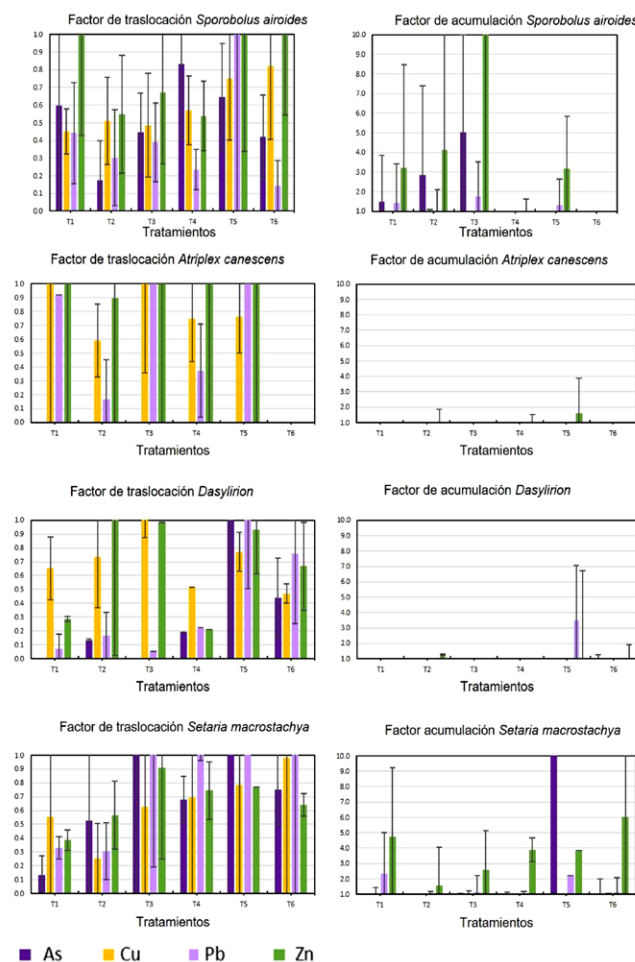


Figura 2. Factor de traslocación y acumulación para especies vegetales con sobrevivencia mayor al 50 por ciento por tratamiento

CONCLUSIONES

Se encontró que la sobrevivencia aumentó en algunas especies como el *S. airoides* cuando la siembra fue en los tratamientos con mayor contenido de zeolita, de manera inversa los tratamientos 3 y 4 con mayor contenido de composta disminuyeron la sobrevivencia de la *S. macrostachya*, *Dasyllirion* y *B. curtipendula*.

Las especies *S. airoides*, *S. macrostachya*, *Dasyllirion* y *A.*

canescens presentaron el mayor porcentaje de sobrevivencia, incluso en el tratamiento con solo jal, se aprecia también que no traslocan los elementos como el As, Cu, Pb y Zn, presentando un FT<1 lo que las clasifica como especies potenciales para fitoestabilizar estos elementos en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Ecología (INE), "Fuentes de contaminación en México," 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html#top>.
- [2] K. Islam, X. Vilaysouk, and S. Murakami, "Integrating remote sensing and life cycle assessment to quantify the environmental impacts of copper-silver-gold mining: A case study from Laos," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 154, no. August 2019, p. 104630, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104630.
- [3] L. Rodríguez *et al.*, "Jales mineros en Parral: identificación y cuantificación de elementos potencialmente tóxicos y elementos recuperables en los depósitos de la mina La Prieta," *Cimav*, 2012.
- [4] R. Moran, "Is This Number to Your Liking? Water Quality Predictions in Mining Impact Studies," in *Prediction: Science, Decision Making, and the Future of Nature*, Island Pre., D. Sarewitz, R. Pielke Jr, and R. Byerly Jr, Eds. DC Washington, EUA: Press, 2000, pp. 185–198.
- [5] Semarnat, *Guía Técnica para Orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados*, Primera. Tlalpan, D.F. México, 2010.
- [6] D. O. de la Federación., "Ley General para la Prevención y el Manejo Integral de los Residuos," pp. 1–52, 2015, [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27266/Ley_General_de_Residuos.pdf.
- [7] J. Candia, "Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 35–36, 2019.
- [8] Y. R. Ramos and C. D. Siebe, "Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: Estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, Mexico," *Rev. Mex. Ciencias Geol.*, vol. 23, no. 1, pp. 54–74, 2006.
- [9] X. Gong *et al.*, "Remediation of contaminated soils by biotechnology with nanomaterials: bio-behavior, applications, and perspectives," *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 38, no. 3, pp. 455–468, Apr. 2018, doi: 10.1080/07388551.2017.1368446.
- [10] M. O. Mendez and R. M. Maier, "Review Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments — An Emerging Remediation Technology," no. 3, pp. 278–283, 2008, doi: 10.1289/ehp.10608.
- [11] W. Llatance, J. Emiliani, D. Bergara, L. Salvatierra, and L. Pérez, "Caracterización de los mecanismos de fitorremediación de *Salvinia* sp. frente a la exposición a metales pesados y su impacto sobre la fisiología vegetal," *Energeia*, vol. 16, no. 16, pp. 37–45, 2019, [Online]. Available: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/9634/1/caracterizacion-mecanismos-fitorremediacion.pdf>.
- [12] J. Gil-Loaiza *et al.*, "Phytostabilization of mine tailings using compost-assisted direct planting: Translating greenhouse results to the field," *Sci. Total Environ.*, vol. 565, pp. 451–461, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.168.
- [13] J. Batista, S. Martínez, and M. Gabarrón, "EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ZEOLITA SOBRE LA FITOESTABILIZACIÓN ASISTIDA EN UN DEPOSITO MINERO," *Universidad Politec. Cart.*, p. 56, 2019.
- [14] T. F. Afonso, C. F. Demarco, S. Pieniz, M. S. Quadro, F. A. O. Camargo, and R. Andreatza, "Bioprospection of indigenous flora grown in copper mining tailing area for phytoremediation of metals," *J. Environ. Manage.*, vol. 256, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109953.
- [15] F. B. Salas Urviola, P. Guadarrama Guzmán, G. Fernández Villagómez, J. F. González Sánchez, and L. A. Barraza Torres, "Predicción De Drenaje Ácido De Mina, Jales De La Mina La Prieta, Chihuahua, México," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 36, no. 4, pp. 825–834, 2020, doi: 10.20937/rica.53523.
- [16] F. Gonzalez *et al.*, "PROYECTO FITORREMEDIACION DE JALES MINEROS ABANDONADOS DE ZONAS ARIDAS DE CHIHUAHUA: COMPARACION DE EXPERIMENTO DE INVERNADERO Y EXPERIMENTO DE CAMPO; UNA VISION GENERAL," 2019.
- [17] B. Luján *et al.*, "DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE TÉCNICA DE FITOESTABILIZACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JALES MINEROS, EXPERIMENTO EN INVERNADERO," 2019.
- [18] A. Cano *et al.*, "EMERGENCIA DE PASTOS NATIVOS EN UN SITIO CONTAMINADO CON JALES MINEROS ABANDONADOS CON ENMIENDAS DE SUSTRATO COMPUESTO," 2019.
- [19] Comisión Nacional del Agua, *Reporte del Clima en México*. México, 2020.
- [20] J. Ramírez and M. Calva, "PLAN DE MUESTREO HIDALGO DEL PARRAL, CHIHUAHUA," 2019.
- [21] L. de T. I. LTI, "Espectroscopía de Plasma ICP-OES," 2020, [Online]. Available: <https://laboratorioteccnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopia-de-plasma-icp-oes>.
- [22] A. Pollard, R. Reeves, and A. Baker, "Facultative hyperaccumulation of heavy metals and metalloids," p. Plant Sci. 217–218, 8–17, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.11.011>.
- [23] T. F. Afonso, C. F. Demarco, S. Pieniz, F. A. O. Camargo, M. S. Quadro, and R. Andreatza, "Potential of *Solanum viarum* Dunal in use for phytoremediation of heavy metals to mining areas, southern Brazil," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 23, pp. 24132–24142, 2019, doi: 10.1007/s11356-019-05460-z.
- [24] J. Gil-Loaiza *et al.*, "Phytoremediation Reduces Dust Emissions from Metal(loid)-Contaminated Mine Tailings," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 10, pp. 5851–5858, 2018, doi: 10.1021/acs.est.7b05730.

Cómo citar este artículo:

Reyna Nájera, D. N., Cortés Palacio, L., Aquino de los Ríos, G. S., Martínez Salvador, M., & Rodríguez Vázquez, L. M. (2022). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES EN UN PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN PARA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JAL MINERO ABANDONADO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.197>



Cuantificación del desgaste en brocas de barrenación diamante mediante el modelo de abrasión pura y desgaste isotrópico

Quantification of Wear in Drill Bits Using the Pure Abrasion and Isotropic Wear Model

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Yostin Ortega ¹J. Andrade ²G. Alvarado ³E. Espinosa ⁴D. Nava ⁵G. Rosales ⁶

Recibido: 12 / 10 / 2021

Aceptado: 20 / 05 / 2022

Publicado: 23 / 05 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.184>

Autor de Correspondencia:

Gilberto Rosales Marín

Correo: gilberto.rosales@uaslp.mx

Resumen

Los factores geológicos de desgaste en un Barreno 'DD' son actualmente motivo de estudio, ya que el tipo de suelo, así como el desconocimiento de su composición, tienen un impacto significativo en el desgaste de las brocas diamantinas. Los materiales abrasivos de las rocas y los agregados ocluidos metálicos de valor reducen la vida útil de las brocas. En el presente trabajo se hace referencia a brocas con diamante incrustados en la matriz, que fueron ensayadas en dos yacimientos: Zona Dolores Y18 y Zona Cobriza C12, donde el intrusivo de granodiorita semi-fracturada es variable en ambos yacimientos; para tal evaluación el modelo de abrasión pura y desgaste isotrópico fue resuelto. Este modelo demostró que la variación de la cantidad de granodiorita semi-fracturada impacta en el rendimiento de las brocas con una perforación de hasta 20m, lo que representa una disminución de hasta 8 horas en el trabajo de perforación.

Palabras clave: minería, Perforación, Desgaste de brocas, Modelo Isotrópico.

Abstract

Geological wear factors in a hole are currently being studied since the type of soil, as well as the lack of knowledge of its composition, have a significant impact on the wear of diamond drill bits. Abrasive materials in rocks and valuable metal occluded aggregates reduce bit life. In the present work, drill bits with diamond embedded in the matrix are tested in two deposits, Zona Dolores Y18 and Zona Cobriza C12, where the semi-fractured granodiorite intrusive is variable in both deposits, for such evaluation the model of pure abrasion and isotropic wear was resolved. This model showed that the variation in the amount of semi-fractured granodiorite impacts the performance of the drill bits with a drilling of up to 20m, which represents a reduction of up to 8 hours in the drilling work.

Keywords: mining, Drilling, Drill beat wear, Isotropic Model

¹ Ingeniero de Minerales, Ingeniería de Minerales, Coordinación Académico Región Altiplano, Matehuala, San Luis Potosí, México, yostindelange197@gmail.com.

² Doctorado en Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Minerales, Coordinación Académico Región Altiplano, Matehuala, San Luis Potosí, México, jonatan.andrade@uaslp.mx, 0000-0003-2899-031X.

³ Doctorado en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Ingeniería de Minerales, Coordinación Académico Región Altiplano, Matehuala, San Luis Potosí, México, gabriela.alvarado@uaslp.mx, 0000-0001-8504-2485.

⁴ Doctorado en Ciencias, Ingeniería de Minerales, Coordinación Académico Región Altiplano, Matehuala, San Luis Potosí, México, erik.espinosa@uaslp.mx, 0000-0001-7591-9140.

⁵ Doctorado en Ciencias, Ingeniería de Minerales, Coordinación Académico Región Altiplano, Matehuala, San Luis Potosí, México, dora.nava@uaslp.mx, 0000-0002-2651-6246.

⁶ Doctorado en Ingeniería de Minerales, Ingeniería de Minerales, COARA e Instituto de Metalurgia UASLP, Matehuala, San Luis Potosí, México, gilberto.rosales@uaslp.mx, 0000-0003-3679-3981.



INTRODUCCIÓN

El método de perforación con obtención de testigo es la herramienta más utilizada para la exploración minera, dado que es capaz de perforar en cualquier ángulo y obtener testigos de roca continuos de varios diámetros en un rango de profundidades que puede llegar a superar los 1.500 metros. Además, este método de exploración también ayuda a confirmar la ubicación, profundidad y propiedades de los recursos existentes, permitiendo conocer información sobre las leyes y la estructura del material que se quiere extraer.

Este es uno de los métodos de sondaje favorito de los ingenieros geólogos y metalurgistas debido a que es una herramienta versátil y eficaz. No obstante, los costos de perforación con este método son significativamente altos de tal forma que es necesario realizar un análisis muy cuidadoso para diseñar una eficaz campaña de barrenación.

Una de las principales complicaciones dentro de las actividades de perforación diamantina es el complejo y variado macizo rocoso que presenta la geología de cada terreno a explorar. Por esta misma razón, el uso adecuado de los accesorios de perforación tales como: aditivos y brocas diamantadas para cada terreno en específico, es de suma importancia para llevar una campaña de perforación eficiente y económicamente costeable. De igual manera,



usar los parámetros de perforación adecuados y el talento humano, es un factor importante para considerar.

El consumo de metal durante la barrenación es uno de los principales factores que contribuyen a pérdidas económicas, esto debido a que dicho desgaste impacta directamente en el rendimiento de las brocas de perforación. El diseño y composición de la broca, así como las características mineralógicas de la zona geológica de trabajo y habilidades del operador de la maquinaria, son factores fundamentales para entender cómo se da este desgaste. Con el fin de proponer rutas de mejora

que aumenten el rendimiento de las brocas, se han realizado diferentes estudios relacionados. Para esto, distintos modelos de desgaste han sido propuestos con diversas aplicaciones; uno de ellos es el propuesto por Menacho, J. y Concha, F. [1], que buscaron proponer un modelo para medir el desgaste en medios de molienda. Para esto, utilizaron una ecuación diferencial parcial de primer orden utilizando una cinética de orden cero. En el presente estudio, un análisis del consumo de metal usando un modelo de desgaste isotrópico de primer orden similar al de Menacho [1], es resuelto, con el fin de estimar el desgaste en dos zonas mineralógicas (Zona Dolores Y18 y Zona Cobriza C12) en brocas de perforación Hero 7, utilizadas en la plaza de barrenación "SANDY-1". El cálculo del rendimiento es estimado en kg/h para evaluar tal efecto.





ANTECEDENTES TEÓRICOS

Zona geológica de estudio.

La zona del Distrito Minero La Paz se encuentra ubicada geológicamente en el límite de dos provincias paleogeográficas del Mesozoico, la porción occidental corresponde a la CMCM (cuenca mesozoica del centro de México), y al oriente, la PVSLP (plataforma valles San Luis Potosí). Este yacimiento se encuentra actualmente en explotación con dos minas: Dolores con una producción diaria de 4900 toneladas, y la minas: de Cobriza con 4250 toneladas por día. El yacimiento presenta una generalidad en todo el distrito en cuanto a litología y mineralogía; más sin embargo el skarn de Dolores no sólo presenta mineralización de disseminación y micro venillas en el skarn, sino también una serie de vetas con sulfuros que atraviesan la masa de este en diferentes direcciones, dándole una densidad mayor de sulfuros de mena y un aspecto de "stockwork" (González, J. [2]). Las leyes de dichos yacimientos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenidos metálicos en la zona geológica de estudio.

Elemento metálico	Zona Dolores Y18	Zona Cobriza C12
Au (g/ton)	1.50	0.80
Ag (g/ton)	50	60
Cu (%)	0.90	1.20

Barrenación en la zona geológica de estudio.

Las brocas o coronas de perforación diamantinas son uno de los constituyentes esenciales de una perforación, ubicado en frente de la sarta de barrenación cumple la función de cortar la roca y avanzar con el sondaje. Las diferentes combinaciones de cantidad y tipos de polvos metálicos, como cantidad y tamaño de diamantes, da como resultado diferentes tipos de brocas, y cada una de estas

recomendadas para un determinado tipo de suelo a perforar (suelos duros, extra-duros, abrasivos, no abrasivos, blandos o suaves). Las principales brocas usualmente usadas son las siguientes:

Brocas de carburo de tungsteno. Su geometría es basada en prismas octogonales de carburo de tungsteno que proporciona una sujeción segura al cuerpo de la broca. Las brocas se fabrican en tres diámetros 4,5.5 y 7.5 mm. Estas brocas son utilizadas a velocidades relativamente bajas.

Brocas con diamantes incrustados. Actualmente en la mayoría de las brocas insertadas se usan diamantes naturales. Los diamantes son insertados en la matriz de la parte frontal de la broca dejando el diamante expuesto de un octavo a un tercio. Se permite mayor exposición del diamante para formaciones de roca blanda a semiblanda y menor exposición para formaciones duras, fracturas y abrasivas. Los diamantes son montados de tal forma que la matriz quede cubierta uniformemente. Los diamantes, estos pierden su capacidad de corte principalmente por haberse pulido, fracturado o quemado. La matriz que sujeta los diamantes en una posición de corte está compuesta de carburo de tungsteno en forma de carburo cementado el cual es resistente al desgaste.

Para este estudio brocas de la serie GJDS con diamantes incrustados marca Hero 7 son analizados en la Zona dolores y Zona cobriza.

Mecanismos de desgaste en la barrenación.

El desgaste es definido como la interacción de la superficie expuesta de un material con el medio ambiente, teniendo como resultante la pérdida de material de la superficie expuesta (Rosales-Marín G., [3]). Actualmente se reconocen por lo menos tres mecanismos que gobiernan el desgaste de metal en las operaciones mineras; abrasión, impacto y corrosión (Changhua X. [4]). Sin embargo, en el caso particular de la barrenación es principalmente la abrasión el principal mecanismo de desgaste.





Degaste por abrasión.

Se da cuando el metal se desplaza sobre el terreno a perforar, en el cual se genera un deterioro. Si, además se ejerce presión a desplazamiento constante, como es en el caso de la barrenación, la pieza sometida al deterioro en este caso la broca, se desgasta hasta quebrarse o romperse, provocando la inutilidad de esta. Este tipo de accidentes genera paros en la producción impactando negativamente los costos de la compañía. Es necesario analizar qué tipo de fenómeno de abrasión es el que está deteriorando la pieza. De esta manera es posible elegir el tratamiento o recubrimiento adecuado para combatir dicho fenómeno.

En la barrenación, es la abrasión el mecanismo principal por el cual ocurre el desgaste en su superficie, esto debido a la interacción superficial que existe entre la broca diamantina y el mineral perforado. Para comprender de mejor manera como se da el desgaste es necesario fundamentar una teoría del desgaste para barrenos.

Modelo de abrasión pura y desgaste isotrópico.

Este modelo está basado en la teoría lineal del desgaste (Sepúlveda, [4]) la cual es ampliamente aceptada para caracterizar la cinética de consumo, según la cual la velocidad de desgaste del cuerpo moledor es directamente proporcional al área expuesta por éste, a los diferentes mecanismos de desgaste. Por lo cual el fenómeno de desgaste puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$\Omega_t = \frac{d(m)}{d(t)} = -k_m \cdot A_b \quad (1)$$

Donde Ω_t es la velocidad de desgaste másico (kg/h); hace referencia en este fenómeno al peso del barreno, kg;

A_b es el área del cuerpo de la broca expuesta al desgaste (m^2) y k_m representa la constante cinética de desgaste, ($kg/h/m^2$).

Tomando en consideración la geometría del cuerpo de la broca de barrenación diamante, se obtiene:

$$\frac{d(m)}{d(t)} = -2k_m = -k_b \quad (2)$$

La expresión anterior es fácilmente dando la siguiente ecuación:

$$d = d^R - k_b t \quad (3)$$

Lo cual indica que el desgaste de la corona es uniforme con respecto al tiempo teniendo una cinética de primer orden. Este fenómeno ocurre por micromecanizado y rayado de superficies, es decir, es un fenómeno netamente superficial. En este caso, la velocidad de pérdida de masa es proporcional al área superficial del medio moledor, lo cual equivale a decir que la velocidad de disminución de su diámetro característico es constante en el tiempo.

$$g(d) = \frac{dy}{dx} = \alpha_A = \frac{2k_A}{\rho} \quad (4)$$

Donde ρ es la densidad de la broca y k_A es la constante cinética por abrasión pura, la cual depende de la abrasividad de la roca mineral así como la dureza, macro y microestructural de la broca.

METODOLOGÍA

Pruebas de dureza en las zonas de estudio.

La dureza es una propiedad física de los minerales y



materiales que consiste básicamente en la firme unión de las moléculas que la conforman, impidiendo así que cualquier otro objeto o sustancia lo raye, lo penetre, o lo comprometa a fractura. Uno de los parámetros más importantes para poder cuantificar el desgaste de la barrenación es precisamente la dureza de la zona de estudio, para esto, dos metodologías de dureza han sido seleccionadas para tal fin.

Dureza de Knoop.

Frederick Knoop [6] desarrollo un ensayo de dureza (dureza de Knoop) para determinar la dureza mecánica en cualquier tipo de mineral, sin embargo, la metodología tuvo tal efectividad que también fue usada para determinar la dureza en minerales o materiales muy frágiles o láminas delgadas, donde solo se pueden hacer hendiduras pequeñas para realizar la prueba. Este procedimiento fue definido por el estándar ASTM D1474.

El ensayo consiste en presionar en una zona de la muestra con un indentador piramidal de diamante, sobre la superficie pulida del material a ensayar, con una fuerza conocida, durante un tiempo de empuje determinado. Las diagonales de la huella resultante se miden usando un microscopio óptico. El indentador es una pirámide que presenta una relación entre la anchura y la altura media de 7:1 y con los ángulos de las caras respectivas de 172 grados sexagesimales para el borde largo y 130 grados sexagesimales para el borde corto. La profundidad de la incisión puede ser aproximadamente de 1/30 de la longitud. Para el cálculo del índice de dureza de Knoop se utiliza la siguiente expresión:

$$H_K = \frac{P}{C_P L^2} \quad (5)$$

Donde P hace referencia a la carga (kgf mm² o MPa), mientras que L es la longitud de la hendidura en su eje largo (mm), esta ecuación usa un factor de corrección relativo a la forma de la hendidura, idealmente 0.070279 el cual es un número adimensional denotado como C_P .

Dureza de Mohs.

Friedrich Mohs (1822), definió una escala ordinal cualitativa que caracteriza la resistencia al rayado de varios minerales a través de la capacidad de un material más duro para rayar un material más blando. El test de dureza de Mohs es una prueba muy simple con una escala de diez minerales, en la que el Diamante es el que mayor dureza y el talco el de menor. La metodología consiste en utilizar materiales cuya dureza es conocida para hacer la prueba. Cuando la dureza relativa de ambos materiales es igual, entonces no se producirá entalle. A partir de esta premisa tenemos que si intentamos rayar el material B del cual no se conoce la dureza se empieza a rayar por el más blando (menos duro) en este caso Talco. Si el material talco no raya al material B, entonces B es más duro que el material Talco, para este caso, se procede a intentar rayar con otro mineral más duro por ejemplo yeso. Este procedimiento se repite hasta que algún mineral de diferente dureza logre rayar al material B, de esta manera tendremos una escala de valor entre la cual un mineral A no logra rayar, mientras que otro mineral C consigue rayar, de esta forma conociendo ambas durezas del Mineral A y C podemos calcular mediante una relación la dureza del mineral B.

Broca de estudio (HERO 7).

La serie HEROTM ha surgido como una interesante opción para la perforación de suelos, puede proporcionar una buena relación entre indentación en la roca y vida útil. Se fabrican mediante un proceso de endurecimiento mediante el tratamiento térmico de templado en horno el cual favorece la rigidez en toda la herramienta. Otras características se muestran a continuación:

Tabla 2. Características físicas de la broca de estudio.

Características Físicas	Valor
Diámetro interno (mm)	36.4
Diámetro externo (mm)	60.0
Altura de impregnación diamante (mm)	13
Indentación preferente en rocas	SiO ₂ y Granito

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Dureza en las zonas de estudio.

La dureza calculada por el método de KNOOP y el índice de MOHS fue determinada utilizando la metodología previamente descrita y se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Dureza en escalas de Knoop y Mohs.

Zona de estudio	Dureza KNOOP	Dureza de MOHS
Dolores Y18	654.1	6.25
Cobriza C12	540.3	5.51

Como se puede apreciar la zona que denota una mayor dureza es la Dolores Y18 con un valor de 654.1 para la escala de Knoop y de 6.5 en la escala de Mohs, Mientras que la zona Cobriza C12 tiene un valor de dureza de Knoop de 540.3 y en la escala de Mohs de 5.5, esto coloca a ambos macizos rocosos como moderadamente duros. Sin embargo, existen diferencias que pueden afectar el rendimiento de la broca al momento de la barrenación. Para ello es importante poder conocer la Geología del área, y apreciar los eventos estructurales que afectaron o modificaron el área de estudio de cada una de las zonas, con la cual se puede identificar y describir la secuencia de las rocas presentes en las zonas de estudio. La Figura 1 y Figura 2 describe la Geología para ambas zonas de estudio.

Inicio	Rocas perforadas			Final
0.m	Skarn	Granodiorita		96 m
	mayoritariamente compactada	compacto	semi- fracturado	

Figura 1. Geología de Zona Dolores Y18.

Inicio	Rocas perforadas			Final
0.m	Skarn	Granodiorita		116 m
	mayoritariamente compactada	compacto	semi- fracturado	

Figura 2. Geología de Zona Cobriza C12.

Como se puede apreciar ambos análisis Geológicos –estratigráficos tienen una zona donde predomina la roca tipo skarn en una forma mayoritariamente compactada. La roca tipo Skarn refiere es una roca que tiene una matriz carbonatada con minerales producto de metasomatismo, esta zona es relativamente suave y fácil de perforar. En la zona dolores se puede apreciar que la cantidad de skarn es de 40.64% mientras que la zona cobriza la roca tipo skarn es significativamente mayor teniendo un total de 61.3%.



Por otro lado, la cantidad de granodiorita en la zona Dolores Y18 es de 59.36% mientras que para la zona Cobriza C12 es de 38.7%, la granodiorita esta principalmente constituida por cuarzo (>20%) y feldespatos. El cuarzo es un mineral cuya característica principal es ser particularmente abrasivo. También se puede apreciar que la granodiorita se encuentra constituida en dos fases la primera de ella compacta, mientras que la segunda es semi fracturada. Una mayor cantidad de granodiorita semi-fracturada contendrá una mayor distribución de partículas de cuarzo con metales como Cu, Au y Ag ocluidos, por lo que esta fase semi-fracturada será aún más abrasiva que la compacta. Para el caso de la Zona Dolores de la cantidad total de granodiorita la fase semi-fracturada es predominante con un 71.59%, mientras que para la Zona Cobriza no solo presenta una menor cantidad de granodiorita si no que del total de esta sólo un 58.77% se encuentra en la fase semi-fracturada.

Resolución del modelo isotrópico de desgaste.

El modelo isotrópico de desgaste fue resuelto para determinar las constantes de consumo de metal , a través de la ecuación número 4. Los valores de dichas constantes para las zonas estudiadas se encuentran en la Tabla 4. Las constantes cinéticas se obtuvieron usando los datos experimentales para evaluar la capacidad del modelo propuesto para lograr una aproximación numérica confiable a los datos experimentales. La Suma de Error de Residuales (SSR) es una medida de la discrepancia entre los datos y un modelo de estimación, entre una regresión lineal y datos experimentales. La constante cinética de primer orden denota un SSR menores a 1.0 para las zonas la broca Hero 7 en ambas zonas de estudio, con lo cual se puede apreciar que el Modelo de Desgaste Isotrópico puede predecir de buena manera el comportamiento de pérdida de masa en la barrenación para las brocas estudiadas Hero 7.

Tabla 4. Constantes cinéticas de desgaste para las zonas de estudio.

Zona de estudio	Constante	SSR
Dolores Y18	0.0123	0.000016
Cobriza C12	0.0069	0.001521

Como se puede apreciar en la Tabla 4, la constate de cinética de desgaste para la zona de estudio Dolores Y18 describe un valor de 0.0123 kg/h, este valor es significativamente mayor si se compara con la de la Zona Cobriza C12 la cual solo tiene una constante de desgaste de 0.0069 kg/h.

En la Figura 3, se ha graficado el tiempo (h) versus el peso (kg). Este gráfico describe la pérdida de peso con respecto a tiempo, lo cual puede traducirse en una disminución en el área diamantada que es usada para llevar a cabo la perforación. Como se puede apreciar el tiempo de

perforación en la Zona Dolores Y18 solo fue de 33 horas, mientras que para la Zona Cobriza C12 el tiempo de perforación se incrementó siete horas más hasta llegar a las 40 horas antes de ser desechada.

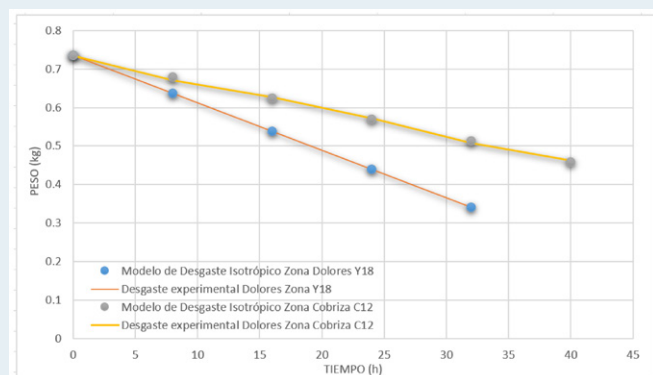


Figura 3. Desgaste experimental y modelado en las zonas Dolores Y18 y Cobriza C12.

Medición del avance en la perforación.

En la Figura 4, se puede apreciar el avance en metros de la perforación de la broca Hero 7, la Zona Dolores Y18 reporta un avance de 96 metros en 40 horas de trabajo antes de ser cambiada; este es el menor avance entre ambas pruebas debido a las condiciones geológicas de la granodiorita, en su mayor parte está semifracturada en esta zona. La zona Cobriza C12 demostró una mejor eficiencia en el avance en metros con un valor de 116 m en tan solo 32 horas. Con esto podemos concluir que la granodiorita semi-fracturada es un factor que aumenta el desgaste en la broca de estudio (Hero 7).

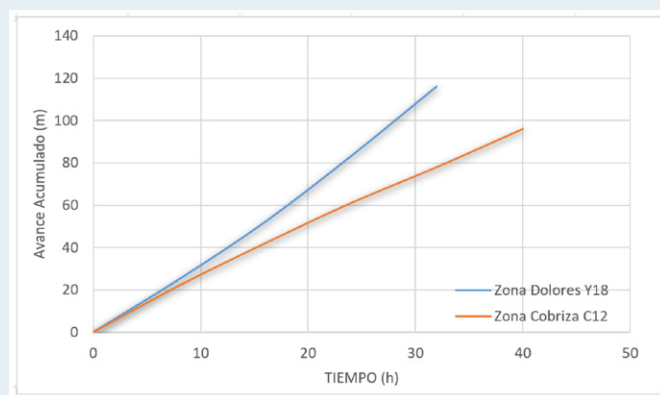


Figura 4. Gráfico de avance de la broca Hero 7 en las zonas de estudio.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos a partir de la resolución del modelo de abrasión pura y desgaste isotrópico enfocado a brocas de perforación diamantina Hero 7, se obtienen las siguientes conclusiones:

El modelo de desgaste isotrópico puede predecir el desgaste por el fenómeno de abrasión en las brocas dia-

mantadas para perforación de testigo, siendo este de primer orden, esto de acuerdo con las pruebas experimentales hechas en las zonas Dolores Y18 y Cobriza C12.

El índice de desgaste determinado en la resolución de modelo es de 0.0123 kg/h para la zona Dolores Y18, y de 0.0069 kg/h para la zona Cobriza C12, teniendo el mayor índice de desgaste Zona Dolores.

La geología estructural de la zona demuestra que a mayor cantidad de granodiorita semi-fracturada, el índice de desgaste será mayor debido a que una mayor distribución de partículas de cuarzo puede contener agregados metálicos de Cu, Au y Ag ocluidos.

Para evaluar el índice de desgaste de las brocas es indispensable conocer las características petrológicas de las áreas de estudio, asimismo las condiciones y su intensidad de eventos geológicos estructurales que han afectado a dichas áreas. Este estudio pretende dar el primer paso en la creación de un modelo fenomenológico geometalúrgico que pueda ser capaz de evaluar las brocas de perforación para la toma de muestra.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Menacho, J., Concha, F., Mathematical model of ball wear in grinding mills I. Zero-order wear rate, Powder Technology, Volume 47, Issue 1, 1986, Pages 87-96. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(86\)80013-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(86)80013-4)
- [2] González, J. (2013), Análisis estructural de la Sierra del Fraile y sistemas de mineralización del distrito minero La Paz, S.L.P, Tesis de Maestría, pp 125-135. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/4087>
- [3] G. Rosales-Marín, J. Andrade, G. Alvarado, J.A. Delgadillo, E.T. Tuzcu, Study of lifter wear and breakage rates for different lifter geometries in tumbling mill: Experimental and simulation analysis using population balance model, Minerals Engineering, Volume 141, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105857>.
- [4] Changhua Xie, Yongzhi Zhao, (2021), Investigation of the ball wear in a planetary mill by DEM simulation, Powder Technology, 117057. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117057>
- [5] Gangopadhyay A, Moore J. (1985), The role of abrasion and corrosion in grinding media wear. Wear, vol. 104, pp 49-64. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(85\)90245-5](https://doi.org/10.1016/0043-1648(85)90245-5)
- [6] Sepulveda, J. E. (2004), Methodologies for the evaluation of grinding media consumption rates at full plant scale, Minerals Engineering, vol 17, pp 1269-1279. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.08.007>
- [7] F. Knoop, C.G. Peters and W.B. Emerson, "A Sensitive Pyramidal-Diamond Tool for Indentation Measurements," Journal of Research of the National Bureau of Standards, V. 23 n° 1, julio de 1939, Research Paper RP1220, Pp. 39-6. <https://archive.org/details/jresv23n1p39/mode/2up>

Cómo citar este artículo:

Ortega, Y., Andrade Martínez, J., Alvarado Macías, G., Espinosa Serrano, E., Nava Gómez, D. P., & Rosales Marín, G. (2022). CUANTIFICACIÓN DEL DESGASTE EN BROCAS DE BARRENACIÓN DIAMANTE MEDIANTE EL MODELO DE ABRASIÓN PURA Y DESGASTE ISOTRÓPICO. EPISTEMUS, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.184>

Caracterización química, petrográfica y espectral de la Garnierita de República Dominicana

Chemical, Petrographic and Spectral Characterization of the Dominican Republic's Garnierite

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Dora Elí Vázquez Gómez ¹
 Daniel Carranza García ²
 Marco A. Rojas Beltrán ³
 Jessica E. Badillo Leyva ⁴
 Juan José Benítez Espinosa ⁵

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 20 / 05 / 2022

Publicado: 23 / 05 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.201>

Autor de Correspondencia:

Dora Elí Vázquez Gómez

Correo: vazquez_120995@outlook.com

Resumen

La garnierita es un silicato hidratado de magnesio y níquel, que se encuentra asociado a depósitos en la zona de intemperismo de rocas ultramáficas serpentinizadas. En el presente trabajo se presentan datos analíticos de una muestra a la que se le realizaron estudios petrográficos, Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX) y espectrorradiometría. La muestra pertenece a las peridotitas serpentinizadas de la formación Loma Caribe, en la parte central de República Dominicana. Petrográficamente, se identifica sepiolita-falcondita y calcedonia. Los análisis de FRX muestran altos valores de Ni, Cu, Fe. Para la DRX se determina garnierita y cuarzo asociado. Espectrorradiométricamente, se obtienen minerales de stevensita, saponita, muscovita, glaucofana e illita magnésica. Con esta muestra también fue posible demostrar y presentar por primera vez la firma espectral que identifica el mineral garnierita de República Dominicana brindando nueva y más actualizada información sobre este mineral.

Palabras clave: garnierita, República Dominicana, rocas ultramáficas, serpentinas.

Abstract

Garnierite is a hydrated silicate of magnesium and nickel, which is associated with deposits in the weathering zone of serpentized ultramaphic rocks. In this work, analytical data (petrographic studies, X-R Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD) and spectroradiometry) are presented from a representative sample. The sample belongs to the serpentized peridotites of Loma Caribe formation, in the central part of the Dominican Republic. Petrographically, sepiolite-falcondite and chalcidony are identified. XRF analyses show high values of Ni, Cu, Fe. For XRD, garnierite and associated quartz are determined. Spectroradiometrically, stevensite, glaucophane, muscovite and magnesium illite are obtained. With this sample, it was also possible to demonstrate and present for the first time the spectral signature that identifies the garnierite mineral from Dominican Republic, providing new and more updated information on this mineral.

Keywords: garnierite, Dominican Republic, ultramafic rocks, serpentinites.

¹ Ingeniero geólogo, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, Programa de Ingeniería en Geología, Av. Doctor Manuel Nava 8, Zona Universitaria Poniente, San Luis Potosí, México, C. P. 78290. Tel + 52 (444) 826 23 00 Exts. 6048 y 6084.

² Maestro en Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, Programa de Ingeniería en Geología, Av. Doctor Manuel Nava 8, Zona Universitaria Poniente, San Luis Potosí, México, C. P. 78290. Tel + 52 (444) 826 23 00 Exts. 6048 y 6084.

³ Ingeniero geólogo, Consultoría en Estudios Petrográficos. Calle Tauro No. 173, Fracc. Central, C.P. 78399, San Luis Potosí, México. Tel + 52 (444) 449 21 86.

⁴ Ingeniero geólogo, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Metalurgia, Programa de Maestría en Ingeniería de Minerales. Sierra Leona #550, Lomas 2° Sección C.P. 78350. San Luis Potosí, S.L.P. Tel: (444) 826 14 50.



INTRODUCCIÓN

La garnierita adopta su nombre en honor a su descubridor Jules Garnier en Nueva Caledonia y actualmente es el nombre dado para denominar a los silicatos hidratados de níquel y magnesio [1]. Es un mineral de color verde que puede incluir dos o más minerales de: serpentina, talco, sepiolita, esmectita y clorita [2, 3]. Se forma a partir de la meteorización de rocas lateríticas ultramáficas y se presenta en muchos de los depósitos lateríticos del mundo. Las lateritas ricas en níquel, se desarrollaron sobre las peridotitas serpentinizadas de la Formación Loma Caribe, expuestas en la cordillera central de República Dominicana y están relacionadas con las ofiolitas que afloran a lo largo del margen norte de la placa del Caribe [2]. La garnierita ha sido descrita desde el punto de vista mineralógico, composición química y petrografía [2, 3, 4]; sin embargo, en el caso de México, este tipo de minerales, son escasamente conocidos, por lo que describirlos y contar con una base de información local, facilita su conocimiento, y su aprendizaje. Además, en el caso de sus características espectrales, estas no han sido reportadas en las distintas bibliotecas espectrales, como la del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS; por sus siglas en inglés – United States Geological Survey) [5], o bien, del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL, por sus siglas en inglés -Jet Propulsion Laboratory) [6]. Por lo que este trabajo representa una importante contribución, en el conocimiento de las propiedades de este mineral.

La Formación Loma Caribe, son peridotitas que forman parte de un cinturón ofiolítico que aflora en la cordillera central de República Dominicana. El cuerpo de las peridotitas tiene un ancho entre 4-5 km, y se extiende por unos 95 km. Consiste principalmente de hazburgitas, dunitas y lherzolitas [7]. Estas peridotitas, se encuentran serpentinizadas, y han generado suelos lateríticos ricos en níquel [8]. La edad estimada de la meteorización (lateritización),

comenzó a principios del Mioceno, cuando las peridotitas serpentinizadas, fueron expuestas al intemperismo y erosión. Los depósitos de lateritas ricas en níquel, se clasifican de acuerdo como del tipo de sílice hidratado. La garnierita ocurre en los horizontes saprolíticos por debajo de una delgada capa de limonita [7].

METODOLOGÍA

La muestra fue traída por un grupo de estudiantes de intercambio académico, del programa de Ingeniería en Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, que realizaron un viaje de estudios a República Dominicana. Durante este viaje, se tomaron muestras para enriquecer las colecciones de los laboratorios de mineralogía y petrografía de la carrera de Geología de la UASLP. Entre las muestras colectadas, está la garnierita, objeto de este trabajo. El siguiente paso, fue la recopilación de la información bibliográfica disponible para la garnierita de República Dominicana y se digitalizó la cartografía geológica. Posteriormente se realizó la descripción megascópica, y petrográfica. Se preparó una lámina delgada, para su estudio petrográfico; el equipo utilizado fue un microscopio petrográfico Olympus BX41, con objetivos 4x, 10x y 20x, platina giratoria. Para las determinaciones de Fluorescencia de Rayos X, se realizaron dos mediciones con un equipo portátil Thermo Scientific Niton XL2, el cual tiene capacidad de medición de hasta 33 elementos y opera con una excitación máxima de 45 kV/100 μ A. Las determinaciones de la firma espectral fueron obtenidas por dos mediciones con un equipo de espectro-radiometría Halo TerraSpec. El rango de medición va de 350 nm a 2500 nm (rango UV-SWIR). La calibración es primero manual, con un blanco externo, para posteriormente, auto calibración de forma automática con un blanco interno. Para la Difracción de Rayos X, las muestras se prepararon a un tamaño de partícula menor a 400 mallas ($\sim 37 \mu$ m) y el polvo resultante fue com-



pactado sobre un portamuestra de vidrio (4 g), evitando orientaciones preferenciales. El equipo utilizado para este análisis fue un difractómetro de rayos X Bruker, modelo D8 Advance Davinci, operando bajo las siguientes condiciones: voltaje de 40 kV, intensidad de 35 mA, $2\theta = 4^\circ$ a 90° , tamaño de paso de 0.02, velocidad de paso de 0.3 s con un tiempo total de prueba de 21 minutos. Los resultados obtenidos son representados en un espectro típico de DRX llamado difractograma, en el cual cada pico está asociado a un mineral detectado en la muestra.

RESULTADOS

Descripción megascópica

Muestra RD-18-02, de color verde con manchas en tonos beige-blancuecino, estructura masiva, pero deleznable, hábito pulverulento o polvoso, no presenta formas cristalinas, amorfo, con vetilleos de cuarzo de color blancuecino, en ocasiones se forman estructuras abiertas, con textura brechoide, y en forma de navajas; manchas de color café en algunas partes. La muestra tiene una baja dureza (< 3) y es muy deleznable (Figura 1).

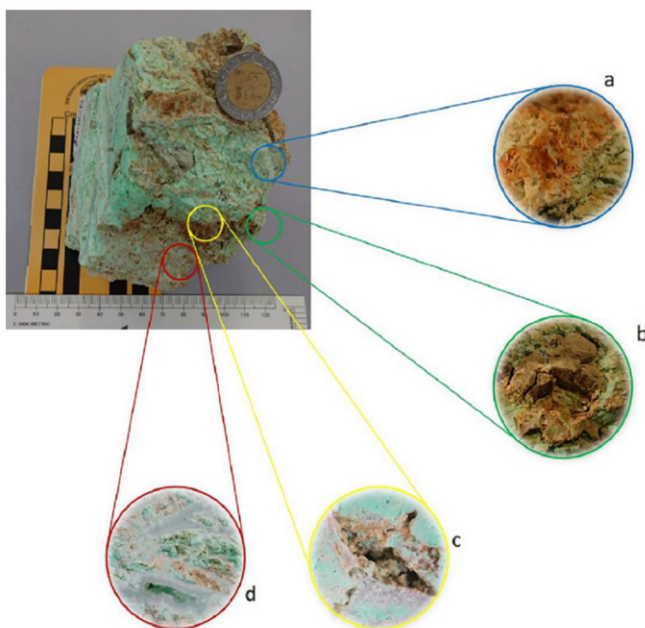


Figura 1. Muestra de mano de garnierita (RD-18-02). Donde resalta el color verde con tonalidades blancas, así como parches de limonita asociada a fracturas. En los acercamientos, se puede notar la presencia de cristales planares (a, b), que parecen ser micas; las manchas de color café, se deben a la presencia de óxidos (limonita). C) estructura abierta, con relleno de cristales de cuarzo de baja temperatura, y limonita secundaria asociada. D) Estructura de red, textura brechoide, formada por los hilos blancuecinos de la garnierita. Se aprecia que los cristales de garnierita están cortados por un boxwok intenso de calcedonia. Ubicación geográfica: 19Q 361898 2103068 UTM.

Descripción petrográfica

La muestra presenta las siguientes características en luz natural: es opaca con partes translúcidas, de color pardo-verdoso, con bordes en tonos verdes más claros. Se encuentra intensamente fracturada, con hábito de red, presencia de vetillas incoloras, con bordes parcialmente oxidados de color café-ocre. Se observan algunos fragmentos líticos y fantasmas de cristales de olivino (?). En luz polarizada el material opaco-translúcido, adquiere un color pardo-grisáceo, con tonos verdes (falcondita). Dada la opacidad, no se observan otras propiedades ópticas en la muestra. En el caso de las vetillas, se detecta la presencia de calcedonia-cuarzo de baja temperatura en la parte interna y sepiolita-falcondita, en la parte externa (Figura 2).

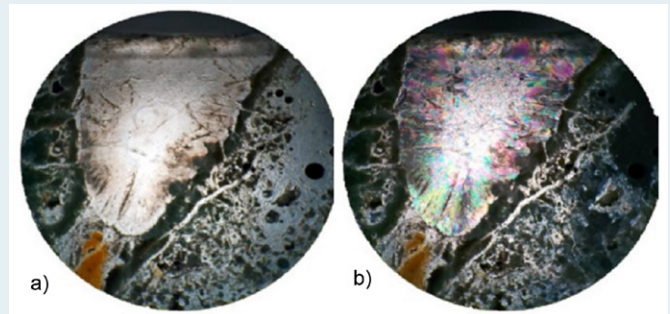


Figura 2. Petrografía de la muestra RD-18-02. a) Nícoles paralelos: se observa una fractura abierta, con relleno de óxidos (limonita color ocre), calcedonia en las partes internas, y material arcilloso, de color pardo-café, en los bordes de la estructura. La vetilla se encuentra hospedada en material traslucido, de color pardo-verdoso, es notoria la porosidad de la muestra. B) Nícoles cruzados, donde se observa que los minerales (sepiolita-falcondita) adquieren un hábito acicular, con colores de interferencia de 3er orden, con alta birrefringencia. Las arcillas permanecen con color café. El material verdoso, de la roca encajonante se asocia a la sepiolita (?). Amplitud del campo visual 3.5 mm.





Fluorescencia de Rayos X

Se realizaron análisis de Fluorescencia de Rayos X a la muestra. Los resultados se sintetizan en la Tabla 1. Con el equipo utilizado se detectaron 15 elementos.

Tabla 1. Resultados de XRF para la garnierita. Síntesis de una muestra analizada (RD-18-02). Se reportan las medidas estadísticas de máxima, mínima, el promedio, el error, así como el número de mediciones en donde sale el elemento analizado.

No.	Elemento químico	Max (ppm)	Min (ppm)	Prom (ppm)	Error (±)	No. Med.
1	Ni	354300	254100	304200	4300	2
2	Cu	159000	127700	143350	3000	2
3	Fe	25000	24000	24500	2100	2
4	Mn	13600	10900	12250	2100	2
5	Co	8210	5416	6813	1386	2
6	U	3690	3119	3404	320	2
7	Pb	1717	1434	1575	289	2
8	Sr	1154	910	1032	92	2
9	As	810	613	711	225	2
10	Th	849	507	678	130	2
11	Pd	601	445	523	78.5	2
12	Ba	577	446	511	72.5	2
13	Te	205	182	193	41.5	2
14	Cs	113	92	102	14.5	2
15	Sb	72	62	67	16.5	2

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los elementos que aparecen en las mediciones son Ni, Cu, Fe, Mn, Co, U, Pb, Sr, As, Th, Pd, Ba, Te, Cs, Sb. El elemento identificado con mayor abundancia es el Ni, correspondiendo a la composición de la garnierita; le sigue el Cu, elemento que se presenta en yacimientos de níquel, además de tener alto contenido de Fe y Mn. Los elementos restantes se encontraron en menor proporción, y se identificaron elementos radioactivos como U, Th y Cs.

En las mediciones de FRX, el níquel y el cobre forman parte de la composición de la garnierita y son los elementos con el mayor contenido medido (Cu 159000 ppm y Ni 354300 ppm, en promedio). El hierro y el manganeso son comunes como parte de minerales derivados de intemperismo. Es importante remarcar la presencia de cobre, níquel y manganeso, que pueden ser responsables de la coloración particular de la garnierita.



Difracción de Rayos X

A través de la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), se detectaron 2 minerales dentro de la muestra: cuarzo y garnierita. El cuarzo presenta un pico máximo a 26.5°, y otros picos 20.9° y 50.1°, además de otros picos con conteos menores. Lo importante del análisis de DRX es que, se identifica positivamente a la garnierita, la cual presenta picos en 33.8°, 37.3° y 60.9° (Figura 3).

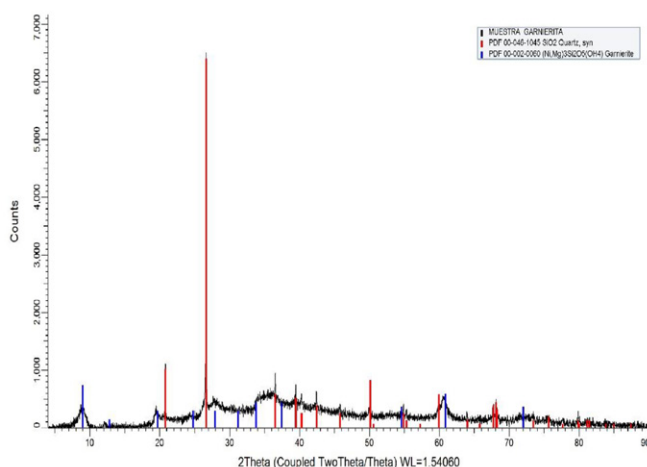


Figura 3. Difractograma de la muestra RD-18-02. Se logran identificar 2 minerales: garnierita y cuarzo. Los picos de intensidad en la señal de conteo para el cuarzo están en un ángulo de difracción (2θ) de 20.9, 26.5, 37.4, 39.1, 50.1, y 60.9, y algunos otros picos de menor intensidad. Nótese que la señal del cuarzo es máxima en 26.5. Para el caso de la garnierita, los picos en 2θ , están en 9.0, 19.4, 24.8, 27.9, 31.2, 33.8, 37.4, 54.6, 60.9 y 72.0. Los cuales son consistente con el reporte PDF que identifica positivamente a la garnierita.

Espectrorradiometría

Se determinó la firma espectral mediante espectrorradiometría, abarcando un rango de 350 hasta 2500 nm (UV-SWIR). En el eje de las X, se tiene la longitud de onda, en nanómetros, y en el eje Y, se tiene la reflectividad en décimas, que corresponde con el porcentaje (x100). En la

firma espectral se observan tanto picos positivos, como picos negativos de reflectividad a lo largo de la curva (Figura 4). Con esta técnica, se detectó la presencia de stevensita, saponita, muscovita, glaucofana, magnesita e illita magnesita.

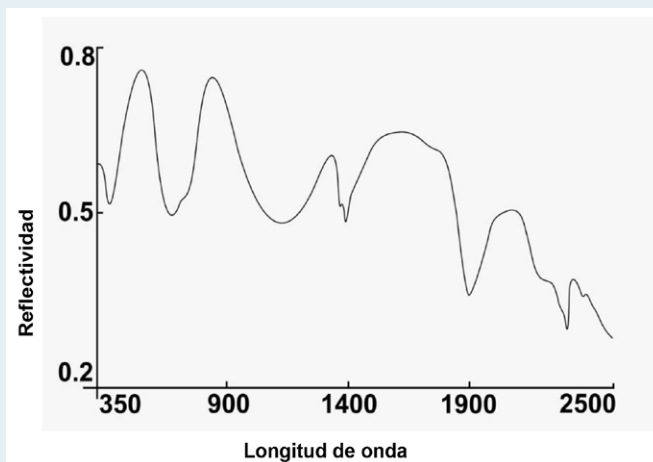


Figura 4. Firma espectral de la muestra RD-18-02. La firma espectral abarca el rango del espectro electromagnético de los 350 hasta 2500 nanómetros (UV-SWIR). En el eje de las X, se tiene la longitud de onda, en nanómetros, y en el eje y, se tiene la reflectividad en décimas, que corresponde con porcentaje (x100). Se observan picos positivos de reflectividad a los 450 nm (0.75), 875 nm (0.73), 1310 nm (0.58 %), 1600 nm (0.61), 2100 nm (0.48) y 2400 nm (0.37). Así como picos negativos en: 360 nm (0.52), 650 nm (0.5), 1190 nm (0.49), 1400 nm (0.49), 1890 nm (0.35) y 2310 nm (0.3).



DISCUSIÓN

A partir de los diferentes análisis realizados sobre la muestra de garnierita (RD-18-02), se detecta la presencia de distintos minerales a través de diferentes técnicas analíticas, como se observó por petrografía: sepiolita-falcondita-calcetonia; lo cual coincide con lo reportado en la literatura [3, 7]. Con FRX, se detecta la presencia de elementos como Ni, Cu, siendo los posibles responsables de la coloración verde en que se aprecia el mineral [8, 2, 4]; además de detectar Fe y Mn. Con respecto a la DRX, se prueba la existencia de garnierita, además de cuarzo. Y finalmente, a través de la firma espectral, se detecta la presencia de los minerales stevensita, saponita, muscovita, glaucofana, magnesita e illita magnésica, manifestando un enriquecimiento en magnesio, hierro y aluminio. Así como una asociación con minerales de intemperismo-alteración (saponita, illita magnésica) relacionados con serpentinitas, lo cual es concordante con la geología de la zona [7, 2]. Además, y como contribución de este trabajo, la firma espectral de la muestra, no coincide con alguna otra firma, de las principales bases de datos de firmas espectrales, tales como las de la biblioteca espectral del laboratorio de propulsión a chorro [6], ni en el servicio geológico estadounidense [5]. Siendo así esta firma espectral, la primera vez que se describe.

Reconocimientos

Se agradece el apoyo del Ing. David Andrade, por los resultados de espectrorradiometría y FRX, además del Ing. Jorge Luis Centeno Herrera, quien gentilmente donó las muestras al laboratorio de petrografía del programa de Ingeniería en Geología de la UASLP, y en consecuencia proporcionar la muestra de garnierita de República Dominicana para este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. de D. Varela, "La Estructura de las Garnieritas", Geología Colombiana, No. 13, pp. 29-40, 1984.

- [2] J. A. Proenza, J. F. Lewis, S. Galí, E. Tauler, M. Labrador, J. C. Melgarejo, F. Longo, and G. Bloise, "Garnierite Mineralization from Falcondo Ni-Laterite Deposit (Dominican Republic)", SEM, macla No. 9, pp. 197-198, Septiembre 2008.
- [3] E. García-Romero, M. Suárez-Barrios, E. Tauler, J. Proenza, J. F. Lewis and F. Longo, "Ni-Sepiolita en depósitos de Lateritas de República Dominicana: Variaciones Composicionales", SEM, macla No. 11, pp. 93-94, Septiembre 2009. R. N. Clark, G. A. Swayze, A. J. Gallagher, T. V. V. King, and W. M. Calvin, "Digital Spectral Library: version 1: 0.2 to 3.0 microns", The U. S. Geological Survey, U. S. Geological Survey Open Report 98-592, pp. 1340, 1993.
- [4] E. Tauler, J. A. Proenza, S. Galí, J. F. Lewis, M. Labrador, E. García-Romero, M. Suarez, F. Longo, and G. Bloise, "Ni-Sepiolite-falcondite in garnierite mineralization from Falcondo Ni-laterite deposit, Dominican Republic", Clay Minerals, Vol. 44, pp. 435-454, 2009.
- [5] R. N. Clark, G. A. Swayze, A. J. Gallagher, T. V. V. King, and W. M. Calvin, "Digital Spectral Library: version 1: 0.2 to 3.0 microns", The U. S. Geological Survey, U. S. Geological Survey Open Report 98-592, pp. 1340, 1993.
- [6] C. I. Grove, S. J. Hook, and E. D. Paylor, "Laboratory reflectance spectra for 160 minerals 0.4 – 2.5 micrometers" JPL publication 92-2, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, 1992.
- [7] J. F. Lewis, G. Draper, J. A. Proenza, J. Espatilla, and J. Jimenez, "Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean region: a review of their occurrence, composition, origin, emplacement and Ni-laterite soils formation" Geologica Acta, 4, pp. 237-263, 2006.
- [8] J. A. Proenza, F. Zaccarini, J. Lewis, F. Longo, and G. Garuti, "Chromite composition and platinum-group mineral assemblage of PGE-rich Loma Peguera chromitites, Loma Caribe peridotite, Dominican Republic", The Canadian Mineralogist, 45, 21, pp. 1-228, 2007.

Cómo citar este artículo:

Vázquez, D. E., Carranza García, D., Rojas Beltrán, M. A., Badillo Leyva, J. E., & Benitez Espinosa, J. J. (2022). Caracterización química, petrográfica y espectral de la Garnierita de República Dominicana. EPISTEMUS, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.201>



Abordaje preventivo en la enfermedad por hígado graso no alcohólico

Preventive Approach in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Gabriela López-Almada ¹
 J. Abraham Domínguez-Avila ²
 Gustavo A. González-Aguilar ³
 Maria Esther Mejía-León ⁴
 Norma J. Salazar López* ⁵

Recibido: 15 / 10 / 2022

Aceptado: 17 / 02 / 2022

Publicado: 21 / 04 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.185>

Autor de Correspondencia:

Norma J. Salazar-López

Correo: norma.salazar@uabc.edu.mx

Resumen

La obesidad es actualmente un problema de salud pública a nivel mundial. Ésta se caracteriza por afectar a múltiples órganos, entre ellos el hígado, desarrollándose enfermedades como la enfermedad de hígado graso no alcohólico (EHGNA), la cual predispone al desarrollo de carcinoma hepatocelular. En esta revisión se discute la asociación entre la obesidad y la EHGNA, enfatizando un abordaje preventivo y de intervención en etapas tempranas de la enfermedad, así como los potenciales efectos de algunos compuestos bioactivos presentes en la dieta. Al respecto es recomendable centrar la intervención en mejorar el IMC, a través de un programa de actividad física, educación nutricional y de salud, y cambios en los patrones dietéticos. La inclusión de alimentos ricos en compuestos bioactivos, como los compuestos fenólicos, fibra y vitaminas pueden proveer de un efecto antioxidante, antiinflamatorio y anti-obesogénico que podrían obstaculizar la progresión de la EHGNA, y otras comorbilidades y complicaciones.

Palabras clave: obesidad, salud pública, compuestos bioactivos, hígado graso no alcohólico, prevención primaria.

Abstract

Obesity is currently a worldwide public health problem. It is characterized by its negative impact on multiple organs, including the liver, through the development of diseases such as non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD), which can promote the development of hepatocellular carcinoma. This review discusses the association between obesity and the development of NAFLD, emphasizing on the importance of a preventive and interventional approach during the early stages of the disease, as well as the potential effect of some dietary bioactive compounds. In this regard, it is advisable to focus the intervention on improving BMI, through a program of physical activity, nutritional and health education, and changes in dietary patterns. The inclusion of foods rich in bioactive compounds, such as phenolic compounds, fiber and vitamins can provide an antioxidant, anti-inflammatory and anti-obesogenic effect that could hinder the progression of NAFLD and other comorbidities and complication.

Keywords: obesity, public health, bioactive compounds, non-alcoholic fatty liver, preventive approach.

¹ Maestría, Facultad de Medicina de Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. gabriela.lopez.almada@uabc.edu.mx, ORCID: 0000-0002-4564-661X

² Doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Hermosillo, Sonora, México. abrahamdominguez9@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6220-1623.

³ Doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Hermosillo, Sonora, México. gustavo@ciad.mx, ORCID: 0000-0002-7452-286X

⁴ Doctorado, Facultad de Medicina de Mexicali, Mexicali, Baja California, México. esther.mejia86@uabc.edu.mx, ORCID: 0000-0003-3387-4858

⁵ Doctorado, Facultad de Medicina de Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México. norma.salazar@uabc.edu.mx, ORCID: 0000-0002-8597-3455



INTRODUCCIÓN

Datos recientes indican que aproximadamente un tercio de la población mundial padece sobrepeso u obesidad [1], la cual se estima incrementará hasta un 18% en hombres y 21% en mujeres, para el año de 2050 [2]. En la última década, México ha tenido un aumento significativo en la prevalencia de obesidad en sus diferentes grupos etarios. La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2020 [3], reportó un incremento en la prevalencia de obesidad en adultos en comparación con los datos del 2012, pasando del 32.4% al 36% [3].

Particularmente la obesidad abdominal, predispone al desarrollo de múltiples enfermedades crónicas no transmisibles, entre las que se encuentran la enfermedad por hígado graso no alcohólico (EHGNA), el síndrome metabólico (SM), la diabetes mellitus tipo 2 (DMII), hipertensión arterial sistémica, enfermedad renal crónica, enfermedades cardiovasculares, cáncer entre otras [4]2018, will review national and global progress towards the prevention and control of NCDs, and provide an opportunity to renew, reinforce, and enhance commitments to reduce their burden. NCD Countdown 2030 is an independent collaboration to inform policies that aim to reduce the worldwide burden of NCDs, and to ensure accountability towards this aim. In 2016, an estimated 40.5 million (71%. Estas enfermedades originan alrededor del 70 % de las defunciones a nivel mundial [4]2018, will review national and global progress towards the prevention and control of NCDs, and provide an opportunity to renew, reinforce, and enhance commitments to reduce their burden. NCD Countdown 2030 is an independent collaboration to inform policies that aim to reduce the worldwide burden of NCDs, and to ensure ac-



countability towards this aim. In 2016, an estimated 40.5 million (71%, además de conducir a una disminución en la calidad de vida y años de vida productiva de la población.

El origen de la obesidad es multifactorial e incluye factores modificables (la inactividad física, hábitos nutricionales inadecuados, estrés crónico y el estilo de vida) y factores no modificables (factores hormonales, genéticos, edad, entre otros). Sin embargo, la evidencia científica demuestra claramente que el desequilibrio entre el consumo y gasto de energía son los factores mas predominantes para el desarrollo de obesidad de la población mundial y de los mexicanos [5].

En el presente trabajo se aborda el desarrollo de EHGNA y su asociación con la obesidad, enfocado en la impor-



tancia de un abordaje preventivo y de intervención en etapas tempranas de la enfermedad, así como los potenciales efectos benéficos de algunos compuestos bioactivos para prevenir la enfermedad y sus complicaciones.

LA EHGNA

La obesidad induce un estado inflamatorio crónico de bajo grado, el cual inicia en el tejido adiposo y puede llegar a afectar a todos los tejidos y órganos. En el caso del hígado, este estado promueve el desarrollo de la EHGNA.

La EHGNA se define por la presencia de una infiltración y acumulación excesiva de lípidos en el hígado (esteatosis hepática) en individuos sin antecedente de abuso de alcohol. EHGNA es evidenciada mediante métodos de imagen o por estudios histopatológicos, en pacientes sin presencia de alguna otra enfermedad hepática, uso de fármacos o trastornos hereditarios causantes de la acumulación de grasa hepática y con consumo de alcohol <30 g/día en hombres y <20 g/día en mujeres [6].

La EHGNA comprende un espectro de presentaciones variables, las cuales se pueden clasificar en 2 principales entidades con base en hallazgos histológicos: hígado graso no alcohólico y esteatohepatitis no alcohólica [7].

La EHGNA se ha convertido en la enfermedad hepática más común en adultos a nivel mundial, asociándose directamente con la prevalencia de obesidad y el desarrollo prematuro de SM, denominándose incluso como “la manifestación hepática del SM” [7]. Es la enfermedad hepática más común en niños en países desarrollados [8], es relativamente común en adolescentes [9] y está asociada a complicaciones durante el embarazo [10]. La EHGNA afecta particularmente a la población de la tercera edad, en quienes se pueden acumular otros factores de riesgo para su desarrollo [11].

FISIOPATOLOGÍA

El reconocimiento de la participación de vías moleculares adicionales, cambios en la estructura de organelos celulares y el desarrollo paralelo de componentes del SM, son algunos de los factores que se han reconocido como importantes mecanismos iniciadores y de progresión en la EHGNA. Lo anterior ha dado mayor aprobación a la nueva “hipótesis de ataques múltiples y paralelos” [12] only a small minority of affected patients develops inflammation and subsequently fibrosis and chronic liver disease, while most of them only exhibit simple steatosis. In this context, the full understanding of the mechanisms underlying the development of NAFLD and non-alcoholic steatohepatitis (NASH, que intenta explicar la fuerte asociación que hay entre la EHGNA y la obesidad, el aumento de tejido adiposo y una mayor liberación de ácidos grasos y triacilglicérol. Esto, acoplado a un consumo excesivo de grasas y azúcares en la dieta, lleva a una alteración hepática y sistémica en el metabolismo de lípidos y carbohidratos y en la tasa de ingreso/egreso de ácidos grasos, dando como resultado una acumulación de lípidos en el hígado y al desarrollo de

la esteatosis característica de la EHGNA [13].

Paralelo a esto, los avances de la última década en el estudio de la microbiota intestinal, han mostrado que como parte de su metabolismo y del proceso de fermentación dependiente de la dieta, los microorganismos producen moléculas como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), que pueden llegar a modificar a los ácidos biliares primarios, para modular la señalización celular y respuesta inmune. Cuando la persona padece obesidad y su dieta es alta en carbohidratos, grasa y alimentos procesados, ocurre un desequilibrio en la microbiota o disbiosis que da como resultado que el perfil de AGCC generado, tenga un efecto proinflamatorio, tanto local como sistémico. Al absorberse y llegar al hígado por circulación portal, estos metabolitos potencializan el efecto inflamatorio e inducen la expresión de genes de proteínas que participan en el proceso de lipogénesis. Lo anterior contribuye a promover la esteatosis, la esteatohepatitis y la progresión a fibrosis y cirrosis, cuando el estado nutricional no es el adecuado [14] researchers have investigated the role of microbiota in health and disease. Recent findings support the hypothesis that commensal bacteria and in particular microbiota-derived metabolites have an impact on development of inflammation and carcinogenesis. Major classes of microbial-derived molecules such as short-chain fatty acids (SCFA).

A pesar de que las hipótesis mencionadas intentan explicar la complejidad de la enfermedad, es claro que la progresión de la EHGNA está fundamentada en la presencia de esteatosis, estrés oxidativo (EO) e inflamación, los cuales se refuerzan entre sí en un ciclo vicioso [12] only a small minority of affected patients develops inflammation and subsequently fibrosis and chronic liver disease, while most of them only exhibit simple steatosis. In this context, the full understanding of the mechanisms underlying the development of NAFLD and non-alcoholic steatohepatitis (NASH).

El EO se refiere a una situación de desequilibrio en la cual la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) supera los mecanismos de defensa antioxidante del organismo. El EO puede inducir cambios a nivel fisiológico, por





ejemplo, en la sensibilidad a la insulina, la actividad de enzimas principales del metabolismo lipídico y señalización del sistema inmune [15]. Además, algunos lípidos y/o sus derivados son considerados tóxicos por su capacidad de promover la generación de EROs, fenómeno denominado como "lipotoxicidad" [16].

TRATAMIENTO ACTUAL

Debido a que la etiología de la EHGNA es multifactorial, resulta clave promover la pérdida de peso corporal ya que esto se asocia con mejoras en biomarcadores de resistencia a la insulina y dislipidemia, cambios en el perfil de adipocinas y mejoría de biomarcadores inflamatorios, aunado de manera importante a la resolución de la esteatohepatitis y lesiones histológicas. En las guías de práctica clínica para manejo de obesidad, centradas en complicaciones de la Asociación Americana de Endocrinólogos Clínicos y del Colegio Americano de Endocrinología, se recomiendan una meta de pérdida de peso $\geq 5\%$ para pacientes con obesidad que cursan con esteatosis y de 10 - 40% en aquellos con esteatohepatitis [17]. La Figura 1 resume la fisiopatología y posible abordaje de la EHGNA.

Como tratamiento de primera línea, se recomiendan los cambios en la dieta y en el estilo de vida mediante programas estructurados [17]. En este sentido, se ha recomendado la dieta mediterránea, la cual es alta en el uso de aceite de oliva, vegetales, frutas, nueces, granos enteros, pescados y mariscos, así como alta en antioxidantes, fibra, grasas mono- y poliinsaturadas y baja en su contenido de carnes rojas y alimentos procesados [18]. El consumo regular de este patrón dietario ha mostrado mejorías significativas en el perfil metabólico y lipídico de pacientes con EHGNA, en parte debido a los efectos lipolíticos, antiinflamatorios y antilipogénicos de los lípidos al regular la expresión de genes [19].

Si el tratamiento inicial no muestra resultados satisfactorios, se suelen incluir también tratamientos farmacológicos en individuos con índice de masa corporal (IMC) ≥ 30 kg/m² y en aquellos con IMC ≥ 27 kg/m² con comorbilida-



des [17], [20].

La cirugía bariátrica se recomienda en casos en los que las primeras dos intervenciones no sean exitosas, y en individuos con un IMC ≥ 40 kg/m² o en aquellos con ≥ 35 kg/m² que presenten comorbilidades. Sin embargo, este procedimiento no se ha establecido con seguridad en pacientes con EHGNA [17].

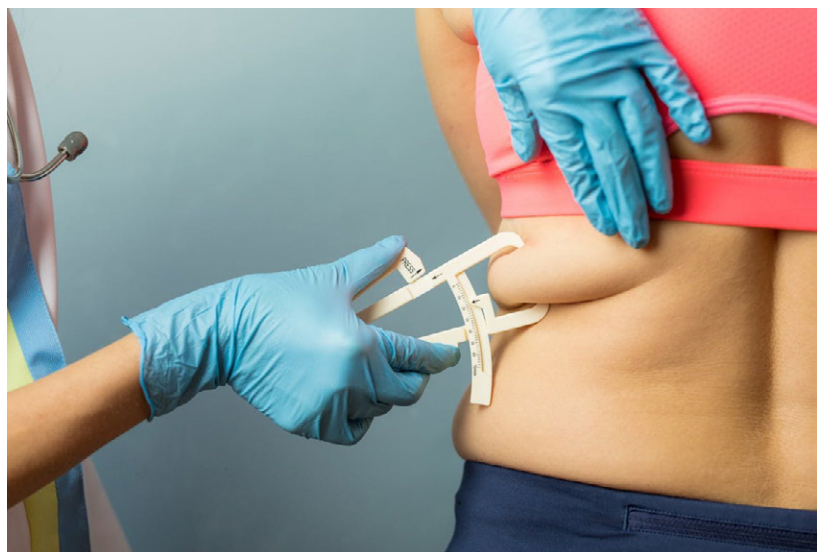
COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos bioactivos son moléculas encontradas en algunos alimentos, particularmente los de origen vegetal, y pueden originar beneficios en células y tejidos [21]. Se consideran compuestos bioactivos a múltiples familias de moléculas, entre los que destacan los oligosacáridos, alcaloides, vitaminas, polifenoles, entre otros.

Los alimentos que son una fuente rica de compuestos bioactivos han mostrado propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que ejercen efectos positivos a la salud. Por ejemplo, la ingesta de dietas con altos contenidos de polifenoles se ha asociado con mejorías en marcadores séricos de enfermedades como DMII, SM, enfermedades cardiovasculares y cáncer [22]. Entre los mecanismos reportados para tales efectos, se destaca su capacidad de prevenir o disminuir la formación de EROs que a su vez mitiga procesos inflamatorios [23]. Estas acciones resultan potencialmente benéficas en enfermedades como la EHGNA, en donde la alta tasa de formación de EROs y procesos inflamatorios crónicos favorecen la progresión de la enfermedad.

Existen múltiples estudios observacionales y de intervención que demuestran los efectos benéficos de los compuestos bioactivos. La Tabla 1, resume algunas investigaciones sobre compuestos bioactivos con efectos benéficos que podrían impactar positivamente en pacientes con EHGNA.

Estudios epidemiológicos y sistemáticos han repor-



tado que el consumo de café, el cual es una mezcla de múltiples compuestos bioactivos, se ha asociado con un efecto hepatoprotector en pacientes con EHGNA lo cual parece llevarse a cabo mediante un efecto antioxidante [31]. Del mismo modo, la suplementación con resveratrol, compuesto polifenólico contenido principalmente en uvas rojas, moras, cacahuates, cocoa, ha demostrado que en pacientes con EHGNA induce mejoras vía la reducción de biomarcadores de inflamación [32].

Por otra parte, en un estudio multiétnico con 17685 participantes, se reportó una asociación inversa significativa entre el consumo de flavonoides provenientes de la dieta (frutas y verduras) y el riesgo de presentar EHGNA, destacando el efecto protector de los flavonoides en procesos inflamatorios y de estrés oxidativo [33]. Particularmente, el consumo de catequinas del té verde en conjunto con actividad física han mostrado un efecto protector en pacientes con esteatohepatitis, vía la reducción del IMC, enzimas hepáticas y lípidos en suero, así como la reducción de biomarcadores de inflamación y tejido adiposo visceral [30]. Lo anterior evidencia que el efecto antioxidante, antiinflamatorio, prebiótico y obstaculizador del metabolismo de lípidos mostrado por los compuestos bioactivos podrían ejercer un efecto benéfico en el tratamiento preventivo de EHGNA.

CONCLUSIÓN

La fuerte asociación entre la EHGNA y la obesidad, invita a un abordaje de carácter preventivo y de intervención en las etapas tempranas de la enfermedad. El tratamiento podría centrarse en mejorar el IMC, reforzando cambios en la actividad física y en los patrones dietéticos como tratamiento primario, a través de educación nutricional y de salud. Es recomendable que los patrones dietéticos incluyan alimentos ricos en compuestos bioactivos, como los compuestos fenólicos, fibra y vitaminas que provean de un efecto antioxidante, antiinflamatorio y potencialmente anti-obesogénico. Las modificaciones a la dieta suelen ser un tratamiento seguro, por lo que representan una estrategia factible para prevenir el desarrollo de EHGNA en la población mexicana.

Factores dietarios y metabólicos, entre otros, permiten el desarrollo de EHGNA. La sobrecarga lipídica induce lipotoxicidad que afecta organelos productores de especies reactivas de oxígeno (ERO), que a su vez producen más ERO en un ciclo vicioso. Niveles altos de ERO promueven un estado de estrés oxidativo. Se muestran los pasos recomendados en el manejo de la obesidad y EHGNA, enfatizando el uso de compuestos bioactivos.

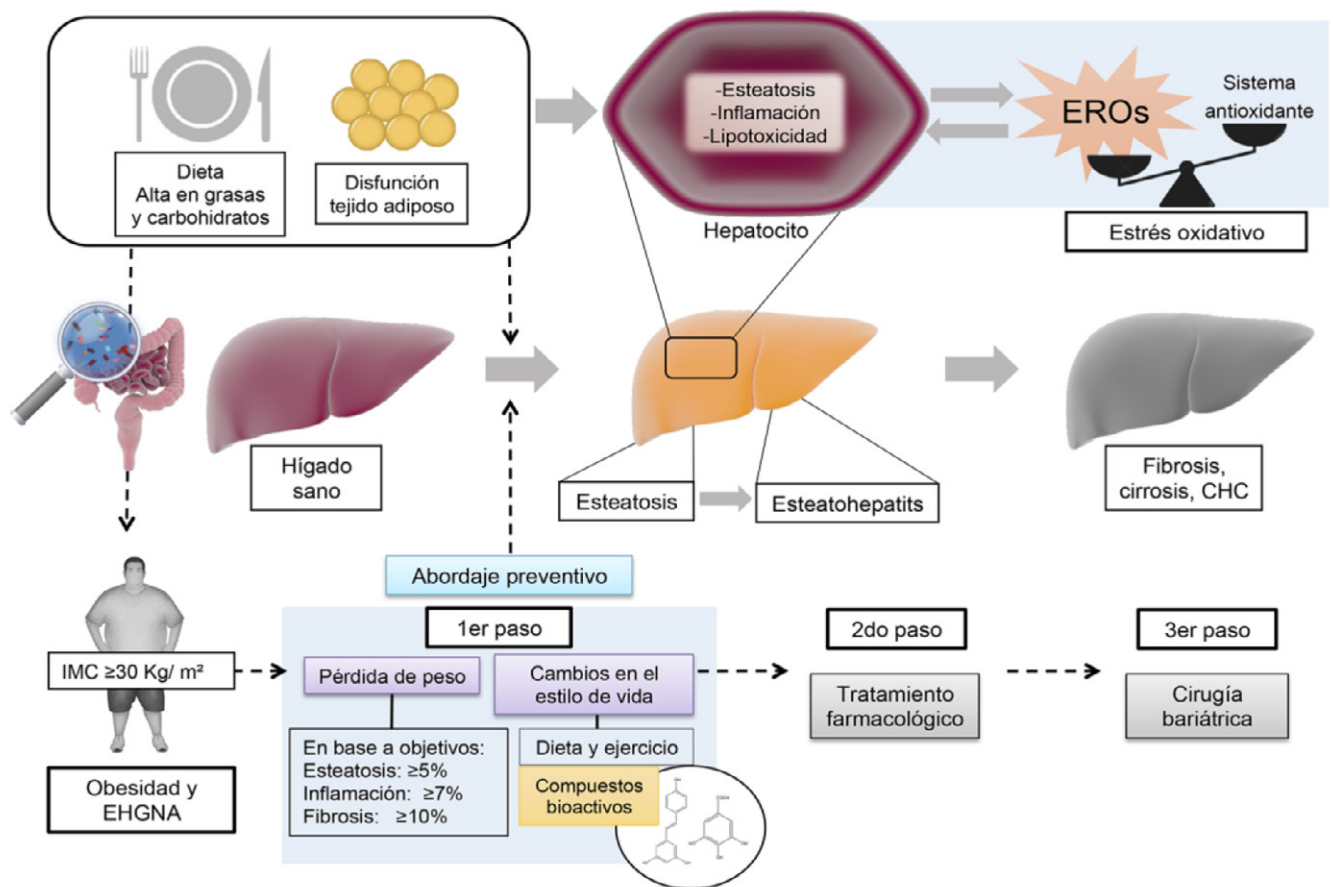


Figura 1. Fisiopatología y tratamiento de la enfermedad por hígado graso no alcohólico (EHGNA).

Tabla 1. Algunos compuestos bioactivos y efectos benéficos reportados en afectaciones hepáticas no alcohólicas.

Compuesto	Modelo	Dosis/ Vía de administración	Efectos	Referencia
Quercetina	Línea celular de hepatocitos (AML12)	Incubación, 10 μ M/12 h	Inducción de lipofagia; activación de la señalización de AMPK.	[24]
Ácido gálico	Células estrelladas hepáticas (HSCs)	GA (0–300 μ g/mL)	Actividades antifibróticas.	[25]
Ácido ferúlico	Ratón inducido con DAG	30 mg/kg/ día, v.o.	↓ peso corporal. ↓ CT, TG, C-LDL y AST en suero. ↓ depósito de TG y CT hepáticos. ↓ inflamación lobular, esteatosis y balonización hepatocelular. ↓ expresión de mRNA de FASN y SREBP-1c.	[19]
Epigallocatequina galato (EGG)	Ratones C57BL/6J	DAG adicionada con 0.3% de EGG, v.o.	↓ peso corporal y tejido graso. ↓ esteatosis, balonización hepatocelular, infiltrados y actividad de esteatohepatitis no alcohólica. ↓ translocación de endotoxinas derivadas del intestino y la respuesta inflamatorias hepáticas vía TLR4/NF κ B. ↓ MDA y TG hepáticos ↓ resistencia a la insulina, ALT y endotoxina sérica	[26]
Extracto de té verde (30% catequina)	Ratones inducidos con DAG	2% extracto de té verde v.o. / 8 semanas	↓ masa corporal y adiposidad. ↓ fosforilación de la subunidad p65 de NF κ B, genes proinflamatorios (TNF α , iNOS, MCP-1, MPO)	[27]
Ácido cafeico	Ratones C57BL / 6J inducidos con DAG	0.08% o 0.16% de ácido cafeico en la dieta	Actividad antiinflamatoria y prebiótica. ↓ acumulación de lípidos en hígado, endotoxemia y la inflamación. Atenua la disbiosis de la microbiota intestinal Revirtió el desequilibrio en la microbiota intestinal inducido por la DAG	[28]
Vitaminas E y C	Estudio trasversal (789 personas)	Vit E <5.45 y $\geq$ 5.45 mg/1000 kcal; vit C <91 y $\geq$ 91.4 mg/1000 Kcal	Vit E: ↓ probabilidad de EHNA, sin asociación con EHNA o fibrosis ↓ TG, ALT, AST, glucosa, HbA1C (%) y diabetes tipo 2 (%) Vit E y C: ↓ GGT, PCR, y puntaje en la prueba de esteatosis	[29]
Catequina	Pacientes con esteatohepatitis no alcohólica (n=38)	600 mg de catequinas de té verde /día/ 6 meses v.o.	↓ IMC, lípidos séricos, glucosa en suero, ALT, AST y hs-PCR Mejoría en la relación grasa visceral/grasa subcutánea y la relación hígado/ bazo	[30]

Dieta alta en grasa (DAG); vía oral (v.o.); colesterol total (CT); triacilglicerol (TG); aspartato aminotransferasa (AST); alanina aminotransferasa (ALT); Gamma-glutamyl-transferasa (GGT); lipoproteína de baja densidad (C-LDL); ácido graso sintasa (FASN); proteína de unión al

elemento regulador de esteroides 1c (SREBP-1c); malondialdehído (MDA); proteína quinasa activada por AMP (AMPK); Proteína C reactiva (PCR); hemoglobina glicosilada (HbA1c); factor nuclear kappa-B (NF- κ B); esteatohepatitis no alcohólica (EHNA); PCR de alta sensibilidad (hs-PCR);



receptor 4 tipo Toll (TLR4); ARN mensajero (mARN); Factor de necrosis tumoral- α (TNF α); óxido nítrico inducible sintasa (iNOS); proteína quimioatrayente monocito-1 (MCP-1); mieloperoxidasa (MPO).

Agradecimientos

Los autores agradecen a PRODEP-UABC por el apoyo derivado del proyecto PRODEP UABC-PTC-928.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. C. Chooi, C. Ding, and F. Magkos, "The epidemiology of obesity," *Metabolism*, vol. 92, pp. 6–10, Mar. 2019.
- [2] NCD Risk Factor Collaboration, "Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants," *Lancet*, vol. 387, no. 10026, pp. 1377–1396, Apr. 2016.
- [3] R.-D. J. Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, GaonaPineda EB, Lazcano-Ponce E, Martínez-Barnetche J, Alpuche-Arana C, "Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados nacionales," Cuernavaca, México, 2021. [Online]. Available: <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2020/doctos/informes/ensanutCovid19ResultadosNacionales.pdf>.
- [4] NCD Countdown 2030 collaborators, "NCD Countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4," *Lancet* (London, England), vol. 392, no. 10152, pp. 1072–1088, 2018.
- [5] M. Aceves-Martins, E. Llauroadó, L. Tarro, R. Solà, and M. Giralt, "Obesity-promoting factors in Mexican children and adolescents: challenges and opportunities," *Glob. Health Action*, vol. 9, p. 29625, 2016.
- [6] N. Chalasani et al., "The diagnosis and management of nonalcoholic fatty liver disease: Practice guidance from the American Association for the Study of Liver Diseases," *Hepatology*, vol. 67, no. 1, pp. 328–357, 2018.
- [7] Z. Younossi et al., "Global Perspectives on Nonalcoholic Fatty Liver Disease and Nonalcoholic Steatohepatitis," *Hepatology*, vol. 69, no. 6, pp. 2672–2682, 2019.
- [8] M. M. Betancourt-García, A. Argüelles, J. Montes, A. Hernández, M. Singh, and R. A. Forse, "Pediatric Nonalcoholic Fatty Liver Disease: the Rise of a Lethal Disease Among Mexican American Hispanic Children," *Obes. Surg.*, vol. 27, no. 1, pp. 236–244, Jan. 2017.
- [9] T. Arshad, J. M. Paik, R. Biswas, S. A. Alqahtani, L. Henry, and Z. M. Younossi, "Nonalcoholic Fatty Liver Disease Prevalence Trends Among Adolescents and Young Adults in the 2007–2016," *Hepatol. Commun.*, vol. 5, no. 10, pp. 1676–1688, Oct. 2021.
- [10] H. Hagström et al., "Adverse outcomes of pregnancy in women with non-alcoholic fatty liver disease," *Liver Int.*, vol. 36, no. 2, pp. 268–74, Feb. 2016.
- [11] S. A. Alqahtani and J. M. Schattenberg, "NAFLD in the Elderly," *Clin. Interv. Aging*, vol. 16, pp. 1633–1649, Sep. 2021.
- [12] E. Buzzetti, M. Pinzani, and E. A. Tsochatzis, "The multiple-hit pathogenesis of non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD)," *Metabolism*, vol. 65, no. 8, pp. 1038–48, Aug. 2016.
- [13] D. E. Kleiner et al., "Association of Histologic Disease Activity With Progression of Nonalcoholic Fatty Liver Disease," *JAMA Netw. Open*, vol. 2, no. 10, p. e1912565, Oct. 2019.
- [14] A. Visekruna and M. Luu, "The Role of Short-Chain Fatty Acids and Bile Acids in Intestinal and Liver Function, Inflammation, and Carcinogenesis," *Front. Cell Dev. Biol.*, vol. 9, Jul. 2021.
- [15] C. Rives et al., "Oxidative Stress in NAFLD: Role of Nutrients and Food Contaminants," *Biomolecules*, vol. 10, no. 12, p. 1702, Dec. 2020.
- [16] R. E. Patterson et al., "Lipotoxicity in steatohepatitis occurs despite an increase in tricarboxylic acid cycle activity," *Am. J. Physiol. Metab.*, vol. 310, no. 7, pp. E484–E494, Apr. 2016.



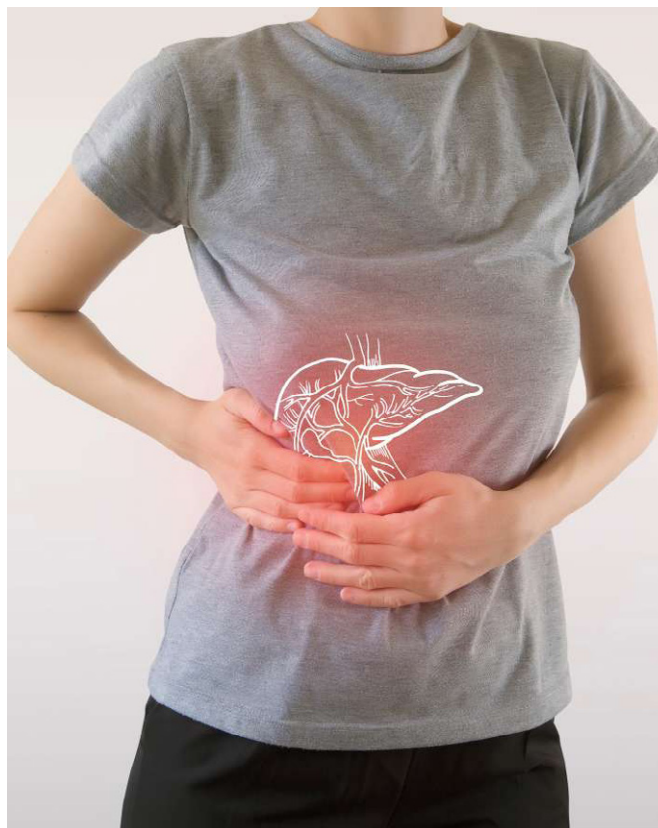
- [17] W. T. Garvey et al., "American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology Comprehensive Clinical Practice Guidelines Formedical Care of Patients with Obesity," *Endocr. Pract.*, vol. 22, pp. 1–203, Jul. 2016.
- [18] A. Villani, J. Sultana, J. Doecke, and E. Mantzioris, "Differences in the interpretation of a modernized Mediterranean diet prescribed in intervention studies for the management of type 2 diabetes: how closely does this align with a traditional Mediterranean diet?," *Eur. J. Nutr.*, vol. 58, no. 4, pp. 1369–1380, Jun. 2019.
- [19] Y. Ma, K. Chen, L. Lv, S. Wu, and Z. Guo, "Ferulic acid ameliorates nonalcoholic fatty liver disease and modulates the gut microbiota composition in high-fat diet fed ApoE^{-/-} mice," *Biomed. Pharmacother.*, vol. 113, p. 108753, May 2019.
- [20] R. Bernal-Reyes et al., "Consenso mexicano de la enfermedad por hígado graso no alcohólico," *Rev. Gastroenterol. México*, vol. 84, no. 1, pp. 69–99, Jan. 2019.
- [21] S. González, "Dietary Bioactive Compounds and Human Health and Disease," *Nutrients*, vol. 12, no. 2, p. 348, Jan. 2020.
- [22] Bo' et al., "Systematic Review on Polyphenol Intake and Health Outcomes: Is there Sufficient Evidence to Define a Health-Promoting Polyphenol-Rich Dietary Pattern?," *Nutrients*, vol. 11, no. 6, p. 1355, Jun. 2019.
- [23] M. Świdarska, M. Maciejczyk, A. Zalewska, J. Pogorzelska, R. Flisiak, and A. Chabowski, "Oxidative stress biomarkers in the serum and plasma of patients with non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD). Can plasma AGE be a marker of NAFLD? Oxidative stress biomarkers in NAFLD patients," *Free Radic. Res.*, vol. 53, no. 8, pp. 841–850, Aug. 2019.
- [24] M. Fukaya, Y. Sato, S. Kondo, S. Adachi, F. Yoshizawa, and Y. Sato, "Quercetin enhances fatty acid β -oxidation by inducing lipophagy in AML12 hepatocytes," *Heliyon*, vol. 7, no. 6, p. e07324, Jun. 2021.
- [25] N. M. El-Lakkany et al., "Antifibrotic effects of gallic acid on hepatic stellate cells: In vitro and in vivo mechanistic study," *J. Tradit. Complement. Med.*, vol. 9, no. 1, pp. 45–53, Jan. 2019.
- [26] P. Dey, B. D. Olmstead, G. Y. Sasaki, Y. Vodovotz, Z. Yu, and R. S. Bruno, "Epigallocatechin gallate but not catechin prevents nonalcoholic steatohepatitis in mice similar to green tea extract while differentially affecting the gut microbiota," *J. Nutr. Biochem.*, vol. 84, p. 108455, Oct. 2020.
- [27] J. Li et al., "Green tea extract protects against hepatic NF κ B activation along the gut-liver axis in diet-induced obese mice with nonalcoholic steatohepatitis by reducing endotoxin and TLR4/MyD88 signaling," *J. Nutr. Biochem.*, vol. 53, pp. 58–65, Mar. 2018.
- [28] H.-N. Mu et al., "Caffeic acid prevents non-alcoholic

fatty liver disease induced by a high-fat diet through gut microbiota modulation in mice," *Food Res. Int.*, vol. 143, p. 110240, May 2021.

- [29] D. Ivancovsky-Wajcman et al., "Dietary vitamin E and C intake is inversely associated with the severity of nonalcoholic fatty liver disease," *Dig. Liver Dis.*, vol. 51, no. 12, pp. 1698–1705, Dec. 2019.
- [30] Y. Fukuzawa, M. P. Kapoor, K. Yamasaki, T. Okubo, Y. Hotta, and L. R. Juneja, "Effects of green tea catechins on nonalcoholic steatohepatitis (NASH) patients," *J. Funct. Foods*, vol. 9, pp. 48–59, Jul. 2014.
- [31] U. Hayat, A. A. Siddiqui, H. Okut, S. Afroz, S. Tasleem, and A. Haris, "The effect of coffee consumption on the non-alcoholic fatty liver disease and liver fibrosis: A meta-analysis of 11 epidemiological studies," *Ann. Hepatol.*, vol. 20, p. 100254, Jan. 2021.
- [32] S. Rafiee, H. Mohammadi, A. Ghavami, E. Sadeghi, Z. Safari, and G. Askari, "Efficacy of resveratrol supplementation in patients with nonalcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis of clinical trials," *Complement. Ther. Clin. Pract.*, vol. 42, p. 101281, Feb. 2021.
- [33] M. Mazidi, N. Katsiki, and M. Banach, "A higher flavonoid intake is associated with less likelihood of nonalcoholic fatty liver disease: results from a multiethnic study," *J. Nutr. Biochem.*, vol. 65, pp. 66–71, Mar. 2019.

Cómo citar este artículo:

LÓPEZ-ALMADA, G., DOMÍNGUEZ-AVILA, J. A., GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A., MEJÍA-LEÓN, M. E., & SALAZAR-LÓPEZ, N. J. (2022). ABORDAJE PREVENTIVO EN LA ENFERMEDAD POR HÍGADO GRASO NO ALCOHÓLICO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.185>



Alternativas de recuperación para los aceites lubricantes usados

Recovery Alternatives for Used Lubricating Oils

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Lucía Araceli Manzanarez-Jiménez ¹

Recibido: 10 / 02 / 2022

Aceptado: 04 / 05 / 2022

Publicado: 16 / 06 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.222>

Autor de Correspondencia:

Lucía Araceli Manzanarez-Jimenez

Correo: ingenieria_kaizen@hotmail.com

Resumen

El aceite lubricante usado generado por vehículos automotores y procesos industriales es un recurso valioso, tanto en su forma original como en su forma residual, por esta razón se identificaron algunos métodos para su recuperación basados en su ciclo de vida, como alternativas para su gestión mediante esquemas de manejo que consideran aspectos tecnológicos y de tratamiento, para la recuperación del material-base y su posible reintegración a los procesos productivos como combustible alternativo o como aceite base, contribuyendo de esta manera a lograr un manejo sustentable de este material-residuo, evitando así posibles fuentes de contaminación ambiental y riesgos a la salud humana.

Palabras clave: aceite lubricante usado, alternativas de recuperación, procesos productivos.

Abstract

Used lubricating oil is a valuable resource, in its original and residual form, for this reason some methods for its recovery based on its life cycle were identified as alternatives for its management through management schemes that consider technological and treatment aspects, for the recovery of the base material and its possible reintegration into the production processes as alternative fuel or as base oil, thus contributing to achieving sustainable management of this waste material, avoiding thus possible sources of environmental contamination and risks to human health.

Keywords: used lubricating oil, recovery alternatives, production processes.

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Sinaloa, Departamento de Biotecnología. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joaquín Guasave, Sinaloa, México. ingenieria_kaizen@hotmail.com. Orcid. <https://orcid.org/0000-0001-73952836>

INTRODUCCIÓN

Los aceites lubricantes son productos formulados de origen mineral o sintético, se utilizan para reducir la fricción y la abrasión entre los componentes metálicos de un sistema de lubricación de combustión interna, también reducen el ruido durante la operación de la máquina y mantienen la temperatura interna del sistema [1]. Este trabajo se enfoca en los aceites lubricantes base mineral obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo (80-90 %), compuestos por 44 % de alcanos de cadena lineal y de cadena ramificada, 29 % de cicloalcanos, 26.2 % de aromáticos y 3.2 % de naftaleno, y aditivos (20-10%), como inhibidores de corrosión y herrumbre, antioxidantes, emulsionantes, detergentes y dispersantes, estabilizadores de viscosidad y color, y aditivos antidesgaste [2]. El término “aceite usado” se relaciona con los aceites lubricantes usados que se generan a partir de vehículos automotores y maquinarias utilizadas en procesos industriales. Los aceites lubricantes son el tercer producto mayormente comercializado a nivel mundial, representan el 3.82% del valor total del comercio mundial, siendo sus principales exportadores Arabia Saudita, Rusia, Estados Unidos, Canadá, e Irak con \$95.7 \$74.4 \$52.3, \$47.2, y \$45.2 MM, respectivamente y sus principales importadores son China, Estados Unidos, India, Corea del Sur, y Japón, quienes aportan una derrama económica de \$150, \$75.1, \$59, \$42.2, y \$38 MM, respectivamente [3]. A nivel mundial se estima que durante cada año se consumen de 30 a 40 millones de ton de lubricantes, de los cuales 20 millones de ton son desechadas sin tratamiento al medio ambiente, de estos más del 95% son de origen mineral con potencial de reciclado [4]. Por esta razón, los

aceites lubricantes son un recurso valioso, tanto en su forma original como en su forma residual, debido a su alto valor económico y a su potencial de reciclado como material residual-recuperado, mediante tratamientos físicos y químicos, para su restitución a las cadenas productivas [5].

Los aceites usados contienen residuos de metales pesados como magnesio (Mg), hierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb), calcio (Ca), cromo (Cr) y aluminio (Al), además de agua, carbón, cenizas y otros materiales que se forman por oxidación y contaminación durante el proceso de combustión en el sistema de lubricación [6]. La diseminación de aceite usado en mantos de agua reduce el intercambio de oxígeno y causa su degradación, al respecto, se estima que 3.5 L de aceite usado pueden alterar el sabor de 3.800 millones de agua potable y la presencia de 50 a 100 ppm en aguas residuales, limitan su recuperación como agua tratada [7]. El análisis del ciclo de los aceites lubricantes es importante, ya que a partir de su fin de vida útil como lubricante se puede recolectar y transportarlo a un centro de recuperación para eliminar los contaminantes y reintegrarlo a los procesos productivos y reducir o eliminar su efecto negativo en el medio ambiente (Figura 1).

El fin de vida útil del aceite lubricante, transforma el producto en aceite usado debido a un proceso de degradación durante su uso, el material residual es altamente persistente y debido a esta característica es ideal para reciclarlo y evitar que se acumule en suministros de agua subterránea [8]. Al respecto, se ha informado que 3.8 L de aceite usado, tienen un valor aproximado de 8000 kj, que pueden ser utilizados para mantener encendida una fuente de luz de 100-W durante 24 h o proporcionar energía



para un generador eléctrico de 1000-W durante 2 h [9]. También se ha informado que se requiere 1.6 L de aceite usado para generar 1 L de aceite de motor, mientras que para producir el mismo volumen de aceite de motor se necesitan 67 L de petróleo, también se menciona que de 3.8 kg de aceite usado se pueden producir 2.3 kg de aceite base [10]. El conocimiento y manejo adecuado del residuo de aceite usado es importante, debido al volumen generado y al valor energético, por lo que tiene un alto potencial para ser reintegrado a los procesos productivos, dados los beneficios económicos y ambientales obtenidos mediante su recuperación [11].

En este trabajo se presentan los métodos de reprocesamiento, re-refinación y destrucción del aceite usado, como alternativas para su reintegración a los procesos productivos y manejo ambiental seguro, basados en su ciclo de vida. El reprocesamiento de aceite usado elimina los contaminantes insolubles y los productos de oxidación de los aceites usados mediante calentamiento, sedimentación, filtración y deshidratación, para obtener combustibles alternos, mientras que la re-refinación regenera aceites base a partir de aceites usados como resultado de procesos que eliminan contaminantes, productos de oxidación y aditivos, a base de tratamientos con ácidos, disolventes, arcillas e hidrotratamiento [12], [13], [14].

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue presentar alternativas de recuperación del aceite lubricante usado para reintegrarlo a las cadenas productivas, a partir de las etapas del ciclo de vida del aceite lubricante.

Método de trabajo

Este trabajo de análisis descriptivo presenta información de algunas alternativas de manejo para los aceites usados generados por vehículos automotores y núcleos industriales. La información se obtuvo de fuentes técnicas especializadas y de bases de datos oficiales de algunos países, donde se ha trabajado con métodos de recuperación para aceites usados.



Re-procesamiento

El método de re-procesamiento emplea tratamientos de sedimentación, deshidratación, evaporación y filtración para eliminar los contaminantes básicos en los aceites usados. El aceite reciclado se filtra para retirar sólidos gruesos, lodos y partículas de metal, los cuales pueden representar un riesgo ambiental o problemas operacionales durante su uso. El uso de arcillas mezcladas con ácido/arcilla, destilación/arcilla, y carbón activado/arcilla ayuda a reducir o retirar de manera más eficiente los sedimentos residuales [12], [13], [14], [28]. El proceso inicia con el transporte del residuo de aceite usado al centro de tratamiento, donde se colocado en tanques de almacenamiento para que por medios de gravitación y calor natural se sedimenten los sólidos pesados y se evapore el contenido de agua; después se filtra por medio de un colador de malla para eliminar partículas grandes de sedimentos que aún permanecen en el aceite, enseguida el material se somete a un proceso de deshidratación por medio de una fuente de calor externa, con el objetivo de retirar el contenido total de agua en el aceite usado [12], [13], [14]. [20], [27]. Para mejorar la limpieza de contaminantes se utiliza el tratamiento con ácido/arcilla a base de ácido sulfúrico para separar los aditivos y otros componentes, los lodos sedimentados por el efecto del ácido se separan del aceite y se agrega algún tipo de arcilla (silicato de aluminio) para separar las grasa y ácidos orgánicos y se le aplica un nuevo proceso de filtrado [16], [28]. El tratamiento de destilación al vacío se realiza cuando se necesita de un aceite de mayor calidad (Figura 2). Los aceites obtenidos por este método se utilizan en aplicaciones industriales, el producto más común es combustible alternativo para centrales térmicas y cementeras (Fuelóleo nº2) y procesos industriales (Fuelóleo nº1) [12], [13], [14].

Re-refinación

El método de re-refinación implica tratamiento químico para reducir o eliminar las sustancias tóxicas que vienen mezcladas con el aceite usado. El proceso inicia con la sedimentación del material y luego se aplica un proceso



de deshidratación para evaporar el agua y los hidrocarburos ligeros [12], [13], [14]. Posteriormente se mide la concentración de tóxicos, sedimentos y otras sustancias, si el material no pasa la prueba se destina para su uso como combustible alterno [13], [13]. Si el material es factible de recuperación se trata con ácido/arcilla para separar las grasas, ácidos orgánicos y otros compuestos contaminantes, posteriormente se somete a destilación al vacío para segregar sustancias tóxicas y mejorar la pureza del aceite [26], [28], [29]. El destilado se hidropurifica a alta temperatura y presión en presencia de lecho catalítico, este proceso elimina nitrógeno, azufre, cloro y componentes orgánicos oxigenados [13], [26], (Figura 3). Los aceites obtenidos por este método se emplean para producir nuevos lubricantes. Los residuos resultantes de los distintos procesos se emplean para producir asfalto de carretera, destilados medios para combustión o energía alternativa en procesos industriales [12], [13], [14], [26].

Destrucción

Este método es adecuado para los aceites usados con alto volumen de contaminantes, particularmente con bifenilos (BPCs) y terfenilos policlorados (PCTs) [14], [15], [16]. En ausencia de incineradores de residuos peligrosos, se recomienda la incineración controlada en fábricas de

cemento bajo condiciones económicas, técnicas y ambientales adecuadas [5], [12], [13], [29]. La incineración de aceites usados altamente contaminados tiene por objeto reducir del volumen y la peligrosidad de los contaminantes, destruyendo los compuestos orgánicos mediante la combustión a altas temperaturas [12], [13], [14], [17]. Existen dos tipos de incineradores: de inyección líquida y hornos rotatorios, ambos deben cumplir con subsistemas de preparación y alimentación de residuos, cámaras de combustión, tratamiento de emisiones gaseosas y gestión de residuos sólidos y efluentes. Las cenizas, los líquidos y lodos residuales se disponen en rellenos de seguridad [5], [18], [19].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los métodos para la recuperación de aceites lubricantes, tanto a su forma original, así como combustibles alternos se desarrollan de acuerdo con una gestión económica, técnica y social sustentable, debido a que generan nuevos flujos de residuos que deberán ser gestionados de manera segura [5], [8], [12], [18], [15], [20]. En la figura 4 se puede apreciar que todos los procesos que integran el ciclo de vida de un aceite lubricante tienen salidas de nuevos residuos, por esta razón es importante establecer el método de eliminación o confinamiento de estos, para evita descargas al medio ambiente. Al respecto se recomienda como primera opción conservar las propiedades originales del material, mediante el método de re-refinado



en refinerías de petróleo o refinerías autónomas, dedicadas especialmente a la recuperación de aceites usados, la segunda opción es reprocesar el material en instalaciones con infraestructura básica, para emplearlo en procesos industriales con el objetivo de recuperar el material como combustible de reutilización directa, y la tercera opción indica la incineración del material en procesos industriales, confinando los flujos de residuos resultantes en lugares ambientalmente seguros [5], [18], [19], [21].

En el esquema de la figura 4 se aprecia que los aceites lubricantes base de mineral, se producen a partir de petróleo crudo, mismo que es un recurso finito de alto valor energético con potencial para ser reciclado y es altamente persistente, por lo tanto, es relevante aplicar una gestión que beneficie al medio ambiente y la industria de los aceites [1], [11], [25], [29]. En el esquema también se observa que la alternativa de re-refinado de aceite usado facilita la regeneración de aceite base para la producción de nuevos aceites lubricantes y se reduce el consumo de materia prima y el impacto negativo de los residuos de aceite usado al medio ambiente [8], [12], [18], [22]. A nivel mundial se estima que solo se pueden regenerar entre el 60 % y el 65 % de los aceites usados, además, la operación para una tecnología de re-refinado requiere un costo elevado y es sensible a las economías de escala, además [23]. Por otra parte, el método de reprocesamiento de aceite usado tiene mayor viabilidad económica, debido a que puede operar con tecnología de bajo costo, a través



de tecnologías sustentables, ya que utiliza como fuente de energía mecanismos de gravedad para la sedimentación y separación de sólidos gruesos, calor natural para la deshidratación de residuos de agua mediante tanques de almacenaje y mallas de bajo costo para la filtración de sólidos de tamaño mediano y remanentes de sólidos gruesos en el residuo, y en algunos casos utiliza tratamientos con arcillas, las cuales tienen un bajo costo de inversión y son altamente efectivos para separar grasa, ácidos orgánicos y otros aditivos presente en el aceite usado [12], [13], [28]. Esta tecnología facilita la viabilidad económica en esta alternativa de recuperación y con su aplicación se obtiene aceite reducido en contaminantes que sirve como combustible alternativo para su uso en procesos industriales, fábricas de cemento y centrales térmicas, que requieren menor pureza del aceite [12], [18], [29]. No obstante, también se generan nuevos flujos de efluentes contaminantes y no se reduce la producción de aceites vírgenes y el consumo de materia prima.

Para la implementación de las alternativas presentadas en este trabajo, es importante analizar el volumen de aceite reciclado, su contenido de contaminantes y la gestión adecuada de los nuevos residuos, así como evaluar la inversión en tecnología e infraestructura para justificar la relación costo-beneficio de los recursos invertidos en la recuperación del aceite usado [12], [15], [19]. En importante mencionar que un alto volumen de contaminantes en el aceite usado y un bajo volumen de recolección podrían superar los costos de recuperación y en el caso dado que esto resulte inviable, la opción indicado es la destrucción del residuo





mediante hornos de incineración controlada por la normatividad ambiental vigente de manejo de los aceites usados [18], [14], [15]. Esto concuerda con algunas de las medidas implementadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para los aceites usados, quien no clasifica el aceite usado como un residuo peligroso, sin embargo, los estados California, Rhode Island y Massachusetts, aplican una gestión normativa al manejo de los residuos de aceite usado [12], [13]. En México la NOM-052 no clasifica el aceite usado como residuo peligro, sin embargo, los lodos y líquidos resultantes de procesos industriales que utilizan aceites lubricantes son sujetos de tratamiento y disposición normativa en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPIR, 2015) [11]. En México el aceite usado se maneja como un residuo doméstico, algunos usuarios lo utilizan para el control de plagas en animales y madera, formado de caminos de terracería y como combustible alterno para la fabricación de insumos para la construcción [1], [11]. A nivel mundial países como Alemania, Bélgica, Dinamarca, Francia, Portugal, Finlandia, Italia, Reino Unido, Estados Unidos y Canadá, han implementado planes de manejo de aceite usado, que logran recolectar entre el 43.9 % y 50 % y de esto se obtie-

nen entre un 67 % hasta 84 % de aceite recuperado para fabricación de combustible y nuevos aceites lubricantes [11]. En países de América del Sur como Argentina, Brasil, Colombia y Chile tienen normativas para regularizar el uso y disposición final de los aceites usados, sin embargo, la información respecto de la recuperación de aceites usados se estima en base a la producción de lubricantes [3], [11].

Los planes de manejo facilitan la recolección de residuos y de los materiales contaminantes a través de la responsabilidad compartida en el ciclo de vida de los aceites lubricantes [11]. Su diseño e implementación reducen los costos para la operación de las alternativas de recuperación porque a través de la operación del plan de manejo integrado al ciclo de vida de los aceites lubricantes se reduce el volumen de contaminantes en el residuo y los residuos resultantes en el proceso de recuperación [1], [11].

CONCLUSIÓN

La elección de una alternativa de recuperación de aceite usado debe realizarse en función de estudios de inversión de tecnología e infraestructura, costos de recuperación y el beneficio social y ambiental, al igual que el volumen de aceite usado recolectado, el contenido de contaminantes y la disposición final de los residuos generados durante los procesos de recuperación.

El reciclado, la recuperación y la reintegración de los aceites usados a las cadenas productivas se puede realizar a través de diseño de un plan de un manejo. El análisis del ciclo de vida del aceite lubricante es la base para el desarrollo del plan de manejo porque integra los diferentes procesos durante su vida útil y permite obtener la relación costo-beneficio en función de la alternativa de recuperación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L.A. Manzanarez-Jiménez, «Modelo para reciclado de aceite lubricante usado basado en la NAV-ALU y técnicas de manufactura esbelta,» Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación, vol. 3, nº 2, pp. 11-24, 2017.
- [2] EPA, «Managing, Reusing, and Recycling Used Oil» 12 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/recycle/managing-reusing-and-recycling-used-oil>. [Último acceso:



- 15 noviembre 2021].
- [3] OEC, «Aceites crudos de petróleo o de mineral butiminoso» 2 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://pro.oec.world/es/profile/hs92/crude-petroleum>. [Último acceso: 22 marzo 2022].
 - [4] A. Z. Syahir, N. W. W. Zulkifli, H. .. Masjuki, M. A. Kalam, A. Alabdulkarem, M. Gulzar, L. S. Khuong y M. H. Harith, «A review on bio-based lubricants and their applications,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 168, n° 1, pp. 997-1016, 2017.
 - [5] G. F. Dalla, O. Khlebinska, A. Ladoloy y S. Miertus, «Compendium of used oil regeneration technologies, International Centre for Science and High Technology,» 6 enero 2003. [En línea]. Available: www.unido.org. [Último acceso: febrero 2022].
 - [6] A. Wolak, G. Zając y W. Gołębiowski, «. Determination of the content of metals in used lubricating oils using AAS 37, 102 - 93,» *Petroleum Science and Technology*, vol. 37, pp. 93-103, 2019.
 - [7] K. Pramanik, «Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine,» *Renewable Energy*, vol. 28, n° 2, pp. 239-248, 2003.
 - [8] T. F. Guerin, «Environmental liability and life-cycle management of used lubricating oils,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 160, n° 2-3, pp. 256-264, 2008.
 - [9] Z. Pawlak, W. Urbaniak, T. Kaldonsky y M. Styp-Rekowski, «Energy conservation through recycling of used oil,» *Ecological Engineering*, vol. 36, n° 12, pp. 1761-1764, 2010.
 - [10] A. Sinağ, S. Gülbay, B. Uskan, S. Uçar y S. BilgeÖzgürle, «Production and characterization of pyrolytic oils by pyrolysis of waste machinery oil,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 173, n° 1-3, pp. 420-426, 2010.
 - [11] L.A. Manzanarez-Jiménez, *Manejo de aceite lubricante usado en motores de combustión interna en el municipio de Ahome, Sinaloa, Ciudad de México: Tesis de Maestría del Instituto Politécnico Nacional*, 2016.
 - [12] R. Geyer, B. Kuczenski, A. Henderson y T. Zink, «Life Cycle Assessment of Used Oil Management in California Pursuant to Senate Bill 546 (Lowenthal),» 2013. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/260338228_Life_Cycle_Assessment_of_Used_Oil_Management_in_California_Pursuant_to_Senate_Bill_546_Lowenthal. [Último acceso: 17 noviembre 2021].
 - [13] S. Kannan, K. Mohan, S. M. Hussain, P. M. Deepa y S. K, «Studies on reuse of re-refined used automotive lubricating oil,» *Research Journal of Engineering Sciences*, vol. 3, n° 6, pp. 8-14, 2014.
 - [14] E. Granados-Hernández, Bravo-Álvarez, H. X. López-Andrade y R. Sosa-Echeverría, «Petroleum Refining and its Economic and Technological Impact,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XIV, n° 4, pp. 475-487, 2013.
 - [15] B. Boughton y A. Horvath, «Environmental assessment of used oil management methods,» *Environmental science & technology*, vol. 38, n° 2, pp. 353-358, 2004.
 - [16] H. Nixon y J.-D. Shapores, «Used oil policies to protect the environment: an overview of Canadian experiences,» 2003. [En línea]. [Último acceso: 6 noviembre 2021].
 - [17] C. Seyler, T. B. Hofstetter y K. Hungerbühler, «Life cycle inventory for thermal treatment of waste solvent from chemical industry: a multi-input allocation model,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, n° 13-14, pp. 1211-1224, 2005.
 - [18] K. Chari, «United Nations Environment Programme,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.unep.org/resources/report/compendium-recycling-and-destruction-technologies-waste-oils>. [Último acceso: 15 octubre 2021].
 - [19] W. Forester, «Technical guidelines on used oil re-refining of other re-uses of previously used oil,» 2002. [En línea]. Available: www.basel.int › Portals › 4. [Último acceso: octubre 17 2021].
 - [20] T. Swarr, D. Hunkeler, W. Klöpffer, H. Pesonen, A. Ciroth, A. Brent y R. Pagan, «Environmental life-cycle costing: a code of practice,» *Int J Life Cycle Assess*, vol. 16, pp. 389-391, 2011.
 - [21] A. A. Durrani, M. I. Panhwar y R. A. Kazi, «Re-refining of waste lubricating oil by solvent extraction,» *Journal of Engineering and Technology*, vol. 30, n° 2, pp. 237-246, 2011.
 - [22] D. Baderna, E. Boriani, F. Giovanna y B. E, «Lubricants and Additives: A Point of View,» de *Global Risk-Based Management of Chemical Additives I. The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 109-132.
 - [23] Y.-L. Hsu y L. Chun-Chu, «Evaluation and selection of regeneration of waste lubricating oil technology,» *Environ Monit Assess*, vol. 212, n° 1-4, pp. 176-197, 2011.
 - [24] M. Fatemeh Amir Aslanzadeh, S. Amin y S. Shiva, «Pilot plant study for management of toxic solid waste collected in landfill,» *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 159, pp. 500-510, 2022.
 - [25] P. Nowak, K. Kucharska y M. Kaminski, «Ecological and Health Effects of Lubricant Oils,» *International Journal Environmental Research Public Health*, vol. 16, n° 16, pp. 1-13, 2019.
 - [26] A. Ewetola E, «Effect of Crude Oil Pollution on some Soil Physical Properties,» *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, vol. 6, n° 3, pp. 14-17, 2013.
 - [27] E. Emam y A. Shoaib, «Re-refining of Used Lube Oil, II-by Solvent/Clay and Acid/Clay-Percolation Processes,» *ARNP Journal Science and Tecnology*, vol. 55, n° 13, pp. 179-187, 2013.
 - [28] S. F. Hamilton y D. L. Sunding, «Optimal recycling policy for used lubricating oil: the case of California's used oil management policy,» *Environ Resource Econ*, vol. 62, n° 1, pp. 3-17, 2015.
 - [29] N. M. Abdel-Jabbar, E. A. Al Zubaidy y M. Mehrvar, «Waste lubricating oil tretment by adsorption process using different adsorbents,» *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, vol. 4, n° 2, pp. 70-73, 2010.
 - [30] Swedish Institute for Standards, «Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - Amendment 1 (ISO 14040:2006/Amd 1:2020),» 2020. [En línea]. Available: <https://maconomyportal.sis>. [Último acceso: 16 octubre 2021].

Cómo citar este artículo:

Manzanarez Jiménez, L. A. (2022). ALTERNATIVAS DE RECUPERACION PARA LOS ACEITES LUBRICANTES USADOS. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.222>



El Pilar: un caso particular en los depósitos de tipo pórfido de cobre en México

El Pilar: A Particular Case in the Porphyry Copper Deposits in Mexico

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Silja Aguilar Austria ¹
Martín Valencia Moreno²

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 03 / 05 / 2022

Publicado: 16 / 05 / 2022

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.200>

Autor de Correspondencia:
Silja Aguilar Austria
Correo: siljaaguilar@gmail.com

Resumen

El Pilar es un yacimiento de tipo pórfido de cobre ubicado en el estado de Sonora, México, a 15 km de la frontera con E.U.A., y 40 km de la ciudad de Cananea, dentro de la zona más favorable del cinturón de pórfidos de cobre del suroeste de Norteamérica. Sus características son relativamente atípicas en comparación con el resto de los depósitos en México, considerando el modelo más aceptado de un pórfido de cobre. El Pilar es un yacimiento de cobre exótico hospedado en gravas del Mioceno, que rellenaron cuencas generadas durante el evento extensional Basin and Range. La mineralización de sulfuros hipogénicos aflora poco y está asociada con una brecha magmática ligada al emplazamiento de un plutón monzonítico fechado por U-Pb en zircones en ~75 Ma. La edad del depósito obtenida por Re-Os en molibdenita es de ~73.9 Ma, y las reservas se estiman en 0.36 Mt de cobre.

Palabras clave: El Pilar, pórfido de cobre, exótico, NW México.

Abstract

El Pilar is a porphyry copper deposit located in the northern part of the state of Sonora, Mexico, at ~15 km from the border with USA, and about (40 km) from the town of Cananea, inside the most favorable part of the porphyry copper belt of the southwestern North America. Its features are relatively atypical when compared with the rest of the deposits in Mexico, considering the most accepted porphyry copper model. The El Pilar is an exotic copper deposit hosted in Miocene gravels, that filled basins generated during the Basin and Range extensional event. The primary sulfide mineralization is poorly exposed and is associated with a magmatic breccia, linked with the emplacement of a monzonitic pluton dated by U-Pb zircon at ~75 Ma. The age of the mineralization was obtained by Re-Os molybdenite dating in ~73.9 Ma, and the estimated resources are of 0.36Mt copper.

Keywords: El Pilar, porphyry copper, exotic, NW Mexico

¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Estación Regional del Noreste, Instituto de Geología, UNAM, México.

² Estación Regional del Noreste, Instituto de Geología, UNAM, México.

INTRODUCCIÓN

La porción noroeste de México es bien conocida por sus yacimientos minerales, particularmente los pórfidos de cobre. Estos yacimientos corresponden a un cinturón alargado en dirección NW-SE, que se extiende por toda la cordillera oeste de Norteamérica, y son especialmente notables en el suroeste de los Estados Unidos y al noroeste de México. Los depósitos más grandes de este tipo ocurren en Arizona, New Mexico y Sonora, donde conforman una de las regiones cupríferas más ricas en el mundo, conocida como el gran clúster de los pórfidos de cobre de Norteamérica (Fig. 1).

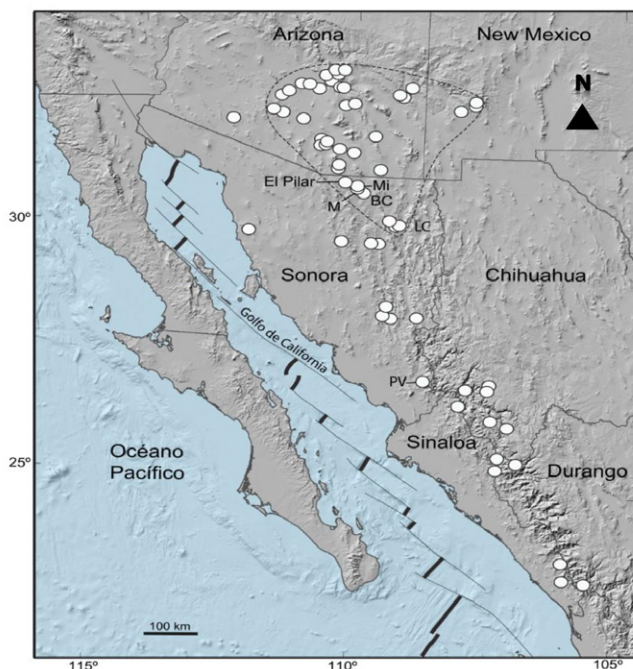


Figura 1. Localización de la porción principal del cinturón de pórfidos de cobre del suroeste de Norteamérica, mostrando los depósitos más importantes (círculos blancos). La línea punteada limita la zona del gran clúster. BC: Buenavista del Cobre; LC: La Caridad; M: María; Mi: Milpillás; PV: Piedras Verdes.

La dirección preferencial del cinturón de pórfidos de cobre es una característica heredada de la posición de la paleotrinchera, asociada al marco tectónico que generó los diferentes arcos magmáticos de la cordillera, que fueron controlados por la subducción de la placa Farallón debajo de Norteamérica. Este proceso tectónico empezó desde el Permo-Triásico [1], pero los principales pulsos de mineralización de cobre ocurrieron entre el Cretácico Tardío y el Eoceno [2].

Los sistemas están controlados en primera instancia por el enfriamiento de grandes plutones emplazados en la región mesozonal de la corteza (~ 8-12 km), los cuales derivaron columnas de magma que ascendieron hasta un nivel muy somero (~1-3 km) [3][4]. Estas columnas constituyen

los conductos para la circulación de los fluidos hidrotermales portadores de la mineralización. Las columnas están representadas por un plutón relativamente pequeño, con un diámetro de ~1-2 km [5], el corresponde al centro termal del sistema entorno al cual los minerales de alteración y de mena se distribuyen formando arreglos concéntricos que definen zonas específicas [6]. Sin embargo, durante las campañas de exploración existen muchas complicaciones que hacen que la reconstrucción del depósito sea mucho más compleja que el modelo tradicional ilustrado en la Figura 2.

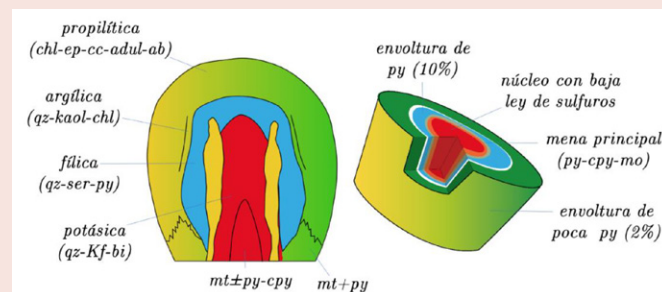


Figura 2. Modelo tradicional de los depósitos tipo pórfido de cobre, mostrando el zonamiento lateral de la alteración (izquierda) y de los minerales de mena (derecha). Chl (clorita), Ep (epidota), cc (calcocita), adul (adularia), ab (albita), qz (cuarzo), kaol (kaolinita), ser (sericita), py (pirita), Kf (feldespato potásico), bi (biotita), cpy (calcopirita), mo (molibdenita) y mt (montmorillonita).

En algunos casos, los sistemas están solo parcialmente preservados, segmentados, rotados e incluso ocultos y detectados por métodos de exploración indirectos o por barrenación. Éste es el caso de El Pilar, donde la mayor parte del sistema original fue erosionado, y el depósito actual está caracterizado por minerales de cobre exótico producto del transporte mecánico y en solución del cobre, el cual fue redepositado en gravas de relleno de cuencas del Mioceno adyacentes.





Características generales de los pórfidos de cobre en Sonora

En Sonora existen distintas localidades de pórfido de cobre documentados, de los cuales, Buenavista del Cobre, La Caridad, Milpillás, María y Piedras Verdes tienen o han tenido actividad extractiva (Fig. 1). De todos ellos Buenavista del Cobre resalta por su tamaño, con ~30 Mt de cobre, el cual lo hace de clase mundial y uno de los principales en la zona del gran clúster.

Claramente la mayor cantidad de cobre se concentra en la región norte-noreste de Sonora, cuya geología está caracterizada por la presencia de un basamento proterozoico asociado al cratón norteamericano. Los depósitos están ligados con el emplazamiento de plutones calcoalcalinos mayormente con una composición entre cuarzodiorita y granito, pero muy comúnmente se asocian a intrusivos cuarzo-feldespáticos. Las rocas hospedantes de la mineralización son generalmente rocas volcánicas de la Formación Henrietta del Jurásico y las Formaciones Mesa y Tarahumara del Cretácico Tardío, las cuales son regionalmente

equivalentes. En la mayoría de los casos, los depósitos han sido segmentados por fallas normales asociadas al evento de fallamiento en bloque Basin and Range durante el Mioceno (Fig. 3).

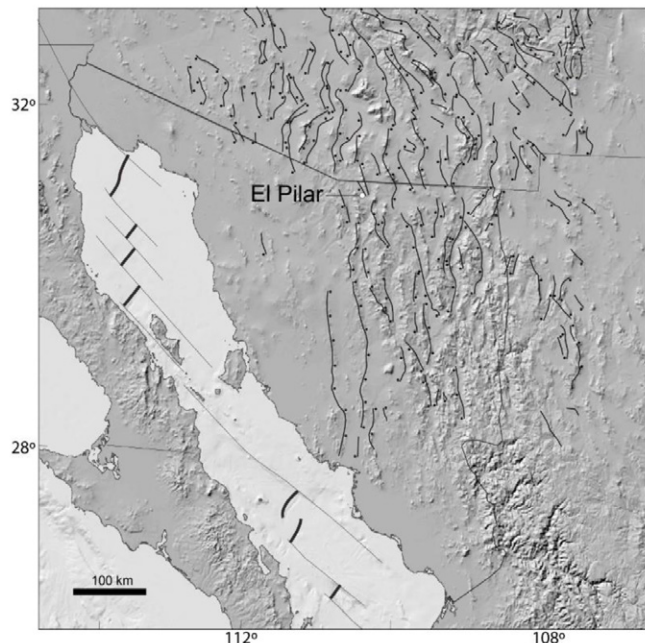


Figura 3. Mapa mostrando las principales estructuras de la provincia extensional Basin and Range en el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos (modificado de [7]).

En la mayoría de los casos, la zona de sulfuros primarios ha sido parcialmente expuesta durante la exhumación asociada con este evento. Posteriormente, debido a la acción prolongada de aguas meteóricas, la zona de sulfuros





es generalmente alterada y el cobre removilizado y re-precipitado en horizontes más profundos formando importantes zonas de enriquecimiento secundario, las cuales constituyen un objetivo importante en las campañas de exploración de este tipo de yacimientos. Hacia la parte sur de Sonora, el cinturón magmático se hace más angosto y los depósitos de pórfido de cobre son considerablemente más pequeños, quizás reflejando un cada vez menor involucramiento del basamento proterozoico.

EL PILAR

El Pilar es un prospecto de cobre propiedad de Grupo México, el cual ha pasado ya las pruebas de factibilidad y se encuentra cerca de iniciar operaciones. En 1970, la empresa Cyprus Amax Minerals, adquirió los derechos de El Pilar. Entre 1992 y 1997 es cuando se desarrolló la primera campaña de exploración geológica y geofísica a cargo de la empresa Normex. Posteriormente entre 1998 y el 2003 Normex y Freeport Copper realizaron campañas de barrenación de más de 12,000 metros, cuya información arrojó un volumen estimado de ~162 Mt con una ley de 0.39% Cu. En el 2009, la compañía Stingray realizó un estudio de factibilidad del depósito, reportando 229.7 Mt de mineral con una ley de cobre de 0.31%. En el 2010 Stingray y Mercator Minerals LTD., se integraron como una sola empresa con relación a los derechos sobre El Pilar, y en el año 2015 es cuando Grupo México se convirtió en propietario de esta concesión minera.

Geología

El prospecto El Pilar se ubica al sur de la sierra San Antonio, en una región subyacente por complejos de rocas ígneas y metamórficas proterozoicas correspondientes al cratón de Norteamérica. Las unidades litológicas que conforman esta zona son similares a las que secuencias que afloran en el distrito minero de Cananea (Fig. 4), aunque no se conocen afloramientos de las rocas del basamento proterozoico y de la cubierta de plataforma del Paleozoico.

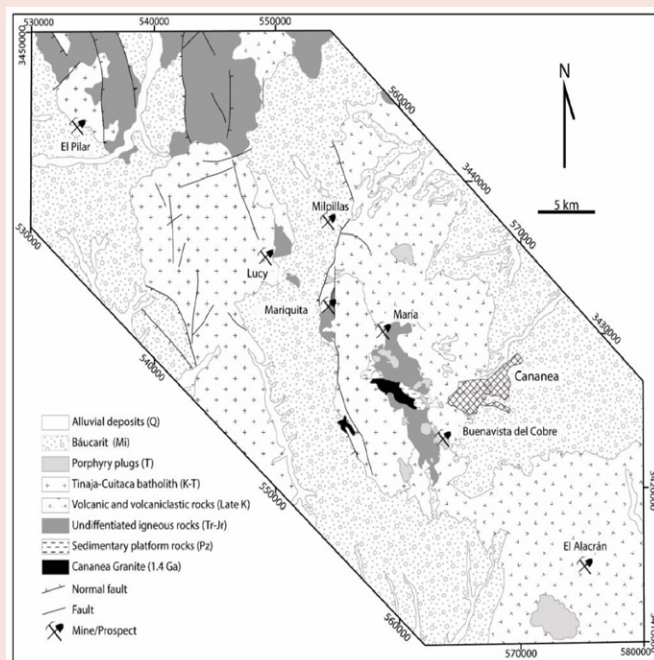


Figura 4. Mapa geológico del distrito de Cananea mostrando la distribución de las principales unidades litológicas, rasgos estructurales y la ubicación de los depósitos de pórfido de cobre (Tomado de [8]).

Las rocas más antiguas corresponden a flujos de lava y depósitos de tobas de composición riolítica a dacítica asignadas por correlación litológica al Jurásico [9]. Estas rocas fueron intrusionadas por un plutón cuarzomonzonítico que aflora en la porción occidental del área (Fig. 5).

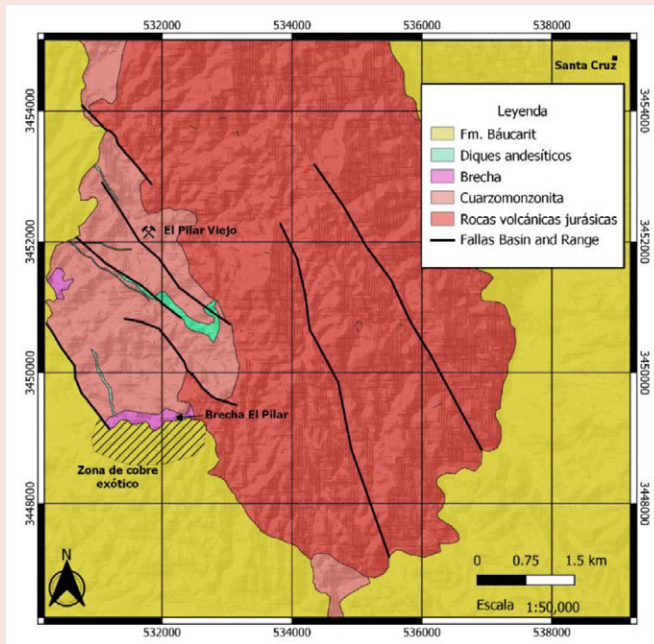
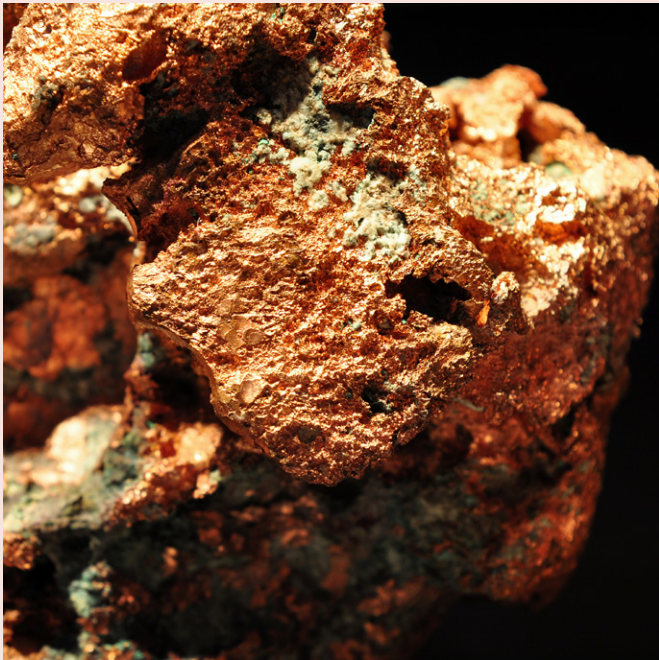


Figura 5. Mapa geológico del área del prospecto El Pilar, modificado de [10] y [11].



El intrusivo cuarzomonzonítico tiene textura equigranular y se caracteriza por la presencia de plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda (Fig. 6). Su edad ha sido ubicada por U-Pb en zircones entre 74.7 ± 1.1 y 74.6 ± 1.4 Ma [8].

Este intrusivo fue cortado por una o más etapas de stocks porfídicos asociadas con la mineralización hipogénica de cobre y molibdeno, caracterizados por fenocristales de ortoclasa y cuarzo, comúnmente mostrando vetillas de sulfuros (Fig. 7).

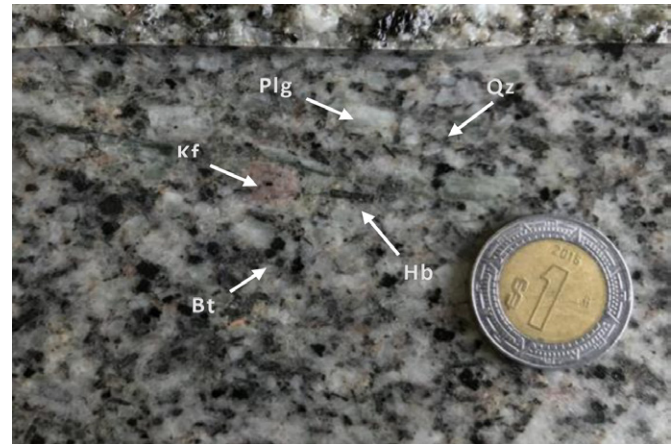


Figura 6. Fotografía del intrusivo cuarzomonzonítico tomada de una muestra de núcleo de barrenación, mostrando un aspecto de la mineralogía. Plg (plagioclasa); Qz (cuarzo); Kf (feldespato potásico); Hb (hornblenda); Bt (biotita).





Figura 7. Fotografía de una muestra de núcleo de un intrusivo porfídico mineralizado. Debido a la alteración hidrotermal, la mineralogía es difícil de distinguir en esta imagen. Los parches de sulfuros arriba y a la derecha de la moneda son principalmente de calcopirita y pirita.

La zona mineralizada de El Pilar se ubica adyacente a una estructura de brecha con clastos de rocas volcánicas y fragmentos de los intrusivos en una matriz ferruginosa (Fig. 8).



Esta estructura aflora particularmente en la porción sur del intrusivo cuarzomonzonítico, y ha sido considerada como la posible fuente principal de la mineralización [1].



Figura 8. Muestra de mano de la brecha El Pilar donde se observan clastos de rocas volcánicas félsicas en una matriz ferruginosa.

Mineralización

De manera probablemente contemporánea con las intrusiones porfídicas se emplazaron estructuras brechoides, las cuales se exponen en la parte sur, la más importante, y centro occidental del plutón cuarzomonzonítico (Fig. 5). Aunque existen evidencias de explotación de mineral primario en la parte norte del intrusivo, en una zona conocida como El Pilar Viejo (Fig. 5), la mineralización del prospecto El Pilar se localiza en la matriz y en películas cubriendo los clastos de las gravas del Mioceno (Fig. 9). La mineralización consiste particularmente en malaquita, tenorita y crisocola. La edad de mineralización ha sido obtenida por Re-Os en molibdenita en 73.9 ± 0.3 Ma [8].



Figura 9. Fotografía en uno de los afloramientos del conglomerado del Mioceno mostrando mineralización de cobre en forma de malaquita cubriendo parte de los fragmentos de roca.

CONCLUSIONES

El Pilar es un depósito dominado por minerales de cobre originados principalmente por la descomposición mecánica de una brecha mineralizada, así como la re-movilización y re-precipitación de cobre por la acción de aguas meteóricas, para formar un depósito de tipo exótico en las gravas del valle adyacente al sur de la Sierra San Antonio.

El lapso transcurrido entre el emplazamiento del plutón cuarzomonzonítico y la mineralización es bastante corto (<1 Ma), por lo que el evento hidrotermal ocurrió de manera sincrónica con las primeras etapas de enfriamiento del plutón principal.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Valencia-Moreno, M., Ochoa-Landín, L., Noguez-Alcántara, B., Ruiz, J., & Pérez-Segura, E. "Geological and metallogenetic

characteristics of the porphyry copper deposits of México and their situation in the world context". SPECIAL PAPERS-GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 422, 433, 2007.

- [2] Valencia-Moreno, M., Camprubí, A., Ochoa-Landín, L., Calmus, T., & Mendivil-Quijada, H., "Latest Cretaceous-early Paleogene "boom" of porphyry Cu mineralization associated with the Laramide magmatic arc of Mexico". *Ore Geology Reviews*, 81, 1113-1124., 2017.
- [3] Sillitoe, R. H. "The tops and bottoms of porphyry copper deposits". *Economic Geology*, 68(6), 799-815, 1973.
- [4] Sillitoe, R. H., & Hedenquist, J. W., "Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits". *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343, 2003.
- [5] Titley, S. R., and Beane R. E., "Porphyry copper deposits; part I, geologic settings, petrology, and tectogenesis". *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 214-269, 1981.
- [6] Lowell, D. J., & Gilbert, J. D. "Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in porphyry ore deposits". *Economic Geology*, 65, 373-408, 1970.
- [7] Calmus, Thierry, 2011, *Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico*, in Calmus, Thierry, ed., *Panorama de la geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 7, 227-266.
- [8] Del Rio-Salas, R., Ochoa-Landín, L., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., Meza-Figueroa, D., Salgado-Souto, S., & Mendivil-Quijada, H., "New U-Pb and Re-Os geochronology of Laramide porphyry copper mineralization along the Cananea lineament, northeastern Sonora, Mexico: Contribution to the understanding of the Cananea copper district". *Ore Geology Reviews*, 81, 1125-1136, 2017.
- [9] Rodríguez Castañeda, J. L., & Anderson, T. H. "El arco magmático jurásico en Sonora, México—distribución, edades y ambiente tectónico". *Boletín del Instituto de Geología. UNAM*, (118), 2011.
- [10] Mercator Minerals LTD., "Feasibility Study El Pilar Project Sonora, México". 43-101F1 Technical Study Report, 319 p., 2011.
- [11] Rascón-Heimpel, M. A. "Visita al Proyecto El Pilar, Mpio. Santa Cruz, Sonora". *Proyecto PERUMEX. Libroto Guía, Grupo México*, 19 p., 2018.

Cómo citar este artículo:

Aguilar Austria, S., & Valencia-Moreno, M. (2022). EL PILAR: UN CASO PARTICULAR EN LOS DEPÓSITOS DE TIPO PÓRFIDO DE COBRE EN MÉXICO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.200>



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. 33

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. 33 Septiembre 15 de 2022.
- » Publicación electrónica Diciembre 31 de 2022.

RECIBIMOS ARTÍCULOS DURANTE TODO EL AÑO

Envío de manuscritos: www.epistemos.uson.mx

Mayores informes: epistemos@unison.mx



SÍGUENOS

Revista EpistemosCTyS

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





VII CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA SALUD

21, 22 Y 23 DE SEPTIEMBRE DE 2022

CENTRO DE EMPRENDEDORES DE LA UJAT

CIUDAD UNIVERSITARIA DEL CONOCIMIENTO, ZONA ALTOZANO

Atención a las Problemáticas Emergentes en Salud

Conferencias Magistrales | Panel de Discusión | Trabajos Libres | Cursos y Talleres

Ejes Temáticos

Salud Pública y Enfermedades Emergentes • Atención Médico - Quirúrgica • Odontología Periodoncia y Endodoncia • Odontología Infantil y Ortodoncia • Odontología Rehabilitadora e Implantes • Gestión del Cuidado a la Salud desde la Perspectiva Educativa y de Servicio • Investigación como Ejercicio para la Resolución de Problemas en el Cuidado de Enfermería • Políticas Públicas para el Cuidado de Enfermería en el Bienestar de la Salud • Alimentación y Educación • Alimentos Funcionales y Cuidados para la Salud • Nutrición para Enfermedades Crónicas y Terminales • Psicología y Salud en diferentes campos de aplicación (clínico, social, educativo, organizacional, otros)

www.ujat.mx

Informes e inscripciones

Coordinación de Difusión Cultural, Extensión y Servicio Social
Av. Gregorio Méndez Magaña 2838-a Col. Tamulte, Villahermosa Tabasco, México
congresodacsujat@gmail.com jefatura.investigacion.dacs@gmail.com



MODALIDAD
VIRTUAL Y
PRESENCIAL

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA

te invita a participar en el:



UES

Universidad Estatal de Sonora
"La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu"

**SEGUNDO
CONGRESO
INTERNACIONAL
DE GEOCIENCIAS
2022**



CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOCIENCIAS
UES

del 01 al 04 de Noviembre de 2022

en honor a :

Geol. Gustavo Eduardo Durazo Tapia

La Universidad Estatal de Sonora y la carrera de Ingeniero en Geociencias lo invitan al Segundo Congreso Internacional de Geociencias, el cual tiene como objetivo promover el avance y consolidación de la industria minera; vincular a profesionales, académicos y estudiantes de minería y ciencias de la Tierra, así como fomentar el debate sobre el presente y futuro de nuestro entorno laboral.

SI USTED DESEA PARTICIPAR COMO PONENTE

Favor de enviar un resumen del trabajo con un máximo de 150 palabras del 22 de Agosto al 02 de Septiembre al correo: hablemosdegeociencias@gmail.com

El Comité Técnico comunicará a los autores la aceptación de los trabajos seleccionados a más tardar el día 18 de Septiembre.

**Una vez notificados los autores seleccionados deberá enviarse el artículo completo
Para mayor información visita el sitio: <http://cig.ues.mx/>**

Los artículos aceptados podrán ser parte de las memorias del congreso las cuales serán publicadas en una revista con registro ISSN





AMQA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE QUÍMICA ANALÍTICA A.C.



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

XXXIV Congreso Nacional de Química Analítica

XXIV Simposio Estudiantil

**19 al 23
septiembre
2022**

Cursos pre congreso
19 y 20 septiembre

CONGRESO INTERNACIONAL de la Sociedad Química de México 2022

"Una Química: Muchas Voces"

Del 29 de agosto al 2 de septiembre de 2022

Modalidad Híbrida

Facultad de Química, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)
en su 100 Aniversario

RECEPCIÓN DE TRABAJOS ABIERTA



TIPOS DE CONTRIBUCIÓN:
PRESENTACIÓN ORAL
QUÍMICA FLASH
CARTELES (ESTUDIANTIL Y/O PROFESIONAL)



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

