

## COMPORTAMIENTO DE FLOTACIÓN Y MECANISMOS DE INTERACCIÓN ENTRE LA ANGLÉSITA E HIDROXAMATOS

MARTHA ARACELI ELIZONDO ÁLVAREZ<sup>1\*</sup>, ALEJANDRO URIBE SALAS<sup>2</sup>, SIMON BELLO TEODORO<sup>3</sup>,  
OMERO ALONSO GONZÁLEZ<sup>4</sup>

### RESUMEN

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

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

<sup>1</sup>Doctora en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, [martha.elizondo.a@gmail.com](mailto:martha.elizondo.a@gmail.com), Orcid. 0000-0002-9706-7177.

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

<sup>3</sup> Doctor en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, [simon.bello276@uaz.edu.mx](mailto:simon.bello276@uaz.edu.mx), Orcid. 0000-0003-0664-896X

<sup>4</sup> Doctor en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zacatecas, México, [omero.alonso@uaz.edu.mx](mailto:omero.alonso@uaz.edu.mx), Orcid. 0000-0003-1699-6343

\***Autor de correspondencia:** Martha Araceli Elizondo Álvarez ([martha.elizondo.a@gmail.com](mailto:martha.elizondo.a@gmail.com))

**Recibido:** 26 / 09 / 2021

**Aceptado:** 25 / 03 / 2022

**Publicado:** 01 / 04 / 2022

### Cómo citar este artículo:

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

## FLOTATION BEHAVIOR AND INTERACTION MECHANISMS BETWEEN ANGLÉSITA AND HYDROXAMATES

### ABSTRACT

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

**Key words:** hydroxamic acids, interaction mechanism, anglesite, flotation, adsorption



## INTRODUCCIÓN

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

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

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

En las últimas décadas, los ácidos hidroxámicos y sus sales han mostrado buenos resultados en la flotación de minerales oxidados de cobre, minerales oxidados de plomo y algunas tierras raras. No obstante, la interacción entre las superficies minerales y los ácidos hidroxámicos en solución aún no queda del todo esclarecida. En la presente investigación se propusieron los mecanismos

de interacción entre la anglesita con los aniones hidroxamato en solución acuosa, los cuales explican satisfactoriamente los resultados obtenidos haciendo uso de las técnicas experimentales de microflotación, adsorción de colector (espectroscopia infrarroja) y potencial zeta.

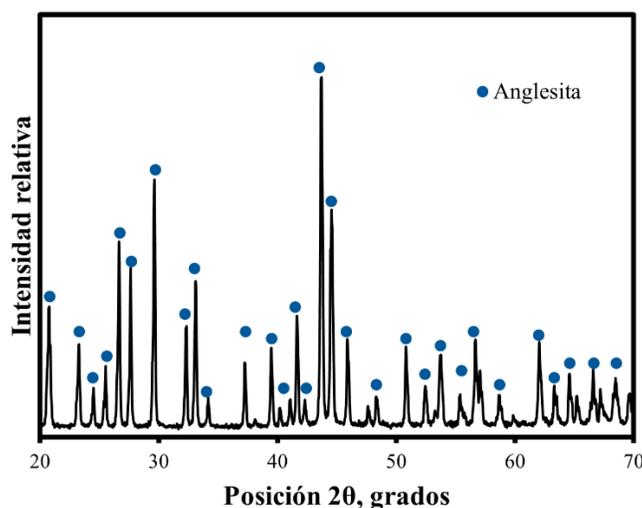
## MATERIALES Y MÉTODOS

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

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

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

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



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

### Microflotación de anglesita

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

### Espectroscopia Infrarroja

La adsorción de colectores ABH y AOH sobre la superficie de anglesita fue investigada mediante espectroscopía infrarroja. La metodología experimental consistió en el empleo de anglesita pura

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

### **Mediciones de Potencial Zeta**

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

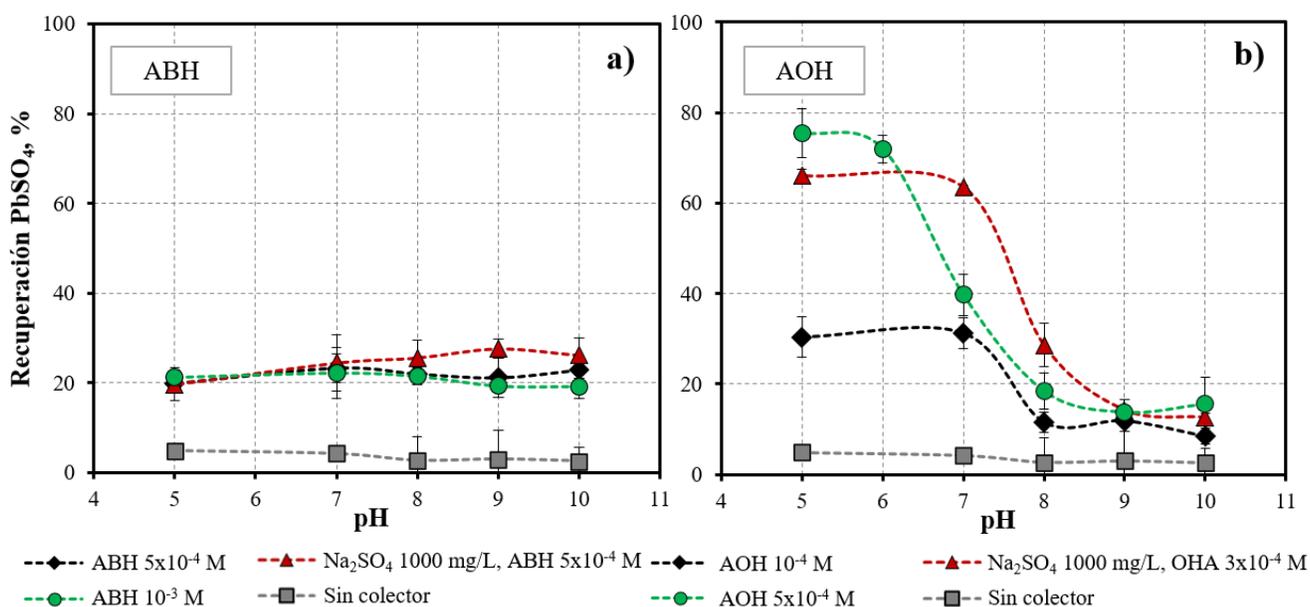
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Efecto del pH en la flotación de anglesita**

La microflotación de anglesita se realizó empleando dosis crecientes de colectores ABH y AOH, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 2. La figura muestra que un incremento en la dosificación del AOH conduce a un aumento en la recuperación bajo condiciones ligeramente ácidas (ver Figura 2b). Sin embargo, este comportamiento no se observa cuando la anglesita se

flota utilizando ABH (ver Figura 2a). Obsérvese que la recuperación se mantiene alrededor de 20%, incluso cuando la dosis de ABH se incrementa de  $5 \times 10^{-4}$  a  $10^{-3}$  mol/L. Esta diferencia probablemente se debe a una menor densidad de adsorción del ABH sobre los sitios de plomo, en comparación con la desarrollada por el AOH.

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



**Figura 2.** Efecto del pH y la presencia de sulfato (1000 mg/L) en la recuperación de anglesita (-106+75  $\mu\text{m}$ ) usando: (a). ABH y (b). AOH. Las mediciones se llevaron a cabo a 25°C. La anglesita se flotó durante 1 minuto.

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

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

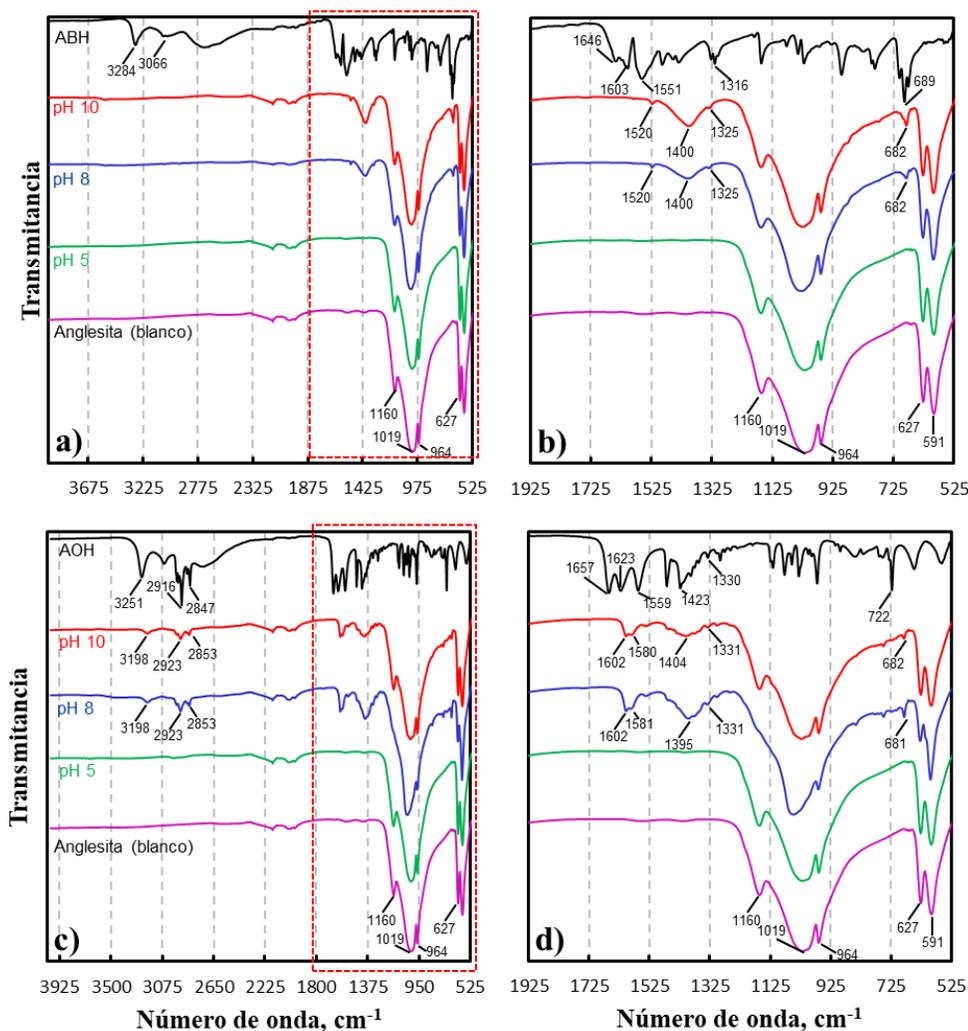
El espectro de la anglesita sin tratar (blanco) es consistente con el reportado por Yao, Li [11]. De acuerdo con la literatura, los enlaces S=O dan lugar a bandas vibracionales intensas [12]. En este contexto, las bandas S=O del compuesto aparecen en la región de número de onda esperada,  $1019\text{ cm}^{-1}$  y  $964\text{ cm}^{-1}$ , para vibraciones de tensión y, en  $627\text{ cm}^{-1}$  y  $591\text{ cm}^{-1}$ , para vibraciones de flexión.

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

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

observadas en ambos casos. Además, se observan bandas de alta amplitud e intensidad en 1602  $\text{cm}^{-1}$  y 1395  $\text{cm}^{-1}$ . Cabe señalar que la intensidad de estas bandas es más alta a pH 8.

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



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

## Formación de complejos metálicos monodentados y bidentados con los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato

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

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

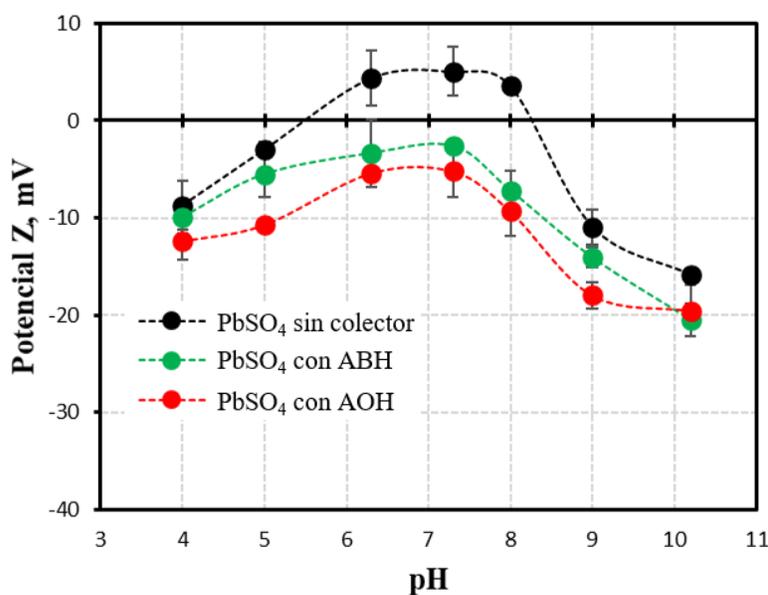
**Tabla 2.** Frecuencias de los enlaces C=O y C-N de los colectores ABH y AOH y de la anglesita acondicionada en su presencia.

Condiciones	Anglesita (PbSO <sub>4</sub> )	
	Frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	
	C=O	C-N
Colector ABH	1646	1551
Mineral con ABH (pH 5)		
Mineral con ABH (pH 8)	1520	1400
Mineral con ABH (pH 10)	1520	1400
Colector AOH	1657	1559
Mineral con AOH (pH 5)		
Mineral con AOH (pH 8)	1602	1581
Mineral con AOH (pH 10)	1602	1580

En la Tabla 2 se observa que esta condición se cumple para la anglesita acondicionada con AOH a pH 8 y 10, lo cual sugiere que en estas condiciones los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato se encuentran adsorbidos químicamente formando un quelato bidentado, es decir, una estructura de anillo. Por el contrario, la condición no se cumple para la anglesita acondicionada con ABH a pH 8 y 10, lo anterior aparentemente se debe a que, bajo estas condiciones, los aniones benzohidroxamato y octanohidroxamato no se encuentran formando un anillo con el plomo, y que muy probablemente el quelato formado es monodentado. Cabe señalar que la formación de quelatos bidentados da como resultado un complejo más estable, que el que se forma cuando el metal se une con un solo ligante (monodentado).

### Potencial Zeta de la anglesita con y sin colector

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



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

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

Cuando la anglesita es acondicionada con ABH y AOH, el potencial zeta se vuelve más negativo en todo el rango de pH estudiado, indicando que ambos colectores aniónicos son adsorbidos. La adición de AOH presenta mayor efecto sobre el potencial zeta de la anglesita, que el ABH, indicando que existe una mayor adsorción de este colector sobre el mineral, como lo demuestran los resultados de caracterización superficial mediante reflectancia infrarroja.

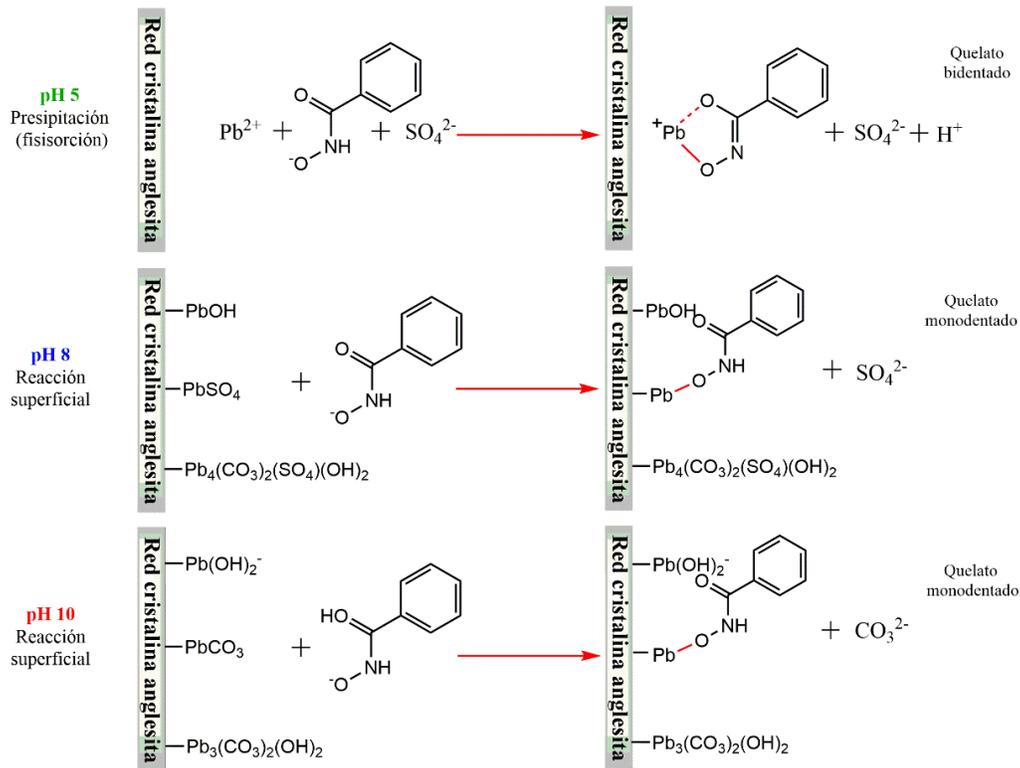
Con base en estos resultados, se puede decir que existe colector adsorbido sobre la anglesita a pH 5. No obstante, las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR no detectaron colector adsorbido. A este respecto, cabe comentar que es posible que el lavado al que se someten las partículas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

objeto de eliminar residuos “entrampados” del colector, haya eliminado prácticamente el total del colector fisisorbido en las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR.

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

#### **Anglesita-benzohidroxamato**

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

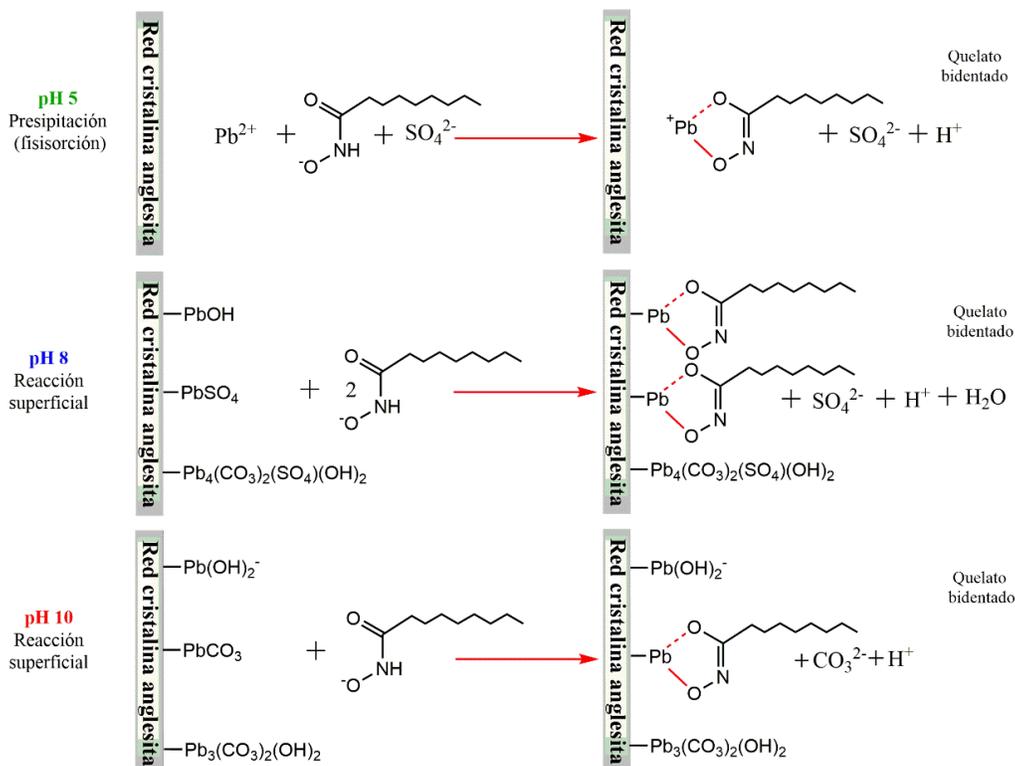


**Figura 5.** Representación esquemática del mecanismo de adsorción del anión benzohidroxamato sobre la anglesita a pH 5, pH 8 y pH 10.

### Anglesita-octanohidroxamato

Los mecanismos de interacción anglesita-octanohidroxamato propuestos en este trabajo se ilustran en la Figura 6. A pH 5, el anión octanohidroxamato reacciona con el  $\text{Pb}^{2+}$  disuelto de la red cristalina, formando un precipitado Pb-octanohidroxamato, el cual es fisisorbido en las vecindades de la superficie, como lo demuestran las mediciones de caracterización superficial mediante ATR-FTIR y mediciones de potencial zeta. A pH 8, el anión octanohidroxamato reacciona con los sitios  $-\text{PbOH}$  y  $-\text{PbSO}_4$  formando quelatos bidentados. Finalmente, a pH 10, el anión octanohidroxamato reacciona con el sitio  $-\text{PbCO}_3$  que no ha sido convertido a hidrocerusita

( $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ), produciendo quelatos bidentados. Obsérvese que existe una menor concentración de enlaces con los sitios de plomo desarrollados por el benzohidroxamato (ver Figura 5), en comparación con los desarrollados por el octanohidroxamato (ver Figura 6). Lo cual se debe a las limitaciones estereológicas impuestas por la estructura morfológica del ABH.



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

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Con base en las mediciones efectuadas con las diferentes técnicas experimentales empleadas se propusieron los mecanismos de interacción, los cuales presentan reacciones globales y ayudan a entender la manera en que reaccionan el ABH y AOH con los minerales de plomo.

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

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

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

### Agradecimientos

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

### REFERENCIAS

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



- [2] Amrollahi, A., M. Massinaei, and A. Zeraatkar Moghaddam, *Removal of the residual xanthate from flotation plant tailings using bentonite modified by magnetic nano-particles*. Minerals Engineering, 2019. **134**: p. 142-155. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.01.031>
- [3] Pomianowski, A. and J. Leja, *Spectrophotometric study of xanthate and dixanthogen solutions*. Canadian Journal of Chemistry, 1963. **41**(9). <https://doi.org/10.1139/v63-322>
- [4] Sun, Z. and W. Forsling, *The degradation kinetics of ethyl-xanthate as a function of pH in aqueous solution*. Minerals Engineering, 1997. **10**(4): p. 389-400. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00016-2)
- [5] Shen, Y., et al., *Study of xanthate decomposition in aqueous solutions*. Minerals Engineering, 2016. **93**: p. 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.04.004>
- [6] Maillot, M., J.L. Cecile, and R. Bloise, *Stability of ethylxanthate ion in neutral and weakly acidic media. Part 1: Influence of pH*. International Journal of Mineral Processing, 1984. **13**(3): p. 193-210. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(84\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0301-7516(84)90003-6)
- [7] De Donato, P., et al., *Stability of the amyloxanthate ion as a function of pH: Modelling and comparison with the ethylxanthate ion*. International Journal of Mineral Processing, 1989. **25**(1): p. 1-16. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(89\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0301-7516(89)90052-5)
- [8] Elizondo-Álvarez, M.A., A. Uribe-Salas, and S. Bello-Teodoro, *Chemical stability of xanthates, dithiophosphinates and hydroxamic acids in aqueous solutions and their environmental implications*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021. **207**: p. 111509. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111509>
- [9] Fuerstenau, D.W., R. Herrera-Urbina, and D.W. McGlashan, *Studies on the applicability of chelating agents as universal collectors for copper minerals*. International Journal of Mineral Processing, 2000. **58**(1): p. 15-33. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00058-7](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00058-7)
- [10] Delgado, Á.V., *Interfacial Electrokinetics and Electrophoresis*, ed. I. Marcel Dekker. 2002, New York.
- [11] Yao, W., et al., *Flotation behavior and mechanism of anglesite with salicyl hydroxamic acid as collector*. JOM, 2018. **70**(12): p. 2813-2818. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-3149-9>
- [12] Larkin, P.J., *IR and Raman Spectra-Structure Correlations: Characteristics Group Frequencies*, in *IR and Raman Spectroscopy Principles and Spectral Interpretation*. 2017, Elsevier: The USA. p. 73-115.
- [13] Zhang, W., R.Q. Honaker, and J.G. Groppo, *Flotation of monazite in the presence of calcite part I: Calcium ion effects on the adsorption of hydroxamic acid*. Minerals Engineering, 2017. **100**: p. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.020>
- [14] Chatterjee, B., *Donor properties of hydroxamic acids*. Coordination Chemistry Reviews, 1978. **26**(3): p. 281-303. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(00\)80350-1](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(00)80350-1)
- [15] Elizondo-Álvarez, M.A., A. Uribe-Salas, and F. Nava-Alonso, *Flotation studies of galena (PbS), cerussite (PbCO<sub>3</sub>) and anglesite (PbSO<sub>4</sub>) with hydroxamic acids as collectors*. Minerals Engineering, 2020. **155**: p. 106456. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106456>

#### Cómo citar este artículo:

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