

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Microencapsulación de microorganismos: Una alternativa sustentable para la industria minera

Karina Galache · Friday, December 29th, 2023

Categorías: [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

La industria minero – metalúrgica es una de las principales actividades económicas del sector energético en México y ocupa el primer lugar en producción de plata en el mundo; además, se ubica entre los 10 principales productores de minerales y metales como: bismuto, fluorita, celestita, wollastonita, cadmio, molibdeno, plomo, zinc, oro y cobre. Sin embargo, esta actividad trae consigo problemas de afectación al medio ambiente, debido a la generación de residuos tóxicos conocidos como jales mineros.

Estos jales mineros se producen como consecuencia de la explotación de los recursos minerales, es decir, una vez extraídos los metales de interés (oro, plata, cobre, etc.) de las rocas que los contienen, el sobrante de este tipo de procesos con frecuencia contiene una cantidad considerable de metales altamente tóxicos (arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc, antimonio, mercurio y cromo), que se oxidan por encontrarse en presencia de oxígeno, agua y microorganismos (MOs) nativos en el ambiente. Derivado del metabolismo de dichos MOs se generan líquidos ácidos que constantemente se filtran al suelo, contaminan el agua subterránea e impactan diferentes ecosistemas como el suelo y el agua superficial.

Entre las principales soluciones a esta grave problemática, se encuentra el uso de microorganismos, ya sea con la intención de aprovechar al máximo la extracción de metales de interés, o con el objetivo de reducir los riesgos asociados con la generación de elementos tóxicos, mediante técnicas innovadoras como es la biolixiviación y la microencapsulación (Núñez-Ramírez *et al.*, 2021).

La biolixiviación es la extracción de metales en un medio líquido utilizando microorganismos (bacterias, hongos, levaduras, etcétera), cuyas principales ventajas es que son métodos respetuosos del medio ambiente y muy económicos si se comparan con otros tipos de extracción comúnmente utilizados, como los métodos químicos y fisicoquímicos. Pese a su gran utilidad, estas prácticas no son comunes en la industria, debido a que existe preocupación y desconocimiento del uso de microorganismos, ya que estos necesitan cuidados especiales para su reproducción, como son el uso de temperaturas controladas, la agitación del medio en el que se encuentran y la adición de fuentes de energía para su correcto crecimiento, entre otras. Por lo tanto, la microencapsulación adquiere un rol fundamental para el fácil manejo de estos organismos microscópicos, ya que permite protegerlos, liberarlos cuando sea conveniente y manipularlos de manera eficiente (Mehta

et al., 2022; Misari, 2016).

La microencapsulación

El proceso de microencapsulación (Figura 1) consiste en recubrir un material o compuesto activo, al que se suele llamar núcleo (para este ejemplo pensemos en una bacteria), con un material de pared que tiene la finalidad de protegerlo de diversas afectaciones como calor, humedad, luz, oxígeno, pH, y radiación, entre otras. Además, para considerarse como microcápsula, su tamaño debe oscilar entre 1 y 1000 micrómetros (μm), es decir, la milésima parte de un milímetro. Entre los materiales de pared más utilizados se encuentran los biopolímeros, como las proteínas (aislado de proteína de suero de leche, gelatina, proteína de frijol) y los polisacáridos (goma arábica, maltodextrina, goma guar), debido a que por lo general, la microencapsulación se utiliza en la industria alimenticia y farmacéutica. Sin embargo, recientemente se ha buscado que pueda aplicarse en la industria minero – metalúrgica para la biolixiviación de metales (Corrêa-Filho, Moldão-Martins, & Alves, 2019).



Figura 1. Estructura común de una microcápsula.

Existen diversos procedimientos para microencapsular microorganismos y la elección dependerá del uso que se pretenda dar a la microcápsula y de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos (Vasisht, 2014) (Tabla 1).



Tabla 1. Ventajas, desventajas y parámetros variables de los principales métodos químicos y fisicoquímicos para la producción de microcápsulas

Por lo anterior, es posible obtener microcápsulas con formas diversas: irregulares, con núcleo y recubrimiento, polinucleares y microesferas de matriz soluble e insoluble (Arenas-Jal, Suñé-Negre, & García-Montoya, 2020) (Figura 2).



Figura 2. Forma común que adoptan las microcápsulas: a) Forma irregular. b) Microcápsula de núcleo y recubrimiento. c) Microcápsula con núcleo múltiple. d) Microesfera de matriz insoluble. e) Microesfera de matriz soluble.

Microorganismos utilizados en procesos mineros y su microencapsulación

Históricamente, los microorganismos más encapsulados son los denominados *probióticos*, con la finalidad de que al ser ingeridos puedan influir positivamente en la salud intestinal del ser humano. En los últimos años la necesidad de microencapsular microorganismos para emplearse en procesos ajenos a la industria alimenticia y farmacéutica ha ido en aumento, como en el caso de *Acidithiobacillus thiooxidans*, una bacteria Gram negativa, quimiolitótrofa, acidófila, aeróbica, la cual es utilizada en la industria minera para los procesos de biolixiviación de jales mineros, cenizas y residuos electrónicos, entre otros. Su característica principal es que su metabolismo es capaz de

oxidar el azufre produciendo ácido sulfúrico (Reacción 1), lo que favorece la extracción de minerales de interés debido que el medio ácido aumenta la solubilidad de muchos metales, ya que facilita su oxidación y la formación de complejos solubles, permitiendo así la liberación de éstos de las matrices minerales.



Reacción 1

La microencapsulación de este microorganismo fue el primer caso exitoso, usando como material de pared la goma arábica, en un proceso de secado por aspersion y abrió la posibilidad de estudiar diversos métodos de microencapsulación con diferentes materiales de pared. Al ser sometida a un mineral de plata en el laboratorio, se obtuvieron excelentes resultados en cuanto a viabilidad, encapsulación y porcentajes de biolixiviación, lo cual abrió un nicho de oportunidades para continuar en la búsqueda de alternativas sustentables y accesibles para su uso en la industria, favoreciendo los procesos biohidrometalúrgicos (Sharifi, Rezazad-Bari, Alizadeh, Almasi, & Amiri, 2021).

Coacervación Compleja

La coacervación compleja es un método de microencapsulación basado en la interacción de dos polímeros (generalmente una proteína y un polisacárido), que llevan a cabo una interacción electrostática en un medio acuoso. ¿A qué se refiere una interacción electrostática? Las cargas eléctricas pueden ser positivas o negativas, lo que significa que, al tener una proteína y un polisacárido con la misma carga, éstas tienden a repelerse y por lo tanto no interactúan entre sí. Sin embargo, al ser contrarias, se atraen entre sí, lo que da lugar a la formación de la cápsula. Para llevar a cabo este proceso, es necesario valerse del pH de la solución donde se encuentra la proteína y el polisacárido, ya que dependiendo del punto isoeléctrico (valor de pH en el que la carga eléctrica de una molécula es cero) de ambos componentes, será o no posible la formación de lo que se conoce como *fase coacervada*, una fase rica en polímeros que resulta de la interacción de éstos. Esta fase contiene los microorganismos encapsulados, y es congelada y liofilizada para su aplicación en la industria minero-metalúrgica. Por otro lado, la *fase de equilibrio* se caracteriza por su menor contenido de polímeros y generalmente se desecha (Figura 3) (Pathak, Priyadarshini, Rawat, & Bohidar, 2017).

Como ejemplo, se tiene el aislado de proteína de suero de leche, cuyo punto isoeléctrico oscila entre pH 3.0 y 5.0, siendo el óptimo cercano a 3.75. Esto quiere decir que al estar en solución con un polisacárido, como la goma arábica, es necesario ubicar el pH por lo menos debajo de 5.0, para que la carga eléctrica de la proteína sea positiva y así pueda interactuar con la goma arábica, la cual posee carga negativa por encima de su punto isoeléctrico (pH de 2.2) (Eghbal & Choudhary, 2018).



Figura 3. Formación de microcápsulas de aislado de proteína de suero y goma arábica por coacervación compleja. Izquierda: pH 2.0. Centro: pH 4.0. Derecha: pH 7.0. Se puede observar la formación de dos fases, una al fondo del tubo de ensaye (fase de coacervado) y una fase cristalina (fase de equilibrio).

Existen tratamientos adicionales para obtener estos coacervados complejos de manera sólida, los cuales consisten en secar el producto final mediante técnicas como la liofilización y el secado por aspersión, para obtener microcápsulas en forma de polvos a los que se les puede realizar tratamientos adicionales para reducir el tamaño de partícula, si así se requiere (Bi, Xu, Fan, & Sun, 2022) (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Coacervados complejos después de ser sometidos a proceso de secado mediante liofilización.



Figura 5. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de microcápsulas obtenidas mediante coacervación compleja y liofilización.

Beneficios de la microencapsulación por coacervación compleja

Como se mencionó, la microencapsulación permite proteger al material de núcleo de distintas inclemencias ambientales y ofrece perfiles de liberación controlados, lo que significa que en determinada condición, el material de núcleo puede salir y actuar de manera inmediata (Mehta *et al.*, 2022). La coacervación compleja ofrece obtener microcápsulas con grandes porcentajes de encapsulación, excelente viabilidad (capacidad de los microorganismos para reproducirse), fácil producción y bajos costos, ya que no utiliza equipos especializados. Asimismo, debido a los materiales empleados como material de pared, constituye una alternativa cuidadosa del medio ambiente, ya que no genera subproductos tóxicos, por lo que su estudio y aplicación en la industria minero-metalúrgica podría ser una alternativa a las existentes para popularizar el uso de microorganismos en procesos de biolixiviación (Núñez-Ramírez *et al.*, 2021).

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento: Proyecto de Investigación en el Área de Posgrado. Microencapsulación de *Acidithiobacillus thiooxidans* en una matriz biopolimérica mediante el proceso de coacervación compleja y liofilización (Clave: 17010.23-P) en su Convocatoria 2023-1.

Referencias

Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1371–1382. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x>

Bi, H., Xu, Y., Fan, F., & Sun, X. (2022). Effect of drying methods on *Lactobacillus Rhamnosus* GG microcapsules prepared using the complex coacervation method. *Journal of Food Science*,

87(3), 1282–1291. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16061>

Corrêa-Filho, L. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/app9030571>

Eghbal, N., & Choudhary, R. (2018). Complex coacervation: Encapsulation and controlled release of active agents in food systems. *Lwt*, 90(December 2017), 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.036>

Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., ... Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3), 1–35. <https://doi.org/10.3390/app12031424>

Misari, F. S. (2016). Biolixiviación Tecnología De La Lixiviación Bacteriana De Minerales. In *Elsevier Science* (Vol. 2).

Mohammadlinejad, S., & Kurek, M. A. (2021). Microencapsulation of Anthocyanins – Critical Review of Techniques and Wall Materials. *Applied Sciences*.

Núñez-Ramírez, D. M., López-Martínez, A., Medina-Torres, L., Calderas, F., Martínez-Prado, M. A., Lara, R. H., ... Manero, O. (2021). Microencapsulation of Acidithiobacillus thiooxidans by spray drying using biopolymers as wall materials: A potential alternative for its application in the mining industry. *Minerals Engineering*, 166(March). <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106882>

Pathak, J., Priyadarshini, E., Rawat, K., & Bohidar, H. B. (2017). Complex coacervation in charge complementary biopolymers: Electrostatic versus surface patch binding. *Advances in Colloid and Interface Science*, 250, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.10.006>

Sharifi, S., Rezazad-Bari, M., Alizadeh, M., Almasi, H., & Amiri, S. (2021). Use of whey protein isolate and gum Arabic for the co-encapsulation of probiotic *Lactobacillus plantarum* and phytosterols by complex coacervation: Enhanced viability of probiotic in Iranian white cheese. *Food Hydrocolloids*, 113(November 2020), 106496. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106496>

Vasisht, N. (2014). Selection of Materials for Microencapsulation. In *Microencapsulation in the Food Industry*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404568-2.00016-9>

This entry was posted on Friday, December 29th, 2023 at 3:42 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.

