

## **Recuperación de plata en forma de nanopartículas a partir de un agua sintética mediante bacterias anaerobias**

### **Recovery of silver in the form of nanoparticles from synthetic water by anaerobic bacteria**

**Adriana García Titla<sup>1+</sup>, Marisol Gallegos García<sup>1\*</sup>, Verónica Gallegos García<sup>2^</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Dr. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P., México. C.P. 78290. + adriana21gt@gmail.com \* marisol.gallegos@uaslp.mx

^veronica.gallegos@uaslp.mx

<sup>2</sup>Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Niño Artillero No. 130, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P., México. C.P. 78290.

**Palabras clave en español:** Bacterias metanogénica, digestión anaerobia, nanopartículas de plata, síntesis.

**Key words:** Methanogenic bacteria, anaerobic digestion, silver nanoparticles, synthesis.

## **INTRODUCCIÓN**

La plata se considera como uno de los metales nobles de mayor valor debido a sus amplias propiedades. Los procesos de manipulación de la plata inician desde su extracción por parte de la industria minera para posterior uso en diversas actividades, por ejemplo, la industria de la fotografía utiliza haluros de plata en procesos de revelado de imágenes por las propiedades fotoquímicas, en la electrónica se utiliza para microprocesadores por su capacidad conductora de calor. El amplio uso de la plata deriva en un problema de contaminación en los efluentes de industrias, afectando tanto el ambiente acuático como la salud de quienes la consumen.

En el tratamiento de aguas residuales suele utilizarse lodos anaerobios para la descomposición de materia orgánica, a través de reacciones óxido-reducción llevadas a cabo por grupos de microorganismos en la ausencia de oxígeno, obteniendo como resultando biogás como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, o productos inorgánicos. Las bacterias que llevan a cabo esta transformación son del tipo bacterias hidrolíticas, acetógenicas, metanogénicas, sulfatoreductoras y desnitrificantes. Este consorcio de bacterias es capaz de reducir el potencial óxido-reducción (ORP) del medio a valores cercanos a los -350 mV. Bajo estas condiciones, la plata soluble (Ag<sup>+</sup>) puede ser reducida a su estado metálico (Ag<sup>0</sup>) en forma de nanopartículas. A escala nanométrica la plata obtiene novedosas propiedades como actividad bactericida y fungicida, mayor área superficial, estabilidad en condiciones ambientales, actividad catalítica, etc. La síntesis biológica de nanopartículas tiene varias ventajas, al ser un método de síntesis rápida, sin daños al medio ambiente, así como proveer una amplia gama de recursos biológicos de bajo costo y alta disponibilidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de las bacterias anaerobias para degradar la materia orgánica, disminuir el ORP y reducir la Ag<sup>+</sup> a Ag<sup>0</sup> como nanopartículas de un agua residual sintética, con la finalidad de proponer un proceso amigable con el ambiente para la

recuperación del metal y la reutilización del agua.

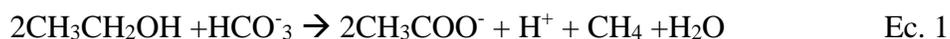
## **METODOLOGIA**

Se realizaron 4 ensayos de síntesis de nanopartículas en reactores lote, donde se monitoreó la actividad metanogénica específica (AME), pH, ORP y se determinó DQO (demanda química de oxígeno). Los ensayos se realizaron en botellas de 60 mL por duplicado. Se contaba con una botella 'Control' sin plata ni sustrato, 'Blanco' sin plata y con sustrato, 'Csa - Cerrado sin agitación', 'Asa - Abierto diariamente sin agitación' para medir pH y ORP, los anteriores con sustrato y plata. Cada botella contenía 2 g SSV/L de logo anaerobio granular, 40 mL de medio mineral con 2 g de DQO/L en forma de etanol como sustrato y 2000 ppm de Ag<sup>+</sup> en forma de AgNO<sub>3</sub>. Se incubaron las botellas a 30°C en la incubadora Orbital mca. Labnet, mod. 311DS hasta el termino de la AME, el volumen de metano producido se calculo por desplazamiento volumétrico de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% p/v. Del efluente se analizó el plasmón de resonancia de superficie por espectroscopía UV-Vis, para confirmar la presencia de nanopartículas de plata. La lectura de absorción se realizó con un barrido de los 300 a 900 nm en un espectrofotómetro UV-visible mca. HACH mod. Mediante espectroscopía de absorción atómica (EAA) se realizó la cuantificación de plata presente por cada reactor en lote, el equipo utilizado fue un espectrofotómetro mca. Perkin Elmer mod. AAnalyst 400.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

Los resultados de monitorear la AME para lodos anaerobios corroboran la activación de las bacterias metanogénicas. El experimento finalizo tras 380 horas de incubación, la Figura 1 muestra como la presencia de plata en Ensayos 1 Csa y Ensayo 2 Asa incentiva la producción de metano en comparación con el ensayo blanco donde solo se adicionó el sustrato.

Se observa que el ensayo 'Control', donde el reactor únicamente contenía el lodo metanogénico en su medio mineral, no produjo en ningún momento mililitros de metano, esto debido a que no se alimentó con el sustrato, por lo que las bacterias se mantuvieron inactivas. Al suministrar alimento con el sustrato etanol, se activa a las bacterias y estas producen metano como parte de la metabolización del etanol, como sucedió en los demás ensayos. La ecuación 1 explica la formación de metano al tener etanol como sustrato.



Oleskiewicz y Sharma reportaron en 1990 que metales como hierro, zinc y plata la plata puede representar un estímulo para las bacterias anaerobias. Se muestra como un efecto estimulante dentro del sistema metabólico de microorganismos anaerobios, dado que actúan como cofactores enzimáticos en las rutas metabólicas de las células.

Las condiciones anaerobias permiten el correcto desempeño de las bacterias metanogénicas, Varnero-Moreno en 2011 explica que el ORP de las bacterias metanogénicas llega a evolucionar de un estado oxidado a uno reducido debido a la presencia de bacterias acetogénicas encargadas de consumir el oxígeno existente. El potencial bajo el cual actúan

los microorganismos anaerobios va desde los -200 a lo -350 mV (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005), en este mismo rango ocurre la reducción de algunas sales metálicas a su forma metálica. A continuación, en la Tabla 1 se presentan los valores finales de remoción de DQO, remoción  $Ag^+$ , pH y ORP por cada ensayo al termino de la AME.

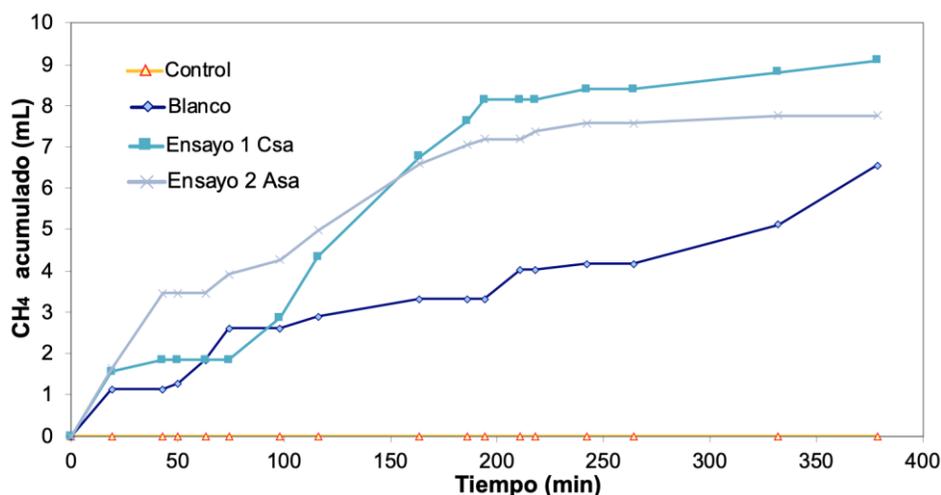


Figura 1. Cinética de producción de  $CH_4$  de lodo metanogénico. (Csa) Cerrado sin agitación, (Asa) Abierto diariamente sin agitación.

Tabla 1. Resultados de reactores en lote con bacterias anaerobias.

Ensayo	Remoción de DQO (%)	ORP final (mV)	pH final	Remoción (%) tras una concentración inicial de 2000 mg/l
Blanco	56	-392	7.02	-
Ensayo 1 Csa	66	-405	7.11	99.5
Ensayo 2 Asa	55	-382	8.31	99.7

El mayor porcentaje de remoción de DQO fue para el Ensayo 1 Csa ‘cerrado sin agitación’ lo que concuerda con su producción de metano al obtener el máximo volumen acumulado. Dentro de los reactores en lote se colocó una solución madre de 2000 ppm de  $Ag^+$  en forma de  $AgNO_3$ , el medio reductor bajo el cual actúan las bacterias metanogénicas al producir metano, permite la reducción de  $Ag^+$  a  $Ag^0$ . Como se muestra en la Tabla 1. La remoción de DQO es mayor al 50% por lo que las bacterias anaerobias se activaron y llegaron a un potencial negativo entre -300 y -400 mV con un pH promedio de 7, estas condiciones entran en el rango de ORP que permite de la reducción de plata (desde 800 mV hasta -400 mV). Se analizó el medio por adsorción atómica y se comprobó la disminución de concentración de  $Ag^+$  remanente en el medio, el rendimiento alcanzado fue mayor al 99% al pasar de plata soluble a plata metálica.

Mediante espectroscopia UV-vis se corroboró la presencia de nanopartículas de plata. El espectro de absorción para esta síntesis verde, Figura 2 a) muestra un pico de absorción alrededor de los 410 nm, lo que corrobora la presencia de nanopartículas de plata. Probin y Giasuddin en 2015 reportan nanopartículas de plata con un pico de absorbancia a una longitud de onda de 418 nm. Por la cercanía del pico a los 400 nm, se trata de partículas con un tamaño aproximado a los 40 nm y debido a la anchura del pico se revela un alto grado

de heterogeneidad en la distribución de tamaño de partícula, además de la presencia de aglomerados de tamaño mayor a los 100 nm (Khanna y col., 2019). En b) muestran los reactores en lote en el fondo se muestran los granulos de bacterias anaeróbicas, el cambio de color de amarillo claro en el blanco a café oscuro en el Ensayo 1 Csa esta asociado a la formación de nanopartículas de plata (Shrivastava y col., 2007).

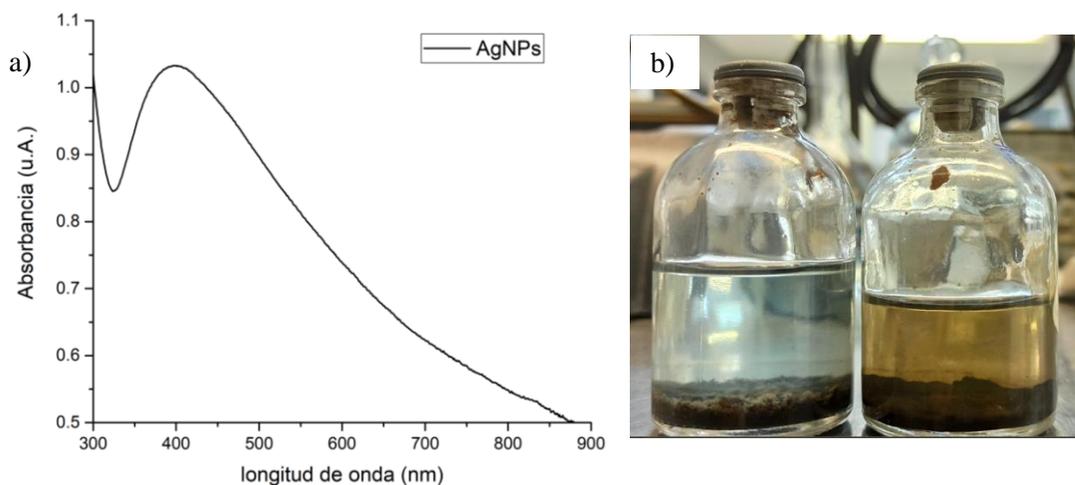


Figura 2. a) Espectro UV-vis de nanopartículas de plata por síntesis verde. b) Reactores en lote tras termino de AME, izquierda – blanco, derecha – Ensayo 1 Csa.

## CONCLUSIONES

Los experimentos en lote para lodos metanogénicos demostraron que la digestión anaerobia genera un medio reducido con valores de ORP que permitió la reducción de sal de plata a plata metálica en forma de nanopartículas. Mediante espectroscopia UV-vis se comprobó la presencia de nanopartículas de plata de tamaño aproximado a los 40 nm. Así mismo se comprobó que la presencia de plata incentiva la AME, dado que los ensayos con plata tuvieron una velocidad de producción de metano mayor al ensayo ‘Blanco’ donde no se incluyó la sal de plata en el medio mineral. Por los resultados obtenidos se corrobora la efectividad de bacterias anaerobias en sistemas en lote para la remoción de plata soluble y síntesis de nanopartículas de plata.

## REFERENCIAS

- Khanna, P., Kaur, A., & Goyal, D. (2019). *Algae-based metallic nanoparticles: Synthesis, characterization and applications*. Journal of Microbiological Methods, 163 (September 2018), 105656.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, 39(1), 35–48.
- Oleszkiewicz, J. A., & Sharma, V. K. (1990). *Stimulation and inhibition of anaerobic processes by heavy metals-A review*. Biological Wastes, 31(1), 45–67.
- Probin Phanjom, Giasuddin Ahmed. (2015). *Biosynthesis of Silver Nanoparticles by Aspergillus oryzae (MTCC No. 1846) and Its Characterizations*. Nanoscience and Nanotechnology, 5(1):14-21.
- Varnero-Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Physiological Research, 64(6), 883–890.