

GESTIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES DE MÉTODOS DE ANÁLISIS ARGENTOMÉTRICOS

MANAGEMENT OF ARGENTOMETRIC WASTE FROM CHLORIDE ANALYSIS

Mateo Espinosa A.¹, Edgar González V.² & Carlos Cevallos-M.^{3*}

Recibido: 27 de noviembre 2024 / Aceptado: 16 de junio 2025
DOI 10.26807/ia.v13i2.300

RESUMEN

Varios laboratorios de análisis, tanto de docencia como de servicios, generan residuos provenientes de la determinación de cloruros mediante argentometría. En este trabajo se estudiaron condiciones de experimentales adecuadas para la recuperación de plata metálica empleando técnicas electroquímicas. Se inició estudiando termodinámicamente el comportamiento de las especies de plata con amoníaco en disolución acuosa. A continuación, se realizaron ensayos con un potenciostato en una celda de tres electrodos y residuos preparados en el laboratorio (sintéticos) con barridos potenciodinámicos, para establecer condiciones adecuadas de reducción de Ag^+ . Luego, se utilizó una fuente de poder con una celda de dos electrodos para realizar el electrodeposición de plata utilizando residuos sintéticos y posteriormente residuos reales. Se encontraron porcentajes de recuperación del 99,6 y 93,3 % para residuos sintéticos y reales respectivamente con buenas eficiencias faradaicas. Estos resultados confirman la viabilidad de recuperar plata, usando técnicas electroquímicas, con altos porcentajes de conversión sentando las bases para escalar el proceso de electrodeposición.

Palabras clave: electroquímica, método de Mohr, plata metálica. residuos.

ABSTRACT

Different service or teaching laboratories produce silver waste from chlorides with argentometric methodologies. Here we obtained experimental conditions for silver recovery using electrochemical techniques. Firstly, a thermodynamic study was made to know the behavior of the several species of silver in aqueous solution. Then, several trials were conducted with a potentiostat into a three-electrode cell with potentiodynamic sweeps, processing synthetic waste made with Mohr methods, to obtain experimental conditions to reduce Ag^+ . A continuation, synthetic and real waste were treated individually into a two-electrodes cell, found a silver recovery of 99,6% y 93,3% respectively. These results confirm the feasibility of recovering metallic silver from waste, generated from argentometric methods, also this data provides an initial point to develop process for silver treatment a large scale.

Keywords: electrochemistry, metallic silver, Mohr Methode, waste.

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Quito-Ecuador (mjespinosaa@uce.edu.ec)

² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Química Analítica, Quito-Ecuador (epgonzalez@uce.edu.ec)

³ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Electro-Catálisis Aplicada, Quito-Ecuador (*correspondencia: cacevallosm@uce.edu.ec)

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, en diciembre de 2014, se expidió el Reglamento Sanitario de Etiquetado de Alimentos Procesados para el Consumo Humano (Asamblea Nacional, 2013), donde se definió el llamado semáforo alimentario como una medida de control de etiquetado de los alimentos. Este sistema reporta la cantidad de grasa, de azúcar y de sal, (NaCl) en alimentos, mediante escalas de color: verde (bajo), amarillo (medio) y rojo (alto). La medición de NaCl se realiza a partir de la determinación de cloruros empleando el método de Mohr según la norma técnica ecuatoriana NTE 51:2012, así como la AOAC 971.27 del CODEX alimentario. Todos estos procesos de análisis generan residuos de plata que tienen efectos adversos para el ser humano y efectos tóxicos para los organismos acuáticos (Padhye et al., 2023). Los residuos del método de Mohr tienen un agravante, dado que se utiliza cromato de potasio como indicador del punto final de la titulación.

En los cursos de química analítica comúnmente se estudian y aplican equilibrios de formación de precipitados en disolución acuosa (Harris et al., 2003), que se describen de forma general según la ecuación 1



Donde M representa el analito, un ion metálico, L un anión, ambos en disolución acuosa, para formar una sal poco soluble ML_n , que se conoce como precipitado (Vogel, 1960).

Al conjunto de técnicas que utilizan disoluciones estándar de ion plata (Ag^+), se les conoce como argentometrías (Patnaik, 2017), que se emplean en la determinación de: cloruros, bromuros, yoduros, cianuros entre otros analitos, puesto que el ion plata en contacto con los aniones antes mencionados forman precipitados. Los métodos de Mohr, Fajans y Volhard son las argentometrías más ampliamente difundidas y aplicadas en los cursos de docencia (Ayres, 1970).

En el análisis de rutina, así como en prácticas de docencia se generan disoluciones que contienen Ag^+ , mismas que requieren de su gestión y disposición final. De modo que, es importante contar con una metodología eficiente para el tratamiento de este tipo de residuos (Ajiwe & Anyadiegwu, 2000; Rosanoff & Hill, 1907).

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos

Amoniaco 28,1 % m/m, densidad 0,896 g/mL, nitrato de potasio 99,0 %, sulfato de potasio > 99,0 %, cloruro de sodio grado técnico, nitrato de plata > 99,8. Los reactivos se obtuvieron de JT Baker, salvo que se indique lo contrario, se usaron directamente de su contenedor sin ningún tipo de purificación o tratamiento. Agua destilada y agua tipo I, residuos de argentometrías del método de Mohr, Fajans y Volhard recolectados de ensayos de laboratorios de análisis y de docencia (residuos reales).

Equipos e insumos

Equipo de filtración al vacío con bomba

(Finetech VS08), balanza analítica (Denver Instrument, 0,1 mg), plancha de calentamiento con agitación magnética (IKA C-MAG, modelo HS7), conductímetro (Mettler Toledo) con electrodo de conductividad (Mettler, TDS/SAL), fuente de corriente directa programable DC (Yokogawa, modelo 7651), estufa (Binder, ED-S 115-UL), potenciómetro (Apera instruments, pH 800), microscopio digital, (RoHS modelo 1000X) con software Hiview2.0, potenciostato multicabinet (Metrohm Autolab, MAC 80143), con el software Nova 2.1. Soplete de gas con maguera, boquilla y mezclador de gases.

Métodos

Los ensayos electroquímicos iniciales se realizaron empleando una celda de tres electrodos compuesta de: un electrodo de carbono vítreo (CH Instruments, 3,0 mm de diámetro), una barra de grafito (2,0 mm de diámetro y 70 mm de longitud) y un electrodo de plata-sulfato de plata construido en el laboratorio (Velický et al., 2012). Los barridos potenciodiámicos se realizaron a una velocidad de barrido de 100 mV/s, entre -0,50 y 0,60 V vs Ag/Ag₂SO₄.

Para los ensayos de electrodeposición se prepararon en el laboratorio residuos argentométricos con el método de Mohr, (residuos sintéticos). A estas disoluciones, se les añadió suficiente cantidad de NaCl para garantizar la precipitación de todos los iones Ag⁺ y disminuir la solubilidad intrínseca del cloruro de plata, por efecto del ion común. El precipitado de

AgCl, se separó mediante filtración e inmediatamente se secó en una estufa a 60°C hasta obtener peso constante. El sólido así tratado se transfirió a una celda electroquímica de tres electrodos, donde se añadió, NH₃ 0,10 mol/L y KNO₃ 0,10 mol/L. Los siguientes ensayos se realizaron en una celda de dos electrodos de grafito con un área de contacto de 6,18 cm², separados entre sí 1,0 cm, y la mezcla de amoníaco y nitrato de potasio 0,10 mol/L cada uno, como medio de reacción. Esta celda contó con agitación magnética a 200 rpm y una corriente constante de 35,5 mA. El tratamiento de los residuos sintéticos se realizó durante intervalos de tiempo de 10 min, posteriormente la plata depositada se secó y pesó.

A continuación, se realizaron ensayos con la celda de dos electrodos, empleando residuos argentométricos recolectados de varios laboratorios, y las condiciones experimentales antes descritas.

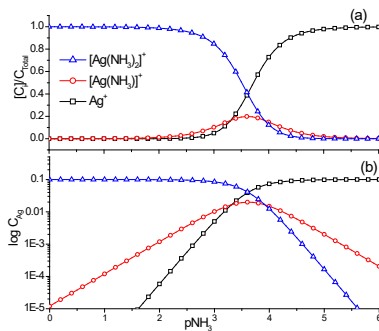
Finalmente, toda la plata obtenida, (Ag⁰) se fundió en una sola perla con la ayuda de un soplete, alimentado con una mezcla de gas licuado de petróleo (GLP) y oxígeno.

RESULTADOS

Se estudió el comportamiento del sistema AgCl-NH₃ en disolución acuosa a diferentes concentraciones de ligante, pNH₃, mediante la construcción de los diagramas de distribución de especies que se muestran en la Figura 1. Se utilizaron valores de constantes de formación sucesiva descritas en la Tabla 1 (Kotrly & Sucha, 1985).

Figura 1

Diagramas de distribución de las distintas especies de plata en disolución acuosa como una función de la cantidad de amoníaco, a) fracción, b) logarítmico


Tabla 1

Valores de las constantes de formación sucesiva, $\log\beta$ del sistema Ag^+-NH_3 , en medio acuoso

reacción	$\log\beta$
$Ag^+ + NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)]^+$	3,31
$Ag^+ + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+$	7,22

Para realizar los ensayos electroquímicos iniciales se requiere de un medio de reacción adecuado, para esto se preparó y midió la conductividad de distintas disoluciones acuosas, de amoníaco y nitrato de potasio, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

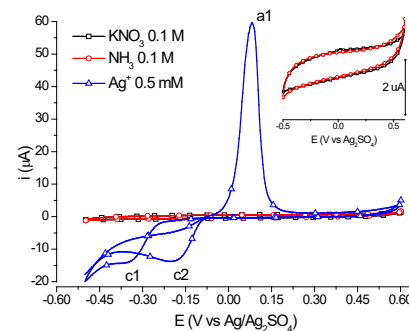
Conductividad y composición de distintas disoluciones acuosas empleadas como medio de reacción en las celdas electroquímicas

Disolución	Concentración (mol/L)	Conductividad (mS/cm)
NH_3	0,010	0,073
NH_3	0,10	0,201
KNO_3	0,10	11,6
NH_3+KNO_3	0,10 + 0,10	12,9

Se caracterizó el comportamiento electroquímico del ion plata en la celda de tres electrodos con el medio de reacción adecuado, obteniéndose la familia de voltamperogramas que se muestran en la Figura 2.

Figura 2

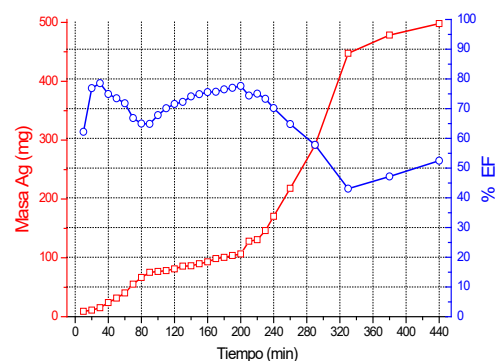
Familia de voltamperogramas de barrido triangular de 0,50 mmol/L Ag^+ y los diferentes componentes del medio de reacción, en la celda de tres electrodos



En la Figura 3, se presentan los resultados del depósito de plata en la celda de dos electrodos de donde se indica la cantidad de plata reducida, así como el porcentaje de eficiencia faradaica (% EF), como funciones del tiempo.

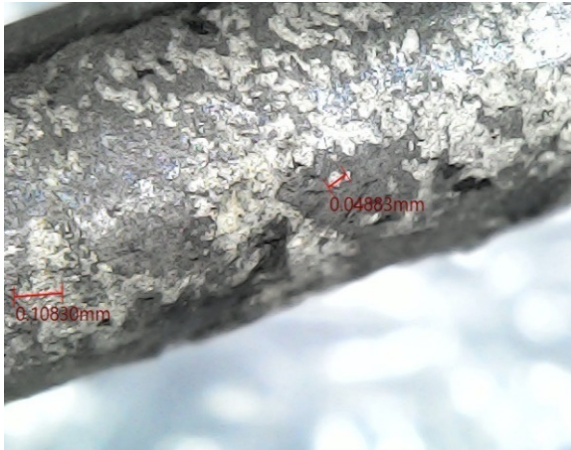
Figura 3

Masa electrodepositada y eficiencia faradaica (% EF), como funciones del tiempo, de la celda de dos electrodos empleando residuos sintéticos de Ag^+



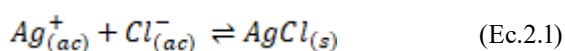
El material depositado sobre los electrodos de grafito se estudió con un microscopio digital, obteniendo micrografías como se observa en la Figura 4.

Figura 4
Micrografía del depósito de plata, de la celda de dos electrodos utilizando residuos de Ag^+ recolectados en los laboratorios

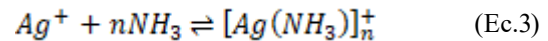
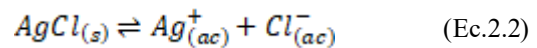


DISCUSIÓN

El método de Mohr permite la determinación de cloruros mediante la formación de cloruro de plata según la reacción descrita en la ecuación 2.1, donde el ion plata proviene de una disolución estandarizada de $AgNO_3$



El precipitado formado tiene un valor de constante de solubilidad de pK_s de 9,75, (Burgot, 2014). Los residuos del método de Mohr contienen cloruro de plata insoluble, esto permite separarlos del agua remanente mediante filtración simple. Para utilizar un método electroquímico se requiere tener en disolución la especie electroactiva (Ag^+), de modo que optó por solubilizar el precipitado de $AgCl$ con amoníaco, formando complejos solubles como se describe en la ecuación 3.



El amoníaco se seleccionó como ligante debido a su bajo costo, facilidad de adquisición y baja toxicidad (Fox et al., 2002). Para determinar la cantidad adecuada de amoníaco a emplearse se construyó el diagrama de distribución de especies presentado en la Figura 1 (Bianchi & Garcia-España, 1999). Se calcula la fracción de cada una de las especies definida como la razón de la especie en estudio entre la sumatoria de todas las especies posibles según la ecuación 4.

$$f_{Ag} = \frac{[Ag^+]}{C} \quad (Ec.4)$$

La concentración de cada una de las especies acomplejadas se determina a partir del valor de la constante de formación sucesiva β , que se define según la ecuación 5 y cuyos valores se reportan en la Tabla 1.

$$\beta_n = \frac{[Ag(NH_3)_n]^+}{[Ag^+][NH_3]^n} \quad (Ec.5)$$

Los valores de las fracciones de cada especie acomplejada o libre se grafican como una función de la cantidad de amoníaco, como se observa en la Figura 1.a. La deducción completa se presenta en el anexo 1 de la información de soporte. En la Figura 1, se observa los diagramas de distribución de especies de cobre con amoníaco, a una concentración de amoníaco de 0,010 mol/L ($pNH_3 = 2,00$) se tiene una fracción de 0,988 y 0,0119 para los complejos diamino plata(I) y aminoplatina (I) respectivamente, así como una concentración de $[Ag(NH_3)_2]^+$

= 0,0988 mol/L, lo que indica que prácticamente todos los iones están en forma de diaminocomplejo. Sin embargo, una disolución acuosa de esta concentración tiene una conductividad de 73,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que resulta muy baja para usarse como medio de reacción en un electrodeposición. Se aumentó en un factor de 10 la concentración de amoníaco del medio de reacción, pero la conductividad aumentó solamente 2,75 veces, que según los autores es una conductividad aun baja ver Tabla 1. Se decidió añadir a la disolución de amoníaco, nitrato de potasio alcanzando una conductividad de 12,9 mS/cm^2 , esta sal actuará como electrolito soporte para los procesos de intercambio electrónico eliminando en transporte de materia por migración (Bard & Faulkner, 2001). El estudio de los parámetros electroquímicos para reducir iones plata, se realizó con un potencióstato en una celda de tres electrodos mediante barridos potenciodinámicos, Figura 2. En el inserto de esa figura se presentan los registros i vs. E correspondientes a disoluciones de: nitrato de potasio, (línea negra, cuadro), nitrato de potasio + amoníaco (línea roja, círculo). Estos registros corresponden a los blancos del llamado medio electrolítico.

Se observa la ausencia de señales farádicas solamente procesos capacitivos en todo el intervalo de potencial (Bard & Faulkner, 2001). En la Figura 2 se observa el voltamperograma correspondiente a 0,5 mmol/L de Ag^+ , que concuerda con los reportes de (Kaniyankandy et al., 2007). En el voltamperograma, en el primer segmento de reducción se observa un pico catódico c1 a -0,365 V vs $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ correspondiente al depósito de plata sobre

carbono vítreo, como se observa en la figura S1. En el siguiente segmento se observa un pico a1 a 82,0 mV vs $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ debido al proceso de redisolución anódica, este pico simétrico de característica Gaussiana es típico de los procesos de intercambio electrónico de una fase depositada sobre la superficie, proceso de redisolución anódica ver Figura S1 (Hasan et al., 2020). En el tercer segmento, se observa un pico c2 a -0,205 V vs $\text{Ag}/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ que describe la reducción del ion plata según la siguiente reacción:



El cambio de valor de los potenciales de reducción c1 y c2, se atribuye al hecho que en el primer segmento se deposita plata sobre carbono vítreo mientras que en el tercer segmento el depósito se realiza sobre núcleos de plata previamente obtenidos que tienen un efecto catalítico reduciendo el potencial de depósito en cerca de 160 mV (Isse et al., 2006). A partir de estos voltamperogramas y el área geométrica del electrodo de trabajo, se determinó una densidad de corriente de 212 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Con los valores obtenidos en la serie de experimentos anterior se trataron 653 mg de los residuos sintéticos de cloruro de plata, que se solubilizaron en una disolución de amoníaco, con nitrato de potasio de concentración 0,1 mol/L para cada electrolito. Esta disolución se colocó en una celda de dos electrodos donde se aplicó una corriente constante de 35,5 mA. El depósito se realizó forzando la convección del medio con un agitador magnético durante intervalos de tiempo de 10 min; en la Figura S2 se presenta una fotografía de los depósitos. La masa de

plata depositada como una función del tiempo, se presenta en la Figura 3, en esta figura también se presenta la eficiencia o rendimiento Faradaico (% EF), que se describe como la relación entre la masa experimental y teórica que se determinó según las ecuaciones 7 y 8 (Bard et al., 2012; Dutta et al., 2024).

$$Q = it = \frac{nFm_{teo}}{M} \quad (Ec.7)$$

$$\%EF = \frac{m_{exp}}{m_{teo}} * 100 \quad (Ec.8)$$

Donde: Q es la cantidad de carga, i es la corriente que circula por la celda, n el número de electrones, para la reducción del ion plata tiene un valor de 1, F es la constante de Faraday, M la masa molar de plata 107,87 g/mol, m_{teo} y m_{exp} son las masas teórica y experimental respectivamente. Después de 440 min de depósito se recolectó 492 mg de plata metálica que corresponde a 99,6 % de conversión desde plata complejada $[Ag(NH_3)_2]^+$, entre 0 y 240 min se observa que la eficiencia faradaica es alrededor de 70 %. La disminución en la eficiencia faradaica que se observa a tiempos mayores a 240 min se atribuye a la disminución en la concentración de iones plata en la celda, sugiriendo la posibilidad de trabajar en lotes, donde se pueda regenerar la cantidad de iones plata.

Empleando las condiciones experimentales y datos encontrados en los ensayos con la celda de dos electrodos, se trataron 1,0953 g de residuos de los laboratorios de análisis, obteniendo 1,0217 g de plata metálica electrolítica que corresponde a una conversión en masa de 93,3 %. La disminución en la conversión respecto

de los residuos sintéticos se atribuye a la presencia de compuestos como fluoresceína, así como de otros iones por ejemplo sulfocianuros, hierro, cromatos entre otros que intercambian electrones generando reacciones secundarias o parasitarias que disminuyen la eficiencia faradaica (van Genuchten et al., 2017). En la Figura 4 se observan estructuras nanométricas de alrededor de 490 nm de diámetro, densamente empacadas correspondiente a un proceso de electrodeposición de corriente constante (Moreno Hernandez et al., 2021).

El material metálico depositado se consolidó y posteriormente se fundió en un crisol para obtener una pieza sólida, misma que posee brillo metálico como se observa en la Figura S3, del material de soporte.

En el trabajo de (Wachter & Štefko, 2021) se reportó un rendimiento del 61,41 % en la obtención electrolítica de plata, con el uso de una celda de acero inoxidable y empleando disoluciones de ácido nítrico como medio. Otros métodos para la recuperación de plata incluyen precipitación, remplazamiento metálico (Sreeremya, 2024), separación y concentración con membranas de emulsión líquida (Kishan S. Shukla, 2013), entre otros. Sin embargo, debido a la alta pureza del producto final obtenido, se prefiere utilizar métodos electroquímicos (Ajiwe & Anyadiegwu, 2000).

CONCLUSIÓN

En este trabajo se estableció una metodología para el tratamiento de residuos argentométricos mediante técnicas electroquímicas. Se formó una mezcla de nitrato y amoníaco como medio

de reacción adecuado para solubilizar en agua el cloruro de plata proveniente de los residuos de análisis de cloruros. También se estableció y probó una densidad de corriente de 5,70 mA/cm², para la reducción de plata. La metodología presentada alcanzó un porcentaje de alto de conversión, motivo por el cual, se plantea seguir con la investigación a fin de escalar el procedimiento, con celdas electrolíticas de trabajo en batch.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Dr. Pablo Bonilla por facilitar los insumos necesarios para fundir de los depósitos de plata electrolítica y a la Facultad de Ciencias Químicas de la UCE por el espacio y los reactivos.

LISTA DE REFERENCIAS

- Ajiwe, V. I. E., & Anyadiegwu, I. E. (2000). Recovery of silver from industrial wastes, cassava solution effects. *Separation and Purification Technology*, 18(2), 89–92. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(99\)00048-9](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(99)00048-9)
- Asamblea Nacional. (2013, November 29). *Reglamento de etiquetado permitirá seleccionar alimentos saludables*. Control Sanitario.
- Ayres, G. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo* (2da ed.). Ediciones del Castillo.
- Bard, A. J., & Faulkner, L. (2001). *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications* (2nd ed.). Jhon Willey & Sons, Inc.
- Bard, A. J., Inzelt, G., & Scholz, F. (2012). *Electrochemical Dictionary*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29551-5>

doi.org/10.1007/978-3-642-29551-5

- Bianchi, A., & Garcia-España, E. (1999). The Use of Calculated Species Distribution Diagrams to Analyze Thermodynamic Selectivity. *Journal of Chemical Education*, 76(12), 1727. <https://doi.org/10.1021/ed076p1727>
- Burgot, J.-L. (2014). *Ionic Equilibria in Analytical Chemistry* (2012th ed.). Springer.
- Dutta, N., Bagchi, D., Chawla, G., & Peter, S. C. (2024). A Guideline to Determine Faradaic Efficiency in Electrochemical CO₂ Reduction. *ACS Energy Letters*, 9(1), 323–328. <https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.3c02362>
- Fox, B. S., Beyer, M. K., & Bondybey, V. E. (2002). Coordination Chemistry of Silver Cations. *Journal of the American Chemical Society*, 124(45), 13613–13623. <https://doi.org/10.1021/ja0176604>
- Harris, D., Berenguer Vicente, & Berenguer Ángel. (2003). *Análisis Químico Cuantitativo* (3rd ed.). Editorial Reverté.
- Hasan, Md. M., Rakib, R. H., Hasnat, M. A., & Nagao, Y. (2020). Electroless Deposition of Silver Dendrite Nanostructure onto Glassy Carbon Electrode and Its Electrocatalytic Activity for Ascorbic Acid Oxidation. *ACS Applied Energy Materials*, 3(3), 2907–2915. <https://doi.org/10.1021/acsaem.9b02513>
- Isse, A. A., Gottardello, S., Maccato, C., & Gennaro, A. (2006). Silver nanoparticles deposited on glassy carbon. Electrocatalytic activity

- for reduction of benzyl chloride. *Electrochemistry Communications*, 8(11), 1707–1712. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2006.08.001>
- Kaniyankandy, S., Nuwad, J., Thinaharan, C., Dey, G. K., & Pillai, C. G. S. (2007). Electrodeposition of silver nanodendrites. *Nanotechnology*, 18(12), 125610. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/18/12/125610>
- Kishan S. Shukla. (2013). *Extraction of Silver from Photographic Waste*. Kankeshwaridevi Institute of Technology.
- Kotrlý, S., & Sucha, L. (1985). *Handbook of Chemical Equilibria in Analytical Chemistry*. Ellis Horwood series in analytical chemistry.
- Moreno Hernandez, R., Crespo-Yapur, D. A., & Videia, M. (2021). Study of the Electrodeposition of Silver Nanoparticles on Glassy Carbon by Galvanostatic Control. *ECS Transactions*, 101(1), 415–423. <https://doi.org/10.1149/10101.0415ecst>
- Padhye, L. P., Jasemizad, T., Bolan, S., Tsyusko, O. V., Unrine, J. M., Biswal, B. K., Balasubramanian, R., Zhang, Y., Zhang, T., Zhao, J., Li, Y., Rinklebe, J., Wang, H., Siddique, K. H. M., & Bolan, N. (2023). Silver contamination and its toxicity and risk management in terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 871, 161926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161926>
- Patnaik, P. (2017). *Handbook of Environmental Analysis*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315151946>
- Rosanoff, M. A., & Hill, A. E. (1907). A Necessary Modification of Volhard's Method for the Determination of Chlorides. *Journal of the American Chemical Society*, 29(3), 269–275. <https://doi.org/10.1021/ja01957a003>
- Sreeremya, S. (2024). Recovery of Silver-Review. *International Journal of Advance Research and Development*, 1(2).
- van Genuchten, C. M., Dalby, K. N., Ceccato, M., Stipp, S. L. S., & Dideriksen, K. (2017). Factors affecting the Faradaic efficiency of Fe(0) electrocoagulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4958–4968. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.008>
- Velický, M., Tam, K. Y., & Dryfe, R. A. W. (2012). On the stability of the silver/silver sulfate reference electrode. *Analytical Methods*, 4(5), 1207. <https://doi.org/10.1039/c2ay00011c>
- Vogel, I. A. (1960). *Química Analítica Cuantitativa* (2da ed.). Kapelus.
- Wachter, I., & Štefko, T. (2021). Electrochemical Recovery of Silver Using a Simple Cell. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 29(48), 158–166. <https://doi.org/10.2478/rput-2021-0017>