

Diseño de electrolitos biodegradables y su aplicación en celdas de Daniell Design of eco-friendly electrolytes and their application in Daniell cells

J. Reyes Álvarez ^{a,*}, L.H. Mendoza-Huizar ^a

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 4218, Mineral de la Reforma, Hidalgo México

Resumen

En este trabajo se diseñaron y caracterizaron electrolitos biodegradables a partir de especies amigables con el medio ambiente, tales como bitartrato de potasio, *Camellia sinensis* y *Mentha spicata*, para su aplicación en celdas tipo Daniell. Los resultados obtenidos muestran una alta estabilidad de los extractos herbales en la generación de voltaje a lo largo del tiempo. En cuanto a la conductividad iónica, se registraron valores de 262 μS para *Camellia sinensis* a una concentración de 15.048 g L^{-1} y de 800 μS para *Mentha spicata* a 11.886 g L^{-1} . Por otro lado, el bitartrato de potasio alcanzó una conductividad de 9.5 mS a una concentración de 0.07 M, superando significativamente los valores obtenidos con los extractos herbales. Sin embargo, la estabilidad del electrolito de bitartrato de potasio no fue comparable a la de los extractos, debido a la presencia de picos y caídas de potencial durante su descarga.

Palabras Clave: Electrolito, Bitartrato de potasio, *Camellia sinensis*, *Mentha spicata*, Biodegradable

Abstract

In this study, eco-friendly electrolytes were designed and characterized using environmentally friendly species such as potassium bitartrate, *Camellia sinensis*, and *Mentha spicata*, for application in Daniell-type cells. The results obtained show high stability of the herbal extracts in voltage generation over time. Regarding ionic conductivity, values of 262 μS were recorded for *Camellia sinensis* at a concentration of 15.048 g L^{-1} , and 800 μS for *Mentha spicata* at 11.886 g L^{-1} . On the other hand, potassium bitartrate reached a conductivity of 9.5 mS at a concentration of 0.07 M, significantly surpassing the values obtained with the herbal extracts. However, the stability of the potassium bitartrate electrolyte was not comparable to that of the extracts, due to the presence of peaks and drops in potential during discharge.

Keywords: Electrolyte, Potassium Bitartrate, *Camellia sinensis*, *Mentha spicata*, eco-friendly

1. Introducción

La generación de energía eléctrica por vía electroquímica requiere el empleo de celdas del tipo galvánico (Sánchez & Pérez, 2015). Estas celdas también llamadas pilas, están conformadas principalmente por dos electrodos: un ánodo, electrodo donde se pierden electrones durante la oxidación, y un cátodo, encargado de la ganancia de electrones en la reducción (Winterbone & Turan, 2015), además de soluciones electrolíticas y un puente salino.

En este sentido, las soluciones electrolíticas constituyen un componente esencial en cualquier tipo de celda

electroquímica, incluyendo las de plomo-ácido, níquel-hidruro, zinc- MnO_2 y níquel-cadmio, debido a su función fundamental en el transporte de iones hacia los electrodos involucrados en la reacción electroquímica. Sin embargo, a pesar de su importancia funcional, los electrolitos tradicionales utilizados en celdas galvánicas, tales como NH_4Cl , KOH , H_2SO_4 , HCl , NaOH y diversas sales metálicas, resultan altamente nocivos para la salud y el medio ambiente (Sánchez Grandados, 2001). Compuestos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) en baterías de plomo-ácido o el hidróxido de potasio (KOH) en pilas alcalinas son corrosivos y tóxicos, y su liberación al medio ambiente puede alterar el pH del suelo

*Autor para la correspondencia: re401434@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: re401434@uaeh.edu.mx (Jesus Reyes Alvarez), hhuizar@uaeh.edu.mx (Luis Humberto Mendoza Huizar)

y del agua, afectando la biodiversidad y la actividad microbiana. Además, los electrolitos facilitan la movilización de iones de metales pesados presentes en los electrodos, como plomo, cadmio, mercurio, zinc y manganeso, aumentando su solubilidad y disponibilidad para la absorción por organismos vivos, lo que contribuye a la bioacumulación y toxicidad en la cadena trófica (Cuenca Palaguache & Gomezcoello Vasquez, 2021). En este sentido, se ha reportado que una pila alcalina puede contaminar hasta 175,000 L de agua (Jorge Ronco et al., 2021) y contribuir a la infertilidad del suelo (Cuenca Palaguache & Gomezcoello Vasquez, 2021). Por lo tanto, el electrolito no solo cumple una función electroquímica, sino que también puede llegar a actuar como un agente contaminante (Sánchez Grandados, 2001) (Ramírez Peña, 2014) (Jorge Ronco et al., 2021). Lo anterior adquiere relevancia científica, ambiental, política y social, especialmente considerando el creciente consumo de pilas y baterías. Por ejemplo, en México se estima que se consumen aproximadamente 450 millones de pilas anualmente (Rojas y Urquiza, 2008). Este alto consumo ha motivado diversas investigaciones orientadas al desarrollo de electrolitos más sostenibles y ambientalmente amigables, capaces de reemplazar compuestos corrosivos y metales pesados. En particular, se ha puesto énfasis en el diseño de electrolitos basados en especies biodegradables, que prometen reducir el impacto ecológico sin comprometer la eficiencia electroquímica de las celdas galvánicas. Reportes en la literatura relacionados con esta línea de investigación como el de (Chowdhury, 2025) proponen el uso de un electrolito a base de dimetilsulfóxido (DMSO) con un soporte de nitrato de zinc (ZnNO_3) y un electrolito de dimetilformamida (DMF) con un soporte de triflato de zinc ($\text{Zn}(\text{OTf})_2$), mismos que obtuvieron resultados prometedores en cuanto a la conductividad exhibida. Por otro lado, (Raić et al., 2024) examinaron electrolitos basados en sistemas aluminio-amida con un cátodo de polisulfuro de antraquinona que mostraron resultados potenciales para su uso como electrolito fuerte. Sin embargo, a pesar de los avances logrados hasta la fecha, los reportes sobre electrolitos biodegradables para su uso en la fabricación de baterías siguen siendo limitados. En vista de lo anterior, el presente trabajo propone el diseño de electrolitos biodegradables a partir de extractos de productos naturales como; bitartrato de potasio, por su uso en síntesis electroquímica de películas delgadas de cobre (Hernández & Mendoza, 2018). También se analizará *Camellia sinensis*, ya que provee ácidos fenólicos, flavonoides, entre otros que le proveen propiedades antioxidantes (Fernandes et al., 2023), y *Mentha spicata*, debido a su composición de la cual destacan los fenoles, flavonoides y lignanos (Mahendran et al., 2021).

2. Metodología

Los experimentos realizados en el presente trabajo se dividieron en dos etapas principales. En la primera etapa, se evaluó la conductividad (k) de los electrolitos propuestos utilizando un medidor de conductividad OAKTON PC700. En la segunda etapa, los electrolitos seleccionados se emplearon en un sistema electroquímico compuesto por una batería formada por cuatro celdas de Daniell conectadas entre sí, y contenidas en un recipiente de polipropileno. Todas las celdas fueron construidas en nuestro laboratorio. En cada celda se utilizaron láminas zinc y cobre (con una pureza del 100 %) como ánodo y cátodo, respectivamente. Cada lámina de cobre

y zinc presentó un área de contacto con el electrolito de 10 cm^2 , mientras que la separación entre ambos electrodos fue de 2 cm. La batería se sometió a una resistencia de carga constante de 1 $\text{M}\Omega$. Durante la descarga, se registró la variación del potencial en función del tiempo mediante un multímetro digital marca Neufday, modelo XL830L, con el propósito de obtener la curva de descarga correspondiente. Este análisis permitió evaluar la eficiencia, estabilidad y desempeño electroquímico del sistema, así como determinar la respuesta conjunta de las cuatro celdas bajo condiciones de carga. A excepción de los extractos herbales provenientes de productos naturales, todos los demás compuestos utilizados fueron de grado reactivo.

2.1 Preparación de electrolitos

Los electrolitos se formularon a partir de tres compuestos principales: bitartrato de potasio y extractos herbales de *Camellia sinensis* y *Mentha spicata*. La selección de estos componentes responde tanto a sus propiedades fisicoquímicas como a su disponibilidad y bajo impacto ambiental. El bitartrato de potasio actúa como una fuente estable de iones, lo que contribuye a la conductividad del electrolito. Por su parte, los extractos herbales seleccionados aportan compuestos bioactivos que pueden mejorar la conductividad, estabilidad, la capacidad antioxidante y el rendimiento general del sistema, además de ofrecer una alternativa más sostenible frente a los electrolitos convencionales basados en sustancias sintéticas. Los electrolitos a base de bitartrato de potasio (CAS: 868-14-4) se prepararon disolviendo el reactivo en agua desionizada previamente calentada a 100 °C y sometida a agitación constante hasta lograr su completa solubilización. Posteriormente, la solución se dejó enfriar y se aforó para obtener una concentración final de 0.1331 M. La preparación de los extractos herbales comenzó con el pesado de hojas y ramas secas de cada especie, obteniéndose en promedio 1.881 g para *Camellia sinensis* y 1.698 g para *Mentha spicata*. Una vez alcanzado el peso requerido, se añadieron 250 mL de agua desionizada en ebullición y la mezcla se dejó reposar durante 10 minutos. Posteriormente, se realizó la filtración y la solución obtenida se empleó para preparar las soluciones madre. A partir de estas soluciones madre se llevaron a cabo las diluciones indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones (M) de bitartrato de potasio y extractos herbales utilizadas en las soluciones experimentales

Dilución	Bitartrato de potasio / M	<i>Camellia sinensis</i> / M	<i>Mentha spicata</i> /M
1	0.01	1.88	1.61
2	0.02	3.16	3.22
3	0.03	5.64	4.83
4	0.04	7.52	6.44
5	0.05	9.41	8.06
6	0.06	11.24	9.67
7	0.07	13.17	11.28
8	0.08	15.05	12.84
9	0.09		
10	0.1		

Las conductividades medidas para cada disolución se analizaron en términos del concepto de electrolitos débiles (ecuación de Ostwald, ec. 1) y fuertes (ecuación de Kohlrausch, ec. 2):

$$\frac{1}{\Lambda_m} = \frac{1}{\Lambda^\circ} + \left(\frac{1}{(\Lambda^\circ)^2 K_{eq}} \right) \Lambda_m C \quad (1)$$

$$\Lambda_m = \Lambda^\circ - K_k C^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

En estas ecuaciones Λ_m corresponde a la conductividad molar, Λ° es la conductividad molar a dilución infinita, K_{eq} corresponde a la constante de equilibrio, C a la concentración, y K_k es la constante de Kohlrausch

2.2 Curvas de descarga de las celdas de Daniell

Con la intención de evaluar el desempeño de la batería construida a partir de celdas tipo Daniell, ver Figura 1, y utilizando los electrolitos analizados en este trabajo, se determinaron sus curvas de descarga. Este análisis permitió observar cómo varía el voltaje de la batería a lo largo del tiempo bajo una carga constante de 1 M Ω , proporcionando información clave sobre su capacidad real, estabilidad y eficiencia electroquímica.



Figura 1. Celdas de Daniell utilizada en el presente trabajo.

3. Resultados y discusiones

3.1. Análisis de capacidad conductora de los electrolitos

3.2. Análisis de la conductividad del bitartrato de potasio

En la Figura 2 se muestra la variación de la conductividad con la concentración de las disoluciones de bitartrato de potasio. Se observa que, al aumentar la concentración, la

conductividad incrementa de manera progresiva, alcanzando un valor máximo de 9.5 mS a 0.07 M. Este comportamiento se debe a que, en concentraciones bajas y moderadas, la cantidad de iones presentes en la solución aumenta, lo que facilita el transporte de carga y, por lo tanto, eleva la conductividad. Sin embargo, al superar la concentración de 0.07 M, la conductividad comienza a disminuir, lo que indica que la movilidad iónica se ve limitada. Este fenómeno puede atribuirse a la interacción entre iones en soluciones concentradas, que provoca efectos como el aumento de la viscosidad y la formación de pares iónicos, reduciendo la capacidad de los iones para moverse libremente y, por lo tanto, disminuyendo la conductividad de la solución. Bajo las condiciones estudiadas, se observa que la conductividad máxima se alcanza a 0.07 M. No obstante, es importante destacar que, debido a que el bitartrato es parcialmente soluble en agua, su estabilidad en solución se mantiene mejor dentro del rango de concentración de 0.03 M a 0.06 M. Aunque en este intervalo no se alcanza la conductividad máxima, resulta relevante considerar el equilibrio de solubilidad del electrolito, ya que en soluciones más diluidas el manejo y la preparación de las disoluciones de bitartrato de potasio son más estables.

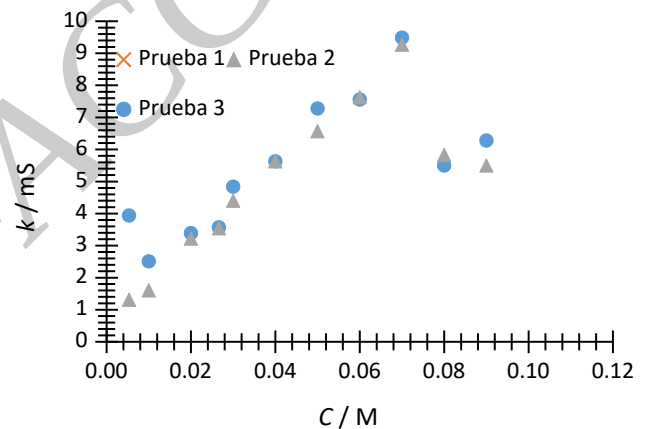


Figura 2. Variación de la conductividad (mS) en función de la concentración (M) de bitartrato de potasio, mostrando un valor máximo a 0.07 M.

Los datos reportados en la Figura 2 se analizaron de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2). Las gráficas de $1/\Lambda_m$ vs $\Lambda_m C$ (Ver Figura 3) y de Λ_m vs $\sqrt{C}$ (Ver Figura 4), no mostraron el comportamiento lineal predicho por las ecuaciones de Ostwald (ec. 1) ni de Kohlrausch (ec. 2), respectivamente. Esta desviación puede atribuirse, en primer lugar, a la solubilidad limitada del bitartrato de potasio, lo que impide que la concentración real de iones en solución aumente proporcionalmente a la concentración preparada, afectando de manera directa la conductividad medida. A concentraciones superiores a 0.07 M, es probable que se produzca un incremento en la viscosidad de la solución y una mayor interacción iónica, factores que reducen la movilidad de los iones y generan desviaciones respecto al comportamiento ideal descrito por Kohlrausch (Ball, 2004). Por otro lado, el hecho de que el sistema no siga la ecuación de Ostwald indica que el bitartrato de potasio no presenta el comportamiento ideal de un electrolito débil con un equilibrio de disociación simple del tipo $AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$. Por lo que es probable que, en

este caso, la disociación no sea simple ni completa, y que se presenten equilibrios secundarios. Como consecuencia, la relación entre la conductividad molar, el grado de disociación y la concentración no refleja el comportamiento ideal que predice la ecuación de Ostwald.

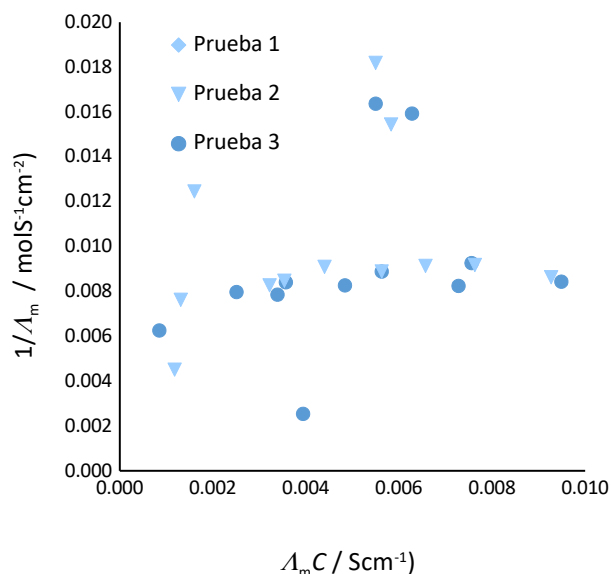


Figura 2. Gráfica de $1/\Lambda_m$ vs $\Lambda_m C$ de acuerdo a la ecuación de Ostwald (ec. 1) para el caso del bitartrato de potasio.

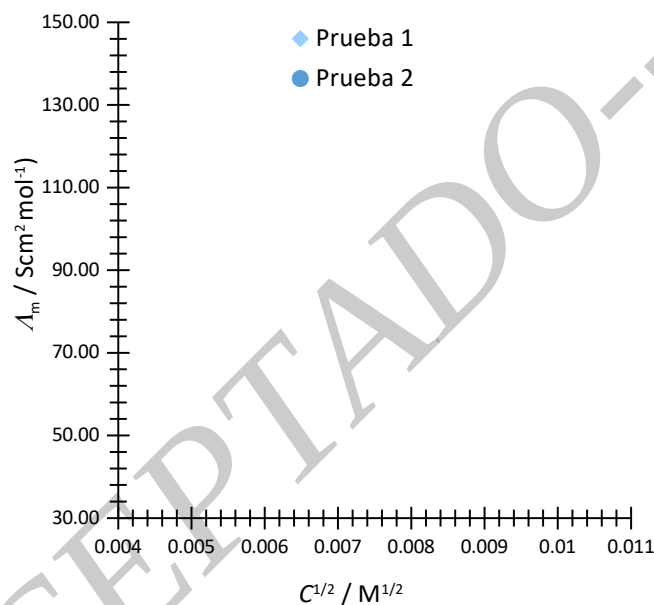


Figura 4. Gráfica de Λ_m vs $\sqrt{C}$ de acuerdo con la ecuación de Kohlrausch (ec. 2) para el caso del bitartrato de potasio.

3.2.1. Análisis de la conductividad del electrolito formulado a base de *Camellia Sinensis* y *Mentha spicata*

La variación de la conductividad con la concentración de los electrolitos formulados a partir de *Camellia sinensis* y *Mentha spicata* se presenta en la Figura 5. En el caso de *Camellia sinensis*, se observa una conductividad máxima de 262 μS a una concentración de 15.048 $g L^{-1}$, mientras que para

el electrolito formulado con *Mentha spicata* se registra una conductividad máxima de 800 μS a 11.886 $g L^{-1}$. Dentro del rango de concentraciones estudiado para ambos extractos, no se identificó un punto de conductividad máxima, ya que la conductividad aumentó conforme incrementó la concentración. Aquí, es importante considerar que estos extractos corresponden a una mezcla compleja de compuestos, por lo que resulta difícil clasificarlos con precisión como electrolitos fuertes o débiles. Esto se corroboró al aplicar las ecuaciones (1) y (2) (véanse Figuras 6 y 7), donde el comportamiento lineal previsto por los modelos de Ostwald y de Kohlrausch no se cumplió. Esta desviación se debe a que algunos de los componentes del extracto pueden disociarse completamente, mientras que otros no presentan dicha capacidad.

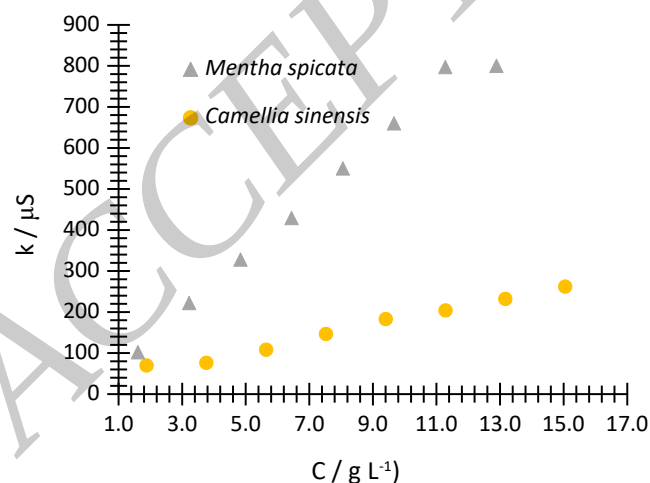


Figura 3 Conductividad (μS) vs Concentración ($g L^{-1}$) para las especies *Mentha spicata* y *Camellia sinensis*.

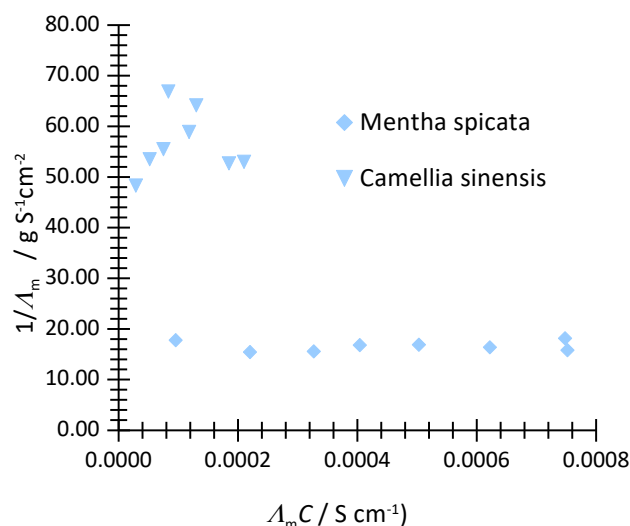


Figura 4 Gráfica de $1/\Lambda_m$ vs $\Lambda_m C$ de acuerdo a la ecuación de Ostwald (ec. 1) para el caso de *Mentha spicata* y *Camellia sinensis*.

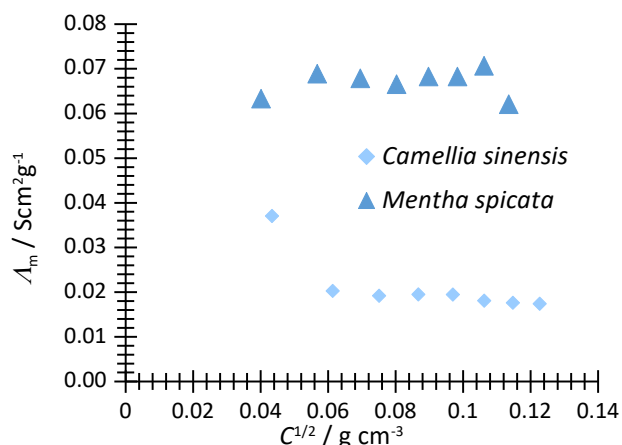


Figura 5. Gráfica de Λ_m vs $\sqrt{C}$ de acuerdo con la ecuación de Kohlrausch (ec. 2) para *Mentha spicata* y *Camellia sinensis*.

3.3. Curvas de descarga de la celda de Daniell con los electrolitos propuestos

Para determinar la estabilidad de las celdas tipo Daniell con los electrolitos propuestos bajo condiciones de descarga de 1 MΩ, se prepararon tres sistemas. En uno se añadió bitartrato de potasio 0.05 M, en otro un electrolito derivado de *Camellia sinensis* con una concentración de 15.05 g L⁻¹, y en el tercero, un electrolito a base de *Mentha spicata* en una concentración de 12.89 g L⁻¹, preparados según el procedimiento descrito en la metodología. Se midió el voltaje de la batería cada 10 minutos durante un periodo de 3 semanas, y los resultados se reportan en la Figura 8. Durante la experimentación con los distintos electrolitos analizados (bitartrato de potasio, *Camellia sinensis* y *Mentha spicata*), ver Figura 8, se observaron comportamientos contrastantes en cuanto al rendimiento voltaico de las celdas. En el caso del extracto de *Camellia sinensis*, los valores de potencial registrados oscilaron entre un máximo de 4.24 V y un mínimo de 2.64 V. Dentro de este intervalo, se identificó un rango de estabilidad comprendido aproximadamente entre 3.5 V y 3 V. A lo largo de las mediciones, no se detectaron picos pronunciados ni caídas abruptas de potencial, lo que indica un comportamiento relativamente constante del sistema. En contraste, el extracto de *Mentha spicata* mostró una dinámica diferente, alcanzando un valor máximo de 3.59 V, mientras que el mínimo descendió hasta 1.42 V. A diferencia de *Camellia sinensis*, en este caso se observó una caída pronunciada del potencial, seguida de un periodo de estabilidad. Además, se registraron picos anómalos en el comportamiento del voltaje, caracterizados por incrementos inesperados del potencial, seguidos de su posterior descenso. Este fenómeno podría atribuirse a factores como variaciones en la temperatura ambiental o posibles reacciones redox que ocurren con el paso del tiempo. Finalmente, la solución de bitartrato de potasio, aunque presentó picos en el potencial, mostró un rango de estabilidad cercano a los 3.5 V. Los cambios bruscos observados podrían estar relacionados con fluctuaciones en la solubilidad del reactivo: a medida que disminuye su solubilidad en el medio, también lo hacen los valores de potencial registrados. En conjunto, estos resultados evidencian cómo la naturaleza

química y física de cada especie influye de manera significativa en el comportamiento electroquímico de las celdas, tanto en términos de estabilidad como de variabilidad a lo largo del tiempo.

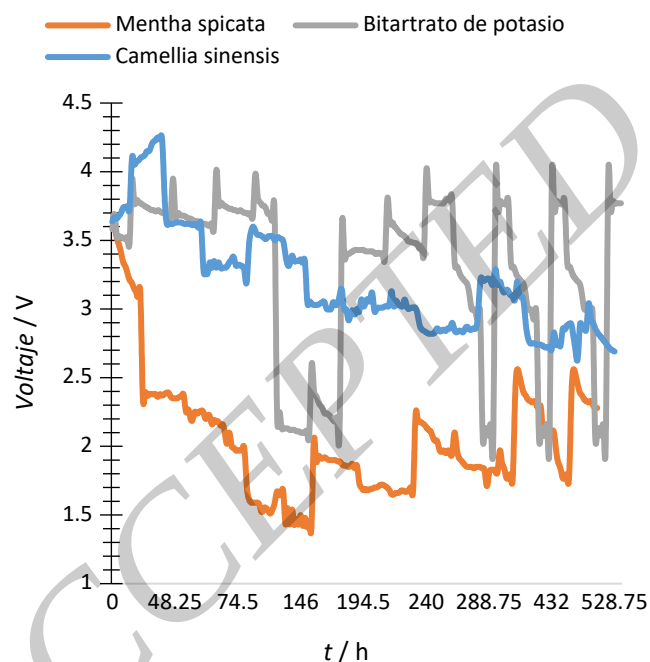


Figura 6 Curva de descarga de una batería formada de cuatro celdas tipo Daniell con los electrolitos indicados.

4. Conclusiones

Se evaluaron las conductividades de los electrolitos formulados a partir de bitartrato de potasio y los extractos herbales de *Camellia sinensis* y *Mentha spicata*, bajo diversas concentraciones. El bitartrato de potasio mostró una conductividad máxima de 9.5 mS a 0.07 M, mientras que los extractos herbales mostraron un incremento continuo de la conductividad con la concentración. Sin embargo, no se observó el comportamiento lineal esperado según los modelos clásicos de disociación de electrolitos (Ostwald y Kohlrausch), lo que indica procesos de disociación más complejos en los extractos naturales. Las pruebas con celdas tipo Daniell revelaron comportamientos de voltaje variables para los diferentes electrolitos. El extracto de *Camellia sinensis* mostró un rendimiento estable, con un rango de voltaje entre 2.64 V y 4.24 V, mientras que *Mentha spicata* mostró fluctuaciones erráticas en el voltaje, lo cual podría atribuirse a factores como la temperatura ambiental o reacciones redox a lo largo del tiempo. El electrolito de bitartrato de potasio mostró un voltaje relativamente estable, aunque se observaron fluctuaciones a medida que disminuía su solubilidad.

5. Referencias

Ball, D. W. (David W. (2004). *Fisicoquímica*. Cengage Learning. <https://latam.casadellibro.com/libro-fisicoquimica/9789706863287/963421>

- Chowdhury, M. Z. (2025). Insight into organic electrolytes for rechargeable Zn-air battery. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 977(December 2024), 118855.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2024.118855>
- Cuenca Palaguache, J. J., & Gomezcoello Vasquez, J. L. (2021). *Diagnóstico De La Problemática Ambiental Causada Por El Desecho De Las Baterías Del Parque Automotor De La Ciudad De Azogues*. 1–58.
- Fernandes, I. de A. A., Maciel, G. M., Bortolini, D. G., Pedro, A. C., Rubio, F. T. V., de Carvalho, K. Q., & Haminiuk, C. W. I. (2023). The bitter side of teas: Pesticide residues and their impact on human health. *Food and Chemical Toxicology*, 179(May).
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113955>
- Hernández, M., & Mendoza, L. . (2018). Estudio voltamperométrico sobre el proceso de electrodeposición de cobre sobre oro policristalino. Influencia de la concentración del bitartrato de potasio como electrolito de soporte. *TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES*, 5, 182–187.
- Jorge Ronco, A. J., Dubois, F., Falco, L., Fuentes, C. A., Gallegos, M. V, Peluso, M. A., & Sambeth, J. E. (2021). Un problema ambiental serio: el reciclado de pilas y baterías. *Ambiente En Diálogo*, 2, 37–51.
- Mahendran, G., Verma, S. K., & Rahman, L. U. (2021). The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278(June), 114266.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114266>
- Raić, M., Lužanin, O., Jerman, I., Dominko, R., & Bitenc, J. (2024). Amide-based Al electrolytes and their application in Al metal anode-organic batteries. *Journal of Power Sources*, 624(October), 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235575>
- Ramírez Peña, S. (2014). Diagnóstico De La Problemática Ambiental Causada Por El Desecho De Las Baterías Del Parque Automotor Del Cantón Cuenca. In *Universidad Del Azuay*. Universidad Del Azuay.
- Sánchez Grandados, L. (2001). Baterías Y Pilas Electroquímicas: Una fuente de energía alternativa con futuro. In *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (Vol. 2, p. 11).
- Sánchez, J. A. G., & Pérez, L. R. D. (2015). Introducción a Electroquímica. *British Journal of Cancer*, 25(3), 206–222.
- Winterbone, D., & Turan, A. (2015). Fuel cells. In *Advanced Thermodynamics for Engineers* (2nd ed., Vol. 1, pp. 497–526).