

Comportamiento electroquímico de la amlodipina

Electrochemical behavior of amlodipine

Calderon, Viery¹; Martínez, Yris^{1*}; Ayala, Carlos²; Hernandez, Ricardo¹; Laguna, Alexander¹; Méndez, Fernando²

¹Laboratorio de Electroquímica, Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela.

²Laboratorio de Espectroscopia Analítica, Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela.

* ymartin@ula.ve

Resumen

Se estudió el comportamiento electroquímico de la amlodipina por voltametría cíclica utilizando un electrodo de carbón vítreo sumergido en una solución de amlodipina a 0,4 mg/mL en buffer fosfato. Se determinó que el proceso de oxidación de la amlodipina está controlado por difusión, con una adsorción significativa del producto oxidado sobre la superficie del electrodo. Los resultados muestran una clara dependencia del potencial de pico anódico con respecto al pH, identificándose tres regiones lineales que reflejan distintos mecanismos de oxidación. En el intervalo de pH 2,14–4,00, el proceso está dominado por una transferencia electrónica inicial sin desprotonación. En el intervalo 5,5–8,2, se muestra una transferencia acoplada de un electrón y un protón. Mientras que en el intervalo de pH 9,00–12,40, la desprotonación previa facilita la oxidación.

El estudio cinético revela un comportamiento irreversible con un único pico anódico, atribuible a la formación de un anillo aromático estable. El coeficiente de transferencia de carga $\alpha = 0,70 \pm 0,04$, indica una asimetría energética favorable que facilita la oxidación de la amlodipina. La amlodipina es un excelente candidato para aplicaciones electroanalíticas, especialmente en el desarrollo de sensores voltamétricos sensibles y selectivos.

Palabra clave: Amlodipina, Bloqueadores de canales de calcio, Aromatización oxidativa, Enfermedades del corazón.

Abstract

The electrochemical behavior of amlodipine was studied using cyclic voltammetry with a glassy carbon electrode immersed in a 0.4 mg/mL amlodipine solution in phosphate buffer. It was determined that the oxidation process of amlodipine is diffusion-controlled, with significant adsorption of the oxidized product onto the electrode surface. The results show a clear dependence of the anodic peak potential on pH, identifying three linear regions that reflect distinct oxidation mechanisms. In the pH range of 2.14–4.00, the process is dominated by an initial electron transfer without deprotonation. In the range of 5.5–8.2, a coupled transfer of one electron and one proton is observed. In the basic range of pH 9.00–12.40, prior deprotonation facilitates oxidation.

The kinetic study reveals an irreversible behavior with a single anodic peak, attributed to the formation of a stable aromatic ring. The charge transfer coefficient $\alpha = 0.70 \pm 0.04$ indicates a favorable energetic asymmetry that enhances the oxidation of amlodipine. These findings position amlodipine as an excellent candidate for electroanalytical applications, particularly in the development of sensitive and selective voltammetric sensors.

Keywords: Amlodipine, Calcium channel blockers, Oxidative aromatization, Heart diseases.

1 Introducción

Las enfermedades no transmisibles (ENT) o crónicas son afecciones que no se contagian entre personas y generalmente tienen un desarrollo gradual. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las cuatro principales enfermedades no transmisibles son el cáncer, las enfermedades respiratorias crónicas, la diabetes, y las enfermedades cardiovasculares. La hipertensión arterial es una enfermedad cardiovascular que se caracteriza por un incremento constante de la presión arterial por encima de los niveles considerados normales, los cuales oscilan entre 80 y 120 mmHg. Se considera que hay presión alta cuando los valores se encuentran entre 120 y 129 mmHg, y se diagnostica hipertensión cuando estos superan los 130 mmHg. Si no se trata adecuadamente la hipertensión, puede incrementar el riesgo de sufrir ataques cardíacos, accidentes cerebrovasculares y angina de pecho (Muntner y col. 2019).

Una vez diagnosticada la enfermedad, es necesario tratarla eficazmente con medicamentos antihipertensivos (Buford. 2016). En este caso en particular, nuestro interés está centrado en la amlodipina en la cual está enmarcado entre los medicamentos antihipertensivos denominados bloqueadores de los canales de calcio. Estos medicamentos que inhiben la entrada del ion Ca^{2+} a través de los canales de calcio en las células del músculo cardíaco, lo que resulta en una disminución de la concentración interna de este ion y una reducción en la capacidad de contracción del corazón. Disminuyendo el dolor anginoso, provocado por los espasmos de las arterias coronarias. Con la consecuente relajación en las arterias, vasodilatación y aumento del flujo sanguíneo coronario, lo que conduce a la reducción de la presión sanguínea (Lozano-Jimenez y Sanchez. 2021, Story y col 2003, Barnes y Bui 1991, Tang y colaboradores 2019).

La amlodipina (Figura 1) pertenece al grupo de los bloqueadores de calcio de 1,4-dihidropiridinas. Tiene propiedades antioxidantes y la habilidad de mejorar la producción de óxido nítrico (NO), el cual juega un papel importante en la regulación de la presión arterial por ser un vasodilatador (National Center for Biotechnology Information 2025).

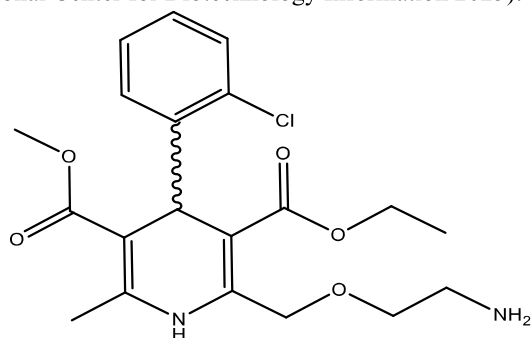


Fig.2. Estructura de la amlodipina (AML)

Su reactividad está determinada principalmente por el anillo de dihidropiridina y el grupo amino. La aromatización oxidativa del fragmento dihidropiridina es el camino de

degradación principal de esta molécula (Figura 2), se puede presentar tanto en solución como en estado sólido. Al oxidarse, pierde electrones y se transforma en un anillo de piridina, que tiene tres dobles enlaces alternados y es mucho más estable. (Shafitabar-Samakosh y col. 2024, Ananchenko y col. 2012)

El anillo de dihidropiridina es el núcleo funcional de la amlodipina cuya. Su función está directamente relacionada con la farmacodinámica, es decir, cómo actúa el medicamento en el cuerpo. Es responsable de la capacidad del fármaco de bloquear los canales de calcio. Al estar parcialmente saturado, es más reactivo. Cuando el anillo pierde electrones gana estabilidad química. Lo que hace pierda su actividad farmacológica, porque no puede interactuar con los canales de calcio como lo hacía antes.

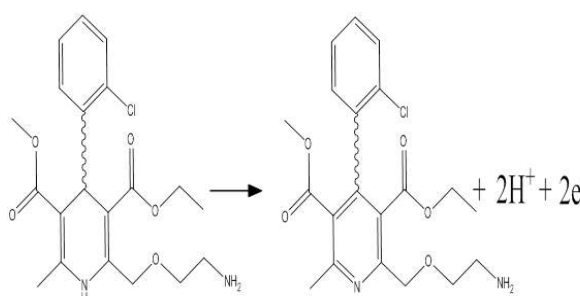


Fig. 3. Aromatización oxidativa de la amlodipina

Por otro lado, la función principal del grupo amino de la amlodipina está relacionada con la farmacocinética es decir de cómo se absorbe, distribuye y elimina del cuerpo, y puede participar en reacciones químicas formando enlaces o interactuando con otras moléculas. (Darrell 1989)

Es este trabajo nos enfocarnos en el estudio de la oxidación electroquímica de la amlodipina a diferentes pH.

2 Metodología

2.1- Celda electroquímica y electrodos

Para este trabajo se utilizó una celda electroquímica tipo H con tres electrodos: un electrodo de referencia de Ag/AgCl saturado, un contraelectrodo de alambre de platino (Pt), y un electrodo de trabajo de carbón vítreo (ECV) en la cual fue pulido a espejo antes de cada experiencia. Todo el material de vidrio fue sometido a un riguroso proceso de limpieza para eliminar residuos orgánicos e inorgánicos remanentes. Los reactivos utilizados en las distintas experiencias son de grado analítico. Como electrolito soporte se utilizó un buffer fosfato 0,50 M, ajustando el pH de las diferentes soluciones estudiadas, con HCl y NaOH 0,10 M. Para mantener la fuerza iónica se utilizó KCl 0,30M. Debido a que la amlodipina es poco soluble en agua, la misma fue disuelta en una mezcla agua-metanol en una relación 75:25. Para los estudios electroquímicos se utilizó un potenciostato-galvanostato, Autolab 20 ecochemie.

La técnica electroquímica empleada fue la voltametría cíclica, esta técnica se caracteriza por medir la corriente en

función del potencial aplicado, es decir, a una celda electroquímica se le aplica un potencial variable (señal de excitación), y se mide la intensidad de corriente que se desarrolla en la celda en función del tiempo. La respuesta en corriente va a depender del proceso electroquímico que se desarrolle en la superficie del electrodo de trabajo, de las condiciones hidrodinámicas y del potencial aplicado.

3 Resultados y Discusiones

3.1 Estudios del pH

El efecto del pH en la oxidación electroquímica de la amlodipina fue realizado por voltametría cíclica estudiando soluciones de amlodipina a una concentración de 0,4 mg/mL en diferentes buffers de fosfato en un intervalo de pH de 2,14 a 12,4 a una velocidad de barrido de 25 mV/s.

La respuesta voltamétrica para el proceso redox de la amlodipina en estas condiciones de trabajo, está bien definida para cada pH en estudio (Figura 3). A pH 2,14 se observa un pico atribuido a la oxidación de la amlodipina a 896 mV. El cual se va desplazando hacia potenciales menos positivos a medida que se incrementa el pH de la solución,

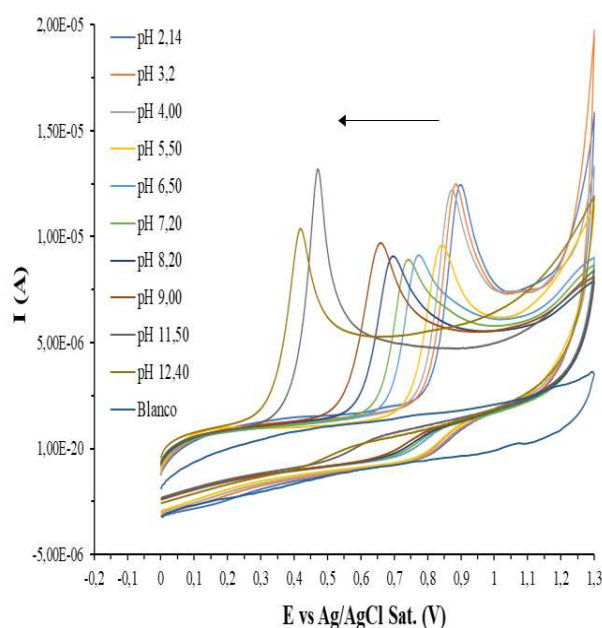


Fig. 3. Respuesta electroquímica de un ECV sumergido en una solución de AML 0,4 mg/mL a diferentes pH. $v = 25$ mV/s

Esta dependencia del potencial de pico anódico (E_{pa}) de la amlodipina frente al pH, se analizó haciendo uso de la ecuación de Nernst (ecuación 1) (Bard y Faulkner 2001):

$$E_{pa} = E^{\circ} - 0,059 \left(\frac{m}{n} \right) pH \quad Ec 1$$

Donde:

E_{pa} es el potencial de pico anódico (V)

E° es el potencial formal o estándar (V)
 m es el número de protones transferidos
 n es el número de electrones transferidos
 0,059 V corresponde al factor RT/F a 25 °C

En la gráfica de E_{pa} vs. pH (Figura 4) se identifican tres intervalos lineales bien definidos: el primer intervalo entre 2,14 – 4,00, el segundo entre 5,5 y 8,2 y el último entre 9,00 – 12,40, los parámetros de cada una de las rectas de regresión lineal se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Regiones lineales de E_{pa} vs pH

Región	Rango de pH	Ecuación de la recta	R^2
1	2,14 – 4,00	$E_{pa} = -0,0139 \text{ pH} + 0,9261$	0,9987
2	5,5 – 8,2	$E_{pa} = -0,0589 \text{ pH} + 1,1603$	0,9877
3	9,00 – 12,40	$E_{pa} = -0,0679 \text{ pH} + 1,2574$	0,9968

Este comportamiento concuerda un estudio realizado por Álvarez-Lueje y col.1994, ellos reportan el comportamiento electroquímico de cinco compuestos derivados de 1,4-dihidropiridinas (nifedipina, nitrendipina, nimodipina, nicardipina y furaldipina), en ese estudio, los autores reportan tres regiones lineales al relacionar potencial de pico con respecto al pH, tal como se representa en el caso de la amlodipina.

En la primera región (intervalo de pH 2,14 – 4,00) la pendiente muestra un valor de $-0,0139$ V/pH, lo que indica la existencia de una leve dependencia del potencial de pico anódico con respecto al pH. Recordemos que la pendiente teórica esperada para la relación potencial vs pH es igual a $-0,059 \times m/n$ V/pH (ecuación 1). Esto sugiere que la transferencia del primer electrón es el paso determinante de la reacción con la formación de un catión radical en el anillo dihidropiridina, por lo tanto, la desprotonación no ocurre antes ni durante el paso limitante, ya que el medio ácido impide este proceso. De manera que, el mecanismo inicia con un paso electroquímico

En la segunda región (intervalo 5,5 – 8,2) la pendiente es $-0,0589$ V/pH compatible con una transferencia acoplada de 1 electrón + 1 protón. Por lo tanto, se propone un mecanismo electroquímico – químico (EQ)

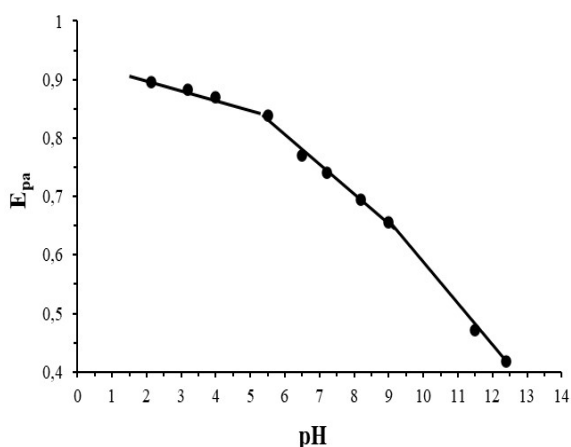


Fig. 4. Dependencia del potencial de pico anódico respecto al pH

En la tercera región (intervalo 9,00 – 12,40) la pendiente de -0,067 indica que estamos en presencia de un mecanismo químico – electroquímico (QE), debido a que el medio básico facilita la desprotonación de la amlodipina previo a la oxidación.

La relación entre la corriente de pico anódica (I_{pa}) y el pH (Figura 5) muestra una dependencia compleja y no lineal, con intervalos donde la corriente no se ve afectada por el pH de la solución, esto también concuerda con lo reportado por Álvarez-Lueje y col. 1994. Se observa que la I_{pa} mantiene una corriente relativamente estable entre pH 2,14 y 4,00.

A medida que el pH aumenta, la I_{pa} disminuye gradualmente, manteniendo otra región estable entre pH, 5,5 y 8,2. Lo que sugiere que el proceso está controlado por la difusión de la amlodipina hacia la superficie del electrodo. Sin embargo, en el intervalo básico, la I_{pa} experimenta un incremento, llegando a un máximo a pH 11,5 atribuida a la desprotonación de la amlodipina permitida por el medio básico.

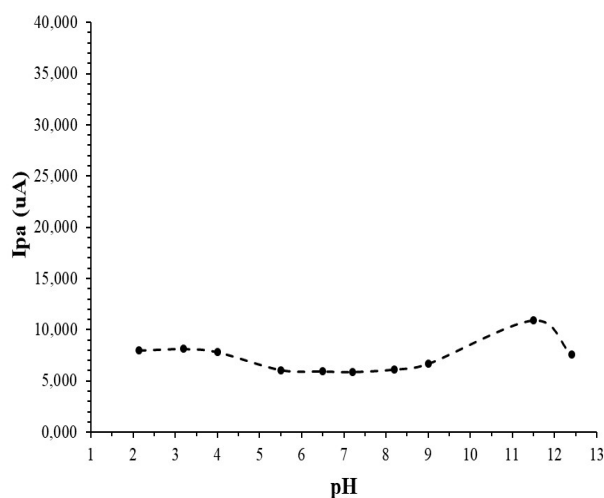


Fig. 5. Dependencia de la corriente pico anódica con respecto al pH

3.2- Efecto de la velocidad de barrido

Una vez realizado el estudio a diferentes pH se seleccionó para estudios posteriores una solución de amlodipina 0,4 mg/mL disuelta en metanol al 10%, KCl 0,2 M y un buffer de fosfato a pH 2,14 ya que a este pH el buffer de fosfato alcanza su máxima capacidad amortiguadora, lo que proporciona una mayor estabilidad al sistema y minimiza fluctuaciones en el pH de la doble capa que podrían afectar los resultados experimentales.

Otro factor importante para la elección de este pH fue realizado porque en un estudio posterior donde se va a cuantificar la cantidad de amlodipina en fármacos, al electrodo de carbón vítreo se le va a realizar una modificación utilizando que la poli-(2,5-dimetoxianilina, y esta película es más estable en medios ácidos, en medios alcalinos, ha sido reportado que la película se descompone comprometiendo así, la integridad de la película depositada sobre la superficie del electrodo de carbón vítreo (Alzate y col. 20026).

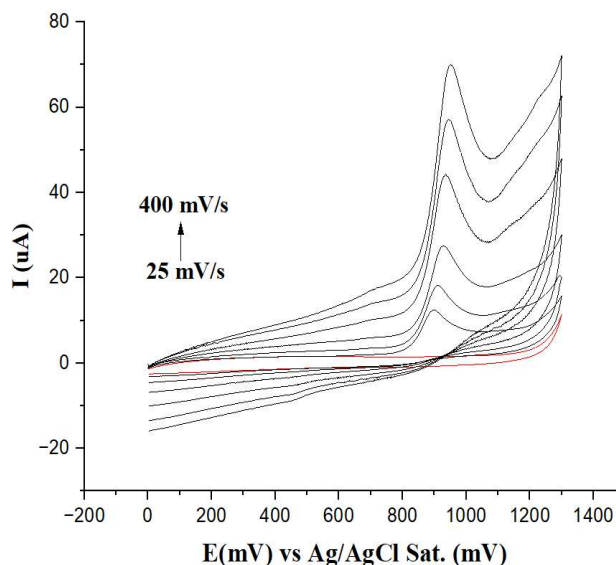


Fig. 6. Respuesta electroquímica de amlodipina 0,4 mg/mL a pH 2,14 sobre un electrodo de carbón vítreo a diferentes velocidades de barrido

La influencia de la velocidad de barrido en la respuesta electroquímica se estudió en una solución de amlodipina 0,40 mg/mL, en el buffer de fosfato de pH 2,14, el cual fue establecido como pH óptimo en el estudio anterior. El intervalos de de velocidades en estudio fueron de 25, 50, 100, 200, 300, y 400 mV/s. La Figura 6 muestra la respuesta obtenida para este sistema. En esta figura se observa claramente un aumento en la corriente de pico atribuida a la oxidación de la amlodipina.

El estudio del efecto de la velocidad de barrido reveló que la oxidación electroquímica de la amlodipina presenta un comportamiento irreversible, el cual está caracterizado por un único pico anódico tal como se muestra en la figura 6, el cual es atribuible a la estabilidad del anillo aromático del producto de la oxidación.

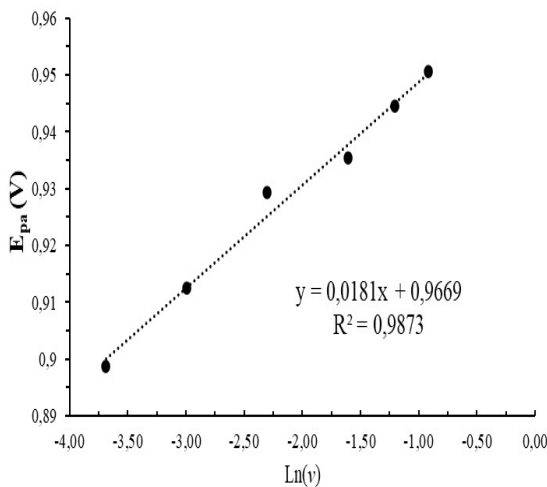


Fig. 7. Relación potencial con la velocidad de barrido (E_{pa} vs. $\ln(v)$)

A partir de los voltamogramas obtenidos, se aplicó la ecuación de Laviron (Ecuación 2) con el fin de establecer la relación entre el potencial de pico (E_{pa}) y la velocidad de barrido (v), para calcular parámetros cinéticos como el coeficiente de transferencia de carga (α). La Figura 7 muestra la gráfica de E_{pa} vs. $\ln(v)$, cuyo coeficiente de correlación $R^2 = 0,9873$. El valor de α fue calculado a partir de la pendiente de la recta de regresión dando un valor de $0,70 \pm 0,04$.

Este resultado indica una asimetría energética que favorece la oxidación de la amlodipina. Según la literatura (González-Velasco 2012) valores de α superiores a 0,5 reflejan que el estado de transición está más próximo al oxidado, facilitando la transferencia electrónica desde el analito al electrodo. Esta característica contribuye a una oxidación más eficiente, aspecto clave en el diseño de sensores voltamétricos sensibles y selectivos.

$$E_{pa} = E^\circ + \left(\frac{RT}{\alpha nF}\right) * \ln\left(\frac{RTk_s}{\alpha nF}\right) + \left(\frac{RT}{\alpha nF}\right) * \ln(v) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

E_{pa} : Potencial de pico anódico (en voltios).

E° : Potencial estándar formal (en voltios).

R : Constante de los gases ideales (8,314 J/mol).

T : Temperatura (en Kelvin).

α : Coeficiente de transferencia de carga.

n : Número de electrones transferidos en la reacción.

F : Constante de Faraday (96485 C/mol).

k_s : Const. velocidad de transferencia de e^- (en cm/s).

v : Velocidad de barrido (en V/s).

Dos gráficas adicionales fueron construidas para completar el estudio cinético. La intención es identificar el mecanismo que controla la transferencia de carga. La gráfica 8 relaciona la corriente de pico anódico con la velocidad de barrido y da información sobre los procesos controlados por adsorción (ecuación 3)

$$I_p = \frac{n^2 F^2 A \Gamma}{4RT} v \quad \text{Ec. 3}$$

Donde,

I_p Corriente pico en amperios (A).

n Número de electrones.

R Constante de gases ideales

T Temperatura en K

F Constante de Faraday

A Área superficial del electrodo

Γ Cantidad de sustancia adsorbida por unidad de área

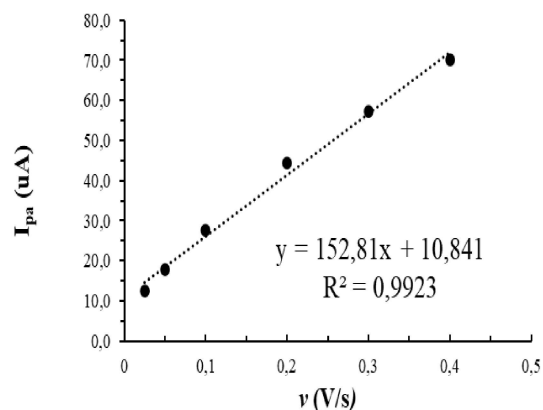


Fig. 8. Aplicación de la ecuación para procesos controlados por adsorción superficial.

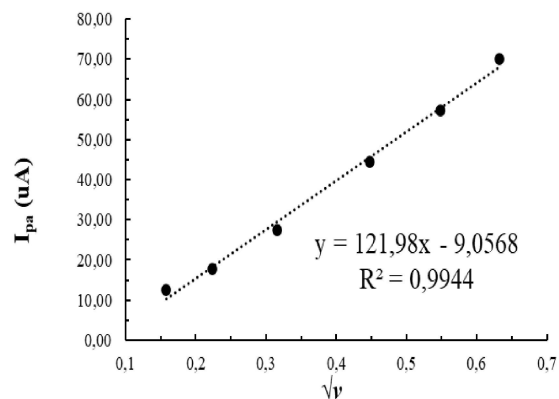


Fig. 9. Aplicación de la ecuación para procesos controlados por difusión (Randles – Sevcik)

Por otro lado, haciendo uso de la ecuación de Randles – Sevcik para procesos irreversibles. Se graficó I_{pa} vs $v^{1/2}$ (Figura 9). Esto permite identificar si la transferencia de carga, esta controlada por difusión o por adsorción (Pletcher 2002).

Los resultados mostraron una correlación lineal en ambos casos, con coeficiente $R^2 = 0,9923$ para I_{pa} vs v $R^2 = 0,9944$ y para la gráfica correspondiente a I_{pa} vs $v^{1/2}$. Este

último valor más alto sugiere que el proceso de oxidación de la amlodipina está mayoritariamente controlado por difusión, de acuerdo con el modelo de Randles-Sevcik. Este comportamiento es típico de sistemas donde la corriente depende del transporte de las especies electroactivas desde el seno de la solución hacia la superficie del electrodo.

Sin embargo, además de que el proceso está controlado por difusión, se observó que existe una adsorción significativa del producto oxidado sobre la superficie del electrodo, generando efectos de pasivación con su consecuente disminución progresiva de la respuesta analítica (figura 10).

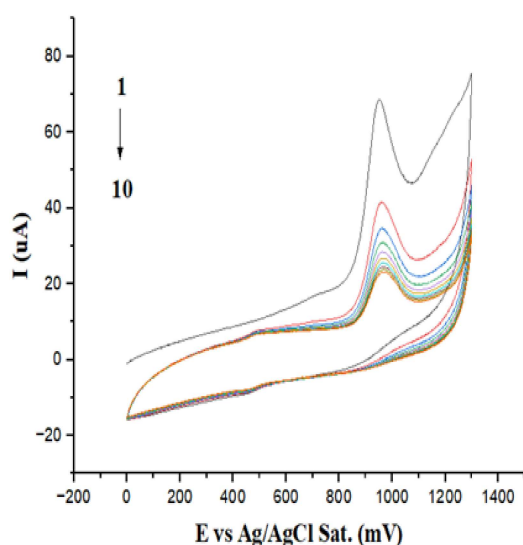


Fig. 10. Adsorción del producto de oxidación de amlodipina.

Esto puede ser observado en I con mayor calidez en Figura 7B, donde se observa una disminución sistemática de la corriente de pico con cada nuevo barrido, lo que confirma el efecto inhibitor del producto formado sobre la superficie activa del electrodo.

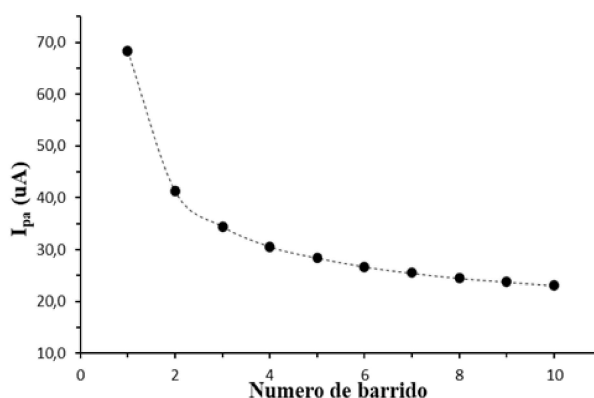


Fig. 11. Disminución de la corriente en función del número de barridos

En consecuencia, aunque el sistema muestra un perfil

cinético favorable para la oxidación ($\alpha = 0,70$), la adsorción del producto formado pasiva la superficie del electrodo lo que es desfavorable para realizar estudios de cuantificación. Para preservar la reproducibilidad en las medidas es necesaria la reactivación de la superficie a través de la limpieza mecánica del electrodo entre mediciones.

4 Conclusiones

El estudio del comportamiento voltamétrico de la amlodipina en función del pH reveló una clara dependencia del potencial de pico anódico con respecto al medio ácido. Tres regiones lineales bien definidas. Estas regiones reflejan distintos mecanismos de oxidación: En medio ácido (pH 2,14–4,00), la pendiente de la recta (-0.0139V/pH) nos indica que el proceso está dominado por una transferencia electrónica inicial sin desprotonación. A pH intermedio (5,5–8,2), la pendiente (-0.0589V/pH) cercana al valor teórico sugiere una transferencia acoplada de 1 electrón y 1 protón. Mientras que en un medio fuertemente básico (9,00–12,40), la pendiente (-0.0679V/pH) nos indica que la desprotonación previa facilita la oxidación.

El proceso de oxidación de la amlodipina está controlado por difusión, aunque se observó adsorción producto sobre el electrodo, generando pasivación de la superficie.

El valor de α de $0,70 \pm 0,04$, obtenido a partir del estudio del E_{pa} vs. $\ln(v)$, revela que la oxidación de la amlodipina ocurre con una marcada asimetría energética, lo que confirma la reactividad del anillo dihidropiridina de la amlodipina. Contribuyendo de esta manera en una oxidación más eficiente, aspecto clave en el desarrollo de sensores voltamétricos sensibles y selectivos. Este resultado que posiciona a la amlodipina como un excelente candidato para aplicaciones electroanalíticas

Referencias

- Alvarez-Lueje A., Núñez-Vergara L. & Squella J., Voltammetric behavior of 1,4-dihydropyridine calcium antagonists, *Electroanalysis*, 6(1994)259
- Agarwal, A. K., Raja, A., & Brown, B. D. (2023, August 7). Chronic obstructive pulmonary disease. In *StatPearls* [Internet]. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559281/>
- Alzate V., Vasco D. & González J (2006) The effect of pH on morphology and electrical properties of polyaniline. *Revista Facultad de Ingeniería* 38 (2006)88. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.343237>
- Ananchenko G, Novakovic J, & Lewis J. (2012). Besilato de amlodipino, Perfiles de sustancias farmacológicas, excipientes y metodología relacionada 37(2012)31. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397220-0.00002-7>

- Appu S., Anusha B., Thilak S. & Prashantha K. (2025) Electrochemical sensing of Amlodipine besylate using ZnIn₂S₄/ZnO composite Electrodes: A High-Performance Approach. *Microchem J.* 214 (2025) 113925.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113925>
- Appu S., Anusha B., Thilak S. & Prashantha K. (2025) Electrochemical sensing of Amlodipine besylate using ZnIn₂S₄/ZnO composite Electrodes: A High-Performance Approach. *Microchem J.* 214 (2025) 113925.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113925>
- Bard A. & Faulkner L. (2001), *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, Nueva York: Wiley, 2001.
- Cen Y., Fang Y. & Li X (2025). NiCo₂O₄@g-C₃N₄ heterojunction for the construction of electrochemical sensor for the detection of amlodipine besylate. *Microchem J.* 216(2025) 114712.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.114712>
- Darrell R., & Abernethy M. (1989) The pharmacokinetic profile of amlodipine. *American Heart Journal.* 118(1989)1100 DOI: [doi.org/10.1016/0002-8703\(89\)90834-X](https://doi.org/10.1016/0002-8703(89)90834-X)
- Elkady E., Moffid M., Mostafa E., M.Sayed R. (2025) Enhancing the practicality along with greenness sustainability of a high throughput HPLC-MS/MS bio-analytical method for the simultaneous determination of amlodipine, perindopril, and its active metabolite perindoprilat in human plasma: Application to a pharmacokinetic study. *J. Chromatogr A* 1740 (2025) 465559.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465559>
- Gong H., Ouyang X., Chen C. & Cai C. (2025) Biomimetic molecularly imprinted hollow fiber membranes for continuous Enantioseparation of amlodipine. *Microchem J.* 216(2025)114574,
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.114574>
- González-Velasco J. (2012) Aspectos teóricos de las reacciones de transferencia de carga. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, 2012
- Hajilo S. & Reza M. (2025) Spectrophotometric method based on Continuous wavelet transform and ratio subtraction methods for the rapid simultaneous quantification of Valsartan, Amlodipine, and hydrochlorothiazide in cardiovascular tablet formulation. *Spectrochim Acta A Mol. Biomol. Spectrosc* 330 (2025) 125715.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2025.125715>
- Jadon N., Jain R. & Pandey A. (2017) Electrochemical analysis of amlodipine in some pharmaceutical formulations and biological fluid using disposable pencil graphite electrode *J. Electroanal. Chem* 788,(2017) 7-13.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.01.055>
- Neda Z. & Ghoreishi S. (2025) Electrochemical detection of hydrochlorothiazide in the presence of amlodipine and valsartan using FeMOF/g-C₃N₅-Modified Carbon Paste Electrode. *Electrochim. Acta* 536(2025) 1466652025.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.146665>
- Pletcher D., Greff R., Peter L. & Robinson J. (2002) *Instrumental methods in electrochemistry*, Woodhead Publishing Limited (2002) 178.


Recibido: 7 de julio 2025

Aceptado: 20 de octubre 2025

Martínez, Yris: Dr Química Aplicada, mención: Electroquímica. Profesora Titular del Departamento de Química. Miembro del personal de Investigación del Laboratorio de Electroquímica, Facultad de Ciencias Universidad de los Andes. Merida-Venezuela. Líneas de Investigación: Electrosíntesis Orgánica, Electroanálisis y Celdas de Combustibles.


 <https://orcid.org/0000-0003-4479-0318>

Hernandez, Ricardo: Licenciado en Química, Universidad de Los Andes, 1989. Magister Scientiae (MSc). Electroquímica. Universidad de Los Andes, 1994. Philosophy Doctor (PhD). Physical-Chemistry. University of Wales, United Kingdom. 1998. Profesor Titular a dedicación exclusiva del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Los Andes. Coordinador del Grupo de Electroquímica. Miembro del Postgrado de Electroquímica Fundamental y Aplicada. Líneas de investigación: Electrocatalisis, Electroanalítica, Energía Electroquímica. Correo electrónico: rmhr@ula.ve

 <https://orcid.org/0000-0002-3295-914X>


Ayala, Carlos: Licenciado en Química, MSc. y Dr. en Química Analítica. Miembro del Laboratorio de Espectroscopia Molecular (Coordinador del Postgrado en Química Analítica, PQA). Profesor Titular de la planta profesoral del Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. Líneas de Investigación: Desarrollo de metodologías analíticas mediante el uso de Técnicas Espectroscópicas, Cromatográficas, Análisis en flujo, Quimiometría

Correo electrónico: carlosayala@ula.ve

 <https://orcid.org/0000-0002-7246-5208>

Laguna, Alexander: Lic. en Química 2004. MSc. en Electroquímica Fundamental y Aplicada 2015. Investigador en Ciencias Básicas Naturales y Aplicadas, Laboratorio de Electroquímica Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Merida-Venezuela Líneas de Investigación: Electrosíntesis Orgánica, Electroanálisis.

Correo electrónico: alexanderlaguna@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-0484-9713>


Calderon, Viery: Licenciado en Química 2025. Laboratorio de Electroquímica. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. Líneas de Investigación: Electroanálisis.

Correo electrónico: viery.calderon2@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-1990-0043>

Méndez, Fernando: Licenciado en Química y Doctor en Química Analítica, Profesor del Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. Líneas de Investigación: Desarrollo de metodologías analíticas.

Correo electrónico: mendezpj@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-5427-6384>.