



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS COMO ALTERNATIVA PARA EL  
ANÁLISIS DE MEDICAMENTOS

GONZALEZ JARAMILLO JEAN FRANCO  
BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS COMO ALTERNATIVA PARA EL  
ANÁLISIS DE MEDICAMENTOS

GONZALEZ JARAMILLO JEAN FRANCO  
BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

EXAMEN COMPLEXIVO

MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS COMO ALTERNATIVA PARA EL ANÁLISIS DE  
MEDICAMENTOS

GONZALEZ JARAMILLO JEAN FRANCO  
BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

GARCÍA GONZÁLEZ CARLOS ALBERTO

MACHALA, 16 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA  
16 de febrero de 2022

# Métodos electroquímicos como alternativa para el análisis de medicamentos

*por* Jean Franco Gonzalez Jaramillo

---

**Fecha de entrega:** 26-ene-2022 12:44p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1748673812

**Nombre del archivo:** OQU\_MICOS\_COMO\_ALTERNATIVA\_PARA\_EL\_AN\_LISIS\_DE\_MEDICAMENTOS.docx (112.89K)

**Total de palabras:** 2933

**Total de caracteres:** 16623

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GONZALEZ JARAMILLO JEAN FRANCO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Métodos electroquímicos como alternativa para el análisis de medicamentos, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de febrero de 2022



GONZALEZ JARAMILLO JEAN FRANCO  
0706497930

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis abuelos por todo el apoyo y dedicación que me han brindado a lo largo de mi etapa como estudiante, y también a aquellos que en su momento me brindaron un consejo para poder seguir adelante.

## RESUMEN

Las técnicas electroquímicas se encargan del estudio de las propiedades eléctricas que se presentan en una disolución a través del proceso de oxidación y reducción en una reacción. En el presente trabajo se pretende dar el enfoque de estas técnicas como una alternativa económica que pueden utilizarse en el análisis de medicamentos para verificar si los medicamentos al ser sometidos a estos análisis cumplen con los estándares de calidad descritos por los fabricantes. El potenciostato es un equipo que se utiliza para conseguir resultados de forma cuantitativa y cualitativa de un analito en estudio debido a las intensidades de corriente que se producen al aplicar una diferencia de potencia eléctrica estable y constante, este proceso se produce como producto del electrólisis de analitos en una muestra con características electroactivas, de tal manera que puedan ser interpretadas en los potenciogramas. El objetivo del presente trabajo es analizar algunos métodos electroquímicos para aplicarlos como alternativas en el análisis de medicamentos. La metodología aplicada en esta investigación fue un estudio descriptivo a través de bibliografías científicas para la resolución del reactivo práctico. Se llegó a la conclusión de que el potenciostato puede llegar a ser una alternativa económica para el análisis de medicamentos siempre que se tome en cuenta las características electroactivas de la muestra, además que el método a aplicar posea una exactitud, sensibilidad, precisión y linealidad significativa para la validación del método, para ello existe una variedad de bibliografías que sirven como referencia para el estudio de algún medicamento en específico.

**Palabras claves:** técnicas electroquímicas, potenciostato, análisis de medicamentos, formas farmacéuticas.



## ABSTRACT

Electrochemical techniques are responsible for the study of the electrical properties that occur in a solution through the process of oxidation and reduction in a reaction. In the present work we intend to give the approach of these techniques as an economical alternative that can be used in the analysis of drugs to verify if the drugs when subjected to these analyses meet the quality standards described by the manufacturers. The potentiostat is an equipment used to obtain quantitative and qualitative results of an analyte under study due to the current intensities produced by applying a stable and constant electrical power difference, this process is produced as a product of the electrolysis of analytes in a sample with electroactive characteristics, so that they can be interpreted in potentiograms. The objective of the present work is to analyze some electrochemical methods to apply them as alternatives in the analysis of drugs. The methodology applied in this research was a descriptive study through scientific bibliographies for the resolution of the practical reagent. It was concluded that the potentiostat can become an economical alternative for the analysis of drugs as long as the electroactive characteristics of the sample are taken into account, and also that the method to be applied has a significant accuracy, sensitivity, precision and linearity for the validation of the method, for which there is a variety of bibliographies that serve as a reference for the study of a specific drug.

**Key words:** electrochemical techniques, potentiostat, drug analysis, pharmaceutical forms.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
Electroquímica	9
Métodos electroquímicos	9
Tipos de métodos electroquímicos	9
Tipos de electrodos	11
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
Caso práctico	13
Pregunta a resolver	13
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>13</b>
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>15</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>16</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Celda electroquímica con sus componentes aplicada en análisis electroquímicos.....	11
<b>Figura 2</b> Métodos electro analíticos con su parámetro de medición (I o $i$ = corriente, E=potencial, R=resistencia, G=conductancia, Q=cantidad de carga, t=tiempo, vol=volumen de solución patrón, m=masa de una especie electro depositada).....	19
<b>Figura 3</b> Voltamperograma de barrido lineal de la reducción de una especie hipotética A para la obtención de un producto.....	19
<b>Figura 4</b> Voltamperograma cíclico.....	20
<b>Figura 5</b> Voltamperograma de pulso de pequeña amplitud, a) escalera, b) onda cuadrada.....	20

## **LISTADO DE ABREVIATURAS**

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
HPLC	Cromatografía de alta resolución
GC	Cromatografía de gases
LC	Cromatografía Líquida
VDP	Voltamperometría diferencial de pulso
VOC	Voltamperometría de onda cuadrada
BDD	Electrodo de diamante dopado con Boro

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas electroquímicas se encargan del estudio de las propiedades eléctricas que se aplican en un medio electrolítico junto con una muestra de interés a través del proceso de oxidación y reducción. En su gran mayoría estas técnicas electroquímicas utilizan electrodos conectados hacia un dispositivo que permite controlar y transmitir un potencial determinado, en donde, el electrodo de trabajo (oro, plata, platino, carbón pirolítico, carbón vítreo, gota de mercurio) se encargará de relacionarse con las reacciones predominantes, también se utiliza un electrodo auxiliar (material inerte como un metal noble o grafito), y de referencia (Ag, Ag/Cl, KCl).<sup>1-4</sup>

La potenciometría hace referencia a técnicas electroquímicas que se utilizan para conseguir resultados de forma cuantitativa y cualitativa de un analito en estudio debido a las intensidades de corriente que se producen al aplicar una diferencia de potencia, este proceso se produce como producto del electrólisis de aquellos analitos electroactivos presentes en una celda electrolítica.<sup>5</sup> En relación a los diferentes métodos electroquímicos también se encuentra la voltamperometría, el cual es uno de los más extendidos en esta área y está muy relacionada con la polarografía, misma que fue investigada y descubierta por Jaroslav Heyrovsky en 1920, esta técnica se desarrolla en torno a que se mide la variación de corriente mediante el potencial que se programa en un determinado medio electrolítico.<sup>5,6</sup>

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) forma parte de las técnicas cromatográficas más importantes en el análisis de medicamentos, está compuesto por una columna que contendrá la fase estacionaria polar (gel de sílice) y aparte una fase móvil no polar como el hexano (fase normal) inmisible con la fase estacionaria, la selección de estas fases depende del método cromatográfico a utilizar sea en fase normal o reversa. Este proceso de separación se produce mediante la migración de aquellos compuestos por su afinidad con la fase móvil o a través de interacciones no-covalentes, los resultados obtenidos mediante esta técnica son confiables por su practicidad y fácil reproducibilidad.<sup>7-9</sup>

Una alternativa para llevar a cabo análisis en medicamentos es la implementación de un potencióstato que está compuesto por tres electrodos que cumplirán una función cada uno, entre los cuales está el electrodo de trabajo, electrodo de referencia y el electrodo auxiliar,

mismos que estarán compuestos por diferentes materiales, este equipo se utiliza en experimentos electroquímicos donde se aplica una diferencia de potencia eléctrica constante y estable de tal manera que puedan ser interpretadas en los voltamperogramas a través de formas diferentes como ondas cuadradas, de barrido cíclico, lineal, etc.<sup>3,10</sup>

Para el análisis de los medicamentos se utilizan diferentes métodos analíticos como la cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida (LC), espectrofotometría, entre otros, que pueden resultar como métodos de alto costo económico a diferencia de las técnicas como la voltametría, amperometría, voltamperometría, potenciometría, mismos que utilizan el potencióstato como equipo principal. Este equipo es más accesible en relación a la desventaja económica presentada por el HPLC obteniendo de igual forma resultados eficaces, confiables, rápidos y precisos en algunas muestras de interés.<sup>7,9</sup>

Es de gran importancia que las formulaciones farmacéuticas se rijan a normas que aseguren la calidad de un determinado medicamento, para ello, en la actualidad existen varios procesos analíticos utilizados para el control de calidad de las diferentes formas farmacéuticas. El reporte según las literaturas de varios trabajos encaminados al análisis de los medicamentos por cromatografía como el HPLC afirman que es el de mayor relevancia para estos análisis, pero el costo elevado en estos procesos de detección es un factor que impide el uso de este equipo como alternativa de análisis.<sup>7</sup> Además, la cromatografía líquida de alta resolución recurre al uso de disolventes de carácter orgánico por tal motivo se debe capacitar al personal encargado del HPLC para el procesamiento adecuado de estas sustancias y de esta forma evitar efectos perjudiciales en la integridad humana y ambiental, a continuación se describen métodos electroanalíticos alternativos al HPLC en el análisis de medicamentos. Para el enfoque de esta investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Se puede utilizar como método alterno, el potencióstato para el análisis de los medicamentos?

La presente investigación tendrá como objetivo analizar algunos métodos electroquímicos mediante revisión bibliográfica científica para aplicarlos como alternativas en el análisis de medicamentos.

## MARCO TEÓRICO

### Electroquímica

La electroquímica se encarga de estudiar la transmisión de electricidad entre dos fases: la fase conductora electrónica y la fase conductora iónica. Esta misma se divide en aquellos que se encargan del transporte de cargas en fases y medidas de procesos en las interfases entre el electrodo y el electrolito, esta última se mide a través de métodos estáticos (potenciometría) y dinámicos (voltamperometría, coulombimetría, electrogravimetría).<sup>11</sup>

### Métodos electroquímicos

Los métodos electroquímicos se refieren a un grupo de técnicas analíticas de carácter cuantitativa que se basan en la lectura de propiedades eléctricas frente a una solución donde se encuentra presente el analito de interés, existe una variedad de métodos electroquímicos (Figura 2) pero solo se tomará en cuenta aquellos que son de interés en el análisis de medicamentos, estos métodos tienen la capacidad de proveer información sobre características susceptibles a estos métodos, como: la velocidad de transferencia de masa y carga interfacial, estequiometría, equilibrio de las reacciones químicas, etc.<sup>11</sup>

Estos métodos se pueden emplear para un límite de sustancias electroactivas que tienen capacidad oxido-reductoras (proceso Redox), en este grupo están presentes aquellas muestras de carácter orgánico e inorgánicas.<sup>11</sup>

En el caso del análisis de medicamentos existen dos grupos de métodos eficaces para determinar analitos de interés en una muestra:

- **Potenciométricos:** obtenidos mediante señales del potencial eléctrico proporcional a la concentración del analito estudiado.
- **Amperométricos y voltamperométricos:** se obtiene la información a través de mediciones de corriente bajo aplicación constante (amperometría) o variable (voltamperometría) con el tiempo.

### Tipos de métodos electroquímicos

- **Potenciometría**

A partir de la medición del potencial a través de la implementación de un electrodo de trabajo, de referencia y auxiliar es posible determinar la concentración de un analito o especie de carácter electroactivo en una muestra problema que se encuentra en disolución con un electrolito, estas mediciones de potencial se pueden medir bajo condiciones reversibles implementado una mínima cantidad de intensidad de corriente. <sup>6,12</sup>

La obtención de resultados válidos a través de este método se logra con un potencial constante proporcionado mediante el electrodo de referencia, para ello, se debe elegir el material adecuado del mismo dependiendo de las características electroactivas del analito. <sup>6,12</sup>

#### · **Electrogravimetría**

La muestra a analizar pasa por un proceso de electrólisis en los electrodos de la celda electrolítica, mismos que deberán ser de gran superficie para soluciones donde se lograra una deposición completa, mediante este proceso se pesará antes y después de que ocurra la electrólisis el electrodo que contendrá la muestra electroactiva, el resultado obtenido al final será la diferencia de masa que se produce al depositarse el material al electrodo. <sup>11</sup>

#### · **Coulombimetría**

Mediante la oxidación o reducción de un analito se puede realizar una medición coulombimétrica cuando se aplica un potencial externo de forma constante, el seno de la reacción se da en el electrodo de trabajo mismo que puede estar compuesto por diferentes materiales que conducen electricidad dependiendo también de la actividad electroactiva del analito a analizar, la concentración del analito disminuye al mismo tiempo que se produce la electrolisis dando lugar a una disminuida intensidad de corriente que será proporcional al tiempo atribuido al potencial constante que se aplica. <sup>11</sup>

#### · **Voltamperometría**

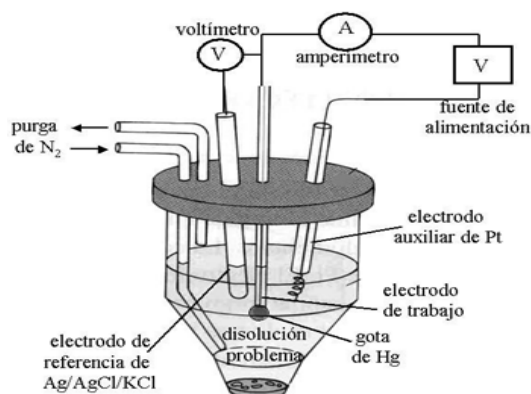
La voltamperometría se basa en aprovechar la diferencia de potencia variable que se puede aplicar a través de una celda electroquímica compuesta por un electrodo de referencia y un electrodo de trabajo, conocido también como microelectrodo indicador, mediante este proceso se producirá una reacción de tipo oxidativa-reductiva donde se medirá la intensidad de corriente desarrollada en la celda electroquímica, un electrodo específico que se utiliza en



esta técnica es el microelectrodo de gotas de mercurio, existen diferentes formas en las que un electrodo de trabajo puede generar una señal eléctrica, se clasifican por el tipo de potencial que se aplica entre las cuales están, la voltamperometría de barrido lineal, voltamperometría cíclica, voltamperometría de pulso de pequeña amplitud y gran amplitud. <sup>13,14</sup>

1. **Voltamperometría de barrido lineal:** en la representación de un voltagrama la línea aumenta de forma lineal ascendente debido al aumento de corriente cuando se logra alcanzar el potencial de la reacción (Figura 3) y cuando alcanza este punto la corriente empieza a decaer o la concentración del analito disminuye. <sup>13</sup>
2. **Voltamperometría Cíclica:** al momento de alcanzar su máximo potencial, en sentido contrario se empieza a formar un nuevo barrido hasta llegar a un mínimo potencial, en la (Figura 4) se muestra un ejemplo de esta voltamperometría. <sup>15</sup>
3. **Voltamperometría de pulso de pequeña amplitud:** a medida que el voltaje asciende por medio del electrodo lo hace en forma de escalones (Figura 5), el pulso aplicado se lo realiza a pequeña escala de forma continua y se aumenta discretamente, de esta manera se da su forma característica en los voltagramas. <sup>13</sup>
4. **Voltamperometría de pulso de gran amplitud:** a diferencia del ejemplo anterior, en esta voltamperometría se aplica un pulso mucho mayor. <sup>13</sup>

### Tipos de electrodos



**Figura 1:** Celda electroquímica con sus componentes aplicada en análisis electroquímicos.

**Fuente:** <sup>14</sup>

### · **Electrodo de trabajo**

En las reacciones electroquímicas mediadas por impulsos externos que generan determinadas cargas de energía es importante contar con los electrodos adecuados para favorecer a la reacción química que tendrá lugar dentro de una disolución mediada por un electrodo de trabajo, en muchos de los casos están compuestos de diferentes materiales como carbón vítreo, oro, plata, los cuales favorecen su capacidad de polarización, estos también varían de acuerdo a la técnica y análisis que se realice.<sup>16,17</sup>

El electrodo de trabajo se conectará de forma directa al ánodo o cátodo de la fuente de alimentación en un potencióstato, se clasifican de acuerdo al contacto con la disolución donde está presente su propio ion, y cuando su potencial se determina por una reacción de tipo oxidación/reducción no participa el ion del metal.<sup>16</sup>

### · **Electrodo de referencia**

El electrodo de referencia no presenta cambios durante los procesos electroquímicos a diferencia del electrodo de trabajo donde la reacción química está presente, este tipo de electrodos debe presentar un potencial de acción constante y ser de estabilidad óptima, deberán presentar reversibilidad y regirse a la ley de Nernst, es decir, presentar un potencial de acción constante de acuerdo al tiempo cuando será sometido a pequeñas corrientes eléctricas, los electrodos de referencia que más se utilizan son los de plata/cloruro de plata y el de Calomelanos.<sup>18</sup>

1. **Electrodos de Ag/AgCl:** se coloca una solución de cloruro de plata (AgCl) sobre un hilo de plata mediante un proceso electroquímico con una solución de cloruro de sodio (NaCl) o de potasio (KCl), estos electrodos pueden ser utilizados a temperaturas mayores a 60 °C, su desventaja radica en que no reaccionan con muchos componentes de la muestra.<sup>18</sup>
2. **Electrodos de Calomelanos:** están compuestos por mercurio y se componen de una cloruro de mercurio I solución saturada en conjunto con cloruro de potasio (AgCl), son fáciles de preparar, pero a diferencia de los electrodos de Ag/Cl no son factibles cuando su coeficiente de temperatura es alto.<sup>18</sup>

### · **Electrodo auxiliar**

Este tipo de electrodo se utiliza para permitir el paso de corriente a través de la celda electroquímica evitando que el electrodo de referencia sufra cambio en su potencial, a diferencia del electrodo de trabajo el electrodo auxiliar tiene un área de superficie más extensa que le permite asegurar que las reacciones transcurridas en el electrodo de trabajo no se limiten por el electrodo auxiliar; mismo que será aislado por un vidrio poroso para evitar contaminar al electrodo de trabajo con los residuos producidos en la solución analítica de interés, estos electrodos usualmente están compuestos de materiales inertes electroquímicamente como el grafito y el platino.<sup>19</sup>

## **METODOLOGÍA**

El presente trabajo investigativo está basado en una búsqueda de revisión bibliográfica de artículos científicos sobre métodos electroquímicos aplicados en el análisis de medicamentos, se utilizaron bases de datos como Web of Science, Scielo, EBSCOhost, E-Libro, Google Académico, PubMed, entre otros.

### **Caso práctico**

En los análisis de medicamentos, se utilizan equipos como el HPLC que pueden resultar costosos, o no tengamos la disponibilidad.

### **Pregunta a resolver**

¿Se puede utilizar como método alternativo, el potencióstato para el análisis de los medicamentos?

## **DISCUSIÓN**

El control de calidad de los medicamentos se encarga de verificar que los requisitos y normas para cada formulación farmacéutica se cumplan con rigurosidad a través del análisis del medicamento aplicando pruebas para corroborar si cumplen con dichos requisitos legales que cada empresa farmacéutica declara, de esta forma se puede asegurar un producto de calidad, seguro y eficaz que ofrezca los beneficios para los que están destinados.<sup>20</sup>

Según un estudio realizado por Foti et al. 2021, sobre la determinación de oxazolidinonas presente en antibióticos como el Linezolid utilizaron la voltamperometría diferencial de

pulsos (VDP) como método electroquímico cuantitativo, la cual describieron como rápida, asequible y selectiva, utilizaron un electrodo de carbono de vidrio obteniendo resultados lineales y con un buen rango de concentración, los resultados fueron corroborados bajo la implementación de la cromatografía líquida de alta resolución obteniendo resultados similares.<sup>21</sup>

Se utilizó otro método electroquímico para la determinación cuantitativa de la sustancia farmacéutica Triazid, el cual es utilizado como un fármaco antiviral. Este estudio fue realizado por Malakhova et al. 2020, emplearon el método por voltamperometría de onda cuadrada (VOC) en el que utilizaron un electrodo de trabajo de carbono vítreo y como electrodo de referencia el de Ag/AgCl. Identificaron tres lotes para este estudio obteniendo como resultado un intervalo de confianza promedio del  $99,8\% \pm 0,5\%$ , concluyendo que el método desarrollado cumplió con los criterios de precisión y repetibilidad para el electroanálisis basándose en la comparación de los resultados obtenidos por la determinación cuantitativa del mismo medicamento en HPLC.<sup>22</sup>

En un estudio realizado por Baliza et al. 2021, determinaron ácido ascórbico en medicamentos conocidos en presentación de comprimidos y polvo por potenciometría utilizando el potencióstato Tecnopar modelo Mpa210, un electrodo indicador de platino y uno de referencia de Ag/AgCl, concluyeron que el método desarrollado fue una alternativa confiable al obtener resultados comparables a los valores descritos por los fabricantes de los medicamentos analizados obteniendo un valor de  $962 \pm 22$  de 1000 (valor declarado por el fabricante) para los comprimidos y  $98 \pm 6$  de 100 (valor declarado por el fabricante) para los polvos, describieron también que el procedimiento era simple y de bajo costo y que no se presentaron interferencias que pudieran afectar el resultados de los análisis.<sup>23</sup>

Un estudio realizado por Lima et al. 2013, determinó Nimesulida (antiinflamatorio no esteroideo) usando el análisis de inyección de flujo con múltiples pulsos de detección amperométricas (FIA-MPA), se implementó un electrodo de diamante dopado con boro (BDD) como indicador, como electrodo de referencia Ag/ AgCl, el equipo Potenciostato / Galvanostato (Eco) de Autolab Chemie - modelo 128 N, y diferentes ácidos y bases como electrolitos, este método se realizó aplicando un forma de onda de cuatro potenciales ( $E_1 = -0,8 \text{ V} / 30 \text{ ms}$ ,  $E_2 = 0,6 \text{ V} / 30 \text{ ms}$ ,  $E_3 = -0,4 \text{ V} / 30 \text{ ms}$  y  $E_4 = -0,45 \text{ V}$ ), el objetivo de

aplicar estos potenciales es obtener un aumento en la estabilidad y la selectividad del método, y la posibilidad de realizar determinaciones simultáneas empleando un solo electrodo de trabajo sin necesidad de modificarlo, como resultado se detectó Nimesulida a tres potenciales de electrodo diferentes brindando una alta sensibilidad, selectividad y reproducibilidad.<sup>24</sup>

Cada método electroquímico es aplicado según las características del analito a analizar, en el siguiente estudio realizado por Backes et al. 2017, presentó dos métodos amperométricos para determinar citrato de sildenafil (SC) en medicamentos para la disfunción eréctil, se utilizaron cinco electrodos de trabajo serigrafados de carbono porque proporcionan buena sensibilidad, precisión y son de bajo costo, también como electrodo de referencia el de Ag/AgCl, se aplicó una detección amperométrica de +1.1V en donde el SC presentó un pico irreversible alrededor de +1.0V, los estudios de repetibilidad fueron similares presentándose una desviación estándar del 3,0%, estos resultados fueron comparados a través de cromatografía líquida de alto rendimiento acoplado a espectroscopia ultravioleta (HPLC-UV).<sup>25</sup>

En la determinación de sulfato de salbutamol por técnicas electroquímicas, Amare et al. 2017, se utilizó el método por voltamperometría de pulso diferencial obteniendo como resultado la recuperación de picos estándar en muestras de jarabes de entre el 96.7 – 98.9%, el valor mostrado en la etiqueta de los jarabes tiene una buena coincidencia en su contenido junto con los valores obtenidos en este estudio para la determinación de salbutamol en formulaciones farmacéuticas reales.<sup>26</sup>

## CONCLUSIÓN

Como resultado de este trabajo investigativo se establece que los métodos electroquímicos pueden ser una alternativa en el análisis de medicamentos según los hallazgos de varios autores a través de sus trabajos investigativos de tipo experimental, describiendo así a los métodos electroquímicos como procedimientos simples, de bajo costo y con obtención de resultados aceptables y similares a los descritos por los fabricantes de los medicamentos analizados en dichas bibliografías.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) García, C.; Tene, A.; Burgos, K.; Zambrano, C. Técnicas Y Métodos Electroquímicos : Galvanoplastia Y Potenciometría Electrochemical Techniques and Methods : Galvanoplastia and Potentiometry. *Alternativas* **2018**, 80–87. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.196>.
- (2) J. A. Corona Castro, L. H. M. Tópico V : Electroquímica. *Tópicos de investigación en ciencias de la Tierra y Materiales* **2015**, 2 (2395-8405), 136–175.
- (3) Segura, B. Business update: Joint ventures and alliances: BP and NOVA chemicals form European styrenics joint venture. *Chem. Eng. Prog.* **2016**, 101 (7), 20.
- (4) Niwa, O.; Ohta, S.; Takahashi, S.; Zhang, Z.; Kamata, T.; Kato, D.; Shiba, S. Hybrid Carbon Film Electrodes for Electroanalysis. *Anal. Sci.* **2021**, 37 (1), 37–47. <https://doi.org/10.2116/analsci.20SAR15>.
- (5) Viswanathan, V.; Hansen, H. A.; Rossmesl, J.; Jaramillo, T. F.; Pitsch, H.; Nørskov, J. K. Simulating linear sweep voltammetry from first-principles: Application to electrochemical oxidation of water on Pt(111) and Pt 3Ni(111). *J. Phys. Chem. C* **2012**, 116 (7), 4698–4704. <https://doi.org/10.1021/jp210802q>.
- (6) Alrabiah, H.; Abounassif, M.; Aljohar, H. I.; Abdel-Hafiz Mostafa, G. New potentiometric sensors for methylphenidate detection based on host–guest interaction. *BMC Chemistry* **2019**, 13 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0634-3>.
- (7) Joaquin, J. S.; Arroyo, G. A. Development and validation of analytical methodology by HPLC for the simultaneous quantification of phenylephrine hydrochloride, paracetamol and chlorpheniramine maleate tablets. *Rev. Soc. Quim. Peru* **2016**, 82 (2), 196–207.
- (8) Sarode, T. K.; Jadhav, P. B. Rp-Hplc Method Development and Validation for Simultaneous Estimation of Aspirin and Omeprazole in Bulk and Dosage Form. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics* **2018**, 8 (5), 322–328. <https://doi.org/10.22270/jddt.v8i5.1825>.
- (9) Neu, P. M.; Schober, S.; Mittelbach, M. Quantification of Phorbol Esters in *Jatropha curcas* by HPLC-UV and HPLC-ToF-MS with Standard Addition Method. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2018**, 120 (8), 1800146. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800146>.
- (10) Alfaro, M.; Alfaro, I. Construcción de un potenciostato de bajo costo para estudios de inhibición de corrosión de acero: determinación del potencial de corrosión y mediciones cronoamperométricas. *Educ. Quim.* **2017**, 28 (4), 269–274.

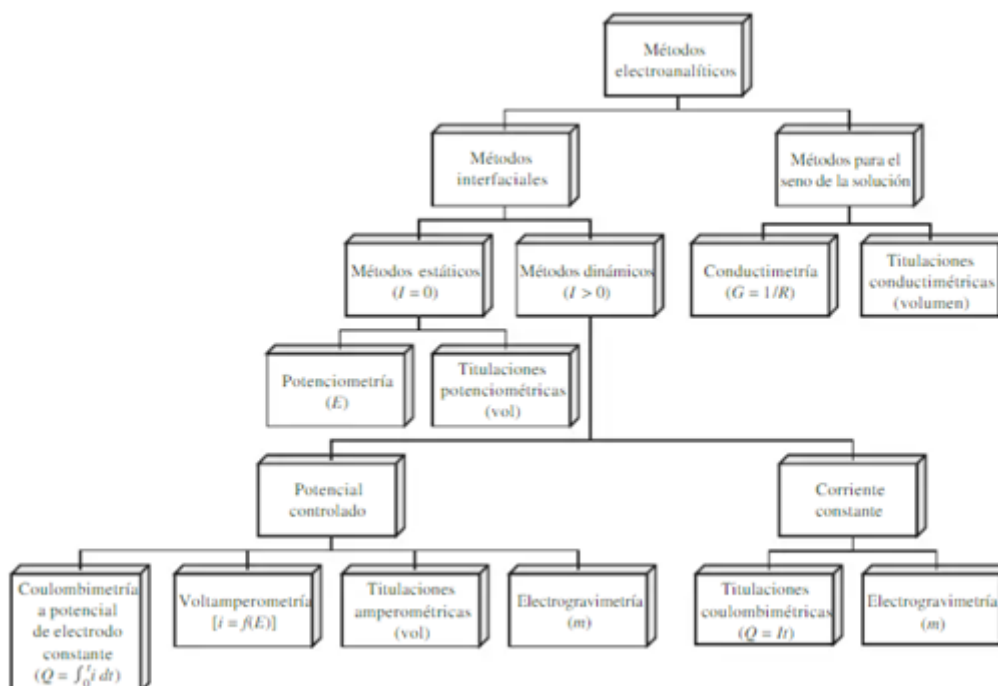
- <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.05.006>.
- (11) Koch, G. Exploiting plug-and-play electrochemistry for drug discovery. *Future Med. Chem.* **2017**, *71* (10), 643. <https://doi.org/10.2307/j.ctvnwc0d0.18>.
- (12) Alarfaj, N. A.; Ammar, R. A.; El-Tohamy, M. F. Retraction: Disposable screen-printed sensors for determination of Duloxetine Hydrochloride. *Chem. Cent. J.* **2012**, *6* (1), 2–9. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-72>.
- (13) Al-Ghamdi, A. F.; Hefnawy, M. M.; Al-Majed, A. A.; Belal, F. F. Development of square-wave adsorptive stripping voltammetric method for determination of acebutolol in pharmaceutical formulations and biological fluids. *Chem. Cent. J.* **2012**, *6* (1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-15>.
- (14) Kassa, A.; Amare, M. Poly(4-amino-3-hydroxynaphthalene-1-sulfonic acid) modified glassy carbon electrode for square wave voltammetric determination of amoxicillin in four tablet brands. *BMC Chemistry* **2021**, *15* (1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00739-0>.
- (15) Ibrahim, M.; Taha, M.; Almandil, N. B.; Kawde, A. N.; Nawaz, M. Synthesis, characterization and electrochemical properties of some biologically important indole-based-sulfonamide derivatives. *BMC Chemistry* **2020**, *14* (1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00691-5>.
- (16) Zhu, B. W.; Cai, L.; He, X. P.; Chen, G. R.; Long, Y. T. Anthraquinonyl glycoside facilitates the standardization of graphene electrodes for the impedance detection of lectins. *Chem. Cent. J.* **2014**, *8* (1), 4–9. <https://doi.org/10.1186/s13065-014-0067-y>.
- (17) Zhou, Q.; Zhai, H. Y.; Pan, Y. F. Voltammetric determination of phenylephrine hydrochloride using a multi-walled carbon nanotube-modified carbon paste electrode. *Royal Society Open Science* **2018**, *5* (12). <https://doi.org/10.1098/rsos.181264>.
- (18) Novotný, L.; Petrankova, R. Potentiometric Determination of Silver Nanoparticles using Silver Amalgam Electrodes. *Anal. Lett.* **2016**, *49* (1), 161–168. <https://doi.org/10.1080/00032719.2015.1045584>.
- (19) Wu, D.; Xiao, Z.; Deng, L.; Sun, Y.; Tan, Q.; Dong, L.; Huang, S.; Zhu, R.; Liu, Y.; Zheng, W.; Zhao, Y.; Wang, L.; Sun, D. Enhanced deposition uniformity via an auxiliary electrode in massive electrospinning. *Nanomaterials* **2016**, *6* (7). <https://doi.org/10.3390/nano6070135>.
- (20) Ramos-Martínez, B.; Alonso-Herreros, J. M.; De Rosales-Cabrera, A. M. M. The



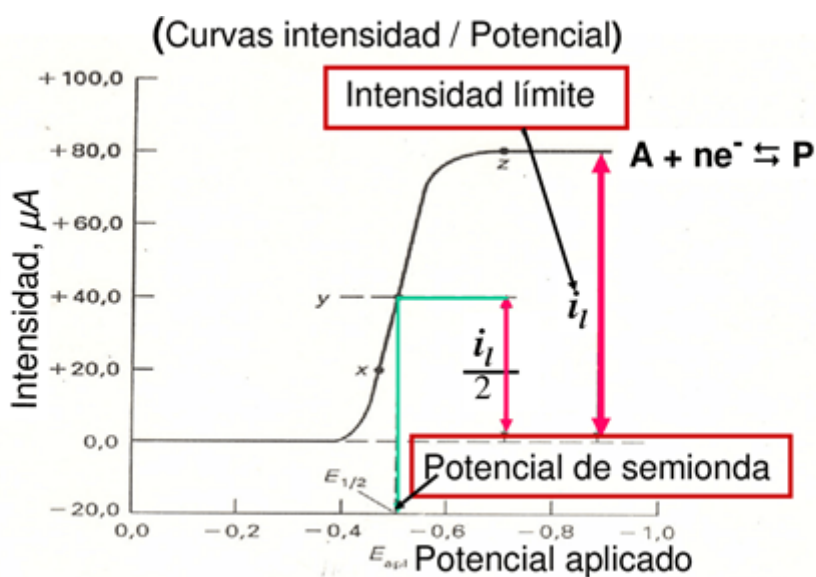
- importance of quality control in raw materials used in pharmaceutical formulations. *Farm. Hosp.* **2020**, *44* (1), 32–33. <https://doi.org/10.7399/fh.11347>.
- (21) Foti, C.; Piperno, A.; Scala, A.; Giuffrè, O. Oxazolidinone antibiotics: Chemical, biological and analytical aspects. *Molecules* **2021**, *26* (14). <https://doi.org/10.3390/molecules26144280>.
- (22) Malakhova, N. A.; Ivoilova, A. V.; Zamana, A. A.; Rusinov, V. L.; Alyamovskaya, I. S.; Ivanova, A. V.; Kozitsina, A. N. Quantitative Determination of the Main Substance of the Triazid® Antiviral Drug by Voltammetry. *J. Anal. Chem.* **2020**, *75* (3), 396–401. <https://doi.org/10.1134/S1061934820030119>.
- (23) Baliza, P. X.; Reis, E. L.; Reis, C.; Rodrigues, A. P. L.; Reis, C. D. G. Determination of ascorbic acid by perturbation of the oscillation pattern of the Belousov-Zhabotinskii reaction using a continuous flow system. *The Journal of Engineering and Exact Sciences* **2021**, *7* (4), 1–13. <https://doi.org/10.18540/jcecv17iss4pp13622-01-13e>.
- (24) Lima, A. B.; Chaves, S. C.; Da Silva, L. M.; Pereira, P. F.; Richter, E. M.; Dos Santos, W. T. P. Determinação de nimesulida por análise por injeção em fluxo com detecção amperométrica de múltiplos pulsos. *Quim. Nova* **2013**, *36* (9), 1296–1302. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900004>.
- (25) Backes, R. S.; Guedes, T. J.; Dos Santos, W. T. P.; Da Silva, R. A. B. Determinação Rápida E Simples De Citrato De Sildenafil (Viagra® E Genéricos) Empregando Eletrodo Impresso De Carbono Em Sistemas Fia E Bia Com Detecção Amperométrica. *Quim. Nova* **2017**, *40* (7), 752–759. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170047>.
- (26) Amare, M.; Menkir, G. Pulso diferencial determinación voltamétrica de sulfato de salbutamol en almíbar formulación farmacéutica usando poli (4-amino-3-hidroxinaftaleno sulfónico ácido ) carbono vítreo modificado electrodo. *Elsevier Oceanogr. Ser.* **2017**, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00417>.

## ANEXOS

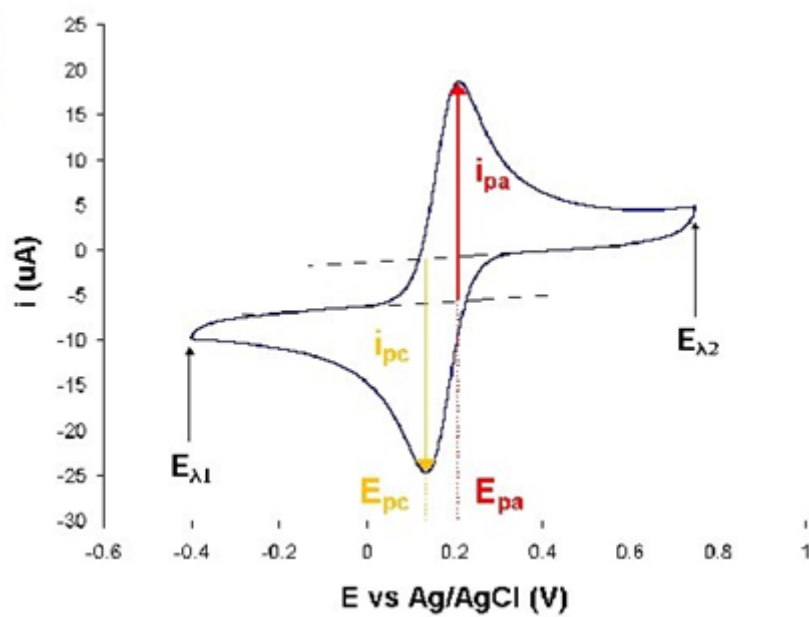
**Figura 2.** Métodos electroanalíticos con su parámetro de medición (**I** o **i**= corriente, **E**=potencial, **R**=resistencia, **G**=conductancia, **Q**=cantidad de carga, **t**=tiempo, **vol**=volumen de solución patrón, **m**=masa de una especie electrodepositada)



**Figura 3.** Voltamperograma de barrido lineal de la reducción de una especie hipotética para la obtención de un producto.



**Figura 4.** Voltamperograma cíclico



**Figura 5.** Voltamperograma de pulso de pequeña amplitud, a) escalera, b) onda cuadrada.

