

# Estudio del efecto plasmónico para la electro-oxidación de etanol en celdas de combustible alcalinas utilizando ZnO bidimensional

S.A. Gamboa<sup>1,\*</sup>, G. Salas-López<sup>2</sup>, J.A. Chávez-Carvayar<sup>3</sup>, A. Álvarez Gallegos<sup>4</sup>, and C.K. Zagal-Padilla<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privado Xochicalco S/N, Centro. Temixco, Morelos. México C.P. 62580.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica del estado de Morelos. Boulevard Cuauhnáhuac No. 566 Col. Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos. CP 62550

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior S/N Circuito de la, Investigación Científica, C.U., Ciudad de México, CDMX. C.P. 04510

<sup>4</sup>Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa Cuernavaca Morelos. C.P. 62209

\* Autor correspondiente e-mail: [sags@ier.unam.mx](mailto:sags@ier.unam.mx)

Recibido 23 marzo 2023, Aceptado 23 Junio 2023

## Resumen

La electro-oxidación de etanol en medio alcalino a 12 electrones. Ha sido uno de los puntos cruciales en el desarrollo de materiales electrocatalíticos. Esto se debe a las desventajas de los electrocatalizadores convencionales de Pt y Pd. Dentro de las desventajas se encuentra la baja estabilidad en medios alcalinos, fácil envenenamiento en los procesos redox y baja o nula selectividad en las reacciones redox. En este trabajo se presenta la síntesis del ZnO bidimensional obtenido por el método de química verde. Empleando extracto de café, como agente reductor en el proceso de síntesis. El ZnO se presenta como una alternativa para sustituir al Pd en la reacción de electro-oxidación de etanol en medio alcalino. Esto mediante la formación de un electrodo de ZnO/Ag. El ZnO/Ag es iluminado con diferentes intensidades de luz. Para dar paso a la formación de efecto plasmónico en la superficie de ZnO/Ag. Permitiendo con ello la completa reacción de electro-oxidación de etanol a 12 e<sup>-</sup> en un medio altamente alcalino a un bajo potencial electroquímico. Dicho estudio es analizado mediante voltamperometría cíclica en presencia y ausencia de luz visible.

**Palabras clave:** Efecto plasmónico; electro-oxidación; etanol; ZnO; material bidimensional.

## Abstract

The electro-oxidation of ethanol in alkaline medium at 12 electrons. It has been one of the crucial points in the development of electrocatalytic materials. This is due to the disadvantages of conventional Pt and Pd electrocatalysts. Among the disadvantages are low stability in alkaline media, easy poisoning in redox processes and low or no selectivity in redox reactions. In this work we present the synthesis of two-dimensional ZnO obtained by the green chemistry method. Using coffee extract as a reducing agent in the synthesis process. ZnO is presented as an alternative to substitute Pd in the electro-oxidation reaction of ethanol in alkaline medium. This by forming a ZnO/Ag electrode. The ZnO/Ag is illuminated with different light intensities. To give way to the formation of plasmonic effect on the ZnO/Ag surface. Thus allowing the complete electro-oxidation reaction of ethanol at 12 e<sup>-</sup> in a highly alkaline medium at a low electrochemical potential. This study is analyzed by cyclic voltammetry in the presence and absence of visible light.

**Keys words:** Plasmonic effect; electro-oxidation; ethanol; ZnO; two-dimensional material.

## 1. Introducción

La producción de combustibles a partir de recursos renovables ha atraído la atención de países en vía de desarrollo e industrializados alrededor del mundo. Actualmente, el etanol anhidro comercial se considera un combustible de primera generación. Con el objetivo de evitar la dependencia de las materias primas que potencialmente podrían ser utilizados como alimentos, la

aplicación de tecnologías de biocombustibles de segunda generación se ha fomentado en las fábricas de producción de biocarburantes (Alvarado, 2019). En la actualidad el uso del etanol como carburante reviste especial importancia no sólo con el fin de disminuir el uso del petróleo y enfrentar la crisis energética, sino también como una manera efectiva de contribuir a la reducción del gran impacto ambiental generado por los combustibles derivados del petróleo. Por otra parte, en el

proceso de producción de bioetanol uno de los subproductos con mayor importancia es la vinaza, que son las que poseen un alto contenido de alcohol. En promedio se producen entre 9 y 14 litros de vinaza por cada litro de etanol lo que lo convierte no solo en un problema energético sino también que ha generado problemas como la contaminación de mantos fríasicos y el suelo.

Una opción atractiva para la generación de energía es el utilizar etanol como donador de electrones en celdas de combustible y electro-oxidarlo para la generación de energía. El etanol también es menos tóxico que el metanol y presenta una elevada densidad energética de 6.31 kWh/kg (Ruíz, 2016) y tiene una producción a gran escala a partir de la fermentación de biomasa con alto contenido de azúcar.

A pesar de que estas celdas son más eficientes energéticamente, son lentas con respecto a la velocidad de producción de energía, comparadas con la combustión convencional de combustibles fósiles. Es por ello que se busca mejorar la respuesta de la cinética de las reacciones *redox*, por lo que para este trabajo, se pretende utilizar una celda de combustible en medio alcalino, que a diferencia de las celdas de medio ácido presenta una mayor estabilidad para el funcionamiento de la celda, favoreciendo la adsorción de iones  $\text{OH}^-$  en los catalizadores utilizados que pueden ser desde paladio, platino, plata, oro o semiconductores como el ZnO, lo cual permite una mejor oxidación de compuestos como el etanol. Sin embargo, en el caso de los metales preciosos, aumentan el costo de las celdas y su proceso de síntesis genera residuos peligrosos, además son procesos tardados y resultan complejos. Por lo que se pretende utilizar ZnO, que posee propiedades como una favorable área superficial, alta eficiencia catalítica, no es un material tóxico, presenta una estabilidad química y una fuerte adsorción de los iones  $\text{OH}^-$  en su superficie. En este trabajo se utiliza un ZnO "2D", esto trae la posibilidad de que se genere un efecto plasmónico debido a las excitaciones de los niveles de energía del material semiconductor debido a los fotones; es decir, el material genera electrones fotogenerados que podrían mejorar la cinética de reacción de la electro-oxidación del etanol, haciendo que se lleve a cabo la oxidación completa del alcohol y así poder obtener los 12 electrones que se liberan en su reacción hacia  $\text{CO}_2$ .

## 2. Metodología

### Síntesis de ZnO con extracto de café

La elaboración del extracto de café (café expreso). Se realizó con 7g de café molido chiapaneco y 35 mL de agua destilada. La extracción se realizó en un vaso precipitado a 90 °C por 1 min.

Para la síntesis de ZnO, se diluyeron 2g de  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  marca Fermont en 20 mL del extracto de café. La solución se mantuvo en agitación de 250 rpm a 60°C por 20 min. El secado del material, se realizó a 80°C hasta llegar a una combustión.

La elaboración del electrodo de trabajo (ZnO/Ag), se realizó en una placa de plata 0.925, con área expuesta de 1cm<sup>2</sup>. Se soportaron 2 mg de ZnO. Utilizando pasta de plata DUPONT como aglutinante. La parte trasera y lateral de la placa de plata, se aisló con cianoacrilato. El electrodo se dejó secar a temperatura ambiente por 24 h.

La caracterización morfológica y de composición química del ZnO, se realizó en el microscopio FE SEM Hitachi S-5500 (TEM-EDS). La conductividad del ZnO, se determinó con la técnica de punta caliente. Con un sistema integrado de multímetro, caufín, soporte de cobre.

Para las pruebas electroquímicas, se ensambló un sistema de media celda a tres electrodos. Usando como electrodo de trabajo ZnO/Ag, electrodo de referencia Ag/AgCl (sat. KCl) (V/Vref) y como contraelectrodo malla de níquel. Se utilizaron 35 mL de KOH a 1M como electrolito. Para las pruebas de electro-oxidación, se agregaron 2 mL de alcohol grado reactivo. La media celda se mantuvo en agitación de 60 rpm a temperatura ambiente. El experimento de voltamperometría cíclica (VC), se realizó en un potenciostato Solartron Analytical 1287A potentiostat/galvanostat. Con ventana electroquímica de -0.7 V a 1.4 V, velocidad de barrido 20 mV/s. Las diferentes pruebas de VC se realizaron bajo tres condiciones. La primera en obscuridad (C1), donde la celda se aisló de la luz. Mediante una carcasa plástica. Segunda condición, luz difusa (C2) es presencia de luz artificial. Proveniente de las lámparas de laboratorio (2 lámparas T8 de 30W). Tercera condición, luz directa (C3). Para ello se utilizó una lámpara de LED de 30 W.

## 3. Resultados

La Figura 1 muestra la micrografía del ZnO sintetizado con extracto de café. Se puede observar la formación de esferas circulares y ovaladas. Con dimensiones de alrededor de 10 nm. Esto indica que el ZnO sintetizado puede considerarse un material bidimensional o 2D. Debido, a que dos de sus dimensiones se encuentran en escala nanométrica (Sanz, 2016). Esto abre la posibilidad de tener un tamaño de partícula por debajo de la longitud de luz visible. Permitiendo la generación del efecto plasmónico. Que se origina al irradiar el sobre un material bidimensional ondas electromagnéticas de luz visible. Esto como resultado, de la excitación de los electrones internos de la partícula.

Es posible observar que el ZnO presenta porosidad. De acuerdo con lo reportado por Lu et. al., (2016), la alta porosidad en un material catalítico aumenta la cantidad de sitios activos. Permitiendo una mayor adsorción de iones en procesos de electro-oxidación. Siendo esto un punto favorable, para el ZnO sintetizado en este trabajo. Puesto estaríamos garantizando una fuerte adsorción y estabilidad en el proceso de electro-oxidación de etanol en medio alcalino.

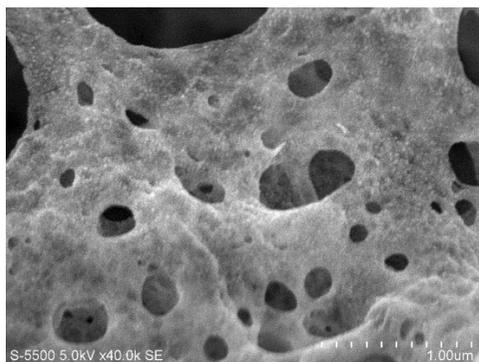


Figura 1. Micrografía del ZnO bidimensional sintetizado con extracto de café.

El análisis de EDS del ZnO bidimensional. Cuantificó la presencia de Zn, O, C, K, S, Mg. La Tabla 1, muestra los porcentajes en porcentaje atómico (at. %) de los compuestos distribuidos en el material.

Tabla 1. Porcentaje atómico cuantificado en el ZnO bidimensional

Elemento	Porcentaje Atómico (at. %)
Oxígeno	45.2
Carbono	33.62
Zinc	18.05
Potasio	2.11
Magnesio	0.91
Azufre	0.1
Total	100

Donde el C, K, Mg, corresponde a la parte orgánica proveniente del extracto de café. Mientras que la presencia de S, podría relacionarse como un subproducto de la reacción de combustión originada en el proceso de secado del ZnO. Puesto que la combustión de la sal precursor tiene un parecido con la pólvora. Que contiene nitrato de potasio (salitre), azufre y carbón (de la Llave, 2015). Siendo está, el primer precursor para la combustión generada en el proceso de secado del ZnO. Sin embargo, la presencia de estos elementos podría fungir como impurezas. Además de no alterar la estructura del ZnO. Diversos autores han reportado que la presencia de impurezas en el ZnO, podrían modificar el valor de la brecha de banda óptica del semiconductor. Permitiendo mejoras en procesos como la actividad fotocatalítica de la degradación de contaminantes y entre

ellos mejorar la reacción de electro-oxidación de etanol. Mientras que la presencia de carbón en el ZnO podría actuar como un depósito de fotoelectrones. Para almacenar y transportar los electrones fotogenerados del semiconductor. Por otro lado, el carbón no es estable en un medio tan corrosivo como el KOH 1M, por lo que para este estudio se considera que el carbón no interactúa en las reacciones *redox*.

La Figura 2. Muestra los resultados obtenidos de la conductividad del ZnO. Obtenidos por la técnica de punta caliente. Los resultados muestran un diferencial de potencial positivo, por lo que los principales portadores de carga del material son los electrones. Determinando con ello, que la conductividad del ZnO es tipo -n, característico del ZnO convencional. Cabe hacer mención que la presencia de impurezas presentes en el ZnO, promueven la formación de defectos de  $V_o$ . Predominando mayoritariamente en el ZnO, siendo estos los condicionantes a una conductividad tipo n.

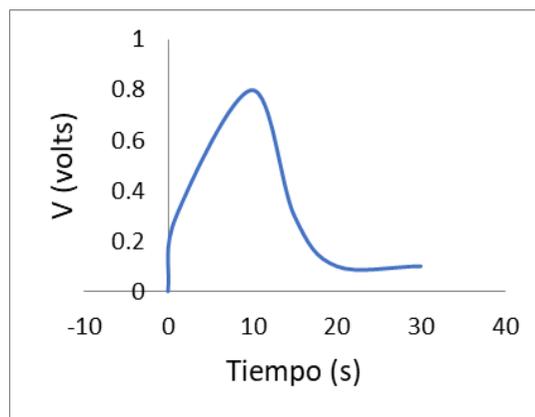


Figura 2. Gráfica de la técnica de punta caliente del ZnO tipo n.

La medición de OCP, mostró que el ZnO es estable en KOH a 1M. Alcanzando un potencial de estabilización de 0.37 V en 30 min. La Figura 3. Muestra el voltamperograma cíclico del ZnO/Ag en KOH a 1M. Esto con la finalidad de identificar la estabilidad de reacción de la VC del ZnO/Ag en ausencia de etanol. La medición se realizó bajo las condiciones descritas en el apartado de metodología. Para ellos se realizaron tres ciclos. El primer ciclo, línea azul corresponde a la condición C1. Segundo ciclo, línea naranja condición C2 y tercer ciclo, línea gris condición C3. Es posible observar que los tres ciclos difieren uno de otro. Por lo que la presencia de luz tiene una influencia significativa en el proceso de reacción del KOH a 1M.

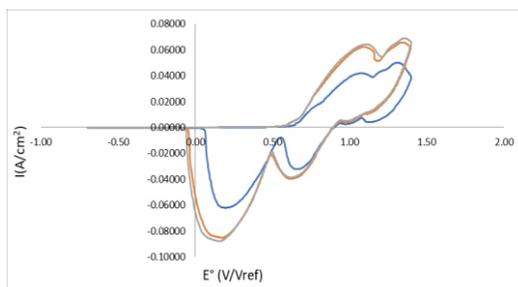


Figura 3. Voltamperograma cíclico del ZnO/Ag en KOH 1M. primer ciclo, línea azul corresponde a la condición C1. Segundo ciclo, línea naranja condición C2 y tercer ciclo, línea gris condición C3. Tal como se describió en el apartado de metodología

Para el análisis de reacción del ZnO/Ag. El voltamperograma de la Figura 3. Será analizado de acuerdo con la numeración de cuadrantes de un plano cartesiano. En el siguiente orden cuadrante, II y I. Tomando en cuenta la dirección de reacción anódica. Que tiene inicio de izquierda a derecha.

La Figura 4. Comprende al estudio de análisis del cuadrante II. Del proceso de electro-oxidación de KOH a 1M. Mejor conocida como región anódica. Es posible observar que la activación de la reacción tiene inicio en -0.7 V. Que es el rango establecido de la ventana electroquímica. Es posible observar que el primer ciclo en la condición C1, demanda mayor energía para iniciar la reacción de electro-oxidación de KOH a 1M. Iniciando en -0.21 V/Vref con una densidad de corriente de 0.17 mA/cm². Mientras que el segundo ciclo condición C2 y tercer ciclo condición C3, inician en un potencial menor, siendo este de -0.15 V/Vref, con una densidad de corriente de 0.25 mA/cm². (Tabla 2).

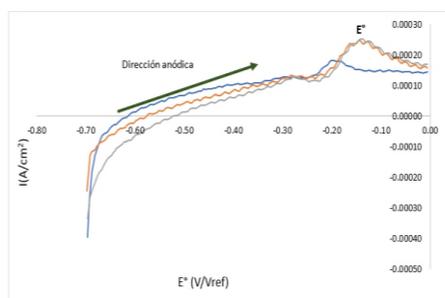


Figura 4. Análisis del ZnO/Ag en el II cuadrante, de la región anódica del proceso de electro-oxidación de KOH a 1M. Primer ciclo condición C1 (línea azul). Segundo ciclo condición C2 (línea naranja). Tercer ciclo condición C3 (línea gris).

Tabla 2. Potencial y densidad de corriente del ZnO/Ag en el II cuadrante, de la región anódica.

Condición	E° (V/Vref)	I(mA/cm²)
C1	-0.21	0.17
C2	-0.15	0.25
C3	-0.15	0.25

Las respuestas obtenidas para cada caso. Exponen un potencial cercano a 0. 2V/Vref. De acuerdo con lo reportado por la literatura, cerca de este potencial, es posible la absorción de iones de OH<sup>-</sup> (Nguyen et.,al. y Liang et.,al. 2009), (Akhairi & Kumarudin, 2016), (Tavakolian et.,al., 2016). Es posible observar que la luz presenta influencia en el proceso de absorción de especies. El cual se refleja con el aumento de densidad de corriente, cuando el experimento es expuesto a luz difusa y puntual. Esto de debe, a que la luz promueve la formación de sitios activos del ZnO, que favorecen a la absorción de especies.

La Figura 5. Muestra el cuadrante I de la reacción anódica de electro-oxidación de KOH a 1M. Es posible observar que en los potenciales cercanos a 0.6 V/Vref (E°1) al aplicar luz genera una mejora en la cinética en el proceso de electro-oxidación. Lo que significa que la reacción requiera 0.06 V/Vref (E°1) menos energía, para empezar el proceso de electro-oxidación. Dentro del mismo cuadrante. Es posible observar, en la dirección catódica. Que los potenciales cercanos a 1V/Vref se generan picos de re-electro-oxidación de especies. Especies que se originaron de la electro-oxidación parcial de KOH. Tal efecto, permite una mejor eficiencia en la reacción. Evitando el efecto de doble capa, por acumulación de especies en la superficie del ZnO bidimensional.

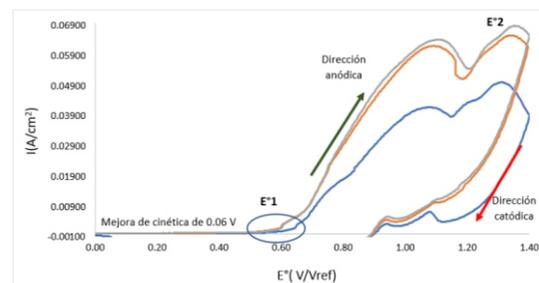


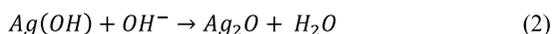
Figura 5. Cuadrante I, región anódica de la reacción de KOH 1M sobre ZnO/Ag

La Tabla 3, muestra la influencia de la luz difusa y directa en el experimento de electro-oxidación de KOH. Es de fácil apreciación el incremento en la densidad de corriente para los casos C2 y C3. Debido al aumento de sitios activos en el ZnO/Ag, generados por la incidencia de luz.

Tabla 3. Potencial y densidad de corriente, del cuadrante I de la reacción anódica de KOH 1M

Condi- ción	E°1 (V/V ref)	I1 (mA/c m <sup>2</sup> )	E°2 (V/V ref)	I2 (mA/c m <sup>2</sup> )
C1	1.05	41.49	1.29	49.46
C2	1.08	63.55	1.33	65.46
C3	1.08	64.01	1.33	68.18

En esta reacción al no contar con la presencia de combustible. Los potenciales obtenidos, refieren a la oxidación de la plata presente en el electrodo ZnO/Ag. La Ecuación 1. Explica, el mecanismo de reacción de la Ag, al estar en contacto con el medio electrolítico de KOH. La Ag del electrodo ZnO/Ag reacciona con los iones OH<sup>-</sup> que están en el medio. Formando Ag(OH). La Ag, en medios alcalinos es inestable. Por lo tanto, de forma espontánea formará Ag<sub>2</sub>O como compuesto estable en el medio (Ec. 2). Al aumentar la cantidad de sitios activos, aumenta la cantidad de iones adsorbidos y con ello se genera un incremento en la corriente. Puesto que la presencia mayoritaria de especies OH<sup>-</sup> que dan lugar a la reacción de la ecuación 1. Este fenómeno, se debe al efecto superficial del ZnO bidimensional (Guo et.,al., 2018). Puesto que mejora la absorción d de iones en el electrodo ZnO/Ag. Mientras, que el aumento de los potenciales, al utilizar luz visible en el ZnO/Ag. Podría deberse al efecto plasmónico. Que al excitarlo mediante las ondas de luz incidente. Genera oscilaciones en los electrones del ZnO, promoviendo la mejora el proceso de fotocátalisis plasmónico. Trayendo consigo un aumento en la cantidad de especies adsorbidas y la velocidad de electro-oxidación de estas especies (Akhairi & Kumarudin, 2016).



La Figura 6. Muestra el voltamperograma de la electro-oxidación de etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) a 1M en KOH a 1M. Las mediciones, se realizaron bajo las mismas condiciones del experimento de electro-oxidación de KOH a 1M. El primer ciclo, línea azul corresponde a la condición C1. Segundo ciclo, línea naranja condición C2 y tercer ciclo, línea gris condición C3.

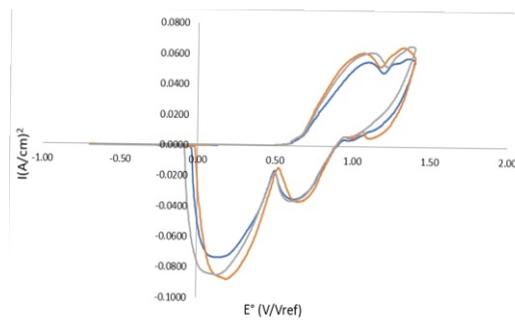


Figura 7. Voltamperograma cíclico de la electro-oxidación de etanol a 1M en KOH a 1M

La Figura 8. Muestra el II cuadrante del voltamperograma (Figura 6) en la región de reacción anódica. Es posible observar, la formación de picos en los potenciales - 0.18V/Vref en oscuridad y en 0.15V/Vref con luz difusa y luz puntual. En estos potenciales, de acuerdo con lo reportado por Nguyen et.,al. (2009) & Liang et.,al. (2009), se desorben iones de OH<sup>-</sup> y son sustituidos por las moléculas de etanol, disponibles en el medio para posteriormente oxidarse. Los picos formados en luz difusa y puntual muestran un aumento en la densidad de corriente. Debido a la incidencia de luz sobre el ZnO/Ag. Esto promueve a una mayor desorción de iones OH<sup>-</sup>, dejando una mayor cantidad de sitios activos. Donde se adsorben las moléculas de etanol. Los iones de OH<sup>-</sup> que están adsorbidos juegan un papel importante en la eliminación de intermediario disociados para liberar sitios activos para el etanol en el proceso de electro-oxidación. Por lo tanto, el ZnO y la incidencia de luz mejora la adsorción de OH<sup>-</sup> lo cual conduce a una oxidación más rápida del etanol (Tavakolian et.,al., 2016). Además, el contenido de impurezas aumenta la cantidad de iones que puedan ser adsorbidos por el área activa del electrodo, haciendo que la cantidad de iones OH<sup>-</sup> que se adsorben/liberan sea mayor. Originando, que la cantidad de moléculas de etanol sea mayor. Teniendo un mejoramiento en la velocidad de reacción de electro-oxidación del etanol. El tamaño de partícula del ZnO bidimensional influye en dicho proceso. Al aplicar una excitación lumínica se generen plasmones en la superficie del ZnO/Ag, haciendo que la reacción se lleve con mayor rapidez.

Esto explicaría los potenciales de electro-oxidación al incidir luz difusa y puntual. Se obtiene una mayor densidad de corriente. Es decir, hay una mayor cantidad de iones que están siendo adsorbido en la superficie ZnO/Ag, provocando una menor área disponible. Debido a la presencia de más iones en la superficie del ZnO /Ag. Mismos que requieren de un mayor voltaje y más tiempo para completar la reacción de electro-oxidación del etanol, y que el efecto plasmónico favorezca la adsorción de estos iones.

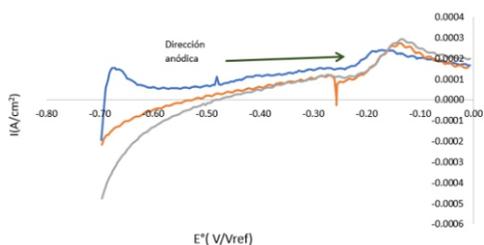


Figura 8. Cuadrante II de la región de reacción anódica de la electro-oxidación de etanol a 1M en KOH 1M.

La Figura 9. Muestra el cuadrante I del voltamperograma (Figura 7) en la reacción anódica de la electro-oxidación de etanol. Fue posible observar, que, al adicionar la solución de etanol, en condiciones de oscuridad. En los potenciales de 1.05V/Vref y 1.37V/Vref se genera picos de electro-oxidación. En comparación con los obtenidos en presencia de luz difusa y puntual, estos mostraron una menor densidad de corriente. Los picos obtenidos en presencia de luz difusa y puntual presentan oxidaciones parciales de las moléculas de etanol adsorbidas en la reacción que le antecede (Figura 8). Por lo que se podrían estar formando especies, como resultado de la electro-oxidación de etanol. Dichas especies podrían ser CO<sub>2</sub>, acetaldehído y ácido acético (Párraga, 2017).

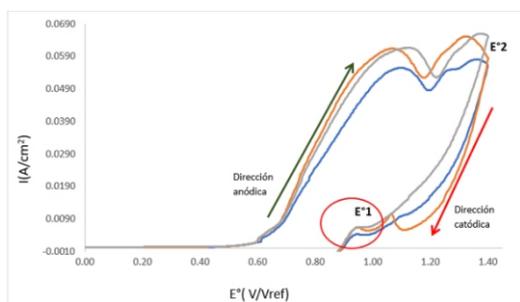
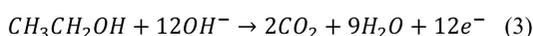


Figura 9. Cuadrante I del voltamperograma en la reacción anódica, de electro-oxidación de etanol a 1M en KOH 1M.

La Tabla 4. Concentra los potenciales y densidad de corriente. De las reacciones generadas en el cuadrante I de la región anódica de la electro-oxidación de etanol. En el potencial 1.07 V/Vref (E°1) en dirección catódica, en presencia de luz difusa. Presentó un pico de re-oxidación. De acuerdo con lo reportado por la literatura. Los picos en la dirección catódica son por la re-oxidación del etanol y de las especies de acetaldehído y ácido acético. Que estarían oxidándose a CO<sub>2</sub>. Estas oxidaciones tienen lugar en 1.07 V/Vref (E°1) y 1.38 V/Vref (E°2), tras aplicar una excitación lumínica. Que es la encargada de promover el efecto plasmónico. En el tercer ciclo condición C3, no se identificaron picos de re-oxidación. Por lo que existe la posibilidad que al aumentar la intensidad lumínica sobre el ZnO/Ag, en los primeros picos de electro-oxidación de etanol se electro-oxide hacia CO<sub>2</sub>, como se muestra en la ecuación 3.

Tabla 4. Potencial y densidad de corriente, del cuadrante I de la reacción anódica de electro-oxidación de etanol a 1M en KOH a 1M.

Condi ción	E°1 (V/V ref)	I1 (mA/c m <sup>2</sup> )	E° 2 (V/V ref)	I2 (mA/c m <sup>2</sup> )
C1	1.07	55.2	1.38	58.6
C2	1.04	59.6	1.29	63.9
C3	1.11	61.5	1.35	65.4



Mientras que en oscuridad al no presentar picos de re-oxidación, es indicio de que la electro-oxidación de etanol no se lleve a 12 e<sup>-</sup>. Generando con ello la formación de CO, quedando absorbido en la superficie de ZnO/Ag.

#### 4. Conclusiones

El ZnO bidimensional fue posible sintetizar mediante el método de química verde utilizando extracto de café. El cual favorece a la reducción de emisiones tóxicas al medio ambiente. El ZnO sintetizado, mostró en los análisis de SEM dimensiones por debajo de los 100 nm, por lo que se cataloga como un material “2D o bidimensional”. Los principales portadores de carga son los electrones y posiblemente la formación de Vo, siendo estos los encargados de condicionar la conductividad tipo-n. Las impurezas presentes en el ZnO bidimensional permiten una mayor estabilidad y adsorción de los iones en el área del electrodo ZnO/Ag. Por ende, mejora la velocidad de la reacción de electro-oxidación de etanol. Permitiendo a la vez, la generación de efecto plasmónico. Que facilitará la electro-oxidación de compuestos orgánicos de cadena corta. Las propiedades presentadas por el ZnO bidimensional por la forma de obtención y costo accesible, podría sustituir el uso de los electrocatalizadores de Pt y Pd en las reacciones redox. Las voltamperometrías cíclicas, revelaron que el ZnO/Ag tiene actividad catalítica sobre el etanol. Al hacer incidir luz sobre el electrodo de trabajo, generará el efecto plasmónico. Mejorando la cinética de la electro-oxidación de etanol.

#### Contribución de los autores

S.A. Gamboa. Redacción y revisión del manuscrito.

G. Salas-López. Experimental y redacción del manuscrito.

A. Álvarez Gallegos. Redacción y análisis de los resultados del manuscrito.

J.A. Chávez-Carvayar Redacción y análisis de los resultados del manuscrito.

C.K. Zagal-Padilla Experimentación, análisis de resultados y redacción del manuscrito.

#### Fuente de financiamiento

CONAHCYT

#### Conflicto de intereses

No existe conflicto de interés declarado por los autores

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Victor Hugo Ramos Sánchez de la Universidad Autónoma de Chihuahua-Mexico y al Mtro. Manuel Roman Aguirre del Centro de Investigación en Materiales Avanzados-Mexico por su ayuda para la caracterización de TEM, HRTEM del ZnO bidimensional. Los autores quieren agradecer al Mtro. Carlos Díaz-Gómez del Instituto de Energías Renovables-UNAM por su ayuda para la medición de punta caliente. Se agradece al programa de CONHACYT, Estancias Posdoctorales por México 2022. Por el apoyo económico brindado a la Dra. Claudia Karina Zagal Padilla, con No. De CVU 464307.

#### 6. Referencias

Párraga, R. J. R. (2017). Catalizadores de Pt-Sn para la reacción de oxidación de etanol.

Ruíz Montoya, J. G. (2016). Electro-oxidación de etanol en medio alcalino sobre catalizadores soportados Au-Pd/C tipo núcleo-envoltura.

Nguyen, S. T., Law, H. M., Nguyen, H. T., Kristian, N., Wang, S., Chan, S. H., & Wang, X. (2009). Enhancement effect of Ag for Pd/C towards the ethanol electro-oxidation in alkaline media. *Applied Catalysis B: Environmental*, 91(1-2), 507-515.

Liang, Z. X., Zhao, T. S., Xu, J. B., & Zhu, L. D. (2009). Mechanism study of the ethanol oxidation reaction on palladium in alkaline media. *Electrochimica Acta*, 54(8), 2203-2208.

Sanz Serrano, A. (2016). Nanopartículas de zinc para la mejora de los dispositivos de almacenamiento de energía.

Alvarado Flores, J. J., Ávalos Rodríguez, M. L., & Rutiaga Quiñones, J. G. (2019). Celdas de combustible como elementos potenciadores para un desarrollo energético sustentable.

Akhairi, M. A. F., & Kamarudin, S. K. (2016). Catalysts in direct ethanol fuel cell (DEFC): An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(7), 4214-4228.

Lu, P., Zhang, J., Luo, M., Wu, Q., & Yao, W. (2016). Shape Dependent Catalytic Activity of Palladium Nanocubes for Ethanol Electrooxidation. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(7), 7642-7646.

E.Tavakolian, J.Tashkhourian, Z.Razmi, H.Kazemi, M.Hosseini-Sarvari, Ethanol Electrooxidation at Carbon

Paste Electrode Modified with Pd and ZnO Nanoparticles, *Sensors and Actuators B: Chemical* <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.02.006>

E.Tavakolian, J.Tashkhourian, Z.Razmi, H.Kazemi, M.Hosseini-Sarvari, Ethanol Electrooxidation at Carbon Paste Electrode Modified with Pd and ZnO Nanoparticles, *Sensors and Actuators B: Chemical* <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.02.006>

Guo, J., Chen, R., Zhu, F. C., Sun, S. G., & Villullas, H. M. (2018). New understandings of ethanol oxidation reaction mechanism on Pd/C and Pd<sub>2</sub>Ru/C catalysts in alkaline direct ethanol fuel cells. *Applied Catalysis B: Environmental*, 224, 602-611.