

DESARROLLO DE PELÍCULAS CONDUCTORAS BIOPOLIMÉRICAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA

ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

DEVELOPMENT OF BIOPOLYMERIC CONDUCTIVE FILMS FROM CASSAVA STARCH

¹ Adolfo Antonio Ballestas Núñez

² Álvaro Ángel Arrieta Almario

Como citar este artículo: Ballestas, A; Arrieta, A, (2020) Desarrollo de películas conductoras biopoliméricas a partir de almidón de yuca, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

RESUMEN

Se elaboró un biopolímero conductor a base de almidón de yuca obtenido del tubérculo de la yuca, óxido de grafeno derivado del mesocarpo del coco, y plastificantes. El almidón de yuca fue obtenido a partir del pelado, rayado, tamizado y secado del tubérculo de la yuca, mientras el óxido de grafeno se obtuvo a partir de la incineración del mesocarpo del coco, obtención de carbón, y posterior oxidación química empleando ácido sulfúrico y permanganato de potasio, además de la adición de perclorato de Litio y plastificantes, glicerol, glutaraldehído y polietilenglicol. La capacidad conductora del biopolímero se evaluó mediante la fabricación de biopelículas elaboradas a pH 5 y 9, y a concentraciones de óxido de grafeno de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, se emplearon 2 biopelículas por concentración de óxido de grafeno y pH, las biopelículas fueron analizadas mediante voltametría cíclica en Potenciostato/ Galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. La caracterización del almidón y el óxido de grafeno se realizó mediante FTIR y Espectroscopía Raman respectivamente. A pH 5 se favoreció el proceso de reducción en las biopelículas y una disminución de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno, mientras que a pH 9 se favoreció el proceso de oxidación y un aumento de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno. La densidad de carga propia del óxido de grafeno, pH de elaboración e interacciones iónicas presentes en las biopelículas elaboradas, determinaron la capacidad de donación o atrapamiento electrónico de las biopelículas. Se elaboró un biopolímero conductor a base de almidón de yuca obtenido del tubérculo de la yuca, óxido de grafeno derivado del mesocarpo del coco, y plastificantes. Metodología. El almidón de yuca fue obtenido a partir del pelado, rayado, tamizado y secado del tubérculo de la yuca, mientras el óxido de grafeno se obtuvo a partir de la incineración del mesocarpo del coco, obtención de carbón, y posterior oxidación química empleando ácido sulfúrico y permanganato de potasio, además de la adición de perclorato de Litio y plastificantes, glicerol, glutaraldehído y polietilenglicol. La capacidad conductora del biopolímero se evaluó mediante la fabricación de biopelículas elaboradas a pH 5 y 9, y a concentraciones de óxido de grafeno de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, se emplearon 2 biopelículas por concentración de óxido de grafeno y pH, las biopelículas fueron analizadas mediante voltametría cíclica en Potenciostato/Galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. La caracterización del almidón y el óxido de grafeno se realizó mediante FTIR y Espectroscopía Raman respectivamente. Resultados. A pH 5 se favoreció el proceso de reducción en las biopelículas y una disminución de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno, mientras que a pH 9 se favoreció el proceso de oxidación y un aumento de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno. Discusión. La densidad de carga propia del óxido de grafeno, pH de elaboración e interacciones iónicas presentes en las biopelículas elaboradas, determinaron la capacidad de donación o atrapamiento electrónico de las biopelículas. Conclusiones. Se logró fabricar un biopolímero a base de almidón de yuca, óxido de grafeno obtenido del mesocarpo del coco, y plastificantes, capaz de conducir energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE: Biopolímero, almidón, tubérculo, grafeno, mesocarpo.

¹ Biólogo egresado de la Universidad de Sucre, UDS, Colombia – adolfoaballestas1996@hotmail.com

² profesor del departamento de Biología y Química, Universidad de Sucre, UDS, Colombia – alvaroarrieta@unisucra.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El almidón de yuca es materia prima en la presente investigación, capaz de producir materiales poliméricos y, dada su constitución, puede ser transformado en material termoplástico mediante la ruptura de su estructura granular empleando plastificantes (Qiao et al., 2017; Matignon et al., 2017). Las biopelículas formadas por dicho material no son conductoras de electricidad; sin embargo, investigaciones recientes se han enfocado en la capacidad de conducción de bioplásticos y sales iónicas en matrices constituidas por biopelículas de almidón, produciendo nuevos enfoques investigativos y aplicaciones.

El almidón basa su aprovechamiento en su abundancia, siendo el segundo polímero mas abundante en el planeta después de la celulosa, altamente renovable, económico y biodegradable (Arrieta et al., 2018). Las propiedades químicas y eléctricas de las biopelículas pueden modificarse mediante adición de compuestos o de sus propiedades físicas, favoreciendo la transmisión de energía eléctrica, tal es el caso del perclorato de litio (LiClO_4) y el óxido de grafeno reducido (OGr) (Marcano et al., 2010; Chaparro et al., 2014).

El grafeno es una estructura bidimensional finísima, aproximadamente $3.35 \text{ \AA}$ ($3.35 \times 10^{-11} \text{ m}$), 1000 veces mas delgado que el cabello de menor grosor que pueda encontrarse, con una resistividad de $0.96 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, menor que la del cobre ($1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$), y menor que la resistividad de la plata ($1.5 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$), con una facilidad de transporte de carga mayor que los materiales anteriormente mencionados (Ren et al., 2018). Actualmente, los polímeros son amplia y extensamente empleados debido a su facilidad de ser moldeados, impermeables, baja densidad, resistencia a la corrosión y bajo costo, sin embargo, su alta estabilidad y baja biodegradabilidad los convierten en contaminantes y en un muy serio problema ambiental.

Su degradación puede tardar hasta 500 años, no siendo real, debido a la formación de microplásticos que, no siendo evidentes, se acumulan en los ecosistemas afectando a todos los organismos que allí habiten (Segura et al., 2007), incluido el hombre (Hahladakis et al., 2018). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que millones de teléfonos móviles, cámaras digitales, ordenadores, tabletas y otros dispositivos electrónicos elaborados con plásticos terminan cada año en la basura, y, que para el año 2018, se produjeron unos 50 millones de toneladas de desechos plásticos, a comparación de 10 millones de toneladas producidas en el año 2000, con una media de 7 kg producidos por persona por año en todo el planeta.

Los cálculos prevén un aumento de un tercio del valor enunciado para el año 2018 durante los siguientes 3 años, asimismo, muchos aparatos electrónicos contienen metales pesados altamente bioacumulables en la cadena trófica y potencialmente tóxicos, metales como el plomo, mercurio, cadmio y zinc, significativos como fuentes de contaminación a largo plazo. Por otro lado, la producción de polímeros de origen petroquímico, conductores y semiconductores, dejan una huella contaminante latente desde su extracción hasta su disposición final, con una cantidad reciclada diminuta a comparación de la cantidad desechada (Casey et al., 2019). El presente estudio tuvo como objetivo el desarrollo de biopelículas conductoras empleando almidón de yuca (AY), óxido de grafeno (OG) obtenido a partir del mesocarpo del coco, y plastificantes, fomentando el uso de biopolímeros degradables, rentables, económicos y asequibles, como posibles alternativas al uso de materiales contaminantes y de residuos sólidos.

2. MÉTODOS

2.1 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

El presente estudio es de tipo experimental, dada la manipulación de una o más variables independientes, medición del efecto de la variable independiente sobre la(s) variable(s) dependiente(s) y validación interna de la situación experimental.

2.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Material vegetal, tubérculos específicamente, raíces frescas obtenidas en el mercado local de la ciudad de Sincelejo de la especie *Manihot esculenta* Crantz. El mesocarpo de coco fue obtenido de cocos frescos (*Cocos nucifera*) adquiridos en el mercado local de la misma ciudad. Los plastificantes empleados fueron provistos por el laboratorio del Grupo de Investigación en Conservación del Recurso Hídrico y Aguas (CHRIA) de la Universidad de Sucre.

2.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Se empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 de Reflectancia Total Atenuada (ATR) para la caracterización del AY obtenido, y un espectrómetro MicroRaman Horriba Jobin Yvon para la obtención del espectro Raman empleado en la caracterización del OG. Además, se utilizó un potencióstato/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software durante el proceso de voltametría cíclica y posterior obtención de espectros oxido-reducción (redox) para su análisis.

2.1.4. PROCEDIMIENTO

2.1.4.1. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Se partió de 1 kg de tubérculo de yuca (raíz fresca), la corteza fue retirada mediante pelado, para posterior rallado y lavado empleando 1.5 L de agua bidestilada, luego se filtró en tela muselina, permitiendo la sedimentación del almidón, dejándola en reposo durante 24 h. El sedimento fue lavado 5 veces empleando 150 mL de agua bidestilada por lavado, posteriormente se introdujo en horno a 75°C durante 24 h y se tamizó a $150 \mu\text{m}$ (Arrieta et al., 2014). Se determinó el rendimiento de extracción del almidón con la ecuación.

$$\%R_{\text{almidón}} = 100 \left(\frac{m_{\text{almidón}}}{m_{\text{raíz}}} \right)$$

2.1.4.2. EXTRACCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO A PARTIR DEL MESOCARPO DEL COCO

Inicialmente, se fragmentaron 130 g de mesocarpo de coco a partículas de 1 mm, estas fueron tamizadas y depositadas en recipiente de teflón e introducidas en mufla a 1200°C durante 4 h para obtención de carbón. Posterior obtención de carbón, este se tamizó a $160 \mu\text{m}$. El proceso de oxidación empleado fue el planteado por Hummers con modificaciones (Rodríguez, 2008); para ello se pesaron 5 g de carbón y fueron disueltos en 70 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10%, se le adicionaron 10 g de permanganato de potasio (KMnO_4), y se sometió a calentamiento a $35 \pm 5^\circ\text{C}$ y agitación constante a 2000 rpm durante 2 h.

Se agregaron, gota a gota, 140 mL de agua bidestilada con aumento progresivo de la temperatura hasta 84°C , luego, se suspendió el calentamiento dejando la solución en agitación constante durante 15 min. Seguidamente, se adicionaron 10 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a 30% dejándola en reposo durante 40 min; transcurrido este tiempo, la mezcla fue lavada y centrifugada a 1500 rpm durante 3 min.

La muestra obtenida se disolvió en 140 mL de H₂SO₄ concentrado más 18 g de KMnO₄ en agitación constante por 2 h. Al finalizar, se agregaron 275 mL de agua bidestilada y agitación constante durante 15 min, luego, 20 mL de H₂O₂ y se dejó en reposo. El sólido obtenido se lavó y centrifugó con 1 L de solución acuosa 1:10 de ácido clorhídrico (HCl) durante 5 min, y, finalmente, se secó en horno a 60 °C por 24 h. El rendimiento de OG (%ROG) se calculó como

$$\%R_{OG} = 100 \left(\frac{m_{OG}}{m_{mesocarpio}} \right)$$

2.1.4.3. ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS CON ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

Se fabricaron un total de 32 biopelículas, 16 a pH 5 y 16 a pH 9, el ajuste del pH fue realizado empleando alícuotas de agua ultra pura, HCl e hidróxido de sodio (NaOH), para pH ácido y básico respectivamente. Para la fabricación de las biopelículas se ajustó un volumen de 500 mL de agua ultra pura, empleando 15 mL por biopelícula. A cada preparación se le adicionaron 1 g de AY y se sometió a calentamiento a 75±5 °C durante 15 min, luego, se le añadió OG resultando en concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75% (2 biopelículas por concentración de OG y pH).

Posteriormente se adicionó 1 g de LiClO₄, al llegar a 30 °C se añadieron los plastificantes, glicerol (1 mL), glutaraldehído (1.5 mL), y polietilenglicol (0.5 mL). La mezcla se calentó a 75 °C con agitación constante durante 15 min, al finalizar, se depositó en recipientes de teflón, e introducidos estos en horno a 75 °C por 48 h. Posteriormente fueron extraídas y caracterizadas (Arrieta et al., 2014).

2.1.4.4. CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA DEL ALMIDÓN DE YUCA Y ÓXIDO DE GRAFENO, Y CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

El AY se caracterizó mediante Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier empleando el método oficial de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (Arrieta et al., 2014), mientras el OG fue caracterizado mediante Espectroscopía Raman (Aguirre, 2015). La caracterización del AY empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 ATR, se utilizó 1 cm² del polímero colocándolo en el portamuestra, los espectros fueron obtenidos a 25 °C entre 4000 – 700 cm⁻¹, resolución espectral de 4 cm⁻¹ y se promediaron sobre 100 barridos (Arrieta et al., 2018). La Espectroscopía Raman se realizó en espectrómetro MicroRaman Horriba Jobin Yvon, con fuente de excitación láser y detector de 1024 píxeles, CCD de alta sensibilidad, acoplado a un microscopio Olympus BX41TF de resolución espectral < 1 µm.

El análisis Raman se realizó en el Grupo de Investigaciones Interdisciplinar de Nanotecnología Aplicada de la Universidad de Concepción, Chile. La caracterización electroquímica de las biopelículas empleó un potencióstato/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. Se utilizó una celda para medidas en sólidos, consistía en dos electrodos de acero inoxidable adheridos a placas de acrílico, las muestras se recortaron en cuadrados de 1×1 cm y dispuestas en la celda en forma de Sándwich. Los potenciales se midieron usando como referencial el electrodo de circuito abierto. Se empleó voltametría cíclica, con un rango de barrido de -2 a 2 V, y velocidad de barrido de 50 mV s⁻¹ rms.

2.1.4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinaron los coeficientes de variación (CV) de los promedios de valores de corriente obtenidos (2 valores de corriente, anódica y catódica, por biopelícula, pH y concentración de OG), asumiendo como representativos aquellos CV menores al 18% (Lara, 2015).

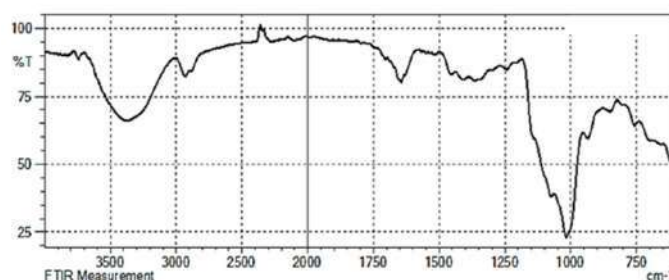
3. RESULTADOS

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron de 10.1% y 3.10% para el AY y el OG respectivamente. El rendimiento de extracción del OG se considera bajo, aun así, el mesocarpio de coco puede emplearse como abono y fertilizante para especies vegetales y degradadores de materia orgánica.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA MEDIANTE FTIR

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron de 10.1% y 3.10% para el AY y el OG respectivamente. El rendimiento de extracción del OG se considera bajo, aun así, el mesocarpio de coco puede emplearse como abono y fertilizante para especies vegetales y degradadores de materia orgánica.

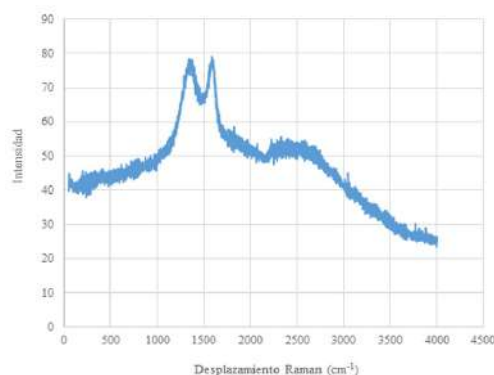
Gráfica 1. Espectro FTIR de AY. Adaptado de autor a partir de...



En el espectro obtenido (gráfica 1), se observaron las bandas características del almidón, bandas entre los rangos 1020 – 1030 cm⁻¹ correspondientes a vibraciones de C-O del anillo de anhidroglucosa (C-O-C), y vibraciones del grupo C-O de grupos C-O-H. Bandas entre los 1400 – 1450 cm⁻¹ del enlace O-H, banda en 1646 cm⁻¹ de moléculas de agua residuales en la biopelícula, 2840 – 3000 cm⁻¹ vibraciones de enlaces C-H, y entre 3300 – 3500 cm⁻¹ del grupo hidroxilo.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA RAMAN

Gráfica 2. Espectro Raman de OG. Fuente: completamente generada por el autor, 2019.



En el espectro Raman (gráfica 2) de OG, se evidenciaron las bandas: D a 1320 cm^{-1} , G a 1584 cm^{-1} , ambas características de la estructura del OG obtenido a partir de grafito (éste obtenido en la fabricación de carbón).

3.3. BIOPELÍCULAS FABRICADAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

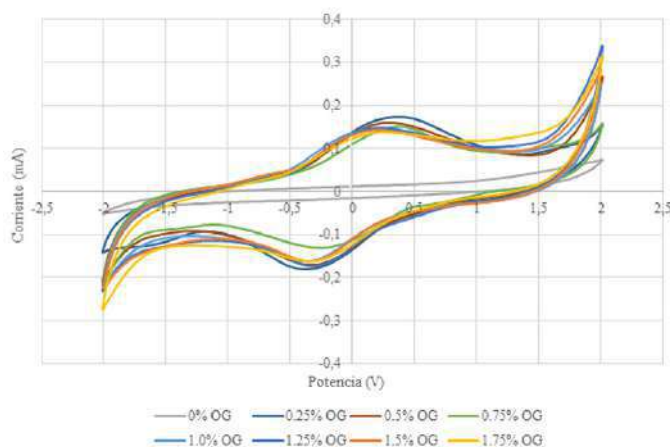
Ilustración 1. Biopelículas fabricadas a pH 5, de izquierda a derecha, a concentraciones de OG de 0%, 1.00%, y 1.50%. Fuente: completamente generada por el autor, 2019.



Las biopelículas se tornaron mas oscuras con el aumento de la concentración de OG. Fueron resistentes a la tracción manual, movimiento, de textura consistente y suave, su apariencia inicial fue traslúcida, con el paso de los días se tornó amarillenta y opaca con exudados acuoso y viscoso.

3.4. ESPECTROS DE VOLTAMETRÍA CÍCLICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

Gráfica 3. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 5. Fuente: completamente generada por el autor.



Gráfica 4. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 9. Fuente: completamente generada por el autor.

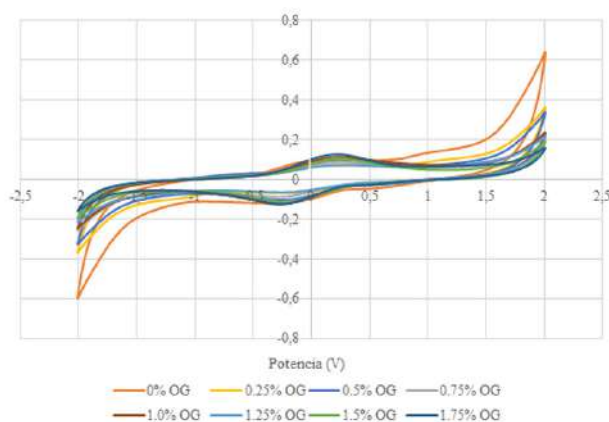


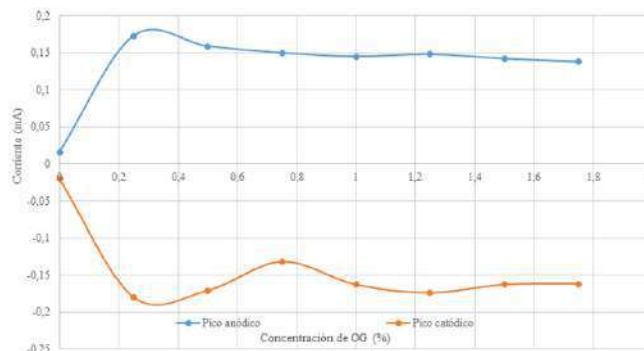
Tabla 1. Valores De Corriente De Picos Anódicos (I_{pa}) Y Catódicos (I_{pc}), Relaciones De Corriente De Picos Anódicos Y Catódicos (I_{pa}/I_{pc}), Y, Potenciales De Picos Anódicos (E_{pa}) Y Catódicos (E_{pc}), Según Concentración De OG A pH 5 Y pH 9. Todos Los Promedios De Valores De Corriente De Pico Anódica Y Catódica Obtuvieron CV <15%.

%OG	I_{pa}	I_{pc}	I_{a}/I_{c}	E_{pa}	E_{pc}
pH 5					
0	0.016	-0.020	0.800	0.48	-0.48
0.25	0.173	-0.180	0.961	0.33	-0.39
0.50	0.159	-0.171	0.930	0.30	-0.30
0.75	0.150	-0.132	1.136	0.36	-0.24
1.00	0.145	-0.163	0.890	0.20	-0.36
1.25	0.148	-0.174	0.851	0.21	-0.33
1.50	0.142	-0.163	0.871	0.20	-0.32
1.75	0.138	-0.162	0.852	0.24	-0.33

%OG	I_{pa}	I_{pc}	I_{a}/I_{c}	E_{pa}	E_{pc}
pH 5					
0	0.097	-0.120	0.808	0.27	-0.33
0.25	0.071	-0.069	1.029	0.27	-0.24
0.50	0.101	-0.103	0.981	0.24	-0.24
0.75	0.089	-0.086	1.035	0.24	-0.27
1.00	0.113	-0.122	0.926	0.24	-0.27
1.25	0.071	-0.067	1.060	0.30	-0.24
1.50	0.107	-0.112	0.955	0.24	-0.21
1.75	0.128	-0.125	1.024	0.21	-0.24

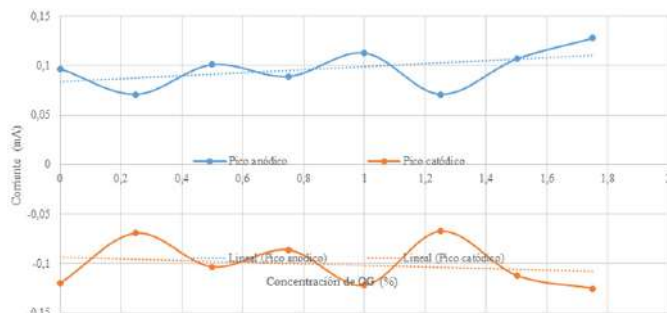
Fuente: completamente generada por el autor, 2019.

Gráfica 5. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 5. Fuente: completamente generada por el autor.



En la gráfica 5, a pH 5, se observó un máximo de corriente anódica de 0.173 mA a 0.25% de OG con una disminución de la corriente proporcional a la concentración de OG, hasta de un 80%, tal es el caso de 1.75% de OG con 0.138 mA. El menor valor de corriente anódica se observó a 0% de OG y corriente de -0.016 mA. Los valores de corriente catódica obtuvieron un mínimo de -0.180 mA a 0.25% de OG, y un aumento de corriente proporcional a la concentración del aditivo. Las ecuaciones lineales de valores de corriente de picos anódicos y catódicos fueron $y = -0.014x + 0.0163$ ($R^2 = 0.859$), e $y = 0.004x - 0.168$ ($R^2 = 0.020$), respectivamente.

Gráfica 6. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 9. Fuente: completamente generada por el autor.



Se evidenció un máximo de corriente en el pico anódico de 0.128 mA y un mínimo de corriente catódica de -0.125 mA. Además, el comportamiento de la corriente eléctrica de picos anódicos y catódicos fue de tipo senoidal que, con ayuda de líneas de tendencia, pudo establecerse un comportamiento más evidente de la corriente anódica y catódica con el aumento de la concentración de OG.

Se denotó un aumento de la corriente de picos anódicos y una disminución en los catódicos con el aumento de la concentración de OG. Las ecuaciones de tendencia lineal fueron, para picos anódicos de $y = 0.016x + 0.083$, y para los catódicos $y = -0.009x - 0.093$, ambas ecuaciones con valores R^2 cercanos a 0.200.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A pH 5 se denotaron valores de corriente a 0% de OG en el pico anódico de 0.016 y catódico de -0.02 mA, el valor de corriente de mayor valor absoluto fue la del pico catódico, y una diferencia entre éstos de 4 milésimas, favoreciendo al proceso de reducción en la biopelícula de forma muy tenue. A concentraciones de OG mayores a 0.50% la pendiente de valores de corriente picos anódicos fue de 0.014 y de -0.004 para los picos catódicos, indicando una disminución más notable de corriente anódica que aumento de la catódica con el aumento de la concentración de OG; lo anterior evidencia favorecimiento del proceso de reducción en la biopelícula. Esto puede denotarse en los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, valores menores a 1, con corrientes anódicas hasta un 20% menores que los valores de corriente catódica. La cercanía a 1 de los cocientes también denotó reversibilidad de los procesos redox analizados en la biopelícula.

A pH 9 se denotó una disminución de los valores de corriente anódica y disminución de la catódica con el aumento de la concentración de OG, comportamiento contrario al de pH 5. Los valores de corriente anódica fueron hasta un 60% mayores que los valores de corriente catódica. A 0% de OG, los valores de corriente de pico anódico y catódico fueron de 0.097 mA y de -0.120 mA respectivamente, favoreciendo en un 10.17% al proceso de reducción. Los valores de corriente anódica y catódica a pH 9 y 0% de OG, fueron 2.21 y 6 veces los valores obtenidos a pH 5 y 0% de OG, respectivamente, mostrando una mayor actividad electroquímica a pH 9. En el mismo pH se evidenció una alternancia en el favorecimiento de procesos de oxidación-reducción, el de oxidación en las concentraciones de 0.25%, 0.75%, 1.25% y 1.75% de OG, mientras el proceso de reducción se vio favorecido a 0%, 0.50%, 1.00% y 1.50% de OG. Aun así, los valores de corriente de picos catódicos obtuvieron una pendiente de tendencia lineal ~ 1.8 veces el valor de la pendiente de picos anódicos, favoreciendo al proceso de oxidación. Igualmente, los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, fueron cercanos a 1, indicando reversibilidad en el proceso redox.

Por ende, se plantea, que el pH juega un rol importante en el movimiento de especies iónicas y en el conjunto de transportadores de carga del sistema, también puede regular el estado de ionización del OG dada su conformación físico-química (Chaparro et al., 2014), y el de los compuestos que conforman la matriz de la biopelícula (AY y plastificantes). Altos valores de pH favorecen la desprotonación de los grupos funcionales del OG, aumentando su densidad de carga negativa y el número de especies reductoras, además de los valores de corriente de picos anódicos sobre los catódicos con el aumento de la concentración de OG. A bajos valores de pH los iones H^+ pueden competir con otros cationes en la matriz del biopolímero, como grupos hidroxilados de los plastificantes y del AY, además, el OG posee abundantes hidrógenos de la forma (OG)-H aumentando la densidad de carga positiva de la biopelícula y favoreciendo el proceso de reducción, adquisición de electrones.

Claramente la fabricación de las biopelículas a pH 5 tiene un efecto negativo sobre la transmisión de corriente, nótese los cocientes entre valores de corriente de picos anódicos y catódicos a 0% de OG entre pH 5 y 9, donde este último alcanza valores de corriente de hasta 6 veces los valores de corriente en picos anódicos y catódicos a pH 5. El OG está cargado negativamente, la fabricación de las biopelículas a pH 5 puede producir una neutralización de las cargas negativas del OG debido a la abundancia de las cargas positivas adicionadas en la fabricación y establecimiento del pH de las biopelículas. Además, la interacción iónica dada por los iones H^+ a pH 5 y la densidad de carga negativa del OG, puede aumentar conforme aumenta la concentración de OG, dejando menores especies oxidantes disponibles para reducirse.

*Este capítulo es resultado del trabajo de grado, realizado como requerimiento para la obtención del título de Biólogo otorgado por la Universidad de Sucre (pregrado), que contó con la participación y financiación del Grupo de Investigación CHRIA, y personal.



REFERENCIAS



- Aguirre, F. (2015). Síntesis y caracterización de capas conductoras de Oxido de grafeno (GO): propiedades vibracionales bajo condiciones extremas de presión y temperatura. Trabajo final de Máster: Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, pp. 50.
- Arrieta, A., Jaramillo, A. (2014). Bioplásticos eléctricamente conductores de almidón de yuca. *Revista Colombiana de Materiales*, (5):42-49.
- Arrieta, Á., Durango, L., Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Espacios*, 39(53):1-15.
- Casey, K., Lichrou, M., Fitzpatrick, C. (2019). Treasured trash? A consumer perspective on small Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) divestment in Ireland. *Resources, Conservation and Recycling*, 145:179-189.
- Chaparro, C., Cabanzo, R., Mejía, E. (2014). Estudio de la absorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno. *Revista Colombiana de Materiales*, 5:131-139.
- Hahladakis, J., Velis, C., Weber, R., Lacovidou, E., Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, 344(2018):179-199.
- Lara, A. (2015). Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá). Trabajo final de Máster: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UTPC, pp. 105.
- Marcano, D., Kosynkin, D., Berlin, J., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Tour, J. (2010). Improved Synthesis of Graphene Oxide. *American Chemical Society*, 4(8):4806-4814.
- Matignon, A., Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, 68:43-52.
- Qiao, D., Yu, L., Bao, X., Zhang, B., Jiang, F. (2017). Understanding the microstructure and absorption rate of starch-based superabsorbent polymers prepared under high starch concentration. *Carbohydrate polymers*, 175:141-148.
- Ren, S., Rong, P., Yu, Q. (2018). Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review. *Ceramics International*, 44(11):11940-11955.
- Rodríguez, C., Kharissova, O. (2008). Propiedades y aplicaciones del grafeno. *Ingenierías*, 11(38):17-23.
- Segura, D., Noguez, R.,
- Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(23):361-371