

Estudio Preliminar del Efecto de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la Oxidación del Almidón de Achira (*Canna edulis*) con Peróxido de Hidrógeno

Molina Pamela¹; Encalada Katherine¹; Valle Vladimir¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador

Resumen: Existe gran diversidad de agentes oxidantes que permiten modificar almidones; sin embargo, la influencia de los catalizadores en el grado de oxidación continúa en investigación, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la oxidación del almidón de achira con peróxido de hidrógeno. Para el alcance de este objetivo se modificó químicamente el almidón con 1 %, 2 % y 4 % de agente oxidante a diferentes relaciones de los catalizadores en cuestión. La evaluación cuantitativa de la oxidación se realizó por medio de espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier y titulación. Los resultados evidenciaron que el empleo de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en proporciones iguales, al 2 % de agente oxidante, promueve un mayor número de grupos carboxilo que la acción exclusiva del H_2O_2 ; verificando de esta manera la acción catalítica favorable de los sulfatos estudiados.

Palabras clave: Almidón, Modificación química, Oxidación, Peróxido de hidrógeno

Preliminary Evaluation of the Effect of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Over the Oxidation of Achira Starch (*Canna edulis*) with Hydrogen Peroxide

Abstract: There is a great diversity of oxidizing agents that can modify starches; however, the influence of the catalysts on the degree of oxidation is still in research, so the current work pretends to study the effect of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ on the oxidation of achira starch (*Canna edulis*) with hydrogen peroxide. To aim this goal, the starch was chemically modified with 1 %, 2 % and 4 % of the oxidizing agent at different proportions of the mentioned catalysts. The quantitative evaluation of the oxidation was performed by Fourier transform infrared spectroscopy and titration. The results shown that the use of $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in equal proportions, at 2% of oxidant, promotes a greater number of carboxyl groups in comparison with the exclusive action of H_2O_2 ; in this way, the catalytic action of the sulfates studied is verified.

Keywords: Starch, Chemical Modification, Oxidation, Hydrogen Peroxide

1. INTRODUCCIÓN

El almidón es un polímero de origen natural que puede ser obtenido de varias fuentes como cereales, raíces, tubérculos y frutos inmaduros. Debido a lo anterior, éste constituye el componente orgánico más abundante en la naturaleza, después de la celulosa (Ashogbon y Akintayo, 2014). Su utilización se ha extendido más allá de la industria alimenticia, posicionándolo también como material biodegradable en la industria textil, del papel y empaques (Bertolini, 2010).

Sin embargo, la escasa estabilidad y elevada hidrofiliidad del polisacárido constituyen una limitante en su procesabilidad. En este sentido, surge la necesidad de modificar el almidón, ya sea a través de métodos químicos, físicos y/o enzimáticos para variar dichas propiedades (Lewicka, Siemion y Kurcok, 2015).

La modificación química del almidón consiste en cambios estructurales y/o introducción de nuevos grupos funcionales en las cadenas del polisacárido con el objetivo de variar sus propiedades fisicoquímicas, sea por reacciones de esterificación, eterificación, reticulación, apertura de anillos, fosforilación u otras (Shandu et al., 2008).

A pesar de la existencia de varios mecanismos de modificación, uno de los más estudiados es la oxidación, el cual consiste en la sustitución de los grupos hidroxilos disponibles en las unidades de anhidroglucosa que componen las cadenas de almidón, por grupos carbonilo o carboxilo. Dicha sustitución se da favorablemente en los grupos hidroxilos de las posiciones C₂, C₃ y C₆ de la anhidroglucosa (Dias, 2011).

vladimir.valle@epn.edu.ec

Recibido: 15/07/2016

Aceptado: 02/06/2017

Publicado: 27/07/2017

La oxidación tiene lugar en dos fases; en la primera se eliminan dos átomos de hidrógeno y se obtiene un aldehído (carbonilo) que posteriormente es oxidado hasta formar un ácido carboxílico. Por otro lado, ocurre una rotura del enlace C₂-C₃ que origina grupos carbonilo y cuya oxidación da paso a la formación de grupos carboxilo (Sorokin et al., 2004).

La oxidación es un método ampliamente estudiado debido a que el almidón obtenido como resultado de este proceso presenta menor viscosidad, mayor estabilidad y solubilidad, así como también un reducido tamaño molecular en comparación con el almidón nativo (Chen et al., 2015). Adicionalmente, es importante mencionar que el control adecuado de ciertas condiciones como la concentración del agente oxidante, la temperatura y pH favorecen el proceso oxidativo. La Figura 1 esquematiza las etapas del proceso de oxidación del almidón.

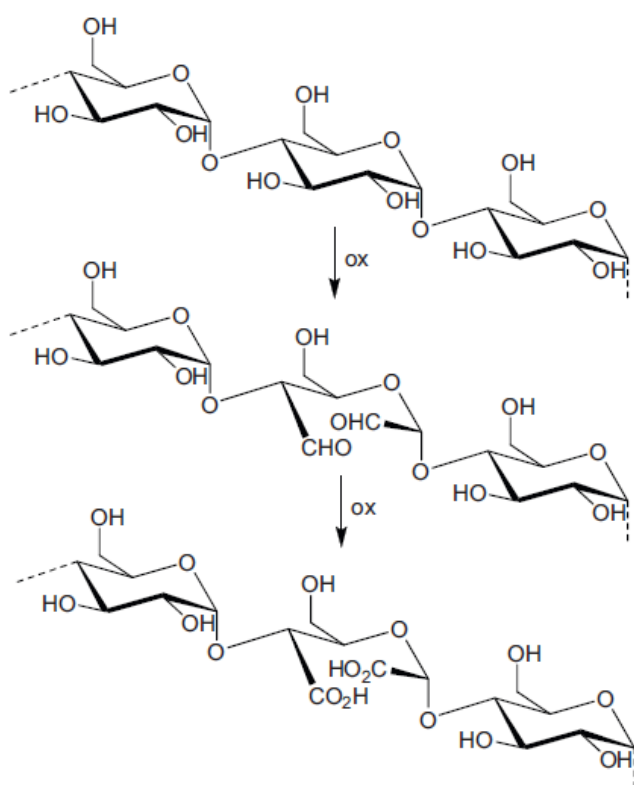


Figura 1. Mecanismo de oxidación del almidón (Moad, 2011)

El almidón puede ser oxidado por variadas sustancias como peryodato, ácido crómico, permanganato de potasio, dióxido de nitrógeno, hipoclorito de sodio, entre otros (Zhang et al., 2009). Tradicionalmente, la oxidación se ha llevado a cabo con NaOCl o N₂O₄; sin embargo, se producen cantidades considerables de desechos inorgánicos (Sorokin et al., 2004).

En este sentido, un método amigable con el ambiente está asociado al empleo de peróxido de hidrógeno como agente oxidante (Tolvanen et al., 2009), debido a que éste se descompone en agua y oxígeno. Se considera que el H₂O₂ ataca preferentemente a la amilopectina, lo que resulta en una reducción de la viscosidad (Parovouri et al., 1995).

Dentro del contexto de oxidación de carbohidratos, la presencia de catalizadores desempeña un rol importante, ya

que su acción favorece el control adecuado de la reacción, aumento de la velocidad y mayor selectividad (Chiu y Solarek, 2009; Tolvanen et al., 2009). En este ámbito, se han realizado estudios con diversos catalizadores como tungsteno, vanadio, iones de hierro, cobre y manganeso (Parovouri et al., 1995). Particularmente, los sulfatos de hierro (FeSO₄·7H₂O) y cobre (CuSO₄·5H₂O) son empleados generalmente como catalizadores en la oxidación con peróxido de hidrógeno (Moad, 2011).

A pesar de las investigaciones realizadas sobre esta temática, no se dispone de información sobre el efecto catalizador de los sulfatos de hierro y cobre sobre almidones nativos de achira, oca, banano u otros. De igual manera, bibliografía especializada sobre la relación entre la cantidad de catalizador y el grado de oxidación aún es escasa. Es así que el presente trabajo tiene la finalidad particular de estudiar el efecto de la concentración del FeSO₄·7H₂O y CuSO₄·5H₂O como catalizadores en la modificación por oxidación de almidón de achira (*Canna edulis*) con peróxido de hidrógeno.

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Se empleó almidón de achira (*Canna edulis*) provisto por la casa comercial Camari del Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio. El peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 50 % fue obtenido de la comercializadora La Casa del Químico-LAQUIN. Además, se utilizó sulfato de hierro heptahidratado (FeSO₄·7H₂O), Merck y sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄·5H₂O), Fisher Scientific.

2.2. Modificación química del almidón

Para iniciar el proceso de oxidación se preparó una solución al 42 % (p/p) para lo cual se incorporó 100 g de almidón de achira en agua destilada, en la que previamente se disolvieron los catalizadores: FeSO₄·7H₂O y CuSO₄·5H₂O en un porcentaje equivalente al 0,1 % sobre la base de la cantidad de almidón seco adicionada. La proporción de los sulfatos en dicha solución se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos realizados para la modificación del almidón de achira

Nº Tratamiento	H ₂ O ₂ (%)	(FeSO ₄ ·7H ₂ O: CuSO ₄ ·5H ₂ O) en peso
M1		0
M2	1	3:7
M3		5:5
M4		7:3
M5		0
M6	2	3:7
M7		5:5
M8		7:3
M9		0
M10	4	3:7
M11		5:5
M12		7:3

La mezcla fue colocada en un baño termostático a 40 °C y se agitó mecánicamente mediante un agitador de hélice BOHECO Germany Modelo OSD-20. Posteriormente, se

añadió gota a gota la solución de peróxido de hidrógeno al 50 % hasta alcanzar concentraciones del 1 %, 2 % y 4 %, como se describe en la Tabla 1. Transcurrido 3 h de reacción, se realizaron lavados con agua destilada y el almidón resultante fue secado a 40 °C por 16 h en una estufa MMM-Group Modelo VENTICELL 55. El sistema empleado para la oxidación se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Sistema empleado para la oxidación de almidón con H_2O_2

2.3. Evaluación de grupos carbonilo por FTIR

El almidón modificado fue secado a 100 °C durante 2 h para luego ser analizado mediante la técnica de espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR) por transmitancia. Se empleó un espectrómetro infrarrojo marca Perkin Elmer modelo Spectrum One, los análisis se realizaron bajo la norma ASTM E1252 “Técnicas Generales para la Obtención de Espectros Infrarrojos para Análisis Cualitativo”. El rango de estudio fue desde 4000 cm^{-1} hasta 450 cm^{-1} y se realizó 16 barridos por espectro para cada pastilla. Se efectuó un solo ensayo por cada una de las formulaciones. La información obtenida se procesó con el software *Spectrum v3.02*.

Para determinar las diferencias entre los distintos tratamientos realizados con el fin de oxidar el almidón, se realizó un análisis cuantitativo mediante el cálculo del índice de intensidad relativa de carbonilos. Se consideró la relación entre las áreas corregidas en la zona asociada al grupo carbonilo ubicadas entre 1600 cm^{-1} y 1800 cm^{-1} con respecto a una región invariable durante el proceso de oxidación y que para este caso corresponde a la zona del sobretono comprendida entre 1999 cm^{-1} y 2236 cm^{-1} .

2.4. Cuantificación de grupos carboxilo -COOH

Se añadió 5g de almidón seco a 25 mL de agua destilada y se homogeneizó con un agitador magnético durante 30 min. Posteriormente, la muestra se filtró al vacío; una vez que se recuperó el sólido, éste se disolvió en 300 mL de agua y se lo llevó a baño termostático a 90 °C con agitación mecánica durante 30 min. La solución obtenida se tituló con NaOH 0,01 M hasta alcanzar un pH de 8,2. Para la lectura del pH se utilizó un pH-metro marca HANNA Instruments modelo HI 2223. La cuantificación de los grupos carboxilo se realizó empleando la Ecuación (1) descrita por Dias (2011).

$$\frac{COOH}{100\text{ UG}} = \frac{(V_s - V_b) \times M \times 0,045 \times 100}{W} \quad (1)$$

Donde,
 $\frac{COOH}{100\text{ UG}}$ = Número de grupos carboxilo por cada 100 unidades de glucosa
 V_s = Volumen de NaOH (0,01 M) empleado en la titulación en mL
 V_b = Volumen de NaOH (0,01 M) empleado en la titulación de almidón nativo en mL
 M = Molaridad de NaOH
 W = Peso del almidón seco en g

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme refiere literatura especializada, la presencia de grupos carbonilo y carboxilo es un indicativo del grado de oxidación que pueda experimentar un almidón, razón por la cual se buscó valorar la información obtenida en la cuantificación del grupo carbonilo paralelamente con los datos alcanzados en la evaluación del grupo carboxilo.

3.1. Evaluación de grupos carbonilo por FTIR

La Tabla 2 detalla los valores de intensidad relativa de la banda correspondiente al grupo carbonilo del almidón resultante para cada muestra. Dichos valores se obtuvieron de la información presentada en las Figuras 3, 4 y 5. Estos resultados evidencian un aumento en la intensidad de banda en comparación con la intensidad de banda del almidón nativo para casi todos los casos a excepción de las muestras M2, M4 y M8. En general, este comportamiento corroboró la presencia de los grupos carbonilo como resultado del proceso de oxidación.

Tabla 2. Intensidad relativa de la banda correspondiente al grupo carbonilo

Tratamiento/réplica	Intensidad Relativa
M1	5,0065
M2	5,3183
M3	4,0468
M4	5,9791
M5	4,1675
M6	3,6691
M7	4,1658
M8	4,2398
M9	3,7032
M10	4,2478
M11	3,8829
M12	5,6672
Almidón nativo	4,0737

En primera instancia, la Tabla 2 refleja la clara acción de la mezcla de catalizadores sobre el proceso de oxidación. Esto se traduce en mayores valores de intensidad relativa asociada al carbonilo para todas las muestras con catalizador con el mismo porcentaje de agente oxidante sobre cada muestra sin catalizador (M1, M5 y M9), respectivamente.

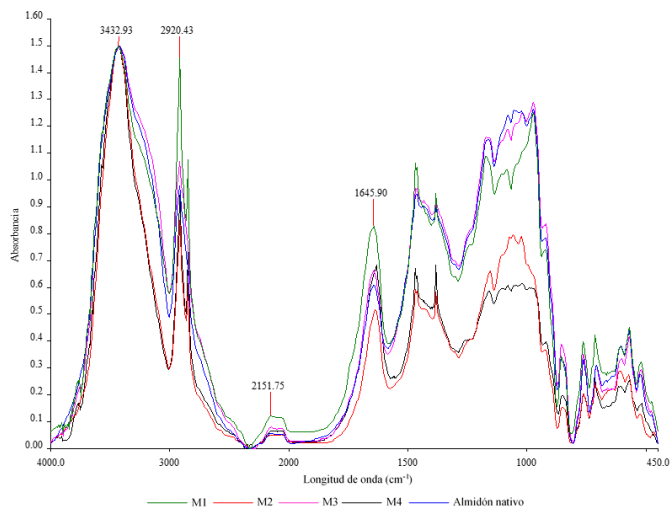


Figura 3. Espectro FTIR de almidón modificado por oxidación con H_2O_2 al 1 %

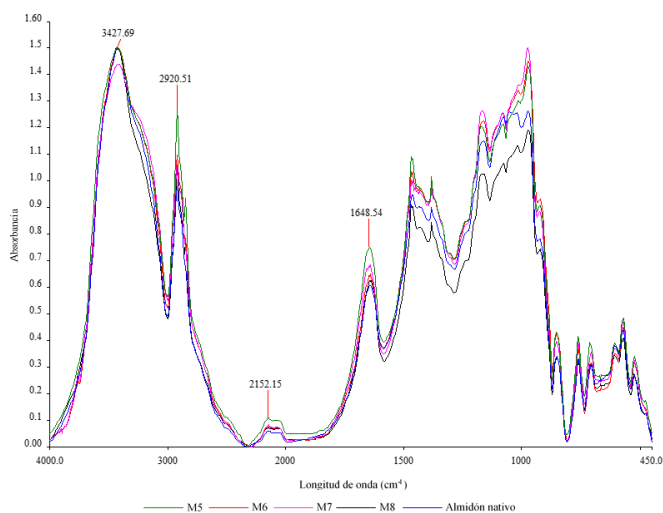


Figura 4. Espectro FTIR de almidón modificado por oxidación con H_2O_2 al 2 %

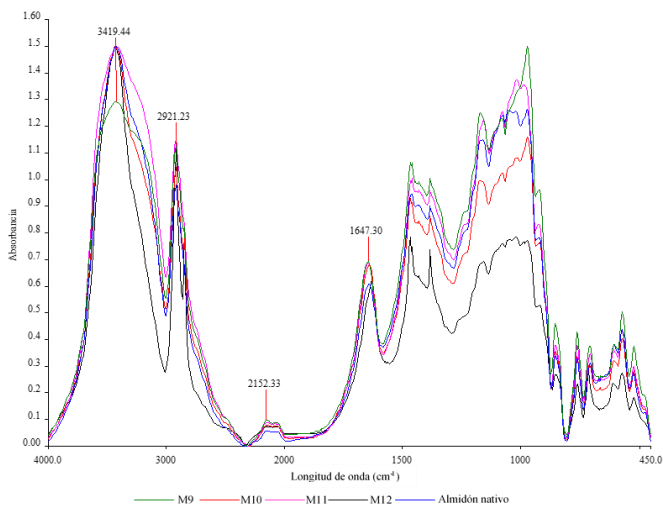


Figura 5. Espectro FTIR de almidón modificado por oxidación con H_2O_2 al 4 %

Como segunda parte del análisis, y en referencia a la Tabla 2, la mayor intensidad de banda asociada al grupo carbonilo para cada porcentaje de peróxido de hidrógeno, se presentó en la relación 7:3 de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Lo que en

principio sugeriría que esta relación entre los catalizadores sería la óptima para favorecer el proceso de oxidación.

Adicionalmente, se destaca que el grupo de muestras que utilizaron 1 % de peróxido de hidrógeno presentaron mayores valores de intensidad de banda que los correspondientes al 2 % y 4 %. Sin embargo, debe considerarse que estos resultados no reflejan el proceso total de oxidación.

Zhang (2009) afirma que a medida que la concentración de peróxido de hidrógeno incrementa, el número de grupos aldehídos aumenta también y subsiguientemente disminuye ya que éstos son convertidos de forma progresiva en grupos carboxilo. Sin embargo, para este caso no fue posible determinar un patrón de cambio de los valores de intensidad de carbonilo en relación a la cantidad de agente oxidante.

3.2. Cuantificación de grupos carboxilo -COOH por titulación

Los resultados de este estudio referentes al contenido de grupos carboxilo en el almidón modificado químicamente por oxidación se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenido de grupos carboxilo en cada tratamiento

Tratamiento	COOH/100 UG
M1	0,067 ± 0,003
M2	0,135 ± 0,014
M3	0,248 ± 0,013
M4	0,238 ± 0,009
M5	0,070 ± 0,021
M6	0,234 ± 0,005
M7	0,239 ± 0,052
M8	0,177 ± 0,073
M9	0,096 ± 0,008
M10	0,238 ± 0,051
M11	0,243 ± 0,002
M12	0,231 ± 0,005
Almidón Nativo	0,000 ± 0,009

Existe una diferencia notoria en la cantidad de COOH/100 UG entre los tratamientos estudiados en los que se emplearon sulfatos de cobre y de hierro en comparación con los que se realizaron únicamente con peróxido de hidrógeno, ya que se obtuvieron valores superiores referidos al contenido de grupos carboxilo en todos los casos en los que se emplearon los catalizadores. Este comportamiento confirma el incremento de grupos funcionales en el almidón modificado, lo cual concuerda con literatura (Parovuori et al,1995).

Adicionalmente, en los tratamientos sin catalizador se aprecia que a medida que la concentración de H_2O_2 aumentó, la formación de los grupos carboxilo también se incrementó; este resultado guarda relación con los resultados obtenidos por Zhang et al. (2009), quienes afirman que a una mayor relación molar de peróxido de hidrógeno con respecto al almidón nativo; el agente oxida progresivamente los grupos aldehído a grupos carboxilo.

De igual manera, se observó un aumento en el número de COOH/100 UG cuando se incrementa el peróxido de hidrógeno del 1 % al 2 % y con la proporción de catalizadores constante. Sin embargo, cuando la concentración del agente oxidante fue equivalente a 4 %, la tendencia sólo se cumple

para la proporción 3:7 referente al sulfato de hierro y sulfato de cobre en peso.

Al analizar los resultados en los que la proporción de catalizadores varía y la concentración de H_2O_2 es constante, se observa contenidos de grupos carboxilo superiores cuando se adicionó los catalizadores en igual proporción al 1 % y 2 % de peróxido de hidrógeno. No obstante, se obtuvieron mejores resultados en el tratamiento en el que se empleó una relación 3:7 entre el sulfato de hierro y sulfato de cobre y 4 % de H_2O_2 .

De acuerdo a la aplicación del almidón modificado, se preferirá que el contenido de grupos carboxilo sea máximo ya que éstos influyen en la estabilización de las moléculas de amilosa y en la minimización de la retrogradación (Parovuori et al., 1995). En este sentido, se obtuvo la mayor cantidad de COOH/100 UG al emplear los catalizadores en proporciones iguales y al 2 % de H_2O_2 .

Según Sangseethong et al. (2010), el carbonilo es el principal grupo que se forma como resultado de la oxidación de almidón con peróxido de hidrógeno mientras que la cantidad de grupos carboxilo es menor. No obstante, una vez que se analizaron en conjunto las Tablas 2 y 3, se observó que en general existe una relación inversa entre la generación de grupos carbonilo y carboxilo para un mismo tratamiento.

De esta manera, cuando la concentración de peróxido de hidrógeno fue de 2 % y 4 %, la intensidad de bandas asociadas al carbonilo disminuyó mientras que la cantidad de grupos carboxilo se incrementó. Esto sugiere que, a estas concentraciones, las reacciones consecutivas llegaron hasta su última etapa de oxidación.

Por otra parte, para las muestras correspondientes al 1 % de agente oxidante, aparentemente la oxidación llegó sólo hasta la etapa de sustitución de los grupos hidroxilos por los carbonilos sin culminarse, probablemente por una falta de agente oxidante, lo que se reflejó en bajas cantidades de grupos carboxilo. Estos resultados sugieren que la preferencia hacia la formación de uno u otro grupo (-CHO o COOH) depende en gran medida de la cantidad de agente oxidante involucrado en el proceso oxidativo.

A pesar de que los cambios en la estructura y propiedades físico-químicas del almidón modificado están vinculados principalmente al origen botánico del almidón, tipo de agente oxidante y condiciones de reacción, Sangseethong et al. (2010) afirman que el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio producen almidones oxidados con un rango de viscosidad y distribución de tamaño molecular similares.

En los procesos de oxidación realizados principalmente con hipoclorito de sodio, la capacidad de hinchamiento del almidón se reduce y su solubilidad se incrementa (Lawal, 2004). Además, el almidón modificado por dicho agente oxidante presenta una disminución de la viscosidad máxima, viscosidad de ruptura, temperaturas de transición y gelatinización, así como en las entalpías de retrogradación (Adebowale y Lawal, 2003). Dentro de este contexto, se esperaba que las características de procesabilidad del almidón modificado en la presente investigación guarden similitud con

aquellas determinadas para procesos oxidativos con hipoclorito de sodio.

4. CONCLUSIONES

Se corroboró un aumento tanto de la cantidad de grupos carboxilo como de la intensidad de bandas asociadas a la presencia de grupos carbonilo en comparación con las muestras oxidadas únicamente con peróxido. En este sentido, se obtuvo la mayor cantidad de unidades de COOH/100 UG al emplear $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ en proporciones iguales y al 2 % de H_2O_2 . Por lo tanto se evidencia la acción catalítica favorable de los sulfatos propuestos en esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Escuela Politécnica Nacional para la realización del proyecto PIS-15-03 "Obtención, caracterización y evaluación de la biodegradabilidad de biopolímeros formulados a partir de poliácido láctico y almidón termoplástico".

REFERENCIAS

- Adebowale, K. & Lawal, O. (2003). Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) starch on heatmoisture treatments. *Food Hydrocolloids*, 17(3), 265–272. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00076-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00076-0)
- Ashogbon, A., & Akintayo, E. (2014). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch*, 66(1), 41-57. <http://dx.doi.org/10.1002/star.201300106>
- Bertolini, A. (2010). *Starches. Characterization, Properties, and Applications*. Boca Raton, Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- Chen, Q., Yu, H., Wang, L., Abdin, Z., Chen, Y., Wang, J., Zhou, W., Yang, X., Khan, R., Zhang, H., & Chen, X. (2015). Recent progress in chemical modification of starch and its applications. *The Royal Society of Chemistry*, 5(83), 67459-67474. <http://dx.doi.org/10.1039/c5ra10849g>
- Chiu, C., & Solarek, D. (2009). *Starch. Modification of Starches*. Nueva York, Estados Unidos: Elsevier Inc.
- Dias, A., Zavareze, E., Helbig, E., Moura, F., Galarza, C., & Ciacco, C. (2011). Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 185-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.026>
- Lawal, O. (2005). Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 37(5), 268–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2005.12.016>
- Lewicka, K., Siemion, P., & Kurcok, P. (2015). Chemical Modifications of Starch: Microwave Effect. Review Article. *International Journal of Polymer Science*, 2015(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/867697>
- Moad, G. (2011). Chemical modification of starch by reactive extrusion. *Progress in Polymer Science*, 36(2), 218-237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.11.002>
- Parovuori, P., Hamunen, A., Forssell, P., Autio, K., & Poutanen, K. (1995). Oxidation of Potato Starch by Hydrogen Peroxide. *Starch*, 47(1), 19-23. <http://dx.doi.org/10.1002/star.19950470106>

Sandhu, K., Kaur, M., Singh, N., & Lim, S. (2008). A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1000-1010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.012>

Sangseethong, K., Termvejsayanon, N., & Sriroth, K. (2010). Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 446-453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.003>

Sorokin, A., Kachkarova-Sorokina, S., Donzé, C., Pinel, C., & Gallezot, P. (2004). From Native Starch to Hydrophilic and Hydrophobic Products: A Catalytic Approach. *Topics in Catalysis*, 27(1), 67-76. <http://dx.doi.org/10.1023/B:TOCA.0000013541.48636.b4>

Tolvanen, P., Arvela, P., Sorokin, A., Salmi, T., & Murzin, D. (2009). Kinetics of starch oxidation using hydrogen peroxide as an environmentally friendly oxidant and an iron complex as a catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 154(1), 52-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2009.02.001>

Zamudio, P., Vargas, A., Gutiérrez, F., & Bello, L. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*, 44(3), 283-295. Obtenido de la base de datos SciELO.

Zhang, S., Zhang, Y., Wang, X., & Wang, Y. (2009). High Carbonyl Content Oxidized Starch Prepared by Hydrogen Peroxide and Its Thermoplastic Application. *Starch*, 61(11), 646-655. <http://dx.doi.org/10.1002/star.200900130>



Valle Alvarez, Lauro Vladimir. Ingeniero Químico por la Escuela Politécnica Nacional. Magister en Administración de Empresas con mención en Gerencia de la Calidad y Productividad por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Máster en Ciencia e Ingeniería de Materiales Avanzados por la Universidad Tecnológica de Lulea-Suecia y por la Universidad Politécnica de Cataluña - España. Docente a tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional. Ha participado como investigador en varios proyectos en el ámbito de los polímeros. Actualmente, su línea de investigación de interés es el desarrollo e innovación de biopolímeros.



Molina Sánchez Pamela Yomaira. Nació en Quito en 1993. Sus estudios primarios y secundarios fueron realizados en la Unidad Educativa "Sagrados Corazones de Rumipamba", en la cual obtuvo las distinciones de abanderada y mejor egresada. En 2016, se desempeñó como ayudante de investigación en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente se encuentra realizando su proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial en la Escuela Politécnica Nacional; en la que ha recibido beca por excelencia académica.



Encalada Flores, Katherine Stephanie. Ingeniera Química por la Escuela Politécnica Nacional. Durante sus estudios universitarios fue Asistente de Investigación en el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional. Realizó su trabajo de titulación de pregrado en el ámbito de los biopolímeros, particularmente en lo referente a la obtención y caracterización de materiales termoplásticos a partir de polivinil alcohol y almidón de achira (*Canna edulis*). Ha participado como autor y co-autor en varias publicaciones científicas nacionales e internacionales.