

Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa

*Utilization of water hyacinth's (*Eichhornia crassipes*) for the synthesis of carboxymethylcellulose*

MSc. Candelaria Tejada-Tovar ¹, PhD. Isabel Paz-Astudillo ^{II}, MSc. Angel Villabona-Ortíz ¹,
Ing. María Espinosa-Fortich ¹, Ing. Cristina López-Badel ¹

ctejadat@unicartagena.edu.co; icpaza@ut.edu.co; avillabonao@unicartagena.edu.co;
cristylopez-09@hotmail.com; mpudc@hotmail.com

¹ Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Cartagena, Colombia; ^{II} Universidad Nacional del Tolima, Departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Ibagué Colombia.

Recibido: 15 de junio de 2017

Aprobado: 4 de diciembre de 2017

Resumen

Se sintetizó carboximetilcelulosa (CMC) a partir de celulosa obtenida de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Inicialmente, se valoró la composición del material de la biomasa, encontrándose un contenido de celulosa entre 24 y 27 % en tallo y hojas, respectivamente. Se obtuvo la celulosa por tratamiento alcalino con soluciones de NaOH al 6, 8 y 10 % p/v, siendo la cantidad de esta en el licor negro, proporcional a la concentración de la solución. La celulosa obtenida se analizó por espectroscopia infrarroja (FTIR), identificándose los grupos funcionales característicos de la celulosa comercial. La síntesis de CMC se llevó a cabo con isopropanol, NaOH a 15 % p/v y ácido monocloroacético. Se identificó en los FTIR de la CMC sintetizada sin purificar y la comercial la presencia de los grupos funcionales de este compuesto. Se considera el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) un buen precursor para la obtención de CMC.

Palabras clave: CMC, celulosa, extracción alcalina, Jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*.

Abstract

Carboxymethylcellulose (CMC) was synthesized from cellulose obtained from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Cellulose content between 24 and 27 % was found in stems and leaves, respectively. The cellulose was obtained by alkaline treatment with 6, 8 and 10 % w/v NaOH solutions. The amount of cellulose in the black liquor was proportional to the concentration of the solution. The obtained cellulose was characterized by FTIR infrared spectroscopy, which made possible to obtain its structural characterization. This synthesis of CMC was carried out with isopropanol, NaOH at 15 % w/v and monochloroacetic acid. The functional groups of this compound were identified in the FTIR of the synthesized CMC in the commercial and non commercial one. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is considered a good precursor to obtain CMC.

Keywords: CMC, cellulose, alkaline extraction, water hyacinths, *Eichhornia crassipes*.

Introducción

La rápida expansión y reproducción de algunas especies de vegetales representa uno de los grandes problemas en los ecosistemas acuáticos, ya que genera diferentes impactos que van desde la dificultad para la circulación y la pesca, hasta la disminución del oxígeno disuelto, la eutrofización y la poca disponibilidad de agua para potabilizar [1]. Entre las plantas más invasivas se encuentran la *Azolla filiculoides* (helecho de agua), la *Egeria densa* (Elodea), y la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), entre otras [2].

La eutrofización es un proceso ambiental que ocurre en grandes cuerpos de agua, donde un exceso de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo produce un crecimiento masivo de algas y de otras formas de vida vegetal. Lo anterior, reduce la calidad del agua, ocasiona una disminución en el oxígeno disuelto, e impide el paso de la luz, que por ende genera alteraciones en la flora y la fauna, y como consecuencia, causa un impacto social y económico negativo [3, 4]. En Colombia diferentes cuerpos de agua han sido afectados por este fenómeno, el cual es originado por el vertimiento de detergentes, aguas residuales y escurrimientos de áreas agrícolas; considerándose el río Bogotá como el más afectado [5].

El Jacinto de agua es una especie invasora, y por su alta capacidad adaptativa y reproductiva ha sido catalogada dentro de las 100 malezas más invasoras del mundo [6]. Su crecimiento acelerado contribuye al fenómeno de eutrofización de los cuerpos de agua, y su lenta descomposición genera malos olores y bajo nivel de higiene, ocasionando que dichas aguas no sean aptas para el consumo debido a sus características deplorables [7].

Varias alternativas han sido planteadas con el objeto de dar tratamiento adecuado a la invasión de plantas acuáticas en embalses, que se presenta como consecuencia del gran aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos, por las malas prácticas en actividades agrícolas, domésticas e industriales [8]. Se ha sintetizado CMC a partir de diferentes materiales lignocelulósicos como tallo de vid tunecino, alga verde *Ulva fasciata*, mesocarpio de naranja, pulpa de linter de algodón, hoja de maíz, residuos de papel, entre otros [9-14].

Así mismo, el Jacinto de agua es una biomasa rica en material lignocelulósico. Mochochoko *et al.* mediante espectroscopía infraroja (FTIR), espectroscopía ultravioleta – visible (UV-VIS), microscopía electrónica de transmisión (TEM) y

microscopía electrónica de transmisión de alta definición (HRTEM), comprobaron la presencia de este biopolímero en la planta. Su alto contenido de celulosa, lo convierte en una materia prima potencial para la síntesis de productos de interés industrial, incluyendo CMC [15].

La carboximetilcelulosa es una sal que se caracteriza por ser soluble en agua, por disolverse en azúcares, y por tener una alta viscosidad en solución. Se utiliza ampliamente, según su grado de pureza, en detergentes, adhesivos, pinturas, y plásticos, en la industria farmacéutica, papelera, textil, y de la construcción, en fluidos de perforación, como aditivo alimenticio y como estabilizante de emulsiones [16, 17]. Se obtiene por medio de la reacción de álcali celulosa con cloroacetato de sodio [18, 19].

La obtención de CMC de desechos de maíz, a partir de alfa-celulosa mediante un proceso de eterificación, usando NaOH y ácido monocloro-acético con etanol como medio de soporte, permite obtener un producto con pureza mayor al 99,99 %, superior a la pureza de la CMC comercial (99,5 %). La carboximetilcelulosa de alta pureza mostró un rendimiento de 2,4 g/g con grado de sustitución 2,41, capacidad de retención de agua de 5,11 g/g, capacidad de retención de aceite de 1,59 g/g, siendo el producto obtenido adecuado para aditivos farmacéuticos y alimentarios [20].

Igualmente, Mansouri *et al.* determinaron que la eficiencia, en cuanto a capacidad de absorción y retención de derivados de carboximetilcelulosa sódica preparada a partir de vástago vid de Túnez, es mayor en comparación a la de compuestos homólogos comerciales [11].

Este estudio se enfoca en la síntesis de CMC a partir de celulosa obtenida por tratamiento alcalino de Jacinto de agua. La información obtenida complementa la existente en la actualidad, teniendo en cuenta que no se había realizado investigación sobre la obtención de CMC utilizando este material lignocelulósico específicamente como materia prima. Además, es un aporte a la formulación de soluciones en beneficio de un importante ecosistema como el Canal del Dique; ubicado en el Departamento de Bolívar, Municipio Cartagena de Indias Colombia; dicha arteria fluvial tiene las siguientes coordenadas geográficas 10°05'13" N y 75°24'38" W.

Materiales y métodos

Preparación del material lignocelulósico

La biomasa, en el mejor estado posible, fue recolectada en la Laguna Juan Gómez Dolores (Bolívar-Colombia), ubicada en el mismo ecosistema del Canal del Dique. Se retiraron las raíces y se lavó con abundante agua destilada, con el fin de eliminar taninos superficiales, resinas de azúcares reductores y demás impurezas. La eliminación de taninos se da al usar agua caliente a 60 °C, hasta desaparecer el agua coloreada. Posteriormente se secó en un horno de convección forzada a 105 °C durante 2 h, para su posterior reducción de tamaño, mediante un molino de cuchillas [21].

Caracterización de la biomasa

Se realizó una caracterización química de la biomasa seca con el fin de determinar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, de acuerdo a las normas TAPPI [9].

Obtención de Celulosa

Se prepararon tres soluciones de hidróxido de sodio al 6, 8 y 10 % p/v con sus respectivas réplicas. Se introdujeron 0,5g de biomasa en cada solución de NaOH; se realizó una cocción a 70 °C durante 5 h en una incubadora tipo Shaking incubator IN-666 con control de temperatura. La disolución negra resultante se filtró. La biomasa obtenida se lavó con agua destilada y se secó en horno durante 24 h a 60 °C [12].

Caracterización de la Celulosa

Las muestras resultantes fueron analizadas mediante espectroscopía infrarroja en un espectrofotómetro FTIR modelo IRA FFINITY-1 SHIMADZU, con el fin de identificar los grupos funcionales de la celulosa obtenida, y compararla con la celulosa comercial reportada en la literatura. Los resultados permitieron identificar la concentración de NaOH a la cual se obtuvo la celulosa con mayor similitud a la comercial, de acuerdo a las normas TAPPI. La celulosa se extrajo de las muestras de Jacinto de agua usando una solución de NaOH al 17,5 % a 25 °C \pm 0,02. Después de 30 min se añadieron 100 mL de agua destilada a 25 °C, agitándose constantemente con una varilla de vidrio y dejándose en baño maría por otros 30 min; posteriormente se filtra y colectan 100 mL. Luego se tomaron 25 mL de la muestra extraída y se mezclaron con 10 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,5 N; se agregaron 50 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se dejó calentar por 15 min y entonces se agregaron 50 mL de agua destilada y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente. Posteriormente, se agregaron de

3 a 4 gotas de indicador de ferroín y se tituló con una solución de sulfato de amonio ferroso 0,1 N hasta que adquirió un color púrpura. Una titulación en blanco se llevó a cabo con 12,5 mL de NaOH 17,5 % y 12,5 mL de agua.

El porcentaje de celulosa se calculó de acuerdo con la ecuación 1:

donde:

V_1 es el volumen de la titulación de la muestra

$$\% \alpha \text{ celulosa} = 100 - \frac{6.85(V_2 - V_1) * N * 20}{V_3 * P_m} \quad (1)$$

V_2 el volumen de la titulación en blanco

V_3 el volumen de la solución

P_m el peso anhidro de la muestra

N la normalidad del sulfato de amonio ferroso [9]:

Síntesis de Carboximetilcelulosa (CMC)

Después de la identificación de la celulosa, se procedió a su extracción. Debido a la escasa información de la síntesis de último a partir del Jacinto de agua, se partió de información correspondiente a materiales con contenido lignocelulósico [12, 13], lo que permitió plantear la metodología propuesta, y generar un aporte a los estudios sobre aprovechamiento del Jacinto de agua.

La celulosa extraída, a la concentración de NaOH que garantizara la mayor similitud con la comercial, fue mezclada con isopropanol y se mantuvo con agitación constante en el shaker a 150 rpm, durante 2 h. Luego, se adicionó hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración de 15 % p/v. Esta solución fue sometida a agitación de 250 en el shaker durante un tiempo adicional de 1 h y 30 min. Posteriormente, se adicionaron 6 g de ácido monocloroacético y se realizó una agitación de 100 rpm durante 30 min. Finalmente, la solución se mantuvo con agitación constante a 55 °C, durante 3 h. El producto de la reacción fue filtrado, y el sólido se lavó con etanol al 70 % v/v con el fin de eliminar impurezas y secado a 60 °C.

Resultados y discusión

Caracterización del Jacinto de agua

La tabla 1 muestra el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, tanto en el tallo como en la hoja del Jacinto de agua.

TABLA 1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE JACINTO DE AGUA

COMPONENTE	Tallo	Hoja	MÉTODO
Celulosa	26,94 ± 0,62	24,71 ± 0,72	TAPPI T 203 os-74
Hemicelulosa	27,82 ± 0,54	20,42 ± 0,87	TAPPI T 203 os-74
Lignina	6,18 ± 0,32	12,91 ± 0,49	TAPPI T 203 os-74

Los resultados confirmaron el contenido de material lignocelulósico reportado por otras investigaciones [9], lo que justifica su uso para la obtención de derivados de la celulosa. Así como se encontró que los desechos de maíz contenían 29,1 % de celulosa, 39,7 % de hemicelulosa y 11,4 % de lignina, mientras que una muestra de Jacinto de agua presentó 34,6, 29,3 y 21,4 % de celulosa, hemicelulosa y lignina, respectivamente de acuerdo con lo reportado por Gao *et al.* [22], Brundu *et al.* [23] e Istirokhatun *et al.* [24], valores que se aproximan a los obtenidos en el presente estudio y mostrados en la tabla 1.

Síntesis de carboximetilcelulosa

La celulosa fue obtenida tanto del tallo, como de las hojas del Jacinto de agua, mediante tratamiento alcalino de la biomasa a diferentes concentraciones de NaOH (6 %, 8 % y 10 % p/v). La disolución negra resultante fue caracterizada para corroborar la remoción de lignina y hemicelulosa, y para establecer la concentración de álcali a la cual se produce el menor arrastre de celulosa hacia la fase líquida (Ver tabla 2).

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN NEGRA RESULTANTE DEL TRATAMIENTO ALCALINO DEL JACINTO DE AGUA

Parámetros	Concentración NaOH			Métodos
	6 %	8 %	10 %	
Muestra	6 %	8 %	10 %	
Celulosa, %	2,99 ± 0,06	4,84 ± 0,32	6,01 ± 0,14	TAPPI T 203 os-74
Hemicelulosa, %	2,48 ± 0,05	2,82 ± 0,14	3,42 ± 0,18	TAPPI T 223 os-70
Lignina, %	0,55 ± 0,03	0,71 ± 0,12	1,06 ± 0,09	TAPPI T 222 os-74

Los resultados mostrados en la tabla 2 indicaron que con una concentración de NaOH de 6 % p/v, se removió una menor cantidad de celulosa en el licor, en comparación con las concentraciones de 8 y 10 % p/v, por lo que un mayor porcentaje de celulosa fue retenido en la biomasa. No obstante, lo mismo ocurrió para la hemicelulosa y la lignina, las cuales fueron extraídas en mayores proporciones en la medida que se incrementó la concentración del hidróxido de sodio, lo cual coincide con lo reportado por Sarkar *et al.* en 2017 [25].

La figura 1 muestra el espectro FTIR de la celulosa obtenida mediante el tratamiento con NaOH a 6 % p/v. Los picos obtenidos identifican los grupos funcionales característicos en biomosas lignocelulósicas estudiadas previamente [10] y son presentados en la tabla 3.

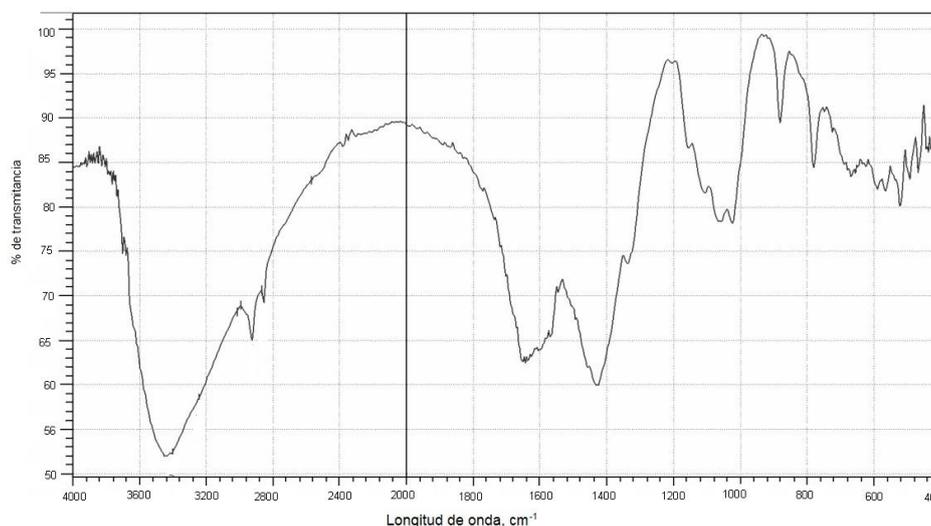


Fig. 1. FTIR de muestra de celulosa extraída con NaOH 6 % p/v

TABLA 3. BANDAS Y GRUPOS FUNCIONALES DEL ESPECTRO FTIR DE LA CELULOSA EXTRAÍDA JACINTO DE AGUA.

Longitud de onda de la banda, cm ⁻¹	Identificación	Referencia
3 488 a 3 175	Frecuencia de tensión del grupo – OH enlaces de hidrógeno (intramoleculares e intermoleculares)	[25]
2 918	Frecuencia de vibración de tensión CH de la celulosa y grupos OH ⁻ en la lignina.	[27]
1 734	Presencia de acetilo y éster en la cadena del grupo carboxilo del ácido p-koumeril, indicando la presencia de lignina y hemicelulosa	[24]
1 635	Banda de flexión de NH perteneciente a aminas	[25]
1 519	Presencia del grupo C = C en el anillo	[24]

	aromático de la lignina.	
1 470	Flexión del plano – CH ₃	[25]
1 373	Deformación del grupo C-H por las vibraciones en la celulosa.	[26]
1 055	Tensión C-O perteneciente a alcoholes secundarios y éteres existentes en la cadena de la celulosa.	[26]
898	Estiramiento del grupo C-O y a la vibración C-H de la celulosa.	[9]

En la tabla 3 se muestran las bandas y sus correspondientes grupos funcionales presentes en el Jacinto de agua. Se encuentran vibraciones de estiramiento causados por los grupos O-H, carboxilo, C-C, C=C, según los picos de las bandas 3 488, 2 918, 1 734, 1 635, 1 519, 1 470, 1 373, 1 055 y 898 cm⁻¹, las cuales confirman la presencia en la muestra de celulosa, hemicelulosa y lignina.

La CMC sintetizada fue sometida a un análisis por FTIR y se compara con el espectro de este producto calidad comercial (ver figura 2). Se distingue la presencia de los grupos funcionales correspondientes a la carboximetilcelulosa, principalmente la del grupo carboximeteiler a una longitud de onda de aproximadamente 1 605 cm⁻¹, el cual representa la columna vertebral de la misma. Además, se evidencian frecuencias de tensión del grupo OH en la banda 3 432 cm⁻¹ y el alargamiento de C–H en la longitud de onda de 2 920 cm⁻¹ característico de la CMC. Se observa una diferencia entre el rango de absorbancia de 3 000 cm⁻¹ a 1 750 cm⁻¹ la cual posiblemente radica en que a la CMC extraída no se le realizó un proceso de purificación, éste rango de absorbancia se debe principalmente a la presencia de sustancias contaminantes y agua [13]. En la industria alimenticia se requiere carboximetilcelulosa con un porcentaje de pureza del 99,9 %; por ser un compuesto orgánico puede ser sometida a procesos de purificación como sublimación, cristalización o recristalización para alcanzar de esta manera el porcentaje de pureza requerido y aumentar su similitud con la carboximetilcelulosa comercial [20].

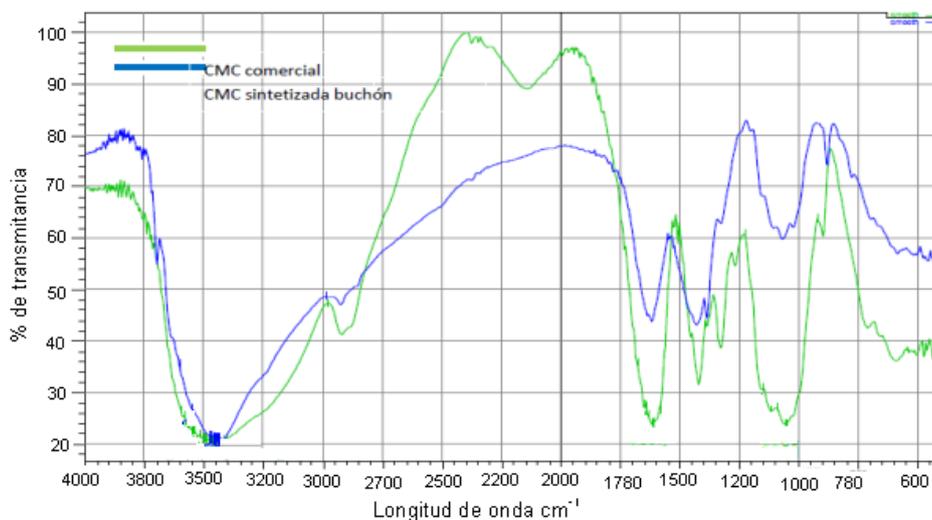


Fig. 2. FTIR de la CMC obtenida y comercial

Conclusiones

La composición del material lignocelulósico que conforma el Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) que crece en el Canal del Dique fue determinada, encontrándose porcentajes significativos de celulosa tanto en las hojas, como en el tallo. Lo anterior, sumado a la producción masiva de esta planta en los cuerpos de agua, conlleva a considerarla como una fuente potencial de celulosa y de materia prima para la obtención de CMC. Los resultados de la investigación indicaron la posibilidad de obtener celulosa mediante tratamiento alcalino con NaOH 6 % p/v. Asimismo, se planteó un procedimiento para la síntesis de CMC a partir de la celulosa extraída, con características químicas semejantes a la comercial, lo cual pudo verificarse mediante espectroscopia infrarroja. Nuevos estudios deben desarrollarse con el fin optimizar las condiciones de obtención y purificación del producto para garantizar su calidad.

Referencias bibliográficas

- [1] YOU, W. Yum D.; XIE, D.; YU, L.; HAN, C. “Responses of the invasive aquatic plant water hyacinth to altered nutrient levels under experimental warming in China”. *Aquatic Botany*. 2014, **119** (1), 51 – 56. ISSN 0304-3770.
- [2] WANG, R.; SHIN, C. H.; KIM, D.; RYU, M.; PARK, J. S. “Adsorption of heavy metals and organic contaminants from aqueous stream with chemically enhanced kapok fibers”. *Environmental Earth Sciences*. 2016, **75** (4), 338. ISSN 1866-6280.

- [3] ZHANG, Z. *et al.* “Effects of engineered application of *Eichhornia crassipes* on the benthic macroinvertebrate diversity in Lake Dianchi, an ultra-eutrophic lake in China”. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, **23** (9), 8388 – 8397. ISSN 0944-1344.
- [4] COSME, N. M. D.; KOSKI, M.; HAUSCHILD, M. Z. “Exposure factors for marine eutrophication impacts assessment based on a mechanistic biological model”. *Ecological Modelling*. 2015, **317** (1), 50 – 63. ISSN 0304-3800.
- [5] BATT, A.; FURLONG, E. T.; MASH, H. E.; GLASSMEYER, S. T.; KOLPIN, D. W. “The importance of quality control in validating concentrations of contaminants of emerging concern in source and treated drinking water samples”. *Science of the Total Environment*. 2017, **579** (1), 1618 – 1628. ISSN 0048-9697.
- [6] NESSLAGE, G. M.; WAINGER, L. A.; HARMS, N. E.; COFRANCESCO, A. F. “Quantifying the population response of invasive water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, to biological control and winter weather in Louisiana, USA”. *Biological Invasions*. 2016, **18** (7), 2107 – 2115. ISSN 1387-3547.
- [7] GAERTNER, M.; LARSON, B.M.H.; IRLICH, U.M.; HOLMES, P.M.; STAFFORD, L.; VAN WILGEN, B.; RICHARDSON, D. “Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town, South Africa”. *Landscape and Urban Planning*. 2016, **151** (1), 1 – 9. ISSN 0169-2046.
- [8] BHATTACHARYA, A.; HALDAR, S.; CHATTERJEE, P. K. “Geographical distribution and physiology of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) the invasive hydrophyte and a biomass for producing xylitol”. *International Journal of ChemTech Research*. 2015, **7** (4), 1849 – 1861. ISSN 0974-4290.
- [9] KAMPEERAPPUN, P. “Extraction and characterization of cellulose nanocrystals produced by acid hydrolysis from corn husk”. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2015, **25** (1), 19 – 26. ISSN 1047-4838.
- [10] OUN, A. A.; RHIM, J. W. “Preparation and characterization of sodium carboxymethylcellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films”. *Carbohydrate Polymers*. 2015, **127** (1), 101 – 109. ISSN 0144-8617.
- [11] MANSOURI, S.; KHIARI, R.; BETTAIEB, F.; EL-GENDY, A. A.; MHENNI, F. “Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Tunisian Vine Stem:

Study of Water Absorption and Retention Capacities”. *Journal of Polymers and the Environment*. 2015, **23** (2), 190 – 198. ISSN 1566-2543.

[12] ONIGBINDE, M.; VIVIAN, A. “Synthesis of Industrial Raw Material from Cellulosic Agricultural Wastes: Focus on Carboxymethyl Cellulose”. *Nova Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015, **4** (1), 1 – 6. ISSN 2292-7921.

[13] JOSHI, G.; NAITHANI, S.; VARSHNEY, V.K.; BISHT, S.S.; RANA, V.; GUPTA, P.K. “Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from office waste paper: A greener approach towards waste management”. *WasteManagement*. 2015, **38** (1), 33 – 40. ISSN 0956-053X.

[14] LAKSHMI, D. S.; TRIVEDI, N.; REDDY, C. R. K. “Synthesis and characterization of seaweed cellulose derived carboxymethyl cellulose”. *Carbohydrate Polymers*. 2017, **157** (1), 1604 – 1610. ISSN 0144-8617.

[15] MOCHOKO, T.; OLUWAFEMI, O.S.; JUMBAM, D. N.; SONGCA, S. P. “Green synthesis of silver nanoparticles using cellulose extracted from an aquatic weed; water hyacinth”. *Carbohydrate Polymers*. 2013, **98** (1), 290 – 294. ISSN 0144-8617.

[16] DUHORANIMANA, E.; KARANGAWA, E.; LAI, L.; XU, X.; YU, J.; XIA, S.; ZHANG, X.; MUHOZA, B.; HABINSHUTI, I. “Effect of sodium carboxymethyl cellulose on complex coacervates formation with gelatin: Coacervates characterization, stabilization and formation mechanism”. *Food Hydrocolloids*. 2017, **69** (1), 111 – 120. ISSN 0268-005X.

[17] KONO, H.; OSHIMA, K.; HASHIMOTO, H.; SHIMIZU, Y.; TAJIMA, K. “NMR characterization of sodium carboxymethyl cellulose: Substituent distribution and mole fraction of monomers in the polymer chains”. *Carbohydrate Polymers*. 2016, **146** (1), 1 – 9. ISSN 0144-8617.

[18] KARATAŞ, M.; ARSLAN, N. “Flow behaviours of cellulose and carboxymethyl cellulose from grapefruit peel”. *Food Hydrocolloids*. 2016, **58** (1), 235 – 245. ISSN 0268-005X

[19] MONIER, M.; ABEL LATIF, D. A.; JI, H. F. “Synthesis and application of photo-active carboxymethyl cellulose derivatives”. *Reactive and Functional Polymers*. 2016, **102** (1), 137 – 146. ISSN 1381-5148.

- [20] MONDAL, MD. I. H.; YEASMIN, M. S.; RAHMAN, MD. S. "Preparation of food grade carboxymethyl cellulose from corn husk agrowaste". *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015, **79** (1), 144 – 150. ISSN 0141-8130.
- [21] TEJADA TOVAR, C.; MONTIEL, Z.; ACEVEDO, D. "Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb(II)". *Información Tecnológica*. 2016, **27** (1), 9 – 20. ISSN 0718-0764.
- [22] GAO, Y. *et al.* "Effect of *Eichhornia crassipes* on production of N₂ by denitrification in eutrophic water". *Ecological Engineering*. 2014, **68** (1), 14 – 24. ISSN 0925-8574.
- [23] BRUNDU, G. *et al.* "The silent invasion of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Italy". *Journal of the Societa Botanica Italiana*. 2013, **147** (4), 1120 – 1127. ISSN 0020-0697.
- [24] ISTIROKHATUN, T. *et al.* "Cellulose Isolation from Tropical Water Hyacinth for Membrane Preparation". *Procedia Environmental Science*. 2015, **23** (1), 274 – 281. ISSN 1878-0296.
- [25] SARKAR, M.; RAHMAN, A. K. M. I.; BHOMIK, N. C. "Remediation of chromium and copper on water hyacinth (*E. crassipes*) shoot powder". *WaterResourcesandIndustry*. 2017, **17** (1), 1 – 6. ISSN 2212-3717.
- [26] KULKARNI, M. R.; REVANTH, T.; ACHARYA, A.; BHAT, P. "Removal of Crystal Violet dye from aqueous solution using water hyacinth: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study". *Resource-Efficient Technologies*. 2017, **3** (1), 71 – 77. ISSN 2405-6537.
- [27] BARUA, V. B.; KALAMDHAD, A. S. "Effect of various types of thermal pretreatment techniques on the hydrolysis, compositional analysis and characterization of water hyacinth". *Bioresource Technology*. 2017, **227** (1), 147 – 154. ISSN 0960-8524.