



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Hacia los 130 años de creación de la Universidad del Zulia

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Microbiological activity in biodegradable biopolymers from potato starch and organic substance

Jorge Luis López Terán^{1*} , María Isabel Beltrán Rico² , Elvia Victoria Cabrera Maldonado¹ , Judith del Carmen Araque Rangel³ , Juan Carlos Soriano Cremades² , José Poveda Otazo² 

¹Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Laboratorio de Investigación de Síntesis Orgánica y Biopolímeros. Dirección Postal: Universidad Central del Ecuador, Ciudad Universitaria, Calle Enrique Rither s/n y Bolivia, Código Postal: 170521. Quito, Ecuador.

²Universidad de Alicante, Instituto de Ingeniería de Procesos Químicos. Alicante, España.

³Universidad de los Andes, Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Doctorado en Química de Medicamentos. Mérida, Venezuela.

*Autor de correspondencia: jllopez@uce.edu.ec

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a01>

Recepción: 21/02/2020 | Aceptación: 12/05/2020 | Publicación: 31/07/2020

Abstract

The design of active biodegradable materials and packaging is one of the challenges of society whose purpose is to try to solve the environmental problems that have been generated by plastic waste by developing biodegradable packaging to improve food conservation and extend shelf life. Analyzed the preparation of an ideal mixture using potato starch (PS), tea tree oil (TO), and gum Arabic (GA), obtaining after extrusion and pressing process the thermoplastic biopolymer plates, that were analyzed their antimicrobial properties. Nineteen samples biopolymer with different proportions were produced PS, TO, and GA. The results obtained from PS/GA based biopolymers (60/2) and (70/5) showed increased antimicrobial activities against Gram-positive and negative bacteria, respectively, followed by the PS/TO (60/1) and (70/0.5). No synergistic effect was observed between TO and GA. It was found that the variation in the PS formulation with TO and GA influenced the antimicrobial activity of the obtained product.

Keywords: biomaterials; starch; antimicrobial; biodegradation.

Actividad microbiológica en biopolímeros biodegradables a base de almidón de papa y sustancias orgánicas

Resumen

El diseño de materiales y envases biodegradables activos es uno de los retos de la sociedad cuyo fin es tratar de resolver los problemas ambientales que se han generado por los residuos plásticos desarrollando envases biodegradables que permitan mejorar la conservación de los alimentos y alargar su vida útil. Se analizó la preparación de una mezcla ideal utilizando almidón de papa termoplástico (AP), extracto de árbol de té (AT) y goma arábiga (GA), obteniendo luego de un proceso de extrusión y prensado las planchas de biopolímero termoplástico, que fueron analizadas para determinar sus propiedades antimicrobianas. Se elaboraron 19 muestras de planchas de biopolímeros con distintas proporciones AP, AT y GA. Los resultados obtenidos de los biopolímeros a base de AP/GA (60/2) y (70/5) mostraron mayores actividades antimicrobianas contra bacterias Gram positivas y negativas, respectivamente, seguidas de las formulaciones con AP/EAT (60/1) y (70/0,5). No se observó un efecto sinérgico entre el AT y la GA. Se encontró que la variación en la formulación del AP con AT y GA influyó en la actividad antimicrobiana del producto obtenido.

Palabras clave: biomateriales; almidón termoplástico; antimicrobiano; biodegradación.

Introducción

El uso de biomateriales a base de polímeros biodegradables ha despertado un gran interés en el sector industrial por su selectiva funcionalidad para regular la transferencia de humedad y la permeabilidad selectiva a los gases de productos frescos, lo que permite mejorar la calidad y extender la vida útil de estos productos. El enfoque actual de estas tecnologías de empaqueo consiste en caracterizar las propiedades funcionales del empaque y posteriormente orientar el estudio de su interacción como empaque o recubrimiento comestible sobre la superficie de un alimento [1-5].

Los envases y recubrimientos a base de almidón, uno de los polisacáridos naturales más abundantes renovable, altamente disponible y de bajo costo, es el más comúnmente utilizado en la industria como material biodegradable en sustitución de envases sintéticos, ya que tienen la característica de generar una barrera eficiente contra compuestos de baja polaridad, pero tiene la desventaja que presentan pobres propiedades mecánicas y no ofrecen una buena barrera contra la humedad. Es por lo que, se están desarrollando envases biodegradables y recubrimientos comestibles con la combinación de más de un componente orgánico y agentes hidrofóbicos, con la finalidad de conjugar las propiedades que brindan de manera individual cada uno de ellos [6-11].

La incorporación de compuestos antimicrobianos y antioxidantes a los envases biodegradables es de gran interés porque permite alargar la vida útil de los productos envasados y entre los posibles compuestos activos, los aceites esenciales de plantas y algunos de sus componentes aislados, reúnen la doble propiedad de ser antimicrobianos y antioxidantes [12, 13].

Algunos investigadores han evaluado la eficacia del aceite esencial del árbol de té (*Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betche) Cheel) como posible agente antimicrobiano y antioxidante, obteniendo resultados significativos de actividades antimicrobianas [14].

Por otro lado, la goma arábiga un polisacárido natural ampliamente usado en la industria alimentaria y proveniente del exudado del árbol de acacia (*Acacia senegal* (L.) y *A. seyal* Delile). Su estructura química consiste básicamente en un grupo de macromoléculas caracterizadas por una elevada proporción de carbohidratos (97%), siendo la D-galactosa y la L-arabinosa los monosacáridos predominantes y una baja proporción de proteínas [15]; es un emulsificante efectivo que tiene baja viscosidad, buena actividad superficial y habilidad para formar una película protectora; produce películas con las propiedades de un hidrocoloide y puede formar emulsiones estables con la mayoría de los aceites [16].

Algunas investigaciones refieren que la actividad antimicrobiana exhibida por la goma arábiga podría atribuirse a las enzimas como oxidasas, peroxidasas y pectinasas presentes en su fracción proteica [15-18]. Tal es el caso de la actividad inhibitoria en el crecimiento de ciertas especies patógenas periodontales tales como *Prophyromonas gingivalis* y *Prevotella intermedia* [19].

Durante las dos últimas décadas, la popularidad de los empaques antimicrobianos en alimentos ha sido uno de los mayores paradigmas, ya que se ha demostrado que algunos aditivos actúan más eficazmente cuando forman parte del recubrimiento comestible que cuando fueron aplicados en soluciones acuosas mediante aspersión o inmersión [4, 9, 12, 20, 21].

En la actualidad existe una gran cantidad de publicaciones basadas en el uso de almidón, obtenido de diferentes fuentes para la producción de productos biodegradables con propiedades físicas y mecánicas adecuadas, también se han incorporado otros componentes como quitosano, algunos aceites esenciales, entre otros aditivos, con el fin de mejorar sus características mediante la interacción entre moléculas [21, 22]. En Ecuador se cuenta con una variedad de papas que no existe a nivel mundial y que le da una buena característica al almidón, además se cuenta con una flora única, de donde se pueden extraer principios activos como aceites esenciales, gomas y resinas las cuales pudieran proporcionar en el diseño de un biopolímero buenas aplicaciones para su uso industrial con la formación de películas y espumas, entre otros materiales.

El objetivo de este trabajo consistió en obtener planchas de biopolímeros a base de almidón de papa termoplástico conteniendo sustancias naturales (árbol de té y/o goma arábiga) con propiedades antibacterianas.

Materiales y métodos

Materiales

Los reactivos y cepas utilizadas fueron: almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la empresa Organic Potato Starch, aceite de árbol de té (*M. alternifolia*) de la Casa del Químico, Quito, Ecuador, goma arábiga (*A. nilotica* (L.) Delile), Sigma Aldrich, estearato de zinc, Acros Organics y Glicerina, Fisher Chemical. Para los análisis microbiológicos se emplearon las cepas *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, en la tabla 1 se presentan los antibióticos utilizados como controles positivos.

Los equipos utilizados consistieron en una extrusora continua tipo *Brabender Plasticorder PL 2000*, que consta un tornillo sinfín situado en el interior de

una cámara calefactada con una boquilla, una unidad de controladores de temperatura Eurotherm y una unidad de procesamiento de datos PL-2000. La mezcla o formulaciones preparadas con una balanza analítica de rango de 0 - 220 g, $A_p = \pm 0,001g$ (tabla 2) se colocó en la tolva que alimenta la extrusora en forma de suspensión usando la metodología descrita por Beltrán y Marcilla [23]. En la prensa de platos calientes Mecamaq PHF 50, se colocó la masa extruida y se empleó un molde circular de acero inoxidable de 15 cm de diámetro y aproximadamente 1 mm de espesor para obtener las planchas.

Tabla 1. Antibióticos y bacterias utilizadas como controles positivos en los ensayos de actividad antimicrobiana de las muestras de planchas elaboradas de biopolímeros biodegradables.

<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Eritromicina 15 µg Oxoid®	Ceftazidima 30 µg Oxoid®
Oxacilina 5 µg Oxoid®	

Procedimiento experimental

Obtención del biopolímero

Se pesó y mezcló cada uno de los compuestos, según lo especificado en la tabla 2. La mezcla homogénea se ingresó a la extrusora de mono tornillo a 110 °C con una velocidad de 80 rpm formándose así el material termoplástico biodegradable a base de almidón de papa (figura 1). Seguidamente 40 g de material termoplástico extruido fue colocado en el molde de la prensa de platos calientes, a 150 °C durante 12 min y una presión de 80 bar (figura 2).

Análisis de actividad antimicrobiana

Se utilizó la metodología indicada por Velasco [24] con algunas modificaciones. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Para la preparación del medio de cultivo, se colocó aproximadamente 20 mL de agar Müeller-Hinton (Himedia®) en placas de Petri estériles, una vez solidificado el agar en las placas, se realizó el control de esterilidad y se conservaron a 4 °C, hasta el día del ensayo.

Tabla 2. Formulaciones de componentes químicos utilizados para la obtención de planchas de biopolímeros biodegradables.

CODIFICACIÓN	FORMULACIÓN					
	Almidón de papa (%)	Glicerina (%)	Agua (%)	Estearato de zinc (%)	Aceite de árbol de té (%)	Goma arábica (%)
60AP	60	24	16	1	0	0
60AP 0,5GA	60	24	16	1	0	0,5
60AP 1GA	60	24	16	1	0	1
60AP 2GA	60	24	16	1	0	2
60AP 5GA	60	24	16	1	0	5
60AP 0,5AT	60	24	16	1	0,5	0
60AP 1AT	60	24	16	1	1	0
60AP 2AT	60	24	16	1	2	0
60AP 7AT	60	24	16	1	7	0
60AP 1GA 0,5AT	60	24	16	1	0,5	1
60AP 1GA 1AT	60	24	16	1	1	1
60AP 2GA 0,5AT	60	24	16	1	0,5	2
60AP 2GA 1AT	60	24	16	1	1	2
70AP	70	18	12	1	0	0
70AP 0,5AT	70	18	12	1	0,5	0
70AP 0,5GA	70	18	12	1	0	0,5
70AP 1GA	70	18	12	1	0	1
70AP 2GA	70	18	12	1	0	2
70AP 5GA	70	18	12	1	0	5

AP: almidón de papa termoplástico; AT: árbol de té; GA: goma arábica.

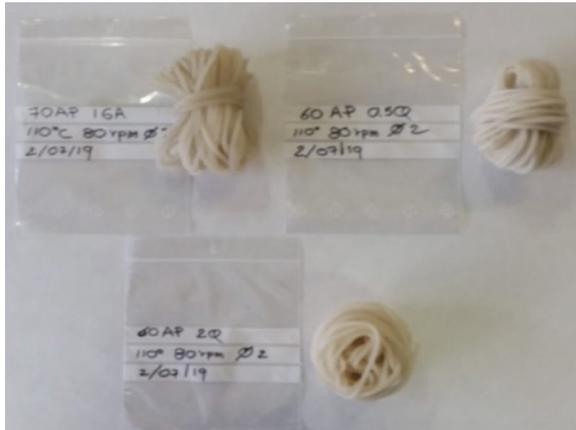


Figura 1. Material termoplástico a base de almidón de papa utilizado para la elaboración de planchas de biopolímeros biodegradables.



Figura 2. Planchas de biopolímeros biodegradables elaboradas con diferentes formulaciones de sustancias químicas.

Para la preparación de los discos de biopolímeros, se cortaron discos de 6 mm de diámetro, se colocaron en placas de Petri y esterilizaron bajo luz UV durante 90 minutos, previos al ensayo. Para la reactivación de los microorganismos, las cepas bacterianas se mantuvieron en medios de conservación a temperatura ambiente y se verificó su pureza. Para la preparación de los inóculos bacterianos estos se prepararon en solución salina estéril (0,85% p/v NaCl), a partir de un cultivo fresco de cada cepa bacteriana replicada en agar Müeller-Hinton, hasta lograr una turbidez correspondiente al patrón de McFarland N° 0,5 ($1,5 \times 10^8$ UFC·mL⁻¹) (Hardy Diagnostics®) para cada una de las cepas bacterianas. Seguidamente los inóculos de cada microorganismo se sembraron en la superficie del agar con un hisopo estéril, se colocaron

sobre el agar inoculado los discos de biopolímero, agua (testigo negativo) y antibióticos de referencia para cada microorganismo (testigo positivo).

Para la incubación las placas de Petri se colocaron en una estufa a 37 °C por 48 horas. Finalmente, las lecturas de los resultados se realizaron midiendo los halos de inhibición a las 24 y 48 horas, expresando el diámetro de la zona de inhibición en milímetro (mm). Los halos de inhibición de cada biopolímero fueron comparados con los halos de inhibición de los testigos positivos y la prueba se consideró negativa cuando se observó crecimiento microbiano alrededor de los discos.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la evaluación antimicrobiana realizada a cada una de las planchas de los biopolímeros formulados se presentan en la tabla 3.

Se observó que las formulaciones realizadas con las mezclas 60AP y 70AP que contenían almidón de papa, glicerina, agua y estearato de zinc, no presentaron actividad antimicrobiana con ninguna de las bacterias analizadas. Mientras que todas las mezclas que contenían goma arábiga o árbol de té presentaron halos de inhibición para ambas bacterias.

Para las bacterias Gram positivas (*S. aureus* ATCC 25923), el mejor biopolímero fue la formulación 60AP 2GA, dado que los valores obtenidos en el halo de inhibición de la bacteria ensayada fueron los más cercanos a los testigos positivos realizados. En el caso de las bacterias Gram negativas (*P. aeruginosa* ATCC 27853), la mayor actividad antimicrobiana fue la formulación 70AP 5GA (figura 3).

Se observó un comportamiento particular de la actividad antimicrobiana con las mezclas de 60% de AP y GA (figura 3), donde la actividad antimicrobiana aumentó de acuerdo con el incremento en el porcentaje de GA hasta llegar a una actividad máxima con un halo de 17 mm de diámetro utilizando la formulación al 2% de GA, y luego el halo disminuyó a 12 mm de diámetro, al aumentar la concentración al 5% de GA. Este comportamiento fue atribuido a la cinética de saturación por el sustrato, que fue propia de las actividades enzimáticas relacionadas con las actividades antimicrobianas de diversos extractos orgánicos [25-29].

La incorporación de aceite esencial de árbol de té en la formulación de los biopolímeros permitió observar actividad antimicrobiana en todas las concentraciones evaluadas (0,5; 1; 2 y 7%). Para las bacterias Gram positivas (*S. aureus* ATCC 25923), la formulación 60AP 1AT, mostró alta actividad antimicrobiana, aunque menor que la evidenciada para la goma arábiga. De igual forma, para las bacterias Gram negativas (*P. aeruginosa* ATCC 27853), la combinación de 70AP 0,5AT, presentó una alta actividad antimicrobiana (figura 4).

Tabla 3. Valores obtenidos en los diámetros de los halos de inhibición del crecimiento bacteriano, de cada una de las muestras de las planchas de biopolímeros biodegradables analizadas.

BIOPOLÍMERO	Promedio	
	<i>S. aureus</i> (mm)	<i>P. aeruginosa</i> (mm)
60AP	0,00	0,00
60AP 0,5GA	8,33	13,00
60AP 1GA	13,33	11,50
60AP 2GA	17,00	17,75
60AP 5GA	12,00	12,25
60AP 0,5AT	15,00	17,75
60AP 1AT	15,67	20,25
60AP 2AT	14,33	11,00
60AP 7AT	15,33	19,50
60AP 1GA 0,5AT	12,00	18,00
60AP 1GA 1AT	15,00	18,00
60AP 2GA 0,5AT	12,00	11,00
60AP 2GA 1AT	15,00	19,75
70 AP	0,00	0,00
70AP 0,5AT	13,40	20,33
70AP 0,5GA	11,00	17,25
70AP 1GA	14,33	17,50
70AP 2GA	12,00	17,50
70AP 5GA	12,33	21,50
<i>Staphylococcus aureus</i> (Gram positiva)		
Eritromicina (E) 22 mm		
Oxacilina (OX) 33 mm		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Gram negativa)		
Ceftazidima (CAZ) 35 mm		

AP: almidón de papa termoplástico; AT: árbol de té; GA: goma arábiga.



Figura 3. Resultados de los halos de inhibición del crecimiento bacteriano obtenidos utilizando muestras de las planchas de biopolímeros biodegradables con las formulaciones 60AP 2GA y 70AP 5GA.

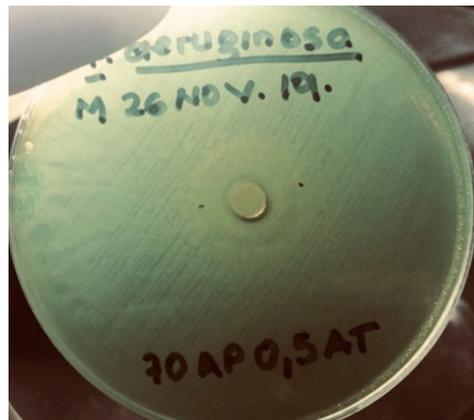


Figura 4. Resultados de los halos de inhibición del crecimiento bacteriano obtenidos utilizando muestras de las planchas de biopolímeros biodegradables con las formulaciones 60AP 1AT y 70AP 0,5AT.

En el caso del biopolímero 60AP 2AT se observó una disminución del halo de inhibición del crecimiento bacteriano, tanto para el testigo positivo, como para el testigo negativo. Esta variación en los resultados se podría explicar al hecho de que cuando varias sustancias actúan compitiendo unas con otras sobre algún sitio activo específico de la membrana o pared celular y/o sobre un sistema enzimático, se produce una cinética de saturación y no se observa un incremento en las actividades, por ello en este caso se podría inferir que otro tipo de sustancia presente en el aceite esencial se estaría expresando y generando unión con la estructura de la membrana celular de la bacteria [26, 29, 30]. Los mecanismos de acción antimicrobianos exactos de los aceites esenciales del árbol de té no están claramente identificados, pero parece que están relacionados con la naturaleza hidrofóbica de los diversos tipos de compuestos presentes en el extracto, ocasionando trastornos en la estructura y permeabilidad de la membrana o sistemas enzimáticos, que dan lugar a problemas de fuga de iones y otros compuestos [29-31].

Como se puede observar en la tabla 3 no se tuvo un efecto de sinergismo entre las concentraciones utilizadas de manera combinada del AT y la GA, lo que pudiera ser debido a que ambos componentes ejercen su efecto antimicrobiano a través de mecanismos similares y muy probablemente relacionados con la actividad de algunas enzimas [14, 17] o de la interacción de estas moléculas o parte de ellas con sitios específicos de unión en la pared celular de las bacterias [32, 33], haciendo que se estableciera una competencia entre ellos por los sitios activos, lo que ocasionó una cinética de saturación, impidiendo de esta forma, sumar los efectos antimicrobianos de cada una de estas sustancias. Esto se fundamentó con la investigación realizada por Montenegro [25] donde se evaluó el efecto antimicrobiano de la goma arábica sobre la bacteria Gram positiva *Bacillus subtilis* en leche, encontrando una disminución del 40% en la tasa de crecimiento de esta bacteria cuando se le añadió 47 μM de GA, confirmando de esta manera el efecto bacteriostático y además una cinética de saturación en el efecto antimicrobiano de la GA.

Esta investigación generó el diseño de un biopolímero biodegradable a base de almidón termoplástico y goma arábica como agente antimicrobiano destinado a la elaboración de envases biodegradables, lo que constituyó una novedad ya que hasta la actualidad no se ha reportado formulaciones de biopolímeros biodegradables antimicrobianos usando goma arábica.

Conclusiones

Se demostró que los biopolímeros elaborados a base de almidón de papa con la incorporación de goma arábica y aceite esencial de árbol de té exhiben propiedades antimicrobianas significativas contra bacterias Gram positivas del género *Staphylococcus* y bacterias Gram negativas del género *Pseudomonas*, lo

cual los convierten en una alternativa para el diseño de biopolímeros de uso industrial.

Agradecimientos

Convenio-Programa de Doctorado en Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador (Quito, Ecuador) y la Universidad de Alicante (Alicante, España).

Referencias bibliográficas

- [1] Vargas M., Pastor C., Chiralt A., McClements J.D. and González-Martínez, C.: "Recent advances in edible coating for fresh and minimally processed fruits". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 48, Nº 6 (2008) 496-511.
- [2] Cinelli P., Coltelli M.B., Mallegni N. and Lazzaric A.: "Naturally-Made Hard Containers for Food Packaging: Actual and Future Perspectives" In *Bionanotechnology to Save the Environment. Plant and Fishery's Biomass as Alternative to Petrol*; Chapter 16. Pierfrancesco Morganti, Ed.; MDPI: Basel, Switzerland, 2018.
- [3] Wroblewska-Krepsztul J., Rydzkowski T., Borowski G., Szczypinski M., Klepka T., Thakur V.: "Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment". *Int. J. Polym. Anal. Charact.* Vol 23, (2018) 383-395.
- [4] Zhong Y., Godwin P., Jin Y., Xiao H.: "Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review". *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. Vol. 3, (2020) 27-35.
- [5] Herniou-Julien C., Mendieta J.R., Gutierrez T.: "Characterization of biodegradable/non-compostable films made from cellulose acetate/corn starch blends processed under reactive extrusion conditions". *Food Hydrocolloids* Vol. 89, (2019) 67-79.
- [6] Jiang T., Duan Q., Zhu J., Liu H., Yu L.: "Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities". *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. Vol. 3, (2020) 8-18.
- [7] Bourtoom T.: "Edible films and coating: characteristics and properties". *International Food Research Journal*. Vol. 15, Nº 3 (2008) 237-248.
- [8] García M.A., Pinotti A., Martino M.N. and Zaritzky N.E.: "Characterization of starch and composite edible films and coating". In: M. E. Embuscado y K. C. Huber (Ed.). *Edible films and coatings for food*

- applications. Springer, New York. 2009.
- [9] Soliva-Fortuny R., Rojas-Graü M.A. and Martín-Belloso O.: "Polysaccharide coatings". In: E. A. Baldwin, R. Hagenmaier y J. Bai (Ed.). Edible coatings and films to improve food quality. CRC Press, New York. 2012.
- [10] Falguera V., Quintero J.P., Jiménez A., Muñoz J.A. and Ibarz A.: "Edible films and coating structures, active functions and trends in their use". Trends in Food Science and Technology. Vol. 22, N° 6 (2011) 292-303.
- [11] Bajer D., Janczak K., Bajer, K.: "Novel Starch/Chitosan/*Aloe vera* Composites as Promising Biopackaging Materials". J Polym Environ. Vol 28, (2020) 1021-1039.
- [12] Ali A., Chen Y., Liu H., Yu L., Baloch Z., Khalid S., Zhu J., Chen L.: "Starch-based antimicrobial films functionalized by pomegranate peel, Int. J. Biol. Macromol. Vol. 129, (2019) 1120-1126.
- [13] Garrido-Miranda KA., Rivas BL., Perez -Rivera MA., Sanfuentes EA., Peña-Farfal C.: "Antioxidant and antifungal effects of eugenol incorporated in bionanocomposites of poly(3-hydroxybutyrate)-thermoplastic starch". LWT. Vol. 98, (2018) 260-267.
- [14] Kim H. J., Chen F., Wu C., Wang X., Chung H. Y. and Jin, Z.: "Antioxidant activity of Australian tea tree (*Melaleuca alternifolia*) oil and its components". Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 52, N° 10 (2004) 2849-2854.
- [15] Sigifredo B., González Estévez V., Boiero M., Moyano S., Montenegro M.: "Actividad antimicrobiana de β -caroteno microencapsulado en goma arábiga frente a microorganismos en leche". Tecnología Láctea Latinoamericana. Vol. 80 (2014) 54-58.
- [16] Chanamai R., McClements D.J.: "Depletion flocculation of beverage emulsions by gum Arabic and modified starch". Journal of Food Science. Vol. 66, N° 3 (2001) 457-463.
- [17] Tyler V., Brady L. and Robbers J.: "Pharmacognosy". 7th ed. Lea &Febiger Philadelphia. USA. 1977.
- [18] Kirtikar K.R., Basu B.D.: "Indian medicinal plants". (2nd Ed.). Periodical Expert Book Agency. Delhi, India. 1984.
- [19] Clark D.T., Gazi M.I., Cox S.W., Eley B.M., Tinsley G.F.Ñ.: "The effects of *Acacia arabica* gum on the in vitro growth and protease activities of periodontopathic bacteria". Journal Clinical Periodontology. Vol. 20, (1993) 238-243.
- [20] Rojas-Graü M.A., Tapia M.S. and Martín-Belloso, O.: "Using polysaccharide based edible coatings to mantain quality of fresh-cut Fuji apples". LWT-Food Science and Technology. Vol. 41, N° 1 (2008) 139-147.
- [21] Moeini A., Mallardo S., Cimmino A., Dalc G., Masi M., Di Biase M., Reenen A., Lavermicocca P., Valerio F., Evidente A., Malinconico M., Santagata G.: "Thermoplastic starch and bioactive chitosan sub-microparticle biocomposites: Antifungal and chemico-physical properties of the films". Carbohydrate Polymers. Vol. 230, (2020) 1-9.
- [22] Campos-Requena VH., Rivas BL., Peres MA., Figueroa CR., Figueroa NE., Sanfuentes EA.: "Thermoplastic starch/clay nanocomposites loaded with essential oil constituents as packaging for strawberries in vivo antimicrobial synergy over *Botrytis cinerea*". Postharvest Biol. Technol. Vol. 129, (2017) 29-36.
- [23] Beltrán M., Marcilla A.: "Tecnología de polímero". Publicaciones Universidad de Alicante. 2012.
- [24] Velasco J., Rojas J., Salazar P., Rodríguez M., Díaz T., Morales A., Rondón M.: "Antibacterial activity of the essential oil of *Lippia oreganoides* against multiresistant bacterial strains of nosocomial origin". Natural Product Communications. Vol. 2, (2007) 85-88.
- [25] Montenegro M., Boiero M., Valle L., Borsarelli Cl.: "Gum Arabic: More Than an Edible Emulsifier". Products and Applications of Biopolymers, Dr. Johan Verbeek (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/products-and-applications-ofbiopolymers/gum-arabic-more-than-an-edible-emulsifie>. [fecha de acceso 18-12-2019]. 2012.
- [26] Nelson D., Lehninger A., Cox M.: "Lehninger principios de bioquímica". Editorial Omega. Barcelona. España. 2013.
- [27] Esquivel-Alvarado Daniel, Porrás-Brenes Gina, Madrigal-Carballo Sergio, Rodríguez Gerardo.: "Estudio de la actividad antibacteriana de los extractos orgánicos líquénicos obtenidos de *Lobaria subdissecta* y *Parmotrema latissimum*". Uniciencia. Vol. 29, N° 2 (2015) 39-45.
- [28] Martínez V.: "Evaluación de la actividad del complejo lipolítico identificado en el látex de Jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.)". Tesis de pregrado. Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco. México. 2016.

- [29] Hammer K.A., Carson C.F. and Riley T.V.: "Influence of organic matter, cations and surfactants on the antimicrobial activity of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil "in vitro". Journal of Applied Microbiology. Vol. 86, (1999) 446-452.
- [3] Garozzo A., Timpanaro R., Bisignano B., Furneri P., Bisignano G. and Castro, A.: "In vitro antiviral activity of *Melaleuca alternifolia* essential oil". Letters in Applied Microbiology. Vol. 49, (2009) 806-808.
- [31] Cox S.D., Mann C.M., Markham J.L., Bell H.C., Gustafson J.E., Warmington J.R. and Wyllie, S.G.: "The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil)". Journal of Applied Microbiology. Vol. 88, (2000) 170-175.
- [32] Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., and Idaomar M.: "Biological effects of essential oils- A review". Food and Chemical Toxicology. Vol. 46, (2008) 446-475.
- [33] Burt S.A., Reinders R.D.: "Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157:H7". Letters in Applied Microbiology. Vol. 36, N° 3 (2003) 162- 167.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2020, No. 2, pp. 04 - 110 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Julio de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientifica.org