



Revista de la Facultad de Ingeniería Química



Editorial

La ingeniería química, un pilar esencial en la evolución de prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras, ha avanzado de manera significativa en la investigación formativa. En esta edición, destacamos varias investigaciones que prometen transformar la industria y ofrecer soluciones prácticas a problemas diarios. El análisis tecno-funcional de proteasas aspárticas para la producción de cuajo láctico ofrece nuevas oportunidades en la biotecnología alimentaria, con un estudio que podría impactar significativamente en la industria láctea. El manejo de residuos de aceites de cocina en áreas urbanas se enfrenta al reto de desarrollar métodos eficientes y sostenibles de reciclaje. Por otro lado, la cerveza artesanal está adoptando prácticas sostenibles, con el almidón de yuca como una alternativa viable a los cereales tradicionales, demostrando que la innovación puede coexistir con la tradición. En el campo de la salud y el bienestar, los repelentes naturales emergen como alternativas ecológicas a los productos sintéticos, destacando el aceite esencial de cáscara de naranja dulce por su eficacia y respeto al medio ambiente. Finalmente, la encapsulación de ingredientes bioactivos, como la miel, muestra un gran potencial para mejorar la conservación y funcionalidad de los alimentos. Estos trabajos, realizados en su mayoría por alumnos de I.Q.I. reflejan no solo el compromiso académico con la innovación y la sostenibilidad, sino también la importancia de la investigación formativa en la preparación de futuros ingenieros químicos.

Mtro. Ángel Ramiro Trejo Irigoyen
Secretario Académico

REVISTA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA
No. 64 Septiembre de 2024



Directorio

IQI. Carlos A. Estrada Pinto, M. en C.
Rector

Dra. Marcela Zamudio Maya
Director General de Desarrollo Académico

Dr. Ramón Peniche Mena
Coordinación General de Posgrado,
Investigación y Vinculación

Facultad de Ingeniería Química

M. en C.. María Dalmira Rodríguez Martín
Directora

I.Q.I. Roger Agustín Bargas Interián
Secretario Administrativo

M. en C. Ángel Ramiro Trejo Irigoyen
Secretario Académico

Dr. Julio César Sacramento Rivero
Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación

Consejo Editorial

Dr. Eduardo Castañeda Pérez
Dr. Arturo Francisco Castellanos Ruelas
M. en C. Miriam Chan Pavón
Dr. Luis Antonio Chel Guerrero
Dr. Santiago Gallegos Tintoré

Edición y Diseño Gráfico

Dr. Luis Antonio Chel Guerrero
Br. Leticia Noemi Torres Borges



ANÁLISIS TECNO-FUNCIONAL DE PROTEASAS ASPÁRTICAS 3
OBTENIDAS DE FUENTES VEGETALES PARA LA
PRODUCCIÓN DE CUAJO LÁCTICO.

Enrique Acosta Segura
Jose Armando Tec Pool
Santiago Calderón Guillemot

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE ACEITES DE COCINA 9
PARA LA PRODUCCIÓN DE JABÓN ARTESANAL.

Sheila Arlett Rodríguez Notario
Leticia Noemi Torres Borges
Karla Cecilia Moo Pérez
Mauricio Oswaldo Vergara Rueda
Jesús Adrián Cabrera Echavarría
Sahid Reynaldo Rodríguez Zavala
Ángel Gabriel Ramos Cetina
David Betancur Ancona

ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL UTILIZANDO 16
ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) COMO
INGREDIENTE ADJUNTO

Sebastián Soria Geovannini
Alejandro Josué Cardeña Benítez
Abraham Emmanuel Hau Monforte
Jesús Alejandro Zubieta Canto
Alejandro de Jesús Noguera Tzuc
Adrián Enrique Martínez Ek
Vanessa Naomy Ferráez Arceo
Luis Chel Guerrero
Wilbert José Rodríguez Canto

DESARROLLO DE UN REPELENTE A BASE DE ACEITE 26
ESENCIAL DE CÁSCARAS DE NARANJA DULCE (*Citrus
sinensis*)

Mariana Araiza Ramírez
Manuel Andrés Chavez Calderón
Fernando Miguel Chan Kumul
Xiomara Nicté-ha Sabido Hau
Irving Sosa Crespo

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS 32
DE MICROCAPSULAS DE MIEL (*Apis mellifera*) OBTENIDAS
POR SECADO POR ASPERSIÓN, UTILIZANDO GOMA
ARÁBIGA Y MALTODEXTRINA

Patricia Cámara Gómez
Edgar Alberto Cetina Escalante
Fredy Enrique Baas Díaz
Ángel Gaspar Heredia Uex
Juan Manuel Pool de la Rosa
Yessica Guadalupe Matú Ceballos
Wilbert José Rodríguez Canto

La Revista de la Facultad de Ingeniería Química es una publicación semestral relacionada con la Ingeniería Química Industrial, la Química Aplicada, la Ingeniería Industrial Logística, la Ingeniería en Alimentos, la Ingeniería en Biotecnología, e Ingeniería de Operaciones Estratégicas, vinculada con su enseñanza, investigación y aplicación en el sector productivo. Número 62. Todo material impreso puede reproducirse mencionando la fuente. Los artículos firmados expresan la opinión del autor y no necesariamente el de la dependencia. La correspondencia dirigirla a: Facultad de Ingeniería Química. Periférico Nte. Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yuc., Méx. C. P. 97203. Tels.+52 (999) 946-09-56, 946-09-93. Responsable de Edición: Dr. Luis Antonio Chel Guerrero. correo electrónico: cguerrero@correo.uady.mx . Fecha de publicación septiembre de 2024.

Análisis tecno-funcional de proteasas aspárticas obtenidas de fuentes vegetales para la producción de cuajo láctico

Acosta-Segura, E; Tec-Pool J. A; Calderón-Guillemot S.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Kilómetro 33.5 Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203.

Resumen

Los cambios en la alimentación y la explotación del sector pecuario han llevado a buscar alternativas vegetales que imiten las propiedades de productos animales como las enzimas usadas en la elaboración de quesos. Por esto, en este estudio se evaluaron proteasas aspárticas vegetales con potencial de aplicación en la industria quesera, seleccionando frutos de Piñuela (*Bromelina pingüin*), Carambola (*Averrhoa carambola*) y residuos de Piña (*Ananas comosus*) como fuentes de enzimas. Se determinó el contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl, como indicativo de la actividad enzimática, obteniendo valores de 0.59 para Anana, 0.519 para Bromelina y 0.48 para Averroha. También se evaluó la actividad coagulante en leche (MCA), en la que Bromelina mostró la mayor (148.89 US/mL) comparado con Anana (112.29 US/mL) y Averroha (70.15 US/mL). La actividad proteolítica fue máxima en Bromelina (0.4629 U/mg). Se concluyó que esta tiene buena actividad proteolítica y alta capacidad coagulante, mientras que Averroha C. mostró resultados muy bajos en actividad proteolítica, sugiriendo que la actividad coagulante podría depender de factores físicoquímicos y no a la actividad enzimática.

Abstract

Changes in diet and the exploitation of the livestock sector have led to the search for plant-based alternatives that mimic the properties of animal products, such as enzymes used in cheese production. Therefore, this study evaluated plant aspartic proteases with potential applications in the cheese industry, selecting Piñuela (*Bromelina pingüin*), Carambola (*Averrhoa carambola*), and pineapple (*Ananas comosus*) residues as enzyme sources. Nitrogen content was determined using the Kjeldahl method as an indicator of enzymatic activity, yielding values of 0.59 for Ananas, 0.519 for Bromelina, and 0.48 for Averroha. Coagulation activity in milk (MCA) was also assessed, with Bromelina showing the highest activity (148.89 US/mL) compared to Ananas (112.29 US/mL) and Averroha (70.15 US/mL). Proteolytic activity was highest in Bromelina (0.4629 U/mg). It was concluded that Bromelina has good proteolytic activity and high coagulation capacity, while Averroha C. showed very low proteolytic activity, suggesting that coagulation activity could depend on physicochemical factors rather than enzymatic activity.

Palabras clave: Coagulación, Proteasa aspártica, Coagulación lactea.

Keywords: Rennet, Aspartic proteases, Milk coagulation.

1. Introducción

Las enzimas proteolíticas se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza. Su diversidad en funciones biológicas y múltiples aplicaciones en medicina, industria y alimentos ha incentivado su aislamiento a partir de diferentes microorganismos, animales y plantas. Una de las aplicaciones de proteasas en alimentos contempla el uso de quimosina (renina o cuajo) para la coagulación de la leche en la producción de quesos (Moreno, 2013). Inicialmente esta enzima fue extraída del estómago de terneros, sin embargo debido al aumento en la producción industrial de quesos y la disminución de su fuente de aislamiento, se ha promovido la búsqueda de nuevas fuentes de proteasas con características similares a quimosina (Pérez, 2004). Los cambios de tendencia en la alimentación de los consumidores y una demanda de materia prima que crece de manera constante, precisa encontrar nuevas fuentes de enzimas aspárticas que tengan una gran relevancia en la industria de alimentos. Como ejemplo destacado están las proteasas de *Cynara cardunculus*, este “cuajo vegetal” obtenido a partir de sus flores cuando estas se encuentran abiertas y frescas, ha sido utilizado para la producción ancestral de quesos como el Serra da Estrella y La Serena, cuyas características únicas les han permitido su estatus de Denominación de Origen (Jacob et al., 2011). Especies vegetales han sido objeto de estudios orientados al aislamiento e identificación de proteasas aspárticas de interés comercial, tal es el caso de los estudios realizados desde 2008 en México en el cual se demostró la actividad proteolítica de las enzimas en contradas en la pulpa de la piña (ananna Comosus). (Gallardo et al., 2008) La gran abundancia y diversidad de la flora silvestre en algunas partes de México y en este particular caso la Península de Yucatán, ofrece un gran potencial para la búsqueda y obtención de proteasas de interés biotecnológico e industrial. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar las propiedades tecno-funcionales de extractos de fuentes vegetales (*Bromelia pingüin* L, de *Anana comosus*, *Averrhoa carambola*) con potencial para la industria quesera.

2. Materiales y Métodos

2.1. Tratamiento de la muestra

Se realizaron los pretratamientos necesarios para cada tipo de muestra vegetal. Para *Bromelina pingüin*, se usó el fruto, sin cáscara ni semillas. Para *Ananas comosus*, se usó la cáscara y el centro de la fruta, que se trocó y molió. Finalmente, para *Averrhoa carambola* se usó el fruto completo para la molienda en húmedo. Se prepararon mezclas de las pulpas de las muestras y un buffer de Tris-HCl 20 mM en relación 1:4 (p/v). La mezcla se homogenizó con el buffer a pH 6.5 para mantener la estabilidad de las enzimas proteolíticas de interés, se realizó un precolado de sólidos y se conservó en tubos Corning de 50 mL a 5°C para detener cualquier reacción que pueda deteriorar las enzimas de interés. Se centrifugó a 6,000 rpm por 20 minutos y se mantuvo a 5°C para preservar la estabilidad de las enzimas.

2.2. Cuantificación de contenido de proteína cruda

Se cuantificó el contenido de proteína cruda de las muestras tratadas, mediante el método Kjeldahl (Acereto, 2016) (nitrógeno total) y aplicando un factor de conversión, para evaluar el posible contenido de enzimas proteolíticas (Conklin, 1999).

Se calculó el contenido de proteína cruda, usando un factor de conversión ajustado de 4.3, como se muestra en la Ecuación Ec.1:

$$\% \text{Prot} = \left\{ \frac{0,014 \times 4,3 \times N \times G}{P} \right\} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

2.3. Actividad coagulante de la leche

En este ensayo de actividad coagulante se manejaron extractos crudos (EC) obtenidos en el tratamiento de las muestras previamente mencionados. Basados en la metodología para medir actividad coagulante (Moreno et al., 2017). Se realizó el ensayo por triplicado, utilizando 10 mL de leche bronca y 1.0 ml del extracto enzimático (EC). Posteriormente se dejó incubar en un rango de temperaturas entre 30-90°C. Para fines estadísticos se usaron 5 temperaturas diferentes (30°, 45°, 60°, 75°, 90°C).

Cuadro 1. Preparación de la curva estándar a diferentes concentraciones.

Estándar	Solución L-tirosina	Buffer fosfato	L-tirosina (μ moles)
1	0 μ L	200 μ L	0
2	5 μ L	195 μ L	0.0055
3	10 μ L	190 μ L	0.011
4	20 μ L	180 μ L	0.022
5	40 μ L	160 μ L	0.044
6	60 μ L	140 μ L	0.066
7	80 μ L	120 μ L	0.088

L-tirosina 1.1 mM siguiendo las proporciones de la tabla 1 y midiendo la absorbancia a 690 nm.

Se aplicó la siguiente fórmula para calcular las unidades de actividad/mL de enzima:

$$\frac{(\mu\text{moles Equiv Tirosina Liberados})(1,1)(\text{Factor Dilución})}{(10) \times (0,1) \times (0,2)} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde: 1.1 es el volumen en mL total del ensayo, 10 es el tiempo en minutos total del ensayo, 0.1 es el volumen en mL de la solución enzimática utilizada y 0.2 es el volumen en mL utilizado en la determinación colorimétrica.

2.4. Actividad proteolítica

Para la determinación de la actividad de diversas proteasas se realiza el método de Anson (Romero, 2001). El cual se basa en teñir mediante la reacción de *Folin-Ciocalteu*. Durante este estudio se realizaron ensayos de actividad para identificar la dilución más conveniente de extracto enzimático. Estos se incubaron a 37°C por 10 min con agitación de 350 rpm en solución de caseína al 0.65 % y buffer fosfato de potasio 50 mM pH 7.0. La reacción fue detenida posteriormente con ácido tricloroacético (TCA) 110 mM y teñido con reactivo *Folin-Ciocalteu*. En tubos Eppendorf de 1.5 mL se mezclaron 500 μ L de la solución de caseína al 0.68 % con 100 μ L de la solución diluida de proteasa. Se incubaron a 37°C por 10 min a 350 rpm en shaker (Lab-Line Orbite Environ-Shaker 3527). Terminada la incubación, se adicionaron 500 μ L de solución de TCA con el fin de detener la reacción, se incubó a 45°C por 10 min y se centrifugó por 5 min a 13,000 rpm a 30°C. Posteriormente se realizó el desarrollo de color. Del sobrenadante generado en el paso anterior se tomó una alícuota de 200 μ L y se pasó a un tubo Eppendorf nuevo. Se adicionaron 500 μ L de solución de carbonato de sodio 500 mM y 100 μ L de reactivo *Folin-Ciocalteu*, se agitó y se incubó a 45°C por 10 min, y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se centrifugó por 5 min a 13,000 rpm y 30°C. Ya desarrollado el color, se tomaron 200 μ L de sobrenadante y se colocaron en una microcelda para medir su absorbancia a 690 nm. Para el blanco de cada una de las muestras problema, al sustrato incubado al mismo tiempo sin la enzima se le agregó la solución de TCA y posteriormente la enzima diluida con el mismo factor de dilución. Se hizo uso de una curva estándar de

3. Resultados y Discusión

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en los cuales se observan que el mayor contenido de proteína lo tienen los residuos de *Ananas comosus*, seguido de la pulpa de *Bromelia pingüin* L.. Para Romero (Anson, 1938), el contenido proteico obtenido es una estimación indirecta del contenido enzimático que se obtiene midiendo el contenido de nitrógeno libre en una muestra digerida, sin embargo, para determinar si existe dicho contenido enzimático se requiere de pruebas en las cuales se corrobore de manera directa la presencia de las mismas, para ello se realizaron los análisis de actividad coagulante de los extractos sobre la leche, determinación de actividad proteica y cinética enzimática.

3.1. Actividad coagulante de leche

El ensayo se realizó por triplicado y evaluando la actividad coagulante en un rango de temperaturas entre 25 y 70°C (Figura 1). El efecto coagulante de los tres prospectos vegetales resultó ser altamente termosensible, ya que en todos los casos se observó un incremento en la velocidad de coagulación a temperaturas más altas. Sin embargo, los valores críticos para este ensayo son los obtenidos en el rango entre 25 a 40°C, ya que son las temperaturas usadas habitualmente en los procesos industriales de producción de queso. A 40°C el EC de *B. pingüin* L tuvo un MCA de 148.89 US/mL, mayor comparado con *A. comosus* 112.29 US/mL y que *A. carambola* 70.15 US/mL. En otros estudios reportados por Mohammed y Col, (Hosny et al., 2016) se han reportado extractos enzimáticos de

fuentes vegetales con elevados niveles de actividad coagulante como un extracto de semillas de *Helianthus annuus* con MCA de 241.0 US/mL. Cuando comparamos estos valores con el reportado por Moreno-Hernández y Col (Moreno et al., 2017), para quimosina comercial con MCA de 164.7 US/mL, se muestra el potencial de los extractos enzimáticos vegetales para los procesos de elaboración de queso. El efecto de incremento en la capacidad coagulante con el incremento de la temperatura demuestra la resistencia térmica de los EC, sin embargo, a altas temperaturas las proteínas de la leche son propensas a desnaturalizarse y junto con las grasas presentes, precipitar en forma de coágulos sin necesidad de la acción de agentes coagulantes. Tal es el caso del extracto de *A. carambola*, que mostró la menor actividad de coagulación hasta los 60°C, por encima de esta temperatura el grado de coagulación se elevó exponencialmente. Se cree que esto se debió por efecto de la temperatura, para corroborar esto se realizaron ensayos de actividad enzimática, presentados a continuación.

Cuadro 2. Resultados de los estudios de proteína y porcentaje enzimático calculado.

Planta	Sección	% proteína cruda	% enzima
<i>Ananas comosus</i>	Residuos	0.863 ± 0.012	0.593
<i>Bromelia pinguin L.</i>	Pulpa	0.755 ± 0.011	0.519
<i>Averrhoa carambola</i>	Pulpa	0.669 ± 0.05	0.481

3.2. Determinación de actividad proteolítica

Las absorbancias resultantes fueron comparadas con una curva estándar de L-tirosina con r^2 de 0.993 para calcular las actividades específicas de cada EC. Las actividades específicas de los EC se presentan en la tabla 3, donde se observa que la mayor actividad registrada fue del EC de *B. pinguin L* con valor de 0.4629 U/mg. En

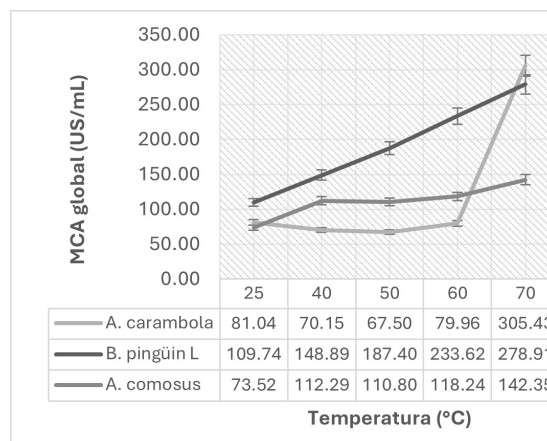


Figura 1. Corrido de temperatura de actividad coagulante y valores de MCA

otros estudios realizados por Carbajal y Col (Carbajal et al., 2010), se reporta la actividad para bromelia de pulpa bajo el mismo método de 0.4 U/mg y un concentrado de bromelina semipurificada de 0.9 U/mg. De igual manera, Assia y Col (Nasr et al., 2016) reportan la existencia de actividad de otras plantas con alto potencial coagulante como en *Helianthus annuus*, cuya actividad específica encontrada fue de 0.29 U/mg. También se observó que el contenido de proteína total en la cáscara y corazón (residuos) de *A. comosus* es mayor al encontrado en la pulpa, 8.63 mg/mL contra 5.29 mg/mL, respectivamente. Sin embargo, la actividad proteolítica observada fue menor en el caso de la cáscara y corazón, comparado con el reportado en la pulpa, 0.14 U/mg contra 0.40 U/mg. Esto indica que el contenido enzimático reside principalmente en la pulpa de la fruta. De este ensayo se obtuvo que *B. pinguin L* posee una buena actividad proteolítica, comparada con los otros extractos, al igual que un alto contenido de proteína. Además de esto, mostró la mayor actividad coagulante de leche, con lo que demuestra su potencial como agente coagulante comparado con otros modelos vegetales ya estudiados. Por otra parte, el extracto de *A. carambola* mostró resultados muy bajos de actividad proteolítica, casi nulos. Esto último reafirma la posibilidad de que la actividad coagulante que mostró el extracto se deba a factores físico-químicos y no a la actividad de una enzima. Por su parte, *A. carambola* no mostró actividad

Cuadro 3. Actividad proteolítica de diferentes secciones de *Ananas comosus*, *Averrhoa carambola* y *Bromelia pinguin* L.

Extracto	Sección	Concentración de proteínas (mg/ml)	Actividad Enzimática (U/ml)	Actividad específica (U/mg)	Actividad coagulante MCA (US/ml)
<i>Ananas comosus</i>	Cáscara y corazón	0.86 ± 0.01	0.70 ± 0.00	0.14 ± 0.00	112.29
<i>Averrhoa carambola</i>	Cáscara y corazón	0.66 ± 0.05	0.88 ± 0.01	0.18 ± 0.01	70.15
<i>Bromelia pinguin</i> L	Pulpa	0.75 ± 0.01	2.31 ± 0.02	0.46 ± 0.02	148.89
<i>A. comosus</i>	Pulpa	5.29*	2.10*	0.40*	-
<i>A. comosus</i>	Semipurif	3.86*	3.60*	0.94*	-
<i>Helianthus annuus</i>	Semilla	837.00**		0.29**	241.00**
*4	**13				

enzimática durante este ensayo al igual que en la prueba de actividad, no se puede confirmar la ausencia total de enzimas con actividad proteolítica en este fruto, pero analizando las pruebas realizadas se puede apreciar que entre las tres especies estudiadas, *A. carambola* presentó los niveles más bajos de proteína, así como de contenido enzimático, pudiendo ser que la enzima de interés sí se encuentre, solo que en cantidades no detectables.

4. Conclusiones

Se logró identificar la presencia de proteasas aspárticas en 2 de las tres especies ya que en la de carambola no se pudo demostrar su actividad. Un factor muy importante que determinó el potencial de los extractos de las plantas fue la actividad coagulante, misma que mantuvo rangos de temperatura de entre 25 y 70°C. A 40°C el EC de *Bromelia pinguin* L tuvo un MCA de 148.89 U/ml, mayor al obtenido con *Ananas comosus* 112.29 U/ml y que *Averrhoa carambola* 70.12 U/ml. Por lo tanto, se concluye que la *Bromelia pinguin* pudiera ser excelente prospecto para continuar con estudios que conlleven a la identificación de las proteasas aspárticas de interés industrial

5. Referencias

Referencias

- Moreno, J. (2013). Caracterización de la actividad coagulante y proteolítica de extractos de flor de naranjo (*Citrus aurantium* L.) y purificación parcial de una de sus proteasas. Disponible en https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/247/1/MORENO%20HERNANDEZ_2013_MC.pdf. Accesado 2 de febrero de 2020.
- Pérez, J. (2004). Extracción de proteasas de *Ulex Europaeus* y su potencial utilización como sustituto del cuajo. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fap4381e/pdf/fap4381e-TH.4.pdf>. Accesado 30 de marzo de 2020.
- Jacob, M., Jaros, D., & Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64, 14-33.
- Gallardo, L., Sánchez, A., Montalvo, C., & Alonso, A. (2008). Extracción de bromelina a partir de residuos de piña. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18, 1-4.
- Acereto, P. O. M. (2016). *Alimentos, manual de análisis fisicoquímicos*. Editorial UADY.

Conklin-Brittain, E. S. (1999). Chemical Protein Analysis: A Comparison of Kjeldahl Crude Protein and Total Ninhydrin Protein from Wild, Tropical Vegetation. *Journal of Chemical Ecology*, 25, 2601-2622.

com/doi/full/10.1002/fsn3.338. Accesado el 5 de febrero de 2020.

Moreno-Hernández, J., Hernández-Mancillas, X., Coss Navarrete, E., Bañuelos-Pérez, M., Salazar-Leyva, J., Osuna-Ruiz, I., Rodríguez-Tirado, A., & Mazorra-Manzano, M. (2017). Partial characterization of milk-clotting and caseinolytic activities of "aguama" fruit (*Bromelia pinguin* L.) proteases. *N. L.*, 182(1), 181-196.

Romero, N. (2001). Métodos de análisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. Depósitos de Documentos de la FAO. Departamento de Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/ah833s17.htm>. Accesado 30 marzo de 2020.

Anson, M. L. (1938). The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *Journal of General Physiology*, 22, 79-89.

Hosny, H., Aguilar-Pérez, C. F., Ayala-Burgos, A. J., Bottini-Luzardo, M. B., Solorio-Sánchez, F. J., & Ku-Vera, J. C. (2016). Evaluation of milk composition and fresh soft cheese from an intensive silvopastoral system in the tropics. *Dairy Science & Technology*, 69(2), 159-172.

Moreno-Hernández, J., Hernández-Mancillas, X., Coss Navarrete, E., Bañuelos-Pérez, M., Salazar-Leyva, J., Osuna-Ruiz, I., Rodríguez-Tirado, A., & Mazorra-Manzano, M. (2017). Partial characterization of milk-clotting and caseinolytic activities of "aguama" fruit (*Bromelia pinguin* L.) proteases. *N. L.*, 182(1), 181-196.

Carbajal, C., Marquez, M., Perez, A., Chavez, M., & Hernandez, M. (2010). Caracterización cinética de un preparado semipurificado de bromelina para uso antitumoral. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962010000200004. Accesado el 30 de marzo 2020.

Nasr, I. M., Mohamed, A., & Omer, I. A. (2016). Characterization of partially purified milk-clotting enzyme from sunflower (*Helianthus annuus*) seeds. *Food Science & Nutrition*. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley>.

Utilización de residuos de aceites de cocina para la producción de jabón artesanal

Rodríguez-Notario, S.A.; Torres-Borges, L.N.; Vergara-Rueda, M.O.; Cabrera-Echavarría, J.A.; Moo-Pérez, K.C.; Rodríguez-Zavala, S.R.; Ramos-Cetina, Á.G.; Betancur-Ancona, D.A.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Kilómetro 33.5 Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203.

Resumen

El desecho de los aceites de cocina usados es una problemática ambiental que se genera al tirar los aceites usados de cocina por los drenajes, ríos y océanos. También la incineración de estos residuos puede provocar problemas a la salud. En este trabajo se utilizaron aceites usados de girasol, oliva extra virgen y coco para la elaboración de jabones ecológicos. En las formulaciones se consideraron dos proporciones de agua y dos concentraciones de sosa cáustica para evaluar atributos como pH, color, el olor, la sensación después del lavado y la formación de espuma. Todos los jabones fueron alcalinos, con diferencias ($p < 0,05$) en color de acuerdo al aceite empleado. El jabón elaborado con el aceite reutilizado de coco empleando 50mL de agua y una concentración de 11 % de lejía presentó los mejores ($p < 0,05$) atributos de olor, mejor sensación en las manos después del lavado y mayor capacidad de formación de espuma. El jabón hecho a mano creado a partir de restos de aceite de cocina es una técnica potencial para reciclar este recurso contaminante.

Abstract

The disposal of used cooking oils is an environmental problem that is generated by throwing used cooking oils down drains, rivers and oceans. The incineration of this waste can also cause health problems. In this work, sunflower, extra virgin olive and coconut waste cooking oils were used to make organic soaps. In the formulations, two proportions of water and two concentrations of caustic soda were considered to evaluate attributes such as pH, color, odor, sensation after washing and foam formation. All soaps were alkaline, with differences ($p < 0.05$) in color according to the oil used. The soap made with reused coconut oil using 50mL of water and a concentration of 11% bleach presented the best ($p < 0.05$) odor attributes, better hand feeling after washing and greater foaming capacity. Handmade soap created from leftover cooking oil is a potential technique for recycling this polluting resource.

Palabras clave: Aceite de cocina usado, medio ambiente, jabón, saponificación, reciclaje de residuos.

Keywords: Waste cooking oil, environment, Soap, saponification, waste recycling.

1. Introducción

Diariamente se utiliza una gran cantidad de aceite en hogares, restaurantes, hoteles e industrias procesadoras de alimentos, cuyos desechos después de utilizarse se vierten directamente al subsuelo, lo que causa varios riesgos para el medio ambiente y a la salud (Soni et al., 2024). Se introduce la palabra “aceite usado” para definir el aceite sobrante que se reutiliza muchas veces en uno o varios procesos, principalmente de fritura. Una vez que el aceite se calienta por encima de los 180 °C o se usa repetidamente durante 5 a 6 ciclos, adquiere un color negro y el subproducto formado a partir de ese aceite se llama aceite de cocina usado (ACU) (Abera et al., 2023). Es uno de los principales contaminantes hoy en día, ya que puede llegar a ser un gran problema si este se vierte al drenaje, la razón de esto es que el aceite tiene menor densidad que el agua, por lo tanto, al desecharse, este permanece en la superficie de ríos y lagos, evitando la entrada de luz y oxígeno, lo que provoca la muerte de varias especies acuáticas como el fitoplancton que depende de la luz para desarrollarse y sobrevivir. Esto puede tener serias consecuencias, ya que el fitoplancton está en la base de la cadena alimentaria de los ecosistemas acuáticos, sirviendo como alimento para organismos más grandes que también pueden morir (Chirani et al., 2021). Para eliminar el aceite de cocina, algunas industrias queman el aceite, lo que libera gases nocivos que contribuyen a la contaminación del aire. Esto puede afectar la vida humana causando problemas respiratorios debido a la presencia de gases nocivos en el medio ambiente (Rahayu et al., 2021). Para mitigar estos problemas es esencial eliminar adecuadamente el ACU reciclándolo o utilizando puntos de recogida para su eliminación. Por lo tanto, se debe desarrollar un enfoque novedoso para refinar el aceite de cocina usado con el fin de aumentar su valor económico y utilizarlo como componente inicial para la fabricación de jabón (Mustakim et al., 2020). Los jabones en barra son agentes limpiadores sólidos elaborados a partir de aceites vegetales o grasas animales que reaccionan con lejía mediante un proceso de saponificación. Los ésteres de glicerol y ácidos grasos son los principales componentes de los aceites y las grasas. En varias comunidades, los jabones se elaboran principalmente a partir de grasas animales (sebo de vaca) debido a la abundancia de grasas de vaca (Maotsela et al., 2019). El proceso de saponificación juega un papel vital en la for-

mación del jabón, ya que este proceso ayuda a eliminar los ácidos grasos libres (AGL) del jabón que afectan a su calidad. La reducción completa de los AGL del UCO durante el proceso de fabricación de jabón contribuye a una alta estabilidad y a las propiedades de formación de espuma. La formación de jabón a partir de UCO es la mejor alternativa de reciclaje y además resulta ser el mejor producto a partir del aprovechamiento de un residuo potencialmente contaminante. La formación de jabón a partir de aceite de cocina usado resulta muy rentable y respetuosa con el medio ambiente, ya que no genera residuos adicionales, es biodegradable y el proceso requiere un mínimo de energía (Antonic et al., 2021). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar algunos atributos de calidad de los jabones elaborados por el método de saponificación y con tres tipos de aceites reciclados, girasol, coco y oliva. Los ésteres de glicerol y ácidos grasos son los principales componentes de los aceites y las grasas. En varias comunidades, los jabones se elaboran principalmente a partir de grasas animales (sebo de vaca) debido a la abundancia de grasas de vaca (Maotsela et al., 2019). El proceso de saponificación juega un papel vital en la formación del jabón, ya que este proceso ayuda a eliminar los ácidos grasos libres (AGL) del jabón que afectan a su calidad. La reducción completa de los AGL del UCO durante el proceso de fabricación de jabón contribuye a una alta estabilidad y a las propiedades de formación de espuma. La formación de jabón a partir de UCO es la mejor alternativa de reciclaje y además resulta ser el mejor producto a partir del aprovechamiento de un residuo potencialmente contaminante. La formación de jabón a partir de aceite de cocina usado resulta muy rentable y respetuosa con el medio ambiente, ya que no genera residuos adicionales, es biodegradable y el proceso requiere un mínimo de energía (Antonic et al., 2021). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar algunos atributos de calidad de los jabones elaborados por el método de saponificación y con tres tipos de aceites reciclados, girasol, coco y oliva.

2. Materiales y Métodos

2.1. Pretratamiento de los aceites reciclados

Se utilizaron tres tipos de aceites de cocina usados (girasol, coco y oliva). Los cuales fueron sometidos a un pro-

ceso de filtración para eliminar impurezas y se limpiaron lavando el aceite en un embudo de decantación con una solución de salmuera tibia que contenía NaCl al 10%, y dejándolo reposar durante una hora después de mezclarlo. Después se separaron la capa acuosa y el aceite. El aceite se transfirió a frasco ámbar de vidrio y se descartó la capa acuosa.

2.2. Proceso de saponificación

La reacción de saponificación se realizó de acuerdo con el método de Nurdianah-Kamarulse et al. (2023). Se utilizaron 100 mL de aceite reciclado y se ensayaron dos niveles de agua en la mezcla de reacción (50 y 75 mL). También se evaluaron dos cantidades de sosa cáustica (13.4 y 19 g) (Tabla 1). En una placa calefactora con agitación se puso el matraz con los volúmenes de agua correspondiente, se incorporó una barra de agitación y lentamente se le fue añadiendo la cantidad de sosa cáustica (NaOH). Luego que la sosa se disolviera en el agua, se le agregó el aceite usado, luego de esto se agitó hasta que el aceite se mezcló con el agua, aplicando un poco de calor (37° C) para que el proceso fuera más rápido. Después de eso, la mezcla en la que el ácido graso se transformó en una sal alcalina se agitó continuamente hasta alcanzar una consistencia adecuada. Finalmente se vertieron las mezclas en moldes para que se solidifiquen y posteriormente esperar cuatro semanas de curado, para que el proceso de saponificación termine y disminuya el pH.

2.3. Determinación del pH

En los jabones de barra es importante la evaluación de pH ya que este estará en contacto con la piel, un pH adecuado para un jabón sería alrededor de un 7.0, que indicaría un pH neutro, que podría utilizarse sin problemas. Cuando se elabora un jabón de forma tradicional, el pH resultante no será más bajo que 7 ya que siempre tenderá a ser alcalino; sin embargo, si se deja reposar y saponificar se consigue que el pH baje lo más próximo a 7. Generalmente un jabón casero recién hecho tendrá un pH muy alto hasta que pase el proceso de saponificación. Para realizar la medición de pH de los jabones se tuvo que primeramente convertir la mezcla en una solución sometiendo una pequeña muestra del jabón en una disolución

de agua, posteriormente, para la medición de pH se realizó empleando un potenciómetro digital con un electrodo, determinando el pH de la muestra de manera automática luego de una previa calibración.

2.4. Determinación del color

El color de los jabones se determinó con base en la escala Hunter, usando un colorímetro fotoeléctrico Gardner 6805, se identificó el color con base en tres atributos: L (blanco=100, negro=0), a* (rojo=positivo, verde=negativo) y b* (amarillo=positivo, azul=negativo).

2.5. Pruebas sensoriales

Se realizaron pruebas sensoriales a un grupo de 5 personas, que probaron todos los tipos de jabones que se prepararon. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos descriptores como sigue: 5 = Me gusta mucho; 4 = Me gusta un poco; 3 = Me es indiferente; 2 = Me desagrada un poco; 1 = Me desagrada mucho. Los atributos evaluados fueron el olor de las manos después del lavado, la sensación que tiene la persona en las manos y por último la espuma que se crea al momento de agregar agua y lavarse las manos.

2.6. Análisis estadístico

Los resultados fueron procesados mediante estadística descriptiva. Las variables independientes o factores fueron los tipos de aceite, sus proporciones de agua y sosa cáustica. Las variables dependientes o de respuestas fueron color instrumental, pH, y características sensoriales como olor, sensación y formación de espuma. Se elaboraron tres jabones por cada mezcla realizada y cada mezcla contó dos réplicas por tratamiento. Los datos obtenidos se evaluaron mediante ANOVA y para establecer las diferencias, se usó una comparación de medias (Duncan, 95% de nivel de confianza) con el paquete computacional Statgraphics Centurión Versión 19.

3. Resultados y Discusión

3.1. Proceso de saponificación

Los jabones elaborados los aceites reciclados de oliva y coco se muestran en la Figura 1. Con todos los jabones

Cuadro 1. Combinaciones de aceite reciclado, agua y sosa cáustica para la reacción de saponificación.

Tipo de aceite	Cantidad de aceite (ml)	cantidad de agua (ml)	cantidad de sosa cáustica (g)	Concentración de sosa cáustica (%)
Oliva	100	50	13.4	8.2
Oliva	100	75	13.4	7.1
Girasol	100	50	13.4	8.2
Girasol	100	75	13.4	7.1
Coco	100	50	19	11.24
Coco	100	75	19	9.8

se siguió el mismo procedimiento de elaboración, pero al momento de dejar reposar, el tiempo esperado para que estos tuvieran una consistencia sólida del jabón fue más de lo esperado, regularmente se debería dejar reposar aproximadamente 24 h, pero en el caso de estos fue cercano a las 92 h, esto puede ser causado por la temperatura y humedad relativa que se presenta en el lugar que fueron elaborados (Mérida, Yucatán).

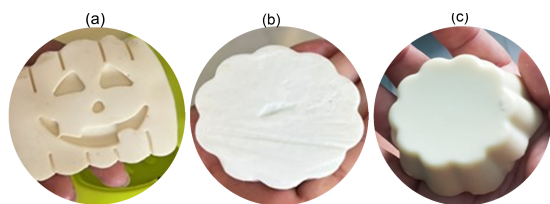


Figura 1. Jabones elaborados con aceites reciclados a) oliva con 75 mL de agua, b) coco con 75 mL de agua y c) coco con 50 mL de agua.

Un resultado diferente a lo esperado fue con el aceite de girasol a 75 mL, este no terminó completamente de solidificarse y se mantuvo con una consistencia bastante similar a la original de la mezcla. En cuanto al aceite de girasol a 50 mL, tampoco terminó de solidificar en la superficie dejando aun rastros de la mezcla, sin embargo, estaba más saponificado en comparación de la muestra de girasol a 75 mL (Figura 2).

Los jabones hechos con aceite de girasol no resultaron como lo esperaba puesto que no alcanzaron la consistencia esperada quedaron blandos y aceitosos, formando zonas de líquido sobre la superficie, por lo que fue difícil utilizar estos jabones para la realización de las pruebas.

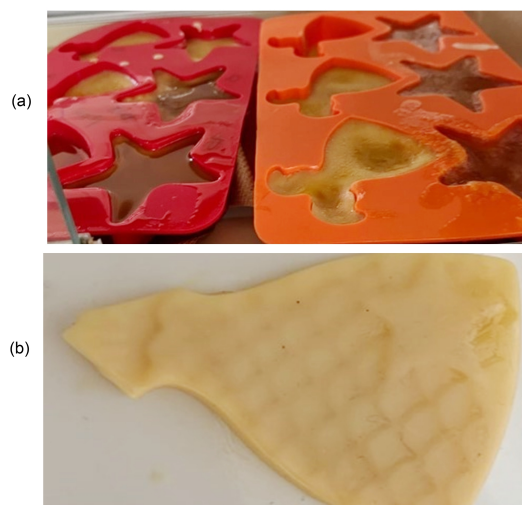


Figura 2. Jabones elaborados con aceites reciclados a) girasol con 50 y 75 mL de agua, respectivamente y b) girasol con 50 mL de agua ya desmoldado.

El error en el procedimiento fue no ajustar la cantidad necesaria de sosa cáustica. Ya que el aceite de girasol contiene altas cantidades de ácidos grasos, los gramos de sosa cáustica utilizados fueron insuficientes para realizar correctamente la reacción de saponificación. Por otro lado, los jabones con mejor consistencia fueron los de coco y Oliva, los cuales resultaron tener un tacto más agradable, sin sentirse tan fluido ni tan duro.

Cuadro 2. Color y pH de jabones elaborados con diferentes tipos de aceite y cantidades de agua.

Tipo de aceite	Cantidad de agua (mL)	L	a*	b*	pH
Oliva	50	79.30 ^b	-2.15 ^a	10.33 ^b	10.43 ^b
Oliva	75	81.12 ^b	-1.49 ^b	12.46 ^a	12.07 ^a
Coco	50	92.67 ^a	-0.21 ^c	5.09 ^c	10.37 ^b
Coco	75	92.04 ^a	-0.59 ^d	4.24 ^c	10.40 ^b

*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

Cuadro 3. Calificaciones para el olor de jabones elaborados con aceites reciclados de girasol, coco y oliva, después de enjabonarse.

Juez	Girasol 50 ml	Coco 50 ml	Coco 75 ml	Oliva 50 ml	Oliva 75 ml
1	3	5	4	3	2
2	4	2	3	4	2
3	5	3	4	4	2
4	4	3	4	3	2
5	4	4	5	2	1
Promedio	4.0 ^a	3.4 ^b	4.0 ^a	3.2 ^b	1.8 ^c

*Letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$).

3.2. Evaluación del color y del pH

En las evaluaciones de instrumentales de color (Tabla 2), no presentaron desviaciones muy grandes entre los jabones. Esto igual se observó a simple vista ya que la mayoría de los jabones presentaron un color blancuzco, lo cual coincide con la tonalidad de la mayoría de los jabones comerciales. Los jabones elaborados con los aceites reciclados presentaron pH alcalinos (Tabla 2).

La mayoría de los jabones comerciales son alcalinos, cuando su pH oscila entre 8 y 10, a menos que se indique como en el caso de del jabón DOVE® que indica un pH de 7.73.

3.3. Evaluación sensorial

Los valores de las puntuaciones para los atributos sensoriales se indican en la tabla 3, 4 y 5. Los del tratamiento con aceite de girasol no se determinaron, puesto que no se logró completar la reacción de saponificación como se mencionó anteriormente. Con estos resultados se puede

identificar que el jabón que más le gustó a los encuestados fue el que está elaborado con una base de aceite de coco y 50 mL de agua y el que menos agradó a las personas fue el de oliva elaborado con 75 mL de agua. Esto podría ser porque es el aceite al que menos está acostumbrada la gente a utilizar.

4. Conclusiones

Se han producido con éxito jabones con un método simple y amigable con el ambiente a partir de la reutilización de aceites de cocina usados de origen vegetal (aceite de oliva, coco y girasol. La formulación más adecuada para la producción de jabón se estableció con 100 mL del aceite desechado de coco, 50 mL de agua y en 11 % de NaOH. Los jabones elaborados con aceite de coco aceite de oliva, su formulación resultó ser sólida, fuerte, con una consistencia y pH semejante a la de los jabones comerciales. En los jabones hechos con aceite de girasol, se encontró que el nivel de endurecimiento no fue el adecuado puesto

Cuadro 4. Calificaciones para la sensación al enjabonarse con los jabones elaborados con aceites reciclados de girasol, coco y oliva.

Juez	Girasol 50 ml	Coco 50 ml	Coco 75 ml	Oliva 50 ml	Oliva 75 ml
1	5	5	3	2	4
2	3	4	5	4	3
3	4	3	3	3	4
4	5	4	4	4	4
5	4	5	4	4	3
Promedio	4.2 ^a	4.2 ^a	3.8 ^a	3.4 ^b	3.6 ^{a,b}

*Letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$).

Cuadro 5. Calificaciones para el olor de jabones elaborados con aceites reciclados de girasol, coco y oliva, después de enjabonarse.

Juez	Girasol 50 ml	Coco 50 ml	Coco 75 ml	Oliva 50 ml	Oliva 75 ml
1	2	3	5	3	2
2	2	2	4	3	3
3	3	1	4	2	3
4	2	2	5	4	3
5	1	2	3	3	3
Promedio	2.0 ^c	2.0 ^c	4.2 ^a	3.0 ^b	2.8 ^b

*Letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$).

que no llegaron a secarse ni solidificarse, probablemente porque el nivel de sosa caustica utilizado para este tipo de aceite no fue el adecuado y se requerirán mayores estudios para optimizar la reacción. Este conocimiento sobre el reciclaje de aceite de cocina usado pretende crear conciencia sobre el aprovechamiento de residuos para generar productos de valor agregado y que contribuyan al cuidado del medio ambiente. Las investigaciones sobre producción de jabón realizadas en el laboratorio tienen potencial de ser transferidas y compartidas con las comunidades o fábricas alineadas con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el objetivo 12: Producción y consumo responsables y el ODS 13: Cambio climático.

5. Referencias

Soni, H., Kaur, M. and Meenakshi Verma., M. (2024). Recent advances in the production of soap from used cooking oil for environment remediation E3S Web Conf., 509: 03014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450903014>

Abera, B.H., Diro, A. Beyene, T.T. (2023). The synergistic effect of waste cooking oil and endod (Phytolacca dodecandra) on the production of high-grade laundry soap, Heliyon, 9 (6): e16889, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16889>.

Chirani, M.R., Kowsari, E., Teymourian, T., Ramakrishna, S., (2021). Environmental impact of increased soap consumption during COVID-19 pandemic: biodegradable soap production and sustainable packaging. Sci. Total Environ. 796, 149013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149013>

org/10.1016/j.scitotenv.2021.149013

Rahayu, S., Pambudi, K.A., Afifah, A., Fitriani, S.R., Tasyari, S., Zaki, M. and Djamahar, R. (2021). Environmentally safe technology with the conversion of used cooking oil into soap. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869: Article ID: 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012044>

Mustakim, M., Taufik, R., Trismawati, T. (2020). The utilization of waste cooking oil as a material of soap. *Journal of Development Research* 4(2):86–91. <https://doi.org/10.28926/jdr.v4i2.114>

Maotsela, T., Danha, G., Muzenda, E. (2019). Utilization of waste cooking oil and tallow for production of toilet “Bath” soap. *Procedia Manufacturing*, 35: 541-545. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.008>.

Antonic, B., Dordevic, D., Jancikova, S., Tremlova, B., Nejezchlebova, M., Goldová, K., Treml, J. (2021). Reused plant fried oil: A case study with home-made soaps. *Processes*. 9(3):529. <https://doi.org/10.3390/pr9030529>

Kamarul-Azme, S.N., Mohd-Yusoff, N.S.I., Chin, L.Y. Mohd, Y., Hamid, R.D., Jalil, M.J., Zaki, H.M., Saleh, S.H., Ahmat, N., Abdul-Manan, M.A.F., Yury, N., Firdaus-Hum, N.N.

Latif, F.A., Zain, Z.M. (2023). Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer through community service learning, *Cleaner Waste Systems*, 4:100084. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100084>.

Statgraphics Centurion software, Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA; 2019. Available from: <https://www.statgraphics.com>.

Elaboración de cerveza artesanal utilizando almidón de yuca (Manihot esculenta) como ingrediente adjunto

Soria-Geovannini, S.; Cardaña-Benítez, A.; Hau-Monforte, A.E.; Zubieta-Canto, J.A.;
Noguera-Tzuc, A.J.; Martínez-Ek, A.E.; Ferráez-Arceo, V.N.; Chel-Guerrero, L.;
Rodríguez-Canto, W.J.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Kilómetro 33.5 Chuburná de Hidalgo Inn,
Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203.

Resumen

Si bien, se utilizan maltas importadas para la elaboración de cerveza, es posible aprovechar los almidones contenidos en productos locales para sustituir parcialmente a las maltas extranjeras y favorecer a la economía de la Península de Yucatán. Por medio de este proyecto se determinó la cantidad de malta que se puede sustituir por almidón de yuca tomando en cuenta su aceptación por los consumidores. También se midieron parámetros como la acidez, el volumen de alcohol, densidades, color y cualidades como la aceptación de cada una de las cervezas por medio de evaluación sensorial a 29 voluntarios. Para esto, se usó almidón de yuca con pureza del 85 % y extracto de malta. Las densidades del mosto de yuca y de malta obtenidas fueron de 1.035 g/cm³ y 1.042 g/cm³ respectivamente. Con estas densidades se hicieron mezclas de estos mostos con diferente porcentaje en volumen de mosto de yuca (0 %, 15 %, 30 %, 45 % y 60 %). Se notó una relación entre el pH y la concentración, ya que mientras mayor era la concentración, menor era el pH. Con la prueba de colorimetría se observó una tendencia a colores más claros conforme aumentó la concentración de yuca. La cerveza mejor valorada por los encuestados fue la de 15 % de yuca y hubo una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos para espuma, carbonatación y retrogusto. También se pudo observar que una alta concentración de yuca mejora la retención de espuma durante largos periodos.

Abstract

Although imported malts are used in beer production, it is possible to take advantage of the starches contained in local products to partially replace foreign malts and benefit the economy of the Yucatán Peninsula. Through this project, the amount of malt that can be replaced by cassava starch was determined, considering its acceptance by consumers. Parameters such as acidity, alcohol volume, densities, color, and qualities like the acceptance of each beer through sensory evaluation by 29 volunteers were also measured. For this, cassava starch with 85% purity and malt extract was used. The densities of the cassava and malt worts obtained were 1.035 g/cm³ and 1.042 g/cm³, respectively. These densities were used to make mixtures of these worts with different volume percentages of cassava wort (0%, 15%, 30%, 45%, and 60%). A correlation between pH and concentration was observed: as the concentration increased, the pH decreased. The colorimetry test showed a trend towards lighter colors as the concentration of cassava increased. The beer rated highest by the respondents was the one with 15% cassava, and there was a significant difference ($p < 0.05$) between treatments for foam, carbonation, and aftertaste. It was also observed that a high concentration of cassava improves foam retention over long periods.

Palabras clave: Cerveza artesanal, yuca, almidón, fermentación, sustitución de la malta..

Keywords: Craft beer, cassava, starch, fermentation, malt substitution.

1. Introducción

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas más conocidas y vendidas alrededor del mundo. Desde su creación, se ha transformado de generación en generación y en Yucatán constituye la bebida alcohólica de mayor consumo. Se sabe que en este estado se cultivan diversos tubérculos y raíces como la yuca, el sagú, el camote, la zanahoria y la jicama. El aumento del uso del almidón de estos tubérculos para la fermentación de la cerveza reduciría la cantidad de malta de importación que se compra y apoyaría a la economía local de los agricultores y productores de cerveza. Además, la producción a partir de estos tubérculos y raíces le da un valor agregado al producto en el mercado de la cerveza, ya que le otorga un sabor único y la distingue del resto de las cervezas que fermentan únicamente a partir de la malta de cebada. El propósito de este proyecto de investigación fue determinar la proporción de almidón de yuca para reducir la proporción de malta requerida en la fermentación de cerveza artesanal, sin afectar las características fisicoquímicas y sensoriales. En primer lugar, se adaptaron partes del proceso de elaboración de cerveza artesanal utilizando yuca como ingrediente adjunto de Araujo y Pilco (2014) y García (2015). Después se elaboró una receta de cerveza que incluyó a la yuca como ingrediente adjunto y se realizaron los cálculos de materia prima, tiempo de fermentación y volumen final de alcohol. Se evaluaron las propiedades cuantitativas de la cerveza artesanal obtenida (grado alcohólico y el pH). Finalmente se midieron las propiedades cualitativas de la cerveza artesanal (apariencia, sabor, aroma y sensación en boca) a través de una prueba de evaluación sensorial aplicada a personas que accedieron a probar el producto.

1.1. Componentes de la cerveza

Para la elaboración de cerveza se requiere de agua, malta de cebada, levadura, lúpulo y lo que se denominan adjuntos, que pueden ser toda clase de agregados, incluyendo frutas, especias, flores, tubérculos entre otros. En primer lugar, la levadura, en ausencia de oxígeno, transforma el azúcar de la materia prima en alcohol y dióxido de carbono gaseoso. Además, utiliza partes de las proteínas y azúcares para desarrollarse y multiplicarse (UNL, 2020). Por otra parte, la malta se obtiene al germinar y secar los granos de cereales en condiciones controla-

das (Cultura Cervecera, 2020). Los azúcares que utilizan las levaduras se obtienen de la malta de cebada, que es por excelencia el cereal cervecero debido a su elevado contenido de hidratos de carbono y enzimas diastáticas, responsables de producir azúcares fermentables a partir del almidón. El último componente principal es el lúpulo, el cual pertenece a la familia de las cannabáceas. Este ayuda a preservar la cerveza y además le da un sabor amargo y aromático.

1.2. Proceso de elaboración

De acuerdo con Cervecistas (s.f.), el proceso general de la elaboración de cerveza consta de siete pasos. En primer lugar, se lleva a cabo el malteado, donde los granos de cereal, normalmente de cebada, pasan por un proceso de germinación controlada para activar las enzimas presentes en el grano, las cuales serán necesarias durante la maceración. Dependiendo del grado de tostado alcanzado durante el malteo, se obtienen maltas más claras u oscuras, que contribuyen al color de la cerveza. A continuación, el grano de cereal molido se mezcla con agua para obtener el mosto cervecero. El agua es el ingrediente mayoritario, representando entre el 85 y el 90 % del contenido de la cerveza final. Durante el macerado, la malta se combina con agua a diferentes tiempos y temperaturas, lo que permite las transformaciones necesarias para convertir el almidón en azúcares fermentables. Después de la maceración, se procede a la filtración del mosto. En esta etapa, se separa el mosto líquido de los restos de malta mediante una cuba filtro o un filtro prensa, logrando así la separación del líquido del sólido. Luego, el mosto se lleva a ebullición con el fin de aportar el amargor y el aroma presentes en el lúpulo. Durante esta etapa, también se esteriliza el mosto, se coagulan proteínas y se evaporan aromas indeseables. Normalmente, este proceso dura alrededor de una hora o más, dependiendo del estilo de cerveza que se esté elaborando. Posteriormente, se deja enfriar y airear el mosto para inocular la levadura. Durante la fermentación, los azúcares fermentables se transforman en alcohol y CO₂, mientras que se generan una variedad de compuestos que contribuyen a los aromas característicos de la cerveza. En el proceso cervecero, se utilizan generalmente levaduras de alta fermentación para cervezas ale y levaduras de baja fermentación para cervezas lager. Este proceso se lleva a cabo en tanques conocidos como fermentadores. El líquido

do resultante requiere un período de maduración, donde la cerveza es sometida a bajas temperaturas para que el sabor y los aromas logrados durante el proceso se establezcan, consiguiendo un balance justo entre los diferentes matices. Finalmente, al terminar la maduración, la cerveza se somete a un proceso de filtración o sedimentación para separar pequeñas partículas de levadura y compuestos en suspensión. Una vez filtrada, la cerveza se envasa en diferentes formatos para su consumo.

1.3. Almidón y su proceso de hidrólisis

El almidón es un componente importante de productos tales como la papa, el maíz, el sagú y yuca. Sin embargo, las levaduras comerciales de cerveza no pueden metabolizar almidones para realizar la fermentación alcohólica. Por este motivo es necesario llevar a cabo un proceso de gelatinización seguido de una hidrólisis enzimática. La gelatinización es un proceso irreversible de transición de fase, donde los gránulos de almidón se unen para formar una red polimérica amorfa. La plastificación del almidón se da en un medio continuo o solvente donde se presenta la hinchazón granular debido al incremento de la temperatura y a la aplicación de esfuerzos cortantes. Posteriormente a la hinchazón, se presenta la desestructuración del gránulo y la solubilización de las moléculas de amilosa y amilopectina en el disolvente (Quintero Novoa & Ramírez Rueda, 2013), posteriormente continúa la hidrólisis. La hidrólisis del almidón es el paso inicial para obtener los azúcares que se utilizan en la fermentación. Este proceso puede realizarse por vía ácida o enzimática, ésta última consiste en dos etapas: licuefacción y sacarificación (Monsalve, Medina y Ruiz, 2006). El proceso de hidrólisis enzimática consiste en romper las moléculas de almidón hasta obtener glucosa (Miranda & Molina, 2015). La enzima alfa-amilasa puede hidrolizar una cadena de almidón en cualquier enlace glucosídico alfa ($1\rightarrow4$), excepto cerca de una rama alfa ($1\rightarrow6$) o al final de la cadena (Farber & Barth, 2019). Eso quiere decir que una vez solubilizadas la amilosa y amilopectina es posible obtener azúcares simples a partir de la hidrólisis con la enzima alfa-amilasa.

1.4. Espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ para determinar el color de la cerveza

El espacio de color $L^*a^*b^*$ se basa en la teoría de color oponente de Hering, que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo, al igual que no pueden estar al mismo tiempo el negro y el blanco o la luz y la oscuridad (Rösch Minolta Sensing, 2018). Como se muestra a continuación, L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas: L^* : luminosidad. Varía del 0, que corresponde al negro, al 100, que corresponde al blanco, a^* : coordenadas rojo/verde. Varía del -128 hasta el 0 que corresponde con colores verdes ($-a^*$) y desde 0 hasta +128 que corresponde a colores rojos ($+a^*$). b^* : coordenadas amarillo/azul. Varía del -128 hasta 0 que corresponde a colores azules ($-b^*$) y desde 0 hasta +128 que corresponde a colores amarillos ($+b^*$).

2. Materiales y Métodos

Se elaboró la cerveza artesanal utilizando almidón de yuca y malta de cebada en diferentes proporciones de volumen con la misma densidad 0-100% (muestra de control), 15-85%, 30-70%, 45-65% y 60-40%, respectivamente. Se adaptaron partes del proceso de elaboración de cerveza de Araujo y Pilco (2014) y García (2015) a las condiciones de trabajo de Mérida, Yucatán. Como se aprecia en la Figura 1, primero se preparó el mosto de cerveza por medio del hervido del extracto de malta de cebada, la adición de lúpulo y un enfriamiento a temperatura ambiente. Por otro lado, se preparó una infusión de lúpulo que después fue mezclada con el almidón de yuca. Esta se calentó hasta alcanzar el punto de ebullición para conseguir la gelatinización. Posteriormente se enfrió a una temperatura entre 50 y 60°C (Araujo y Pilco, 2014) para agregar la enzima amilasa, la cual hidrolizó el almidón, convirtiéndolo en azúcares fermentables. Se dejó en reposo por 60 min, con la finalidad de ayudar en la hidrólisis del almidón de yuca transformando la sustancia gelatinosa en un líquido el cual se denomina mosto. Seguidamente, se hizo la prueba de yodo para determinar si los almidones se transformaron completamente en azúcares más simples. Para esto se diluyeron 5 ml de yodopovidona en 20 ml de agua y se dejaron en contacto con la mezcla.

Al realizar la prueba antes de agregar la amilasa se pudo observar que el reactivo cambió de color amarillo a un morado claro. Después de la hidrólisis enzimática se repitió la prueba y el reactivo casi no cambió de color. Esto quiere decir que la mayor parte de los almidones se hidrolizaron completamente. Cabe mencionar que se intentó infructuosamente igualar las densidades de los mostos para determinar fácilmente la relación entre el cambio de densidad en la cerveza fermentada y la cantidad de yuca presente en la mezcla. Los mostos se vaciaron en las garrafas de fermentación en las proporciones anteriormente indicadas. Se midió la densidad inicial, se añadió la levadura y se dejó fermentar hasta que la actividad se detuvo completamente. Posteriormente se realizaron las mediciones de densidad final, el cálculo de volumen de alcohol, la medición del pH y las pruebas cualitativas de las diferentes muestras.



Figura 1. Diagrama de proceso de elaboración de cerveza.

2.1. Insumos

Agua purificada de garrafón “Fresca”, enzima alfa-amilasa de Brew Master™ comprada en la tienda en línea de Cerveza Casera, lúpulo Yakima Chief Hops™ Centennial, lúpulo Yakima Chief Hops™ Cascade, extracto de malta Briess Pilsen™, botellas de cerveza de 355ml sin rosca, corcholatas, sanitizante de grado alimenticio Star-San® y levadura LalBrew Kveik Voss™ adquiridos en “Beermex”, almidón de yuca “Amaru” (pureza 85%) adquirido en una tienda en línea. Azúcar de mesa “Zulka”, bolsas de hielo y yodopovidona líquida espumante “Vitascom” adquiridos en un supermercado.

2.2. Equipo

Cubeta de PVC de 20L con tapa y orificio para llave en la parte lateral inferior, garrafas de un galón, auto sifón con manguera, llenador de botellas para sifón, báscula digital, válvulas “Airlock”, olla de acero inoxidable de 17L, olla de acero inoxidable de 7L, densímetro para alcohol con probeta, refractómetro, hielera grande, termómetro digital infrarrojo tipo pistola, termómetro digital para alimentos, colorímetro, colocador de corcholatas, cuchara grande, colador, marcador negro, tamiz, jarra graduada 1L, atomizador de 500ml, jarra de 3 L y cinta adhesiva azul para marcar muestras con plumón.

2.3. Etapa 1. Preparación de los mostos

2.3.1. Mosto de malta de cebada

Ingredientes y material biológico: extracto de malta, agua, lúpulo Yakima Chief Hops™ Centennial y Cascade. **Hervido.** Se hirvió durante 30 min 2 kg de extracto de malta en 16 L de agua. Se agregaron 15g de lúpulo Centennial al principio del hervido para aportar amargor y 8g de lúpulo Cascade en el min 20 del hervido. Se retiró con la cuchara la capa superficial de espuma cuando esta apareció. Es importante mencionar que el extracto de malta no requiere de macerado porque los carbohidratos ya están previamente hidrolizados.

Enfriado. Se enfrió inmediatamente en la hielera hasta los 25°C manteniendo la tapa puesta y cuidando la limpieza y desinfección.

Medición. Se midió la densidad del mosto, la cual fue de 1.042 g/cm³

2.3.2. Mosto de malta de cebada

Ingredientes y material biológico: almidón de yuca (pureza 85 %), agua y enzima amilasa.

Infusión de lúpulo. Cinco litros de agua se llevaron a punto de ebullición en una olla de acero inoxidable. Posteriormente se añadieron 4.7g de lúpulo Centennial al inicio del hervido y 2.5g de lúpulo cascade en min 20. La infusión se retiró del fuego en el min 30.

Gelatinización. Se disolvieron 120 g de almidón de yuca por litro de agua en 5L de infusión. Se llevó la mezcla a punto de ebullición y se agregó medio litro de agua para compensar el agua evaporada.

Hidrólisis enzimática. Se enfrió el gel en un intervalo de 50-60°C, se agregaron 3.5 gramos de enzima amilasa y se mantuvo esa temperatura durante una hora.

Enfriamiento. Se enfrió la mezcla gelatinizada a temperatura ambiente en la hielera o refrigerador manteniendo la tapa de la olla puesta. Es sumamente importante tener un control de la limpieza y desinfección a partir de este paso para evitar una posible contaminación del mosto. Se agregó agua hasta intentar igualar la densidad del mosto de malta. Sin embargo, se obtuvo una densidad de 1.035 g/cm³, mucho más baja de lo esperado.

Prueba de yodo. Se realizó la prueba de yodo Lugol para observar si los almidones fueron hidrolizados usando yodopovidona.

2.4. Etapa 2

Ingredientes y material biológico: levadura tipo ale de alta atenuación LalBrew Kveik Voss™.

2.4.1. Mezclado

Se mezclaron los mostos en los cinco fermentadores con las proporciones mostradas en la Tabla 1.

2.4.2. Fermentación

Una vez hecho el mezclado, se tomó una muestra de cada mosto y se midió su densidad inicial. Posteriormente, se activaron cinco onzas de levadura Kveik Voss, es decir, una para cada fermentador. La levadura activada se dejó reposar por 7 min y después se agregó una onza a cada fermentador. Se selló con una trampa de oxígeno "air-lock". Esto sirve para permitir la salida de CO₂ e impedir

la entrada de O₂ a la mezcla. Una semana después, se midió la densidad final en cada garrafa de fermentación y se embotelló. Se calculó el volumen de alcohol.

2.4.3. Preparación de jarabe para gasificación natural

Se preparó una solución de 7g de azúcar por litro de mosto fermentado y se diluyó en un total de 250 ml de agua. Se hirvió el agua con azúcar y se enfrió hasta la temperatura del mosto. Se repartió este pequeño volumen entre los cinco mostos y se revolvió con cuidado, evitando su contaminación y oxigenación.

2.4.4. Embotellado

El embotellado se realizó vaciando el contenido en cerveza de los fermentadores en un contenedor con llave en el fondo. Se llenó el número máximo de botellas posibles de 355 ml de capacidad y la cerveza excedente se depositó en una botella extra. Después, se sellaron las botellas con un colocador de corcholatas manual. Al sellar cada botella se etiquetó sobre la corcholata.

2.4.5. Maduración

Para su maduración y carbonatación, se mantuvieron todas las botellas al reposo durante una semana a temperatura ambiente.

2.4.6. Mediciones

Medición de la densidad y contenido de alcohol. Para esta medición se utilizó el método recomendado por Cultura Cervecera (2018), por lo que se midió la densidad a una muestra por cada tratamiento antes y después de la fermentación. En otras palabras, se depositaron cinco muestras de mosto sin fermentar en una probeta, donde se midió su densidad con un densímetro, obteniendo la densidad original de cada tratamiento. Al final de la fermentación se extrajeron otras cinco muestras en una probeta de cada tratamiento, a las cuales se les midió la densidad final con un densímetro. La masa de alcohol en la solución se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$m_{\text{Etanol}} = \left(\frac{105 \text{ g} \times \text{etanol}}{\text{gCO}_2} \right) \times (G_O - G_F) \times 200 \text{ ml} \quad (1)$$

Cuadro 1. Volúmenes en los fermentadores.

Fermentador	Volumen de mosto de yuca (%)	Volumen de mosto de cebada (%)	Mosto de yuca	Mosto de cebada
1	0	100	0	3.2
2	15	85	0.48	2.72
3	30	70	0.96	2.24
4	45	55	1.44	1.76
5	60	40	1.62	1.08

donde:

- m_{Etanol} = masa de etanol en gramos
- G_O = gravedad inicial en g/ml
- G_F = gravedad final en g/ml

Medición del pH. Se extrajo una muestra en un vaso de cristal, donde se les midió el pH con un potenciómetro, este procedimiento se efectuó por cada tratamiento.

Medición de las propiedades cualitativas Para medir la apariencia, sabor, aroma y sensación en boca se aplicó una encuesta a 29 personas, quienes recibieron cinco muestras de 2 oz. Cada persona recibió cada uno de los cinco tratamientos. Las muestras fueron asignadas de manera aleatoria.

Colorimetría. Para medir el color se utilizó un colorímetro FRU WR-10QC el cual utiliza un espacio de color CIE $L^*a^*b^*$. Las pruebas de las cervezas de 0, 15, 30, 45 y 60 % de concentración de yuca serán tomadas de la siguiente manera: Se agregaron aproximadamente 30 ml de la muestra de cada una a un vaso de precipitado de 50 ml el cual será cubierto con una hoja en blanco para que la luz sea bien reflejada.

Caracterización de los mostos de cebada y yuca. Las densidades del mosto de yuca y de malta se midieron y fueron de 1.035 g/cm³ y 1.042 g/cm³, respectivamente. Durante el proceso se midieron dos veces las densidades de las muestras con respecto a su porcentaje de yuca presente en cada una: la primera antes de empezar el proceso de fermentación y otra al final de este. Posteriormente, se determinó el pH de cada una de las muestras. Se pudo notar que el precipitado obtenido como residuo en el fondo del fermentador fue mayor conforme aumentaba la concentración de yuca y la consistencia de este sedimento era más líquida.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se puede observar cómo la muestra con 15 % de volumen de yuca tiene una densidad de 1.045 g/cm³ y esta va disminuyendo, siguiendo un comportamiento aproximadamente lineal hasta llegar a 1.041 g/cm³ en la muestra de 60 % yuca. Al final, se observa que, aun con respecto a las diferentes densidades iniciales, al final del proceso de fermentación sus densidades resultaron similares en todos los casos, disminuyendo la misma en promedio hasta un 3.3 % después de la fermentación. Posteriormente se determinaron los valores de pH de cada muestra. Se observó que, al aumentar el porcentaje de volumen de yuca, también aumentaba la acidez de la muestra con cambios de pH de entre -0.1 y -0.2 de una muestra a la otra con el porcentaje de yuca inmediatamente superior. Al finalizar, se procedió a calcular la cantidad de alcohol por volumen presente (AVB) para cada una de las distintas muestras de concentración de yuca mediante una ecuación muy conocida en la comunidad de cerveceros artesanales que contempla la densidad inicial y final del mosto:

$$ABV = (G_O - G_F) \times 131,25 \quad (2)$$

Después se obtuvo la masa aproximada de etanol puro presente en cada botella de 355 ml de distinta concentración de yuca utilizando la fórmula:

$$\text{Etanol (gr)} = \frac{\text{vol (cm}^3\text{)} \times ABV \times 0,8}{100} \quad (3)$$

Se puede observar en la Tabla 2, la concentración de alcohol por volumen (%AVB) va variando en cada muestra. Se aprecia que la concentración de yuca presente tuvo un impacto en la concentración de alcohol durante el proceso

de fermentación, notándose una tendencia de creciente en el volumen de alcohol conforme aumenta el porcentaje de yuca y disminuye el de la malta. Según Hu y sus colaboradores (2021) la adición de adjuntos de almidón puede alterar significativamente la composición de azúcares en el mosto, lo que a su vez puede influir en el contenido de alcohol de la cerveza final. La proporción de diferentes tipos de azúcares (como la glucosa, maltosa y maltotriosa) es crucial, ya que diferentes azúcares son fermentados por las levaduras con diferentes eficiencias. Además, la hidrólisis enzimática del almidón de yuca también tiene cierta eficiencia y tiene un porcentaje de otras macromoléculas no fermentables como proteínas. Esto pudo haber provocado que para contenidos más altos de yuca haya un menor grado alcohólico.

3.1. Evaluación sensorial del producto

De acuerdo con los resultados de las 29 encuestas de evaluación sensorial aplicadas con el protocolo (véase el Apéndice 1. Protocolo de aplicación del sondeo de evaluación sensorial de la cerveza de yuca) se obtuvieron los siguientes resultados. En la Figura 2 se puede observar que la concentración con mejor aceptación de color fue la que contenía un 60 % de yuca y que la más baja fue la de 45 %. Se resalta que, respecto a la carbonatación, la cerveza de 60 % mosto de yuca vuelve a tomar valores más altos que las demás, mientras que la que contenía 0 % de yuca es la que obtuvo la calificación más baja. En cambio, en los rubros de espuma y cantidad de alcohol resultó que en la de 15 % se obtuvieron mayores promedios sobre las otras, por el contrario, en la de 0 % se obtuvo el menor promedio.

En la calificación general se determinó que la que tuvo el mejor promedio fue la de 15 %, mientras que la de 60 % obtuvo el promedio más bajo. Para la concentración de 30 % se puede destacar que las calificaciones del color, carbonatación y espuma son sus mejores cualidades. Para esta muestra se obtuvo una calificación general promedio de 3.52. Por otra parte, el color, la carbonatación, la espuma, el aroma y el gusto son las cualidades más altas de la cerveza con 45 % de yuca. El retrogusto, la cantidad de alcohol y la calificación son las menos favorecedoras. Como calificación general promedio se obtuvo un 3.45 para el 45 % de yuca. Por último, con

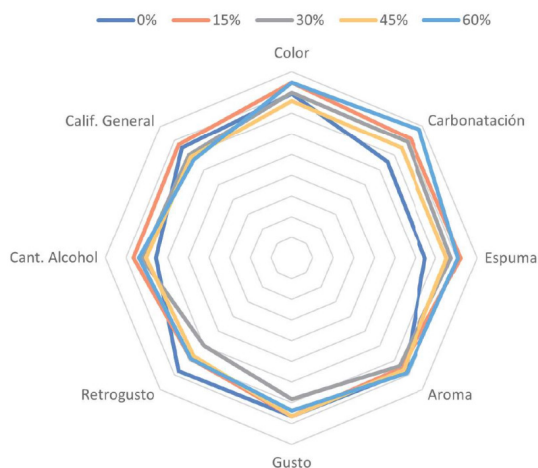


Figura 2. Calificaciones promedio por volumen de mosto de yuca.

la concentración de 60 % yuca, la carbonatación y el color son las cualidades que más resaltan. Por el otro lado, en la calificación general promedio resultó la de menor aceptación con un valor de 3.34. Se obtuvo un promedio de las calificaciones relativas obtenidas para cada concentración de cerveza. La Figura 3 revela que la cerveza más agradable para los 29 encuestados con respecto al resto de las muestras de gustadas fue la de 15 %, seguida de las de 45 % y 60 %, mientras que la más baja fue la de 0 %, es decir, hecha completamente de malta de cebada.

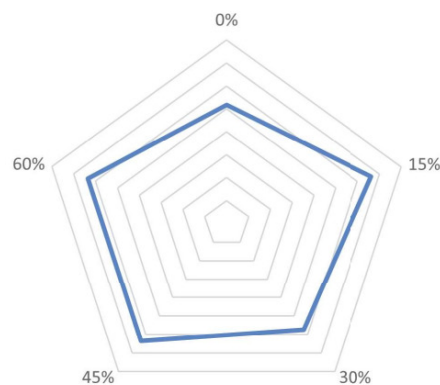


Figura 3. Calificación relativa por concentración.

Cuadro 2. Resultados del porcentaje de alcohol, densidad, masa de etanol y pH.

Yuca (%)	O(g/m)	F(g/m)	Alcohol (% VOL)	Masa de etanol en 355ml(g)	pH
0	1.0435	1.009	4.53	12.86	3.5
15	1.045	1.007	4.99	14.16	3.4
30	1.043	1.009	4.46	12.67	3.2
45	1.042	1.007	4.59	13.046	3.0
60	1.041	1.010	4.07	11.55	2.8

4. Conclusiones

El almidón de yuca tiene aplicaciones para la mejora de las propiedades de la cerveza. Se puede notar una relación entre el pH y la concentración, debido que mientras mayor fue la concentración, el pH disminuyó. Por otro lado, se observó que no hubo una relación entre la relación de yuca-malta y la densidad. Por lo tanto, tampoco se encontró una tendencia del volumen de alcohol con respecto al aumento del volumen de yuca. Estos resultados eran los esperados, ya que en el artículo “Elaboración de Cerveza Artesanal a partir de Almidón Extraído de Tubérculos Andinos” de García (2015) tampoco se encontró una diferencia significativa en las densidades de los tratamientos. Con la medición de color se observó una tendencia a colores más claros conforme aumentó la concentración de yuca en la cerveza, aunque estos cambios son casi imperceptibles sensorialmente. En las densidades iniciales se notó una relación entre la disminución de la densidad de cada mosto conforme aumentaba la concentración de yuca. Tomando en cuenta los resultados de fase experimental se concluye que la cerveza mejor valorada por los encuestados fue la de 15 % de yuca, para las calificaciones promedio. Se pudo observar que una alta concentración de yuca mejora la retención de espuma durante largos periodos. Hubo una diferencia significativa entre los valores de carbonatación, espuma y retrogusto de los diferentes tratamientos de acuerdo con la evaluación sensorial. Se sugiere que estos resultados son de gran importancia, ya que representan una buena opción para el apoyo a las comunidades agrícolas en la que se cultivan los plátanos de yuca porque supone una alternativa para reducir la cantidad de malta de cebada empleada en las fermentaciones y elaboraciones de cerveza artesanal, pudiendo favorecer a la economía de los productores locales que se propongan

3.2. Evaluación de color

Se debe tener en cuenta que aun si dos colores parecen los mismos, se pueden encontrar diferencias ínfimas cuando son evaluados con un instrumento de medición de color (Konica Minolta Sensing, 2018). Aun así, la diferencia de color medida respecto a cada muestra es mínima y en los colores obtenidos no existe diferencia apreciable a simple vista, como se aprecia en la Tabla 3. Si bien, durante los resultados se obtuvieron códigos de color grises, estos al tener una pequeña diferencia cambian relativamente. A continuación, se nombran los colores de las muestras, los cuales se obtuvieron mediante la conversión del espacio de color Cielab al espacio de color Hexadecimal. Sus nombres aproximados fueron en contrados mediante la utilización de la página Encycolorpedia (s.a., 2022).

1. Concentración de 0 % yuca: color sombra oscura media del rojo. Nombre más cercano pardo grisáceo.
2. Concentración de 15 % yuca: color sombra oscura media del rojo. Nombre más cercano pardo grisáceo.
3. Concentración de 30 % yuca: color sombra oscura media del rosa. Nombre más cercano pardo grisáceo.
4. Concentración de 45 % yuca: color sombra oscura media del magenta. Nombre más cercano gris azulado.
5. Concentración de 60 % yuca: color sombra oscura media del magenta. Nombre más cercano gris azulado.

Visualmente, las muestras con un mayor contenido de almidón de yuca eran más claras. Esto era de esperarse, ya que Hu (2021) había determinado que el color de la cerveza recién fermentada producida con malta pura tiende a ser más oscuro, resultante del mayor contenido de malta.

Cuadro 3. Promedio de los resultados realizados para cada rango L*a*b.

Cerveza con concentración de yuca	L*	A*	B*
0 %	27.850	1.407	0.513
15 %	27.760	0.873	0.067
30 %	28.200	0.893	-0.420
60 %	28.467	0.967	-0.893

la elaboración de dicha cerveza.

5. Agradecimientos

Agradecemos a nuestros asesores científicos, al Doctor Wilbert José Rodríguez Canto y al Doctor Luis Chel Guerrero, por su apoyo, ya que agilizaron nuestra investigación, respondieron a nuestras dudas, nos proporcionaron el equipo de colorimetría, nos enseñaron los fundamentos teóricos necesarios para hacer el análisis estadístico y dieron seguimiento hasta la publicación del proyecto de investigación. Agradecemos al cervecero Alberto Soria Paredes Arroyo por haber aportado su conocimiento empírico sobre el proceso de elaboración de la cerveza artesanal y por habernos prestado el equipo necesario para cada etapa del proceso.

6. Referencias

Amantes Cervceros. (2021). La segunda fermentación en botella. Cultura de Cerveza Equipo de Hijos de Rivera. Recuperado el 29 de marzo de 2022, de <https://estrellagalicia.es/amantes-cervceros/la-segunda-fermentación-en-botella/>

Araujo, N., & Pilco, W. (2014). Influencia del porcentaje de almidón de yuca (*Manihot esculenta* crantz) y azúcar en la producción de cerveza artesanal de cebada (*Hordeum vulgare*). Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Perú.

Braverman, J. B. S., Berk, Z. H., & Femando, A. (Trad.). (1980). Introducción a la bioquímica de los alimentos. México: El Manual Moderno.

Carlile, M. J., & Watkinson, S. C. (2001). *The Fungi* (2a ed.). San Diego: Academic Press.

CATAST. (2013). La cata de cerveza. Hoja de perfil. Recuperado el 28 de mayo de 2022, de <http://www.catast.com/Documentos/Fullperfil/FFPPcervesa.pdf>

Cervecistas. (s.f.). El proceso de fabricación de la cerveza. Recuperado el 19 de enero de 2024, de <https://www.loscervecistas.es/el-proceso-de-fabricación-de-la-cerveza/>

Cultura Cervcera. (2018). La diferencia entre la fermentación lager y ale. Cervceros de México. Recuperado el 16 de abril de 2022, de <https://cervcerosdeMexico.com/2018/01/16/la-diferencia-entre-la-fermentación-lager-y-ale/>

Cultura Cervcera. (2018). ¿Cómo se mide el contenido de alcohol en una cerveza? Cervceros de México. Recuperado el 18 de mayo de 2022, de <https://cervcerosdeMexico.com/2018/06/20/como-se-mide-el-contenido-de-alcohol-en-una-cerveza/>

Cultura Cervcera. (2020). ¿Qué es una malta base? Cervceros de México. Recuperado el 8 de abril de 2022, de <https://cervcerosdeMexico.com/2020/07/10/que-es-una-malta-base/>

Cultura Cervcera. (2021). Las características más importantes de una cerveza. Cervceros de México. Recuperado el 3 de abril de 2022, de <https://cervcerosdeMexico.com/2021/08/23/las-caracteristicas-mas-importantes-en-una-cerveza/>

Déak, T., & Beuchat, L. R. (1996). *Handbook of Food*

Spoilage Yeasts (1a ed.). Estados Unidos: CRC Press.

Farber, M., & Barth, R. (2019). *Mastering Brewing Science: Quality and Production* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc.

García, K. (2015). *Elaboración de Cerveza Artesanal a partir de Almidón Extraído de Tubérculos Andinos*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Hu, S., Deng, H., Liu, R., & Yu, W. (2021). Molecular brewing: The molecular structural effects of starch adjuncts on barley malt brewing performances. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.097>

INAH. (2010). *Historia de la cerveza en México*. Recuperado el 24 de marzo de 2022, de <https://www.inah.gob.mx/boletines/849-historia-de-la-cerveza-en-México>

Kobayashi, O., Hayashi, N., Kuroki, R., & Soné, H. (1998). Region of FLO1 proteins responsible for sugar recognition. *Journal of Bacteriology*, 180(24), 6503-6510.

Konica Minolta. (s.f). *Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B**. Recuperado el 26 de abril de 2022, de <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cié-lab/>

Desarrollo de un repelente a base de aceite esencial de cáscaras de naranja dulce (*Citrus sinensis*)

Ramírez-Araiza, M.; Chavez-Calderón, M. A.; Chan-Kumul, F.M.;
Sabido-Hau, X.N.; Sosa-Crespo, I.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Kilómetro 33.5 Chubumá de Hidalgo Inn,
Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203.

Resumen

En la actualidad se han utilizado sustancias naturales para la elaboración de repelentes; entre las fuentes más empleadas están los cítricos como mandarinas, limones y naranjas que en la península de Yucatán se producen a grandes escalas; en consecuencia, se presentan grandes cantidades de desechos como la fibra, semillas o cáscaras, las cuales generan desperdicios orgánicos que la industria química y farmacéutica ha tratado de reutilizar. El objetivo de este trabajo fue elaborar un repelente a base de aceite esencial de cáscaras de naranja para diversificar el uso de compuestos orgánicos considerados desechos. Se elaboraron tres prototipos de repelente a base de agua a partir de un aceite de naranja comercial, adicionándole diferentes concentraciones de fijador universal, polipropilenglicol y otros compuestos. A cada prototipo se le determinó su densidad por medio de cálculos y mediciones, así como su viscosidad, empleando un viscosímetro a una velocidad a 200 rpm. Finalmente, se determinó la efectividad del repelente mediante una prueba de repulsión de insectos para conocer la cantidad que atraviesan el área delimitada por el prototipo. No se encontró diferencia significativa entre la densidad de los tres prototipos, siendo el tercero el que presentó el mayor valor. Aunado a esto, el prototipo 1 fue el que presentó mayor viscosidad en comparación con los demás, sin embargo, el segundo tratamiento que presentó el menor valor respecto a todos fue el más aceptado debido a la similitud en densidad y viscosidad del agua. El repelente 3 se consideró el más efectivo porque presentó mayor efecto de repulsión ante los insectos, en comparación con el ensayo al que no se le colocó. El mayor efecto, probablemente se debió a los compuestos activos presentes en el aceite esencial de naranja que fue mayor en el último tratamiento, respecto al 1 y 2.

Abstract

Currently, natural substances have been utilized in the formulation of repellents, with citrus fruits like tangerines, lemons, and oranges—abundantly produced in the Yucatán Peninsula—being among the most commonly used sources. Consequently, large amounts of waste, such as fiber, seeds, and peels, are generated, resulting in organic waste that the chemical and pharmaceutical industries have sought to repurpose. The objective of this study was to develop a repellent based on essential oil from orange peels to diversify the use of organic compounds considered waste. Three water-based repellent prototypes were developed using commercial orange oil, with varying concentrations of universal fixative, polypropylene glycol, and other compounds added. The density of each prototype was determined through calculations and measurements, and their viscosity was measured using a viscometer at a speed of 200 rpm. Finally, the effectiveness of the repellents was assessed through an insect repulsion test, to determine the number that crossed the area delimited by the prototype. No significant difference was found in the density of the three prototypes, with the third prototype showing the highest value. Additionally, prototype 1 exhibited the highest viscosity compared to the others; however, the second prototype, which had the lowest value among all, was the most accepted due to its similarity in density and viscosity to water. Repellent 3 was considered the most effective as it demonstrated the highest repellent effect against insects, compared to the control test without the application of the repellent. This greater effect was likely due to the higher concentration of active compounds in the orange essential oil used in the last treatment, compared to treatments 1 and 2.

Palabras clave: Repelente, aceite esencial, cáscaras de naranja, *Citrus sinensis*, desechos orgánicos.

Keywords: Repellent, essential oil, orange peels, citrus sinensis, organic waste.

1 Introducción

En México, los cítricos son productos muy consumidos debido a sus propiedades nutritivas, destacando entre ellos la mandarina, la toronja, el limón y la naranja (Valencia-Sandoval y Duana-Ávila, 2020). La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2017) estableció que México ocupa el quinto lugar en producción de naranja dulce con un volumen aproximado de 4.2 millones de toneladas, aportando hasta seis mil millones de pesos anuales. En el caso de Yucatán, existen más de 10 municipios entre los que destacan Oxkutzcab, Peto y Ticul, los que más producción anual presentan, siendo el limón y la naranja dulce los frutos más cosechados (Moreno, 2016).

Entre los componentes más encontrados en los frutos cítricos, está el limoneno, sustancia de origen vegetal que constituye el 90% del aceite extraído a partir de sus cáscaras, mismo que le proporciona su olor característico. El limoneno (C₁₀H₁₆) es un líquido incoloro o ligeramente amarillento, de olor ácido, no tóxico y poco soluble en agua, que puede ser obtenido por diferentes técnicas de extracción o destilación (Fernández, 2012); compuestos como este son fácilmente biodegradables y amigables con el medio ambiente siendo incluso utilizado en procesos farmacéuticos (Usharani, et al., 2019). En este sentido, el uso del limoneno, podría ser un sustituto natural empleado en medicamentos para la piel como repelentes, pomadas, ungüentos y esencias, siendo un remedio contra las picaduras de insectos y la transmisión de posibles enfermedades; de hecho, entre los padecimientos más graves transmitidas por mosquitos como el *Aedes aegypti* está el dengue, enfermedad que según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) se han reportado casos mayores a los 7.6 millones a nivel mundial, con más de 16,000 casos graves y más de 3000 muertes anuales.

Tomando en cuenta la problemática de salud ocasionada por insectos, se han desarrollado en la industria farmacéutica diferentes tipos de repelentes; la mayoría

de estos, elaborados con un compuesto químico conocido como N,N-dietil-meta-toluidina (DEET), que su acción se limita a crear una barrera de vapor evitando que el insecto entre en contacto con la piel del huésped; este compuesto ocasiona en algunas personas dermatitis, reacciones alérgicas y toxicidad (Fonseca-Santos, et al., 2019). De igual manera, se han elaborado en los últimos años, repelentes a base de sustancias naturales como aceite de Neem, de eucalipto y de cítricos (que contienen citronela y limoneno). En algunas ocasiones, se han empleado los cítricos para la elaboración de repelentes a partir de sus cáscaras, lo cual hace más atractivo este tipo de productos, porque además de tratarse de una sustancia natural, se está reutilizando un desecho orgánico que formaría parte de basura convencional. Debido a lo anterior y a la falta de más fuentes naturales, así como a la alta disponibilidad de cítricos en la península de Yucatán, este trabajo tuvo como finalidad elaborar un prototipo con propiedades repelentes para insectos a base de aceite esencial de cáscaras de naranja dulce (*Citrus sinensis*) comercial, para aprovechar este material de desecho proporcionándole un valor agregado a los extractos naturales.

2 Materiales y métodos

2.1 Elaboración de repelentes

Se desarrollaron tres prototipos de repelentes considerando las cantidades de reactivos observados en la tabla 1. El aceite esencial de naranja Now essential oils® fue adquirido de un distribuidor nacional, el ácido benzoico de una tienda de repostería local y los reactivos del proveedor Sigma Aldrich®. Para la elaboración del producto, se vertieron en un vaso de precipitado, alginato de sodio y ácido benzoico en las cantidades establecidas; se les adicionaron 20 mL de agua destilada y se agitó hasta la completa disolución de la mezcla. Posteriormente, se adicionan los componentes faltantes hasta la obtención de una mezcla homogénea; finalmente fue añadida agua destilada hasta obtener un volumen de 50 mL para cada prototipo, los cuales fueron colocados en los recipientes para su experimentación.

Tabla 1. Formulación de prototipos a base de aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis*).

Reactivo	1		2		3	
	%	Cantidad (mL)	%	Cantidad (mL)	%	Cantidad (mL)
Aceite esencial de naranja	0.025	1.25	0.0625	3.125	0.1	5
Polipropilenglicol	0.05	2.5	0.05	2.5	0.05	2.5
Nonilfenol NP10	0.05	2.5	0.05	2.5	0.05	2.5
Agua destilada	0.87	43.5	0.8315	41.575	0.795	39.75
Ac. benzoico	0.001	0.05	0.001	0.05	0.001	0.05
Algínato sódico	0.003	0.15	0.003	0.15	0.003	0.15
Fijador universal	0.003	0.15	0.002	0.1	0.001	0.05
Total	1	50	1	50	1	50

2.2 Medición de densidad

Para la determinación de la densidad de cada uno de los prototipos, se midieron exactamente 2 mL de la muestra, mismos que fueron pesados posteriormente en una balanza analítica y registrando el peso exacto; ambos valores sirvieron para obtener los cálculos finales. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados en g/mL de repelente. La fórmula empleada se presenta a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec. 1}) \quad (1)$$

2.3 Determinación de la viscosidad

En la determinación de la viscosidad de cada uno de los prototipos elaborados, se utilizó un viscosímetro HFBTE NDJ-8S marca Brookfield®. Se seleccionó la celda adecuada, el agitador de spindle 3 y se ajustó la velocidad a 200 rpm por un período de 20 s a temperatura ambiente. El equipo fue calibrado antes de la determinación. Para el ensayo, se midieron 50 mL del repelente y se colocaron en un vaso de precipitado, al cual se le introdujo la perilla del viscosímetro procurando que el spindle se cubra completamente y no se adhiera a las paredes del vaso. El experimento fue realizado por triplicado para cada uno de los repelentes. Los resultados fueron presentados en porcentaje (%) y en centipoise (cp).

2.4 Efectividad de los repelentes

Para comprobar la efectividad de los repelentes ante los insectos, se realizaron dos tratamientos considerando presencia o ausencia de repelente. Para este estudio se emplearon hormigas para cada ensayo, formando dos grupos: uno al que se le aplicó el repelente elaborado y el otro sin la aplicación de éste. Se diseñó una caja experimental (Figura 1) en la que se colocó en la base, una hoja de papel blanco con un círculo pintado en medio y un radio de 6.5 cm.

En el centro del círculo, se colocó miel para que las hormigas fueran atraídas hacia ésta. Alrededor del círculo se colocó el repelente para observar por 30 min el comportamiento de los insectos. Se realizó el mismo proceso utilizando otra caja, pero sin la aplicación del repelente para comparar el efecto. Después de ese tiempo, se realizó el conteo preciso de la cantidad de hormigas que lograron ingresar al círculo, así como aquellas que no estaban delimitadas por él, comprobando la capacidad de repulsión de la muestra. El ensayo fue realizado por triplicado. El conteo proporcionó datos cuantitativos para esta medición expresando el contenido como insectos/m².



Figura 1. A) Proceso de recolección de hormigas, B) Caja experimental para el ensayo.

3 Análisis estadístico.

Se utilizó un modelo factorial de una vía (ANOVA) con puntos centrales para conocer si las concentraciones del aceite esencial de naranja afectaron la densidad, viscosidad y efectividad de los prototipos realizados.

Se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para encontrar diferencia significativa entre medias. Para el análisis de los resultados, se empleó el programa estadístico Statgraphics Centurión®.

4 Resultados y discusión

4.1 Prototipos elaborados

Se obtuvieron tres prototipos de repelentes para mosquitos de consistencia poco densa, casi transparentes, suaves al tacto y con ligero aroma a cítrico. Los tres fueron fácilmente moldeables; cada uno de éstos pudo ser dispersado con practicidad en las áreas establecidas. De cada prototipo se obtuvieron cinco muestras, siendo seleccionadas tres para los análisis experimentales.

4.2 Densidad y viscosidad de los repelentes.

Los resultados demostraron que no existió diferencia significativa ($p > 5$) en la densidad de los tratamientos a pesar de las diferentes concentraciones empleadas del aceite esencial de naranja y fijador universal, a pesar de esto, el prototipo 2 (0.9415 g/mL), presentó un menor valor de densidad (Tabla 2). Estos resultados indicaron que los tres prototipos demostraron valores cercanos a la densidad del agua, lo que indicaría una ventaja para el producto, debido a que algunas personas prefieren consistencias poco viscosas que presentan algunos geles de este tipo. De igual manera, este prototipo fue más fácil de dispersarse en el área requerida.

Tabla 2. Densidad y viscosidad presentadas por diferentes prototipos de repelente desarrollados, *a-c* indican diferencia significativa entre columnas ($p < 0.05$).

Tratamiento	Densidad (g/mL)	Viscosidad (cp*)
1	0.9420 $\pm$ 0.0025 ^a	36.00 $\pm$ 4.9074 ^a
2	0.9415 $\pm$ 0.0133 ^a	27.37 $\pm$ 0.1443 [^]
3	0.9495 $\pm$ 0.0032 ^a	34.25 $\pm$ 0.5773 ^a

*7 Poise=lg/cm.s; 1 centipoise (cp)= 0.01 [lg/cm.s]

Los resultados de viscosidad concordaron con la tendencia presentada por los valores obtenidos de densidad

para el prototipo 2 (27.37 cp), mismo que presentó el menor valor en relación con los tratamientos 1 y 3 (36.00 y 34.25 cp) respectivamente. Estos últimos tratamientos no presentaron diferencia significativa (Tabla 2), por lo que se podría considerar que la consistencia es muy similar. El análisis estadístico ($p < 0.05$) reveló que, el fijador utilizado en la elaboración de los prototipos es un factor determinante en la viscosidad del producto en conjunto con la concentración empleada en la formulación. La densidad y la viscosidad juegan un papel importante en la formulación y en el producto final, lo que sugiere que el prototipo 2, podría ser empleado de forma líquida como un aerosol, debido a la baja densidad y viscosidad presentada entre sus moléculas, ocasionando una sensación más agradable en quien se aplica el producto. Desafortunadamente, al tener menor viscosidad los componentes del repelente 2, podrían estar presentes en menor concentración y por menos tiempo en la piel de quien se lo aplica, debido a que, la gran mayoría de los aceites esenciales son altamente volátiles, lo que puede producir una reducción en la actividad repelente y un tiempo menor de efecto en el tiempo residual, generando que mezclas como las de los prototipos de naranja, puedan ser inerte a los insectos (Juanid, et al., 2014).

Manik y Purwati (2021), elaboraron geles repelentes a base de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L) encontrando altos índices de viscosidad; su investigación fluctuó entre 14,900 a 18,200 cp en comparación con la presente investigación con un rango entre 27 y 36 cp. Esta diferencia tan grande podría deberse a que en el primer caso se trató de un gel, mientras que en el estudio con *Citrus sinensis* los valores fueron más apegados a los de un líquido. Es importante mencionar que la viscosidad es afectada por varios valores como los compuestos presentes en el aceite esencial, la concentración usada, la temperatura y el pH de la solución, por lo que los prototipos de aceite de cáscaras de naranja producidos pudieron ser afectados por estos factores, generando la consistencia líquida del repelente elaborado.

4.3 Efectividad de los repelentes

El análisis estadístico aplicado para conocer la efectividad de los repelentes demostró que existió diferencia significativa ($p < 0.05$) entre medias (Figura 2), indicando que el prototipo que evitó el mayor paso de insectos fue

el 3 (28.33 insectos/m²), presentándose diferencia con los tratamientos 1 y 2; a pesar de lo anterior se pudo observar (Figuras 2 y 3) que los tres prototipos evitaron que los insectos atravesaran el área, en comparación con el ensayo en el que no se aplicó repelente.

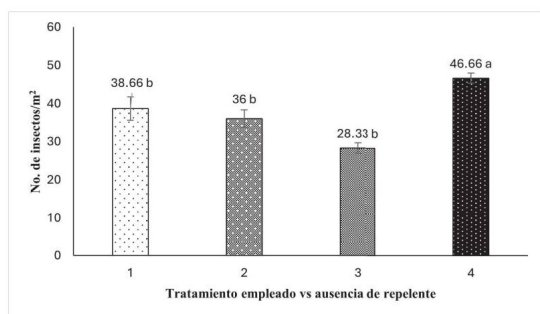


Figura 2. Número de insectos retenidos en cada tratamiento. La barra 4, representa al tratamiento al que no se le aplicó repelente, a-c representan diferencia significativa entre tratamientos.

Si se extrapolaran los resultados a otros insectos como los mosquitos, el prototipo 3, probablemente reduciría la tasa de picaduras en humanos debido a una interferencia de las señales que atraen hacia el hospedador, intercambiando la información sensorial atractiva a una repulsiva y provocando la activación de muchos receptores sensoriales que confunden al insecto; por tanto, al aplicar el repelente de aceite de cáscaras de naranjas, los insectos no podrían detectar el CO₂, el ácido láctico y el amoníaco liberados de manera natural por el huésped (Yaw y Yaw, 2022).

Los repelentes que evitaron el paso de las hormigas hacia el centro concuerdan con lo establecido por Soonwera, (2015), en el que se empleó aceite de Citrus sinensis contra insectos como los mosquitos Aedes y Culex presentando efectos alentadores. La gran ventaja de estos productos es que además de su efecto repelente, el aceite de naranja extraído como desecho de las cáscaras, puede presentar efecto antiséptico, contribuir a la reducción del estrés y presentar propiedades antiinflamatorias (Kamel, et al., 2022 and Oikeh, E. 2013).

La repulsión hacia los insectos (en este caso hormigas)



Figura 3. Comportamiento de los insectos ante la aplicación del repelente elaborado.

del repelente de naranja, probablemente se debe a que algunos aceites esenciales están asociados a la presencia compuestos químicos denominados isoprenoides como el terpinoleno, limoneno y citronela los cuales han demostrado una actividad repelente en mosquitos (Junaid, et al., 2014); esta combinación de limoneno y citronela como metabolitos secundarios presentes en el aceite esencial de naranja, quizá presentó un incremento de la bioactividad al actuar de manera sinérgica en lugar de tratarse de un solo compuesto (Gillij, 2008).

5 Conclusiones

El prototipo que presentó las mejores características fue el segundo, lo que podría generar que éste sea más aceptado por la gente, debido a sus características líquidas, incoloras y con ligero aroma a cítricos. Las características del prototipo probablemente se debieron a la mayor concentración empleada del aceite esencial de naranja, así como al mayor contenido de fijador universal empleado en la preparación de la muestra. Sin embargo, el prototipo 3 fue el que presentó mayor efectividad ante los otros, debido probablemente a una interferencia de señalización en los insectos como consecuencia de su formulación, lo que repercutiría probablemente en alejarlos de la piel humana. A pesar de estos hallazgos, sería importante desarrollar estudios empleando diversos métodos de extracción a partir de las cáscaras y/o semillas de naranja o de otro fruto cítrico, para aprovechar los desechos orgánicos de diferentes fuentes naturales, generando así repelentes y otros

productos de aplicación farmacéutica y/o cosmética.

6 Referencias

- Fernández, G. (2012). *Química orgánica. Limoneno*. [Quimicaorganica.net](https://www.quimicaorganica.net/limoneno.html). <https://www.quimicaorganica.net/limoneno.html>
- Fonseca-Santos, B., Del Nero Pacheco, C., Pinto, M., Chorilli, M. (2019). An effective mosquito-repellent topical product from liquid crystal-based tea tree oil. *Industrial Crops Products*, 128, 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.020>
- Gillij, Y., Gleiser, R., Zygadlo, J. (2008). Mosquito repellent activity of essential oils of aromatic plants growing in Argentina. *Bioresource Technology*, 99, 2507-2515.
- Junaid, U., Abbas, A., Ikhlas, A. (2014). Plant-based products: use and development as repellents against mosquitoes: a review. *Fitoterapia*, 95, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2014.03.002>
- Kamel, F., Sabir, S., Mahal, A., Wei, X. (2022). In vitro antibacterial activity of orange peel oil extract from *Citrus sinensis* fruit in Erbil. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65, 157-160. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.93484.4416>
- Manik Pratiwi, M., Purwati (2021). The repellent activity of leaf (*Rosmarinus officinalis L*) essential oil gel preparations influence on *Aedes aegypti* mosquito. *Journal of Physics*, 1788. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012016>
- Moreno, A. (2016). *Análisis de la red de valor de cítricos en el municipio de Oxkutzcab, Yucatán* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo.
- Oiken, E., Oriakhi, K., Omoregie, E. (2013). Proximate analysis and phytochemical screening of *Citrus sinensis* fruit wastes. *Journal of Science and Technology*, 1(2), 164-170.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Se consolida México como quinto productor mundial de naranja. Ciudad de México, <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-consolida-mexico-como-quinto-productor-mundial-de>
- Soonwera, M. (2015). Efficacy of essential oils from Citrus plants against mosquito vectors *Aedes aegypti* (Linn) and *Culex quinquefasciatus*. *International Journal of Agricultural Technology*, 11, 669-681.
- Usharani, K., Dhananjay, N., Manjunatha, R. Neem as an organic plant protectant in agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 4176-4184.
- Valencia Sandoval, K., Duana Ávila, D. (2020). Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica. *Análisis Económico*, 34(87).
- World Health Organization. (2024). Dengue-Global Situation. <https://vttwa.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2024-D0N518>
- Yaw Boanyah, G., Yaw Boakye, P. (2022). Natural repellents: A topic not to be neglected in a quest for new effective mosquito repellent: A review on *Azadirachta indica* (neem) and *Citrus sinensis* (sweet orange). *GSC Advanced Research and Reviews*, 13(02), 150-157.

Evaluación de algunas propiedades fisicoquímicas de microcápsulas de miel (*Apis Mellifera*) obtenidas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina

Cámara-Gomez, P.A.; Cetina-Escalante, E.A.; Baas-Díaz, F.E.; Heredia-Uex, A.G.; Pool-Rosa, J.M.; Matú-Ceballos, Y.G.; Rodríguez-Canto, W.J.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte, Kilómetro 33.5 Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203.

Resumen

La miel es ampliamente utilizada como endulzante por su dulzor, así como su origen natural y propiedades nutricionales y medicinales. Sin embargo, su alta viscosidad dificulta el procesamiento, lo que representa un reto para su uso. Por lo cual, en este trabajo se utilizó el método de microencapsulación con secado por aspersión para obtener partículas sólidas pequeñas, las cuales se puedan utilizar como un endulzante sólido. Para lo cual, se emplearon tres tratamientos de agente encapsulante: maltodextrina, goma arábica, y una mezcla de ambas (1:1). Obtuvo como resultados que con los tres tratamientos se obtiene una miel en polvo con valores de humedad y pH ideales para su conservación, sin embargo, la mezcla de encapsulantes presentó un menor tiempo de solubilización.

Abstract

Honey is widely used as a sweetener due to its sweetness, natural origin, and nutritional and medicinal properties. However, its high viscosity hinders processing, posing a challenge for its use. Therefore, this study utilized spray drying microencapsulation to obtain small solid particles that can be used as a solid sweetener. Three encapsulating agent treatments were employed: maltodextrin, gum arabic, and a mixture of both (1:1). The results showed that all three treatments produced powdered honey with moisture and pH values ideal for preservation, however, the mixture of encapsulants exhibited a shorter dissolution time.

Palabras clave: Microencapsulación, miel en polvo, agentes encapsulantes, secado por aspersión, viscosidad, solubilidad.

Keywords: Microencapsulation, powdered honey, encapsulating agents, spray drying, viscosity, solubility.

1. Introducción

La miel es un líquido viscoso producido por las abejas con un característico sabor dulce, es uno de los productos más consumidos a nivel mundial y su uso se ha ido diversificando. Se utiliza como endulzante en la gastronomía global por sus características organolépticas, las cuales son ampliamente aceptadas por los consumidores (Zumba, D. 2016). Al ser un producto con muy bajo grado de humedad, es uno de los pocos alimentos sin una fecha de caducidad real, ya que, manteniéndose en condiciones estables, permite su almacenamiento por tiempos duraderos (Montilla, A, 2011). Principalmente, la miel se conforma de azúcares con un contenido entre 78 % y 80 %, que se distribuyen principalmente en fructosa y glucosa con un 38 % y 31 % respectivamente, y en otros carbohidratos como la maltosa, sacarosa y una amplia variedad de polisacáridos; el contenido de agua es alrededor de 17 %. Algunos autores han descrito que la miel posee un pH medio de 3,8, con una oscilación de 3,4 a 6,1, en función del origen (Simal Lozano 1984). La miel proporciona nutrientes y otros compuestos como aminoácidos, minerales, vitaminas, ácidos grasos en pequeñas cantidades y muchas otras sustancias biológicas y aromáticas (Weibel, 2020). Debido a su composición, la miel posee propiedades tales como un potencial antibacteriano, es una fuente natural de antioxidantes, endulzante primario, contiene proteínas, favorece la digestión, recomendado en el tratamiento de heridas y quemaduras, alivia la tos y el dolor de garganta, y actividad antiinflamatoria (Ulloa et al., 2010). Debido a que la temperatura de transición vítrea de la miel (T_g) se encuentra por debajo de la temperatura ambiente, esta se presenta como un líquido altamente viscoso, lo que complica su procesamiento, distribución y dosificación; por lo que se han estudiado métodos para la obtención de miel en forma sólida. Una forma de obtener la miel en polvo es mediante la microencapsulación de esta usando un material encapsulante, el cual permite que la T_g de la mezcla sea mayor a la del ambiente y la del proceso, permitiendo deshidratar la mezcla y obtener un polvo (Samborska 2015). Según López O. (2010) la microencapsulación es una técnica destinada a la protección y preservación de ingredientes. Consiste en aislar la sustancia de interés para así obtener una forma esférica y micrométrica (Luna, J., López, J., Jiménez, O. & Luna, L., 2016). De igual forma Parra (2011) define la microencapsulación como la

tecnología de empaquetamiento que consiste en la formación de micropartículas de una sustancia activa sellada por una membrana polimérica porosa, que pueden liberar sus contenidos bajo condiciones específicas. Las técnicas de encapsulación pueden ser de tipo químicas o mecánicas. Algunos ejemplos de procesos químicos son la coacervación, la co-cristalización y la polimerización interfacial. Los procesos mecánicos incluyen el secado por aspersión, secado por congelamiento y extrusión (Parra 2011). Según Lumdubwong (2001) el agente encapsulante o material pared debe de tener características específicas como facilitar la formación de la película de interés, así como poseer un alto contenido de sólidos. Esto con la finalidad de evitar la presencia de problemas recurrentes en el secado por aspersión de alimentos con alta proporción de azúcar, como la miel debido a su higroscopicidad (García, 2019). El secado por aspersión, también llamado secado por atomización es un método de secado de alimentos en estado líquido, solución o emulsión para obtener un producto sólido en forma de polvo (Palacios L, 2020). Esta técnica es utilizada en alimentos sensibles al calor, ya que se pierden menos las propiedades, evitando la oxidación o degradación, permitiendo conservar las propiedades físicas y químicas del producto (Aragüez, Y., Pino, J. A., Bringas, M., Alfonso, N., Roncal, E. 2015). Un agente encapsulante utilizado en el proceso de secado por aspersión es la goma arábiga, la cual se encuentra en la naturaleza como una sal neutra o ligeramente ácida de un polisacárido complejo (Herranz, 2016). Es considerada como fibra dietética, además de ser apropiada como aditivo alimenticio de bajo aporte calórico. Debido a su estructura molecular compacta, su solubilidad en agua y carga, la goma arábiga es un emulsificante capaz de elevar la temperatura de transición vítrea de ciertas sustancias, y por lo tanto es comúnmente utilizada como encapsulante (Patel 2015). Otro agente encapsulante común son las maltodextrinas; un polvo blanco hecho de almidón de papa, trigo, maíz, arroz. Las maltodextrinas se obtienen de la hidrólisis de almidón, las cuales pueden tener diferentes tamaños según la extensión de la hidrólisis, una característica de estas es su solubilidad en agua (FDA 2022). Se usa generalmente como espesante, para aumentar el volumen de un alimento procesado, también es un conservante que aumenta la vida útil de los alimentos envasados (Hofman 2016). Actualmente las maltodextrinas son usadas solas o en combinación con otras sustancias en alimentos, extractos de

plantas, aditivos aromáticos, carotenoides y vitaminas, ya que presentan distintas propiedades como formación de película, resistencia a la acción de agentes químicos, retención de sabores, además de jugar un papel importante en la reducción de la permeabilidad del oxígeno del material pared (Sansone 2011). En el presente trabajo se evaluó el uso de maltodextrinas, goma arábica y la mezcla de estos polisacáridos en la microencapsulación de miel por medio de secado por aspersión.

2. Materiales y Métodos

2.1. Elaboración de la miel en polvos

La miel en polvo se obtuvo mediante secado por aspersión en donde se evaluó el tipo de agente encapsulante. Se utilizaron la goma arábica, maltodextrina D10 y una relación 1:1 en masa de maltodextrina con goma arábica como agentes encapsulantes. Las dispersiones para cada tratamiento de encapsulación se elaboraron con un porcentaje de sólidos totales del 45.8%, para lo cual se agregaron las cantidades necesarias de miel y agente encapsulante en una relación en masa de 1:1.5 en 250 ml de agua destilada y se mezcló vigorosamente con una licuadora. En los tratamientos en donde se utilizó la goma arábica esta se dispersó primeramente en agua a 60°C y se dejó agitando por 30 minutos hasta su completa solubilización, se dejó enfriar a temperatura ambiente para posteriormente agregarle la miel o en su caso la maltodextrina. Se alimentó el secador por aspersión con los 250 ml de los tratamientos, se seleccionó el nivel 4.5 de la bomba de alimentación y se operó con una temperatura de 135 °C, se dejó el equipo en funcionamiento hasta consumido la totalidad de la alimentación. Finalmente se dejó enfriar el equipo por 1 hora y se recolectó la muestra seca del vaso colector y se recuperó el material adherido a las paredes del equipo cuidadosamente, el polvo obtenido se almacenó en bolsas herméticas de polietileno y se guardaron en un desecador hasta su uso.

2.2. Rendimiento de la microencapsulación

El rendimiento se calculó con la relación entre la masa de sólidos totales obtenidos en el proceso y el total de sólidos en la mezcla alimentada en el proceso.

2.3. Humedad

La humedad de la miel en polvo se determinó utilizando una termobalanza (OHAUS MB45). Se pesaron 0.6 gramos de la muestra y se colocaron en el plato de aluminio de la termobalanza extendiéndose a lo largo de la superficie, las condiciones utilizadas fueron los estándares del equipo (desde 50 °C hasta 160 °C con un paso de 5 °C) por 10 minutos.

2.4. Densidad aparente

Se determinó la densidad aparente gravimétricamente, se utilizó una probeta graduada de 10 ml en la cual se pesó la masa necesaria de miel en polvo para ocupar un volumen de 3 ml, la densidad aparente se calculó como la división entre la masa de la miel en polvo y el volumen ocupado (3 cm³) expresándose en g/cm³.

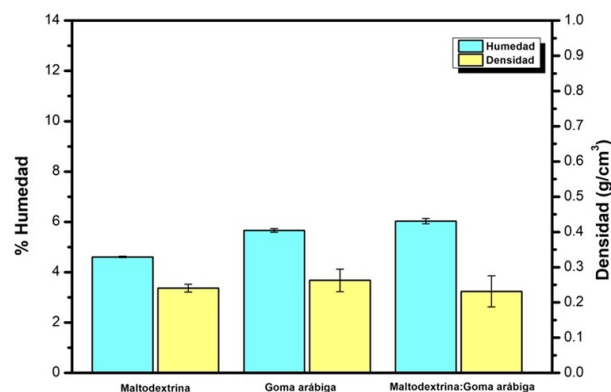


Figura 1. Valores de % de humedad y densidad aparente de la miel en polvo utilizando diferentes agentes encapsulantes.

2.5. Tiempo de solubilidad y pH

Una característica importante de los endulzantes es su tiempo de solubilización al agregarse en medios acuosos, por lo que el tiempo de solubilidad se determinó de manera visual según el siguiente procedimiento. Se agregó un gramo de cada tratamiento de miel en polvo

en 25 ml de agua destilada a 25 °C, se comenzó a medir el tiempo desde la adición de la muestra, se dejó en agitación magnética y se registró el tiempo en el cual ya no se percibían partículas dispersas en el agua. Una vez disuelta toda la muestra se midió el pH de la solución con un potenciómetro previamente calibrado.

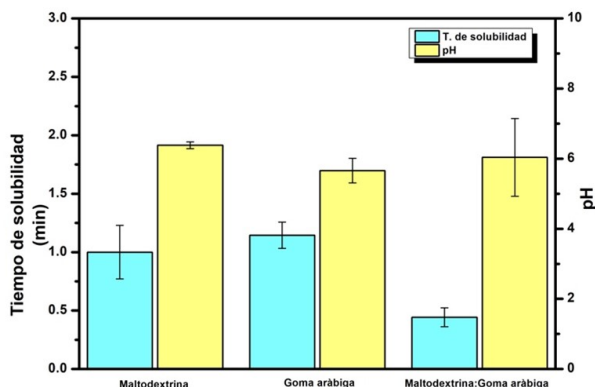


Figura 2. Valores de tiempo de solubilidad y de pH de la miel en polvo utilizando diferentes agentes encapsulantes.

2.6. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño estadístico completamente aleatorio con un factor, el cual fue el tipo de agente encapsulante. Todas las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA utilizando el software Statgraphics 18.

3. Resultados y Discusión

3.1. Rendimiento

tratamiento con Goma Arábica fue el que tuvo un mayor rendimiento, obteniendo un valor de 40.6 %. Le siguió la mezcla de ambos encapsulantes con un 24.8 %, y finalmente la muestra preparada con maltodextrina, con un rendimiento de 23.4 %. El análisis de varianza indicó que el tipo de encapsulante no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de las muestras. Esto se puede atribuir a que la descarga del aire del proceso en el equipo utilizado

hacia el exterior presentó deficiencias permitiendo que se pierdan partículas sólidas en el filtro. Sin embargo, los valores obtenidos fueron superiores a los esperados, según los resultados previamente obtenidos por Aragüez (2015). No obstante, este alto rendimiento podría atribuirse a las proporciones utilizadas en las muestras preparadas.

3.2. Humedad y densidad aparente

Los resultados de humedad en la miel en polvo se pueden observar en la Figura 1. El análisis estadístico mostró que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se puede decir que la humedad promedio es del 5.11 %. De igual manera no se tiene una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con respecto a la densidad, los valores de densidad estuvieron entre 0.231 g/cm³ y 0.241 g/cm³ como se puede observar en la Figura 1. Los bajos valores de humedad permiten que la miel en polvo sea manipulable, tenga un mayor tiempo de vida así como evita que el producto se apelmace. Por otra parte, los valores bajos de densidad pueden deberse a que las partículas obtenidas son de tamaños pequeños, lo que permite que la mayor parte del volumen sea ocupado por las cápsulas. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los intervalos esperados, basados en los resultados previamente recopilados por Aragüez (2015).

3.3. Tiempo de solubilidad y pH

El tiempo de solubilización de la miel en polvo es un parámetro importante en la percepción del producto, una rápida solubilización es deseada por el consumidor al momento de utilizar este producto como endulzante, evitando observar material insoluble al momento de ingerir su bebida. De los tres agentes encapsulantes evaluados, la mezcla de maltodextrina:goma arábica fue la que presentó un menor tiempo de solubilización ($p < 0.05$) con 0.44 minutos, mientras que los otros agentes encapsulantes necesitaron más del doble de tiempo para solubilizarse y no presentaron una diferencia estadísticamente significativa entre ellos, lo que se puede observar en la Figura 2. Esta diferencia de la mezcla se debe probablemente a que se presente una interacción entre las cadenas de las maltodextrinas y la goma arábica que permita una mayor interacción de los grupos -OH de las cadenas con las moléculas de agua y permitiendo la solvatación para la posterior

solubilización de las partículas. Sin embargo se requieren otros análisis para corroborar este mecanismo. Por otra parte, en la Figura 2 se pueden observar los valores de pH que se obtuvieron al disolver la miel en polvo obtenida de cada tratamiento, estos valores estuvieron en el rango de 5.66 y 6.38, siendo la más alta la de la goma arábica. Sin embargo, el análisis estadístico indicó que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos analizados. Esta ligera acidez resultante puede ser atribuida a la miel que se encuentra dentro de la matriz del agente encapsulante, ya que el pH de la miel puede rondar entre 3 y 7, siendo una sustancia ligeramente ácida. Los resultados obtenidos se encuentran entre el rango de pH reportado por Simal Lozano (1984) que obtuvieron un rango de valores entre 3.4 y 6.1.

4. Conclusiones

El estudio logró obtener miel en polvo mediante el proceso de microencapsulación con tres tratamientos encapsulantes diferentes (maltodextrina, goma arábica y su mezcla). Aunque, no se encontraron diferencias significativas con respecto a la humedad, densidad aparente y pH entre los tratamientos. Sin embargo, en términos de funcionalidad, la mezcla de maltodextrina:goma arábica destacó como agente encapsulante dado que obtuvo el tiempo de solubilización más corto, lo cual resulta favorable para su uso como endulzante sólido, donde una rápida disolución del producto es altamente valorada por los consumidores. De igual forma, los valores obtenidos de esta caracterización parcial están dentro del rango deseable para este tipo de productos.

Sin embargo, es necesario realizar otros análisis como evaluaciones sensoriales, caracterizar la microestructura de las partículas para comprender mejor el comportamiento durante el procesamiento y almacenamiento, así como un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica y definir el mejor tratamiento.

5. Referencias

Aragüez, Y., Pino, J. A., Bringas, M., Alfonso, N., Roncal, E. (2015). Optimización del secado por atomización de miel de abeja: Optimization of bee honey spray-

drying. *Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 25(3): 6–13. <https://www.doccity.com/es/proceso-de-secado-de-miel/5031289/>.

FDA (2022). Code of Federal Regulations. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=184.1444>.

García, C. (2019). Evaluación de agentes encapsulantes y su efecto en las propiedades físico-químicas de los polvos de miel secados por aspersión. Instituto Politécnico Nacional. [Tesis de Maestría]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/427.

Hofman, D., Vincent J. van Buul, Fred J. P. H. Brouns. (2016) *Crit Rev Food Sci Nutr*. 56(12): 2091–2100. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4940893/>.

López, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*; 44(3): 381–389. <http://scielo.sld.cu/pdf/far/v44n3/far13310.pdf>.

Lumdubwong, N. & Seib, P. (2001). Low- and Medium-DE Maltodextrins From Waxy Wheat Starch: Preparation and Properties. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-379X\(200112\)53:12%3C605::AID-STAR605%3E3.0.CO;2-U](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-379X(200112)53:12%3C605::AID-STAR605%3E3.0.CO;2-U).

Luna, J., López, J., Jiménez, O. & Luna, L. (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 5 (10). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5738794>.

Maes Honey (2021). La miel en la cosmética. <https://www.maeshoney.com/miel-cosmetica/>.

Montilla, A. (2011). ¿Es cierto que algunos productos, como los yogures, nunca caducan? <https://digital.csic.es/handle/10261/174604>.

Palacios, L. (2020). Secado por aspersión de mieles de caña como base para la obtención de productos instantáneos de panela.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77551>.

1/84T00527.pdf.

Parra, R. (2011). Microencapsulación de Alimentos. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 63(2):5669–5684. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>.

Samborska, K., Kamińska, A. (2015). Spray Drying of Honey: The Effect of Drying Aids on Powder Properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/275029397_Spray_Drying_of_Honey_The_Effect_of_Drying_Aids_on_Powder_Properties.

Sansone, F., T. Mencherini, P. Picerno, M. d'Amore, R. Aquino, & M.R. Lauro. (2011). Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of food engineering*. 105: 468–476 <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a1cc1db7-430e-30fa-a1fd-dc10372a5870>.

Seema Patel & Arun Goyal (2015) Applications of Natural Polymer Gum Arabic: A Review, *International Journal of Food Properties*, 18(5), 986–998, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2013.809541>.

Simal Lozano, J. (1984) Parámetros de calidad de la miel: III. pH, acidez total, acidez láctica total, relaciones e índice de formol. https://www.researchgate.net/publication/235700115_Parametros_de_calidad_de_la_miel_III_pH_acidez_total_acidez_lactonica_total_relaciones_e_indice_de_formol.

Ulloa, J., Mondragón, P., et al. (2010). La miel de abeja y su importancia. *Revista Fuente* 2(4):11–18. Recuperado de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/01-04/2.pdf>.

Weibel, P. (2020). Composición de la miel. *Le Rucher de l'Ours*. <https://www.miel-lerucherdelours.fr/es/content/54-composicion-de-la-miel>.

Zumba, D. (2016). Utilización de la miel de cabuya negra Agave americana l. como endulzante natural para la elaboración de postres. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Tesis de Licenciatura]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11396/>

