

APLICACIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL COMO OPCIÓN DE ESPESANTE EN YOGURT BEBIBLE

APPLICATION OF NOPAL MUCÍLAGO AS THICKENER IN DRINKING YOGURT

Violeta Herrera Enciso

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
viherrera@itroque.edu.mx

Fabiola Herrera Enciso

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
fabiola.he@roque.tecnm.mx

Erika Ramos Ojeda

Tecnológico Nacional de México / IT de Roque, México
erika.ro@roque.tecnm.mx

Recepción: 21/octubre/2021

Aceptación: 24/noviembre/2021

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo elaborar un yogurt bebible con la incorporación de mucílago de nopal (*Opuntia ficus – Indica*) para analizar su efecto como agente espesante y de esta manera ampliar los usos potenciales de este producto hortícola de gran producción en México. Las herramientas aplicadas en el desarrollo de la investigación se basan en un diseño unifactorial, con concentraciones de 0.2, 0.8, 1.0 y 1.5% de mucílago y con un concentrado de Aloe vera para saborizar. El pH, acidez y viscosidad se analizaron como variables respuesta, además se realizaron pruebas sensoriales de aceptación y preferencia. De los resultados obtenidos se concluye que el mucilago en las concentraciones anteriores no tiene efecto en el pH, y en la concentración de 1.5% tiene la capacidad de disminuir la formación del ácido láctico, por debajo de esta concentración no se obtuvieron cambios. En el caso de la viscosidad se concluye que aumenta directamente con la concentración de mucilago, presentándose este cambio desde la concentración de 0.2% de mucilago.

Palabras clave: nopal, yogurt, viscosidad, mucílago.

Abstract

*This project aims to produce a drinking yogurt with the incorporation of mucilage of nopal (*Opuntia ficus - Indica*) to analyze its effect as thickening agent and thus expand the potential uses of this horticultural product of extensive production in Mexico. The tools applied in the development of the research are based on a unifactorial design with concentrations of 0.2, 0.8, 1.0 and 1.5% of mucilage and with an Aloe vera concentrate for flavoring. The pH, acidity and viscosity were analyzed as response variables, in addition, sensory acceptance and preference tests were performed. From the results obtained, it is concluded that the mucilage in the previous concentrations has no effect on the pH, and in the concentration of 1.5% it could reduce the formation of lactic acid, below this concentration no changes were obtained. In the case of viscosity, it is concluded that it increases directly with the mucilage concentration, presenting this change from the 0.2% mucilage concentration.*

Keywords: *nopal, viscosity, yogurt, mucilage.*

1. Introducción

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia en México. Cuenta con un volumen de producción anual de 892,000 toneladas y una superficie sembrada de 13,000 hectáreas. La planta se caracteriza por tolerar temperaturas ambientales relativamente elevadas (35 °C) y escasas de agua por lo que su producción está extendida a lo largo de toda la República siendo los Estados de México, Morelos y Ciudad de México los de mayor volumen, cubriendo alrededor del 70% de la producción nacional. Su participación en el mercado es de 5.7% del total de las hortalizas, sin embargo, cerca del 30% de lo que se produce no es utilizado, generando desperdicio de un producto con gran potencial nutrimental y tecnológico [SIAP, 2020]. El nopal es una especie perteneciente al género *Opuntia*, contiene cantidades considerables de carbohidratos digeribles, fibra dietaria, vitamina C [Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006] y minerales; sin embargo, su aporte de proteínas y grasas es relativamente bajo como se indica en la tabla 1. La sustancia bioactiva principal es la fibra dietaria

constituida de una parte soluble y otra insoluble, siendo el mucílago una fuente de la fracción soluble [Bensadon et al., 2010].

Tabla 1 Composición de nopal.

COMPONENTE	g/100 g peso fresco nopal
Almidón	1.17
Azúcares	0.54
Fibra dietaría	3.75
Cenizas	2.09
Proteínas	0.80
Grasa	0.42

Fuente: Ayadi et al, [2009].

El mucílago del nopal es un hidocoloide con la capacidad de retener grandes cantidades de agua; es un complejo carbohidrato con una estructura altamente ramificada que cuenta con una cadena principal lineal formada por moléculas de ácido galacturónico y rhamnosa, a la cual se le unen cadenas laterales de trisacáridos de D-glucosa. Considerando investigaciones recientes se puede definir una composición de: L-arabinosa (24.6-42%), D-galactosa (21-40.1%), L-ramnosa (7-13.1%), D-xilosa (22-22.2%) y ácido D-galacturónico (8-12.7%) [León, 2010]. Estas cadenas de polisacáridos forman una red que le confiere la característica de atrapar agua, dando la base para su aplicación como espesante y gelificante [Sepúlveda, 2007]. Se produce en células secretoras especializadas, las cuales suelen encontrarse en hojas, tallos, raíces y semillas; su presencia o ausencia, así como su función en cualquier estructura, depende del grado de adaptación e incluso de la supervivencia de cada especie en particular [Juice, 2015]. Numerosas investigaciones han estudiado el mucílago debido a que sus propiedades contribuyen a modificar de manera favorable ciertas características de los alimentos, como viscosidad, elasticidad, textura, retención de agua, además de que es un buen gelificante, espesante y emulsificante. Estas funciones tecnológicas pueden atribuirse a su capacidad para formar geles, convirtiéndolo en un sustituyente de grasas y ligante de sabor, haciéndolo apto como aditivo en la industria de alimentos. El consumo de mucílago beneficia el encapsulamiento del colesterol evitando que pase al torrente sanguíneo debido a que forma una especie de gel, además regula

el tránsito intestinal favoreciendo la evacuación al inducir al organismo a expulsar los diferentes residuos y toxinas que se acumulan. Ayuda a estabilizar los niveles de azúcar en la sangre, por lo que es recomendado para las personas con diabetes. Las plantas con mucílago juegan un papel muy importante en el tratamiento antidiabético ya que tienen un efecto favorable en la disminución del exceso de peso y en las secreciones excesivas del páncreas, protegen las membranas y mucosas del estómago, actúa contra las inflamaciones de las mucosas respiratorias, bucal y de garganta, brindan saciedad, tienen propiedades hidratantes y protectoras de la piel, siendo un buen protector sobre heridas, quemaduras o cortes [Villa, Osorio & Villacis, 2020].

Rodríguez, Martínez, Loaiza y Ornelas [2010], lo aplicaron en la elaboración de una crema de huitlacoche como espesante, mejorando su textura sin alterar sus características organolépticas. Al adicionarse en un néctar de maracuyá, se logró una disminución en la separación de fases y mejoró los atributos de textura y sabor [Y. Rodríguez, 2017]. Reyes, Corrales, Peña, Hernández & Ybarra (2020) formularon una crema de elote con mucílago de nopal como espesante en concentraciones de 0.7-1.0% como propuesta de alimento funcional.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los parámetros de pH, acidez, viscosidad y aceptación sensorial del yogurt tipo bebible con mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como espesante, proponiéndose una alternativa de uso de un aditivo espesante natural que ofrece una opción de alimento saludable a la vez que se contribuye a la diversificación de los usos del nopal. Sin embargo, se debe considerar el bajo rendimiento en la extracción de mucilago ya que implican un desafío en relación con el aprovechamiento de la materia residual, generándose un producto costoso.

2. Métodos

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los laboratorios de calidad y análisis de alimentos del Tecnológico Nacional de México (TecNM) en Roque. Se trabajó con nopal (*Opuntia ficus-indica*) cosechado en la comunidad de San Cayetano, perteneciente al municipio de Celaya, Guanajuato. Para la elaboración

del yogurt se utilizó leche entera de vaca del taller de lácteos, proveniente de establos de Roque. Las técnicas aplicadas para la obtención del producto fueron:

- Extracción de mucílago: la metodología utilizada fue la reportada por Rodríguez, Martínez, Órnelas y Garnica [2011] como óptima; se inicia con la limpieza de la penca del nopal, eliminación de espinas y corte en cuadros aproximados de 2 cm. Posteriormente, se muele con agua en proporción 1:2 (p/v), se calienta a 80 °C/1 h; se deja enfriar y se centrifuga a 3500 rpm por 5 min. El sobrenadante se recupera por decantación y se concentra a baño maría para adicionar etanol al 96% en una relación 1:4 (v/v) para precipitar el mucílago. Finalmente, se deshidrata en una estufa durante un periodo de 24 horas a una temperatura de 35 °C para terminar con la pulverización mediante un mortero. Se considero deshidratar a esta temperatura para evitar el oscurecimiento del mucílago por reacciones de Maillard (producción de melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café muy oscuro e incluso el negro) [Aquino, 2009].
- Elaboración del yogurt: se elaboró yogurt tipo batido siguiendo el procedimiento indicado por Reyes y Ludeña [2015], figura 1.

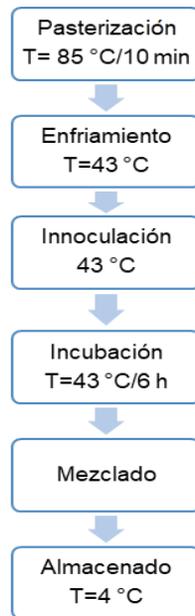


Figura 1 Proceso de elaboración de yogurt.

La leche pasteurizada se inoculó (1% p/v) con un cultivo láctico comercial y se incubó a 43 °C por un tiempo de 6 horas. Posteriormente, se enfrió (22 °C), y se le adiciono un 10% p/p de concentrado de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) previamente endulzado; y mucílago de nopal en polvo (extraído previamente) con agitación constante para lograr homogenizar los ingredientes. El almacenamiento fue a 4 °C para mantener el producto en condición adecuada.

- **Diseño experimental:** el diseño experimental se realizó con un factor que fue la concentración de mucílago de nopal añadido al yogurt, se eligieron las concentraciones: 0, 0.2, 0.8, 1.0 y 1.5%. Estos porcentajes fueron modificados basándose en la investigación de Y. Rodríguez [2017]; adicional se trabajó con yogurt natural como testigo para determinar si el concentrado de Aloe vera afectaba el sistema. Cada formulación se realizó por triplicado. Para esta investigación se midieron las siguientes variables; porcentaje de acidez, pH, y viscosidad.
- **Análisis fisicoquímicos:** el pH se determinó mediante el uso de un potenciómetro marca Consort Multi-parameter Analyser C3010, el cual se calibró con buffer de 7 y buffer de 4 para obtener el pH aproximado del yogurt. En el caso de la acidez, se analizó siguiendo el procedimiento indicado en la NOM-185-SSA1-2002. "Productos y servicios. Mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche".
- **Determinación de viscosidad:** en esta prueba se trabajó con un viscosímetro de la marca RAYPA modelo R tipo RP-2, utilizando el husillo R5. Esta variable respuesta es de gran interés dado que se espera un cambio en la textura del yogurt, otorgado por las propiedades viscoelásticas del mucílago.
- **Pruebas sensoriales:** se realizaron pruebas de preferencia y aceptación de las diferentes formulaciones; todas a base de yogurt natural con 10 % de concentrado de Aloe vera, una muestra testigo sin mucílago y 3 con las siguientes concentraciones de mucílago cada una 0.2, 1.0 y 1.5%, la encuesta aplicada para conocer dicha preferencia se muestra en la figura 2.

En la evaluación participaron 40 jueces consumidores pertenecientes a la población estudiantil del TecNM en Roque, en ella que se calificó atributos sensoriales como color, sabor, olor y textura.

NOMBRE _____ FECHA _____
EDAD _____

Frente a usted se encuentran cuatro muestras de yogurt de Aloe vera, usted debe de probar las muestras de izquierda a derecha, enjuagándose después de cada prueba.

¿Cuál de las cuatro muestras es de su agrado?

Marque con una "X" la muestra de su preferencia

587() 843() 794() 340()

¿Qué te gustó más del yogurt con mayor preferencia?

Textura Sabor Color Aroma Apariencia

¿Qué te desagradó más del yogurt con menos preferencia?

Textura Sabor Color Aroma Apariencia

Observaciones:

Figura 2 Encuesta aplicada para evaluación sensorial.

Análisis estadístico: se utilizó el programa Minitab 17 para realizar el análisis de varianza con un nivel de significancia (α) de 0.05; para determinar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se empleó la prueba de Tukey al 5% de significancia estadística. Con el valor obtenido de p (probabilidad de obtener una estadística de prueba que sea por lo menos tan extrema como el valor calculado) se determinó si la hipótesis nula es verdadera, para este caso si fuera menor a 0.05 que fue el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula.

3. Resultados

Rendimiento de mucílago

En el proceso de extracción de mucílago se utilizaron 2 kg de pencas de nopal obteniéndose 0.0055 kg de producto deshidratado, para dar un rendimiento de 0.275%, el cual se encuentra por debajo del reportado por S. Rodríguez et al. [2011],

que presentan un valor de 0.5-0.6%. La diferencia puede atribuirse a la época y ambiente de cultivo, dado que los grupos de polisacáridos que forman el mucílago amortiguan las fluctuaciones del ambiente y su concentración se modifica por factores como la caída del potencial de agua del suelo [Peña *et al.*, 2012].

Determinación de pH y acidez

El valor del pH de los tratamientos de las diferentes concentraciones de mucílago se presenta en la figura 3, se observa que los datos obtenidos son muy similares entre sí, y de acuerdo con el análisis de varianza en Minitab 17 con un valor obtenido de $p=0.995$, se acepta la hipótesis nula: todas las medias son iguales, no hay diferencias estadísticamente significativas; confirmado con la prueba de Tukey donde ninguna media presentó diferencias significativas. Esto nos indica que la adición del mucílago en este rango de concentraciones no afecta esta característica básica del yogurt.

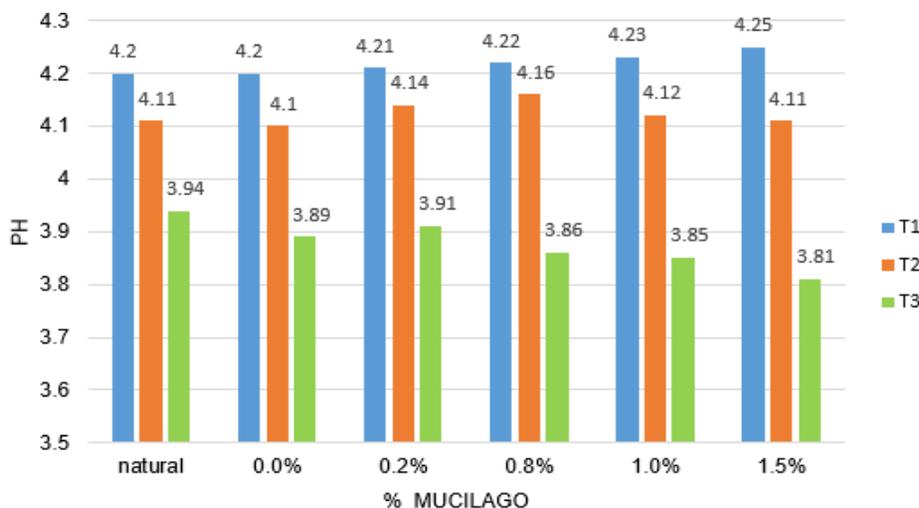


Figura 3 Valores de pH que se obtuvieron en los 3 tratamientos (T1, T2 y T3).

Así mismo, se identifica que el valor del pH se encuentra dentro de las especificaciones establecidas por la NMX-F-444-1984, en la que se menciona que el pH debe de estar por debajo de 4.5.

La acidez en productos lácteos es representada en % de ácido láctico y de acuerdo con lo establecido en la NOM-181-SCFI-2010, su valor en el yogurt debe de ser

como mínimo 0.5%. La figura 4 presenta los valores del porcentaje de ácido láctico obtenido para las diferentes formulaciones y se puede observar que estos se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la norma.

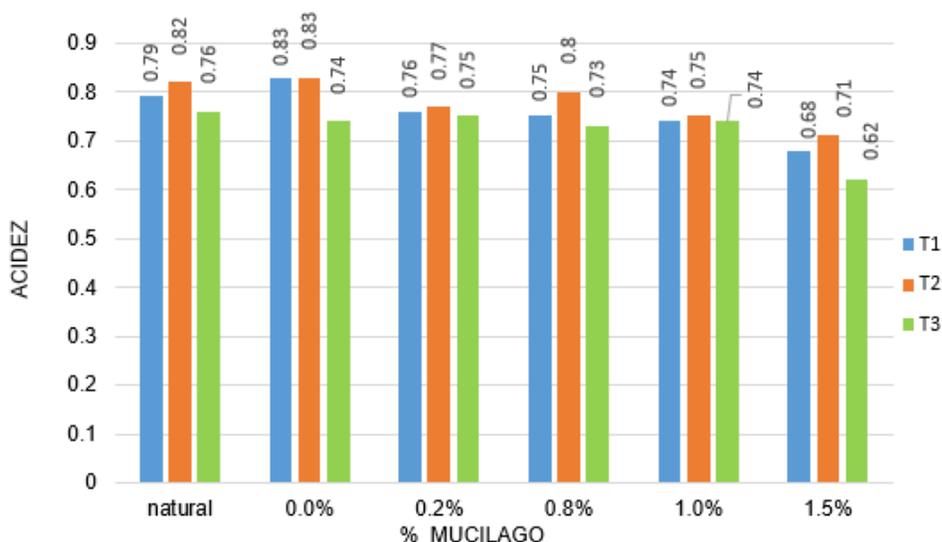


Figura 4 Valores de acidez, obtenidos en los 3 tratamientos (T1, T2 y T3).

De acuerdo con el análisis de varianza, hay diferencia significativa en las muestras, ya que se obtiene un valor de $p=0.009$ y haciendo un comparativo de las medias utilizando el método de Tukey (las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes) tabla 2, se tiene que la acidez en las formulaciones natural y sin mucílago presentan diferencias significativas con los tratamientos de concentración de 1.5%. Esto indica que el mucílago en la concentración de 1.5% tiene la capacidad de disminuir la formación del ácido láctico ya que a mayor concentración disminuye su porcentaje en el yogurt.

Tabla 2 Prueba de Tukey.

% de mucílago	Nº De Tratamientos	Media	Agrupación
Sin mucílago	3	80.00	A
Natural	3	79.00	A
0.8	3	76.00	A B
0.2	3	76.00	A B
1	3	75.00	A B
1.5	3	67.00	B

Viscosidad

Se analizó el comportamiento reológico de las 5 concentraciones de mucílago en el yogurt, midiendo la viscosidad al tiempo de 0, 10 y 15 minutos de agitación a 30 rpm, en un rango de temperatura de 11.0 a 11.6 °C. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3, se identifica que conforme pasa el tiempo de agitación se tiene una disminución de la viscosidad dado que este parámetro se ve afectado con el cizallamiento intenso y con la formación de pequeños microgeles [Mokoonlall et al., 2016].

Tabla 3 Valores promedio de viscosidad, para las diferentes formulaciones.

% de mucílago	0 min		10 min		15 min	
	μ (mPa s)	T (°C)	μ (mPa s)	T (°C)	μ (mPa s)	T (°C)
0.0	4520	11.3	3310	11.5	2506	11.6
0.2	4819	11.0	3345	11.2	3040	11.4
0.8	5502	11.1	3990	11.2	3885	11.3
1.0	5902	11.0	4358	11.3	3981	11.4
1.5	6297	11.2	4895	11.4	4903	11.5

La agitación produce un campo de grandes esfuerzos que originan la destrucción de la estructura del gel y la modificación de las propiedades reológicas, presentándose el comportamiento de un fluido no newtoniano con una disminución de la viscosidad a lo largo del tiempo a una velocidad de corte constante, propiedad por la que se le considera como un fluido tixotrópico, en donde la viscosidad disminuye con el tiempo [Y. Rodríguez, 2017].

Así mismo, se puede ver que conforme aumenta la concentración de mucílago adicionado (desde 0 hasta 1.5%) también aumenta el valor de la viscosidad del yogurt; estos datos se utilizaron para determinar la ecuación que describe el comportamiento de la viscosidad con respecto a la concentración de mucílago utilizando para los diferentes tiempos (Figura 5).

Evaluación sensorial: Por medio de la aplicación de encuestas, se identificaron las formulaciones de yogurt que tuvieron mayor preferencia entre los jueces (Figura 6). De los 40 participantes, 12 prefirieron el yogurt sin mucílago (30%); 11 el de 1.5% de mucílago (27.5%); 7 el de 1% de mucílago (17.5%) y 10 participantes el de concentración de 0.2% (25%).

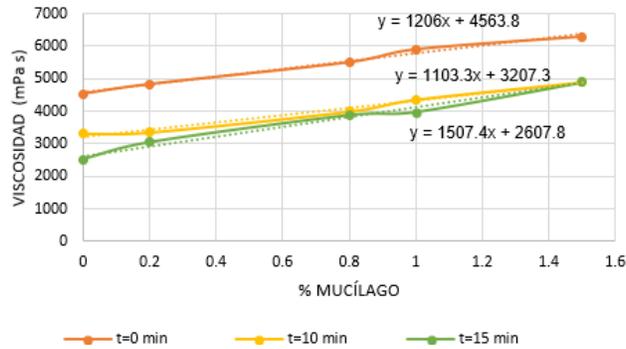


Figura 5 Comportamiento de la viscosidad respecto a la concentración de mucílago.



Figura 6 Gráfica de preferencia en evaluación sensorial.

Considerando los resultados obtenidos, no hay una diferencia significativa en la aceptación de las diferentes formulaciones; por lo que se consideró la formulación con mayor concentración de mucílago y la formulación sin mucílago para evaluar los atributos. En cuanto a textura, color, aroma y apariencia la formulación de yogurt con 1.5% de mucílago obtuvo una mejor evaluación y en sabor los jueces prefirieron ligeramente el yogurt sin mucílago (Figura 7).

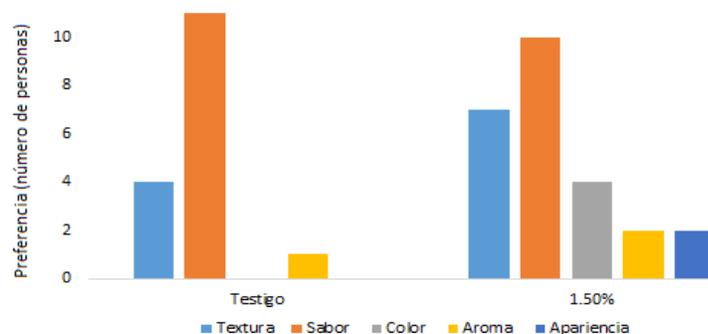


Figura 7 Comparativo de atributos.

4. Discusión

Una tendencia en la industria alimentaria es la generación de productos que contengan la menor cantidad de aditivos químicos sintéticos, los cuales pueden ser sustituidos por sustancias naturales con las mismas propiedades tecnológicas. En el caso del mucílago de nopal, además de ser una sustancia con características nutrimentales relevantes, presenta la capacidad de actuar como un aditivo de textura al aumenta la viscosidad en alimentos líquidos.

En el yogurt analizado con diferentes formulaciones, se obtuvo un aumento de la viscosidad con el incremento de la concentración de mucílago, lo que propone que esta sustancia hidrocoloidal puede ser utilizada como espesante en productos lácteos fermentados. De acuerdo con el panel evaluador los atributos de textura apariencia, color y aroma fueron preferidos en la formulación con mucílago, no así el sabor. Otro punto importante, es que logra mantener las características fisicoquímicas de pH y acidez dentro de los valores especificados en la normatividad lo cual es determinante para poder llegar a comercializarlo. Dados los resultados de los atributos analizados, se recomienda el uso de una base de sabor diferente al Aloe vera que permita aumentar la preferencia en este atributo.

Además de ser un aditivo natural, el mucílago representa una fuente de fibra soluble en el yogurt y en conjunto con bacterias probióticas genera un producto simbiótico funcional que de acuerdo con diferentes investigaciones su consumo puede favorece la salud del consumidor.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Aquino LV, Rodríguez J, Méndez LL, Torres KF. [2009]. Inhibición del Oscurecimiento con Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Secado se Plátano Roatán. *Información Tecnológica* Vol. 20 N°4 2009, pág.: 15-20 doi: 10.1612/inf.tecnol.4082it.08.
- [2] Betancourt-Domínguez, M. A., T. Hernández-Pérez, P. García-Saucedo, A. Cruz-Hernández, and O. Paredes-López.[2006]. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.) *Plant Foods Hum Nutr.* Sep;61(3):115-9.

- [3] Ayadi MA, Abdelmaksoud W, Ennouri M, Attia H. [2009] Cladodes from *Opuntia ficus-indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. *Ind Crops Prod* 30(1):40–47
- [4] Bensadón S., Hervert Hernández D., Sáyago Ayerdi S., Goñi I.[2010]. By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods for Hum Nutr* 65:210–216.
- [5] Mookoonlall, A., Nöbel, S., Hinrichs, J. [2016]. Post-processing of fermented milk to stirred products: Reviewing the effects on gel structure. *Trends in Food Science and Technology*, 54, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.012> .
- [6] Guevara Arauza J. C., Ornelas Paz J., Pimentel González D. J., Rosales Mendoza S., Soria Guerra R. E., Teresita Paz Maldonado L. M. [2012] Prebiotic Effect of Mucilage and Pectic-derived Oligosaccharides from Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Food Science and Biotechnology*. 21(4): 997-1003.
- [7] Juice, C. [2015] Obtención de extractos de plantas mucilaginosas para la clarificación de jugos de caña. *Tecnología Química*, 34(2), 91–98.
- [8] León Martínez F.M. [2010] Secado por aspersión de mucílago de nopal(*Opuntia ficus indica*) y su efecto en las propiedades reológicas de los polvos reconstituidos. Tesis de Maestría Instituto Politécnico Nacional. P 9.
- [9] Peña Valdivia CB, Trejo C , Arroyo Peña V , Sánchez Urdaneta AB, Balois Morales R.[2012]. Diversity of Unavailable Polysaccharides and Dietary Fiber in Domesticated Nopalito and Cactus Pear Fruit (*Opuntia* spp.) *Chemistry & Biodiversity*. 9 (8): 1599-610. doi: 10.1002 / cbdv.201200047.
- [10] Reyes J.*; Ludeña F. [2015] Evaluación de las Características Físico-Químicas, Microbiológicas y Sensoriales de un Yogur Elaborado con Sucralosa y Estevia. *Revista Politécnica*, Vol. 36, No. 2
- [11] Reyes-Buendía C., Corrales- García J., Peña-Valdivia C., Hernández Montes A. & Ybarra-Moncada C. [2020]. Sopa de elote (*Zea mays*) tipo crema con mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante, sus características físicas y aceptación sensorial. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, Vol. 23, 1.

- [12] Rodríguez González S., Martínez Flores H., Loaiza Anayaa S., Ornelas Nuñez JL. [2010]. Aplicación del mucílago de nopal (*Ficus indica*) como espesante en una crema de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en la producción de un alimento funcional. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de alimentos. Universidad de Guanajuato.
- [13] Rodríguez González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. [2011]. Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- [14] Rodríguez Henao Y. [2017]. Evaluación del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como agente estabilizante en néctar de maracuyá (*Passiflora edulis*). Universidad de la Salle, Bogotá.
- [15] Sepúlveda E., Sáenz C., Aliga E., Aceituno E. [2007]. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*. 68: 534-545.
- [16] SIAP, Panorama Agroalimentario. Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural, [2020].
- [17] Villa Uvidia DN, Osorio Rivera M A., Villacis Venegas NY. [2020]. Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Dominio de las Ciencias*. Vol 6, Núm 2, pp 503-524.